



Reinhart D. Martin 1

Science & Pseudoscience

Variations du Niveau de la Mer

Dr. Carlos Cramez

Membre Etranger de l'Académie des Sciences de Lisbonne

September 2020

Rotary de Sierre, Switzerland



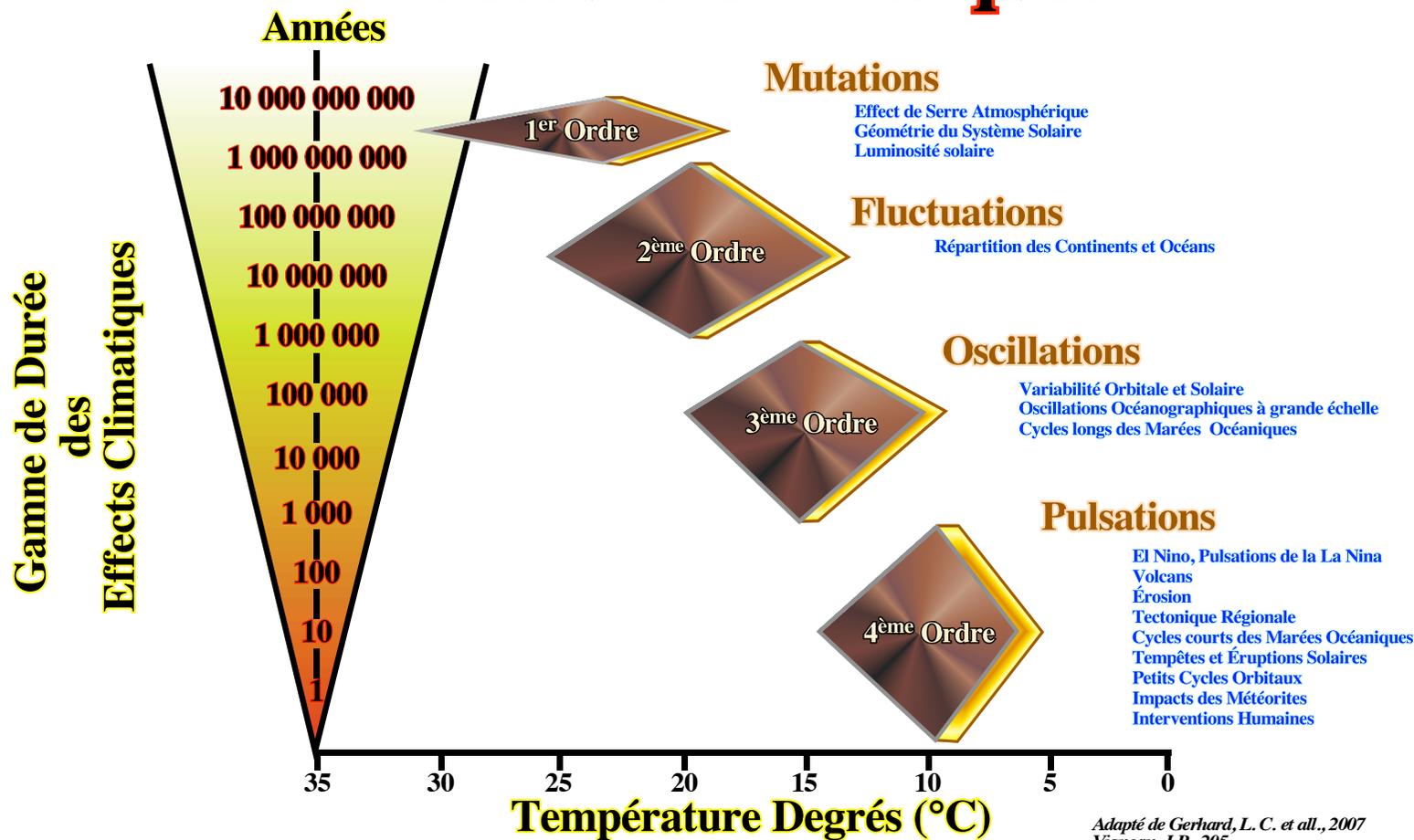
L'augmentation spectaculaire du niveau de la mer, annoncée par les médias et politiciens, est pour la population, la conséquence non seulement la plus connue mais aussi la plus dangereuse des changements climatiques.

Cependant, parlez des variations du niveau de la mer sans préciser la surface de référence et l'endroit de la Terre où elles ont lieu n'a pas de sens. Dire que le niveau de la mer s'élèvera de 2 ou 4 cm (Al Gore dans son livre dit 6 m) jusqu'à la fin du siècle sans dire quel niveau de la mer est pris en compte est un mensonge par omission.



Les variations du niveau de la mer et les changements climatiques, impliquent une hiérarchisation :

Facteurs Climatiques



- (i) **Mutations** - centaines de millions d'années et irréversibles ;
- (ii) **Fluctuations** - dizaines / centaines de millénaires et cyclique ;
- (iii) **Oscillations** - quelques siècles à millénaires et réversibles ;
- (iv) **Pulsations** - quelques années ou décennies et réversibles ;



**Mais c'est qui ce mec, qui nous parle
de Science?**



VI CONGRESO DE EXPLORACION Y DESARROLLO DE HIDROCARBUROS
"AMPLIANDO LAS FRONTERAS"
MAR DEL PLATA 15 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2005 - ARGENTINA



**Je suis un rationaliste critique
à la retraite**

Je m'explique.

Comme scientifique je soutient ceux qui pensent que:

a) La Science est conjecturale ;

b) Toute théorie doit être rationnellement critiquée et elle peut et doit être soumise à des tests qui peuvent la falsifier. La vérification d'une théorie est un chimère.

c) En Science, l'hypothèse (théorie) vient en premier ; les tests et observations suivent.

d) En Science, la vérité n'existe pas. Le rationalisme et la critique sont prépondérants. Les théories scientifiques peuvent simplement être réfutées, corroborées ou validées, mais jamais vérifiées. Observations peuvent valider une hypothèse, mais pas la vérifier.

e) La Science est un cycle sans fin, dans lequel une hypothèse proposée est falsifiée, puis une autre hypothèse est proposée à sa place, qui devient un nouveau candidat pour la falsification et ainsi de suite. La connaissance scientifique progresse par essais et erreurs

f) En Science, par définition, le consensus est une impossibilité. «Ce qui est dit partout, par tous et toujours a toutes les chances d'être faux» (Paul Valéry).

Learn from the Geoscience Giants

Ainsi, comme beaucoup de mes collègues, je ne dirais jamais, par exemple:



A. Bally



P. Vail

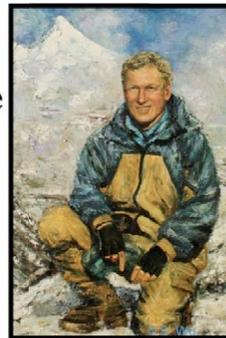


C. Cramez



L. Desheng

Think Globally
Think About People
Think Creatively
Systemic
Rigorous
Passionate



M. Jackson



Shengyu Wu

Learning with Machine in Prediction
Global Hydrocarbon Accumulations
using EarthBrain™

by Shengyu Wu, 2019

1) La Science est source d'autorité

*L'hypothèse derrière le consensus alarmiste est que la science est la source de l'autorité et que cette autorité augmente avec le nombre de scientifiques (qui sont d'accord). Mais la Science n'est pas une source d'autorité. C'est une approche d'enquête et d'analyse particulièrement efficace. Le **scepticisme** est essentiel à la Science ; le **consensus** l'est étranger.*

2) Il faut observer pour comprendre

Les hypothèses scientifiques sont formulées a priori pour expliquer les problèmes soulevés par les observations et ne sont pas construites à partir d'un ensemble d'observations détaillées utilisant une approche inductive.

Naïf inductive scientifiques, pensent que l'observations précède la théorie, qu'ils essaient de vérifier par induction. Ils ne critiquent jamais leurs hypothèses et commettent, en général, des paralogismes naturalistes glissant d'un discours déclinant sur le mode du «il est» à un discours basé sur l'affirmation "il faut" (I. E, Markó, 2014). L'expert a une connaissance des (faits), mais cela ne lui donne pas le pouvoir de déterminer ce qui doit ou devrait être fait (normes juridiques).

3) Il y a des Énergies Renouvelables

Il n'y a pas d'énergie renouvelable. Ce qui est renouvelable c'est le processus de transformation de l'énergie. La 1^{ère} loi de la Thermodynamique dit que quoi qu'il arrive, l'énergie de l'Univers est constante (elle ne peut pas être créée ou détruite, mais seulement changer d'une forme dans une autre).

4) Énergie Électrique, Atomique ou Chimique existent

*“Volens nolens” il n'existe que trois types d'énergie: 1) **Cinétique** (capacité de produire du travail à travers le mouvement) ; 2) **Potentielle** (capacité de produire du travail à travers la position) ; 3) **Rayonnement Électromagnétique** comme l'énergie de la lumière transportée du Soleil vers la Terre que nous chauffe et alimente la photosynthèse.*

Certains termes tels que énergie électrique, chimique, nucléaire, etc., qu'on entend souvent dans les médias sont des choses que n'existent pas. Ce ne sont que des abréviations pratiques pour des combinaisons spécifiques de l'énergie cinétique et potentielle. Ainsi, “l'énergie électrique” n'est que l'énergie potentielle des électrons de charge négative en présence de charges positives.

5) L'Électricité est un source d'Énergie

Comme il n'y a pas d'électricité dans la nature, elle ne peut pas être considérée comme une énergie primaire. Elle n'apparaît que comme énergie finale produite à partir de sources d'énergie primaire (charbon, gaz, pétrole, soleil, vent, les minéraux radioactives, etc.) avec des pertes production et transport très importantes ($\pm 40\%$) et des dégradations significatives des écosystèmes et de la biosphère.

L'énergie finale n'est pas l'énergie utile, autrement dit quand on allume une lampe électrique, pas toute électricité (énergie finale) est transformé en lumière (énergie utile), une partie est transformée en chaleur.

6) La Chaleur et le Travail sont des formes d'Énergie

L'énergie est la capacité de faire un travail (énergie dépensée pour déplacer un objet contre une force).

L'énergie n'est jamais perdue mais plutôt transformée d'une forme à une autre grâce au travail, autrement dit, il n'y a pas de consommation énergétique mais de transformation énergétique.

Le travail et la chaleur ne sont pas des formes d'énergie, mais des méthodes de transférer de l'énergie d'un endroit à un autre.

7) Énergie et Puissance sont équivalentes

La puissance est une quantité d'énergie par unité de temps, autrement dit la puissance multiplié par le temps donne l'énergie.

Un appareil électrique avec une puissance de 1000 watts, pendant 5 heures, transformera une énergie de 5000 wattheures (Wh) et non de 5000 watts par heure (W/h).

Dans le cas des aérogénérateurs, comme la puissance dépend à chaque instant de la force du vent, certains, pour des raisons évidentes parlent de puissance installée (puissance maximale que le système peut délivrer sous forme d'électricité) qu'ils confond allègrement avec énergie produite.

***Exemple:** La puissance installée d'un ensemble d'aérogénérateurs fourni de l'électricité pour 11000 habitations. Malheureusement, l'énergie produite n'alimente qu'environ 2000. Les simples mensonges, les mensonges par omission ou par sélection sont fréquentes dans le domaine de l'énergie.*

Depuis environ 20 ans, en Europe, en moyenne les aérogénérateurs ne produisent que 20-25 % du temps, i.e., pendant 80 à 75% du temps ils ne servent à rien.

8) Le stockage de l'énergie est facile et homogène

Le stockage est souvent très difficile et peut être dangereux et très hétérogène. L'énergie est stockée de façon très différente.

Selon les calculs de Cassoret, B. (2018):

A) 1 kWh (1000 wattheure) d'énergie peut être obtenu à partir de:

- 0,05 milligrammes d'uranium ;*
- 10 décilitres d'essence ;*
- 150 grammes de charbon ;*
- 250 grammes de bois ;*
- 1,07 kilogrammes de pommes de terre ;*
- 25 kilogrammes de batterie au plomb ;*
- 10 kg de batterie lithium-ion;*
- 3 mètres carrés de panneaux photovoltaïques ;*

B) Avec 1 kWh d'énergie on peut la transformer en faisant:

- 5 minutes de douche ;*
- 30 minutes de radiateur puissant (2000 W) ;*
- 1 heure de four à micro-ondes (1000 W) ;*
- 12 heures de télévision (123 cm, 85 W) ;*
- 100 heures de lampe LED (10 W) ;*
- 1 lessive au lave-linge ;*
- 1,7 kilomètres en voiture (essence, diesel 6 l / 100 km).*

Achtung

**Carlos,
Attention au temps. Il faut passer à la
différence entre Science et Pseudoscience.**



Pseudoscience est une discipline qui est présentée sous des apparences scientifiques ou faussement attribuée à la science, mais qui n'en a pas la démarche, ni la reconnaissance (Wikipédia)

Pour Karl Popper (1934)

Le Critère de Falsification

est

la Ligne de Démarcation entre Science et Pseudoscience

et non

le Critère Vérificationniste

des positivistes du Cercle de Vienna

Une théorie n'est jamais vérifiable empiriquement.

Un système n'est empirique ou scientifique que s'il est susceptible d'être soumis à des tests expérimentaux.

*Ainsi, l'énoncé “**Demain il pleuvra ou pas, dépend du temps**”, n'est pas considéré comme empirique, car il ne peut pas être testé, alors que l'énoncé “**Demain il pleuvra**” est considéré comme empirique.*

Scientifique



*Albert Einstein
(1879 - 1955)*

Les scientifiques acquièrent la connaissance par les faits, mais ça ne leur donne pas le pouvoir de déterminer ce qu'il faut faire.

Mes hypothèses peuvent être réfutées par des tests de falsification. Je peux me tromper.

En science, la vérité n'existe pas.

Le rationalisme et la critique sont prépondérants.

Les énoncés scientifiques peuvent être réfutés, corroborés ou validés, mais jamais vérifiés (en latin "verus" signifie vrai).

L'observation peut valider une hypothèse, mais pas la vérifier.

Les connaissances scientifiques progressent par des essais et erreurs.

La science est un cycle sans fin, dans lequel une hypothèse proposée est falsifiée, puis une autre hypothèse est proposée à la place, qui devient un nouveau candidat pour la falsification et ainsi de suite.

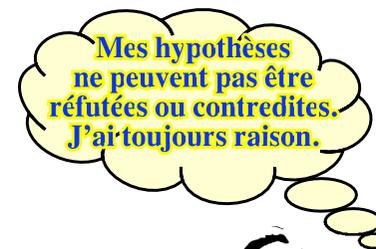
Dans la pseudoscience, les énoncés métaphysiques (infalsifiables) et le vérificationnisme sont primordiaux.

Les pseudoscientifiques utilisent souvent le «consensus» pour justifier leurs hypothèses:

"The entire global scientific community has a consensus on the question that human beings are responsible for the warming and President Bush has today, again, expressed personal doubts that is true"

(Al Gore, USA Today, 23 mai 2006)

Pseudoscientifique



*Albert Al Gore, Jr
(1948 -)*

Les pseudoscientifiques, ne critiquent pas leurs hypothèses et commettent des paralogismes naturalistes: ils glissent d'un discours déclinant sur le mode du «c'est» à un discours basé sur l'affirmation «il faut ou il exige»

Mes hypothèses ne peuvent pas être réfutées ou contredites. J'ai toujours raison.



Prof. Richard Sigmund Lindzen
(born in 1940)

Richard Lindzen est un physicien américain de l'atmosphère et Alfred P. Sloan professeur de météorologie au Massachusetts Institute of Technology.

Lindzen est connu pour son travail sur la dynamique de la moyenne atmosphère, les effets de marée atmosphérique et la photochimie de l'ozone. Il a publié plus de 200 articles et ouvrages scientifiques.

Il est l'un des principaux auteurs du chapitre 7, « Processus climatiques physiques et rétroactions », du 3^{ème} rapport d'évaluation du GIEC (2001) sur le changement climatique.

Il est un climatosceptique, dénonçant l'alarmisme en matière de réchauffement climatique et un critique de ce qu'il affirme être des pressions politiques exercées sur les climatologues pour les conformer à ce qu'il appelle l'alarmisme climatique.

(Source Wikipédia)

Alarme plutôt qu'une véritable curiosité scientifique, semble-t-il, est essentiel au maintien du financement et seuls les plus anciens scientifiques d'aujourd'hui peuvent se lever contre ce vent alarmiste et défier le triangle de fer des climatologues, médias et décideurs politiques.

"En ce qui concerne la Science, l'hypothèse derrière le consensus alarmiste est que la science est la source de l'autorité, et cette autorité augmente avec le nombre de scientifiques (qui sont d'accord). Mais la science n'est pas, avant tout, une source d'autorité. C'est une approche d'enquête et d'analyse particulièrement efficace. Le scepticisme est essentiel à la science; le consensus est étranger" (Lindzen, 2007).



De surcroît il ne faut pas oublier qu'en Science la "Théorie précède l'Observation" et que les scientifiques, comme tout le monde, ailleurs, voient avec le cerveau et pas avec les yeux.

suivant

Théorie Précède Observation

(Karl Popper, 1934)

**Il n'y a pas de choses telles que l'observation non interprétée.
Toutes les observations sont imprégnées de théorie.
Nous ne voyons pas avec nos yeux mais avec notre cerveau.**

Regardez cette image

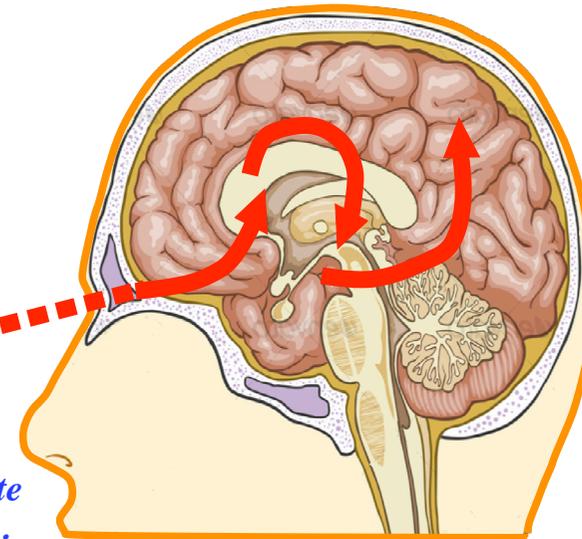


**Lorsque vous regardez un paysage,
vous ne reconnaissez que ce que vous
savez (ayant une image dans votre
cerveau) et ce que vous vous attendez à
voir.**

**Si vous vous attendez à voir sur cette
photo le visage d'un inca, vous le verrez
facilement.**



Si vous avez déjà, visité le Machu Picchu au Pérou (Théorie), vous avez la chance de reconnaître, sur cette photo (Observation) la beauté de l'architecture de la vieille ville péruvienne.



Des ondes électromagnétiques, sous forme de lumière blanche, éclairent cette photo. Une partie de la lumière blanche est absorbée et une partie réfléchi.

Des longueurs d'onde spécifiques pénètrent dans vos yeux, stimulent les cellules rétiniennes, provoquant des changements chimiques et électriques complexes dans votre cerveau et se retrouvent au centre visuel à l'arrière de votre cerveau. Ainsi, vous voyez avec votre cerveau une représentation interne de l'image et non la réalité (Robinson, D. 2005).

Un scientifique, comme n'importe qui d'autre, voit uniquement ce qu'il sait et ce qu'il s'attend à trouver. Si vous ne savez pas ce qu'est un «jet de rivet», vous ne le trouvez jamais, même si vous passez des heures à regarder la mer. Dans l'épistémologie K. Popper toute observation est chargée de théorie, i.e., chaque fois que vous utilisez un énoncé empirique pour remettre en question une théorie, vous vous appuyez sur une théorie de base qui façonne votre observation. Cependant, vous ne pouvez pas dire que l'observation est vraie, puisque la théorie de base qui la façonne peut être fausse. Toute théorie scientifique est assistée d'observations et les observations sont contrôlées par la théorie.



Les scientifiques peignent des images de la réalité en construisant des modèles, qui sont souvent exprimés dans la langue des mathématiques.



Les scientifiques essaient d'encoder des événements du monde réel par des symboles et des règles d'un formalisme mathématique, puis ils utilisent ce formalisme pour générer des prédictions.

Un Modèle Scientifique est

Une représentation d'une idée, d'un processus ou d'un système utilisé pour décrire et expliquer des phénomènes qui ne peuvent pas être expérimentés directement

L'œuvre d'art du surréaliste belge René Magritte :
“ La Trahison des Images (Ceci n'est pas une pipe) ”
est très illustrative sur le sujet des modèles.

La Trahison des Images
(1928-1929, oil painting on canvas 59 x 65 cm)



René Magritte

L'intention de Magritte était de faire prendre conscience aux gens qu'une image ou un modèle ne doit pas être confondu avec ce qu'il représente.

«Être» et «Représentation» ne sont pas synonymes (Wynn, C. M. et al., 1997).

Contrairement à l'idée qu'en Science les observations sont les faits sur lesquels reposent les hypothèses scientifiques, il faut dire que la majorité des hypothèses ont été formulées *a priori* pour expliquer les problèmes soulevés par les observations.

Les hypothèses ou théories scientifiques n'ont pas été construites à partir d'une collection d'observations détaillées utilisant une approche inductive. Des observations détaillées peuvent être divertissantes et fascinantes, mais, dans la réalité, nous apprenons par des généralités».... a écrit P. Bak, en 1996.



Les modèles et simulations révèlent, surtout, les mécanismes généraux.



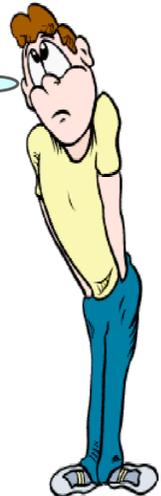
L'ellipsoïde de référence de la Terre, par exemple, n'est qu'un modèle simplifié du monde qui nous entoure, i.e., une représentation mathématique lissée de la surface du niveau de la mer ignorant les effets des marées, courants saisonniers et vagues.



Une telle surface de référence correspond la surface mathématique qui serait prise par le niveau de la mer si la Terre était traversée par des canaux dans toutes les directions.

- Séparer les signaux locaux des signaux globaux ;
- Déterminer les relations des modèles globaux, à la fois, dans le temps et entre eux ;
- Rechercher les forces qui conduisent les divers processus.

Quel sont les principales tâches du scientifique moderne ?



Cependant,

Le succès de certains modèles n'est que le résultat d'une propagande incessante dans les systèmes éducatifs.

Les règles, lois ou modèles scientifiques ne sont pas absolus comme beaucoup veulent croire.

Ce qui est scientifique ou non est un phénomène dépendant du temps.



For you, doc, anything.
But before all, it must be said
that:

Carlos,
now, you must go to the "Sea level
changes" and say, since the beginning, that
there are two main types of sea level.

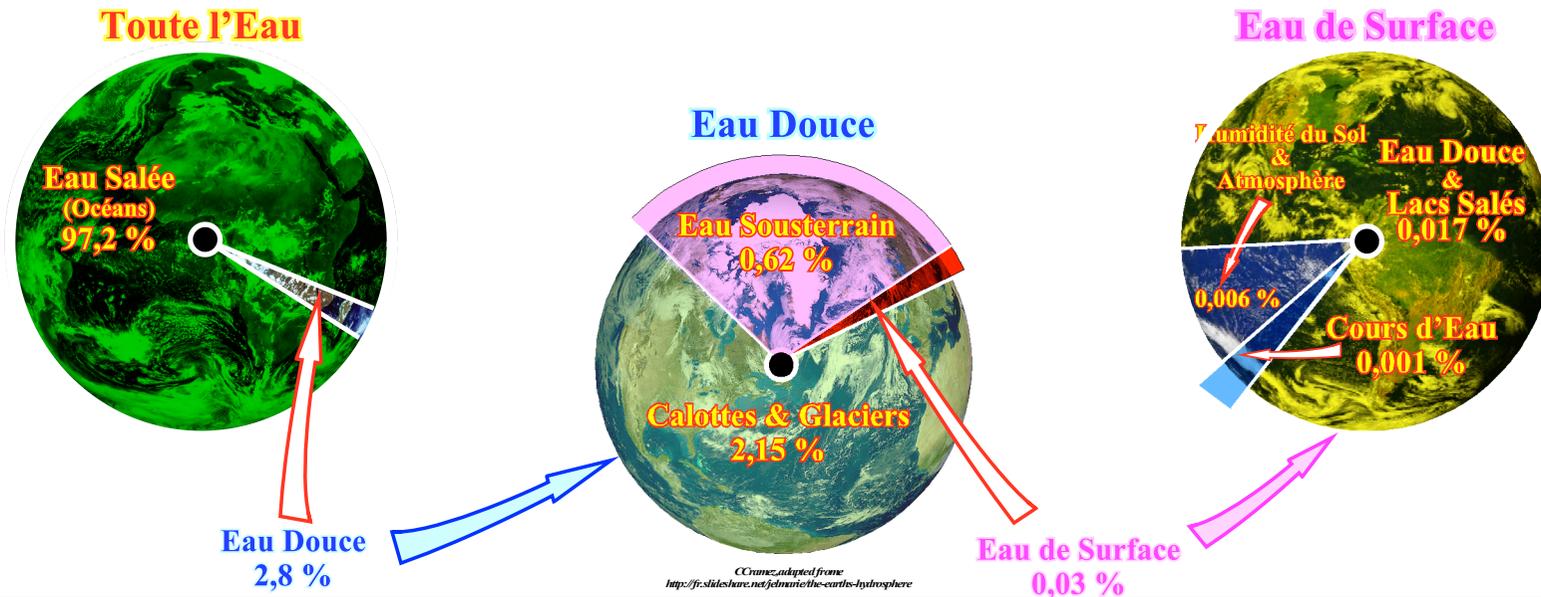


Peter Vail

- A** La Terre est un système presque fermé (elle n'a pas une couverture parfaitement scellé).
- B** La plupart des molécules de vapeur d'eau se déplaçant dans l'espace sont capturées par gravité, seul un petit sous-ensemble atteignant la vitesse de fuite ne l'est pas.
- C** La Terre est, constamment, bombardée par des météorites, dont certaines peuvent contenir de l'eau, ainsi que des comètes, qui contiennent beaucoup d'eau.

Malgré cela, on peut dire:

La quantité d'eau, sous toutes ses formes est constante dès la formation de la Terre (4.5 Ga)

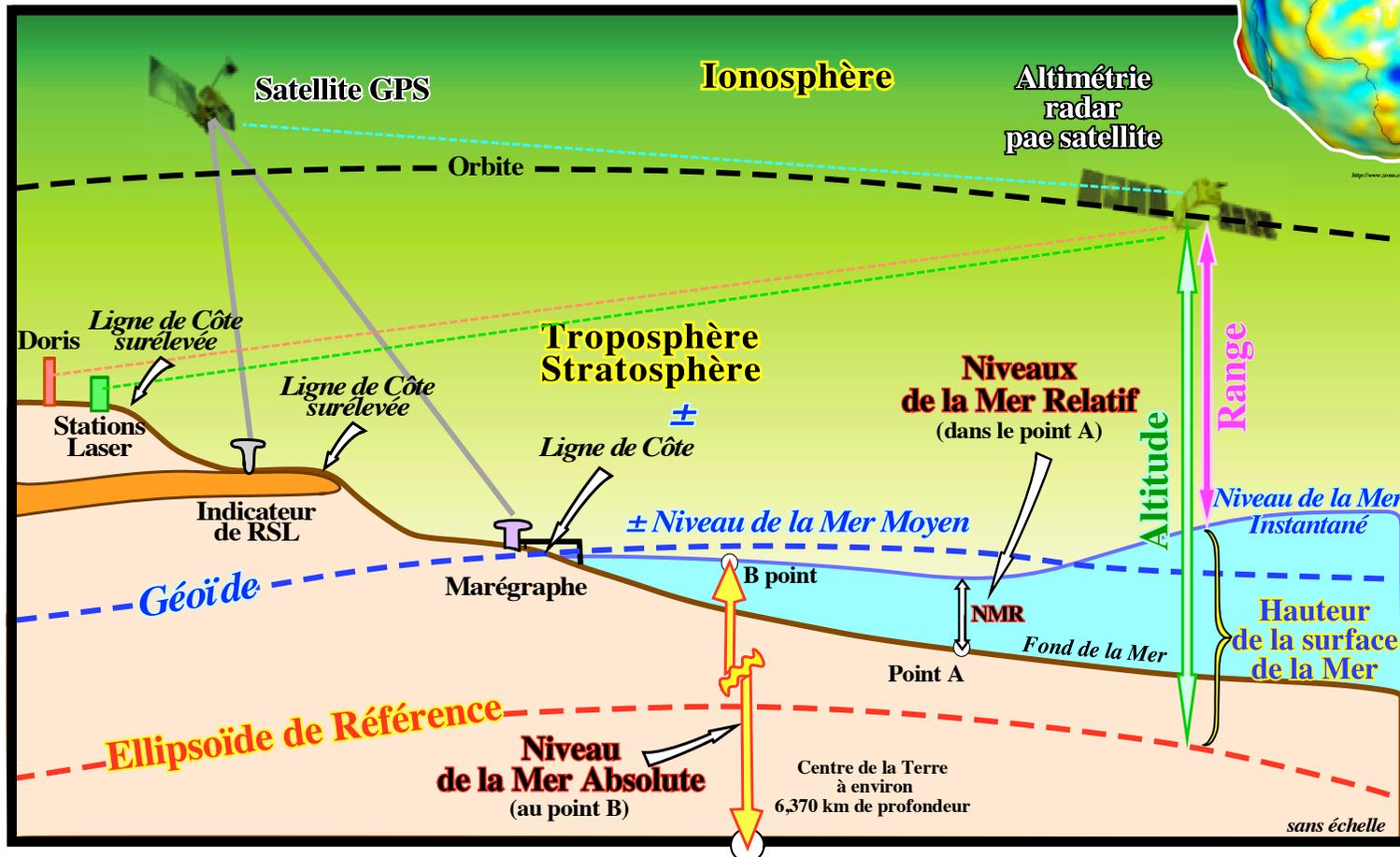
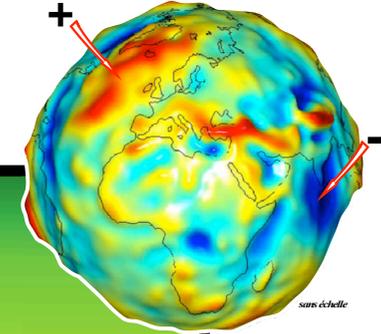


Fonction du niveau de référence,
on peut considérer :

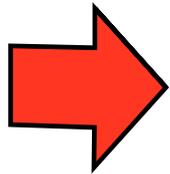
- (i) Le **Niveau de la Mer Absolue (NMA)** ou Eustatique
- et
- (ii) Le **Niveau de la Mer Relatif (NMR)** ou Local.

**Le Niveau de la Mer (NM)
est sphérique et
variabement ondulé**

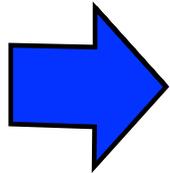
Anomalies de la Gravité
(Africa & Europe)



sans échelle

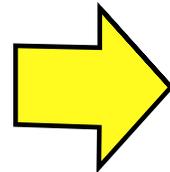


Le **Niveau de la Mer Absolue ou Eustatique (NMA)** est celui qui est référencié par rapport au Centre de la Terre ; il est dépendant de plusieurs facteurs comme on le verra par la suite.



Le **Niveau de la Mer Absolue Relatif (NMR)** est celui qui est référencié par rapport à un point de la surface terrestre, qui peut être le fond de la mer ou la base des sédiments (top de la croûte continentale).

Ainsi,



Le **NMR** est le résultat de la combinaison du **NMA** et des mouvements (soulèvement ou affaissement) du fond sde la mer, autre dit, de la Tectonique.

Le terme Eustasie est utilisé, aujourd'hui, dans un sens tout à fait différent de la définition originale de Suess (affaissement crustal et dépôt de sédiments).



Alex Mörner

La définition d'Eustasie la plus difficile à réfuter est:

**Changements verticaux du NM,
quelles que soient leurs causes**

Les principales causes d'**Eustasie** (changements du niveau de la mer
quelles que soient leurs causes) sont :

(i) Epeiro-Eustasie (Subsidence ou Soulèvement du Fond de la mer),
contrôle l'espace disponible pour les sédiments (acomodation) ;

(ii) Glacio-Eustasie,
contrôlée par les variations du volume de l'eau des océans ;

(iii) Tectono-Eustasie,
contrôlée par les changements de volume des bassins océaniques ;

(iv) Geoïdale-Eustasie,
contrôlée par la distribution de l'eau des océans induite par les variations du champ de gravité terrestre ;

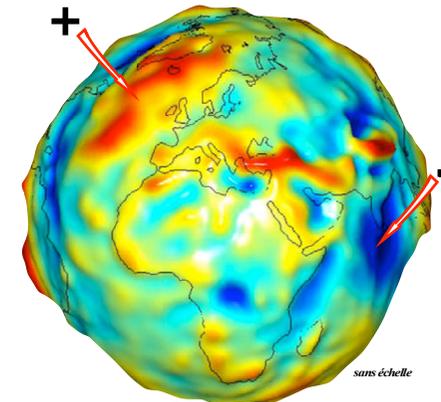
(v) Expansion Océanique Thermique (Montée Thermostérique du NM),
si la température de l'eau des océans augmente, la densité de l'eau diminue, et pour une masse constante, le
volume augmente.

Remarquons cependant:



- 1** **Glacio-Eustasie** et **Tectono-Eustasie** sont des variations eustatiques qui, parfois, sont considérées, globales et uniformes.
- 2** Pour un certains géoscientistes, elles ne peuvent être ni globaux ni uniformes, car toute cause du changement du NM affecte aussi le géoïde terrestre.
- 3** Si cela est vrai, aucune courbe eustatique est valable globalement.
- 4** Pendant le dégel des calottes glaciaires, en réponse à la charge d'eau ajoutée aux bassins océaniques, le NM sera abaissé et en réponse à la charge supprimée, le continent sera soulevé.
- 5** La redistribution des matériaux à l'intérieur de la Terre qui est affectée par la surcharge de la tranche d'eau forcera davantage les variations de la surface de l'océan créées par les anomalies gravitationnelles, como illustrée à coté. Par conséquent des nouvelles redistributions de l'eau des océans seront nécessaires pour essayer d'égaliser le potentiel gravitationnel. Ainsi, on comprend facilement pourquoi le niveau de la mer (NM) est grossièrement sphérique avec des ondulations d'amplitude diverses.
- 6** Ces processus rétroactifs gravitationnels continus entre les calottes glaciaires, les océans et le continent déterminent, en fin de compte, les signatures relatives du NM qui sont observées partout où le continent et l'océan se rencontrent.
- 7** Uniquement les changements glacio-eustatiques sont à la fois importants (> 10 m) et rapides (< 1 My, i.e., inférieurs à 1 million d'années).

Anomalies de la Gravité
(Africa & Europe)



C. Crane, adapted from:
<http://www.zona.com/detail-en-2009-11-16-11-265/Gravity-anomalies-of-Africa-and-Europe.html>

Regardons tout ceci en détail

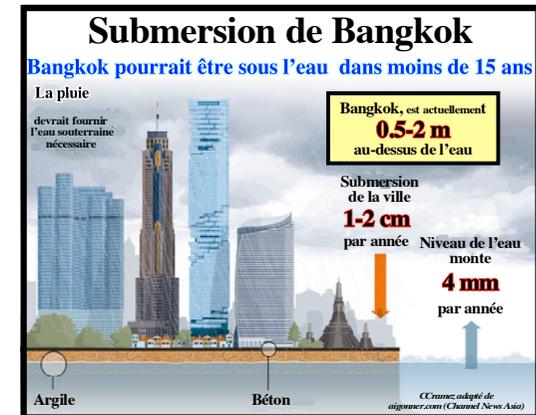
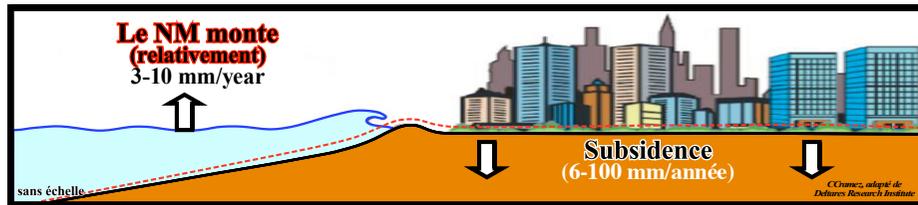


(i) Epeiro-Eustasie

(i.a) Subsidence

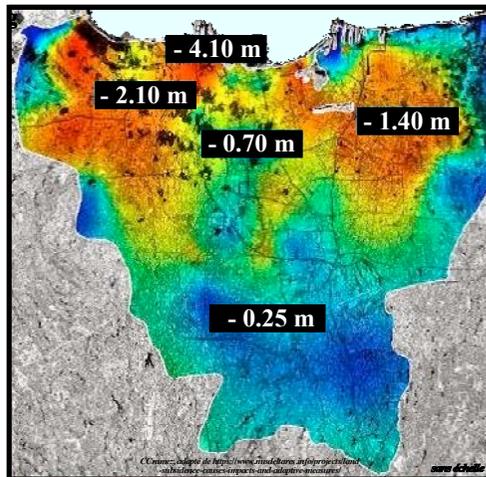
(NM monte de façon relative)

La subsidence du fond de la mer augmente l'espace disponible pour les sédiments (accommodation)



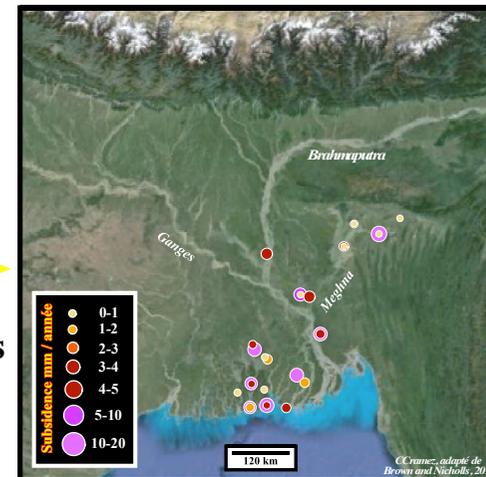
L'argile dans laquelle se trouve la ville doit retenir l'humidité, sinon elle sèche et devient peut s'affaisser. Eaux souterraines est nécessaire pour permettre à l'argile de supporter le béton de l'étalement urbain l'empêchant de s'infiltrer dans les zones rigides.

Subsidence / Année



Poids des Bâtiments
Jakarta

Subsidence / Année

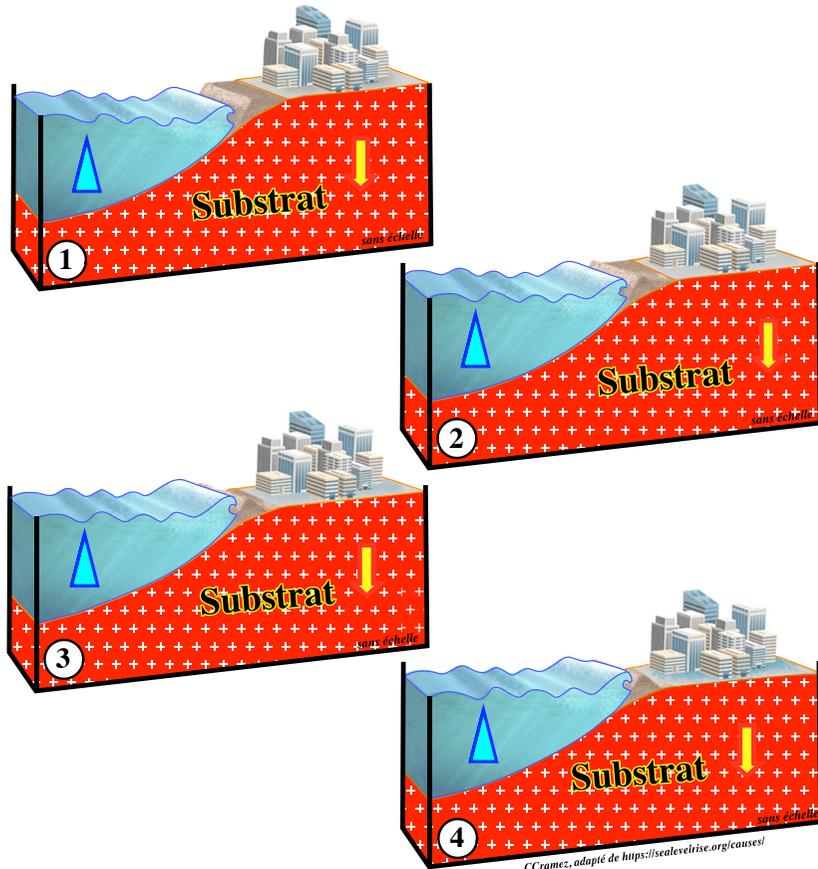


Poids des Sédiments
Bengladesh

Dans certains endroits, la tectonique (affaissement ou soulèvement du fond marin) peut être plus importante que l'Eustasie. Une montée significative du NM peut survenir par: (i) L'affaissement anthropique du fond marin, comme c'est le cas sur de nombreux littoraux proches des grandes agglomérations, comme la ville de Jakarta, en Indonésie ou (ii) L'affaissement naturel (poids des sédiments), comme c'est le cas de la construction du delta du Gange, notamment au Bangladesh. Le cas de Bangkok est particulièrement intéressant, car en plus du poids des bâtiments s'ajoute un affaissement supplémentaire, induit par une extraction exagérée de l'eau du substrat. En général, on peut dire que toutes les villes littorales construites sur un substrat sédimentaire récent, s'affaisseront si le nombre de bâtiments est exagéré. Un tel affaissement induit une ingression marine locale, c'est-à-dire un déplacement du rivage vers le continent, qui ne doit pas être interprété comme une montée du NM absolu (comme prétendent certains médias et politiciens), mais comme une montée du NM relatif, i.e., c'est le fond de la mer qui descend et non le NM qui monte.

(i) Epeiro-Eustasie

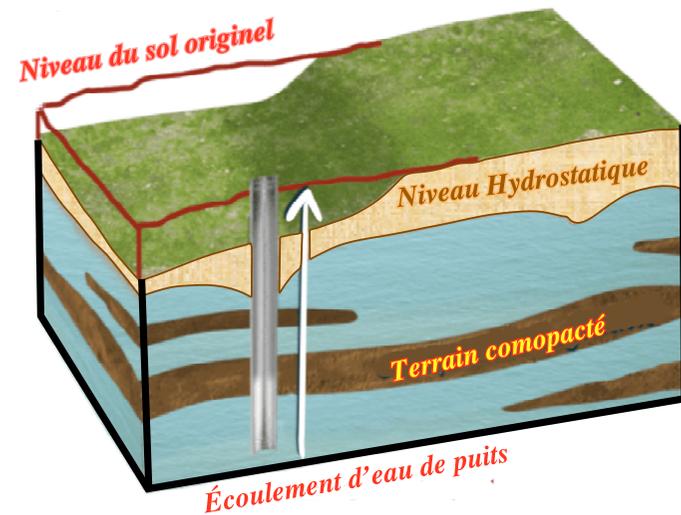
Poids des bâtiments



Niveau de la Mer Relatif

Rétrécissement des terres

Extraction de l'eau souterraine



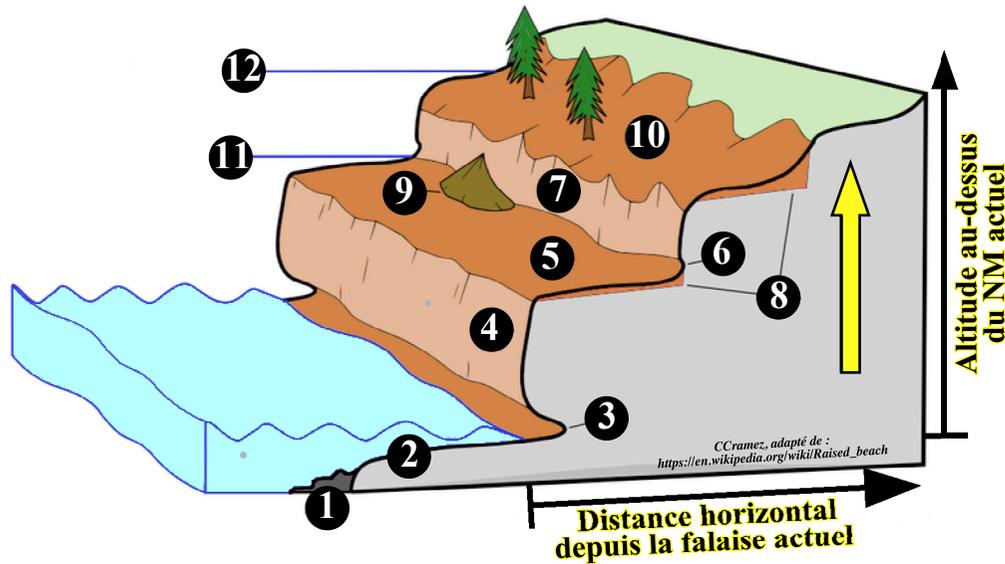
L'enfoncement des terrains contribue, généralement, peu à la montée du NM, mais dans certains endroits, il est responsable de plus de la moitié de la montée du NM. Le NM peut être mesuré par rapport à un point de la surface terrestre (fond de mer ou base des sédiments, i.e., le top de la croûte continentale), ce qui signifie que lorsque le sol s'enfonce, le NM relatif monte. La montée du NM est plus rapide dans des villes, car les sédiments situées sous ces villes sont en train de subsider. Cet enfoncement déplace les terrains vers le bas, plus proche du NM, accélérant une montée du NM relatif. En Californie, la surface terrestre s'élève en raison des changements dans les plaques tectoniques, raison pour laquelle le NM relatif n'augmente pas aussi vite que dans d'autres endroits des USA. Dès que les gens pompent de l'eau hors du sol, des espaces se forment où elle se trouvait, ce qui induit l'enfoncement le sol pour remplir l'espace vide. Cela représente à $\pm 80\%$ de l'enfoncement des terres aux États-Unis. La montée du NM relatif est plus rapide le long de la côte Est et de la côte du Golfe du Mexique, où la surface terre s'enfonce de $\pm 2,5$ cm tous les 5 à 10 ans. L'Alaska s'élève de plus de 2,5 cm tous les 3 ans. La plupart des villes côtières se situent quelque part entre les deux, avec un léger affaissement des terres.

(i) Epeiro-Eustasie

(i.b) Soulèvement

(NM descend de façon relative)

Un soulèvement du fond de la mer diminue l'espace disponible pour les sédiments induisant une érosion et un déplacement vers la mer des dépôts côtiers



1- Falaise /rampe de marée basse ; 2- Plate-forme littorale actuelle /abrasion platform ; 3- Encoche actuel / bord intérieur ; 4- Falaise actuelle, 5- Plate-forme littorale ancienne / plate-forme d'abrasion ; 6- Encoche ancien / bord intérieur ; 7- Paleo-falaise ; 8- Dépôts de terrasse ; 9- Éventail Alluvial ; 10- Plate-forme littorale ancienne / plate-forme d'abrasion ; 11- Paleo-NM II , 12- Paleo-NM I.

La majorité des plates-formes côtières et plages surélevées reflètent les changements du NM relatif induits par la dégel des calottes glaciaires pendant la période glaciaire du Quaternaire. Le soulèvement est dû au rebond isostatique, i.e. à l'élévation du continent en réponse à la décharge induite par la fonte de la glace des calottes glaciaires. Au cours de la dernière période glaciaire, la majeure partie de l'Europe du Nord, Asie, Amérique du Nord, Groenland et Antarctique était couverte par calottes glaciaires, manteaux glaciaires et mers de glace. L'épaisseur de la glace atteignait environ 3 000 mètres au dernier maximum glaciaire, soit à environ 21 ka. L'énorme poids de cette couche de glace a forcé la croûte à se déformer en forme de cloche inversée, obligeant les matériaux du manteau terrestre à s'écouler de la zone surchargée. Dès que la température a augmenté et que la glace a commencé à fondre, la suppression de la surcharge de la région engloutie a provoqué un soulèvement de la zone et un retour des matériaux du manteau terrestre à sa position initiale. Compte tenu de la viscosité des matériaux du manteau, il faudra probablement plusieurs milliers d'années à la surface de la Terre pour atteindre un équilibre isostatique. Pour une épaisseur de glace d'environ 2 000 m, le terrain subsiste d'environ 700 mètres (la densité de glace correspond à environ 1/3 de la densité du manteau).



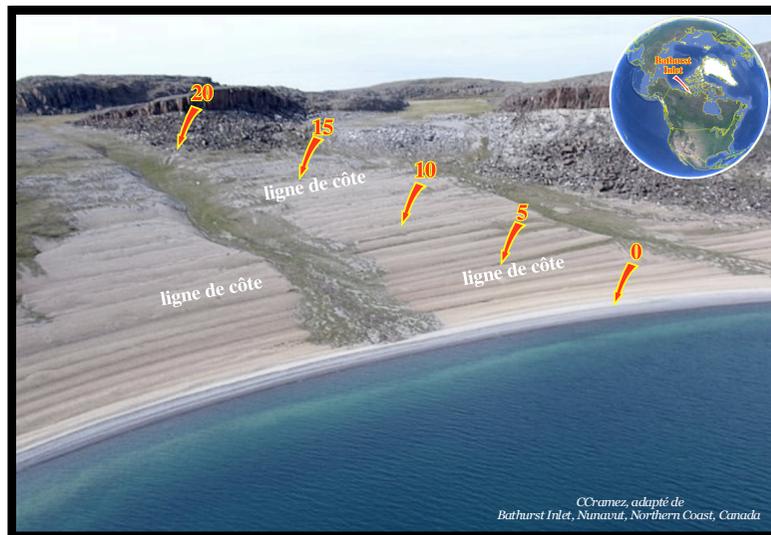
Dans la région de Turakirae Head, près de Wellington, une série de petites plages surélevées indique le soulèvement progressif de l'extrémité sud de la chaîne de Rimutaka induit par de tremblements de terre majeurs. Vers l'intérieur de la plage actuelle se trouve une plage qui a été surélevée de 6,4 m en 1855. Plus en arrière, se trouve une plage surélevée datée d'environ 2300 ans. Une petite plage surélevée, près de la base des collines, indique l'endroit où le rivage était à environ 5000 ans.

(i) Epeiro-Eustasie

Rivages Surélevés Terraces

(Chute de NM Relatif)

Soulèvement (chute du NM relatif)
induit, principalement, par la
tectonique (raccourcissements,
tremblement de terre, etc.)

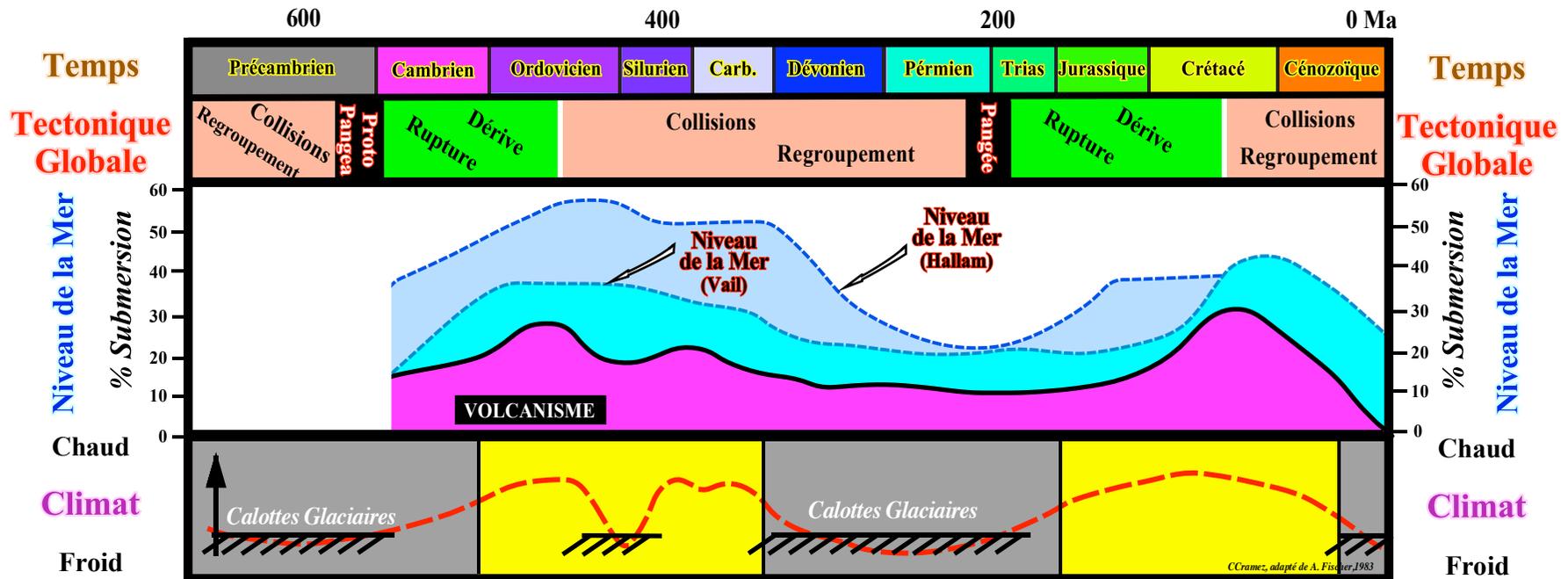
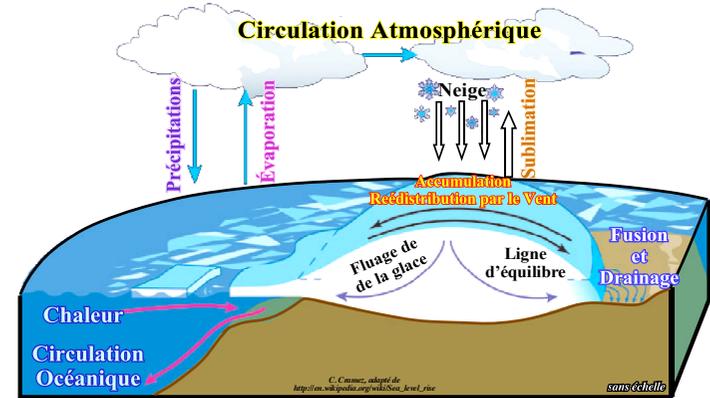


Soulèvement (chute du NM
relatif) induit, surtout, par le
rebond post-glaciaire après la
dernière période glaciaire

Les plages surélevées, caractérisées par être au-dessus du champ d'action des agents marins, marquent l'ancien NM, soulignant les anciens rivages. Les régressions marines sont, principalement, induites par le soulèvement des continents (conséquence du rééquilibrage isostatique suite à la fonte des glaciers et calottes glaciaires). Elles se forment durant les périodes interglaciaires de haut NM. Les déplacements du rivage sont bien connus sur la côte norvégienne, où les chutes du NM relatif ont été induites par le rebond isostatique après la glaciation quaternaire. Les terrasses marines se forment de la même manière dans des nombreux environnements côtiers. Ils sont des indicateurs du NM dans un passé lointain. Les paleo NMs sont déterminés par l'élévation des rivages intérieurs (où le terrasse de la plate-forme d'abrasion rencontre la paléo-falaise. Les périodes de stabilité du NM fournissent la durée nécessaire à l'action des vagues pour éroder, partiellement, les terrasses.

(ii) Glacio-Eustasie

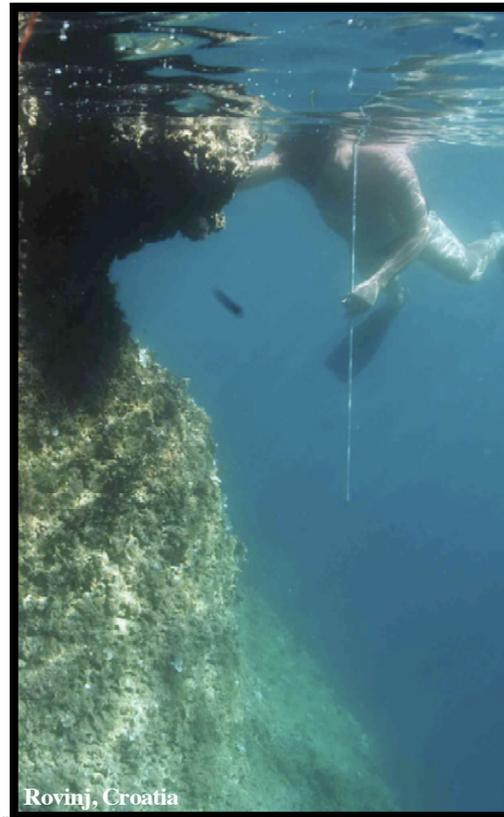
Glacio-Eustasie est contrôlée par des variations du volume d'eau océanique



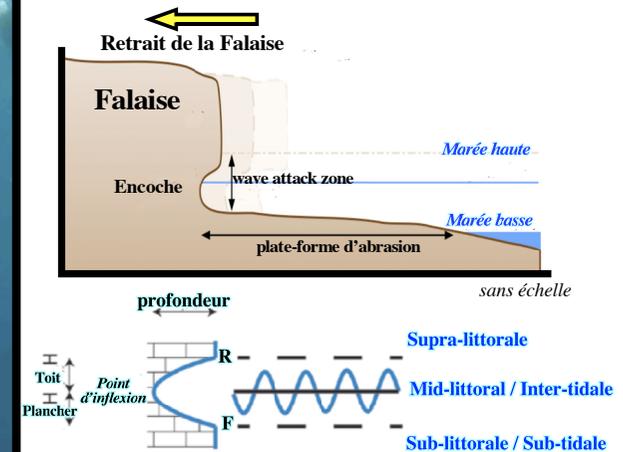
Lors des glaciations, le NM Absolute baisse. Au contraire, lors du dégel, il monte. Le NM Absolute est montée d'environ 120 m au cours des millénaires qui ont suivi la fin du dernier âge glaciaire (± 21 ka) et il s'est stabilisé entre 3 et 2 mil ans en arrière. Une attention particulière doit être accordée aux manteaux glaciaires et calottes glaciaires (masses de glace couvrant, respectivement moins et plus de 50000 km² d'un continent) ainsi qu'aux plates-formes ou mers de glace (glace épaisse mais flottante qui est déchargée ou formée, directement, à la surface de la mer). La fonte des premiers implique une montée du NM, contrairement à la fonte des seconds qui produit une basse vue que la glace est moins dense que l'eau. Au cours de la dernière période glaciaire, l'étendue maximale des calottes glaciaires et des mers de glace (hémisphères nord et sud) a été atteinte, à peu près, au même moment dans les deux hémisphères, il y a ± 19000 ans. La glacio-eustasie est, parfois, considéré erronement comme global et uniforme ; car toute cause d'une variation du NM affecte également le géoïde terrestre, donc pas de globalité.

(ii) Glacio-Eustasie

Montée du NM Absolute (submersion des encoches de marée)



Formation d'un Encoche de Marée & d'une Plate-forme d'Abrasion



Cramez, adapté de
<https://www.internetgeography.net/topics/cliffs-wave-cut-platforms/>

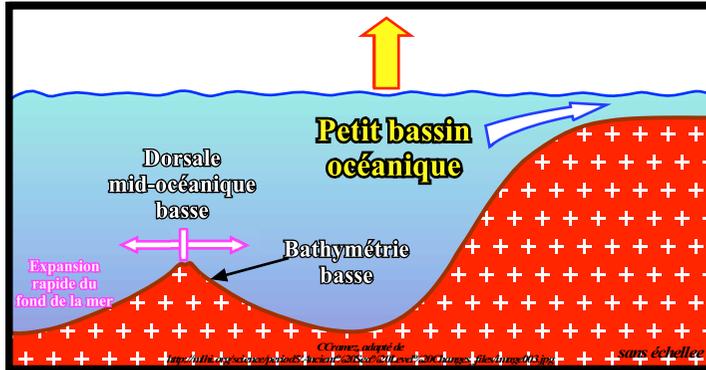
Le NM dans le passé repose, en grande partie, sur l'interprétation des indicateurs de niveau de la mer, comme des paléo-encoches de marée, qui sont considérés comme l'un des indicateurs les plus précis, car leur formation est, étroitement, liée à l'amplitude des marées locales. La photo de gauche illustre un encoche de marée submergée à 2,2 m sous le niveau de la mer à Duino (Trieste, Italie). La photo de droite illustre un encoche de marée (0,8 mètre au-dessous du NM) trouvée à Rovinj en Croatie. Les deux sont d'excellentes preuves d'une récente montée du NM relative, dans laquelle le facteur eustatique était, largement, prépondérant sur le facteur tectonique. Comme le montre le croquis à droite des photos, lors de la formation d'une plate-forme d'abrasion (zone plate étroite souvent trouvée à la base d'une falaise de mer créée par l'érosion, évidente à marée basse) la mer a fait un encoche dû action hydraulique et abrasion des vagues, en particulier, sur la zone d'attaque des vagues associée principalement à la marée haute. Le transport des débris, à contre-courant, érode la base de la falaise formant une plate-forme d'abrasion. Dès que le poids de la falaise n'est pas soutenue elle s'effondre. Les intempéries (chimiques, biologiques et gel-dégel) affaiblissent également le sommet de la falaise.

(iii) Tectono-Eustasie

La Tectono-Eustasie est contrôlée par les variations de volume des bassins océaniques

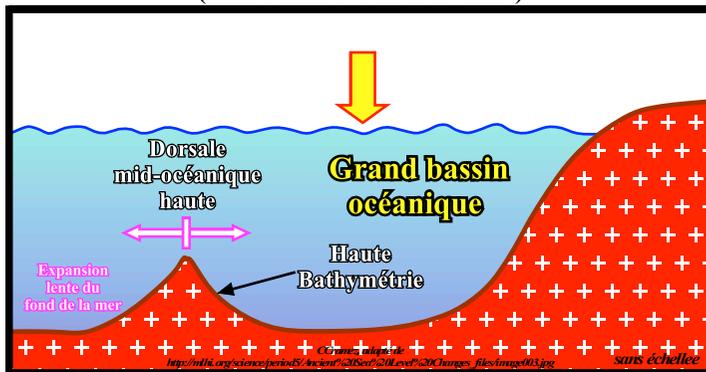
Conditions de NM haut

(Montée du Niveau de la Mer)



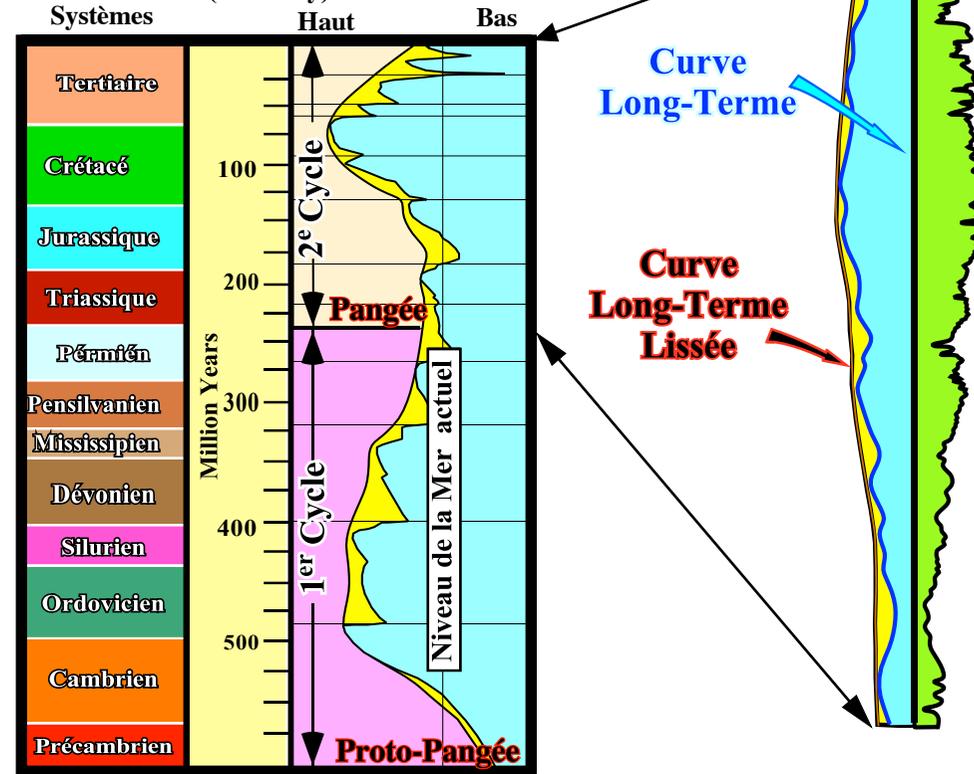
Conditions de NM bas

(Chute du Niveau de la Mer)



Cycles Eustatiques de 1^{er} Ordre

(> 50 My)

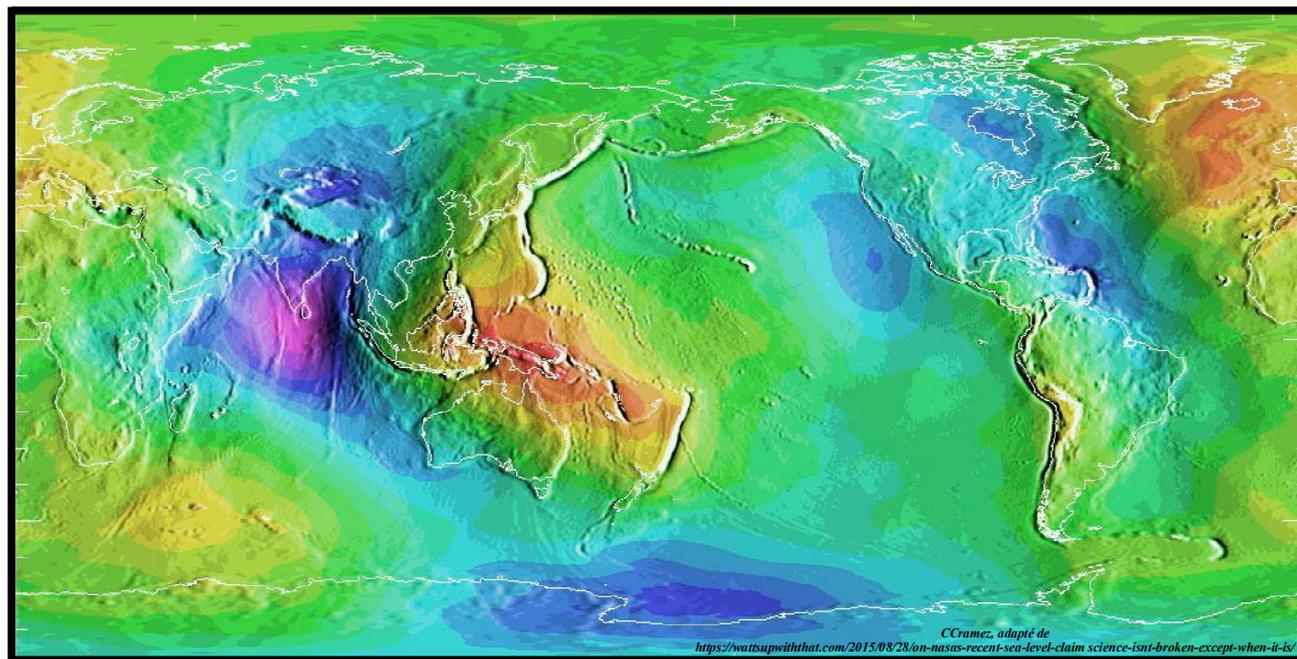


Le maximum eustatique du Paléozoïque, avec un NM 200-250 m plus haut qu'à l'heure actuelle, s'est produit à environ 500 Ma, quand la dispersion des continents paléozoïques était maximale. Le maximum eustatique du Mésozoïque / Cénozoïque, avec un NM 150-200 m plus haut qu'aujourd'hui, s'est produit à ± 91,5 Ma lorsque la dispersion des continents postérieurs à la Pangée était maximale. Dès que les continents ont commencé à se rapprocher les uns des autres pour former un nouveau supercontinent, le NM Absolute (eustatique) a chuté. Il a atteint une hauteur minimale au moment de la formation du nouveau supercontinent. En supposant que la quantité d'eau (sous toutes ses formes) est constante depuis la formation de la Terre (± 4,5 Ga), il est évident qu'à l'époque des supercontinents, le volume des bassins océaniques était important (moins de dorsales océaniques) et le NM Absolute bas. Au contraire, lorsque le volume des bassins océaniques est faible (beaucoup de hautes dorsales océaniques), i.e, quand les continents, créés par la rupture d'un supercontinent, sont éloignés, le NM Absolute est haut. Tectono-Eustasie et Glacio-Eustasie sont des changements eustatiques, qui sont, parfois, à tort, considérés comme globaux et uniformes.

(iv) Geoïdale-Eustasie

Geoidal-Eustasie est contrôlée par la distribution de l'eau causée par les changements du champ de gravité terrestre

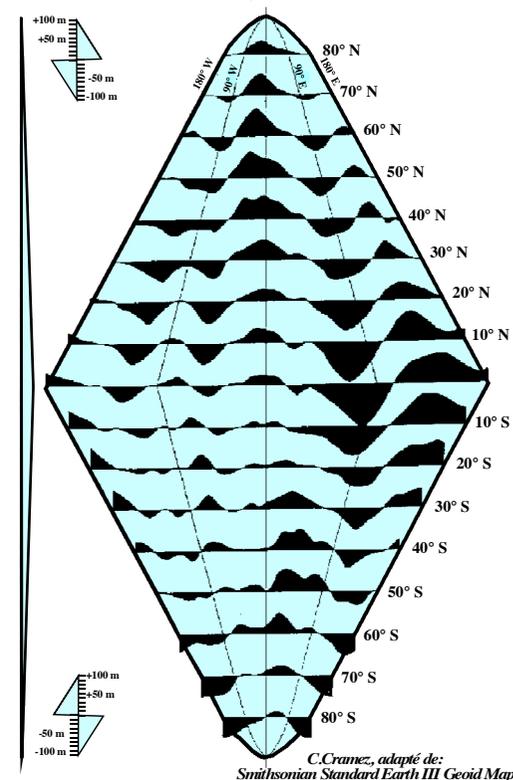
Carte des Anomalies de Gravité



Gravité au-dessus de la moyenne

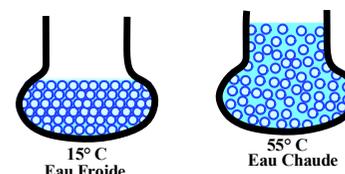
Gravité au-dessous de la moyenne

Profils du Niveau de la Mer



Les profils du NM (Smithsonian Standard Earth Geoid Map III) et sur la carte des anomalies gravimétriques, montrent des irrégularités importantes avec des valeurs très différents. Cela signifie que le NM, contrairement à une idée très répandue, n'est pas plat. L'amplitude des ondulations est exagérée d'un facteur 100 000 par rapport au rayon de la Terre. Les valeurs élevées (où le NM est plus élevé) correspondent aux zones de la Terre où la force de gravité est inférieure à la normale. De la même manière, lorsque les valeurs de la force d'attraction sont élevées, le NM est bas. Cela résulte du fait que les matériaux terrestres ne sont pas distribués ni uniformément ni en couches, parfaitement concentriques. Si tel était le cas, le géoïde, i.e., la surface équipotentielle qui aurait le niveau moyenne des océans, s'ils étaient en équilibre, sans mouvement et continuerait sous les continents, coïnciderait avec la surface de la Terre. Entre les zones où le NM est élevé, comme près de la Nouvelle-Guinée et les zones où il est plus bas que la normale, comme aux Seychelles, il y a une différence d'environ 180 mètres.

(v) Expansion Océanique Thermique (Montée Thermostérique du NM)



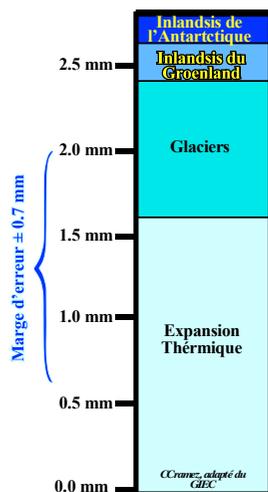
Une augmentation de la température de 1° ferait montée le NM d'environ 30 cm.

Si la température des océans augmente, leur volume augmente. Selon le GIEC, la hausse de la température des océans est induite par l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère.

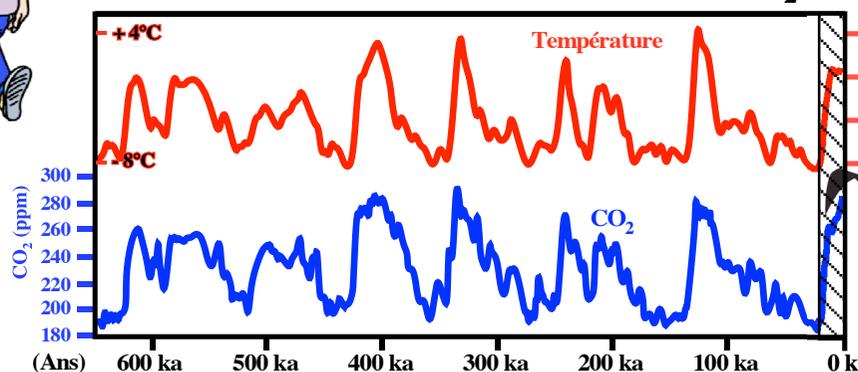
Pas si sûr, jetez un œil à ces graphiques



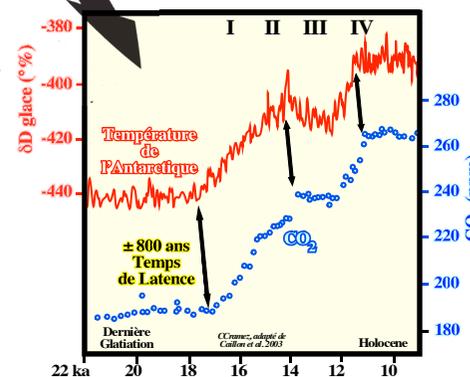
Elevation du NM (mm) entre 1993-2003 selon le GIEC



Curves de la Température & CO₂



Ces courbes, établies à partir des résultats de carottes de glace prélevées dans différentes parties du monde, y compris Vostok (Antarctique) sont, souvent, utilisées pour montrer que l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère (en bleu) provoque l'augmentation de la température (en rouge). Cependant, corrélation n'est pas causalité. De surcroît, il y a un retard variant entre 500 et 1000 ans entre ces curves. (les variations de température précèdent les variations de CO₂). Le détail de ces curves entre 22 ky et aujourd'hui suggère un délai de ± 800 ans entre variations du CO₂ et de la température.



Si la température des océans augmente, la densité de l'eau diminue et, pour une masse constante, le volume augmente. C'est ce que les scientifiques appellent l'expansion thermique des océans ou montée stérique de la mer. Tout le problème est de savoir si c'est l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère qui augmente la température ou si c'est l'augmentation de la température des océans qui libère du CO₂ dans l'atmosphère. La capacité de l'eau à maintenir une certaine quantité de CO₂ dissous est fonction de sa température. Plus la température de l'eau est basse, plus elle supporte du CO₂ dissous. Aux hautes latitudes, l'eau de surface est glacée avec de fortes concentrations de CO₂ atmosphérique dissous. Quand la surface de la mer gèle, le sel est tenu à l'écart du processus de congélation et se dissout dans l'eau, sous la mer de glace. Quand la mer est glacée et salée, avec beaucoup de CO₂ atmosphérique dissous, l'eau devenant plus dense coule le long du talus continental des plates-formes polaires, envahissant les régions plus profondes des bassins océaniques.