

## LES FONDS MARINS VUS DE L'ESPACE

### 1/ La surface de la mer n'est pas horizontale, pourquoi ?

Suite à l'affirmation : la surface de la mer n'est pas horizontale et présente donc une pente, j'en vois déjà qui s'esclaffent et qui répondent qu'il y a les vagues et la houle.

Ils ont effectivement raison.

D'autres ajouteront : il y a la marée.

Ils ont aussi raison.

Certains, déjà moins nombreux, mais connaissant le pays, feront remarquer que lors du passage d'une dépression, notamment d'un cyclone, le niveau de la mer monte et on a à la côte, ce qu'on appelle des surcotes<sup>1</sup>.

Ils auront également raison.

Ceci s'explique, en particulier, par le fait que le poids de l'atmosphère au dessus de la mer (pression atmosphérique) étant plus faible à l'endroit de la dépression, alors qu'il est bien plus fort à l'endroit des hautes pressions, la masse d'eau compense et se surélève là où les pressions atmosphériques sont faibles en s'abaissant là où elles sont fortes.

D'autres encore, sans doute encore moins nombreux que les précédents,

vous expliqueront que sous l'effet de circulations atmosphériques établies : les alizés par exemple il y a déficit d'eau à la côte d'un côté (par ex les côtes sous le vent de l'Afrique du Nord Ouest, ou celles du Chili), et accumulation au vent, vers l'Ouest (les Antilles ou le Centre du Pacifique) d'eau poussée par les vents venant généralement de l'Est. Ceci induit donc une pente de la mer. Celle-ci est plus basse du côté du Maroc et de la Mauritanie et plus haute vers le centre et l'Ouest Atlantique ou basse sur les côtes chiliennes et péruviennes et plus haute vers l'Ouest du Pacifique.

Ceux-là auront encore raison !

Et on peut indiquer ici, mais on le développera sans doute plus tard, que si la mer a une pente sur de nombreux kilomètres, plus haute d'un côté et plus basse de l'autre, la mécanique des fluides fera, que pour compenser le déficit à la côte (côtes du Maroc et de la Mauritanie ou côtes du Chili dans notre exemple), de l'eau venant du fond remontera vers la surface du côté du déficit. C'est ce qu'on appelle un phénomène d'*upwelling*<sup>2</sup>, mais c'est une autre histoire...

On voit donc que cette sacrée mer que nous aimons tous présente des comportements que nous n'aurions pas implicitement imaginés...

Mais ce n'est pas fini ! L'eau est certes incompressible mais, juste pour vous compliquer un peu le tableau, je vous indique aussi qu'elle se dilate !

Eh oui, si vous réchauffez un liquide celui-ci se dilate et prend donc plus de place. Les océans étant bordés de continents, le réchauffement de la masse d'eau, sous l'effet de ce que l'on appelle le réchauffement climatique ne peut qu'entraîner une remontée des eaux sur les bords. On nous dit dans les journaux, les médias, à la télé : « Que la raison de la remontée du niveau de la mer est parce que les glaciers fondent ! ». Ce n'est pas totalement faux mais ce n'est certainement pas l'unique et principale raison. En effet une part des glaces sont des glaces de mer. Or si dans un verre (prenons l'exemple je crois assez connu des marins que vous êtes d'un verre de pastis par exemple), vous faites fondre des glaçons, le niveau ne montera pas, en raison du principe d'Archimède (figure 1). Seule donc la fonte des glaciers terrestres peut être un élément de la remontée du niveau marin. Sans occulter le fait que la fonte de calottes glaciaires est factuelle, les résultats scientifiques actuels montrent que

c'est la dilatation des eaux marines qui majoritairement explique la remontée du niveau de la mer.

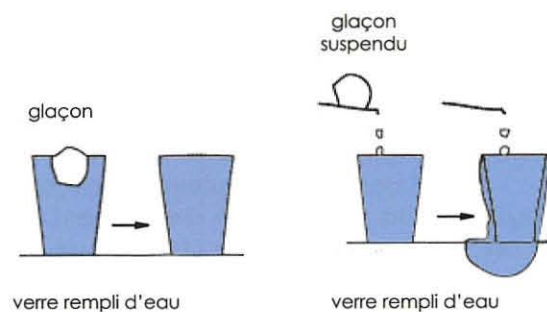
Encore un fait que le public n'appréhende peut-être pas vraiment bien.

Mais ce n'est pas tout ! Je vais passer rapidement sur un élément complémentaire qui est que là où existe une grande circulation marine : le Gulf Stream, le Kuro Shivo par exemple, il y a une bosse de la mer !

Surprenant et pourtant oui, il y a une veine de courant, et nous prendrons l'image suivante : une veine bien alimentée de votre corps fait une bosse sous votre peau. Pour la mer, c'est la même chose.

Donc tout cela nous amène à comprendre que cette sacrée mer, malgré le bel horizon qu'en bateau vous savez appréhender, n'est pas plate du tout ; loin s'en faut !

J'en arriverai enfin - et m'arrêterai là - pour vous dire qu'il y a un phénomène supplémentaire, bien plus récemment vérifié et mesuré (une trentaine d'années), qui est celui qui nous intéresse dans ce dossier et qui est que la surface



< Figure 1 : à gauche la fonte du glaçon déjà contenu dans un verre ne fait pas remonter le niveau, à droite la fonte d'un glaçon extérieur au liquide contenu par le verre fait déborder le verre (d'après EDUSCOL, ENS de Lyon).



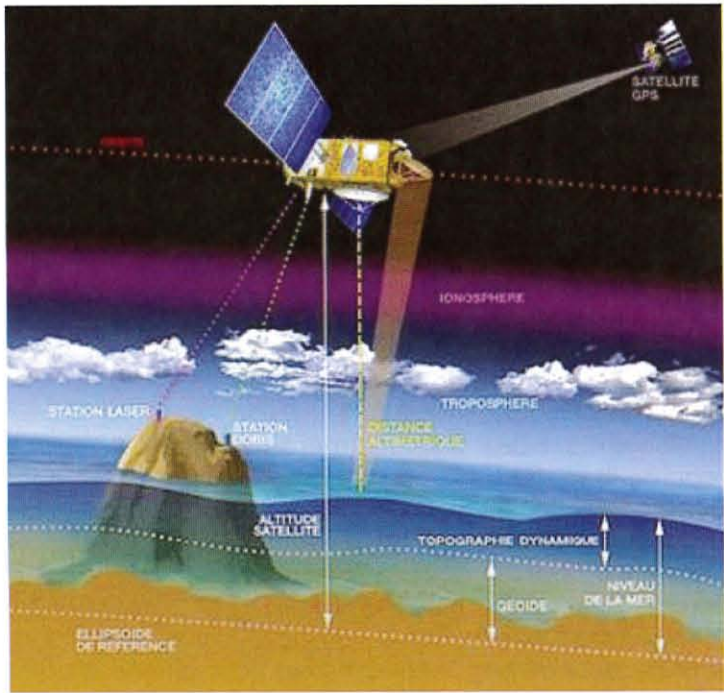


Figure 2 : principe de la mesure altimétrique (source site AVISO).

de la mer présente des bosses là où il y a des hauts fonds et présente des creux là où il y a des plaines abyssales profondes ou des fosses.

Tout simplement, vous le savez tous, le fond de la mer n'est pas plat. Il y a des hauts-fonds, des montagnes sous-marines, souvent ici, dans le Pacifique, des volcans sous-marins, des plateaux mais aussi des trous comme des fosses, des plaines profondes... Or cette topographie du fond entraîne des anomalies de gravité qui ont pour conséquence une déformation permanente de la surface de la mer.

On pourra résumer ainsi : au dessus d'une montagne sous-marine qui par effet positif de gravité attire de l'eau il y a une bosse en surface et au dessus

d'une zone de grande profondeur, où la croûte terrestre est plus mince et la gravité est plus faible, il y a moins d'eau, donc un creux en surface.

Cette déformation, par exemple comme bosse au dessus d'un haut-fond, représente quelques dizaines de centimètres pour une petite structure sous-marine et plusieurs dizaines de mètres pour un volcan majeur.

Alors, si vous m'avez suivi, tout ceci est important !

En effet si on peut mesurer ces différences de hauteur de la surface de la mer qui sont directement liées à la topographie du fond on peut en tirer une image de cette topographie. Ceci est à l'origine de plusieurs produits

que vous utilisez tous ou presque au moins très fréquemment : des cartes générales des fonds marins comme on vous l'explique et vous le montre ci-après.

## 2/ Comment mesurer la pente de surface de la mer et en tirer une image de la topographie du fond ?

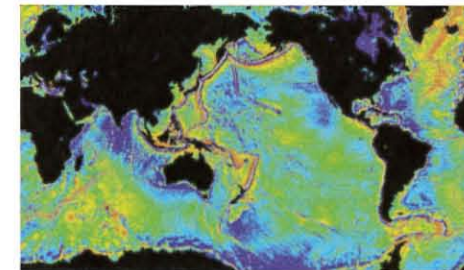
Ceci n'est effectivement pas implicite mais la réponse à cette question nous est apportée par l'altimétrie satellitaire.

En effet si l'on place un altimètre, qui est un radar, sur un satellite, celui-ci va émettre vers la surface de la mer une onde ou un signal à très haute fréquence (plus de 1700 impulsions par seconde) qui sera réfléchi par cette surface et reviendra vers l'altimètre. Le temps mis par cette onde (vitesse de la lumière) dans son trajet aller/

retour du satellite au satellite via la réflexion en surface de la mer, après correction des modifications du parcours de l'onde radar selon le taux d'humidité de l'atmosphère par exemple... permet de calculer très précisément la distance entre le satellite et la surface dite distance altimétrique (figure 2).

Puisque le but recherché est de mesurer le niveau de la mer par rapport à un référentiel terrestre, il faut également

connaître avec une extrême précision la position du satellite. Ceci est possible grâce à des systèmes de positionnement laser, des satellites GPS ou encore des systèmes comme DORIS, développé par le CNES, qui se base sur des balises (une cinquantaine) placées à la surface du globe qui par mesure de l'effet Doppler<sup>3</sup> permettent de connaître la vitesse du satellite, sa trajectoire sur son orbite et donc sa position par rapport à la terre et notamment l'altitude satellite vis à vis d'un ellipsoïde de référence. La précision de cette mesure est meilleure actuellement que 3 centimètres.



Carte n°1 : topographie et la bathymétrie de l'océan mondial prédites à partir de données satellitaires altimétriques (source SCRIPPS Institution USA)

Pour tirer de la mesure de la distance satellite-surface de la mer, la mesure de la surface « stable » de la mer, qui est liée à la topographie du fond, outre la connaissance précise du positionnement du satellite il faut effectuer plusieurs

corrections qui sont possibles grâce à un ensemble de modèles relatifs aux déformations dites de topographie dynamique que sont la marée, la circulation générale, l'effet du vent, des modifications de pression atmosphérique... (figure 2).

L'ensemble de ces étapes étant abouti on obtient ce qui est nommé géoïde (figure 2) qui reflète les variations d'attraction terrestre d'un point à un autre,



variations d'attraction qu'on a vues liées aux différences de masse, de densité et de topographie du sous-sol sous-marin.

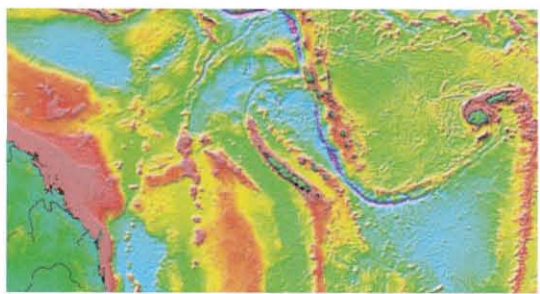
**3/ Un peu d'histoire sur l'altimétrie satellitaire.**

Le premier altimètre placé sur un satellite a été celui de SKYLAB et GEOS 3 au début des années 1970 suivi de la mission SEASAT américaine en 1978 et GEOSAT en 1985 qui ont véritablement jeté les bases de l'altimétrie satellitaire et de ses applications qui dépassent celle de la topographie sous-marine explicitée ici mais que nous ne traiterons pas. Par la suite la France (le CNES) se rapproche de la NASA américaine en 1987 pour mettre au point la mission TOPEX-POSEIDON, puis de nouvelles missions favorisant la combinaison des outils embarqués : ERS-2 de l'Agence Spatiale Européenne (1995), GFO (1998), JASON 1 (2001), ENVISAT (2002) etc... permettent d'assurer une couverture spatiale étendue et une augmentation de la précision des mesures.

**4/ Mais que sont ces images liées à la topographie du fond et où les trouve-t-on ?**

On présente page précédente une carte (carte n°1) produite par la SCRIPPS

aux Etats Unis qui représente la topographie et la bathymétrie de l'océan mondial prédites à partir de données satellitaires altimétriques selon la méthode explicitée plus haut.



Carte n°2 : détail de la topographie et la bathymétrie de la région néo-calédonienne entre Australie et Fidji. Source : site TOPEX de la SCRIPPS Institution

On y retrouve les fosses, les plaines abyssales, les dorsales océaniques, des hauts-fonds et plateaux volcaniques, des chaînes de monts sous-marins...

Désormais des cartes issues de l'altimétrie satellitaire, complétées de données bathymétriques réelles obtenues par des campagnes océanographiques avec des sondeurs multifaisceaux par exemple - mais les bateaux ne sont pas passés partout, surtout ici dans l'immensité du Pacifique ! - sont progressivement accessibles.

On présente ci-dessus, (Carte n°2), pour la région qui nous concerne, un extrait de fond de carte du site TOPEX de la SCRIPPS Institution de San Diego.

Et on y ajoute ci-après (carte n°3), un fond de carte produit par la DTSI sur la ZEE de Nouvelle-Calédonie qui est basé sur des données d'altimétrie et des données de bathymétrie acquises lors de campagnes hydrographiques et océanographiques. On note sur cette carte des zones ou le détail des objets du

fond (la centaine de mètres), obtenu par levé bathymétrique classique, est précis (autour de la Grande Terre, monts sous-marins en son Sud, Ride de Fairway en son Ouest), et celles où les levés de bathymétrie classique sont quasi inexistantes et où la topographie du fond est dérivée de l'altimétrie avec une résolution au sol de 2 à 5 kilomètres, par exemple dans le Bassin d'Entrecasteaux, au Nord de Fairway.

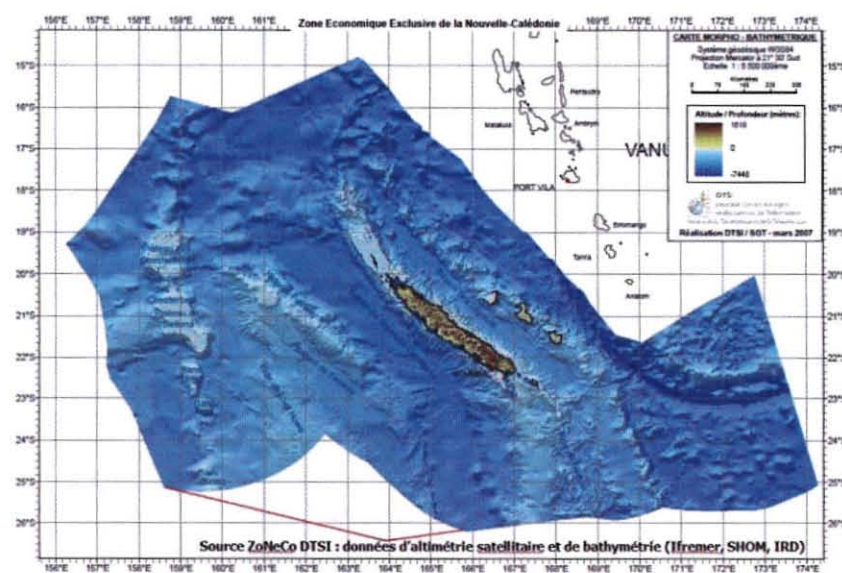
**En guise de conclusion.**

La mesure altimétrique a offert et continue d'offrir de très nombreux progrès dans la connaissance du domaine sous-marin. Si elle a permis de retrouver des structures sous-marines déjà connues

telles que les dorsales, grandes fosses, plateaux présentés sur la carte elle a aussi permis d'identifier des structures totalement inconnues ou très incomplètement cartographiées. Ainsi des centaines de milliers de petits volcans sous-marins ont été localisés et répertoriés.

Certes la mesure altimétrique satellitaire ne permet pas une bathymétrie précise pour les besoins de recherche ou d'hydrographie conventionnelle ; toujours est-il qu'elle offre une aide considérable aux levés et à la planification d'opérations lourdes de cartographie hauturière ainsi que le montre les figures suivantes (cartes 4 et 5) tirées d'une campagne océanographique récente de l'Ifremer au sud des Marquises (campagne POLYPLAC).

Carte 3 : Carte morpho-bathymétrique de la ZEE de Nouvelle-Calédonie.



Source ZONECo DTSI : données d'altimétrie satellitaire et de bathymétrie (Ifremer, SHOM, IRD)



Et puis nous vous invitons à vous reporter au site [Georep.nc](http://Georep.nc), ou encore à Google Earth et vous constaterez que le fond bathymétrique général qui vous permet ensuite de zoomer sur des zones d'intérêt est constitué d'une cartographie essentiellement tirée, aux petites échelles, de l'altimétrie satellitaire.

#### Pour en savoir plus :

##### Sur la fonte des glaces et l'élévation du niveau de la mer :

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planet-terre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-fonte-des-glaces.xml>

##### Sur les principes de l'altimétrie satellitaire et ses applications :

[http://wwz.ifremer.fr/grands\\_fonds/Les-moyens/Les-equipements/Les-satellites](http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-moyens/Les-equipements/Les-satellites)  
<http://www.aviso.oceanobs.com/fr/altimétrie/principe/principe-de-base/index.html>

[http://topex.ucsd.edu/marine\\_grav/explore\\_grav.html](http://topex.ucsd.edu/marine_grav/explore_grav.html)

##### Sur l'utilisation des données de cartographie altimétrique en appui à une campagne océanographique lourde ; POLYPLAC :

<http://wwz.ifremer.fr/ncal/Bienvenue/Carnet-de-bord-POLYPLAC>

##### Sur les applications innovantes :

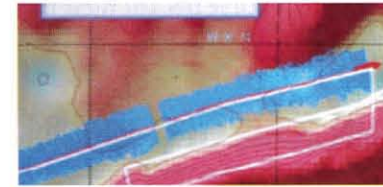
<http://www.zdnet.fr/actualites/avec-ocean-google-earth-50-explore-les-fonds-marins-39386907.htm>

#### NOTES

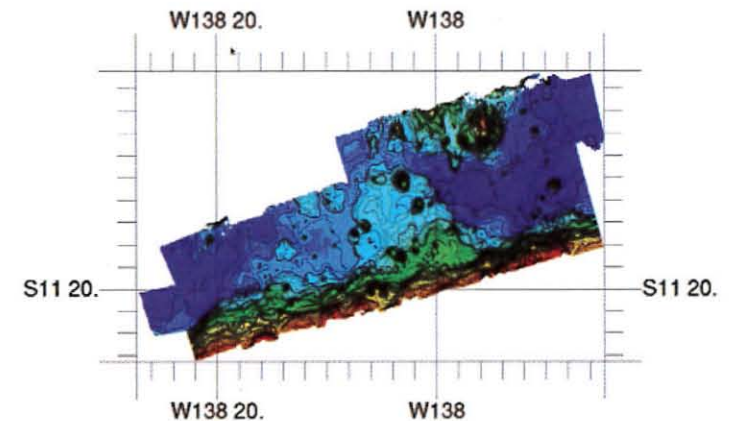
<sup>1</sup> Une surcote est un dépassement « anormal » du niveau de la marée haute ou du recul de la marée basse, induit par des conditions météorologiques inhabituelles combinant leurs effets à ceux des marées.

<sup>2</sup> Upwelling signifie remontée d'eau en anglais. Si des vents soufflent de la côte vers la mer, ils entraînent avec eux l'eau qui se trouve en surface. S'ils soufflent le long de la côte et que celle-ci est à leur droite dans l'hémisphère sud (ou à leur gauche dans l'hémisphère nord), la force de Coriolis va faire tourner les courants créés par les vents vers le large. Dans ces deux cas, la couche d'eau en surface est emmenée vers le large. Le vide qui est alors créé est compensé par les eaux de fond qui vont remonter.

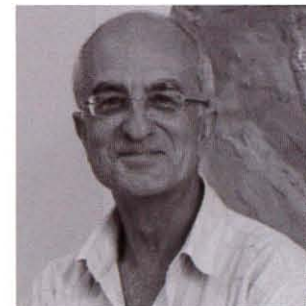
<sup>3</sup> L'effet Doppler se manifeste par exemple pour les ondes sonores dans la perception de la hauteur du son d'un moteur de voiture, ou de la sirène d'un véhicule d'urgence. Le son est différent selon que l'on est dans le véhicule (l'émetteur est immobile par rapport au récepteur), que le véhicule se rapproche du récepteur (le son est plus aigu) ou qu'il s'éloigne (le son est plus grave). Cet effet est utilisé pour mesurer une vitesse. Il est d'une grande importance en astronomie car il permet de déterminer directement la vitesse d'approche ou d'éloignement des objets célestes ou spatiaux.



Carte 4 : Extrait de la route du Navire Atalante (navire en rouge à droite) au Sud des Marquises, reportée sur fond altimétrique satellitaire (hauts-fonds en rouge) résolution kilométrique.



Carte 5 : même région levée au sondeur multifaisceaux EM122 Simrad du N/O l'Atalante (Résolution la vingtaine de mètres). La carte tirée de l'altimétrie satellitaire (carte 4) avait bien mis en évidence les éléments topographiques majeurs de la zone : le volcan sous-marin au Nord-Est de l'image, la ride continue au Sud, le seuil et la présence de micro-volcans au centre de l'image.



## Lionel Loubersac

Délégué de l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) en Nouvelle-Calédonie.