

# ÉLÉVATION DU NIVEAU DES MERS

## *I. OBSERVATION DU PHÉNOMÈNE*

### I.1 Observations marégraphiques

En France, seuls les sites de Brest et de Marseille possèdent les données requises pour détecter une tendance à long terme du niveau de la mer. En effet, les fluctuations des niveaux moyens annuels sont telles que la tendance ne peut être détectée que si la durée des observations est voisine du siècle.

Plusieurs enseignements peuvent être déduits des tracés des moyennes annuelles des hauteurs d'eau relevées sur ces marégraphes, présentés sur les figures 1 et 2 :

- 1) Les niveaux, tant à Brest qu'à Marseille augmentent en moyenne approximativement de 1,2 mm par an.
- 2) L'élévation du niveau moyen à Brest était déjà sensible avant le début de l'ère industrielle et ne présente pas d'accélération perceptible, ce qui semble exclure l'influence de l'effet de serre.
- 3) Les fluctuations sont telles qu'une tendance ne peut être détectée avec un degré de confiance suffisant que si l'on dispose d'une durée minimale d'observation de l'ordre du siècle : les conclusions qui peuvent être déduites de durées plus courtes n'ont que peu de valeur.
- 4) A Marseille, on constate une diminution sensible depuis le début des années 60 (cette diminution est également constatée en d'autres sites méditerranéens). Une publication récente avance l'hypothèse d'une augmentation de la densité de la Méditerranée due à un déficit en apport d'eau douce par les fleuves et les précipitations.

### BREST (MAREGRAPHE) – Moyennes annuelles du niveau de la mer

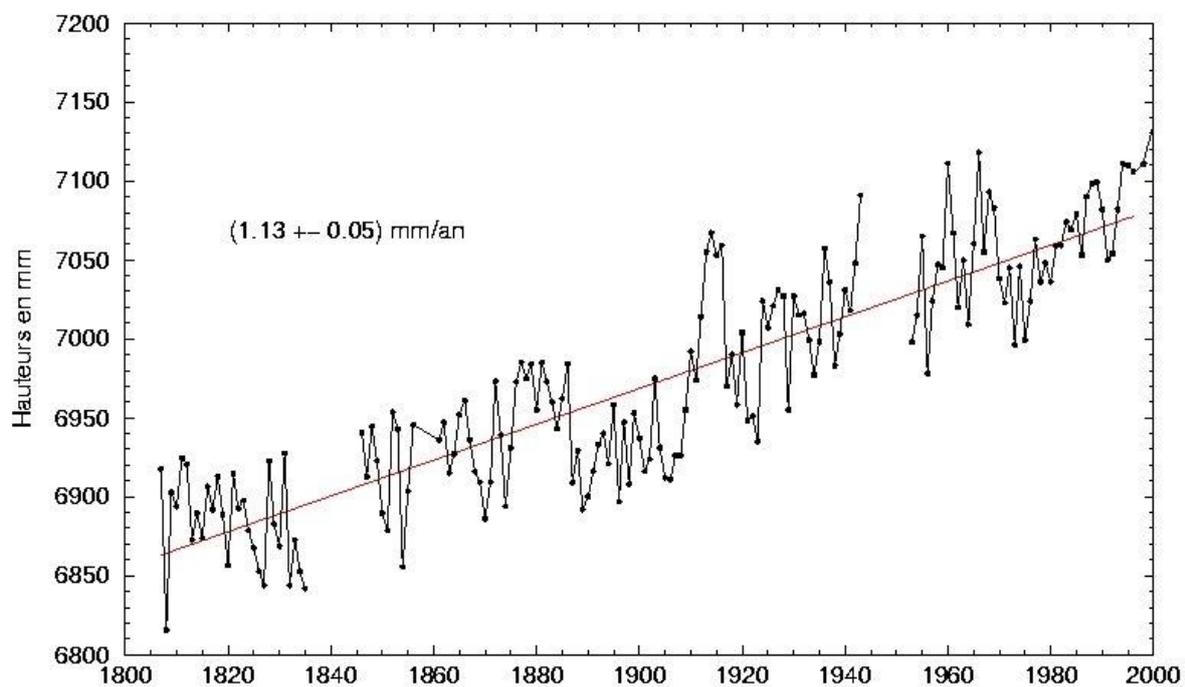


Figure 1

### MARSEILLE (MAREGRAPHE) – Moyennes annuelles du niveau de la mer

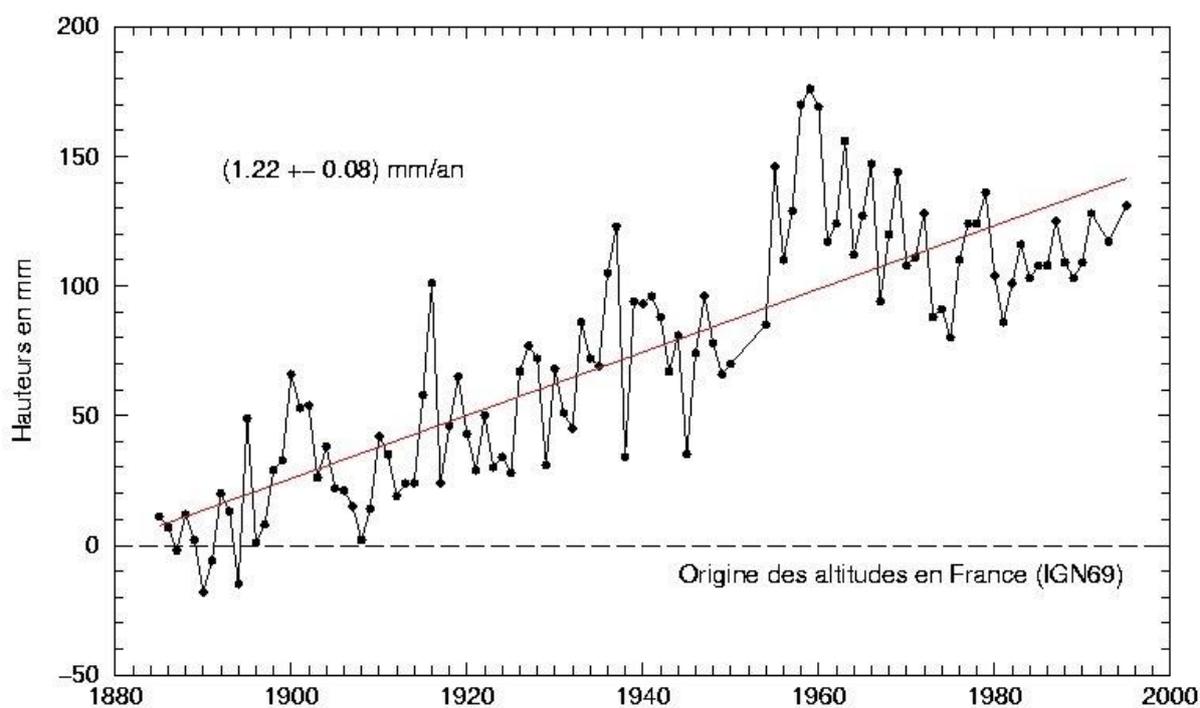


Figure 2

En ces deux sites, le niveau moyen a augmenté d'environ 12 cm en 100 ans. Il est remarquable qu'à Brest, le niveau moyen de l'année 2000 soit le plus élevé jamais observé depuis près de 200 ans. Mais ces exemples ne sont pas représentatifs de l'ensemble des observations de longue durée disponibles de par le Monde. Celles-ci révèlent effectivement une augmentation moyenne de l'ordre de 1 à 2 millimètres par an, mais d'une part la dispersion autour de cette valeur est importante, d'autre part les observations disponibles ne constituent pas un bon indicateur de l'évolution globale en raison de la répartition très inhomogène des observatoires situés en majorité dans les régions tempérées de l'hémisphère nord. La très forte variabilité d'un site à l'autre peut être imputée à des mouvements verticaux de la croûte terrestre, que les marégraphes ne peuvent évidemment pas détecter. Mais ce problème est en passe d'être résolu grâce aux techniques spatiales qui procurent des données rapportées à un repère absolu.

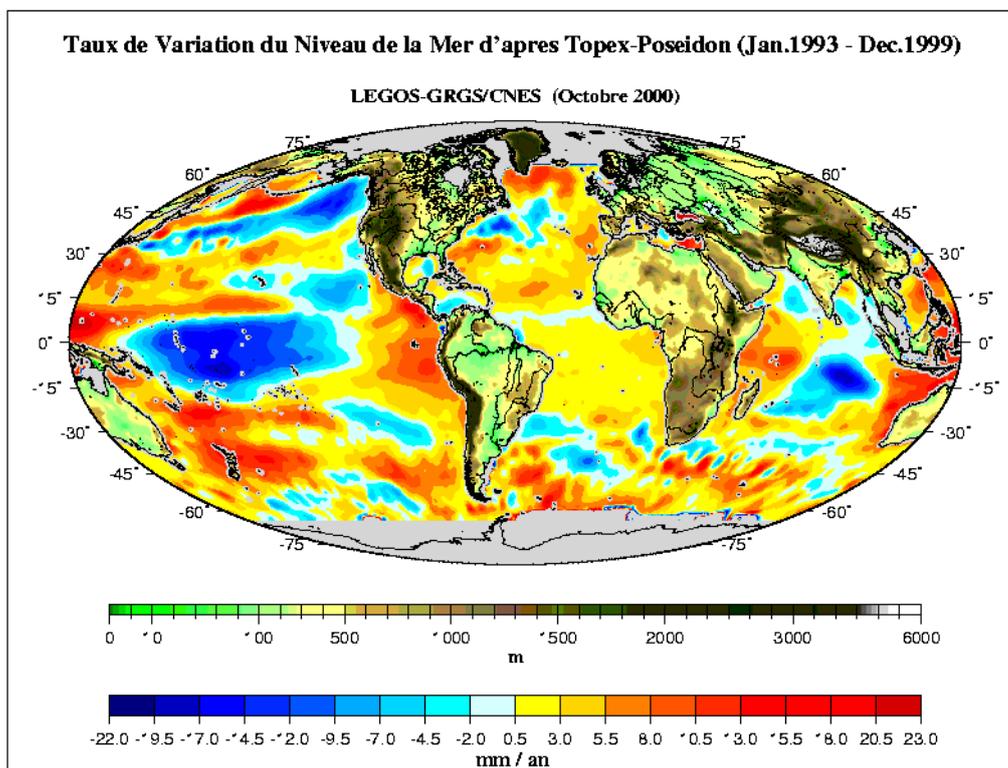
## 1.2 Géodésie spatiale

Les techniques modernes de géodésie spatiale offrent désormais la possibilité de positionner, avec une précision centimétrique, des points spécifiques à la surface de la Terre dans le système de référence géocentrique *International Terrestrial Reference System* (ITRS) adopté par l'*Union Géodésique et Géophysique Internationale* (UGGI). Les systèmes opérationnels tels que GPS et DORIS permettent de rattacher les niveaux de référence des marégraphes dans l'ITRS. On peut dès lors surveiller l'évolution du niveau de la mer en absolu. Des programmes internationaux et nationaux exploitant ces techniques ont été mis en place.

En France, dans le cadre du programme "Élévation du niveau de la mer" du Ministère de l'Environnement, l'Institut Géographique National propose la mise en place d'un Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL) faisant largement appel à ces techniques. Les marégraphes de Brest et Marseille ont été équipés de systèmes de positionnement géodésique précis. Mais pour les mêmes raisons que pour les données altimétriques, des résultats exploitables pour l'étude de l'évolution du niveau des mers ne pourront être attendus avant plusieurs années.

## 1.3 Altimétrie satellitaire.

Les observations altimétriques de plus en plus nombreuses et précises pourraient contribuer à résoudre ce problème. Les derniers résultats du CNES (d'après les travaux du département de Géophysique et d'Océanographie spatiale dirigé par Anny Cazenave) révèlent, d'une part une élévation moyenne des océans de 1,4 mm par an, d'autre part une très grande variabilité spatiale de la tendance (figure 3) : celle-ci est par exemple très nettement négative dans le Pacifique équatorial.



**Figure 3**

Mais, compte tenu des importantes fluctuations des niveaux moyens annuels, ces résultats déduits de seulement sept années d'observations du satellite TOPEX ne peuvent pas être utilisés pour estimer une tendance séculaire. Ils sont néanmoins très intéressants pour mettre en évidence le caractère très restrictif des observations locales, même de longue durée comme celles de Brest et Marseille.

## **II. CAUSES**

Actuellement, on peut dire seulement que le niveau global des mers est probablement en train de monter, mais on ne sait pas avec précision de combien, ni si cette montée est en train de s'accélérer. En attendant des mesures plus nombreuses et plus précises, l'analyse des causes possibles peut fournir une aide précieuse pour comprendre le phénomène et éventuellement tenter de prévoir son évolution.

### **II.1 Effet de Serre**

L'origine de l'augmentation du niveau des mers est généralement attribuée au réchauffement climatique dû à l'effet de serre dont le principal agent est le gaz carbonique atmosphérique.

Les faits sont les suivants:

- la concentration en gaz carbonique a progressé de 25% depuis le début de l'ère industrielle. Elle croît actuellement au rythme de 0,4 à 0,5 % par an.
- La température moyenne de l'atmosphère s'est élevée de 0,5°C depuis le début du siècle.
- La dernière décennie est la plus chaude jamais enregistrée.

Cet échauffement a une influence sur le niveau des mers par l'intermédiaire de divers processus.

### II.1.1 Fonte des glaces continentales

Le volume d'eau stocké dans les glaciers de montagne représente l'équivalent de 30 à 50 cm du niveau de la mer. Sa contribution à l'élévation a été de 1 à 4 cm au cours du siècle passé. Elle pourrait atteindre une dizaine de centimètres au cours du suivant.

### II.1.2 Fonte des glaces polaires

Le volume d'eau stocké dans les glaces polaires représente environ l'équivalent de 80 m du niveau de la mer. Son comportement face à l'effet de serre est l'un des plus controversés; mais depuis les scénarios catastrophe avancés dans les années 80 et largement diffusés par la presse, les estimations sont régulièrement revues à la baisse. La possibilité d'une désintégration de la calotte Antarctique de l'ouest, qui a alimenté cette polémique, n'est plus guère attendue avant plusieurs siècles. Il semble au contraire établi que la calotte glaciaire Antarctique ait tendance à s'engraisser. Elle est en effet généralement soumise été comme hiver à des températures largement négatives et un léger réchauffement de l'atmosphère ne permettrait pas de provoquer une fonte des glaces significative. Au contraire, un accroissement de la température provoquerait un accroissement de l'humidité entraînant des chutes de neige plus abondantes et donc un stockage d'eau au détriment des océans. La calotte glaciaire du Groenland renferme quant à elle l'équivalent de 7 m d'eau à l'échelle des océans. Elle est beaucoup moins froide qu'en Antarctique, et malgré quelques facteurs stabilisants, devrait présenter une contribution positive à l'évolution du niveau des mers. Néanmoins, le bilan des contributions Antarctique-Groenland semble devoir être légèrement négatif.

### II.1.3 Dilatation thermique (effet stérique).

L'échauffement de l'atmosphère se transmet à l'océan par divers processus physiques tels que le rayonnement, la conduction, la diffusion d'eau de précipitation ou de ruissellement. Pour fixer les idées, un accroissement de 1°C de la température d'une colonne d'eau de mer de 1000 m d'épaisseur entraînerait une augmentation de niveau de 16 cm. Mais l'échauffement homogène d'une telle couche d'eau n'est pas réaliste. La diffusion vers les couches profondes de l'échauffement de surface est un processus très complexe qui doit être intégré dans le cadre plus vaste de la circulation océanique à l'échelle de l'Océan mondial. Elle pourrait par exemple prendre la forme d'une moindre production d'eaux profondes froides d'origine circumpolaire.

La contribution de ce phénomène à l'élévation du niveau des mers au cours du siècle passé est estimée à  $4 \pm 2$  cm. Elle pourrait être d'une quinzaine de centimètres dans les 50 années à venir.

## II.2 Mouvements de la croûte terrestre.

Les mouvements du sol sont d'origine isostatique, tectonique ou anthropique. Ils sont évidents à l'échelle de plusieurs milliers d'années durant lesquelles les cycles de glaciation et déglaciations entraînent aux latitudes élevées, des mouvements verticaux dus à la charge des glaces accumulées, pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Encore aujourd'hui, le "rebond élastique" consécutif à la dernière déglaciation qui s'est terminée il y a 7000 ans se fait sentir de manière très sensible. Ainsi, dans le golfe de Bothnie, le niveau apparent de la mer baisse d'un mètre par siècle. L'analyse des niveaux moyens semble montrer un basculement autour d'un pivot passant par l'Écosse et le sud de la Scandinavie. La France subirait de ce fait une subsidence qui serait le contrecoup de ce rebond élastique.

À une échelle plus locale, une étude du BRGM semble montrer que des comparaisons de nivellements faits à des époques différentes permettent la mise en évidence de mouvements verticaux d'origine tectonique.

L'activité humaine peut également avoir localement une influence très importante. C'est le cas par exemple dans le Golfe du Mexique en raison de l'exploitation des champs pétroliers qui provoque une subsidence. Dans le delta du Mississippi, le problème est aggravé par l'exploitation des nappes aquifères et le compactage des sédiments du fleuve.

Ces mouvements de la croûte terrestre ne sont pas actuellement connus avec précision, mais la situation devrait notablement s'améliorer dans les années à venir grâce aux techniques spatiales.

### **III. PRÉVISIONS**

Si l'élévation du niveau des mers est réellement due à l'élévation de la température de l'atmosphère, toute tentative de prévision doit nécessairement être précédée d'une modélisation de l'évolution climatique. Or dès ce stade, des incertitudes importantes apparaissent dont l'une des principales est l'estimation des émissions futures des gaz à effet de serre. Il apparaît également que l'effort de modélisation doit être renforcé, car les modèles actuels ne rendent pas compte parfaitement des évolutions passées. En effet, rien ne permet de dire que l'échauffement observé est le début de l'effet de serre, prédit par les modèles. L'échauffement de l'atmosphère depuis le début du siècle est conforme à la variabilité naturelle du climat. Par ailleurs, l'exemple de Brest semble montrer que l'augmentation apparente du niveau de la mer n'est pas imputable à l'effet de serre.

En fait, les prévisions d'une montée globale du niveau de la mer varient en fonction de la date de leur publication. Si on se base sur les prévisions pour l'année 2100, depuis les scénarios catastrophe du début des années 80, où certaines publications faisaient état d'une augmentation globale de 3,5 m, on assiste à une régulière révision à la baisse des estimations. Paradoxalement, on a pu constater une augmentation relative de l'incertitude (écarts entre prévision hautes et prévisions basses) au début des années 90, mais il semble que l'on s'achemine actuellement vers un resserrement des écarts des estimations au voisinage d'une augmentation de niveau d'une cinquantaine de centimètres à l'horizon 2100.

### **IV. CONSÉQUENCES**

Il n'est pas possible d'être exhaustif sur les conséquences d'une élévation du niveau des mers. Elles sont en effet extrêmement variées selon le type de côte, le peuplement, l'amplitude du phénomène. On peut cependant distinguer trois grands effets: des submersions d'espaces précédemment hors d'atteinte de la mer, des érosions accrues et des salinisations d'eaux souterraines.

Mais il faut se garder d'une vue simpliste, car la côte n'est pas passive face à l'élévation du niveau de la mer. Par exemple les végétations des marais maritimes favorisant le taux d'accrétion sédimentaire peuvent compenser cette évolution. Les changements climatiques peuvent modifier le régime des fleuves et le bilan sédimentaire littoral. Celui-ci est par ailleurs souvent gravement affecté par l'effet de piégeage des barrages et des travaux de régulation sur les fleuves. De même, la cause du recul des plages souvent constaté réside essentiellement dans un déficit sédimentaire dont l'origine est parfois naturelle, mais surtout et trop souvent anthropique: il faut éviter de mettre sur le compte de l'élévation passée les conséquences de constructions hasardeuses ou d'extractions de sable inconsidérées.

Des considérations précédentes, il ressort que les incertitudes sont encore très importantes sur l'évolution du niveau des mers, tant dans le domaine temporel que spatial. Interpréter les résultats actuellement disponible pour tenter d'estimer les tendances futures pour des sites où les observations font défaut, suppose l'adoption d'hypothèses. Il semble par exemple raisonnable de supposer que, compte tenu des évolutions constatées à Brest et Marseille, le niveau moyen sur la côte de Vendée augmente approximativement de 1,2 mm par an et ne

subisse actuellement aucune accélération sensible. Mais cette estimation est entachée d'une incertitude très difficile à chiffrer car il est possible, par exemple, que les mouvements du sol soient très différents à Brest et en Vendée.

## Bibliographie

**J.S. Hoffman, J.G. Titus 1983** *Projecting future sea level rise*. US GPO n° 055-000-00236-3 Washington D.C. Government printing office.

**M.C. Barth and J.G. Titus 1984** Editors. *Greenhouse effect and sea level rise. A challenge for this generation*, Van Nostrand Reinhold Company - 326p.

**P. Paskoff 1987**: *Les variations du niveau de la mer*, La Recherche n°191, septembre 1987, volume 18 - pp 1010-1019

**J.G. Titus 1988** editor, *Greenhouse effect, Sea level rise and Coastal Wetlands* - U.S. Environmental Protection Agency - July 1988 - 152 p.

**Metha A.J. and Cushman R.M 1989** *Workshop on Sea level Rise and Coastal Processes* DOE/NBB - 0086 - U.S. Department of Energy - Washington D.C.

**P.A. Pirazzoli 1989** Present and near future global sea level changes - *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* -75 1989 pp 241-258

**C. Teisson 1992** *Surelevation future du niveau de la mer, conséquences et stratégies dans l'aménagement du littoral*, Rapport d'études et de recherches, Service Technique Central des Ports Maritimes et Voies Navigables.

*Élévation du niveau de la mer le long des côtes de France, Mesures-Impacts-Réponses*, Séminaire Eaux - Environnement n°4, mai 1994, Ministère de l'Environnement, Direction Générale de l'Administration et du Développement.

**TOPEX-POSEIDON Scientific Results, 1995**, Reprinted from the Journal of Geophysical Research, Volume 100, Number C12, December 15 1995.

**E. Kammerer 1996**, Étude des variations du niveau de la mer en Europe du nord-ouest, rapport de DEA, Université de Bretagne Occidentale, Ecole doctorale des sciences de la mer.