

LA RELATIVITÉ DES NIVEAUX DE LA MER

Paolo Antonio Pirazzoli *

RÉSUMÉ. Si le niveau de la mer monte légèrement à l'échelle mondiale depuis un siècle, il montre aussi une très grande variabilité à l'échelle régionale ou locale. Deux exemples, en Italie et en Grèce, illustrent certains effets d'une montée récente du niveau relatif de la mer et les contre-mesures adoptées. Les impacts d'une montée du niveau marin et des cyclones tropicaux sur les récifs coralliens sont également discutés dans un troisième exemple.

GOLFE DE CORINTHE • ISOSTASIE • LAGUNE DE VENISE • MARÉGRAPHE • NIVEAU MARIN • POLYNÉSIE FRANÇAISE • RÉCIF CORALLIEN • TREMBLEMENT DE TERRE

ABSTRACT. Although the global sea level has risen slightly over the past century, there is considerable variability on a regional and local scale. Two case studies, in Italy and Greece, illustrate certain effects of a recent rise in the relative sea level and the counter-measures taken. A third case study examines the impacts of the rising sea level and tropical cyclones on coral reefs.

• CORAL REEF • EARTHQUAKE • FRENCH POLYNESIA • GULF OF CORINTH • ISOSTASY • SEA LEVEL • TIDE GAUGE • VENICE LAGOON

RESUMEN. Con la ligera subida del nivel del mar a escala global desde un siglo, aparece también una gran variedad en las escalas regional o local. Dos ejemplos, en Italia y en Grecia, ilustran los efectos de una subida reciente del nivel relativo del mar y las medidas adoptadas. Los impactos de la subida del nivel marino y de los ciclones en los arrecifes coralinos se discuten en un tercer ejemplo.

• GOLFO DE CORINTIA • ISOSTASIA • LAGUNA DE VENECIA • MARÉGRAFO • NIVEL MARINO • POLINESIA FRANCESA • ARRECIFE CORALINO • TERREMOTO

Strabon pensait que l'océan avait partout le même niveau par rapport au centre de la Terre, ce qui implique que, si le niveau de la mer varie, la variation est partout la même. Depuis un quart de siècle, les mesures satellitaires montrent qu'il n'en est rien et que la surface des océans est parsemée de bosses et de dépressions, dont les différences peuvent atteindre 200 m. Cette irrégularité de la topographie du plan d'eau reflète vraisemblablement des différences de densité à l'intérieur de la Terre. Le géoïde, qui coïncide avec le niveau moyen de la mer, abstraction faite des marées, des courants et des perturbations météorologiques, a donc une forme irrégulière. Cette forme est en outre constamment modifiée par les effets isostatiques de la dernière déglaciation (qui varient avec la distance par rapport aux anciennes calottes glaciaires et avec la forme du bassin maritime), par

la variation du volume des eaux océaniques (qui ne se répartit pas nécessairement de manière uniforme dans les océans) et par les déplacements tectoniques (variables d'un lieu à l'autre).

Estimations divergentes

Les changements du niveau moyen de la mer que l'on peut mesurer sur une côte ont donc une valeur locale et relative (différence entre le déplacement vertical du sol et le déplacement moyen du plan d'eau). Cette mesure est généralement obtenue à partir des enregistrements des marégraphes. Si la période considérée est suffisamment longue (au moins une cinquantaine d'années) pour pouvoir négliger le « bruit de fond » des enregistrements

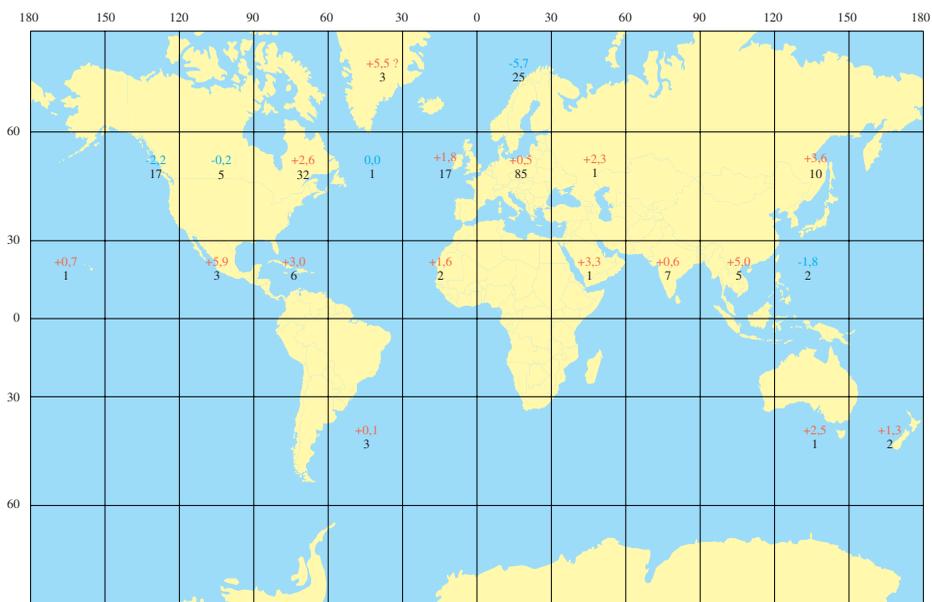
* CNRS - Laboratoire de Géographie Physique, 1 Place Aristide Briand, 92195 Meudon Cedex. Tél. : (+33-1) 45 07 55 58. Fax : (+33-1) 45 07 58 30. Internet : pirazzol@cnrs-bellevue.fr

marégraphiques, on obtient la tendance locale de variation du niveau relatif de la mer (fig. 1); sa valeur est comprise, d'après les séries disponibles, entre environ + 23 mm/an et -20 mm/an (+ indique une montée du niveau marin) (Pirazzoli, 1986), avec une valeur médiane de + 0,6 mm/an pour les séries d'au moins 50 ans (Gröger et Plag, 1993).

Bien que ces longues séries marégraphiques soient très inégalement réparties autour des continents (elles sont concentrées surtout des deux côtés de l'Atlantique Nord), plusieurs auteurs ont tenté de calculer des valeurs moyennes à l'échelle mondiale. Les estimations proposées varient entre + 0,5 et + 3,0 mm/an. D'autres auteurs on conclu à l'impossibilité d'évaluer les variations globales du niveau de la mer à partir des seules données marégraphiques.

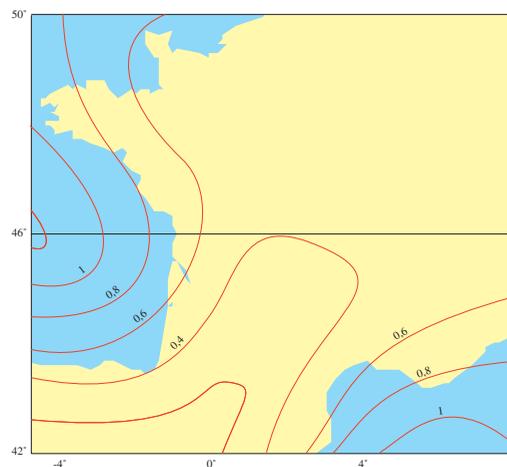
Une autre approche a été tentée à partir d'estimations des variations du volume des eaux océaniques. Les changements de densité de l'eau, à la suite du léger réchauffement climatique qui s'est récemment produit, auraient provoqué une montée du niveau global de la mer de $0,3 \pm 0,2$ mm/an; la fonte des petits glaciers, de même, aurait produit une montée de $0,4 \pm 0,3$ mm/an. Par contre, les impacts des interventions anthropiques sur le bilan hydrologique mondial, très difficiles à évaluer, seraient proches de zéro, avec cependant une large marge d'incertitude ($\pm 0,5$ mm/an). Dans l'ensemble on aboutit, avec cette approche, à une estimation de l'ordre de $+ 0,7 \pm 1,0$ mm/an (Pirazzoli, 1996, Warrick *et al.*, 1995).

Enfin, d'après les observations du satellite franco-américain Topex-Poseidon, qui cartographie la surface de l'océan tous les dix jours avec une précision centimétrique, la montée du niveau global de la mer entre octobre 1992 et octobre 1996



1. Distribution des tendances à long terme d'après les stations marégraphiques

Les nombres supérieurs indiquent des valeurs moyennes en mm/an (en rouge : montée du niveau relatif de la mer; en bleu : baisse ou stabilité relative), déduites des stations situées dans chaque compartiment de 30° lat. - 30° long. Les nombres inférieurs correspondent au nombre de stations d'enregistrement par compartiment. La submersion est plus fréquente que l'érosion, mais aucune tendance d'ensemble ne se dégage.



2. Vitesses actuelles de montée du niveau relatif de la mer (mm/an) prévues pour les côtes françaises

Le modèle de Lambeck et Johnston (1995) tient compte uniquement des effets isostatiques de la dernière déglaciation (sans considérer les effets eustatique, tectonique ou climatique).

aurait été, en moyenne, de $0,9 \pm 0,4$ mm/an. L'essentiel de cet accroissement s'est produit cependant à l'automne 1994, en même temps qu'augmentait la température de la surface de l'océan et se préparait un épisode important d'El Niño (A. Cazenave, communication personnelle).

Les réajustements isostatiques

Quelle que soit la valeur exacte de la variation du niveau mondial de la mer, c'est surtout la variation relative, qui tient compte des déplacements verticaux du sol (et même de ceux du plan d'eau, sous l'effet des agents météorologiques et hydrodynamiques), qui influe sur la vie littorale. Bien que l'essentiel de la remontée eustatique postglaciaire se soit terminée il y a environ 7 000 ans, des réajustements isostatiques se poursuivent un peu partout, impliquant des variations du niveau relatif de la mer. Ainsi en France, comme dans la plus grande partie de l'Europe occidentale, c'est une légère subsidence qui prédomine (fig. 2), parfois accentuée par des tassements sédimentaires ou par des interventions anthropiques.

Si la montée du niveau marin est le plus souvent progressive, ses impacts sur la géomorphologie littorale et sur les aménagements littoraux apparaissent surtout par à-coups, au moment de fortes tempêtes.

À la limite extérieure de la lagune de Venise, par exemple, l'érosion de la partie centrale des îles-barrières est un vieux problème, au point que la Sérénissime y a construit, entre 1738 et 1787, des défenses en pierre, les *murazzi*, qui ont, tant bien que mal, tenu bon pendant deux siècles. Cependant, au ^{xx}e siècle, et surtout dans les années 1950 et 1960, des pompages excessifs d'eau souterraine ont entraîné une subsidence d'une quinzaine de centimètres, qui s'est ajoutée à une subsidence naturelle de l'ordre de 0,4 à 0,6 mm/an et à une légère montée globale du niveau marin. L'approfondissement de l'eau consécutif à cette montée du niveau relatif de la mer a suffi pour rendre les vagues plus agressives et accentuer l'érosion au pied des *murazzi*. En novembre 1966, à la suite d'une violente tempête accompagnée d'une surcote de 1,85 m, les *murazzi* furent pour la première fois dépassés par les vagues. Comme parade, faute de pouvoir faire baisser le niveau de la mer, on vient de renforcer les *murazzi*, non seulement dans leur structure rigide, mais également en créant en 1996 une plage artificielle côté mer, qui amortit désormais la violence des vagues (fig. 3).

Les récifs coralliens

Dans un récif corallien, une montée du niveau relatif de la mer ou une tempête a des impacts à la fois négatifs et positifs. Une montée du niveau marin risque, comme dans toute



3. Les *murazzi* de Pellestrina (lagune de Venise, Italie) en 1988.

La structure de l'enrochement a été réparée après la tempête de 1966 mais, sur le bord côté mer, la profondeur de l'eau créée par l'érosion reste suffisante pour qu'un bateau soit venu s'échouer contre l'enrochement.



4. Le *motu* Tarauru Roa, aux îles Gambier (Polynésie française).

Il est formé essentiellement d'apports détritiques récifaux, qui sont vite colonisés par la végétation.

autre région littorale, d'être dommageable pour les aménagements; mais, si la vitesse de la montée ne dépasse pas trop longtemps celle de la croissance de l'ensemble du récif, elle sera bénéfique pour celui-ci. Rappelons que la croissance d'un récif sain est de l'ordre de 5 mm/an, bien que des coraux branchus isolés puissent pousser jusqu'à 100-300 mm/an. La partie supérieure du récif, où la croissance s'arrête généralement au niveau moyen des basses mers, sera ainsi revitalisée et pourra suivre de près la montée du niveau de la mer.

De même, les fortes vagues et la surcote qui accompagnent un cyclone tropical risquent de balayer tout aménagement



5. La lagune de Mavrolimni, sur la côte nord de la presqu'île de Perachora (golfe de Corinthe, Grèce)

La lagune a subi un affaissement brusque d'environ 1 m lors d'un tremblement de terre en 1981. La photographie de gauche montre la situation de la lagune en 1992, avec sa bordure encore sous l'eau. À droite, la lagune en 1997, après la construction d'une bordure artificielle.

situé trop près d'un récif et de diminuer les ressources et l'habitabilité des îles coralliennes de petite taille. Ces mêmes vagues vont aussi détruire les éléments superficiels du récif sur la pente externe et sur le platier, briser et arracher des colonies coralliennes et même des gros blocs de récifs, laissant souvent, après le passage du cyclone, un spectacle de désolation, parfois jusqu'à des profondeurs dépassant une trentaine de mètres. Mais la plupart des débris finissent par former des talus au pied de la pente récifale, par combler des dépressions sous-marines, par s'accumuler sur le platier, ou dans le lagon voisin. Plus tard, tous ces débris seront cimentés dans l'armature récifale, dont la structure pourra être ainsi consolidée. D'autres apports détritiques finiront sur les îles coralliennes, contribuant à soulever leur surface par une nouvelle couche de débris, que la végétation se chargera rapidement de coloniser (fig. 4). Dans ce cas, la sauvegarde physique d'un récif ou d'un atoll ne sera pas définitivement compromise par une montée modérée du niveau de la mer, mais dépendra essentiellement de l'équilibre entre la fréquence des tempêtes et le temps nécessaire au récif pour se rétablir après leur passage.

Les milieux lagunaires

Des variations par à-coups peuvent également modifier de manière irréversible le niveau relatif de la mer, à la suite de phénomènes tectoniques. Ce fut le cas, par exemple, en 1981 dans le golfe de Corinthe, lorsqu'un tremblement de terre a provoqué une subsidence de l'ordre d'un mètre sur une distance d'environ 20 km le long des côtes septentrionales de la presqu'île de Perachora. À cette occasion, la

langue de terre qui délimitait côté mer la lagune de Mavrolimni a été entièrement submergée (fig. 5). Afin de réaménager un abri pour la navigation de plaisance et un milieu lagunaire pour la pêche, on a rehaussé artificiellement le bord externe de la lagune, en construisant un quai continu en béton dont la hauteur compense l'affaissement co-sismique (fig. 5).

Ainsi, si les causes des changements du niveau relatif de la mer sont localement très variables, leurs effets le sont également et les parades appropriées devront s'adapter cas par cas, selon la situation morphologique locale, son évolution prévisible et la valeur de l'aménagement à protéger.

Références bibliographiques

- GRÖGER M. et PLAG H.-P., 1993, «Estimations of a global sea level trend : limitations from the structure of the PSMSL global sea level data set», *Global and Planetary Change*, vol. 8, p. 161-169.
- LAMBECK K. et JOHNSTON P., 1995, «Land subsidence and sea-level change : contributions from the melting of the last great ice sheets and the isostatic adjustment of the Earth», in F.B.J. Barends, F.J.J. Brouwer et F.H. Schröder (eds.), *Land subsidence*, Rotterdam : Balkema, p. 3-18.
- PIRAZZOLI P.A., 1986, «Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records», *Journal of Coastal Research*, special issue, n° 1, p. 1-26.
- PIRAZZOLI P.A., 1996, *Sea-level changes : the last 20 000 years*, Chichester : John Wiley, 211 p.
- WARRICK R.A., LE PROVOST C., MEIER M.F., OERLEMANS J. et WOODWORTH P.L., 1995, «Changes in sea level», in *Climate change 1995 : the science of climate change*, Cambridge : Cambridge University Press, p. 361-405.