



QUESTION DE DÉVELOPPEMENT

42

AVRIL 2019

SYNTHÈSES DES ÉTUDES ET RECHERCHES DE L'AFD

La montée du niveau marin : observations, projections, incertitudes

UN RISQUE IMPORTANT POUR LES ZONES CÔTIÈRES

La montée du niveau marin entraînée par le réchauffement climatique est un facteur de risque important pour les populations, de plus en plus nombreuses, vivant en zone côtière. Ce document fait le point sur les observations, les projections pour le XXI^e siècle et les incertitudes majeures liées au comportement des calottes glaciaires, dont la fonte s'accélère et dont la contribution future à l'élévation du niveau marin pourrait être sous-estimée.

AUTEURE

MARIE-NOËLLE WOILLETZ

Chargée de programmes de recherche à l'AFD (IRS/ECO)

L'élévation du niveau marin menace les populations côtières

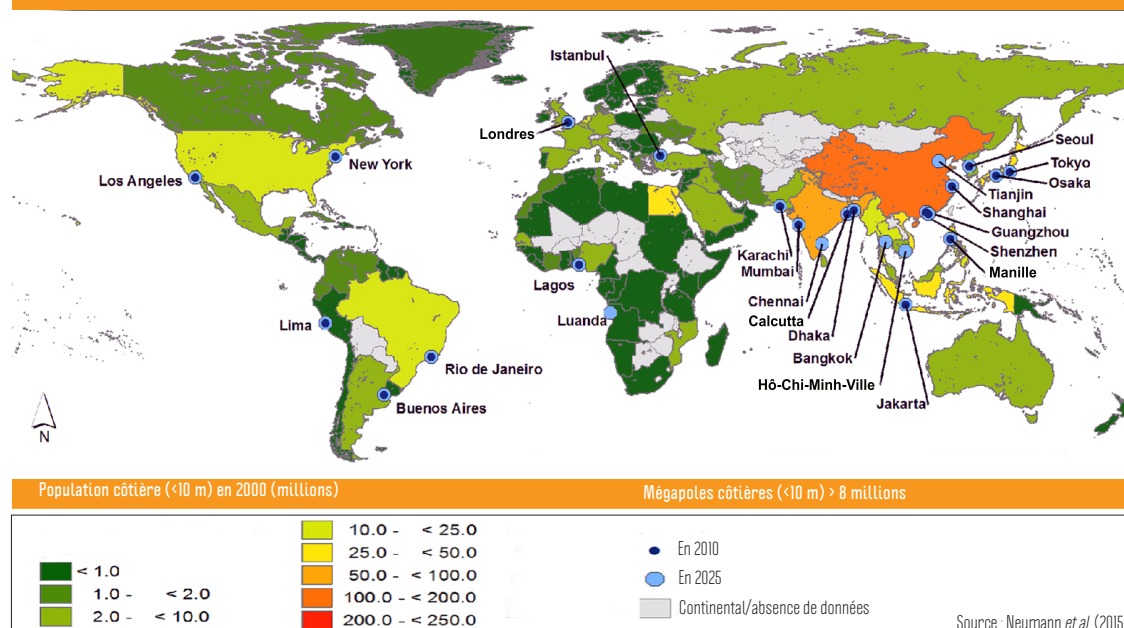
En 2000, environ 625 millions de personnes (soit 10 % de la population mondiale) vivait dans les zones côtières à faible élévation (< 10 m), notamment en Asie où se situent de nombreux deltas densément peuplés (cf. carte 1). Ce nombre atteignait 700 millions de personnes en 2010 et il continuera à augmenter dans les prochaines décennies, sous l'effet conjugué de la croissance démographique et de l'accélération de l'urbanisation côtière. Dans le même temps, l'élévation du niveau marin entraînée par le réchauffement climatique se poursuivra, constituant une menace pour ces populations et suscitant de nombreuses interrogations concernant les stratégies d'adaptation à mettre en œuvre pour pallier les risques associés (submersion, inondations fréquentes, intrusion d'eau salée dans les nappes phréatiques).

Les mesures issues des marégraphes et des satellites montrent que le niveau marin moyen s'est déjà élevé d'environ +20 cm depuis 1900. Cette hausse s'est accélérée durant les dernières décennies, passant de +1,4 mm/an en moyenne sur la période 1930-1992 à +3,3 mm/an entre 1993 et 2009. À l'échelle globale, les deux principaux facteurs expliquant ce phénomène sont (i) la fonte des glaces terrestres (glaciers et calottes) qui a contribué pour deux-tiers environ à la montée du niveau marin entre 1993 et 2009 ; et (ii) pour l'autre tiers, la dilatation thermique de l'océan sous l'effet de la hausse des températures de l'eau. La fonte des glaces terrestres, notamment des calottes polaires, est un facteur de plus en plus important. Entre 1993 et 2003, la perte de masse du Groenland et de l'Antarctique contribuait pour moins de 15 % à la hausse globale du niveau marin. Sur la période 2012-2016 leur contribution était d'environ 35 %.

Les chiffres d'élévation moyenne globale cachent d'importantes disparités à l'échelle régionale et locale, liées entre autres à l'hétérogénéité spatiale du réchauffement ainsi qu'à des changements de dynamique océanique. Ainsi, dans le Pacifique Ouest, l'augmentation du niveau marin sur la période 1993-2015 a été environ trois fois supérieure à la moyenne globale.

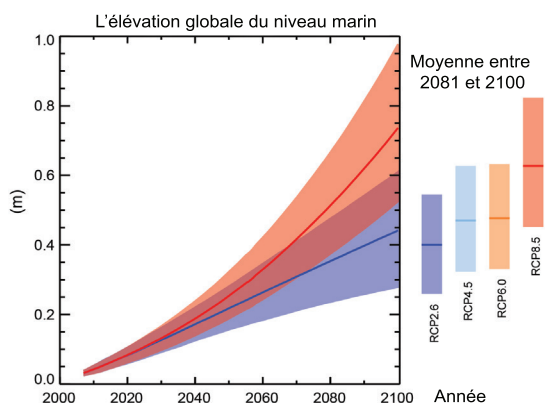
...

CARTE 1. POPULATION LOCALISÉE DANS LES ZONES CÔTIÈRES DE FAIBLE ÉLEVATION (< 10 M), EN 2000



Projections pour le XXI^e siècle

GRAPHIQUE 1. PROJECTIONS DE L'ÉLEVATION DU NIVEAU MARIN MOYEN GLOBAL (EN M) PAR RAPPORT AU NIVEAU MOYEN RELEVÉ SUR LA PÉRIODE 1986-2005 POUR DIFFÉRENTS SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES)



Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Résumé pour décideurs, 2013

Légende : RCP = Representative Concentration Pathway (Trajectoire en concentration représentative). RCP2.6 : scénario de diminution des émissions de GES ; RCP8.5 : scénario de fortes émissions de GES ; RCP4.5 et RCP6.0 : scénarios d'émissions de GES intermédiaires.

Les projections de niveau marin global présentées dans le rapport du GIEC de 2013 vont de quelques dizaines de centimètres supplémentaires en 2100 pour un scénario de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre (RCP2.6) à une augmentation de près d'un mètre par rapport au niveau actuel en cas de poursuite d'émissions de GES élevées (RCP8.5) (cf. graphique 1). Ces projections, basées sur la simulation numérique des processus physiques, tiennent compte du réchauffement des océans et du changement de bilan de masse de surface des glaciers et des calottes polaires. Toutefois, elles ne prennent pas en compte de possibles changements majeurs dans la dynamique des calottes.

Incertitudes sur l'évolution des calottes polaires

La perte de glace au Groenland et en Antarctique a fortement augmenté au cours des dernières décennies. La contribution du Groenland à la hausse du niveau marin est passée de 0,09 mm/an en moyenne en 1992-2001 à 0,59 mm/an en 2002-2011 ; celle de l'Antarctique, de 0,08 mm/an en moyenne en 1992-2001 à 0,40 mm/an en 2002-2011. L'accélération est particulièrement nette depuis le milieu des années 2000.

Cette évolution est plus rapide que ce qui avait été anticipé. Depuis le rapport du GIEC de 2013, plusieurs études ont mis en relief que la contribution future des calottes à la hausse du niveau marin a peut-être été fortement sous-estimée. Ainsi, l'addition de nouveaux processus physiques dans les modèles numériques de calottes est susceptible de changer drastiquement la réponse de ces modèles au réchauffement.

Une inquiétude particulière concerne le comportement futur de la partie Ouest de l'Antarctique. En effet, cette portion de la calotte est ancrée sous le niveau de la mer, ce qui la rend particulièrement sensible au réchauffement de l'océan. Les observations récentes ont montré une importante fonte sous-marine, un recul de la ligne d'ancrage et un amincissement des plateformes de glace flottantes qui prolongent plusieurs glaciers majeurs. De ce fait, l'effet d'arcs-boutants de ces plateformes s'affaiblit, entraînant une accélération de l'écoulement des glaciers vers la mer qui fait craindre une possible déstabilisation. La fonte de la totalité des glaces de cette région ferait monter le niveau marin d'environ 4 m, mais la vitesse à laquelle une déstabilisation pourrait se produire est incertaine.

L'étude des climats passés peut, dans une certaine mesure, apporter des indices supplémentaires. Au cours de la dernière période interglaciaire, il y a 120 000 ans, la température moyenne globale était supérieure de seulement 1 à 2°C à celle de la période préindustrielle, mais le niveau marin d'alors est estimé à 6-9 m au-dessus du niveau actuel. Une hausse très rapide de 2-3 m serait survenue à la fin de cet interglaciaire, peut-être en quelques décennies, suggérant qu'une déstabilisation rapide du Groenland ou de l'Antarctique aurait pu avoir lieu à l'époque et serait donc envisageable à l'avenir, même si les processus physiques qui pourraient causer un tel phénomène sont encore à ce stade mal compris.

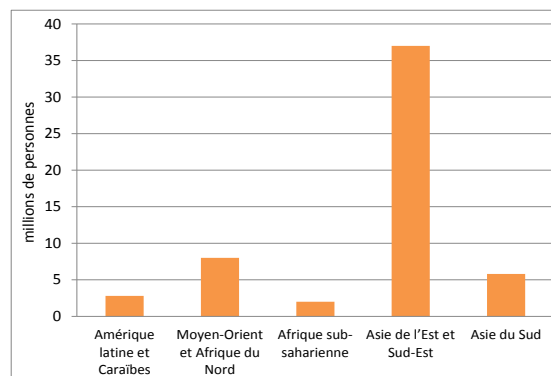
Du fait des larges incertitudes sur les mécanismes physiques qui détermineront le devenir du Groenland et de l'Antarctique, leur impact futur sur la hausse du niveau marin global ne fait pas consensus. Cet impact pourrait être bien supérieur aux estimations retenues pour les projections du graphique 1. À titre d'exemple, le scénario extrême considéré par l'Agence américaine responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), dans un rapport paru en 2017, fait l'hypothèse d'une élévation moyenne de +40 cm dès 2040, et de +60 cm en 2050, pour aboutir à +2,5 m en 2100. Un tel scénario aurait des conséquences majeures pour les régions côtières de nombreuses géographies d'intervention de l'AFD, notamment en Asie et en Afrique.

Populations menacées et facteurs de risque supplémentaires

La hausse du niveau marin ne sera pas uniforme sur l'ensemble des océans. Les écarts par rapport à la moyenne globale peuvent atteindre +30% et -50% dans certaines régions. Estimer les impacts à l'échelle locale et régionale nécessite donc de tenir compte de cette variabilité. On peut toutefois déjà obtenir des ordres de grandeur en considérant une élévation uniforme. Ainsi, pour les seuls pays en développement (PED), une élévation de +1m submergerait les terres où, en 2000, vivaient 56 millions de personnes. Ce chiffre monte à 90 millions de personnes pour une élévation de +2 m. Les populations exposées se trouvent principalement en Asie, notamment en Asie de l'Est et du Sud-Est (cf. graphique 2), dont plus de 20 millions de personnes en Chine. Les deux pays les plus à risque en termes de pourcentage de population sont le Vietnam et l'Égypte, avec 10 % de leur population en 2000 située dans des zones qui seraient submergées pour un scénario à +1 m.

Il convient de souligner que ces ordres de grandeur ne tiennent pas compte non plus des changements démographiques à venir, ni des phénomènes non climatiques, qui peuvent être prépondérants à l'échelle locale.

GRAPHIQUE 2. NOMBRE DE PERSONNES VIVANT EN 2000 DANS DES ZONES QUI SÉRAIENT SUBMERGÉES POUR UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN DE +1 M



Source des données : Dasgupta et al. (2009)

• **Démographie et urbanisation** : au cours des dernières décennies, l'augmentation de la population et l'urbanisation en zones côtières ont été particulièrement rapides dans les PED, sous l'effet de l'accroissement démographique et des mouvements migratoires. Cette tendance va vraisemblablement se poursuivre, voire s'accroître, entraînant mécaniquement une augmentation du nombre de personnes menacées par la montée des eaux. Selon les scénarios socio-économiques et démographiques envisagés pour le XXI^e siècle, le nombre de personnes vivant en zones côtières de faible élévation (< 10 m) pourrait augmenter de 58 % à 71 % et dépasser ainsi le milliard en 2050, l'essentiel de cette croissance étant à mettre au compte de l'Asie et de l'Afrique.

• **Facteurs non climatiques** : les études d'impacts doivent prendre en compte non seulement l'évolution du niveau global et les variations régionales d'origine climatique, mais également les facteurs non climatiques qui jouent sur le niveau marin *relatif*. Les variations de niveau marin relatif à l'échelle locale peuvent dépasser 10 cm/an, soit une amplitude nettement supérieure à l'élévation moyenne de 3,2 mm/an actuellement observée à l'échelle globale. Citons en particulier les phénomènes de subsidence¹, naturels ou anthropiques. Ainsi, au cours du XX^e siècle, la partie Est de Tokyo s'est enfoncée de 4,4 m, Shanghai de 2,6 m et Bangkok de 1,6 m. Parmi les facteurs anthropiques, citons le poids des constructions ou le pompage de nappes phréatiques, qui peuvent entraîner une importante compaction des sédiments. La construction de barrages ou la mise en place de réseaux d'irrigation peuvent également avoir des répercussions significatives en diminuant le flux de sédiments à l'embouchure des fleuves. L'apport sédimentaire peut alors devenir insuffisant pour compenser la subsidence ou l'érosion. L'exploitation du sable marin est également responsable d'une érosion côtière accélérée et d'un recul

¹ La subsidence est un lent affaissement de la surface de la croûte terrestre.

des plages en de nombreux endroits du globe. À cela s'ajoute la dynamique naturelle des littoraux sous l'effet des courants et des vagues. L'évolution du trait de côte avec la montée du niveau marin sera donc plus complexe qu'une simple submersion des zones actuellement situées sous le niveau projeté.

Une élévation du niveau marin moyen implique également une extension des zones inondables, en particulier lors des tempêtes, qui peuvent entraîner une surcôte temporaire pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres. Une estimation des impacts de la montée du niveau marin doit donc non seulement prendre en compte les zones qui seraient submergées par la mer de façon permanente, mais également les zones dont le risque d'inondations augmenterait.

Conclusion

Ce rapide tour d'horizon de l'état des connaissances actuelles sur la hausse du niveau marin illustre les incertitudes importantes des projections, aux échelles globale et régionale. À l'échelle globale, la principale interrogation concerne le comportement des calottes polaires. Le rapport du GIEC de 2013 se montrait très prudent sur cette question, mais les publications de ces dernières années laissent entendre que leur contribution future à la hausse du niveau marin pourrait avoir été substantiellement sous-estimée. Si les pires scénarios actuellement envisagés devaient se réaliser, une élévation du niveau marin moyen de plusieurs dizaines de centimètres pourrait intervenir dès le milieu du siècle, avec des impacts

significatifs dans les pays d'intervention à risques de l'AFD (cf. carte 1). À l'échelle locale, il est également nécessaire de prendre en compte les phénomènes non climatiques ayant une incidence sur le niveau marin relatif, ainsi que les risques d'extension des zones inondables. Établir des scénarios à l'échelle locale et régionale pour l'ensemble du globe est donc une tâche particulièrement complexe.

Dans ce contexte, la valeur maximale d'élévation du niveau marin à considérer pour des études d'impacts à l'échelle locale ne peut être choisie qu'au cas par cas, en fonction du degré de risque jugé acceptable pour une région donnée. Néanmoins, indépendamment des incertitudes sur la réponse future du système climatique aux émissions de gaz à effet de serre, certaines régions apparaissent plus vulnérables que d'autres, en raison notamment des dynamiques de peuplement et d'urbanisation. Outre les petits États insulaires, c'est le cas de nombreux pays d'Asie, avec leurs deltas densément peuplés (notamment Bangladesh et Vietnam), mais également de l'Afrique, qui combine faible niveau de développement et forte croissance de la population côtière.

Ces constats interrogent la durabilité du développement économique et urbain en zone littorale et soulignent la nécessité (i) de réaliser des études de risque à l'échelle locale pour concevoir des mesures de protection ou d'adaptation, et (ii) de prendre en compte les phénomènes non climatiques que sont la subsidence et les modifications de la dynamique sédimentaire. ■

• RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES •

Dasgupta S., B. Laplante, C. Meisner, D. Wheeler et J. Van (2007), *The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis*, Banque mondiale, Washington D.C.

IPCC (2013), *Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* in: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, V. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, New York

Le Bars D., S. Drijfhout et H. de Vries (2017), "A High-End Sea Level Rise Probabilistic Projection Including Rapid Antarctic Ice Sheet Mass Loss", *Environmental Research Letters*, 12(4), 044013.

Neumann B., A. T. Vafeidis, J. Zimmermann et R. J. Nicholls, (2015), *Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding. A Global Assessment*, *PLoS one*, 10(3), e0118571.

Nicholls R.J. et A. Cazenave (2010), "Sea-Level Rise and its Impact on Coastal Zones", *Science*, 328(5985), pp. 1517-1520.

Shepherd A., E. Ivins, E. Rignot, B. Smith, M. van den Broeke, I. Velicogna, [...] et S. Nowicki (2018), "Mass Balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017", *Nature*, 556, pp. 219-222.