

L'élévation récente du niveau marin et l'érosion côtière : le cas d'îles océaniques du Pacifique

Gonéri Le Cozannet, Anny Cazenave, Manuel Garcin, Melanie Becker, Vincent Donato, Philippe Rogel, David Salas y Melia, Patrice Walker, Guy Wöppelmann, Marissa L. Yates

▶ **To cite this version:**

Gonéri Le Cozannet, Anny Cazenave, Manuel Garcin, Melanie Becker, Vincent Donato, et al.. L'élévation récente du niveau marin et l'érosion côtière : le cas d'îles océaniques du Pacifique. Géosciences, 2011, 14, pp.92-99. hal-00656782

HAL Id: hal-00656782
https://brgm.hal.science/hal-00656782

Submitted on 5 Jan 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'élévation récente du niveau marin et l'érosion côtière : le cas d'îles océaniques du Pacifique

Le changement climatique induit une élévation du niveau marin qui, loin d'être uniforme, présente une variabilité régionale importante liée en premier lieu aux variations de température des océans. Dans certaines régions de l'océan, cette élévation a été deux à trois fois plus rapide que la moyenne globale depuis 1950. L'évolution des lignes de rivage des îles du Pacifique, bien que dépendante du niveau de l'océan, est aussi contrôlée par d'autres facteurs tels que les vagues, les courants ou les apports de sédiments par les fleuves. Du fait de son accélération attendue au XXIe siècle, la hausse du niveau de la mer n'en demeure pas moins un phénomène préoccupant pour le devenir des îles.



Un motu : îlot constitué de sable bioclastique.

A motu: a small island composed of bioclastic sand.

© BRGM – M. Garcin,.



Gonéri Le Cozannet

BRGM, Service Risques naturels, unité Risques Côtiers
G.LeCozannet@brgm.fr

Anny Cazenave

Chercheur au Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS, Toulouse)
anny.cazenave@legos.obs-mip.fr

Manuel Garcin

BRGM, Service Risques naturels, unité Risques Côtiers
m.garcin@brgm.fr

Avec la contribution de Mélanie Becker (LEGOS), Vincent Donato (SHOM), Philippe Rogel (CERFACS), David Salas y Mélia (CNRM), Patrice Walker (CREOCEAN), Guy Wöppelmann (LIENSS) et Marissa Yates-Michelin (BRGM).

Les travaux du GIEC ont mis en évidence que l'élévation du niveau marin induite par le changement climatique d'origine anthropique menace le fragile équilibre des zones côtières : érosion littorale, submersion temporaire de zones basses, salinisation d'aquifères côtiers seront les conséquences les plus graves de ce phénomène qui est amené à s'amplifier au cours du XXIe siècle. Dans le cadre du projet ANR CECILE (Changements environnementaux côtiers : impact de l'élévation du niveau de la mer), nous avons étudié l'évolution de la ligne de rivage de départements et territoires de l'outre-mer français depuis 1950. Nous avons ensuite déterminé les principaux facteurs à l'origine des changements du trait de côte observés au cours des dernières décennies et évalué l'impact physique de l'élévation du niveau marin sur l'évolution de la ligne de rivage.

L'érosion côtière et l'élévation du niveau marin

L'érosion côtière affecte aujourd'hui une part importante des côtes mondiales : 70 % des plages, représentant un tiers du trait de côte, seraient ainsi en recul dans le monde selon une estimation de 1985. Cette tendance générale concerne aussi les îles océaniques : ainsi, en Guadeloupe, la moitié des 100 km de côtes basses sableuses ou à galets sont soumises à l'érosion, ainsi que 40 % des côtes basses rocheuses [Roques *et al.* (2010)].

Les causes de la mobilité de la ligne de rivage sont nombreuses, et il est souvent difficile d'attribuer les changements observés à une cause unique. Les multiples études menées sur la côte américaine du golfe du Mexique sont un exemple frappant des difficultés rencontrées dans cet exercice : l'élévation relative du niveau marin y est amplifiée par des subsidences du sol qui ont été tantôt attribuées à des processus naturels (compaction de sédiments, réactivation de failles profondes), tantôt à des extractions d'eau et d'hydrocarbures. L'élévation relative du niveau marin peut ainsi atteindre 1 cm/an sur certains sites, rythme qui serait celui que l'on observerait en moyenne si le niveau marin venait à s'élever d'un mètre entre aujourd'hui et 2100. Pourtant, les causes de la mobilité du trait de côte sont multiples [Morton *et al.*(2004)] : effets des tempêtes et réduction des apports sédimentaires par les fleuves, modification de la redistribution des sédiments côtiers par les courants (notamment en Alabama et au Texas) ou encore à des rechargements de plages (en particulier en Floride). Quant à la réduction de surface des zones humides maritimes, elles sont attribuées à la diminution des apports sédimentaires par les fleuves associée à l'élévation relative du niveau marin. La réponse des côtes à une même élévation du niveau marin dépend ainsi de la géomorphologie côtière, de la dynamique sédimentaire locale et du degré d'anthropisation du site.

« L'élévation du niveau marin n'est pas la cause principale des migrations de la ligne de rivage au cours des dernières décennies. »

Comment observe-t-on l'évolution de la ligne de rivage ?

L'évolution de la ligne de rivage au cours du temps est réalisée par comparaison de tracés géoréférencés à plusieurs dates. Pour les périodes récentes, de nombreuses techniques sont utilisées pour cartographier la ligne de rivage : utilisation de GPS différentiel, de géodimètre, de données Lidar... Ces outils permettent de repérer un marqueur de la ligne de rivage, qui peut être une altitude, une rupture de pente dans le profil d'une plage, le pied d'une dune ou d'une falaise ou tout autre repère adéquat. Pour les périodes plus anciennes, la ligne de rivage ne peut être extraite qu'à partir de l'analyse des photographies aériennes. Ici, elles proviennent du SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine) qui dispose de photographies, souvent sous format papier, couvrant la plus grande partie des îles océaniques françaises d'outre-mer. Le seul marqueur fiable qui devient

L'île haute de Huahine, îles de la Société, Polynésie Française.

The island of Huahine, Society Islands, French Polynesia.

© BRGM – M. Garcin.



La hausse récente du niveau de la mer s'explique principalement par la dilatation thermique de l'océan et par la fonte des glaces continentales.

utilisable à l'aide des photographies aériennes anciennes est la limite de végétation permanente. Celle-ci est donc comparée à celles extraites d'images satellite à très haute résolution pour la période actuelle. La résolution horizontale des images utilisées est inférieure au mètre, mais les différentes sources d'incertitudes, notamment lors de la digitalisation des limites, conduisent à ne pas considérer comme significatifs les mouvements du trait de côte inférieurs à 5 mètres.

Reconstruire la variabilité régionale passée du niveau marin

Les observations marégraphiques, disponibles depuis la fin du XIX^{e} siècle, et d'altimétrie satellitaire, depuis 1993, révèlent qu'en moyenne globale le niveau marin s'est élevé de 1,7-1,8 mm/an au cours du XX^{e} siècle et de 3,3 ± 0,4 mm/an depuis 1993 (début de l'observation du niveau de la mer par satellite). La hausse du niveau de la mer est l'une des conséquences majeures du réchauffement climatique. Elle s'explique principalement par la dilatation thermique de l'océan, la fonte des glaciers de montagne et, de plus en plus, par la fonte des marges des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique [Cazenave et Llovel (2010)].

Cette tendance globale est cependant loin d'être uniforme. Les satellites altimétriques qui couvent l'ensemble du domaine océanique montrent que dans certaines régions comme le Pacifique tropical ouest, le nord de l'Atlantique ou le sud de l'océan Indien, le niveau de la mer s'est élevé 2 à 4 fois plus vite que la moyenne entre 1993 et 2010. Cette variabilité régionale s'explique principalement par une expansion thermique non uniforme des couches océaniques superficielles, mais d'autres facteurs interviennent également, tels que les variations de salinité et les changements de la circulation des océans liés aux variations d'apports en eau douce. La théorie prévoit aussi des déformations régionales de la terre solide causées par des redistributions de masses d'eau, dues par exemple à la fonte des calottes polaires. Mais ces facteurs restent faibles devant l'expansion thermique non uniforme des océans.
On soupçonne que la distribution régionale des vitesses actuelles de variation du niveau marin n'est pas

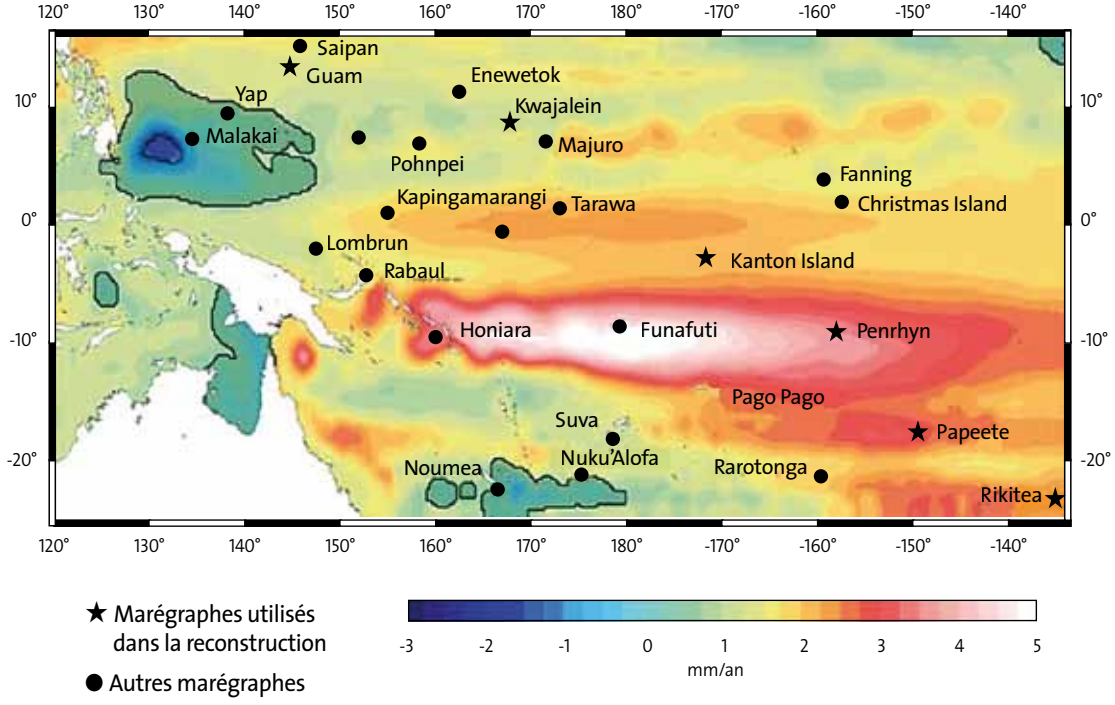


Fig.1 : Tendances linéaires des variations du niveau marin dans le Pacifique tropical ouest, sur la période 1950-2009, reconstruites en utilisant des données marégraphiques et les modes de variabilité issus du modèle de circulation générale océanique DRAKKAR.
D'après Becker *et al.* (2011).

Fig. 1: Linear trends of sea level changes in the west tropical Pacific between 1950 and 2009, reconstructed using tide gauge data and modes of variability from the DRAKKAR ocean circulation model.
From Becker *et al.* (2011).

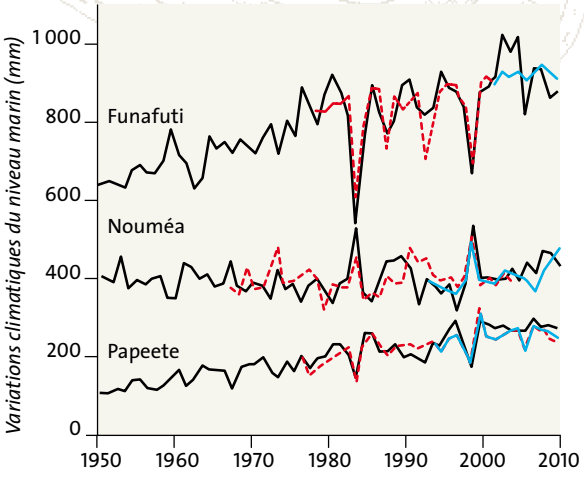


Fig. 2 : Courbes des variations climatiques du niveau marin à Funafuti, Papeete et Nouméa depuis 1950 : en noir : reconstruction ; en rouge : marégraphes ; en bleu : altimétrie.
D'après Becker *et al.* (2011).
Fig. 2: Climate related sea-level curves since 1950 in Funafuti, Papeete and Nouméa: reconstruction (black); tide gauges (red); altimetry (blue).
From Becker *et al.* (2011).

constante, mais oscille dans le temps et dans l'espace en réponse aux grands modes de variabilité naturelle de l'océan (El Niño, l'oscillation nord-atlantique, etc.). Il n'existe pas d'observations permettant de suivre cette variabilité régionale avant 1993. Cependant, des méthodes statistiques basées sur l'utilisation combinée de séries marégraphiques (mal réparties sur le domaine océanique, mais s'étalant sur plusieurs décennies) et d'information sur la réponse de l'océan aux grands modes de variabilité mentionnés plus haut permettent de reconstruire les variations régionales du niveau de la mer dans le passé.

La reconstruction présentée dans la *figure 1* montre ainsi les tendances linéaires des vitesses de variation du niveau de la mer d'origine climatique dans le Pacifique tropical ouest entre 1950 et 2009 [Becker *et al.* (2011)]. Dans cette région, la reconstruction a pu être validée au moyen de séries marégraphiques indépendantes. Sur les soixante dernières années, on observe une augmentation du niveau marin plus importante dans la zone des îles Tuvalu et des îles Salomon : à Funafuti (Tuvalu), la hausse du niveau marin atteint plus de 4,5 mm/an depuis 1950, soit près de 3 fois plus que la hausse moyenne globale sur cette période (égale à 1,8 mm/an). La tendance reste positive dans les îles de la Société (de l'ordre de 3 mm/an), mais est faible à Nouméa en Nouvelle-Calédonie *(figure 2)*.

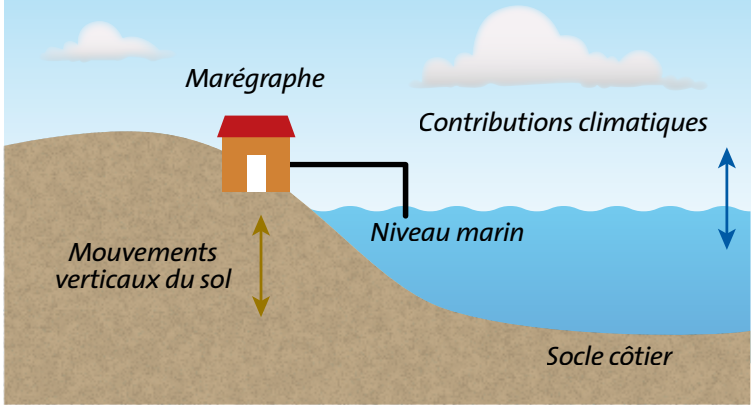
Les mouvements verticaux déterminés par GPS géodésique

Guy Wöppelmann – Université de La Rochelle – gwoppelm@univ-lr.fr

Dans l'étude des variations à long terme du niveau de la mer et de leur impact sur le littoral, une connaissance précise des mouvements verticaux du sol à la côte se révèle tout aussi nécessaire que les contributions climatiques de fonte des glaces (2011) ; Becker *et al.* (2011)]. D'une part, elle est importante pour séparer les contributions climatiques dans les enregistrements marégraphiques des mouvements du socle sur lequel reposent les marégraphes. D'autre part, elle est importante pour mieux comprendre le poids relatif des processus physiques en jeu localement et, par la suite, mieux modéliser, prévoir, anticiper et s'adapter aux changements futurs.

Les enjeux métrologiques sont cependant ambitieux. Il s'agit en effet de déterminer des mouvements verticaux à la surface de la Terre avec une exactitude équivalente à une fraction du signal recherché, soit quelques dixièmes de millimètre par an dans un repère terrestre géocentrique. Même s'il reste encore des difficultés à surmonter, les techniques satellitaires de géodésie spatiale, en particulier le GPS, ont beaucoup progressé dans ce sens, et le programme mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS, www.gloss-sealevel.org) de la Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco met résolument l'accent sur cette composante géodésique.

La détermination des mouvements verticaux à la côte par GPS requiert par nécessité une dimension mondiale pour atteindre l'objectif de l'exactitude mentionné ci-dessus. Cela signifie aussi des flux de données importants et des capacités de calculs considérables. Les premiers résultats significatifs ont été publiés par une équipe française en 2007 (détails dans Wöppelmann *et al.*, 2011) et l'infrastructure qui a été mise en place pour atteindre cet objectif (Sonel, www.sonel.org) est aujourd'hui appelée à jouer un rôle dans le programme international GLOSS : Sonel gère notamment les mesures de près de 550 stations GPS réparties dans le monde.



Hauteur relative du niveau de la mer par rapport à la côte, mesurée par un marégraphe.
Relative sea level height compared with the coast, measured by a tide gauge.
© G. Wöppelmann.

« L'élévation du niveau marin ne peut suffire à expliquer les migrations du trait de côte observées au sein d'un même atoll. »

À cette élévation du niveau marin s'ajoutent des mouvements du sol à différentes échelles, qui peuvent être mesurés par GPS *(cf. encadré p. 95)*. Ce sont généralement des subsidences dans cette région. On obtient ainsi pour certaines îles une hausse totale (celle ressentie par les populations) très supérieure à la hausse moyenne globale : à Nouméa, par exemple, les données GPS font état d'une subsidence de 2 mm/an, se traduisant par une élévation relative du niveau marin de l'ordre de 2,5 mm/an.

Ainsi, bien que les causes soient différentes, la Polynésie française et la Nouvelle-Calédonie ont été affectées par des élévations du niveau marin supérieures à la moyenne globale entre 1950 et 2009. Comme il est largement admis que l'élévation du niveau marin se traduit par une érosion du littoral, nous nous sommes demandés si les vitesses d'élévation observées étaient suffisantes pour provoquer une érosion côtière généralisée des îles concernées.

L'érosion côtière d'îles océaniques

Les territoires de l'outre-mer français du Pacifique sont un terrain d'étude particulièrement adapté pour analyser l'impact de la remontée du niveau marin sur le trait de côte, du fait de l'existence de séries marégraphiques et d'images aériennes anciennes. Deux exemples d'îles océaniques étudiées dans le cadre du projet CECILE sont présentés ci-après.

En Polynésie

Le premier concerne des atolls de la Polynésie française. Ce territoire comprend de nombreux atolls, îles basses constituées d'îlots de sable biodétritique reposant sur un platier récifal, considérés comme particulièrement vulnérables à l'élévation du niveau marin. Des photographies aériennes des années 1950 – 1960 et des images satellitaires à haute résolution des années 2000 ont été utilisées pour évaluer et analyser les mouvements du trait de côte sur deux atolls : Scilly (ou Manuae) à l'ouest de l'archipel de la Société et Manihi, au nord-ouest des Tuamotu.

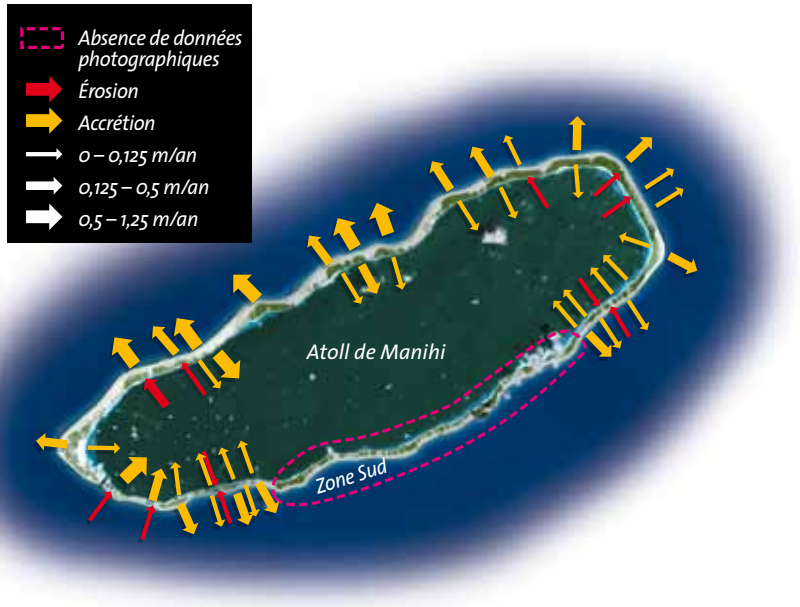
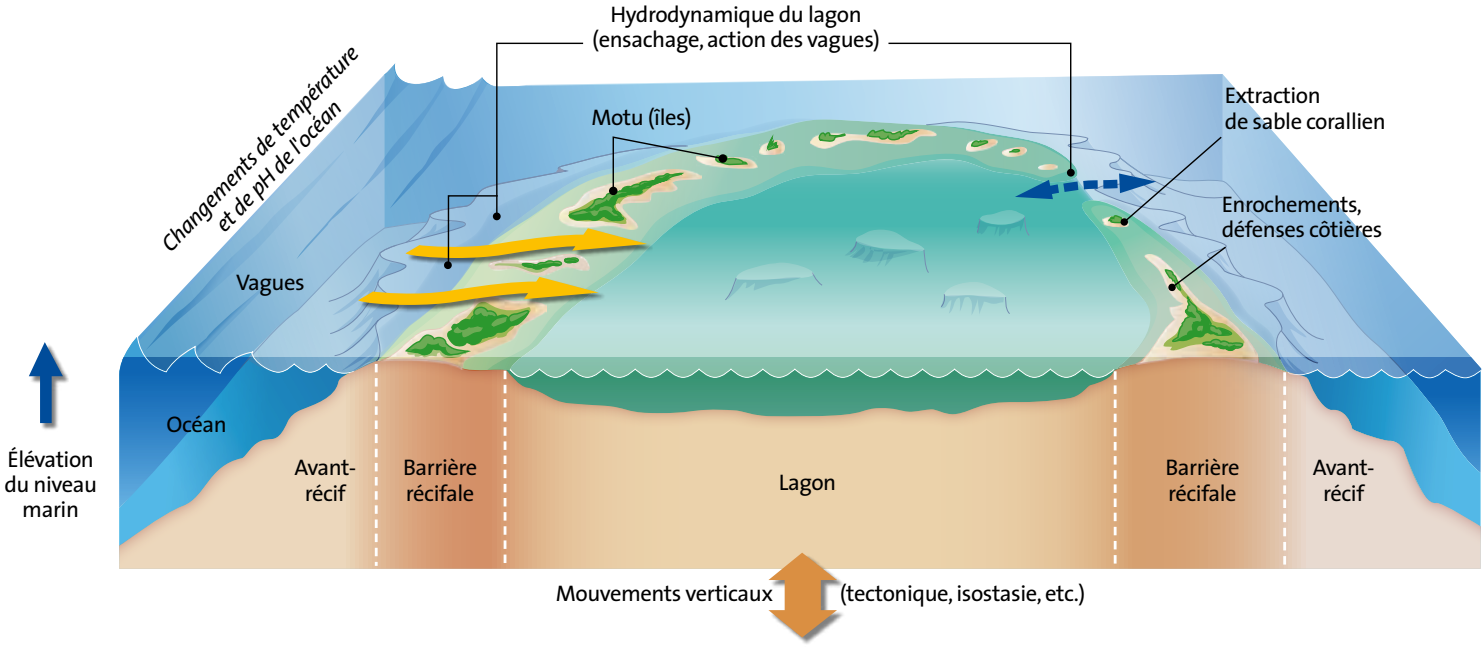


Fig. 3 : Migration du trait de côte dans deux atolls de Polynésie française (Manihi et Scilly).
Données du Service de l'urbanisme de Polynésie, analysées par le BRGM.

Fig. 3: Shoreline migration in two atolls of French Polynesia (Scilly and Manihi). Data provided by the Urbanism Service of Polynesia and analysed by BRGM.
© BRGM.





Événements extrêmes
– Vents et vagues des cyclones et tempêtes tropicales.
– Houles australes.

Climat : variabilité et changement climatique
– Élévation du niveau marin.
– Température et acidité de l'océan.

Actions anthropiques
– Dragages, remblais.
– Ouvrages côtiers.

Fig. 4: Processus côtiers affectant la ligne de rivage des atolls.

D'après Garcin *et al.*, 2011.
© BRGM – Art Presse.

Fig. 4: Coastal processes affecting the shorelines of the atolls.

From Garcin *et al.*, 2011.
© BRGM – Art Presse.

Les résultats montrent une tendance générale à l'érosion à Scilly et à l'accrétion à Manihi. Les ré-analyses des variations du niveau marin d'origine climatique montrent des tendances similaires, autour de 4 mm/an d'élévation (c'est-à-dire au-dessus de la moyenne globale). En tout état de cause, l'élévation du niveau marin ne peut expliquer la variabilité observée au sein d'un même atoll *(figures 3 et 4)*. Les premiers résultats de notre étude indiquent que lorsque le rivage n'est pas remodelé ou fixé par l'homme, les vagues et les courants sont les principaux agents responsables des évolutions du rivage observées depuis les années 1950 *(figure 3)*. Les courants sont de fait particulièrement actifs lors des processus de remplissage et de vidange du lagon. De telles études sont utiles en amont de projets appliqués visant à évaluer les risques d'érosion et de submersion marine dans des zones où l'exposition et la vulnérabilité des personnes et des infrastructures sont importants.

En Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie est un second lieu d'étude dont les zones côtières présentent l'avantage d'être peu aménagées par l'homme (à l'exception de la côte sud-ouest). Dans cette île haute, les estuaires sont parmi les milieux côtiers les plus dynamiques au cours de la période récente. Il est cependant plus complexe d'identifier les facteurs responsables des évolutions du trait de côte en raison de la contribution de nombreux facteurs continentaux *(figure 5)*. En effet, la dynamique côtière des estuaires est contrôlée par le transport de matériaux issus de l'ensemble du bassin versant *(photo 1)*.

Les activités humaines en amont de l'estuaire peuvent avoir un effet indirect sur la mobilité sédimentaire côtière. Par exemple, l'extraction de granulats dans le lit des rivières réduit les apports de la fraction sableuse des sédiments ce qui peut entraîner une érosion ou une réduction de l'accrétion. *A contrario*, les activités

> *« En Nouvelle-Calédonie, les activités minières ont des effets considérables sur la dynamique côtière des estuaires. »*

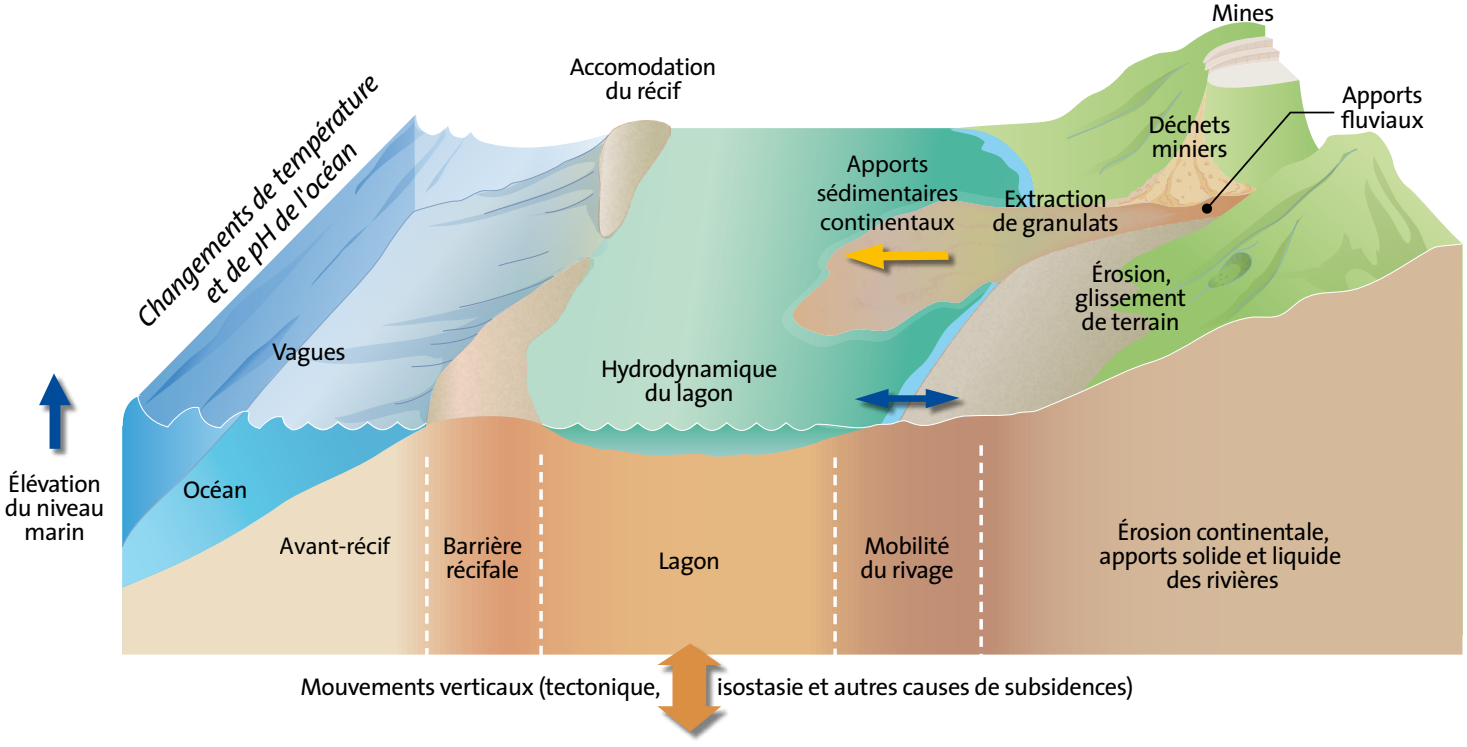


Photo 1 : L'estuaire de la Tontouta (Nouvelle-Calédonie) : les dépôts à l'estuaire proviennent de l'ensemble du bassin versant et plus particulièrement de l'érosion des sols dégradés par l'activité minière.

Photo 1: The Tontouta estuary in New Caledonia: the estuarine deposits come from the whole watershed and more specifically from the erosion of soil degraded by mining activities

© BRGM – M. Garcin.

minières dégradent les sols aggravant ainsi les processus d'érosion par ruissellement et générant un apport supplémentaire de sédiments dans les rivières. Il a été ainsi mis en évidence que des activités minières menées sur des bassins versants avaient des effets considérables sur la dynamique sédimentaire de plusieurs estuaires [Garcin *et al.* (2011)]. Dans le cas des estuaires calédoniens, les observations et analyses montrent que la dynamique sédimentaire à l'échelle du bassin versant masque les effets de l'élévation du niveau marin sur l'évolution du trait de côte.



Événements extrêmes
- Vents et vagues des cyclones et tempêtes tropicales.
- Précipitations.
- Houles australes.

Climat : variabilité et changement climatique
- Élévation du niveau marin.
- Température et acidité de l'océan.

Actions anthropiques
- Dragages, remblais.
- Ouvrages côtiers.
- Extractions de sédiments.
- Activités minières.
- Usage du sol.

Végétation
- Retient les sédiments en suspension.
- Limite l'érosion du sol.

Fig. 5 : Processus côtiers affectant la ligne de rivage d'un estuaire de Nouvelle-Calédonie.

D'après Garcin *et al.*, 2011.

Fig. 5: Coastal processes affecting the shoreline of an estuary in New Caledonia.

From Garcin *et al.*, 2011.



Atolls de Polynésie française.
Atolls in French Polynesia.
© BRGM – A. Nachbaur.

Les premiers résultats des études menées sur les atolls polynésiens et la Grande-Terre en Nouvelle-Calédonie convergent avec les conclusions d'autres recherches (par exemple Webb and Kench, 2010). Ces études montrent en effet que pour un certain nombre d'îles, en particulier à Funafuti, l'élévation du niveau marin n'explique pas la variabilité des mouvements du trait de côte observés alors qu'elle a été l'une des plus fortes du Pacifique au cours des soixante dernières années (autour de + 4,5 mm/an). En ajoutant l'effet de la subsidence, l'élévation relative du niveau marin y dépasse les 5 mm/an. Ces résultats indiquent que, contrairement à ce qui est parfois supposé, ces vitesses d'élévation du niveau marin sont insuffisantes pour entraîner une érosion généralisée du littoral.

Cependant, si les élévations du niveau marin n'ont pas été un facteur dominant des changements observés au XX^{e} siècle, il n'en sera probablement pas de même si le processus s'accélère. L'étude de Ballu *et al.* (2011) présente ainsi un cas dans lequel une subsidence d'origine tectonique a généré une élévation du niveau marin relatif de plus de 50 cm. Dans ce cas, le trait de côte a effectivement reculé. Il est ainsi probable qu'en multipliant les observations sur différents contextes côtiers, il sera possible de tirer des enseignements sur les facteurs les plus importants du changement du trait de côte sur des échelles de temps pluri-décennales. Il sera aussi possible d'évaluer dans quelle mesure et à partir de quelles vitesses d'élévation du niveau marin le changement climatique peut devenir un facteur important de la mobilité des rivages.

Remerciements

Le projet CECILE est financé par l'Agence nationale de la recherche, dans le cadre de son programme « Changements environnementaux planétaires ». Nous remercions la DIMENC, le SGNC et la DITTT de Nouvelle-Calédonie, le SAU de Polynésie française pour les données utilisées et les participants au projet CECILE pour leurs contributions.

Recent rise in sea level and coastal erosion: The case of Pacific Ocean islands

Anthropogenic global warming is currently causing a rise in sea level. Besides, sea level changes display significant regional variability, primarily due to variations in ocean temperature. It is now possible to reconstruct the evolution of the climate component of sea level rise over the past half century. Although the sea-level rise exceeded the global average in some regions, studies of several exposed islands show that other factors, including waves, currents, tectonic subsidence and riverine sediment transport, have been major contributors to the shoreline evolution observed over recent decades.
Specific case studies addressing these factors focus on atolls in French Polynesia and on New Caledonia. With sea levels expected to continue to rise in the future, both climate phenomena and natural or anthropogenic-induced subsidence could become dominant factors controlling future coastline evolution.
This study was carried out in the framework of the CECILE project, which is supported by the French Agency for Research (ANR).

Bibliographie : **Ballu V., Bouin M.-N., Siméoni P., Crawford W.-C., Calmant S., Boré J.-M., Kanas T., and Pelletier B. (2011)** – Comparing the role of absolute sea-level rise and vertical tectonic motions in coastal flooding, Torres Islands (Vanuatu). Proceedings of the National Academy of Sciences, doi:10.1073/pnas.1102842108. **Becker M., Meyssignac B., Letetrel C., Llovel W., Cazenave A., Delcroix T. (2012)** – Sea level variations at tropical pacific islands since 1950;Global and Planetary change, 80/81 p85-98 2012. **Cazenave and Llovel (2010)** – Comtemporary sea level rise. Annual Review of Marine Science. 2, 145-173. **Garcin M., Yates M., Le Cozannet G., Walker P., Donato V. (2011)** – Sea level rise and coastal morphological changes on tropical islands: example from New Caledonia and French Polynesia (SW Pacific). Geophysical Research Abstracts, 13, EGU2011, 3504. **Morton R., Miller T., Moore L. (2004)** – National assessment of shoreline change: Part 1: historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico. Geological Survey Open-file Report 2004-1043, 45 p. **Roques C., Bengoubou Valerius M., Le Cozannet G., Bourdon E., Mompelat J.-M., Oliveros C. (2010)** – Évolution et dynamique du trait de côte de l'archipel guadeloupéen. Étude de 1956 à 2004. BRGM/RP-58750-FR, 93 p. **Webb, A.-P., Kench, P.-S.** – The dynamic response of reef islands to sea-level rise: Evidence from multi-decadal analysis of island change in the Central Pacific, Global and Planetary Change (2010), doi:10.1016/j.gloplacha.2010.05.003. **Wöppelmann G., Testut L., Créach R. (2011)** – La montée du niveau des océans par marégraphie et géodésie spatiale : contributions françaises à une problématique mondiale. Annales Hydrographiques, 6^{e} Série, Vol. 8, No. 777, pp. 14-1