

Propositions d'adaptation des littoraux déjà urbanisés des îles tropicales, face à l'élévation du niveau marin d'ici 2050

Jean-Marc BEYNET¹

1. Ingénieur conseil en aménagements littoraux et portuaires maritimes et fluviaux, 35 rue de Peyrouse, 30320 Marguerittes, France.

beynet.consult@gmail.com

Résumé :

Les rejets massifs de CO₂ et méthane des pays industrialisés dérèglent le climat et accélèrent l'élévation du niveau marin qui sera conséquente dans les décennies à venir. De nombreux littoraux insulaires tropicaux déjà urbanisés vont être submergés si rien n'est fait pour les adapter. En particulier, ce sera le cas pour un grand nombre d'îles de la mer des Caraïbes par exemple, ou encore des océans Indien et Pacifique. Certaines de ces îles sont vulnérables également en raison des dépressions tropicales ou cyclones qui les impactent déjà, et ces épisodes devraient aller en s'aggravant eux aussi, en raison du réchauffement climatique. De plus, dans certains cas, les pompages dans les nappes phréatiques accélèrent les problématiques de submersion marine en milieu urbain. Par ailleurs les protections naturelles de certaines îles, par les coraux et barrières de récifs, sont déjà affaiblies en raison du réchauffement et de l'acidification des océans. Il est donc urgent de proposer des solutions simples de mise en œuvre, adaptées au contexte de ces îles pour protéger les littoraux déjà urbanisés les plus exposés. Même si de nos jours on favorise les concepts de « *construire avec la nature* », en ne luttant pas contre la mer, mais au contraire, en construisant avec elle, cette méthode n'est pas toujours possible sur les petites îles, faute d'emprises suffisantes en milieu urbain dense ou semi-urbain. La présente publication a pour but de présenter des propositions d'adaptation en tenant compte du contexte insulaire (faibles emprises, disponibilités limitées en matériaux locaux, mise en œuvre avec peu de moyens mécaniques, intégration paysagère, ...).

Mots-clés :

Îles tropicales, Submersion marine, Dépressions, Cyclones, Adaptation du littoral, Elévation prévisible du niveau marin, Construire avec la nature, Coraux, Gabions.

1. Elévation prévisible du niveau marin en 2050-2100

L'élévation du niveau marin est inéluctable, comme le montre le graphe issu du rapport AR6 du GIEC paru le 9 août 2021 (figure 1). L'élévation constatée depuis 1970 a été de 20 cm environ jusqu'à nos jours, soit sur les cinquante dernières années.

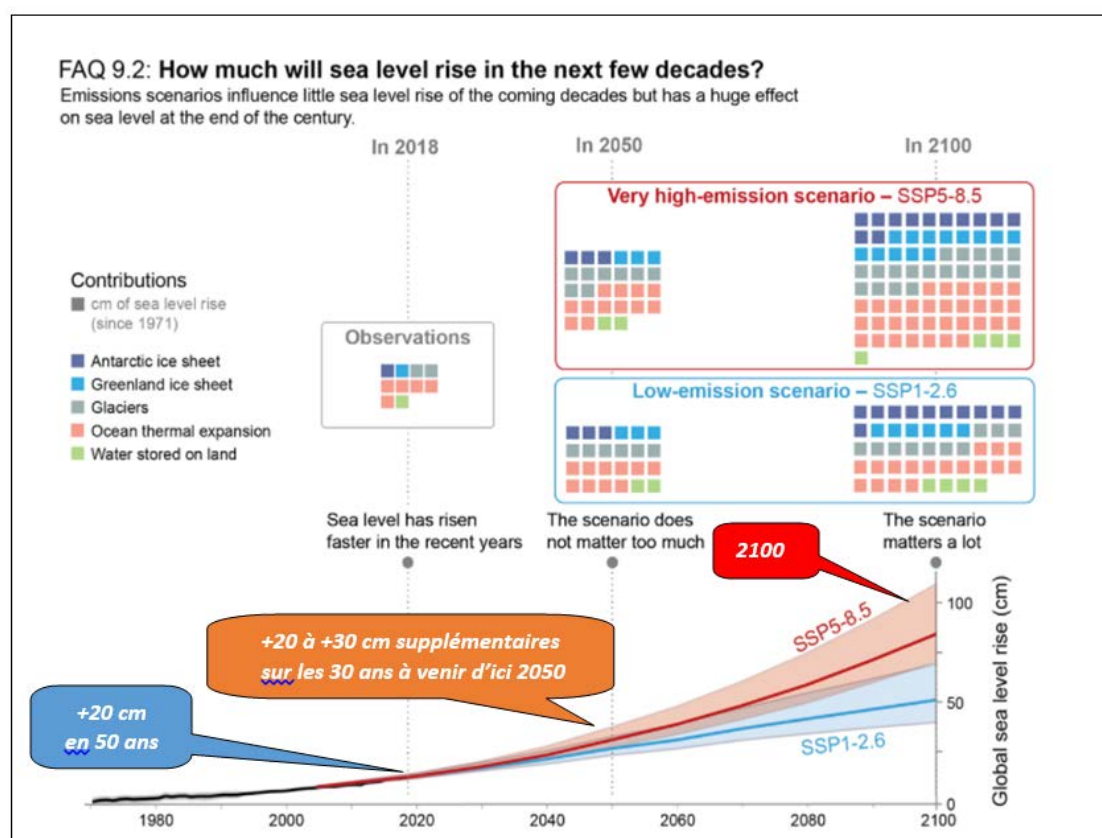


Figure 1. Elévation prévisible du niveau marin, selon AR6 du GIEC (2021).

Comme le met en évidence la figure 1, le niveau de la mer devrait s'élever encore de +20 à +30 cm supplémentaires d'ici 2050, (soit au total +40 à +50 cm, par rapport à 1970) et même beaucoup plus d'ici 2100. Cependant, comme cela est mis en évidence sur le graphe de la figure 1, l'évolution à court terme, et même jusqu'en 2050 environ, dépend peu de nos émissions actuelles de GES. En revanche, à l'horizon 2100, ces émissions peuvent en changer considérablement l'amplitude (GIEC, 2019 ; GIEC, 2021).

Actuellement il est probablement trop tôt pour se projeter à la fin du siècle, d'une part parce ce que c'est encore loin (8 décennies) et d'autre part, car l'incertitude sur l'élévation du niveau de la mer est trop importante pour définir et optimiser les travaux d'adaptation. Cette incertitude dépend directement de l'évolution des rejets de CO₂ et méthane de notre génération actuelle et des générations qui suivront (LACROIX, 2019 ; BEYNET, 2021b).

Par contre, il est souhaitable de se préparer dès à présent à l'élévation du niveau marin d'ici 2050, d'une part car la valeur est estimée de manière assez précise (à +/- 10 cm près) et d'autre part, l'échéance n'est pas si éloignée, si on tient compte du temps nécessaire pour réaliser les études d'abord, y compris les procédures réglementaires, puis les travaux ensuite.

Les littoraux d'un grand nombre d'îles de la mer des Caraïbes (comme en Guadeloupe par exemple, voir figure 2), ou encore des océans Indien et Pacifique vont être submergés et les riverains ont construit leur habitat très souvent trop proche de la mer. Certaines de ces îles sont vulnérables également en raison des dépressions tropicales ou cyclones qui les impactent déjà, et ces épisodes devraient aller en s'aggravant eux aussi, en raison du réchauffement climatique. Par ailleurs les protections naturelles de certaines îles, par les coraux et barrières de récifs, sont déjà affaiblies en raison du réchauffement et de l'acidification des océans. De plus, dans certaines îles, des pompages dans les nappes phréatiques accélèrent les problématiques de submersion marine en milieu urbain, suite à la subsidence des sols, comme à Jakarta par exemple où des quartiers de la capitale de l'Indonésie s'enfoncent à la vitesse de 5 à 10 cm par an en raison des pompages d'eaux souterraines. Et cette valeur se cumule à présent avec l'élévation du niveau marin en raison du réchauffement climatique. Aussi, le Gouvernement a décidé de déplacer la capitale de l'île de Java sur l'île de Bornéo qui est moins vulnérable. Mais pour d'autres zones urbanisées, d'autres îles plus modestes, il est urgent de proposer des solutions simples de mise en œuvre, adaptées au contexte de ces îles pour protéger les littoraux déjà urbanisés les plus exposés qui ne peuvent pas être déplacés facilement.



Figure 2. Exemple de littoral urbanisé trop près de l'eau, Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe (cliché ©Beynet, 2013) et sa localisation sur fond de carte marine (Navionics).

2. Construire avec la nature lorsque c'est possible

2.1 Protéger et restaurer les coraux et barrières récifales

Même si de nos jours, les prélèvements de coraux sont interdits, beaucoup de dégâts ont été faits dans le passé, en particulier sur les littoraux des îles tropicales : pêche à

Thème 7 – Risques côtiers

l'explosif, exploitation des coraux comme matériaux de construction, etc... Au niveau mondial, environ 20% des récifs de coraux ont été détruits au cours des dernières décennies. Et pourtant, les coraux sont de gigantesques constructions calcaires qui existaient sur Terre avant les dinosaures. Il est urgent de les protéger et de les restaurer. Aujourd'hui, il faut saluer et encourager toutes les initiatives menées par des chercheurs et des associations aussi bien dans le Pacifique (le CRIOBE, Centre de Recherches Insulaires et Observatoires de l'Environnement, créé en 1970 à Moorea en Polynésie française), dans l'océan Indien (l'ONG « Nature Seychelles » et son plan « Reef Rescuers ») et aux Antilles (le Parc National de la Guadeloupe qui a lancé en 2017 un programme de restauration par transplantation). Citons également « Coral Guardian » en Indonésie, et bien d'autres programmes de recherches dans des îles autour du monde (BEYNET, 2021a). Par ailleurs, des initiatives récentes sont menées en immergeant des structures métalliques sur lesquelles des coraux ont été préalablement fixés. Un courant électrique de faible intensité est ensuite imposé, provoquant une électrolyse de l'eau, conduisant à une cristallisation des carbonates de calcium nécessaires à la croissance des coraux (Source ©Biorock.net). Depuis 2019, d'autres solutions basées sur les principes de « construire avec la nature » sont testées, en particulier aux Maldives : « Growing Islands – Rebuilding beaches and protecting Coastlines through wave energy ».

2.2 Les rechargements massifs de sable

Aux Pays-Bas, des polders par endiguements et drainage des zones basses (1/3 du pays est sous le niveau de la mer) ont été créés depuis plusieurs siècles. Actuellement, les mentalités évoluent et les ingénieurs néerlandais recommandent de plus en plus de « construire avec la nature » (SANCHEZ, 2021 ; VAN EEKELEN, *et al.*, 2021), en ne luttant pas contre la mer, mais au contraire, en construisant avec elle. Par exemple, le « Sand Engine » inventé par le Professeur Stive. Le moteur à sable est un type de rechargement massif de plage où un grand volume de sédiments est ajouté sur un littoral. Les éléments naturels (vents, vagues, courants et marées) répartissent ensuite le sable le long de la côte pendant plusieurs années. De ce fait, il n'est plus nécessaire de procéder à des rechargements fréquents. A priori, la rentabilité de cette méthode est meilleure. Autre avantage, les perturbations écologiques sont moindres sur le milieu marin. Le premier moteur à sable a été construit au large de la Hollande méridionale. Il s'agissait d'une presqu'île de 128 ha qui a été créée entre Ter Heijde et Kiikduin (figure 3) en 2011, à la demande du Hoogheemraadschap van Delfland (STIVE *et al.*, 2013).

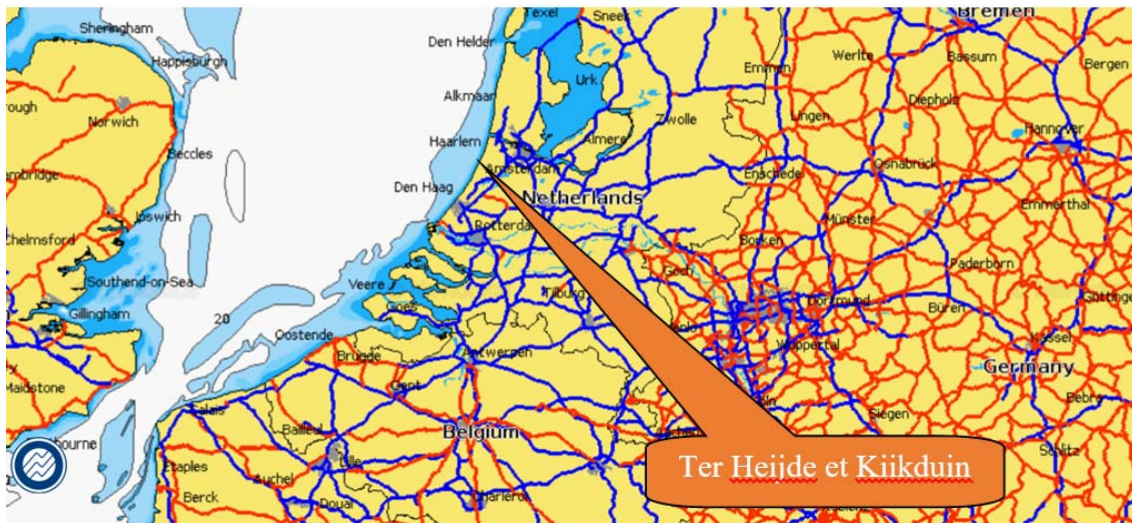


Figure 3. Localisation de la photo sur fond de carte marine (Navionics).

Mais cette méthode n'est pas toujours possible, faute d'emprises suffisantes, en particulier pour les îles tropicales, en milieu urbain dense ou semi-urbain. Par ailleurs, les petites îles des zones tropicales ne disposent généralement pas des gisements de sable en volume suffisant, ni de gros matériels de dragages.

2.3 « Désenrocher » certains littoraux et laisser la mer reprendre ses droits

Dans les années 1970, de nombreux littoraux ont été artificialisés, pour limiter l'érosion. Mais on s'est rendu compte que protéger « en dur » sur un certain linéaire côtier, reportait souvent l'érosion sur le littoral voisin non protégé. Actuellement, en France métropolitaine, le Conservatoire du Littoral tente d'anticiper pour « renaturer le trait de côte » en enlevant des enrochements de protection qui avaient été mis en place autrefois. Outre leur aspect artificiel, les enrochements constituaient un « point dur » sur le littoral, ce qui provoquait l'affouillement du sable situé à leur base, et accélérât la disparition de la plage et l'érosion marine à long terme. Une première phase de « désenrochement » a été réalisée sur le littoral de La Londe-les-Maures, sur 300 ml lors de l'automne 2019. D'autres phases sont prévues sur plusieurs années. Ces travaux de requalification du littoral font l'objet de financements européens dans le cadre du programme transfrontalier Marittimo (<https://interreg-maritime.eu/fr/il-programma-2021-2027>) et du programme Life Adapto (<https://www.lifeadapto.eu/>), voir figure 4.

Thème 7 – Risques côtiers

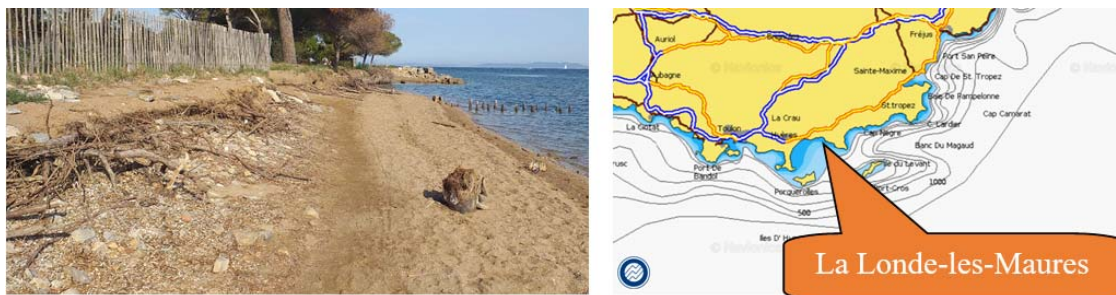


Figure 4. Exemple d'enlèvement sur 300 ml des enrochements de protection et renaturation du trait de côte au droit des Vieux Salins d'Hyères à l'Ouest du port de la Londe-les-Maures (cliché © Beynet, 2020) et sa localisation sur fond de carte marine Navionics.

Dans de nombreux cas, les riverains des îles tropicales ont tenté de protéger leurs habitats trop bas sur l'eau par des enrochements. Ces dispositifs sont rarement efficaces, mais si les enrochements sont enlevés, il faudra soit reculer l'habitat, soit le protéger par d'autres moyens, comme cela est présenté dans le paragraphe suivant.

3. Réhausser les protections lourdes lorsqu'elles existent déjà en zone urbaine

Dès 2010-2012, dans le cadre du projet Sao Polo, le CETMEF/CEREMA soulignait que si la mer monte de 1 m d'ici 2100, il faudra surélever les digues de près du double. Philippe Sergent, directeur scientifique du CEREMA l'expliquait ainsi à l'époque :

« Lorsque la houle se met à déferler, son amplitude est d'autant plus grande que le fond est lointain. Du fait de l'élévation de la mer, la profondeur augmenterait d'un mètre au droit de la digue, la vague serait donc plus haute qu'initialement. Cet effet s'ajoute à la hausse du niveau de la mer, si bien que lorsque le niveau de la mer augmente d'un mètre, la sur-hauteur de digue nécessaire, à protection égale, est de 2 m pour les digues en enrochements. Ainsi, même si les tempêtes futures ne diffèrent pas de ce qu'elles sont aujourd'hui, la hauteur de houle augmentera du fait de la seule élévation du niveau de la mer... »

Pour l'horizon 2050, pour limiter leur franchissement, les ouvrages existants de protection des littoraux devront donc être surélevés de +1 m environ. Pour protéger en partie les habitations situées, en première ligne devant la mer, cela pourrait être possible en disposant une rangée de gabions de section 1 m x 1 m sur la crête de la protection lourde déjà existante en zone urbaine ou semi-urbaine, car le foncier disponible est en général très limité. De plus dans certaines îles, surtout si ce sont des atolls, il n'est pas toujours possible d'ouvrir des carrières d'enrochements. Il est fréquent de constater que des enrochements de trop faible blocométrie ont été mis en œuvre lorsque les carrières locales ne permettent pas de produire des gros blocs. Dans ce cas, ces carapaces ne sont pas stables sur le talus incliné et ces enrochements sous-dimensionnés deviennent parfois des projectiles sous l'action des impacts des houles.

En revanche il est plus facile de trouver des matériaux 70-180 mm par exemple, pour remplir des cages de gabions. Un gabion de section 1 m x 1 m et de longueur 3 m aura une masse de 5 à 6 tonnes et résistera mieux que des enrochements sous-dimensionnés. Pour ne pas subir la corrosion en atmosphère marine, les cages de gabions devront être en fils d'acier à faible teneur en carbone et galvanisation longue durée et enveloppés dans une gaine de protection polymérique additionnelle (PLASTRE *et al.*, 2016). La végétation endémique (type lierre grimpant) peut ensuite coloniser assez facilement ces ouvrages en s'accrochant dans les grillages des armatures, ce qui améliore l'aspect visuel de ces gabions, qui sont ainsi mieux intégrés dans l'environnement que de simples gros enrochements.

Par ailleurs, si des tests sur modèle réduit révèlent que les gabions ne seront pas suffisamment stables aux impacts des vagues, ces derniers pourraient être ancrés au moyen d'une tige préalablement scellée dans les enrochements du perré existant en haut de plage, avant remplissage des cages de gabion.

Soulignons aussi que de telles solutions à base de gabions sont intéressantes également dans les petites îles, car elles ne nécessitent pas de gros moyens d'engins chantier. Mais bien entendu, les études et travaux de ces solutions devront tenir compte du contexte réglementaire qui peut varier d'une île à l'autre (BEYNET, *et al.*, 2020).

Pour être bien clair, soulignons qu'il ne s'agit pas ici de placer des gabions directement sur le sable en haut de plage comme cela a été fait sur de nombreux sites touristiques de l'île Maurice en particulier (CAZES-DUVAT, 2005). Il est proposé d'adopter cette technique à base de gabions, uniquement pour rehausser des littoraux urbanisés, déjà artificialisés, le long desquels des perrés maçonnés ou des talus enrochés ont été implantés ces dernières années et pour lesquels les méthodes de « construire avec la nature » ne peuvent pas s'appliquer. Les figures 5 à 10 détaillent les dispositions constructives proposées, décrites ci-avant. La solution « gabion » présentée ici est simple de mise en œuvre sur les petites îles car dans la plupart des cas elle pourra être réalisée en remplissant les cages métalliques par des matériaux 70-180 mm prélevés localement sur l'île elle-même, ou sur d'autres îles proches. Seules les cages métalliques auront à être importées. Son coût de mise en œuvre reste modeste, de l'ordre de 400 à 500 €HT/ml, se décomposant en 75 €HT/m² pour les matelas Reno, 250 €HT/m³ pour les gabions et 50 à 100 €HT/U pour les barres de scellement.

Cependant, cette solution « gabion » offrant une paroi verticale face aux clapots incidents, peut s'avérer réfléchissante. Il est alors possible de remplacer les gabions par des murettes préfabriquées (ou en béton coulé in situ) qui, côté large, offrent un profil parabolique et renvoient une partie de l'énergie de la houle, limitant ainsi les franchissements. Une telle disposition est présentée dans la figure 11 ci-après.

Signalons de plus le dispositif Wave-Bumper, qui lui aussi est profilé, en étant réalisé non pas en béton, mais en matériaux composites. Il peut être mis en œuvre rapidement car il est léger à manipuler. Lesté par des « big-bags » ou ancré au sol, il peut

Thème 7 – Risques côtiers

généralement résister aux assauts des vagues de submersion. Ce dispositif peut s'avérer intéressant aussi dans les îles tropicales où des marées de tempête temporaires accompagnent généralement des épisodes de dépression cyclonique. Cette solution innovante peut être déployée de façon temporaire le plus souvent, par exemple pour protéger des voiries, puis les modules peuvent être enlevés et stockés en arrière du littoral ensuite, après passage de la marée de tempête. Plus de détails sont donnés sur le site : <https://wave-bumper.com/>



Figure 5. Vue perspective du niveau de la mer en 1970 et en 2050, sans surcote, puis avec surcote barométrique de 1 m, lors d'un évènement cyclonique.

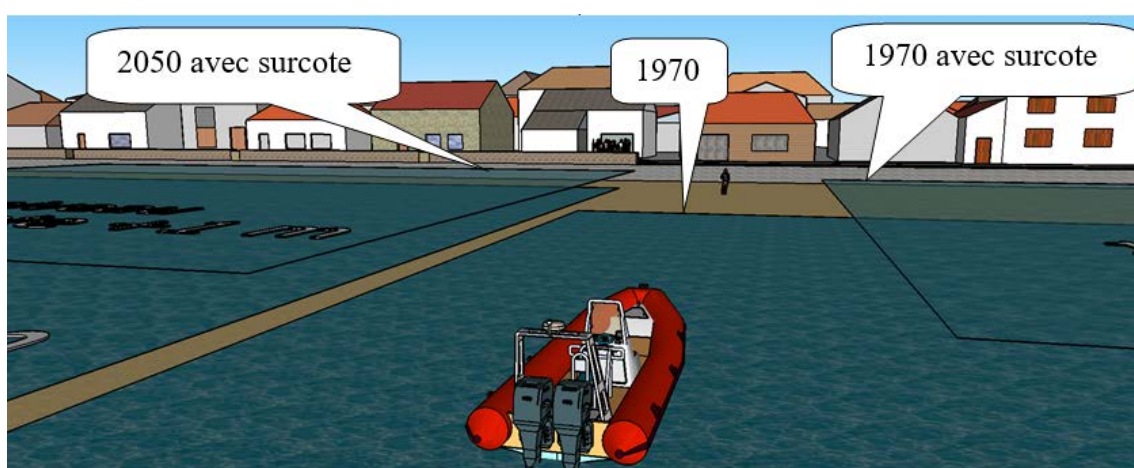


Figure 6. Vue sous un autre angle de la figure 5.

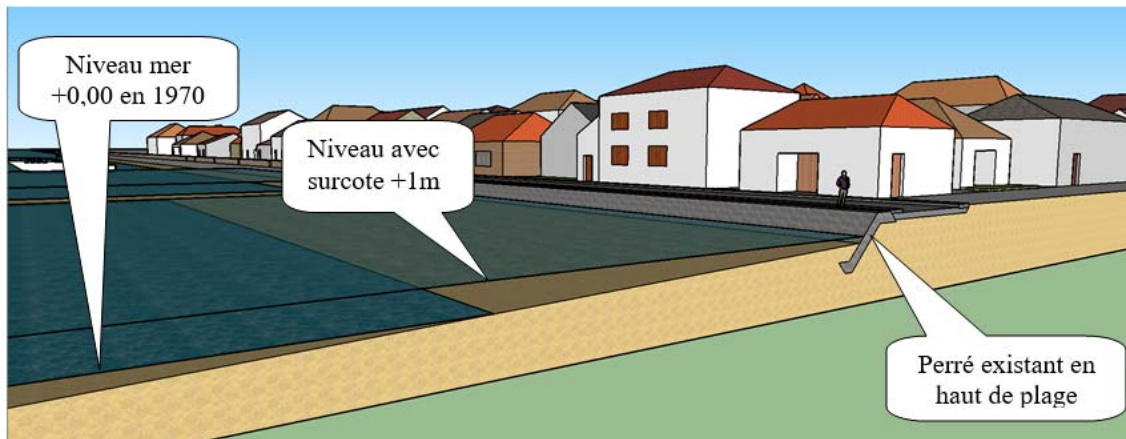


Figure 7. Détails du perré existant en haut de plage avec le niveau de la mer en 1970.

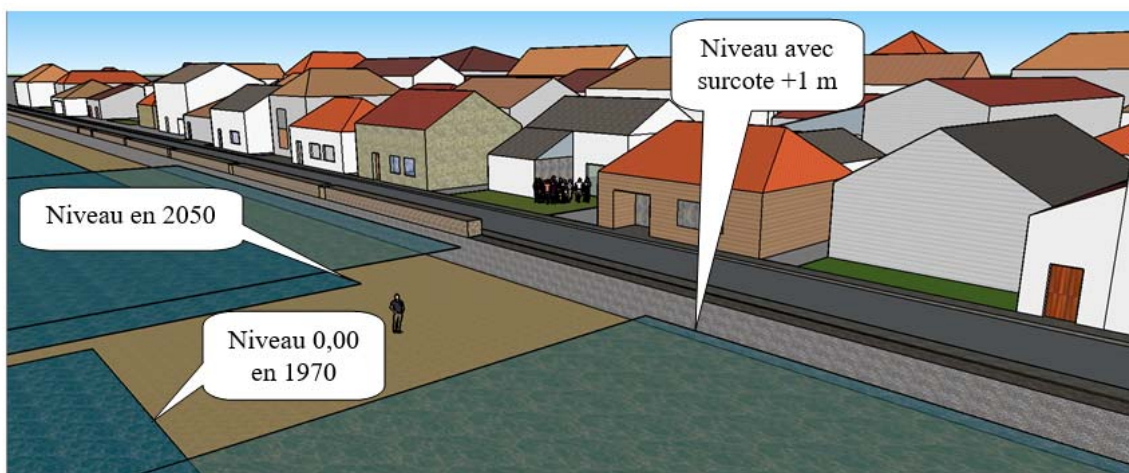


Figure 8. Détails sous un autre angle des figures 5, 6 et 7 précédentes.

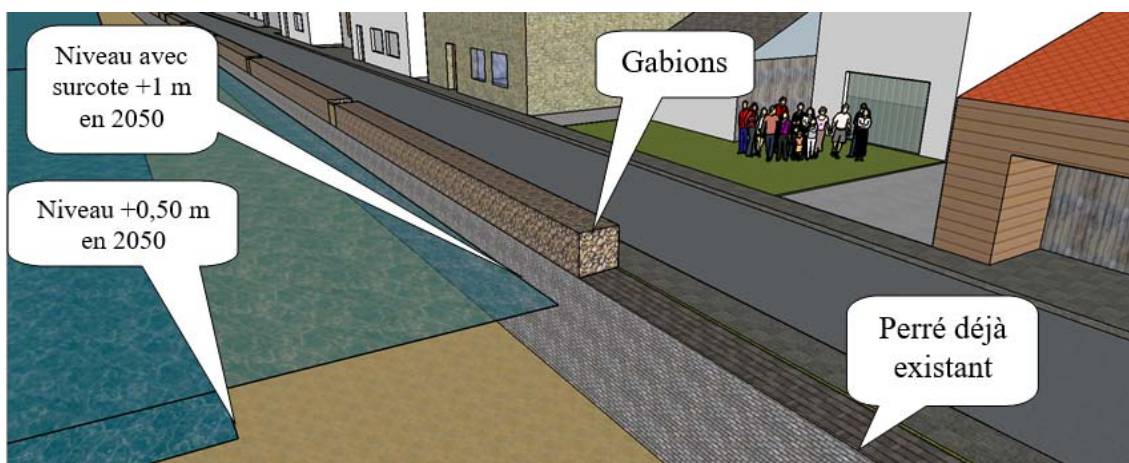


Figure 9. Murette gabion à déposer en crête du perré existant de haut de plage, pour s'adapter au niveau de la mer d'ici 2050 et protéger le littoral urbain insulaire.

Thème 7 – Risques côtiers

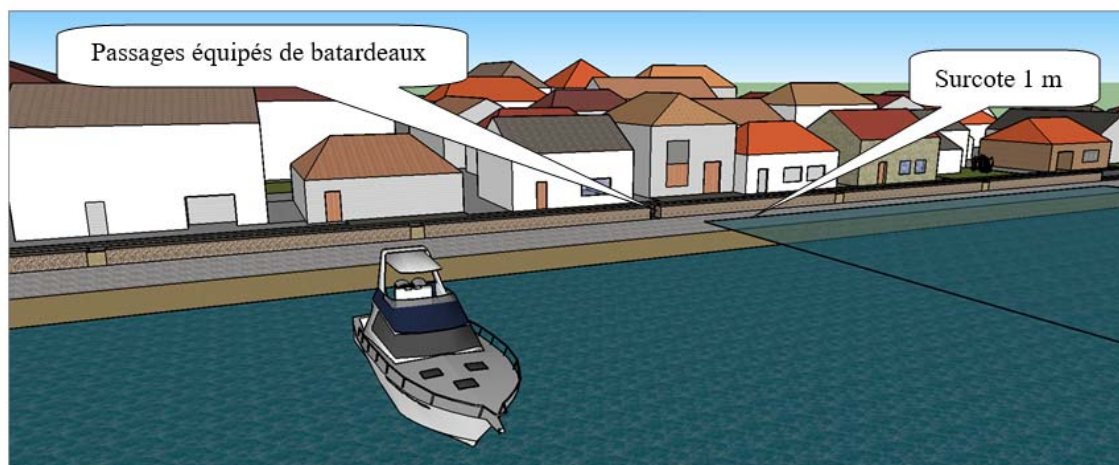


Figure 10. Détail des ouvertures batardables laissées régulièrement entre les gabions.

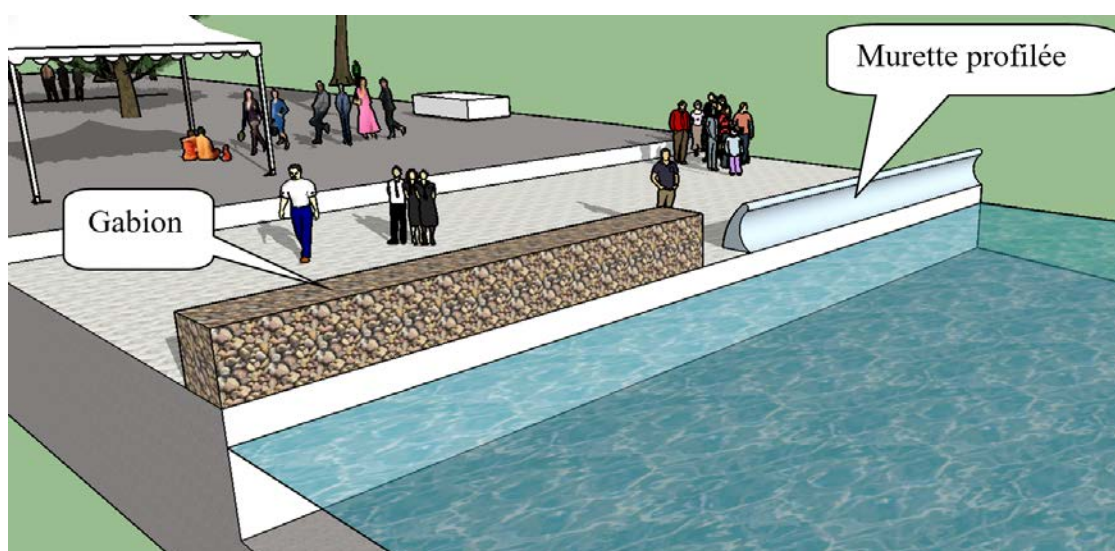


Figure 11. Comparaison des solutions « gabion » et « murette profilée »

Les passages repérés sur la figure 10 ci-avant, sont nécessaires pour laisser le libre accès des piétons à la mer, hors période cyclonique. Ils devront impérativement être batardés, dès l'alerte de l'arrivée d'une dépression tropicale ou d'un cyclone, pendant la durée duquel ils limiteront les franchissements de paquets de mer sur la voirie. Dès la levée de l'alerte, ils devront être retirés pour accélérer l'évacuation des eaux qui auront franchis les gabions. Il ne faut surtout pas réaliser un polder étanche, qui serait dangereux pour les riverains. Notons par ailleurs que pour améliorer la protection des habitations privées elles-mêmes, les occupants pourront mettre en place des planches dans des

rainures à batardeaux, dans la largeur des portes d'entrée, comme cela est classique en zone inondable.

4. Conclusions

S'ils ne sont pas assez hauts sur l'eau, les littoraux urbanisés des îles tropicales vont devenir très vulnérables avec l'élévation prévue du niveau de la mer d'ici 2050. Dans la plupart des cas, faute de foncier disponible, les principes de « construire avec la mer » ne pourront pas être appliqués et il faudra malgré tout protéger ces zones habitées. Les propositions présentées ici sont simples à réaliser et dans certaines îles, elles pourraient permettre de protéger le foncier bâti encore 3 ou 4 décennies, tant que l'augmentation du niveau marin ne dépassera pas +0,50 m par rapport à ce qu'il était en 1970. Au-delà, il est probable que ces propositions d'adaptation ne seront pas suffisantes, surtout si la mer s'élève de +1 m, voire plus à la fin du siècle. Cet habitat devra être abandonné et détruit, après avoir déplacé les riverains plus à l'intérieur des îles, en zones plus hautes au-dessus de la mer.

Remerciements

L'auteur remercie la Société NAVIONICS qui l'a autorisé à insérer des extraits de cartes marines pour illustrer ses textes descriptifs permettant ainsi de localiser les lieux cités. Il remercie en particulier M. Paolo Cignoni, *Strategic Data Acquisition and Licensing Director*.

5. Références bibliographiques

- BEYNET J.M., EGRETAUD C., REDON J.P. (2020). *Adaptation des littoraux à l'élévation prévisible du niveau des mers : Spécificités climatiques, humaines, environnementales et d'urbanisme réglementaire pour les outre-mer - XVI^{ème} Journées Génie-Côtier, Génie-Civil au Havre, décembre 2020*. doi 10.5150/jngcgc.2020.080
- BEYNET J.M. (2021a). *La vie des îles autour du monde - Naissance, histoire, présent, futur probable*, Ouvrage, Nombre7 Editions, Nîmes. ISBN-978-2-38153-459-6
- BEYNET JM. (2021b). *Le dérèglement climatique accélère l'élévation du niveau des mers, en particulier dans l'océan Indien*, Version numérique, Revue Marine et Océans, Indian Ocean Naval Symposium, juin 2021. <https://marine-oceans.com/le-fil-info-de-mo/marine-oceans-a-lheure-de-locean-indien-articles-et-entretiens-complementaires-au-numero-en-cours/>
- CAZES-DUVAT V. (2005). *Les archipels de l'ouest de l'océan Indien face à l'érosion côtière (Mascareignes, Seychelles, Maldives)*, Armand Colin, Annales de Géographie 2005, n°644, pp. 342-361. <https://www.cairn.info/revue-Annales-de-geographie-2005-4-page-342.htm>
- CEREMA (2012). *Stratégies d'adaptation des ouvrages de protection marine ou des modes d'occupation du littoral vis-à-vis de la montée du niveau des mers et océans – Projet SAO POLO GICC N°G.9-0006812 – Coordinateur Philippe Sergent, août 2012*.
- GIEC (2019). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Special Report*.

Thème 7 – Risques côtiers

GIEC (2021). *AR6, Rapport du Groupe de travail n°1*, publié le 9/08/2021.

LACROIX D., MORA O., DE MENTHIERE N., BETHINGER A. (2019). *La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective*. Rapport d'étude AllEnvi, Alliance nationale de recherche pour l'Environnement, Octobre 2019, 172 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00598/70975/>

PLASTRE A., COTE B. (2016). *Ouvrages hydrauliques en gabions pour la sécurisation du bassin versant instable des Bouisses (06)*, Revue Travaux N°922, mars 2016. <https://www.maccaferri.com/fr/des-gabion-matelas-reno-pour-securiser-le-bassin-versant-instable-des-bouisses/>

STIVE M., DE SCHIPPER M.A., LUIJENDIJK A.P., AARNINKHOF S.G.J., VAN GELDER-MAAS C., VAN THIEL DE VRIES J.S.M., DE VRIES S., HENRIQUEZ M., MARX S., RANASINGHE R. (2013). *A new alternative to saving our beaches from sea-level rise : The Sand Engine*, Journal of Coastal Research 29(5), 200 : 1001-1008. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00070.1>