



Risques côtiers dans le delta du Saloum (Sénégal) dans un contexte de changement climatique : focus sur Bétenty

Source: Think Tank « INTERFACE » de L'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) sur la finance climat

Année : mars 2025



Source : Think Tank « INTERFACE » de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) sur la finance climat
Année : mars 2025

Table des matières

1	Introduction.....	2
2	Méthodologie.....	3
2.1	Dynamique littorale multidécennale.....	3
2.2	Recul du rivage induit par l'Elévation du Niveau de la Mer (ENM).....	4
2.3	Evaluation du niveau de submersion marine.....	4
2.4	Estimation des zones à risque de submersion marine et impacts environnementaux et socio-économiques.....	5
3	Résultats.....	6
3.1	Dynamique littorale multidécennale.....	6
3.2	Risque d'érosion côtière induite par l'élévation du niveau marin à l'horizon 2026.....	7
3.3	Risque de submersion marine.....	9
3.4	Impacts environnementaux et socio-économiques potentiels.....	14
4	Conclusion.....	17

Liste des figures

Figure 1: site d'étude.....	5
Figure 2: Dynamique du littoral de Bettenty de 1984 et 2024.....	8
Figure 3: Erosion côtière potentielle induite par l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2060....	9
Figure 4: Perte potentielle de surface induite par l'élévation du niveau marin à l'horizon 2060.....	10
Figure 5: Modèle Numérique d'Élévation (MNE) du site d'étude.....	11
Figure 6: Niveau de submersion marine de 4,31m et zones sous risque.....	12
Figure 7: Niveau de submersion marine de 5,46m et zones sous risque.....	13
Figure 8 Niveau de submersion marine de 5,71m et zones sous risque.....	14
Figure 9: Niveau de submersion marine de 7,91m et zones sous risque.....	15
Figure 10:Impacts environnementaux et socio-économiques potentiels des submersions marines	17

Ce rapport a été élaboré dans le cadre du projet UNI-LEAD, qui vise à renforcer les capacités des universités du Consortium des universités des PMA sur le changement climatique à fournir des conseils et des services techniques à leurs gouvernements pour un meilleur accès au financement climatique. Ce projet est financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et exécuté par START International en partenariat avec Climate Analytics, Inc. Préparé par le Think Tank du Sénégal en collaboration avec ses partenaires listés dans le tableau ci-dessous, ce document est accompagné d'une note d'orientation et d'une proposition d'idée de projet destinée à être soumise aux institutions accréditées au niveau national.

Prénom et nom	Rôle	Institution
Alassane SARR	Leader du Groupe de Travail Zone Côtière, chargé des études bio-physique	IUPA/UCAD
Clément SAMBOU	chargé des études de vulnérabilité socio-économiques	IUPA/UCAD
Waly NDIAYE	Chargé des études de vulnérabilité bio-physiques	IUPA/UCAD
Siny NDOYE	Chargé des études de vulnérabilité bio-physiques	UAM
Khady GOUDIABI	Chargé des études de vulnérabilité bio-physiques	IFAN/UCAD
Henri Mathieu LÔ	Chargé des études de vulnérabilité biophysiques et socio-économiques	ONG GAIA
Mamadou SADIO	Chargé des études biophysiques	UCAD
Amadou T GAYE	Coordonnateur des 4 groupe, participe dans les études de vulnérabilité socio-économiques	ESP/UCAD
Ibrahima CAMARA	Coordonnateur adjoint des 4 groupes, participe dans les études de vulnérabilité biophysiques et socio-économiques	ESP/UCAD

Boubacar Fall	Chargé des études de vulnérabilité biophysiques et socio-économiques	FST/UCAD
Dibor SARR	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DCCTEFV/METE
Aissata SALL	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	CSE
Boury DIOUF	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DCCTEFV/DGL/METE
Bakary MANNEH	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet et de la mobilisation des populations locales	CLPA
Aissatou Fall Ndoeye GUEYE	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DPM/MPIMP

Ce groupe a été établi suite à plusieurs échanges entre les chercheurs, les acteurs publics et privés. Le lead du groupe est le Pr Alassane SARR directeur de l'Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture (IUPA) de l'UCAD. Le groupe est composé de 15 personnes dont 5 femmes. Le groupe est aussi constitué de plusieurs jeunes chercheurs (doctorant et post-doctorant).

Coordination:

Prof. Amadou Gueye

Dr. Ibrahima Camara

1 Introduction

Les îles Bettenty (ou Bétanti, ou Bétenty) sont situées à 250 km au sud de Dakar, sur la Petite-Côte, dans le Delta du Saloum (figure 1). C'est un archipel d'îles est limité au Nord par le Diomboss, à l'ouest par l'océan atlantique, à l'est par la forêt classée des îles du Saloum, et au sud par la Gambie. Ces îles font partie de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (RBDS), et restent exposées aux risques côtiers, dans un contexte de changement climatique. Afin d'étudier les risques d'érosion côtière et de submersion marine, la dynamique littorale multiséculaire est caractérisée, dans un premier temps, avant l'estimation, dans un second temps, du recul de la ligne du rivage et des niveaux de submersion marine induits par l'Élévation du Niveau de la Mer (ENM), à l'horizon 2060, sous le scénario SSP5-8.5 (développement basé sur les énergies fossiles) de l'AR6 du GIEC.

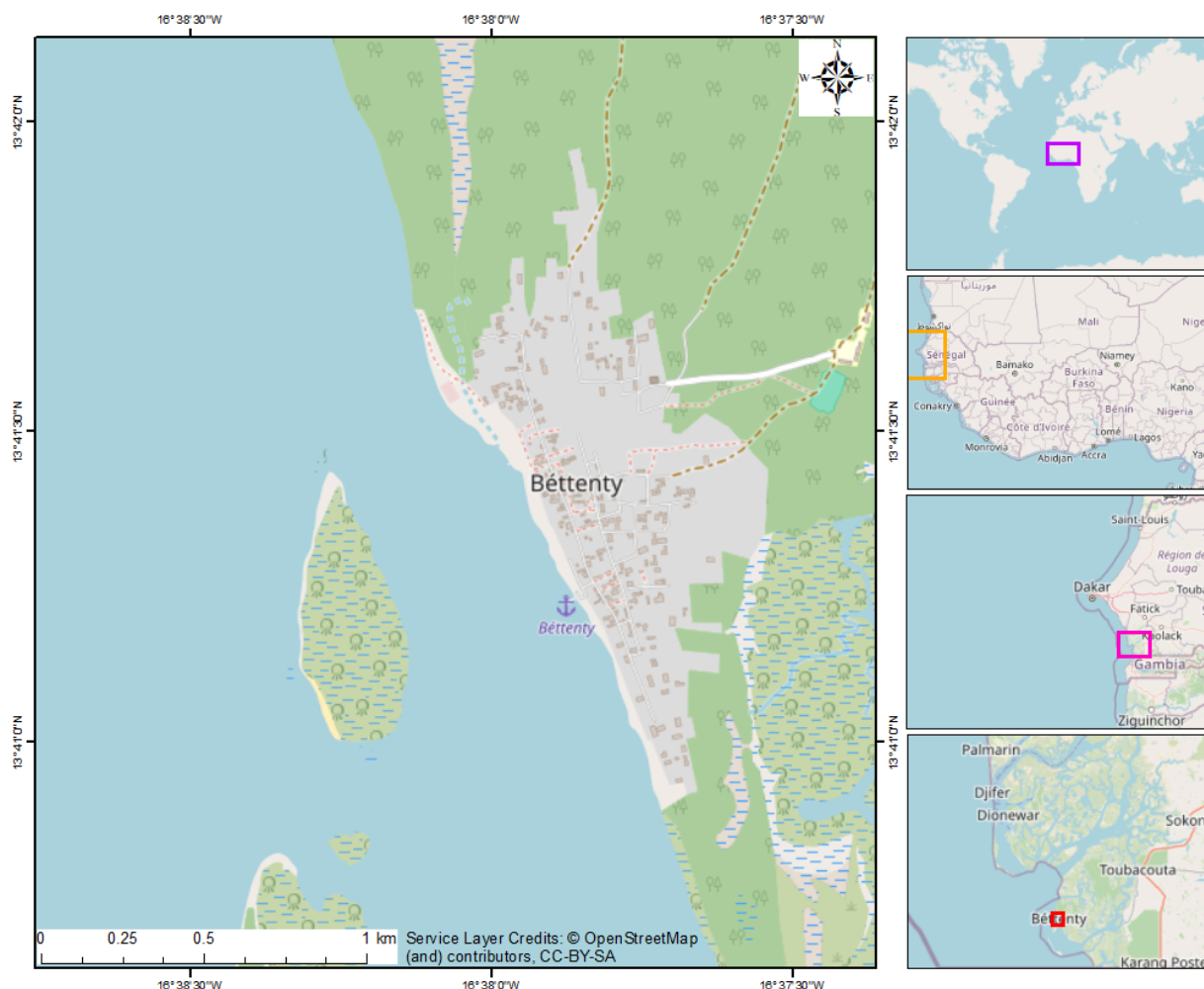


Figure 1: site d'étude

2 Méthodologie

2.1 Dynamique littorale multidécennale

La caractérisation de la dynamique littorale repose sur une approche par télédétection, système d'information géographique (SIG) et analyse statistique, à partir du logiciel SIG *ArcGIS* et de l'application du logiciel *Digital Shoreline Analysis (DSAS)*, avec un matériel essentiellement composé d'images satellitaires *LANDSAT*.

Ainsi, après la production de bandes composites, l'exécution de compositions colorées RVB (Rouge, Vert, Bleu), le rehaussement de la dynamique et la vérification géométrique des images satellitaires, les lignes de rivage instantanées ont, par la suite, été extraites par digitalisation à partir du logiciel SIG *ArcGIS*. Il s'en est suivie une analyse statistique de la dynamique de la

ligne du rivage par le truchement du *DSAS*, avec comme méthode de calcul la *Linear Regression Rate (LRR)* ou taux de régression linéaire qui est la méthode la plus robuste pour mesurer les tendances historiques de l'évolution du trait de côte (FENSTER et al., 1993).

2.2 Recul du rivage induit par l'Élévation du Niveau de la Mer (ENM)

Pour estimer le recul du littoral provoqué par l'Élévation du Niveau de la Mer (ENM), à l'horizon 2060, la loi de BRUUN (1962) a été utilisée :

$$R = S * G * L / (b + h)$$

où R est le recul dû à l'élévation du niveau de la mer, S est l'élévation du niveau de la mer, G est la proportion de matériau érodé qui reste dans le profil actif, L est la largeur du profil actif, b est la hauteur de la dune et h est la profondeur de fermeture.

Cette règle de Bruun est la méthode la plus couramment appliquée (exemple EUROSION, 2004 ; Cowell, 2006 ; Hinkel et Klein, 2009 ; Zang *et al.*, 2004) pour évaluer le recul du rivage causé par l'élévation du niveau de la mer (Yates-Michelin *et al.*, 2011). Elle a été utilisée au Sénégal par Niang-Diop (1995), Niang *et al.* (2005), SADIO et al. (2019) et SAKHO et al. (2022).

La loi de Bruun est appliquée à partir de $S = 0.33$ m (scénario SSP5-8.5: développement basé sur les énergies fossiles); $G = 1$ (quand les sédiments sont des sables (Niang et al., 2005); $h = 5,56$ m; et $L = 1831$.

2.3 Evaluation du niveau de submersion marine

L'une des premières conséquences de l'élévation du niveau de la mer est l'augmentation du risque d'inondation associé aux ondes de tempête dans les zones côtières basses. Nicholls et al. (1999) ont défini la zone de risque comme étant la zone terrestre comprise entre la ligne du rivage/ trait de côte et le niveau d'eau maximal prévu. Elle peut être calculée à l'aide de l'équation de Hoozemans et al. (1993) :

$$Dft = MHW + St + Wf + Pf$$

où Dft est le niveau de submersion, MHW le niveau moyen des hautes eaux, St l'élévation relative du niveau de la mer, Wf la hauteur des houles de tempête et Pf l'élévation du niveau de la mer en raison d'un abaissement de la pression atmosphérique.

Le niveau moyen des hautes eaux (MHW) est obtenu à partir des données horaires du marégraphe de Dakar, notamment la station 223. Il est de 1,38 m. L'élévation relative du niveau de la mer (St) à l'horizon 2060 sur le site d'étude est estimée à 0,33 m, à partir de la *NASA IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*. Concernant la hauteur des houles de tempête (Wf), trois différents climats de houle relatifs à la zone d'étude ont été utilisés:

- un climat de houles issu de données *ERA5* sur 40 ans (de 1979 à 2019), avec des houles de tempête de 2,60 m à 3,75 m (Sakho, 2020) ;
- un climat de houles résultant de données *Wavewatch III (ww3)*, avec une houle de tempête de 4 m; et
- un climat de houle utilisé par Dwars, Heederik et Verhey Ingenieurs conseils (1979), SOGREAH Ingénieurs Conseils (1981), Nardari (1993), Gueye (1997) et Niang *et al.* (2005), dont la houle de tempête atteint 6,2 m, avec une période de retour de 1/100.

L'élévation du niveau de la mer due à un abaissement de la pression atmosphérique (Pf) reste, quant à elle, négligeable au Sénégal (Niang *et al.*, 2005).

2.4 Estimation des zones à risque de submersion marine et impacts environnementaux et socio-économiques

Afin d'identifier les zones à risque de submersion marine et leurs impacts environnementaux et socio-économiques potentiels, les niveaux de submersion obtenus ont été extraits à partir d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) d'une résolution de 1 seconde d'arc (environ 30 m). Les zones exposées ont, par la suite, été superposées à la carte de base *Imagery* d'*ESRI*.

3 Résultats

3.1 Dynamique littorale multidécennale

La dynamique multidécennale du littoral affiche une érosion sur l'ensemble du linéaire côtier de Bettenty, avec des taux variant de -0.16 à -3.05 m/an (figure 2).

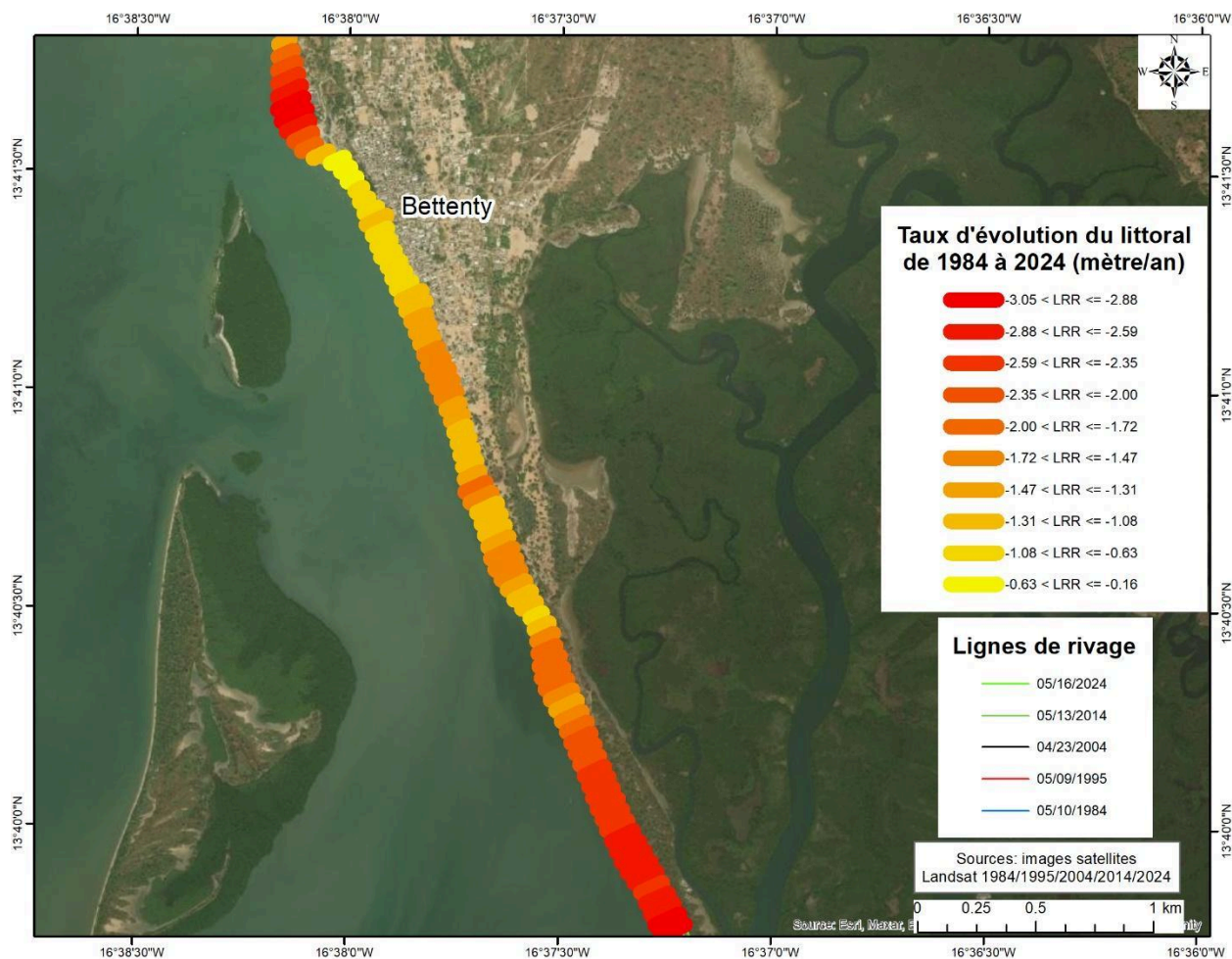


Figure 2: Dynamique du littoral de Bettenty de 1984 et 2024

L'érosion côtière, très forte au Nord et au Sud de Bettenty où elle atteint son taux maximal (-3.05 m/an), reste faible à modérée- élevée au centre du littoral, avec des taux de -0.16 à -2.42 m/an. Le taux moyen d'évolution le long du littoral est de -1.67 m/an. Cette érosion pourrait se justifier par des facteurs naturels et anthropiques. Les facteurs naturels sont relatifs à un déficit sédimentaire, une partie importante de la charge sédimentaire de la dérive littorale étant séquestrée par les différentes embouchures situées un peu plus en amont, notamment le Lagoba, l'embouchure du Saloum, et celle du Diomboss. Il en résulte un transport longshore insuffisant pour assurer le nourrissement du littoral de Bettenty en sable. Les facteurs anthropiques sont liés aux effets négatifs (comme le blocage des sédiments) des structures de protection côtière et portuaire du site.

Par ailleurs, l'érosion observée sur le littoral de Bettenty pourrait également se justifier par le changement climatique. L'importance de ce forçage sur l'érosion côtière sera de plus en plus croissante dans le futur, en fonction de l'accélération de la tendance d'élévation du niveau de la mer.

3.2 Risque d'érosion côtière induite par l'élévation du niveau marin à l'horizon 2026

L'application de la loi de BRUUN (1962) montre que le littoral de Bettenty reculerait de - 88.47 m à l'horizon 2026, ce qui équivaut à un taux d'érosion de -2.46 m/an (figure 3).



Figure 3: Erosion côtière potentielle induite par l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2060

Comme le laisse apparaître la position projetée du trait de côte, cette érosion aura des impacts socio-économiques importants, surtout le long du segment côtier densément peuplé de Bettenty.

4).

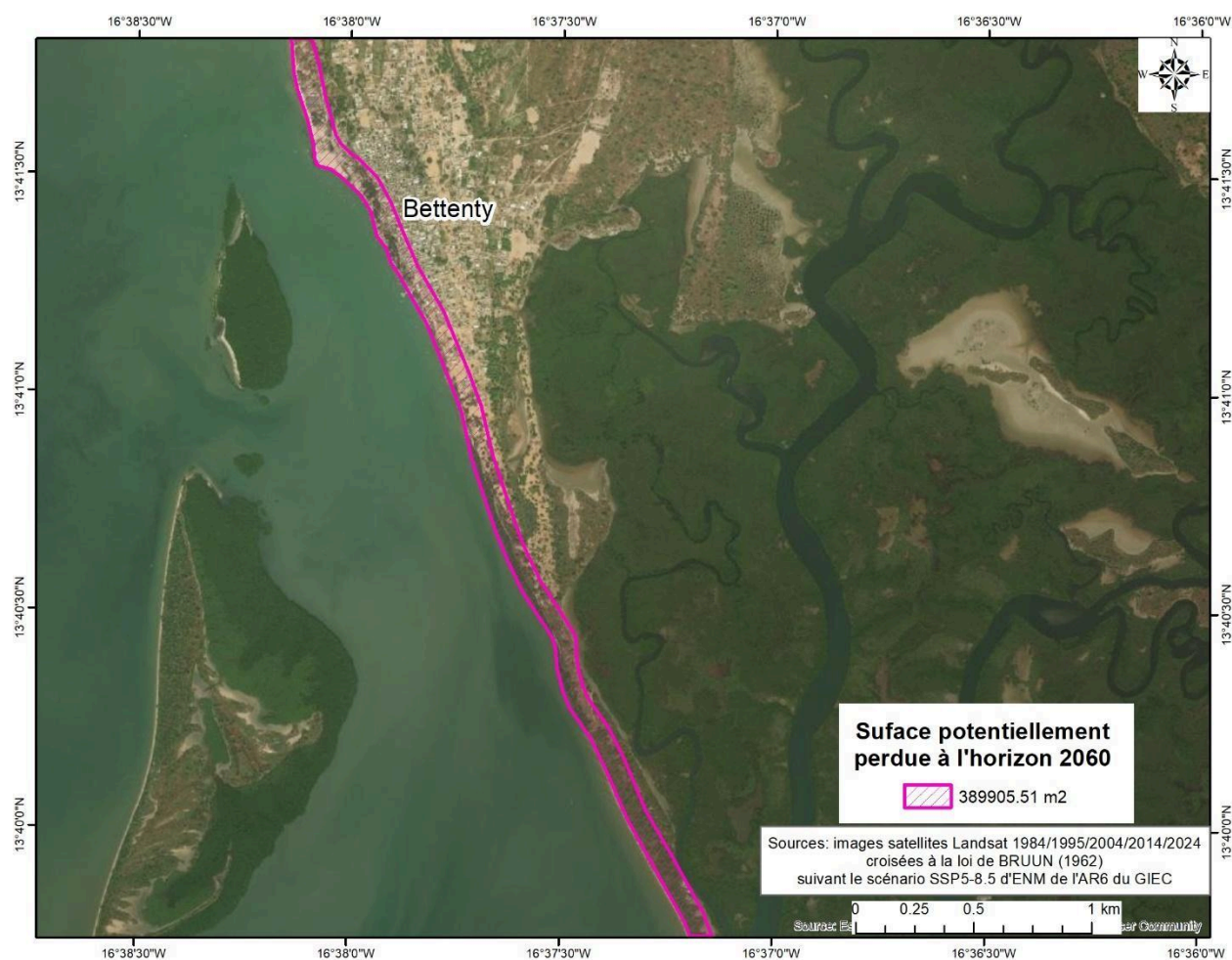


Figure 4: Perte potentielle de surface induite par l'élévation du niveau marin à l'horizon 2060

d'adaptation.

3.3 Risque de submersion marine

5).

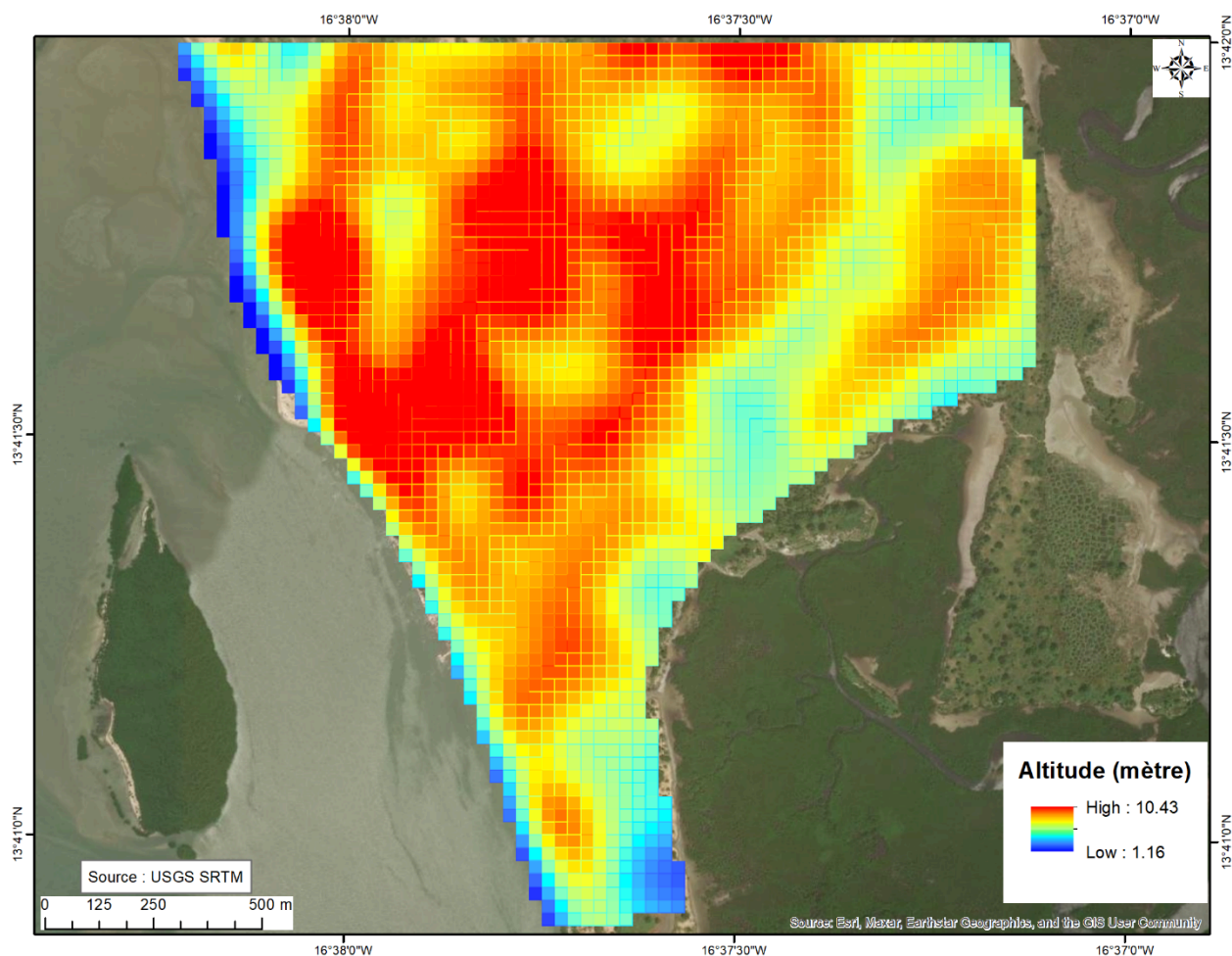


Figure 5: Modèle Numérique d'Élévation (MNE) du site d'étude

Les altitudes maximales sont globalement situées au nord, centre et à l'ouest, et diminuent progressivement vers la côte, ainsi que vers l'est et le sud. L'exécution de la formule de Hoozemans *et al.* (1993) laisse apparaître différents niveaux de submersion marine : 4,31, 5,46, 5,71 et 7,91 m, selon la tempête de référence.

Avec le niveau de submersion de 4,31 m, seule la zone côtière, ainsi que quelques talwegs à l'est, au sud-est et au nord-ouest seraient envahis par les eaux marines (figure 6).

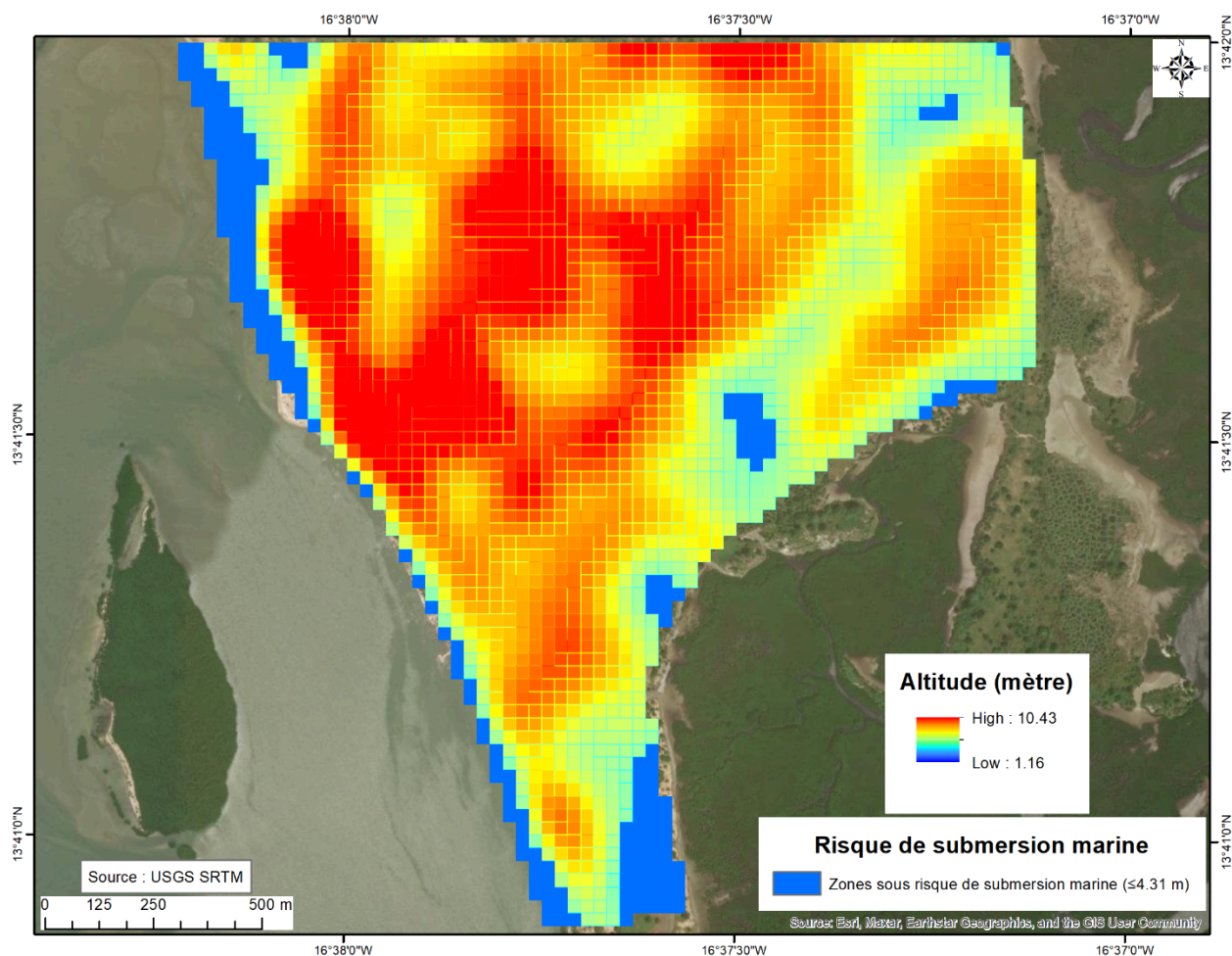


Figure 6: Niveau de submersion marine de 4,31m et zones sous risque

Avec le niveau de submersion de 5,46 m, les eaux marines s'étendraient davantage sur le site, à partir notamment de la zone côtière, puis en la bordant à partir du sud et remontant vers le nord-est, en fonction de la topographie (figure 7).

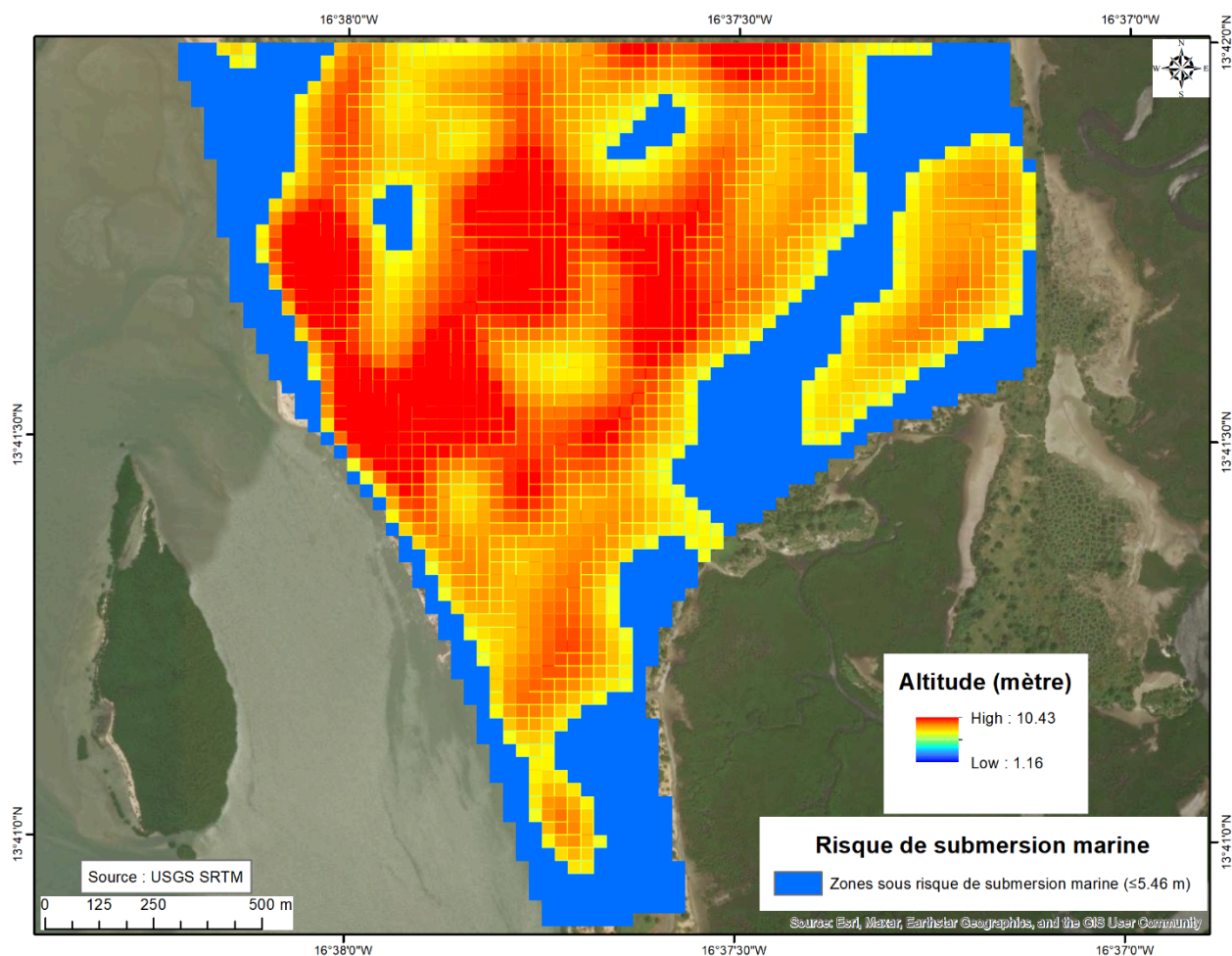


Figure 7: Niveau de submersion marine de 5,46m et zones sous risque

Avec le niveau de submersion de 5,71 m, les eaux océaniques, ayant déjà inondé la façade côtière, le sud et le nord-est de la zone commenceraient à empiéter sur certains secteurs se situant au centre et au nord (figure 8).

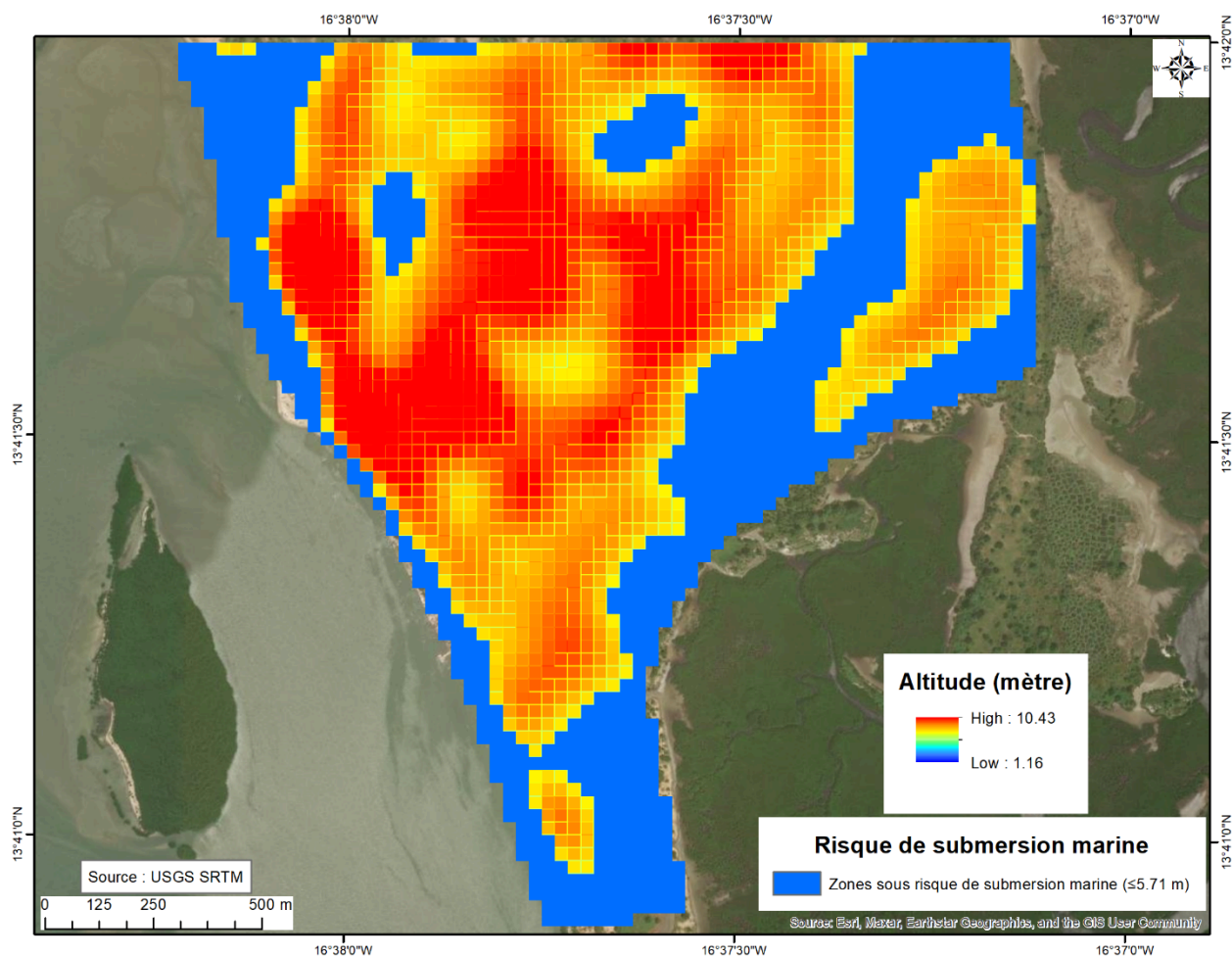


Figure 8 Niveau de submersion marine de 5,71m et zones sous risque

Avec le niveau de submersion de 7,91 m, les eaux marines recouvriraient l'ensemble du site, à l'exception de quelques lieux culminant au-dessus de la cote de risque, localisés spécialement à l'ouest, au centre, et nord-est (figure 9).

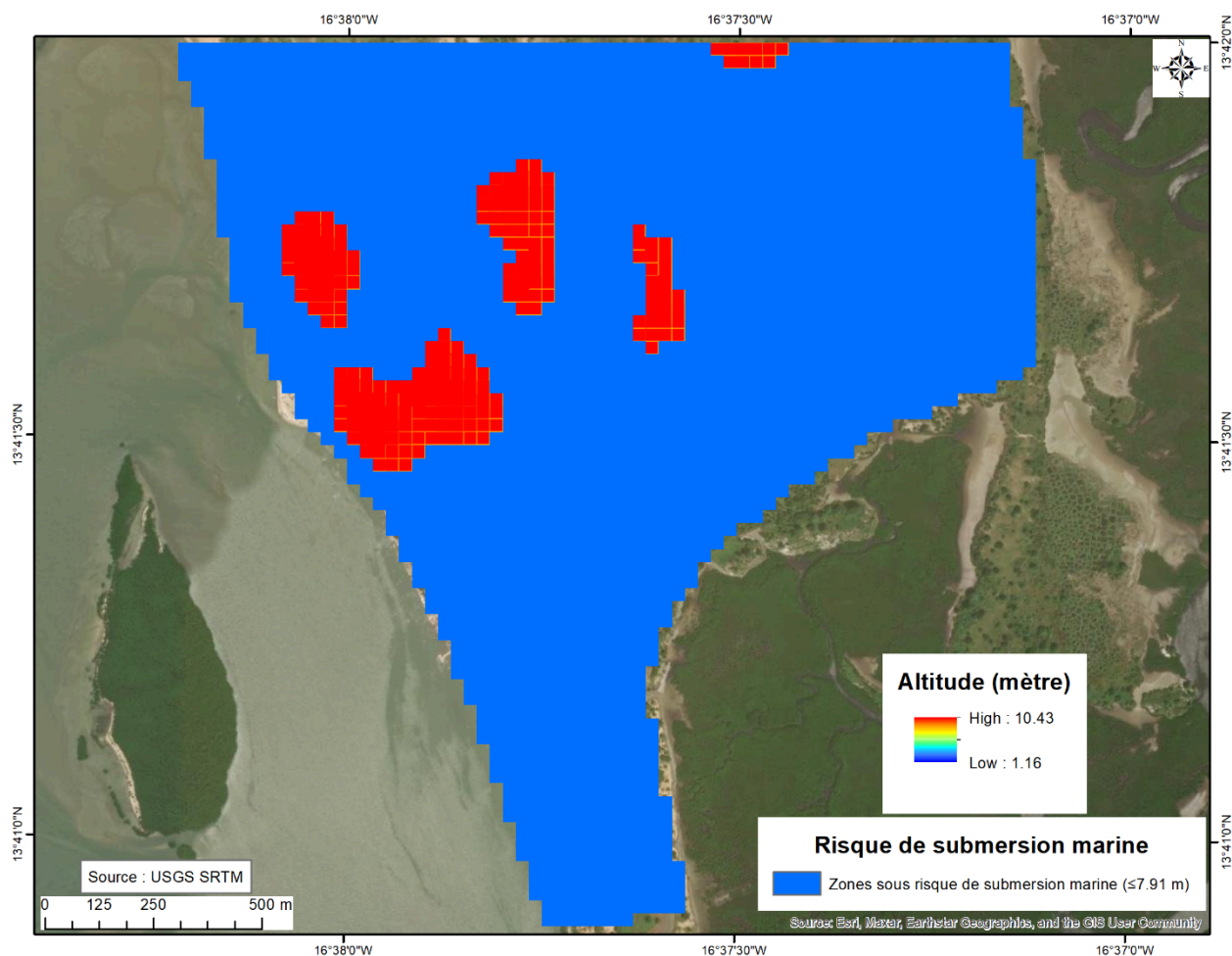


Figure 9: Niveau de submersion marine de 7,91m et zones sous risque

3.4 Impacts environnementaux et socio-économiques potentiels

Les niveaux de submersion marine analysés auraient des impacts environnementaux et socio-économiques potentiels d'ampleur variables.

Ainsi, pour le niveau de submersion marine de 4,31 m (figure 10 a), les potentiels impacts environnementaux et socio-économiques seraient :

- la submersion et la dégradation de quelques zones de culture pluviale au sud-est, nord-est et nord-ouest ; et
- envahissement de la côte et des structures connexes, notamment le quai de pêche et / ou port, ainsi que de mangrove sur la partie sud du littoral.

Concernant les niveaux de submersion marine de 5,46 et 5,71 m (figures 10 b et c), les impacts environnementaux et socio-économiques potentiels seraient:

- l'inondation et destruction de quelques zones de culture pluviale situées au sud-est, nord-est, nord et nord-ouest
- la submersion de la zone côtière et des structures connexes, notamment le quai de pêche et / ou port, les zones bâties, habitations, établissements ou structures publics, privés ou touristiques adossés à la côte à partir du segment médian du littoral jusqu'au sud), ainsi que de la population de mangrove se trouvant sur la partie Sud du littoral.

En ce qui concerne le niveau de submersion marine de 7,91 m (figure 10 d), les impacts potentiels environnementaux et socio-économiques seraient:

- la submersion de la quasi-totalité des zones bâties, habitations, structures et établissements publics ou privés, des voies de communication, des aires de loisir, des aires de conservation et des lieux de culte ;
- l'envahissement et la démolition, par les eaux marines, de l'ensemble du linéaire côtier et des structures et/ ou établissements en son sein, comme le quai ou port, l'effondrement des structures de protection en place.
- L'inondation et la dévastation de l'ensemble des zones de culture pluviale, et des savanes arbustives arborées, ainsi que des mangroves.

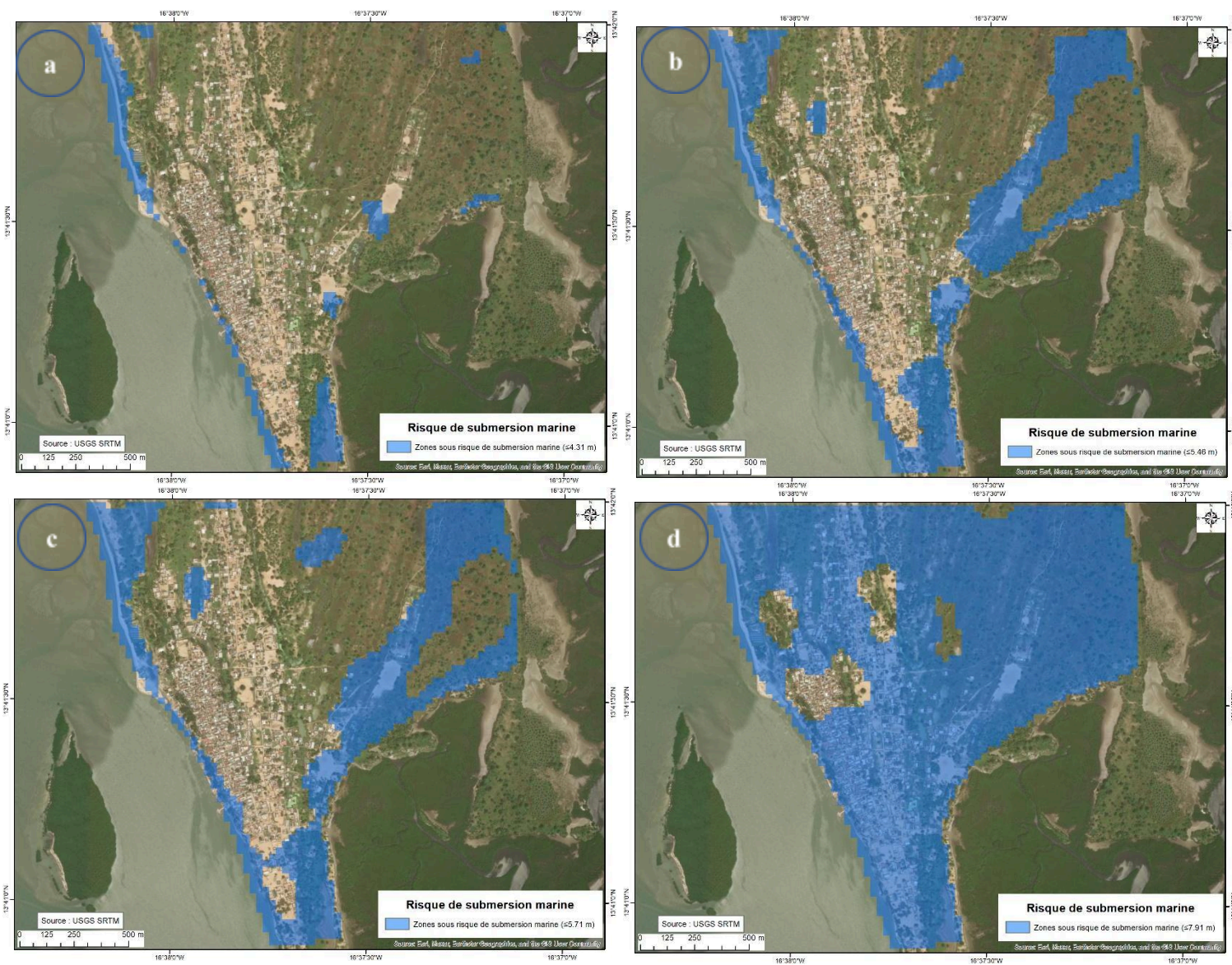


Figure 10: Impacts environnementaux et socio-économiques potentiels des submersions marines

4 Conclusion

L'étude des risques d'érosion côtière et de submersion marine sur la façade des îles Bettenty révèle une dynamique littorale multidécennale caractérisée par une érosion sur l'ensemble du linéaire côtier, avec un taux moyen de -1.67 m/an. Elle atteste également, que dans un contexte d'élévation du niveau marin, cette érosion atteindrait - 88.47 m à l'horizon 2026, soit -2.46 m/an, avec des niveaux de submersion marines de 4,31, 5,46, 5,71 et 7,91 m.

Références

BRUUN, P., 1988. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two and three-dimensional usages. *Journal of Coastal Research*, Charlottesville 4, 627e648.

BRUUN, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbors Division*, ASCE, New York 88, 117e130.

COWELL, J.P., THOM, B.G., JONES, R.A., EVERTS, C.H. and SIMANOVIC, D., 2006. Management of uncertainty in predicting climate-change impacts on beaches. *Journal of Coastal Research*, 22(1), 232-245.

DENNIS, K, NIANG-DIOP, I. and NICHOLLS, R.J., 1995. Sea-level rise and Senegal: potential impacts and consequences. *J Coast Res Spec Iss No. 14*:242 –261.

Dwars, Heederik et Verhey Ingenieurs Conseils, 1979. Rapport sur l'étude de la protection du rivage de la Petite Côte. Ministère Equipement, Rép.Sénégal, 92 p.

EUROSION, 2004. Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability. *Part III- Methodology for assessing regional indicators*, 42 p.

FENSTER, M.S., DOLAN, R. and ELDER, J. F., 1993. A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, vol. 9, n°1, p. 147 - 171.

Gueye, K., 1997. Conception d'un ouvrage de protection contre les inondations à Rufisque. Thèse Docteur Ingénieurs, Dakar, 166 p.

HINKEL, J. and KLEIN, R.J.T., 2009. Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea level rise: The development of the DIVA tool. *Global Environmental Change*, 19 384–395.

NIANG-DIOP, I., 1995. *L'érosion sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque*. Passé - Présent - Futur. Thèse de Doctorat de Géologie Littorale, Université d'Angers, 157pages.

NIANG, I., DANSOKHO, M., FAYE, S., GUEYE, K. and NDIAYE, P., 2010. Impacts of climate change on the Senegalese coastal zones: Examples of the Cap Vert peninsula and Saloum estuary. *Global and Planetary Change*, 9 p.

SADIO, M., SECK, A., NOBLET, M. et CAMARA, I., 2019. Evaluation de la vulnérabilité du secteur de la zone côtière à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de Fatick. Report produced under the project *Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne*, Climate Analytics GmbH, Berlin.
https://climateanalytics.org/media/zc_pas-pna_sn-rapport_final_tude_de_vuln_rabilit_-15032019-min.pdf

SAKHO, I., 2020. Evolutions et tendances de variables physiques : météo-marines, climatiques et trait de côte. Livrable n°2, *Projet Etudes techniques préparatoires des solutions douces sur le site côtier de Sangomar*, 60 p.

SAKHO, I., SADIO, M., CAMARA, I., NOBLET, M., SECK, A., SAENGSPAVANICH, C., NDOUR, A., DIOUF, M.B., 2022. Sea level rise and future shoreline changes along the sandy coast of Saloum Delta, Senegal. *Arabian Journal of Geosciences*, Springer, 15:1547
<https://doi.org/10.1007/s12517-022-10741-y>

YATES MICHELIN, M., LE COZANNET, G., KRIEN, Y. et LENOTRE, N., 2011. Amélioration de la méthode RNACC : caractérisation des incertitudes relatives à la quantification des impacts de l'élévation du niveau marin. *Rapport final BRGM/RP 59405-FR*, 142 p.

ZHANG, K., DOUGLAS, B. and LEATHERMAN, S., 2004. Global warming and coastal erosion. *Climatic Change*, 64 (1), 41-58.