



Maghreb – Série  
de Notes Techniques

# Côtes en voie de disparition au Maghreb : L'érosion côtière et ses coûts.

Martin Philipp Heger et Lukas Vashold

## Remerciements

Ce rapport est le fruit d'une collaboration approfondie entre la Banque mondiale, le National Oceanographic Center (NOC) du Royaume-Uni et l'Agence spatiale européenne. Les nombreuses et riches discussions et échanges d'informations ont été essentiels à la préparation de ce rapport.

Le rapport a été rédigé par Martin Heger (économiste environnemental principal) et Lukas Vashold (consultant en recherche), avec Stephen Carpenter (du NOC) et Miguel Toquica (consultant en gestion des risques de catastrophes). L'équipe de rédaction tient avant tout à remercier Cristine Sams, du National Oceanographic Center du Royaume-Uni, pour sa précieuse contribution. Le soutien de Christoph Aubrecht (Agence spatiale européenne) est également très apprécié. L'équipe est très reconnaissante à Lia Sieghart (Practice Manager, Environment, Natural Resources and Blue Economy Global Practice MENA Region) pour ses conseils généraux sur ce rapport. En outre, des commentaires très utiles ont été reçus de Marcelo Acerbi (spécialiste principal de l'environnement) et de Marjory-Anne Bromhead (consultante).

L'équipe tient à remercier le Fonds Fiduciaire Coréen pour la Croissance Verte (KGGTF) pour son soutien financier à cette étude.



## Côtes en voie de disparition au Maghreb : L'érosion côtière et ses coûts

### Résumé exécutif

**Les zones côtières sont des écosystèmes importants et en même temps des centres bourdonnants pour une grande partie de la population et de l'activité économique.**

Au niveau mondial, les côtes abritent environ 40 % de la population et, partout dans le monde, les grandes villes sont situées sur la côte. Au Maghreb, la part de la population totale vivant à proximité de la côte est encore plus élevée, allant de 65 % au Maroc à 85 % en Tunisie, les moyens de subsistance de leurs habitants dépendant souvent de côtes et de plages intactes, en l'occurrence pour le tourisme. Par ailleurs, une grande partie de l'industrie des différents pays est située sur la côte et les infrastructures côtières, telles que les ports, jouent un rôle crucial dans les exportations de marchandises.

**L'érosion côtière est un processus implacable, qui ne peut que s'exacerber avec le changement climatique.**

Au cours des trois dernières décennies, le Maghreb était la deuxième région la plus touchée par l'érosion côtière, après l'Asie du Sud dans une comparaison mondiale. Le taux d'érosion côtière annuel moyen de 0,07 mètre, est largement dépassé notamment en Tunisie, qui a des taux d'érosion côtière moyens de 0,64 mètre par an, et au Maroc, qui a des taux de 0,14 mètre sur la côte méditerranéenne et de 0,12 mètre sur la côte atlantique. Ces moyennes nationales masquent des hétérogénéités importantes, et certains points chauds de ces pays disparaissent à des rythmes plus rapides, de plusieurs mètres par an.

**Les coûts liés à l'inaction en matière d'érosion côtière sont élevés, même si l'on ne considère que les pertes de terres et les biens détruits.**

Tout en étant conscient que l'érosion côtière a de nombreuses conséquences négatives, le présent rapport se concentre sur l'estimation de ses effets sur la destruction des biens côtiers (tels que les terres et les bâtiments). Pour la quantification du coût de destruction des actifs, les dommages causés aux terres côtières et aux actifs proches du rivage (bâtiments) sont monétisés en utilisant des données locales sur les prix de l'immobilier en Algérie, Libye, Maroc et Tunisie. Le coût annuel estimé de destruction d'actifs dû à l'érosion côtière s'élève à l'équivalent de 2,8 % du PIB en Tunisie, 0,7 % en Libye, 0,4 % au Maroc et 0,2 % en Algérie.

**Il existe également des coûts économiques en termes de réduction des revenus de secteurs dépendent de la qualité des zones côtières, tel que le tourisme.**

L'érosion côtière a également un impact négatif sur les revenus des activités dépendant de l'actif bleu ; en l'occurrence, la réduction du tourisme. Les résultats d'enquêtes internationales menées dans d'autres zones côtières montrent que la propension des touristes à revenir diminue considérablement avec l'érosion continue des plages. La conclusion est que certaines des plages les plus visitées qui ont déjà disparu à plus de la moitié peuvent encore attirer les touristes, bien que la question qui se pose face aux tendances continues de l'érosion côtière soit "pour combien de temps encore". Pour prendre en compte correctement les pertes de revenus et donc les coûts indirects liés à l'érosion côtière, des recherches supplémentaires sont nécessaires, notamment dans les zones côtières déjà menacées de perdre leurs plages.

**Pour identifier avec précision les points chauds de l'érosion côtière, un nouvel ensemble de données à haute résolution a été créé.**

En coopération avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni, des données originales utilisant des données d'observation de la Terre à haute résolution ainsi que des techniques de pointe pour gagner en précision concernant la dynamique côtière sont créées et analysées. L'utilisation de segments de 50 m de résolution le long de la côte au lieu de segments 5 à 10 fois plus grands, comme c'est

le cas dans les évaluations mondiales récentes, ainsi que la détection statistique des changements temporels fournissent de nouvelles preuves granulaires de l'évolution du littoral du Maroc et de la Tunisie. L'utilisation de segmentations plus granulaires de la côte que les études précédentes permet de zoomer sur ces points chauds et d'étudier les développements spécifiques au site et leur cause. Le rapport illustre les mérites de ce nouvel ensemble de données en évaluant les changements dans le paysage côtier, où de grandes parties reculent à un rythme rapide. Les plages de Djerba, Hammamet et Soliman sont des exemples de points chauds de la Tunisie qui ont été soumis à une forte érosion au cours des dernières décennies et qui sont analysés dans le rapport.

**La nature précise de l'ensemble de données peut être utilisée pour étudier les changements du littoral non seulement rétrospectivement, mais aussi pour prévoir l'érosion future.**

La prévision précise des changements du littoral à un horizon pertinent pour les politiques (c'est-à-dire les 10 ou 20 prochaines années) peut s'avérer extrêmement précieuse pour prendre des décisions pertinentes. En outre, la structure riche de l'analyse employée peut être exploitée pour étudier les effets que différentes structures de protection ont eu sur les parties de la côte qu'elles étaient censées protéger. De même, les mérites du nouvel ensemble de données à cet égard sont illustrés par des études de cas.

**Ce rapport a pour but d'informer les décideurs sur l'étendue et l'impact de l'érosion côtière et de stimuler la recherche en étroite collaboration avec les autorités locales et les institutions de recherche**

Même si les coûts estimés de l'inaction ne fournissent qu'une limite inférieure très prudente des coûts économiques liés à l'érosion côtière, ils sont substantiels et devraient alerter les décideurs. L'enquête détaillée s'avère être un point de départ précieux pour mieux comprendre les processus d'érosion le long des côtes du Maghreb. Afin d'améliorer la compréhension actuelle, le rapport appelle à des efforts de recherche supplémentaires en étroite coopération avec les chercheurs locaux, qu'ils soient issus du monde universitaire ou des autorités gouvernementales. L'une des activités de recherche proposées comprend une évaluation de l'impact de l'érosion côtière sur les flux économiques, en plus du coût des biens, comme cela a été fait dans ce rapport. Pour cela, des enquêtes détaillées auprès des touristes et des résidents sont essentielles, ainsi qu'un inventaire précis des activités côtières menacées. En outre, une multitude d'autres activités de recherche sont souhaitables pour mieux comprendre le processus physique de l'érosion côtière sur les côtes du Maghreb et pour mieux informer ces évaluations de coûts. Celles-ci incluent l'extension des prévisions précises à grande échelle mais aussi pour des sites spécifiques tels que ceux présentés ici pour des périodes de temps pertinentes pour les politiques. Pour les améliorer encore, des études détaillées sur la dynamique côtière, comme le transport des sédiments, la dynamique des vagues et les caractéristiques géomorphologiques, seraient très utiles pour la formulation de politiques appropriées.

**Un prochain rapport régional de la Banque mondiale, intitulé "Ciel bleu, mer bleue", propose une discussion détaillée sur la manière de combattre l'érosion côtière.**

Le présent rapport constitue une étape importante dans la reconnaissance de la menace que représente l'érosion côtière pour les biens et les activités du littoral. Compte tenu de ces défis, il est impératif pour les décideurs politiques de formuler des politiques appropriées qui les abordent sur des sites spécifiques, en gardant à l'esprit les effets d'entraînement que peuvent avoir certaines mesures de protection. Alors que ce rapport technique se concentre plutôt sur la détermination de l'étendue de l'érosion côtière et la quantification des coûts directs de l'inaction qui y sont associés au Maghreb, plusieurs pistes possibles pour lutter contre l'érosion côtière sont présentées dans un prochain rapport régional intitulé "Ciel bleu, mer bleue". Cet autre rapport de la Banque mondiale aborde d'autres problèmes environnementaux urgents auxquels la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) est confrontée en plus de l'érosion côtière, à savoir la pollution atmosphérique et la pollution marine plastique, et fournit des recommandations s'appuyant sur l'expérience et les meilleures pratiques régionales et internationales. Il contient des informations détaillées sur les mesures visant à lutter contre l'érosion côtière, telles que des mesures de protection, des réglementations ciblées et des stratégies de développement côtier, le tout dans le cadre d'un programme global de gestion intégrée des zones côtières.



## Les côtes et leur importance économique au Maghreb

**Les zones côtières du monde entier abritent une grande partie de la population.**

Les côtes abritent un très grand nombre de biomes différents, ces écosystèmes abritant une multitude d'espèces différentes de flore et de faune qui n'existent nulle part ailleurs. Alors qu'à l'échelle mondiale, de grandes parties du littoral sont encore épargnées par la présence humaine, une pression toujours plus forte s'exerce sur elles en raison de l'altération croissante des caractéristiques naturelles (Martinez et al, 2007). À l'échelle mondiale, plus de 40 % de la population vit à moins de 100 km de la côte et ce chiffre est appelé à augmenter encore (Maul & Duedall, 2019). De nombreux établissements sont concentrés à moins de 5 km du littoral, les densités de population sur la côte sont environ trois fois plus élevées que la moyenne mondiale (Small & Nicholls, 2003) et vingt-et-une des 33 mégapoles mondiales sont situées sur la côte (Martinez et al, 2007).

**À l'échelle mondiale, ces zones sont extrêmement importantes pour le développement économique et constituent des écosystèmes cruciaux qui servent d'habitat à une vaste faune et flore.**

Les zones côtières sont les zones les plus importantes pour le développement socio-économique des pays côtiers et leur attrait a conduit à une expansion rapide et disproportionnée de l'activité économique et des stations touristiques le long de ces zones (Nichols et al, 2007). Elles constituent également des habitats importants pour une grande variété de flore et de faune, favorisant et préservant la biodiversité (par exemple Gray, 1997) et agissant comme des puits de carbone, par exemple sous la forme de forêts de mangrove (Laffoley & Grimsditch, 2009). On a calculé que la valeur des services écosystémiques fournis par ces zones s'élève à plus de 25 000 milliards de dollars par an, avec les écosystèmes naturels qui se réservent la part du lion de ces services (Martinez et al, 2007).

**Le littoral du Maghreb s'étend sur près de 7500 km et est encore plus densément peuplé, puisque toutes les capitales y sont situées.**

Le Maghreb est bordé par l'océan Atlantique et la mer Méditerranée. Les côtes méditerranéennes sont peuplées depuis des millénaires et la plupart des plus grandes villes s'y trouvent, tandis que l'Atlantique Nord compte la plus grande ville du Maroc sur son littoral. Au Maghreb, les concentrations de population sont encore plus élevées que les concentrations mondiales ou régionales et vont de 65 % au Maroc à 84 % en Tunisie (Maul & Duedall, 2019). La capitale de chaque pays respectif est située directement sur la côte et d'autres grandes villes et centres économiques sont regroupés tout le long des côtes du Maghreb (par exemple, Tanger au Maroc ou Sfax en Tunisie). Les pressions croissantes de l'urbanisation et la migration partiellement incontrôlée vers les centres urbains côtiers ont exacerbé la part de la population potentiellement affectée par l'érosion côtière (Ahizoun et al. 2009 ; Anfuso et al. 2011). La croissance de la population entraîne également un développement conduisant à des modifications des environnements naturels et des habitats qui offrent une protection naturelle contre l'érosion, comme les " sabkha " des zones humides (Chekirbane et al., 2013, Amrouni et al., 2019).

**Compte tenu de la concentration d'établissements humains le long de celles-ci, les côtes du Maghreb sont également des foyers importants d'industries et d'activités économiques.**

La concentration des établissements humains le long des côtes entraîne également une concentration de l'activité économique. Ce phénomène est particulièrement marqué dans certains pays. Par exemple, au Maroc, où environ deux tiers de la population vit à proximité de la côte, plus de 90 % des industries ont leurs activités dans la zone côtière (Aitali et al, 2020) et le tourisme côtier, qui dépend largement des plages intactes, contribue largement à l'économie nationale (Senoussi et al, 2009). En dehors de ces sites, des sites culturels et naturels sont situés sur les côtes, menacés par les processus d'érosion côtière (Trakadas, 2020). De même, en Tunisie, plus de 83% des entreprises industrielles sont situées dans des zones industrielles spécialisées le long de la côte du Sahel, une région qui s'étend approximativement de Bizerte à Sfax, et 90% de la production économique totale du pays est réalisée dans les zones côtières. En Algérie, plus de 60% de l'industrie nationale est localisée dans ou près des villes côtières (Guendouzi, 2017). En outre, les économies de l'Algérie et de la Libye dépendent fortement du secteur pétrolier, qui représente 96 % des exportations totales de marchandises en Algérie et plus de 40 % en Libye (Camporeale et al, 2021). Les ports et les villes côtières sont d'importants centres de transbordement pour ces marchandises et les centres de transport régionaux tels que les ports et autres centres économiques sont situés dans des zones côtières à faible altitude tout autour de la région MENA (Schäfer, 2013), où l'élévation du niveau de la mer et l'érosion côtière constituent des menaces majeures pour eux.

**Une partie de la population du Maghreb est dépendante des ressources marines qui sont menacées par une nouvelle dégradation de l'environnement.**

L'industrie de la pêche est économiquement importante dans certains pays du Maghreb, notamment au Maroc. La pêche marocaine et les industries qui lui sont liées contribuent pour environ 2,3% au PIB national et créent des emplois pour près de 700 000 personnes (directement et indirectement) en 2014. En outre, environ trois millions de personnes dépendent de la pêche pour leur subsistance. De même, l'industrie de la pêche joue un rôle important dans l'économie libyenne, constituant l'un des plus grands secteurs après l'industrie pétrolière et gazière (Maltig et al, 2018). En outre, les grandes zones côtières sont importantes pour les moyens de subsistance de centaines de milliers de personnes au Maghreb et dans la région MENA plus largement, dont beaucoup sont vulnérables, pauvres et dépendent souvent de la pêche et de l'aquaculture à petite échelle ; lesquels ont considérablement augmenté ces dernières années (Sieghart et al, 2019 ; OCDE-FAO, 2018).

**Pour plusieurs pays du Maghreb, des plages et des zones côtières intactes sont vitales pour leur attractivité touristique.**

Les pays du Maghreb tels que la Tunisie et le Maroc dépendent fortement de leurs plages et des services récréatifs associés afin d'attirer les touristes internationaux et nationaux. Par exemple, l'île de Djerba, à l'extrémité sud du littoral tunisien, représente environ un quart de tous les touristes internationaux arrivant en Tunisie (Carboni et al., 2014) et le tourisme y est fortement axé sur ses atouts côtiers pour attirer les touristes (Widz et Brzezinska-Wojcik, 2020). Au Maroc, la côte de Tétouan repose

<sup>1</sup><https://oxfordbusinessgroup.com/overview/forging-ahead-uneven-growth-industry-subsectors-remains-challenge>

<sup>2</sup><https://www.kfw.de/stories/environment/climate-change/coastal-protection-tunisia/>

<sup>3</sup><http://www.fao.org/blogs/blue-growth-blog/morocco-a-maritime-fishing-nation-works-to-develop-its-aquaculture-sector/en/>

principalement sur un tourisme balnéaire menacé par le fait que 70% de ses plages, y compris les plus populaires et les plus visitées, subissent une érosion accélérée (Flayou et al, 2018). Le tourisme a pu exacerber ces effets en contribuant à faire progresser les taux d'artificialisation du littoral, au cours duquel processus plus de 95% des dunes côtières ont été dégradées (El Mrini, 2011). La perte des actifs naturels que représentent les plages peut avoir des effets négatifs graves sur le secteur du tourisme en diminuant le nombre de touristes ou en menaçant les infrastructures liées au tourisme.

**La première partie de ce rapport analyse l'effet humain et économique direct de l'inaction face à l'érosion côtière au Maghreb.**

Une évaluation des coûts directs de l'inaction face à l'érosion côtière sur les terres et les biens bâtis est réalisée pour l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Libye. Elle révèle que même si ces estimations ne comprennent qu'une partie des coûts globaux engendrés par la dégradation du littoral de ces pays, l'impact économique de l'érosion côtière est substantiel.

A titre plus précis, les coûts évalués ne couvrent que les coûts directs dus à l'érosion côtière, au sens de la perte de terres et de la destruction de biens bâtis, sans inclure les coûts qui découlent de la perte d'activité productive et de flux économiques. Pour combler cette lacune, le rapport souligne la nécessité de poursuivre les recherches dans ce domaine afin de mieux comprendre l'érosion côtière et ses coûts pour les communautés littorales.

**La deuxième partie s'appuie sur un nouvel ensemble de données pour évaluer plus en détail les côtes du Maroc et de la Tunisie, en identifiant les points chauds de l'érosion côtière, en prévoyant les changements du littoral et en évaluant l'impact de différentes mesures de protection.**

Cette partie documente certains des résultats d'une coopération en cours avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni et l'Agence spatiale européenne. Elle analyse plus en détail la dynamique locale de l'érosion au Maroc et en Tunisie en utilisant des images satellites à haute résolution et des procédures sophistiquées qui tiennent compte de phénomènes tels que le déferlement des vagues à l'approche du rivage, pour éviter les problèmes de classification. Cela permet d'identifier les points chauds de l'érosion côtière à une échelle très détaillée. En outre, des modèles sont utilisés pour prévoir les changements futurs du littoral et l'évaluation rétrospective des effets de différentes interventions humaines dans le paysage côtier est illustrée.

## L'érosion des côtes du Maghreb et ses coûts économiques

Cette section donne un aperçu des changements historiques des côtes du Maghreb avant de se pencher sur les coûts associés à cette érosion. Les coûts économiques directs de l'érosion côtière sont estimés dans la section 2.2 pour quatre pays sélectionnés. La section 2.3 traite des implications de l'érosion côtière sur les revenus du tourisme.

## Changements historiques des côtes au Maghreb

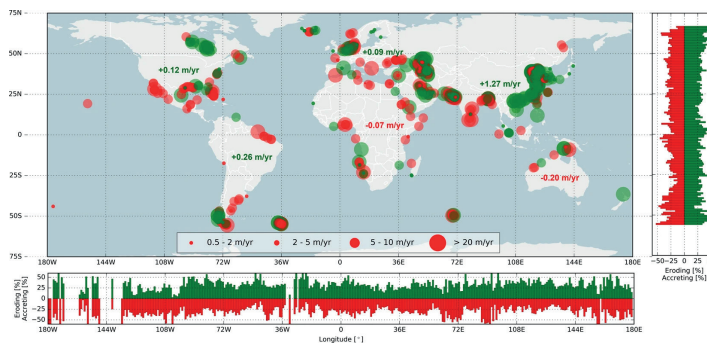
*"Si aucune mesure de lutte contre l'érosion n'est entreprise, les plages de sable seront inévitablement perdues, avec des effets en cascade sur l'économie et le bien-être des populations locales, en particulier celles qui dépendent du tourisme."*  
*(Snoussi et al discutant de l'érosion côtière au Maroc, 2017).*

**L'évolution du littoral et la disparition progressive des plages sont des processus qui se produisent partout dans le monde, avec toutefois des variations régionales.**

L'évolution du littoral est un processus omniprésent, qui se déroule dans presque toutes les régions du monde ayant accès à la mer. Cependant, les dynamiques spécifiques de ces processus se déroulent de manière très différente selon les régions et les pays. Les rivages et les plages peuvent s'accrétionner (gagner de la superficie), s'éroder (perdre de la superficie) ou rester stables dans le temps. Dans le cadre d'une analyse globale, des images satellites de segments de taille égale (appelés transects) le long du littoral ont été analysées et les changements moyens des côtes sableuses ont été calculés pour la période allant de 1984 à 2016 (Luijendijk et al, 2018). Dans la figure 1 ci-dessous, les points rouges désignent les points chauds d'érosion et les verts ceux où l'accrétion est prépondérante, la taille des points indiquant la gravité de ces processus. À l'échelle mondiale, l'Asie a connu certains des changements côtiers les plus graves, à la fois sous forme d'accrétion (principalement en Asie de l'Est) et d'érosion (principalement en Asie du Sud). Au niveau régional, on constate que pour l'Afrique et l'Australie sont les continents où les plages montrent une érosion nette sur la période d'investigation (Luijendijk et al, 2018), alors que d'autres études constatent que l'érosion des côtes est répandue pour chaque continent et océan (Mentaschi et al, 2018). La côte sud de la Méditerranée, notamment au Maghreb, est caractérisée par une érosion plus sévère.

**Figure 1 : Des côtes en constante évolution**

Plages en érosion et en accrétion



Source : Luijendijk et al (2018)

**Les sources d'érosion côtière sont multiples et dépendent des caractéristiques du littoral ainsi que de son utilisation.**

Il existe un certain nombre de facteurs à l'origine de l'évolution du littoral, qui sont souvent divisés en facteurs d'origine humaine (affaissement du littoral, protections côtières, infrastructures touristiques ou poldérisation) et en éléments de forçage physiques naturels (par exemple, événements de tempête, élévation du niveau de la mer, transport de sédiments) (Sytnik et al., 2018). Les zones côtières présentant des dynamiques de marée et des

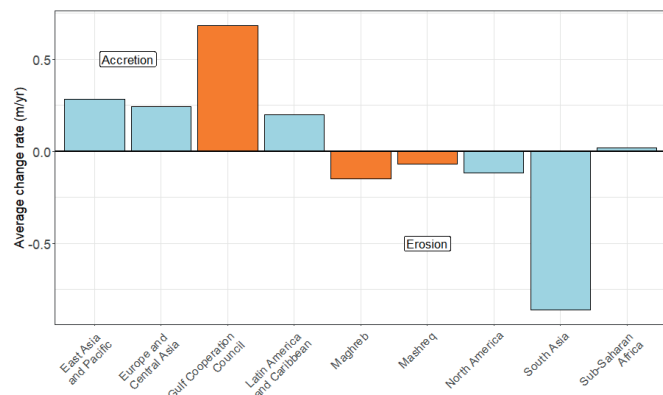
incidences d'énergie des vagues différentes démontrent des morphologies côtières uniques (Hayes & Fitzgerald, 2013). Les transports sédimentaires fluviaux et littoraux sont des processus morpho-dynamiques majeurs qui déterminent la forme du littoral (Sytnik et al., 2018) et déterminent souvent la façon dont la côte est divisée en cellules de gestion lors de la mise en œuvre d'un schéma de gestion holistique. Les interventions humaines, telles que les ports ou les épis, interviennent dans les processus hydrodynamiques le long du littoral. Souvent, elles stabilisent des zones par l'accumulation de sédiments à un endroit mais affament les sédiments et intensifient le taux d'érosion à d'autres endroits. À l'échelle mondiale, on constate que les facteurs anthropiques sont les principaux moteurs du changement, les catastrophes naturelles telles que les tempêtes extrêmes ou les tsunamis étant importantes. On considère que l'élévation du niveau de la mer et la fréquence accrue des événements extrêmes dus aux changements climatiques renforceront les tendances de l'érosion côtière à l'avenir (Mentaschi et al, 2018).

**Dans une comparaison globale, les côtes du Maghreb sont les deuxièmes au monde à reculer le plus rapidement, juste derrière l'Asie du Sud.**

Le calcul des taux d'érosion nets moyens des sous-régions de la région MENA montre que le Maghreb et la région du Mashreq ont vu leurs plages et leurs côtes s'éroder au cours des dernières décennies, tandis que les côtes du CCG se sont considérablement accrétées. Comme on peut le voir dans la figure 2 ci-dessous, la comparaison de ces taux d'érosion moyens aux régions du monde entier révèle que l'érosion nette des côtes du Maghreb n'est dépassée que par les taux d'érosion massifs des côtes de l'Asie du Sud. Au Maghreb, les plages ont reculé en moyenne de 15 cm par an sur la période 1984-2016. Si l'on compare le taux d'érosion net du Maghreb avec ceux enregistrés par les pays du nord et de l'est de la Méditerranée, on constate que le Maghreb présente les rivages qui reculent le plus rapidement dans le bassin méditerranéen. De même, d'autres parties de la côte africaine s'érodent à un rythme plus lent, bien que les conséquences aient été graves dans certains pays (voir Croitoru et al, 2019).

**Figure 2 : Le Maghreb est la deuxième région qui connaît l'érosion côtière la plus rapide**

Érosion côtière nette par région, taux moyen de 1984 à 2016



Source : Les auteurs se basent sur Luijendijk et al, 2018.

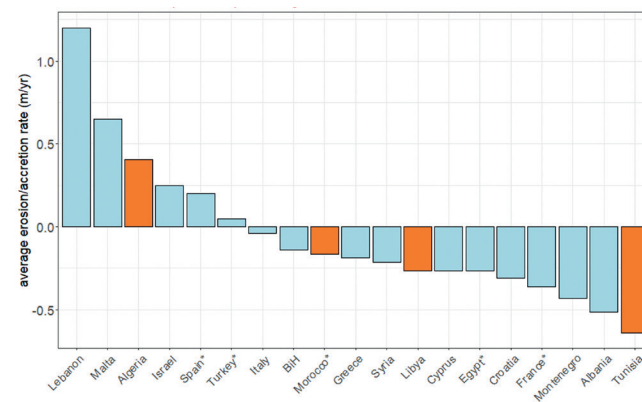
Note : La région du Maghreb comprend l'Algérie, la Libye, Malte, le Maroc et la Tunisie. La région du Mashreq comprend Djibouti, l'Égypte, l'Irak, l'Iran, la Jordanie, le Liban, la Syrie, la Cisjordanie et Gaza ainsi que le Yémen. Le CCG désigne les pays du Golfe à revenu élevé de la région du Mashreq, à savoir l'Arabie saoudite, le Bahreïn, le Koweït, Oman, le Qatar et les Émirats arabes unis.

**Dans le bassin méditerranéen, les pays du Maghreb ont connu des taux d'érosion sévères, la Tunisie affichant les taux les plus élevés de tous les pays.**

La comparaison régionale présentée ci-dessus masque certaines hétérogénéités en ce qui concerne le recul des rivages. Par exemple, dans la région du Maghreb, la Tunisie, la Libye et le Maroc sont confrontés à une érosion nette de leurs plages, tandis qu'en Algérie, l'accrétion domine, comme le montre la figure 3. Les pays d'Afrique du Nord sont particulièrement exposés à l'érosion côtière, car ils se situent dans la zone de transition entre les climats tempérés subtropicaux et continentaux qui sont exposés aux effets prévus du changement climatique (Amrouni et al., 2019). Le recul moyen du littoral des plages de sable est de 12 cm par an sur la côte atlantique du Maroc, de 14 cm sur la côte méditerranéenne du Maroc et de 64 cm sur la côte tunisienne, soit les taux de recul les plus élevés de tout le bassin méditerranéen. Il a également été constaté ailleurs que les côtes marocaines migrent vers les terres et que les plages rétrécissent (voir Snoussi et al, 2017). De même, les côtes libyennes ont connu une érosion nette distincte, reculant d'environ 27 cm par an. Alors que les côtes algériennes et maltaises ont montré une accrétion globale, localement, certaines parties de leurs plages ont également montré des taux d'érosion relativement élevés.

**Figure 3 : Les côtes de la Tunisie sont celles qui reculent le plus rapidement dans le bassin méditerranéen**

Érosion côtière nette par pays ; taux moyen de 1984 à 2016



Source : Les auteurs se basent sur Luijendijk et al, 2018.

Note : Pour les pays avec un astérisque, les taux d'érosion ont été calculés uniquement pour les côtes du bassin méditerranéen. Données manquantes pour la Slovénie et Monaco.

**Pour obtenir une vue d'ensemble de l'érosion côtière à l'échelle nationale tout en étant capable de déterminer la situation dans des points chauds spécifiques, il est nécessaire de procéder à des analyses complètes mais granulaires des côtes des pays**

Pour comprendre l'état des côtes d'un pays, il est important d'étudier le littoral à grande échelle. Cependant, la dynamique de l'érosion côtière peut varier même sur un site très spécifique, certaines parties d'une plage s'érodant tandis que d'autres s'accrétant. Par conséquent, une fois que certains points chauds de l'érosion sont identifiés, la compréhension détaillée de la dynamique spécifique et des facteurs de changement du paysage côtier dépend de la granularité des observations, à la fois à l'échelle spatiale et temporelle. Cette combinaison nécessaire a motivé l'analyse menée en coopération avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni, qui sera exposée plus en détail dans la section 3. L'analyse très granulaire mais complète des images satellites à haute résolution permet d'évaluer l'état des côtes à grande échelle (par exemple, à l'échelle nationale) afin d'identifier les points chauds de l'érosion,

tout en permettant une étude approfondie des dynamiques propres à chaque site et de leurs facteurs possibles.

### **La traduction du processus physique de l'érosion côtière en termes économiques concerne à la fois les coûts découlant de la destruction des biens et les coûts liés à la perte d'activité économique.**

Les terres côtières et les biens matériels tels que les bâtiments tirent souvent une grande partie de leur valeur de la proximité de la côte, mais sont également exposés aux effets néfastes du recul du rivage. La section suivante évalue les coûts directs qui découlent de l'inaction face à l'érosion côtière en termes de pertes de terres et de biens détruits pour le Maghreb, en particulier pour les pays d'Afrique du Nord : Algérie, Libye, Maroc et Tunisie. Les pertes d'actifs physiques et le manque à gagner de l'activité économique basée sur ces actifs sont étroitement liés, en particulier pour les activités basées sur la proximité de la côte, comme le tourisme balnéaire. Bien que l'analyse suivante ne tienne pas explicitement compte de ces pertes de revenus et d'activité économique, également en raison du manque d'informations fiables, la section 2.3 explore la manière dont l'érosion côtière les affecte en s'appuyant sur l'expérience internationale et en mettant l'accent sur les effets possibles sur le tourisme.

## **Le coût de l'érosion côtière en raison de la destruction des terres et des biens bâtis**

### **Étant donné que les côtes de certains pays du Maghreb se sont déjà gravement érodées, il n'est pas nécessaire d'attendre que l'élévation du niveau de la mer continue à créer des défis pour les communautés côtières.**

L'érosion côtière est déjà en cours, depuis au moins quelques décennies maintenant, et menace les communautés côtières, les moyens de subsistance et les écosystèmes. Dans ce document, la menace que l'érosion côtière fait peser sur les habitations et les moyens de subsistance est évaluée, l'exposition humaine à l'érosion côtière est analysée et une estimation de l'économie de l'érosion côtière pour les pays du Maghreb est établie. Il convient de souligner que les coûts totaux de l'érosion côtière sont très probablement plus importants que les estimations prudentes fournies ici, étant donné que nous ne quantifions ici que les coûts directs de l'inaction. Les coûts totaux résultant de l'érosion des côtes incluent de manière importante les coûts liés à la perte de génération de revenus, par exemple dans le secteur du tourisme. Le manque de données et d'études fiables sur lesquelles s'appuyer rend l'estimation de ces coûts difficile. Ainsi, nous passons en revue certaines des implications potentielles de l'érosion côtière sur les flux économiques, en mettant l'accent sur celles découlant du tourisme, dans la section suivante et nous soulignons certaines approches qui pourraient s'avérer utiles pour mener un tel exercice à l'avenir.

### **Quantifier les coûts directs de l'inaction due à l'érosion côtière revient à estimer les effets néfastes sur les biens physiques comme les bâtiments ainsi que la valeur des terres perdues.**

Les taux d'érosion moyens sont extraits du jeu de données mondial sur les changements historiques du littoral de 1984 à 2016 déjà mentionné ci-dessus (Luijendijk et al, 2018). À la suite d'études précédentes sur la quantification des effets économiques de l'érosion côtière (voir par exemple Croitoru et al, 2019), nous nous concentrons sur les zones des pays ayant subi une perte de terres. En d'autres termes, nous ne valorisons pas l'accrétion des zones. Cela s'explique en grande partie par le fait que, tandis qu'avec l'érosion côtière, les effets économiques sont toujours négatifs car le territoire est perdu, avec l'accrétion côtière, ils peuvent être négatifs ou positifs. Par exemple, l'accrétion près de l'entrée d'un port peut empêcher les navires d'entrer dans le port et entraîner l'envasement des voies, ce qui nécessite des travaux de dragage pour les maintenir.

De même, lorsque les rivières sont utilisées pour le transport de l'océan vers des destinations intérieures, les zones accrétées peuvent en bloquer l'entrée. En outre, même lorsque les terres accrétées ne sont pas nuisibles en soi, il n'est pas certain qu'elles puissent être utilisées à des fins de développement ou de loisirs. À l'inverse, les terres remblayées, qui résultent de projets de récupération des terres ou de projets d'aménagement côtier, génèrent manifestement une valeur économique. En Libye, au Maroc et en Tunisie, plus de la moitié du littoral est soumise à l'érosion côtière, des parts plus faibles sont signalées pour l'Algérie. La Tunisie est le pays où le taux d'érosion est le plus élevé pour les sections en érosion, qui perdent 2,4 mètres par an en moyenne, suivie par l'Algérie avec une érosion de 2,1 mètres par an, bien que pour une plus petite partie du littoral. Pour la Libye et le Maroc, les taux d'érosion historiques sont plus faibles avec environ 0,9 mètre par an (voir tableau 1).

### **Compte tenu de ces taux d'érosion et des informations sur la longueur du littoral en érosion, on calcule la superficie moyenne de la zone érodée par an.**

Cette information est fournie dans la dernière colonne du tableau 1. Ces chiffres servent à mesurer la perte annuelle de terres due à l'érosion côtière dans les pays étudiés. La superficie perdue à cause de l'érosion côtière par an varie de 90 hectares en Algérie à près de 250 hectares en Tunisie. Les calculs ultérieurs des coûts directs annuels liés au recul du littoral sont basés sur ces valeurs.

<sup>4</sup>Nous nous appuyons sur le jeu de données global fourni par Luijendijk et al (2018) pour quantifier les coûts directs de l'érosion côtière au Maghreb, car le nouveau jeu de données sur l'érosion côtière présenté dans la section 3 ne couvre actuellement que le littoral marocain et tunisien. Avec l'extension de la couverture, l'exercice empirique pourrait bien sûr être affiné dans des travaux futurs.

<sup>5</sup>Cela explique également les différences entre les valeurs d'érosion côtière indiquées dans le tableau 1 et celles représentées dans la figure 3 de la section précédente.



**Tableau 1 : Zone côtière érodée dans les pays du Maghreb**

Pays	% du littoral soumis à l'érosion	% du littoral urbanisé	Érosion à long terme	
			Taux	Zone
			(m/an)	(Ha/an)
Algérie	29%	14.5%	-2.1	-90.5
Libye	55%	7.0%	-0.9	-100.1
Maroc	54%	6.6%	-0.9	-139.9
Tunisie	59%	15.0%	-2.4	-247.3

Source : Les auteurs se basent sur Luijendijk et al (2018).

**Afin de quantifier la valeur des terres perdues, le prix unitaire des terres côtières par mètre carré dans ces pays a été évalué, sur la base des données du marché et, le cas échéant, des statistiques officielles.<sup>6</sup>**

Les prix des terrains situés près de la côte diffèrent considérablement en fonction de leur emplacement. Les prix urbains des terrains côtiers dépassent considérablement ceux des zones rurales, en raison de l'espace limité dans les villes à cause des taux élevés d'urbanisation et de la demande exubérante de propriétés proches du littoral au sein de celles-ci. Le tableau 2 présente le résultat de ces évaluations. Les terrains urbains sont les plus chers au Maroc, alors qu'ils sont comparativement moins chers en Algérie. Les prix des terrains ruraux ne sont pas aussi dispersés, allant de 20 USD par mètre carré au Maroc et en Algérie à 30 USD en Libye. La valeur actuelle des loyers annuels pour les 30 prochaines années est ensuite utilisée comme estimation de la valeur des terres. Certaines hypothèses ont dû être formulées pour le calcul de la valeur actuelle des terres. Le ratio loyer/prix des terres a été supposé être de 8 %, les loyers augmentant de 8 et 5 % pour les terres urbaines et rurales, respectivement. Pour tenir compte des effets d'agglomération dans les régions côtières, les taux d'urbanisation moyens estimés par les Nations Unies pour les 30 dernières années ont été utilisés. Enfin, un taux standard de 3 % a été utilisé pour actualiser les rentes futures perdues à cause de l'érosion des zones côtières.

**Tableau 2 : Prix des terres côtières pour les pays du Maghreb (US\$/m<sup>2</sup>)**

Pays	Urbain	Rural
Algérie	350	20
Libye	480	30
Maroc	650	20
Tunisie	450	25

Source : Les auteurs se basent sur une évaluation rapide des prix

**La distinction entre les prix des terres en fonction de leur emplacement nécessite la classification des terres érodées en fonction de leur utilisation.**

<sup>8</sup>Nous avons utilisé la base de données Global Land Cover de l'Agence spatiale européenne pour déterminer la part des zones urbaines sur

<sup>6</sup>Les différentes sources sont soit des portails immobiliers en ligne (tels que *avito.ma*, *mitula.ma*, *homeintunisia.com*, *opensooq.com* avec différents domaines de pays), soit des sources officielles lorsqu'elles existent (principalement au Maroc).

<sup>7</sup>Il convient de noter qu'il serait préférable de distinguer davantage les terres agricoles des terrains à bâtir dans le cas des terres rurales. Cependant, en plus des contraintes liées aux données sur les prix, il s'est avéré difficile de déterminer la part relative de ces types de terres dans la zone côtière rurale totale. Alors que les données sur l'utilisation des sols du SEC permettent de distinguer les zones déjà construites de celles qui sont explicitement utilisées à des fins agricoles, il n'est pas possible de déterminer si une certaine parcelle de terrain nu est destinée à la construction ou non. Compte tenu de ces difficultés et des règles souvent peu claires de classification des terrains dans ces pays, nous nous abstenons d'établir de telles distinctions et utilisons un prix composite pour les zones rurales.

<sup>8</sup><http://www.esa-landcover-cci.org/>

<sup>9</sup>La part des zones urbaines est calculée pour l'ensemble du littoral, et pas seulement pour les parties soumises à l'érosion. Les informations limitées concernant les prix des terrains ne permettaient pas une telle différenciation.

<sup>10</sup>Il convient de noter que ces estimations ne tiennent pas compte explicitement des coûts d'infrastructure (par exemple, les routes perdues).

le littoral total. La colonne 2 du tableau 1 présente les résultats de cet exercice. Plus de 15% des côtes de la Tunisie et 14,5% de celles de l'Algérie sont respectivement urbanisées. Pour les autres pays, la part de la zone côtière urbanisée est plus faible, avec 7% en Libye et 6,6% au Maroc. <sup>9</sup>Pour estimer la valeur du patrimoine immobilier détruit par an, on a estimé les coûts de remplacement moyens des bâtiments pour les districts côtiers, adaptés des données de douze pays de la région MENA (Dabbeek & Silva, 2020). Le nombre de logements, de bâtiments et la population sont identifiés à une échelle très fine et estiment la valeur économique en fonction de la localisation géographique et des caractéristiques physiques. L'agrégation de ces données pour les districts côtiers des quatre pays étudiés permet d'estimer la valeur des actifs perdus en raison de l'érosion côtière.<sup>10</sup>

**Tableau 3 : Coûts économiques directs de l'érosion côtière**

	Algérie	Libye	Maroc	Tunisie
Bâtiments perdus (millions de dollars US)	3	1	8	29
Terres perdues (millions de dollars US)	310	272	425	1,078
Total (millions de dollars US)	<b>313</b>	<b>273</b>	<b>434</b>	<b>1,107</b>
Total (% du PIB)	<b>0.2%</b>	<b>0.7%</b>	<b>0.4%</b>	<b>2.8%</b>

Source : Auteurs.

**Les coûts directs de l'inaction face à l'érosion côtière dans les pays du Maghreb sont élevés.**

Le tableau 3 fournit les estimations concernant les coûts directs annuels moyens résultant de l'inaction face aux processus d'érosion côtière, en se basant sur la valeur des terres et des bâtiments perdus. Les estimations montrent que dans les pays du Maghreb, l'érosion côtière entraîne des coûts directs substantiels, allant de 273 millions USD par an en Libye à plus de 1,1 milliard USD par an en Tunisie. Pour mettre cela en perspective, par rapport au produit intérieur brut, les dommages et les pertes s'élèvent à environ 0,2% du PIB en Algérie, à environ 0,4% du PIB au Maroc, à environ 0,7% du PIB en Libye et à environ 2,8% du PIB en Tunisie.

**Cependant, ces coûts ne représentent qu'une limite inférieure des coûts totaux découlant de l'érosion côtière et de ses effets, car ils ne tiennent pas compte explicitement des réductions des**

Il convient de réaffirmer que les coûts présentés ici fournissent une estimation prudente de la limite inférieure des coûts totaux découlant de la dégradation des côtes du Maghreb. Si l'on considère que les zones côtières sont des points névralgiques des activités économiques et que l'érosion côtière peut constituer un obstacle sérieux à leur bon fonctionnement, on peut s'attendre à ce que la dégradation continue des côtes ait de graves répercussions sur celles-ci. Saisir ces coûts avec précision fournirait des informations très précieuses sur l'ensemble des côtes de l'érosion côtière mais nécessite des évaluations détaillées du comportement des touristes, des enquêtes commerciales et des études similaires, de préférence à l'échelle locale. Certaines options de telles analyses sont discutées dans la section suivante.

**En outre, les estimations des coûts directs de l'inaction fournies sont également prudentes car elles ne tiennent pas compte des pertes subies par les propriétés adjacentes.**

Les propriétés proches du rivage tirent une partie de leur valeur de leur proximité avec la mer et peuvent donc être affectées indirectement dans le sens où leur valeur sera réduite même si les forces érosives ne les détruisent pas directement (Scott et al, 2012 ; Pompe & Rinehart, 1995 ; Fraser & Spencer, 1998). Une étude détaillée sur les stratégies de gestion de l'érosion sur la côte est des États-Unis montre, à l'aide d'un modèle de prix hédoniste, que la valeur d'une propriété est considérablement réduite si elle est située dans une zone de forte érosion (Landry et al, 2003). L'effet négatif du recul de la plage sur la valeur des propriétés diminue avec la distance, ce qui implique que les propriétés proches du rivage, mais qui ne le bordent pas nécessairement, peuvent être affectées par des retombées négatives découlant des processus d'érosion (Rinehart & Pompe, 1994). Ces effets ne sont pas inclus dans les estimations des coûts directs présentés ci-dessus, ils doivent donc être considérés comme des évaluations plutôt conservatrices des coûts globaux dus à l'érosion côtière dans les pays étudiés.

**Les effets sur les aménagements tels que les ports ou les sites industriels ainsi que sur les écosystèmes sont très probablement substantiels mais également difficiles à quantifier.**

Outre la destruction des bâtiments, l'érosion côtière nuit également aux aménagements humains le long de la côte, tels que les ports ou les sites industriels. Inversement, la construction de ports ou d'autres infrastructures côtières pourrait également exacerber l'érosion côtière ailleurs, comme ce fut par exemple le cas pour la côte algérienne fortement développée (Bouhmadouche & Hemdane, 2016). En outre, l'érosion côtière a également des effets néfastes sur l'écosystème côtier, détruisant l'habitat de la flore et de la faune côtières. Ces effets spécifiques ne sont pas pris en compte dans l'analyse ci-dessus, car cela nécessiterait une modélisation détaillée des effets et des coûts de l'érosion côtière le long de ces aménagements et des habitats naturels, une tâche qui n'est guère possible à l'échelle nationale ou régionale.

**Le changement climatique augmentera les coûts directs liés à l'érosion côtière à l'avenir.**

Les impacts du changement climatique, tels que la probabilité accrue de phénomènes météorologiques extrêmes et l'augmentation du niveau de la mer, vont exacerber l'érosion côtière et ses effets. Par conséquent, les coûts liés à ce phénomène vont très probablement augmenter à l'avenir, à moins que des mesures appropriées ne soient prises pour le combattre et protéger les aménagements

humains dans la mesure du possible.

**Néanmoins, cette évaluation empirique montre que le recul des côtes constitue une menace importante et entraîne des coûts directs significatifs pour les régions touchées si aucune mesure n'est prise.**

La progression de l'élévation du niveau de la mer et la probabilité accrue de phénomènes météorologiques extrêmes dus aux effets du changement climatique se traduiront très probablement par des coûts encore plus élevés à l'avenir. Une action immédiate devrait donc être considérée comme indispensable, à la fois pour atténuer les coûts directs actuels et futurs avec leurs impacts associés sur les populations côtières, dont beaucoup dépendent de rivages intacts pour leur revenu de base.

## **Réduction des revenus économiques générés par le tourisme dans les zones côtières**

**Les pertes directes dues à l'érosion côtière ne représentent qu'une fraction des pertes totales pour l'économie, sans tenir compte de l'impact sur le tourisme ou les activités marines ainsi que sur les écosystèmes.**

L'analyse des coûts directs de l'érosion côtière présentée dans la section précédente ne fournit qu'une estimation très prudente des coûts réels de ce phénomène dans les pays du Maghreb. La prise en compte de la perte de revenus futurs, principalement dans le secteur du tourisme, est cruciale pour évaluer les coûts réels de l'érosion côtière, notamment en ce qui concerne les pertes potentielles de recettes fiscales. En outre, les processus d'érosion côtière peuvent également porter atteinte aux revenus générés par les ports et les industries proches du littoral qui dépendent de côtes intactes. Un autre point important à considérer est que les écosystèmes peuvent être endommagés de façon permanente par l'érosion côtière, lesquels écosystèmes peuvent être des sources de revenus importantes, comme pour la pêche. Bien que l'intégration de ces aspects dépasse le cadre du présent rapport, cette section donne un aperçu de la manière dont les flux économiques sont affectés, en mettant l'accent sur les effets de l'érosion côtière sur le tourisme. Elle met également en lumière certaines des méthodologies qui peuvent être utilisées pour évaluer l'ampleur de ces coûts indirects.

### *L'érosion côtière et son impact sur les flux économiques générés par le tourisme*

**La prise en compte des effets indirects de l'érosion côtière qui découlent de la réduction des revenus économiques est cruciale pour la détermination précise des coûts totaux attribuables au phénomène.**

Après avoir estimé les coûts en termes de terres perdues et de bâtiments détruits dans la dernière section, il convient de rappeler que ces estimations ne rendent compte que d'une certaine partie des coûts totaux qui découlent du recul des côtes. La plus grande partie des coûts de l'érosion côtière, surtout à long terme, sera probablement due à la réduction des revenus résultant des activités touristiques dans les zones qui sont touchées dans le sens où les actifs dont les flux économiques sont dérivés sont détruits et donc les flux futurs sont perdus.<sup>11</sup> Le manque à gagner des activités touristiques est une menace grave, surtout pour les pays pour lesquels le tourisme "bleu" représente une grande partie de leurs

<sup>11</sup>Ghermandi et Nunes (2013) fournissent des estimations de la valeur des services récréatifs pour les lieux proches du rivage à l'échelle mondiale et montrent que celles-ci varient en fonction de l'accessibilité, du développement et des aménagements touristiques comme l'existence de plages ou de récifs coralliens.

revenus. En outre, l'érosion des côtes, mais aussi l'accrétion dans certaines parties, peuvent avoir des effets négatifs sur d'autres activités côtières, comme l'altération des voies de transport dans les ports ou la mise hors service d'infrastructures essentielles, ce qui réduit la valeur ajoutée qui en découle.

Le commerce international algérien (principalement sous forme d'hydrocarbures) est particulièrement dépendant des ports, 95 % du commerce international et 98 % des exportations d'hydrocarbures quittant l'Algérie par la mer.<sup>12</sup> En Libye, les ports sont tout aussi importants pour les exportations de pétrole, mais leurs opérations ont été affectées par les troubles politiques, plusieurs ports importants ayant été temporairement fermés pendant des mois, notamment les plus grands terminaux d'exportation de pétrole à Es Sider, Zawiya et Ras Lanuf.<sup>13</sup>

### **L'érosion côtière est une menace existentielle pour le tourisme, un secteur qui contribue de manière significative à la production économique des pays du Maghreb.**

Par exemple, la Tunisie et le Maroc sont tous deux fortement dépendants de leur secteur touristique, qui repose en grande partie sur l'existence de plages. Au Maroc, plus de 12 millions de visiteurs internationaux ont été enregistrés en 2018, les recettes reçues s'élevant à plus de 9,5 milliards de dollars (environ 8% du PIB) selon les données de l'Organisation mondiale du tourisme des Nations unies (OMT) et les activités touristiques représentent plus de la moitié des exportations dans les services. En considérant les impacts économiques indirects, le tourisme et ses chaînes de valeur représentaient 18,6 % du PIB et 16,4 % de l'emploi en 2017 (Kasmi et al, 2020). En Tunisie, l'activité économique liée au secteur du tourisme s'est élevée à 14,2% du PIB en 2018, offrant des opportunités d'emploi à plus de deux millions de Tunisiens.<sup>14</sup>

Les recettes reçues des touristes internationaux ont contribué à elles seules à plus de 2,3 milliards de dollars à l'économie, soit environ 6 % du PIB en 2018 et plus de 90 % des nuitées enregistrées dans le pays ont été passées dans les zones côtières (Jeffrey & Bleasdale, 2017). Le tourisme est moins développé en Algérie et en Libye et a connu quelques revers dans un passé récent en raison de troubles politiques. Cependant, le gouvernement algérien cherche des moyens d'attirer les touristes internationaux, visant à augmenter les arrivées annuelles de touristes internationaux à 5 millions d'ici 2025.<sup>15</sup> Il convient donc de reconnaître la menace imminente que représente la disparition des plages due à l'érosion côtière pour le tourisme dans la région.

### **Les touristes qui visitent principalement les côtes du Maghreb pourraient décider de ne pas revenir si les plages disparaissent.**

Il existe plusieurs facteurs qui pourraient entraîner des effets indirects négatifs. Dans le cas extrême, la disparition des plages pourrait entraîner des pertes totales si les touristes décidaient de ne plus du tout visiter les zones touchées. Par exemple, pour certains groupes de touristes, une majorité de répondants à une enquête menée dans une ville hawaïenne ont déclaré qu'ils n'envisageraient pas de séjourner dans un hôtel si la plage voisine s'érodait complètement (Tarui et al, 2018). De même, plus des trois quarts des touristes interrogés à la Barbade n'étaient pas disposés à revenir pour le même prix si les plages disparaissaient en grande partie ;

cela était associé à une diminution de 46 % des recettes touristiques. D'autres caractéristiques environnementales influencent également la volonté des touristes de revenir dans la ville voisine de Bonaire : là encore, plus des trois quarts d'entre eux ne sont pas disposés à revenir pour le même prix si les coraux blanchissent (Uyarra et al, 2005).

Sur deux tronçons de la côte australienne, une grande partie des touristes ont déclaré que des événements d'érosion majeurs les conduiraient à se tourner vers d'autres destinations ; les pertes s'élèvent à plus de 75 millions USD par an (Raybould et al, 2013). Par conséquent, le recul des plages pourrait entraîner de graves pertes économiques, en particulier dans les régions qui sont principalement visitées pour leurs plages.

### **La propension des touristes à visiter un certain lieu diminue en raison du recul des plages, mais pas nécessairement de façon linéaire.**

Il existe un large consensus sur le fait que le recul des plages diminue la volonté des touristes de retourner dans des endroits qui dépendent principalement des loisirs de plage, avec le cas extrême de visiteurs qui ne reviennent pas si une plage s'érode complètement (comme discuté ci-dessus). Par exemple, dans une enquête menée sur des plages du Delaware, aux États-Unis, environ deux tiers des visiteurs ont déclaré qu'une réduction de la largeur d'une plage à un quart de sa taille actuelle détériorerait leur expérience et un tiers a indiqué qu'ils réduiraient le nombre de leurs visites (Parsons et al, 2013).

De même, pour les plages californiennes, il a été constaté que les visites des plages sont négativement liées aux pertes de largeur de plage dues à l'érosion côtière, toutefois de manière non linéaire et en différant selon l'activité principale des touristes venant sur la plage. Pour les plages qui sont plus étroites que 20 mètres, une réduction de la largeur est associée à des diminutions beaucoup plus importantes de la propension des visiteurs récréatifs à revenir que lorsque la largeur initiale de la plage est supérieure à 20 mètres (Pendleton et al, 2012). À la Barbade, il a été constaté que l'aversion des touristes à revenir est particulièrement forte pour les plages dont la largeur est inférieure à 8-10 mètres (Schuhmann et al, 2016). Cependant, il est intéressant de noter que les plages peuvent également être trop larges, les longs chemins vers la mer diminuant l'utilité des visiteurs (Parsons et Massey, 2003 ; Pendleton et al, 2012).

Une relation non linéaire similaire peut également être trouvée pour la vitesse d'érosion, où les enquêtes révèlent que des taux plus élevés de recul de la plage entraînent une réduction disproportionnée du surplus du consommateur, et donc de la propension à revisiter, par rapport à des taux de recul plus lents (Huang et al, 2011). Ces résultats impliquent que la relation entre la réticence à revenir des touristes et la largeur de la plage peut être considérée comme ayant approximativement une forme comme celle décrite dans la figure 4.

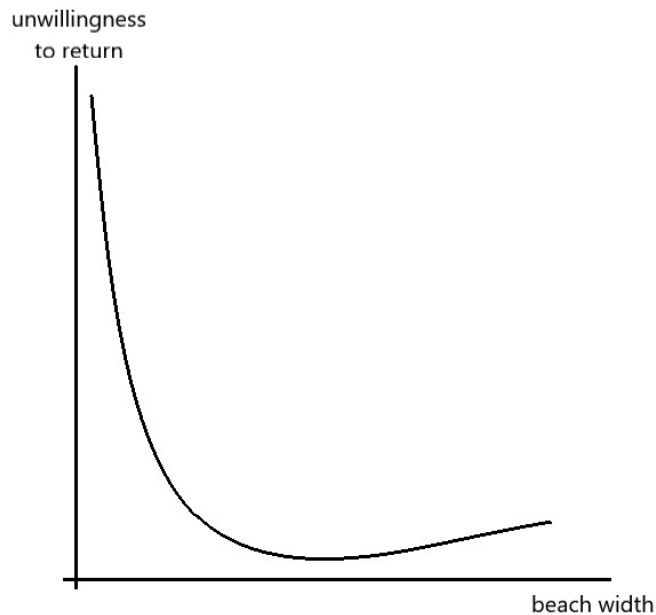
<sup>12</sup><https://oxfordbusinessgroup.com/overview/modernisation-route-capital-investment-boost-transport-infrastructure-continues-despite-lower>

<sup>13</sup><https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-23/libya-restarting-oil-exports-at-a-third-port-as-conflict-abates>

<sup>14</sup><https://english.aawsat.com/home/article/1840766/tunisia-13b-tourism-revenues-expected-2019>

<sup>15</sup><https://www.arabianbusiness.com/travel-hospitality/440174-algeria-looking-to-open-its-tourism-doors-to-the-world>

Figure 4 : Stylized relationship between beach width and unwillingness to return



Source: Authors.

### La présence de plages intactes est un déterminant important des prix que les hôtels peuvent pratiquer.

Dans les districts côtiers, une part plus importante de côtes ouvertes ou plates (c'est-à-dire de plages) est un facteur déterminant pour des prix d'hébergement plus élevés (Hamilton, 2007). Dans le même esprit, les prix des hôtels de la Costa Brava, en Catalogne, pour ceux qui ont une plage certifiée Pavillon Bleu à proximité, sont en moyenne plus de 10 % plus élevés (Rigall-I-Torrent et al, 2011). La certification Pavillon Bleu indique que la qualité de la plage et de l'eau de mer répond à certaines normes et que la gestion de la plage répond également à des normes environnementales spécifiques. Le Maroc et la Tunisie font partie de ce programme et des efforts sont en cours pour étendre son champ d'application afin de s'adapter aux changements d'attitude des touristes. Les revenus des hôtels situés à proximité des plages en retrait sont susceptibles de diminuer, car la valeur d'agrément pour les touristes diminue si la qualité de la plage se détériore.

### Options pour évaluer l'impact de l'érosion côtière sur les flux économiques touristiques

#### Il existe différentes approches concernant la manière d'évaluer les effets de l'érosion côtière sur les flux touristiques et la plupart d'entre elles ont été peu appliquées au Maghreb.

Les études scientifiques dans la littérature utilisent différentes méthodologies pour évaluer les coûts de l'érosion côtière en termes de baisse des revenus touristiques ou de la valeur des lieux et propriétés touristiques. Certaines d'entre elles sont basées sur des informations d'enquête, tandis que d'autres portent sur les caractéristiques physiques des plages et leurs aménagements. Ce qui les unit est leur application plutôt rare dans les pays du Maghreb, ce qui nuit à l'évaluation fiable des coûts totaux découlant de l'érosion côtière. Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches dans ce domaine.

### Une façon d'estimer le coût indirect de l'érosion côtière consiste à interroger les individus sur leurs préférences en matière de prévention de l'érosion des plages et à leur demander de les monétiser.

Une façon courante d'aborder cette question des préférences des États dans la littérature consiste à utiliser des enquêtes pour déterminer ce que l'on appelle la "volonté de payer" (WTP) des résidents et des touristes pour préserver les plages. Cette mesure reflète la somme d'argent que ces personnes seraient prêtes à payer pour des initiatives de sauvegarde des plages telles que le rechargement des plages ou la construction de protections en mer. Le raisonnement qui sous-tend ces études est que, si de telles mesures peuvent être assez coûteuses (variant également en fonction de la région) ex ante, ignorer ces possibilités peut entraîner des coûts ex post beaucoup plus élevés induits par l'élévation du niveau de la mer et l'érosion côtière (Darwin et Tol, 2001). La nature de ces enquêtes, qui reposent dans une certaine mesure sur l'attachement des répondants à la région étudiée, limite leur utilisation pratique à de petites unités géographiques telles que des plages individuelles ou des plages sur une certaine île. Cependant, leur importance en ce qui concerne l'information des décideurs politiques sur les sources possibles de financement de ces mesures de précaution n'est pas négligeable et certains enseignements peuvent être tirés de ces analyses. Elles peuvent également être utilisées pour évaluer les différentes menaces qui pèsent sur l'attrait de biens tels que les plages. Par exemple, une étude de ce type a révélé que le recul de la plage a une influence décroissante sur l'utilité des plagistes en moyenne et que le CAP pour éviter le recul de la plage est plus élevé que pour la fermeture de la plage en raison de l'apparition de méduses ou de la perte d'herbiers dans les eaux environnantes (Enriquez & Bestard, 2020).

### Des études ont montré les pertes potentiellement élevées de revenus touristiques découlant de l'érosion côtière au Maghreb.

Par exemple, les touristes visitant l'île de Djerba en Tunisie seraient prêts à contribuer à plus de 5 millions d'euros par an pour un projet visant à réduire l'érosion côtière (Dribek et Voltaire, 2017). Ce chiffre implique que les mesures de préservation des plages visant à réduire l'érosion côtière peuvent être financées en grande partie par les contributions des touristes<sup>16</sup> et mesure également la valeur que les touristes attribuent aux plages intactes. Par conséquent, si l'on considère que la majeure partie du tourisme de Djerba se concentre sur sa zone côtière (Widz et Brzezinska-Wojcik, 2020), l'érosion de ses plages peut en fait éliminer complètement le tourisme, ce qui implique d'énormes pertes potentielles de revenus. Bien que cela puisse sembler un exemple local pour les coûts du recul des plages, il convient de noter que Djerba accueille environ 25 % des touristes internationaux visitant la Tunisie (Carboni et al., 2014), ce qui illustre son statut important pour le secteur touristique tunisien dans son ensemble. Pour une région similaire au Maroc, la côte de Tétouan avec ses principales plages touristiques, Benkhattab et al. (2020) trouvent que la surface totale érodée au cours de la période 1958-2018 s'élevait à environ 490 ha. En s'appuyant sur ces chiffres et sur les projections concernant le recul des plages à l'avenir, Flayou et al. (2017) estiment que les pertes de revenus pour l'économie dues au recul de ces seules plages pourraient s'accumuler à 190 milliards USD au cours des prochaines décennies.<sup>17</sup>

<sup>16</sup>Les auteurs ont également calculé la volonté de payer pour les résidents du projet parmi les résidents de Djerba et ont trouvé des valeurs similaires par habitant. Comme le nombre de résidents (environ 30 000) est minuscule par rapport aux touristes qui visitent Djerba (plus d'un million par an), les contributions des touristes se taillent la part du lion dans les contributions globales.

<sup>17</sup>Il convient de noter que les auteurs calculent ces effets hautement préjudiciables pour le secteur touristique local au moyen de transferts de bénéfices des valeurs de volonté de payer (WTP) provenant d'une autre source et supposent une disparition complète des plages, un processus qui varie selon les différentes plages examinées et qui peut en fait prendre plusieurs décennies. Néanmoins, ces résultats soulignent les montants potentiellement énormes des pertes qui pourraient résulter de l'érosion côtière pour les régions touristiques.

## **D'autres approches qui quantifient les effets économiques de l'érosion côtière mettent également en évidence d'importantes pertes potentielles pour l'économie locale.**

Elles peuvent utiliser des informations sur les attributs des plages comme leur largeur, la valeur des terrains et les caractéristiques des hôtels situés à proximité (par exemple le prix des chambres) pour estimer directement les réductions de la valeur des terrains et des revenus dues à l'érosion côtière dans le cadre de régressions de prix hédoniques. En utilisant une telle approche, la diminution de la largeur de la plage due à l'érosion côtière à Réthymnon sur l'île grecque de Crète pourrait entraîner des pertes de revenus s'élevant à environ 18,5 millions d'euros au cours des dix prochaines années en raison du recul progressif d'une seule plage (Alexandrakis et al, 2015). L'impact de l'élévation du niveau de la mer sur le tourisme balnéaire à Sahl Hasheesh et dans la baie de Makadi, sur la mer Rouge en Égypte, a été évalué pour conduire à des pertes de revenus attendues qui pourraient dépasser 350 000 USD par jour en 2050 (Sharaan et al, 2020). Des études similaires montrent que la réduction de la surface des plages a un impact négatif décisif sur l'image globale des destinations touristiques, en diminuant le nombre d'arrivées et donc en réduisant les recettes reçues de celles-ci (Scott et al, 2012 ; Raybould et al, 2013 ; Bitan et Zviely, 2019).

## **L'importance des flux économiques et la rareté des preuves disponibles sur lesquelles s'appuyer au Maghreb soulignent la nécessité de poursuivre les recherches dans ce domaine.**

Pour fonder les décisions politiques sur des preuves solides concernant les coûts totaux de l'érosion côtière, il est donc impératif de comprendre les impacts de ce phénomène sur les flux économiques. L'identification de ces coûts indirects repose sur l'évaluation locale de différents facteurs, y compris la volonté de payer pour des infrastructures de protection en tant qu'indicateur du manque à gagner, et sur une meilleure compréhension de la distribution spatiale des flux économiques le long de la côte et de la manière dont ils pourraient être affectés par l'érosion côtière. En soulignant les pertes potentiellement énormes dans le seul secteur du tourisme, ce rapport plaide en faveur d'une recherche plus ciblée sur le plan local afin de comprendre clairement ces coûts potentiels et d'en déduire des réponses politiques appropriées dans la mesure du possible. Cela inclut des enquêtes auprès des résidents et des touristes, un inventaire détaillé des activités économiques le long de la côte et l'évaluation de la manière dont les entreprises côtières sont déjà affectées aujourd'hui et des menaces que le processus continu d'érosion côtière pourrait faire peser sur elles. Ces études devraient être menées en coopération avec les autorités locales mais aussi d'autres institutions telles que les universités et inclure toutes les parties prenantes concernées afin de fournir une évaluation globale des coûts totaux attribuables à la dégradation des côtes du Maghreb.

## **Un nouvel ensemble de données sur les changements des côtes au Maroc et en Tunisie**

L'identification efficace des points chauds de l'érosion côtière nécessite des investigations fines de la côte à grande échelle. Cependant, les segments de côte menacés par l'érosion doivent également être observés à un niveau aussi granulaire que possible. Cette section présente les résultats d'une telle analyse détaillée qui a été réalisée pour les côtes du Maroc et de la Tunisie en coopération avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni. Afin de

déterminer avec précision l'étendue de l'érosion côtière de certains points chauds, seules des photographies satellites à haute résolution ont été utilisées pour cette analyse et plusieurs améliorations du flux de travail ont été proposées pour affiner la base de données résultante. De plus, la largeur des segments analysés le long du littoral est considérablement réduite par rapport aux études précédentes. Ces granularités dans le processus d'analyse permettent des évaluations très précises des points chauds de l'érosion côtière le long de l'ensemble du littoral examiné, fournissant ainsi de nouvelles preuves des points chauds de l'érosion côtière. La première sous-section donne un aperçu des changements survenus sur les côtes du Maroc et de la Tunisie, en identifiant les régions qui ont gagné ou perdu de la superficie au cours des dernières décennies. Les sous-sections suivantes démontrent ensuite les mérites de l'utilisation de photos satellites à haute résolution pour mener une étude détaillée du paysage côtier. La section 3.2 évalue les changements survenus sur certaines plages tunisiennes qui présentaient de forts taux d'érosion dans le passé et qui ont été définies comme des zones prioritaires étant donné leur importance en tant que destinations touristiques. La section 3.3 illustre les possibilités de prévision de l'analyse effectuée. La section 3.4 illustre ensuite les effets que différentes mesures de protection ont sur la côte qu'elles sont censées protéger.

## **Identification des points chauds de l'érosion côtière au Maroc et en Tunisie**

### **Bien que l'érosion côtière ait lieu à l'échelle mondiale et nationale, il est important de comprendre les facteurs spécifiques de l'érosion côtière à l'échelle locale.**

Alors que l'analyse ci-dessus fournit une estimation des coûts de l'érosion côtière à l'échelle nationale pour les quatre pays du Maghreb étudiés, il échoit de noter que les changements du littoral varient dans une même seule situation, avec un site d'érosion et d'accrétion souvent très proche, parfois même sur la même plage (voir section 1). Ces différences locales nécessitent des analyses à grande échelle, mais granulaires, des littoraux pour couvrir de manière exhaustive le littoral d'un pays afin d'identifier les points chauds de l'érosion côtière, tout en permettant des évaluations précises de la dynamique à une échelle plus locale.

### **Les différences à petite échelle peuvent faire la différence ; c'est pourquoi il est préférable d'utiliser des résolutions plus élevées des lignes côtières.**

Il est clair que les indicateurs nationaux agrégés peuvent cacher une grande partie de l'hétérogénéité au sein des pays, où certaines zones locales s'érodent alors que d'autres s'accroissent. De même, les analyses utilisant des résolutions plus fines pour l'identification de ces processus sur les côtes peuvent fournir des informations importantes sur les processus historiques et aider à quantifier les taux d'érosion qui peuvent être attendus dans le futur. Ainsi, pour mieux comprendre les taux d'érosion régionaux et locaux dans les pays du Maghreb, une coopération avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni et l'Agence spatiale européenne a été mise en place pour mieux comprendre la distribution de l'érosion côtière le long de la côte (NOC, 2020). Cette tâche a été réalisée en employant des images spatiales de plus haute résolution provenant de satellites lancés au plus tôt en 2000, où des segments de 50 m par opposition aux segments de 500 mètres de la côte (Luijendijk et al 2018) ou aux segments de 250 mètres (Mentaschi et al 2018) ont été utilisés.

## **Des ajustements raffinés du flux de travail pour de nombreuses sources d'erreurs potentielles améliorent considérablement la qualité des données.**

L'analyse effectuée par le National Oceanographic Center comprenait un flux de travail sophistiqué visant à minimiser les sources d'erreurs potentielles et à augmenter la précision par rapport aux études précédentes au niveau mondial. Elle comprenait le traitement d'images à haute résolution provenant de plusieurs satellites qui ont été synchronisés et prétraités pour tenir compte du masquage des nuages et de l'accentuation panoramique des<sup>18</sup> données. Grâce à des techniques d'apprentissage automatique, les images ont été classées et les sources d'erreurs supplémentaires supprimées. Par exemple, contrairement à Luijendijk et al (2018), l'analyse a pris en compte les problèmes liés à d'éventuelles erreurs de classification des rivages dues aux eaux blanches, un phénomène qui se produit à partir des vagues déferlantes lorsqu'elles s'approchent du rivage et qui est l'une des plus grandes sources d'erreur dans les classifications de rivages (Pardo-Pascual et al, 2018).<sup>19</sup> Après avoir coulé les transects affinés, les statistiques de taux de changement ont été calculées et les changements futurs du littoral prédits. L'analyse a été réalisée à l'aide de données historiques sur l'érosion côtière sur la période 2000-2020, fournissant des estimations pour un horizon temporel plus actualisé que Luijendijk et al (2018), avec des prévisions disponibles pour les horizons de 10 ans et 20 ans, fournissant des informations sur les changements futurs à des échéances pertinentes pour les politiques. Un document de référence (NOC, 2020) fournit plus de détails sur les méthodes utilisées, la mise en œuvre des différentes étapes de vérification et d'autres détails techniques.

## **Certains défis demeurent dans l'utilisation de la télédétection pour l'évaluation de l'érosion côtière.**

Même si la présente analyse fait des progrès substantiels pour améliorer la précision des estimations, quelques réserves demeurent et doivent être reconnues. Tout d'abord, la précision des estimations dépend du nombre d'images prises pour chaque ligne de côte. Bien qu'il y ait suffisamment de données pour obtenir une estimation précise la plupart du temps, certaines parties du littoral ont été moins bien couvertes que d'autres, ce qui peut entraîner des problèmes pour tenir compte des changements de marée. Les efforts en cours pour utiliser encore plus d'images permettront de remédier à ce problème à l'avenir. Cependant, l'utilisation de différents satellites ouvre la possibilité de divergences. Bien que ce problème ait été résolu par un processus de co-enregistrement, des différences occasionnelles peuvent subsister. Enfin, certains problèmes se posent pour les transects qui sont tracés dans les bras de rivière ou les zones intertidales de faible altitude qui sont trop éloignées les unes des autres pour être tracées en un seul transect. La nature complexe de ces zones rend difficile la saisie précise des taux de changement dans le temps, ce qui nécessite une analyse plus approfondie des transects dans ces zones. Bien que des efforts considérables aient été déployés pour tenir compte de ces problèmes, des erreurs potentielles subsistent.

## **Il existe également une variabilité temporelle des processus d'érosion côtière, les statistiques agrégées pouvant potentiellement les masquer.**

En plus des spécificités des différents emplacements géographiques, les processus d'érosion côtière, tels que la réaction des plages de

sable à l'élévation du niveau de la mer, sont également variables dans le temps (Cooper et al, 2018). Étant donné que les littoraux sont constamment soumis à des changements - qu'ils soient induits par le développement humain ou les forces naturelles - un suivi régulier à une échelle spatiale granulaire est important pour prendre en compte les variabilités dans toutes les dimensions afin que les décideurs politiques puissent faire des choix éclairés basés sur des preuves précises et opportunes. La nature de l'analyse effectuée par le Centre océanographique national permet de considérer les changements historiques à long terme des côtes à une échelle spatiale très granulaire, mais aussi une analyse détaillée des changements dans les processus érosifs au fil du temps. Grâce à ces informations, les décideurs politiques peuvent non seulement fonder leurs décisions sur les développements actuels le long du littoral, mais aussi évaluer les mesures de protection déjà mises en œuvre quant à leur efficacité à réduire la menace de l'érosion côtière sur les développements humains et leurs effets secondaires potentiellement involontaires.

## **Pour la Tunisie et le Maroc, ces analyses détaillées permettent déjà d'identifier plus précisément les points chauds locaux de l'érosion côtière, et d'autres pays suivront.**

Dans un premier temps, le Centre National Océanographique a réalisé des analyses détaillées des côtes de la Tunisie et du Maroc, deux pays dont les côtes sont menacées par l'érosion côtière et pour lesquels le tourisme balnéaire et les activités liées au littoral occupent une place très importante dans leur mix économique. Les statistiques du nord du Maroc sont divisées en Atlantique/Méditerranée au port de Ksar es-Seghir, car on s'attendait à ce qu'il y ait une différence dans la nature de l'évolution du littoral due aux processus hydrodynamiques à la côte. L'analyse a montré que les côtes faisant face à la Méditerranée ont des côtes sablonneuses plus faibles ; avec le Maroc montrant 75% et la Tunisie 85%, alors que le côté atlantique de la côte marocaine démontre une composition sablonneuse presque complète à 96%.

## **Même si, dans l'ensemble, davantage de zones au Maroc et en Tunisie s'érodent, les changements dans le paysage côtier sont également hétérogènes en ce qui concerne la vitesse à laquelle ils se produisent.**

peut être obtenue en comparant le pourcentage de zones qui subissent différentes dynamiques du littoral (Figure 6). Pour les deux pays, les zones en érosion (c'est-à-dire celles qui ont perdu au moins 0,5 mètre par an au cours des dernières décennies) dépassent celles qui ont connu des degrés divers d'accrétion. La Tunisie présente une évolution du littoral relativement équilibrée pour chaque catégorie, mais plus de 35 % des plages tunisiennes sont en érosion. Environ 38% de la côte atlantique marocaine s'érode à un certain degré, tandis qu'environ 28% s'accrédite. Sur la côte méditerranéenne du Maroc, les classes d'érosion et d'érosion intensive sont supérieures de 4% aux classes d'accrétion respectives. Dans l'ensemble, elle est caractérisée par des schémas d'érosion plus équilibrés, mais aussi plus dynamiques, avec seulement environ un quart du littoral resté stable au cours des deux dernières décennies.

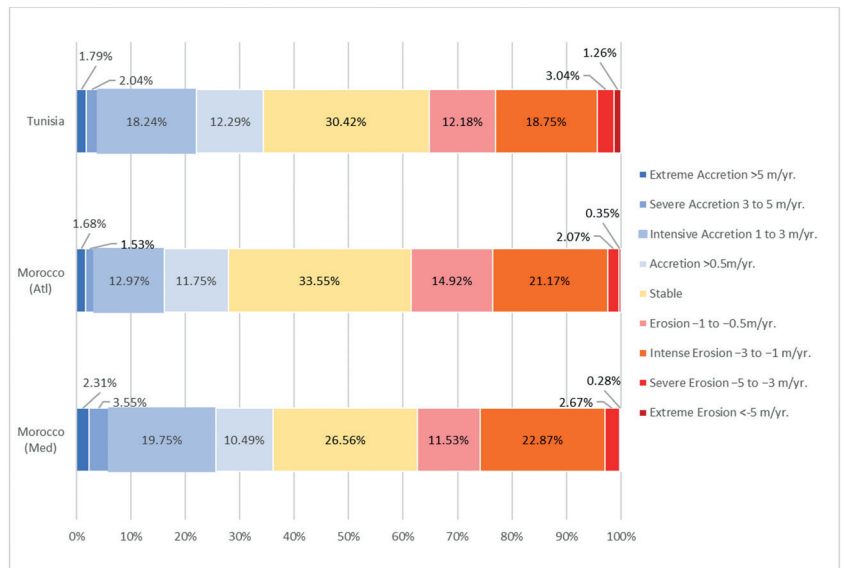
<sup>18</sup>Pansharpening is a process of lowering the resolution of a multispectral image using a higher-resolution panchromatic band.

<sup>19</sup>It should be noted that the analysis by the National Oceanographic Center does not involve a in-situ assessment of shoreline changes, i.e. the results are not verified on-site.

**Figure 5 : Les changements du trait de côte sont très**

**hétérogènes au sein de la Tunisie et du Maroc**

Proportion du littoral en accrétion, en érosion et stable par pays/région



Source : Auteurs.

**La comparaison des changements dérivés de la nouvelle étude avec ceux des évaluations mondiales révèle certaines différences dans la dynamique côtière détectée.**

Lorsque l'on compare ces parts ainsi que les taux d'érosion nets moyens qui en résultent avec ceux de l'ensemble de données mondiales fournies par Luijendijk et al (2018) telles que représentés dans la Figure A2 de l'annexe, certaines différences entre eux méritent une réflexion plus approfondie. Tout d'abord, pour la Tunisie, de plus grandes parties du littoral ont été trouvées en érosion dans le jeu de données global par rapport au jeu de données original, avec les plus grands écarts dans la catégorie de l'érosion extrême (c'est-à-dire l'érosion à un taux supérieur à 5 mètres par an). D'autre part, sur la base des données plus granulaires fournies par les estimations du CNO, une partie sensiblement plus importante du littoral a été intensivement accrété (c'est-à-dire avec des taux entre 1 et 3 mètres par an) que les estimations de Luijendijk et al (2018) suggèrent. À l'inverse, les côtes marocaines, tant celles de l'Atlantique que celles de la Méditerranée, ont été classées comme étant plus stables (c'est-à-dire qu'elles ne s'érodent ni ne s'accrètent à un rythme supérieur à 0,5 mètre par an) dans l'exercice global mené par Luijendijk et al (2018) par rapport aux taux calculés par le CNO. Une exception notable est la part beaucoup plus élevée d'érosion extrême le long de la côte méditerranéenne. Différents facteurs peuvent être à l'origine de ces divergences. Pour une fois, la période étudiée diffère selon les études, même s'il existe un chevauchement temporel considérable. En général, les taux d'érosion un peu plus faibles dans le nouvel ensemble de données pour le Maroc et la Tunisie pourraient indiquer que les tendances d'érosion ont ralenti au cours des deux dernières décennies, par rapport à la période avant 2000, même si l'érosion reste élevée. La granularité plus élevée du nouvel ensemble de données et les méthodologies plus avancées utilisées pour corriger certaines erreurs de mesure sont d'autres sources plausibles de divergences. Cela souligne une fois de plus l'utilité de l'étude présentée, car une identification plus précise des points chauds de l'érosion côtière peut aider les décideurs politiques à canaliser les ressources rares vers des mesures de protection dans les régions qui sont le plus fortement touchées par l'érosion de leurs côtes.

**L'analyse détaillée des littoraux du Maroc et de la Tunisie permet d'évaluer de plus près les effets de l'érosion côtière.**

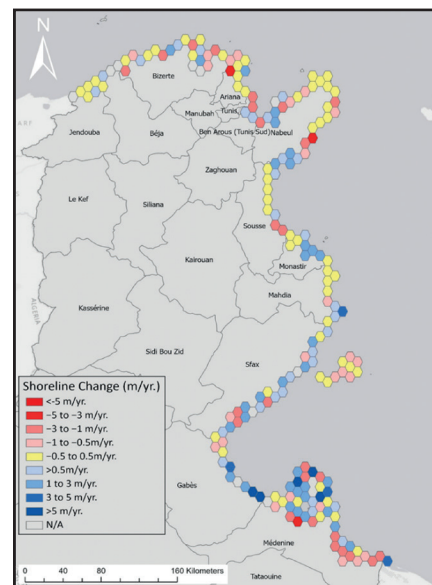
Dans les paragraphes suivants, des illustrations de l'évolution du littoral sont fournies. Dans les figures suivantes, les données des transects individuels de 50m sont présentées en agrégeant

les données en hexagones pour mieux visualiser les données.<sup>20</sup> Les couleurs des hexagones individuels indiquent le changement prédominant dans certaines régions, les hexagones rouges indiquant l'érosion et les bleus les zones d'accrétion. Les hexagones jaunes indiquent les parties relativement stables du littoral.

**L'érosion côtière en Tunisie.**

Comme indiqué plus haut, les modifications du littoral sont très variées au sein d'un même pays et c'est également le cas en Tunisie (voir figure 6), pour laquelle 85% du littoral a été identifié comme étant sableux. L'érosion intensive, c'est-à-dire le recul des plages de plus de 2 mètres par an, se produit principalement dans sept zones principales avec Utique à Bizerte et Korba à Nabeul. Les zones de plus forte accrétion sont situées le long de la côte de Sfax, Gabès et Médenine, ces dernières connaissant fréquemment une accrétion extrême ou sévère. Alors que l'état des changements du littoral est mitigé, il semble qu'il y ait plus d'érosion dans le Nord, avec plus d'accrétion dans le Sud.

**Figure 6 : De nombreuses plages en Tunisie s'érodent**  
Points chauds de l'érosion côtière



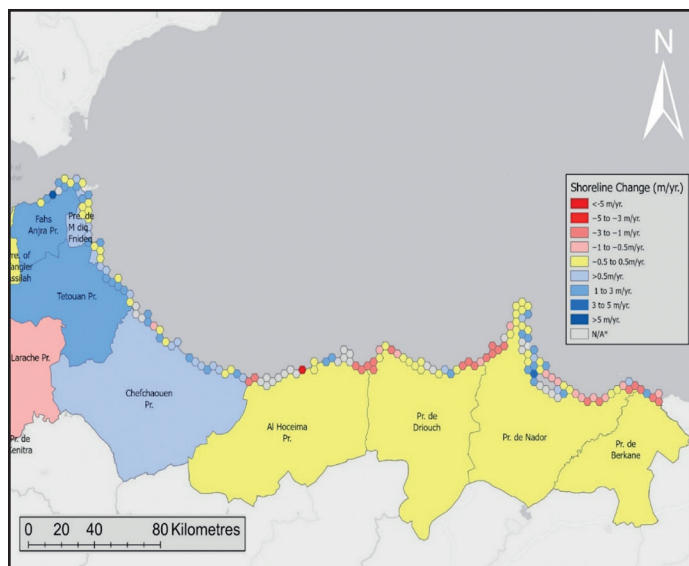
Source : Auteurs.

Note : Les taux de changement du littoral tunisien sont agrégés à des hexagones d'environ 50km<sup>2</sup>

## L'érosion de la côte méditerranéenne du Maroc est caractérisée par l'influence des structures humaines.

Sur la côte méditerranéenne du Maroc, une accrétion intensive se produit dans les provinces de Fahs Anjra et de Tétouan (Figure 8). Les développements anthropiques tels que le plus grand port d'Afrique du Nord, Tanger-Med, une bande de développement de 1,6km<sup>2</sup> de long sur la pointe nord du Maroc, sont susceptibles d'avoir un effet significatif et potentiellement continu sur les taux de changement du littoral. Une autre source possible de changement est liée au cycle hydrologique et aux taux de dépôt du flux fluvial dans les estuaires. Cela n'a pas été étudié, mais il s'agit de systèmes intrinsèquement variables qui peuvent connaître une variabilité interannuelle et décennale importante. Malgré cela, cela semble peu probable puisqu'il existe de nombreuses études sur la menace du littoral marocain due à l'élévation du niveau de la mer (Snoussi et al., 2008 ; Snoussi et al., 2009 ; Kasmi et al., 2020). Plus loin le long de la côte méditerranéenne du Maroc, les processus d'érosion deviennent plus dominants. Les plus grandes sections d'érosion se produisent de part et d'autre de la province de Driouch dans le port de la baie d'Al Hocaëima et autour du Port Nador West Med. Une combinaison de problèmes d'enregistrement erroné et de développements d'infrastructures côtières est à l'origine des taux d'accrétion importants dans la lagune de Nador. Cependant, le long de la côte extérieure de Nador, une érosion intensive se produit. Le littoral migre vers l'intérieur des terres et les plages rétrécissent insidieusement, ce qui constitue une menace pour leur durabilité.

**Figure 7 : Changements du littoral le long de la côte méditerranéenne du Maroc**  
Points chauds de l'érosion côtière



Source : Auteurs.

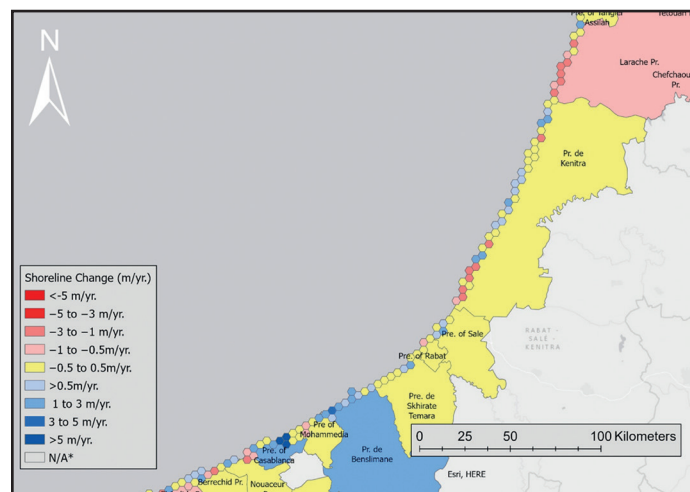
Note : Les taux de changement du littoral méditerranéen du Maroc sont agrégés à des hexagones d'environ 15km<sup>2</sup>.

## De grandes parties de la côte atlantique du Maroc s'érodent également.

Le long du littoral atlantique nord du Maroc, l'érosion est courante dans les provinces de Larache et d'El Jadida (figure 8 ci-dessous). Une érosion intensive se produit également dans les régions

de Kenitra et de Nouaceur. Des poches d'accrétion sévère ou extrême peuvent être trouvées autour du port de Casablanca et du promontoire de Mohammedia, Guelmim Oued Noun, mais l'accrétion est également dominante à travers la pointe nord méditerranéenne du Maroc. Larache est une ville côtière sur le côté sud-ouest de Tanger-Tétouan-Al Hoceïma où un mélange de processus morphologiques se produit avec des rapports d'activités considérables d'extraction de sable.<sup>21</sup> Des enquêtes sur le taux de changement du littoral le long de la côte de Tétouan à l'aide de photographies aériennes ont montré que le littoral a reculé en moyenne de 58,4 m sur une période de 60 ans (Benkhattab et al., 2020). Avec des limites d'érosion intensive allant de -1 à -3 mètres par an, l'érosion semble s'accroître. Dans 60 ans, on prévoit un recul supplémentaire de 60 à 180m.

**Figure 8 : Changements du littoral le long de la côte atlantique du Maroc**  
Points chauds de l'érosion côtière



Source : Auteurs.

Note : Les taux de changement du littoral atlantique du Maroc se sont agrégés à environ 15km<sup>2</sup> d'hexagones.

## Zoom sur certains points chauds de l'érosion côtière en Tunisie

### Plus d'un tiers des plages de sable de la Tunisie sont menacées par l'érosion côtière, certaines subissant une érosion de plusieurs mètres par an.

Environ 35% des côtes sableuses de la Tunisie s'érodent à un rythme de plus de 0,5 mètre par an (voir la figure 6 ci-dessus). Compte tenu de leur importance pour le secteur du tourisme ainsi que de la menace que représente pour elles l'érosion côtière, ce rapport a identifié et défini trois plages en Tunisie comme zones prioritaires. Ces plages font partie des parties de la côte qui ont connu les réductions les plus importantes dans un passé récent et qui sont menacées par un nouveau recul à l'avenir. Toutefois, il convient de souligner que cela vaut également pour de nombreuses autres plages au Maroc et en Tunisie, ce qui rend indispensable une action rapide pour lutter contre leur recul.

<sup>20</sup>Les hexagones représentent la forme et la direction du littoral tout en réduisant le biais d'échantillonnage (Sahr et al., 2003). Après expérimentation, un hexagone de 15km<sup>2</sup> a été jugé convenable pour le Maroc et de 50km<sup>2</sup> pour la Tunisie, afin de résumer un taux de changement moyen du littoral sur les trois zones.

<sup>21</sup><https://coastalcare.org/2015/10/the-sand-thieves-of-larache-northern-morocco>



**L'une de ces plages, déclarée point chaud de l'érosion, est située dans la baie d'Hammamet, au sud de la capitale, dans le centre-est de la Tunisie.**

L'érosion côtière de la plage d'Hammamet a contribué à la perte de 24 000 mètres carrés de surface de plage en l'espace de treize ans, entre 2006 et 2019, avec un taux de perte de 3-8 m/an (voir figure 10). Ces taux élevés d'érosion sont en grande partie causés par l'urbanisation rapide de la côte de Hammamet qui empêche les sédiments naturels de s'écouler vers le littoral. L'érosion côtière, qui se manifeste par le recul du littoral et la croissance urbaine rapide, a également des effets négatifs sur les aquifères et la couverture végétale, car elle expose les aquifères à l'intrusion d'eau de mer (Amrouni et al, 2019).

**Figure 9 : Érosion côtière plage de Hammamet, Tunisie**

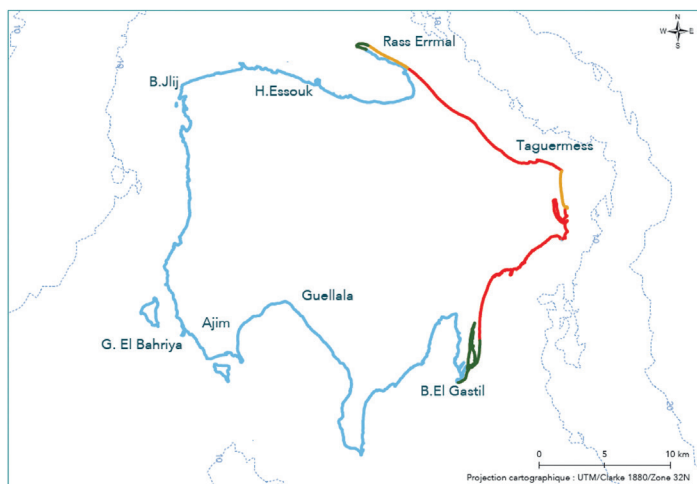


Source : Auteurs  
Note : en orange, la plage à partir de 2019 et en vert, la plage en 2006.

**Les plages de l'île de Djerba, une destination touristique majeure, ont également connu un recul rapide.**

La figure 10 ci-dessous montre que de grandes parties du littoral oriental de l'île de Djerba, située dans la partie sud de la Tunisie et une île hautement touristique qui accueille environ un quart de tous les touristes internationaux visitant le pays (Carboni et al, 2014), se sont érodées au cours des dernières décennies (comme documenté par exemple dans Oueslati, 2015).

**Figure 10: Coastal erosion Hammamet beach, Tunisia**



Source: Oueslati et al (2015)  
Note: Red parts of the coastline denote areas experiencing erosion, green parts are accreting and yellow parts are rather stable.

**Des endroits spécifiques de Djerba ont massivement perdu de la surface de plage au cours des dernières décennies.**

C'est le cas de la plage de Dar Djerba qui a perdu une superficie d'environ 6 900 mètres carrés entre 2003 et 2018 (voir figure 12). Cela a potentiellement des répercussions négatives sur les stations touristiques voisines qui tirent la majeure partie de leur agrément pour les touristes de plages intactes et menace l'économie locale qui dépend fortement du tourisme en général. L'état avancé du recul des plages et ses effets sur les stations côtières ont également été observés de manière impressionnante pour certains sites, par exemple pour le front de mer de l'hôtel Les Sirènes (Figure 13). Depuis les années 1990, la plage située devant l'hôtel a pratiquement disparu et l'érosion côtière progressive a endommagé certaines parties de la station balnéaire, conduisant à son abandon. Entre 2006 et 2018, la plage a perdu environ 3 500 mètres carrés de sa superficie, ce qui implique un taux de perte d'environ 300 mètres carrés par an.

**Figure 11 : Érosion côtière Dar Djerba, Tunisie**



Source : Auteurs  
Note : La ligne jaune correspond au littoral en 2003 et la ligne rouge au littoral en 2018.

**Figure 12 : L'hôtel Les Sirènes à Djerba, Tunisie**

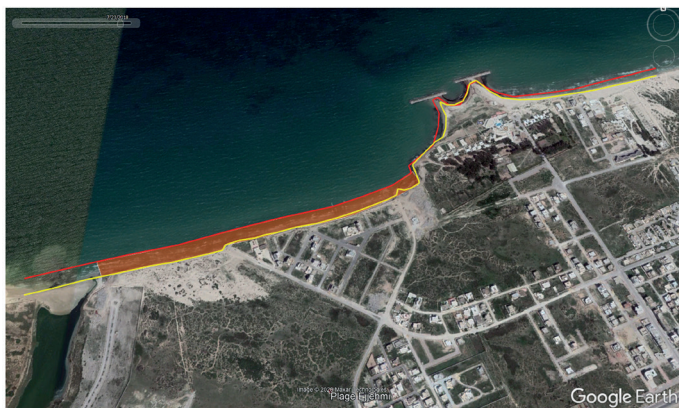


Source : Ameur Oueslati & auteurs.

**Soliman, un village situé au sud-est de Tunis, a également vu sa plage reculer dans un passé récent.**

La plage de Soliman a reculé au rythme d'environ 3,5 mètres par an entre 2004 et 2018. En 14 ans, cela a représenté une perte de surface d'environ 4,3 hectares, soit l'équivalent de plus de six terrains de football. Les mesures de protection que l'on peut voir sur la figure 14 ci-dessous ont eu des effets distincts sur le transport des sédiments le long de la côte et ont contribué à la dynamique de l'érosion, comme nous le verrons dans la section suivante. Les trois exemples de zones prioritaires de cette section ne représentent que quelques-unes des nombreuses plages qui ont reculé, soulignant la menace que l'érosion côtière représente pour les plages du Maghreb.

Figure 13 : Érosion côtière plage de Soliman, Tunisie



Source : Auteurs

Note : La ligne jaune correspond au littoral en 2018 et la ligne rouge au littoral en 2004.

## Prévision des changements futurs du littoral dans les points chauds de l'érosion côtière

**A l'aide de photographies aériennes à haute résolution et de modèles prédictifs, les changements futurs du littoral peuvent être prévus sur la base des changements historiques.**

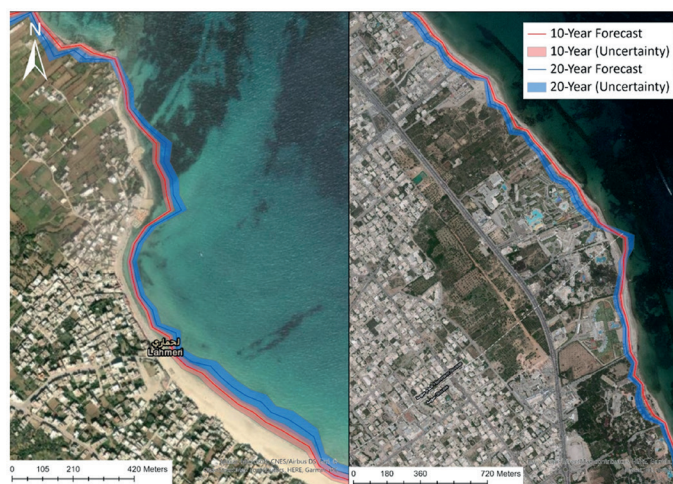
La haute résolution des images satellites et les méthodologies innovantes utilisées pour corriger les éventuels problèmes de mauvaise spécification dans la présente étude permettent de prévoir avec plus de précision les changements futurs du littoral à un niveau très granulaire. Les prévisions présentées ici sont dérivées à l'aide d'un filtre de Kalman, qui prédit les changements du littoral dès la première année (2000) et utilise les périodes pour lesquelles des observations sont disponibles (2000-2020) pour minimiser itérativement l'erreur de la prévision. De cette façon, il améliore les prévisions en mettant à jour le taux et l'incertitude qui l'entoure à la volée à l'aide des données historiques, ce qui rend les prévisions pour les changements futurs (c'est-à-dire les prévisions hors échantillon) plus fiables.

**Ces prévisions peuvent ensuite être utilisées pour évaluer les changements futurs du littoral, à la fois sous la forme d'érosion et d'accrétion, à une échelle locale et pour des délais pertinents pour les politiques.**

L'analyse des changements historiques à une échelle granulaire permet de prévoir avec précision les changements futurs du littoral sur des sites très spécifiques. De plus, à l'aide du modèle prédictif mentionné ci-dessus, il est possible d'obtenir des prévisions pour les périodes les plus pertinentes pour les décideurs actuels, par opposition aux études à long terme sur l'élévation du niveau de la mer et ses conséquences sur les littoraux. De telles prédictions du littoral sont illustrées ci-dessous à une échelle locale (Figure 15). Deux cas sont présentés montrant une accrétion et une érosion sévères/extrêmes en Tunisie, à savoir à Lahmeri (panneau de gauche) et à Hamman Sousse (panneau de droite). Les lignes rouges et bleues montrent les changements du littoral qui peuvent être attendus dans dix et vingt ans, respectivement, les zones ombrées indiquant l'incertitude autour de ces prévisions.

Figure 14 : Prévision des changements du littoral en Tunisie

Prévision du changement de la ligne des hautes eaux moyennes.



Source : CNO (2020)

Note : A gauche = zones en accrétion à Lahmeri, Tunisie. A droite = zones en érosion à Hamman Sousse, Tunisie. Les zones ombrées indiquent les intervalles de confiance à 95 % des prévisions.

**Des prévisions précises comme celles-ci peuvent aider à concevoir des réponses appropriées et permettre aux décideurs politiques de prendre des décisions basées sur des preuves plus fiables qu'auparavant.**

Le cas de Hamman Sousse présenté ci-dessus met en évidence la menace de pertes aériennes futures dues à l'érosion côtière pour les développements humains proches du rivage. La granularité des prévisions peut être atteinte grâce à la haute résolution des photos satellites utilisées et à l'échelle fine qui a été choisie pour partitionner le littoral en segments. Cela présente des avantages pour la fiabilité de ces prévisions pour les décisions politiques. Par exemple, en considérant les prévisions pour Hamman Sousse, on peut clairement voir que certaines parties de la côte devraient s'éroder moins que d'autres.

En fait, on prévoit qu'une certaine partie de la plage sera en accrétion dans les deux prochaines décennies, probablement en raison de la dynamique spécifique au site dans le transport des sédiments et la dynamique des vagues. Cela souligne l'avantage d'utiliser des données granulaires sur l'érosion de sites spécifiques, par opposition à l'utilisation, par exemple, des seules augmentations prévues du niveau de la mer pour modéliser l'évolution des littoraux. De telles analyses sont précieuses pour évaluer les effets de l'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques à grande échelle pour différents scénarios. Cependant, elles ne considèrent essentiellement qu'une seule des multiples sources possibles d'érosion côtière et modélisent ces effets souvent pour un moment éloigné dans le temps (par exemple l'année 2100). Des informations détaillées concernant la dynamique de l'érosion pour un horizon temporel pertinent pour les politiques sont précieuses pour les politiciens qui doivent décider quelles parties du littoral protéger et comment. De telles décisions sont associées à des coûts substantiels en fonction de la stratégie spécifique, ce qui fait que des informations précises sur l'évolution du littoral à court terme sont un facteur important pour déterminer les choix les plus efficaces.

## Des études supplémentaires concernant les caractéristiques côtières sont des précurseurs importants pour augmenter encore la fiabilité des prévisions.

Comme indiqué ci-dessus, il faut noter comme une mise en garde que la procédure repose uniquement sur les taux d'érosion historiques et suppose une relation linéaire. L'utilisation de données historiques sur l'érosion de sites spécifiques pour prévoir les changements futurs incorpore implicitement les nombreuses forces différentes qui façonnent l'évolution du littoral. Cependant, une modélisation plus explicite des différences de dynamique le long des côtes serait souhaitable pour améliorer encore la fiabilité des prédictions. En outre, la configuration actuelle ne permet pas de prendre en compte les non-linéarités dans l'érosion future.

De telles non-linéarités sont pourtant susceptibles d'être induites pour diverses raisons, telles que les caractéristiques géomorphologiques ou la dynamique des vagues. Par exemple, une fois qu'une plage de sable est érodée, l'érosion future du littoral constitué de matériaux solides est très probablement fortement ralentie. Par conséquent, afin de contrer ces restrictions et d'améliorer la précision des prévisions, des études supplémentaires examinant de plus près la dynamique côtière sont nécessaires et seraient très bénéfiques. Il s'agit notamment d'analyses du bilan et du transport des sédiments, d'études de la dynamique des vagues ou d'analyses des caractéristiques géomorphologiques, entre autres. Les forces qui façonnent la côte sont très locales par nature, mais les étudier à plus grande échelle permettrait d'évaluer les effets d'entraînement de certains changements dans le paysage côtier à un endroit sur d'autres.

## Suivi et évaluation : l'efficacité des interventions en matière d'infrastructures côtières

### La nature détaillée de l'analyse permet également l'évaluation rétrospective des différentes mesures de protection afin d'améliorer les processus de décision pour les investissements futurs.

Comme indiqué ci-dessus, il faut noter comme une mise en garde que la granularité de l'analyse réalisée permet de comparer les effets de différentes mesures de protection sur les processus d'érosion côtière. De telles analyses sont des précurseurs cruciaux pour la conception et la mise en œuvre de futures mesures visant à combattre l'érosion côtière sur des sites spécifiques. Ceci est illustré ici par l'exemple de la plage de Soliman, dans le golfe au sud-est de Tunis, (voir figure 16 ci-dessous). Ce littoral, en particulier, a connu de forts taux d'érosion côtière au fil du temps.

Pour faire face aux effets de l'érosion, à la fin des années 1980 et au début des années 1990, des projets d'infrastructure ont été mis en œuvre sous la forme de brise-lames pour protéger les développements naturels et urbains le long du littoral (Saïdi et al, 2012 ; Marzougui & Oueslati 2017). L'ensemble initial de brise-lames qui ont été construits en 1989 et 1990 pour la protection de la côte a été remplacé par un système d'épis côtiers en 2018 pour une protection supplémentaire (voir figure 17). Cela a changé la dynamique du flux côtier et du transport des sédiments avec des effets distincts sur les processus d'érosion côtière à la plage de Soliman.

Figure 15 : Situation géographique de la plage de Soliman, Tunisie



Source : Auteurs.

Figure 16 : Changements dans la protection côtière de la plage de Soliman, Tunisie



Source : Auteurs.

### Les différentes mesures de protection de la plage de Soliman se sont accompagnées de schémas d'érosion côtière sensiblement différents au fil du temps.

Les brise-lames côtiers ont été remplacés par un ensemble d'épis côtiers fin 2018. Si l'on considère la zone où les deux brise-lames ont été remplacés dans le coin inférieur gauche de la plage de Soliman, le panneau gauche de la figure 18 ci-dessous révèle plus en détail les changements du littoral de cette zone particulière. La partie supérieure de la figure montre le littoral en mai 2017, c'est-à-dire avant le remplacement des brise-lames, superposé à la position du littoral au cours des deux dernières décennies, indiquée par les lignes de couleur différente. Le panneau inférieur montre ensuite les schémas d'érosion/accrétion pour chacun des transects qui sont situés à différents endroits de la côte, comme indiqué dans le panneau supérieur de la Figure 18 ci-dessous. Comme on peut le voir sur le graphique à barres de la partie inférieure, les transects 5 à 9 en particulier ont subi une érosion sévère au cours des années jusqu'en 2018. Après le remplacement des brise-lames en 2018, le transect 2 montre une érosion sévère qui reflète le retrait des structures.

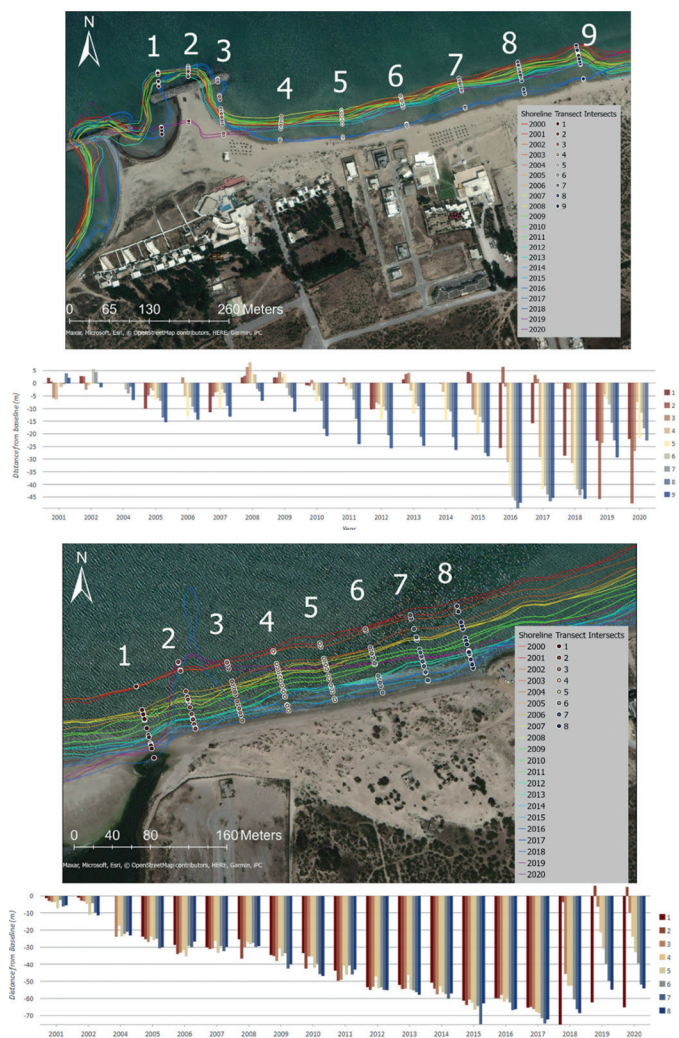
Ce qui est plus intéressant, ce sont les changements dans les transects 5 à 9 dans lesquels un renversement immédiat et important de l'érosion qui s'est produite dans les années précédant l'introduction des épis. Une image similaire émerge pour une partie du littoral plus en aval (panneau de droite de la figure 18), où la construction d'épis (dans le transect 2) a également réduit de manière substantielle les schémas d'érosion et a conduit à une accrétion dans les zones affectées dans les années 2018 à 2020, en particulier dans les transects en amont par rapport à la structure (c'est-à-dire les transects 3 à 8). L'étude de cas souligne également l'importance de la dimension temporelle inhérente à la problématique posée par l'érosion côtière. Considérant que les processus érosifs peuvent s'accélérer, se ralentir ou s'inverser au fil du temps, que ce soit par l'intervention humaine ou par les forces naturelles, il est important d'en faire une évaluation régulière et détaillée pour que les décideurs puissent faire des choix éclairés quant à la mise en œuvre de mesures de protection.

**Les réponses à l'érosion côtière nécessitent donc une surveillance et une analyse régulières et spécifiques du littoral, doivent être adaptées aux spécificités locales et doivent intégrer les revendications de toutes les parties prenantes susceptibles d'être affectées par ces réponses.**

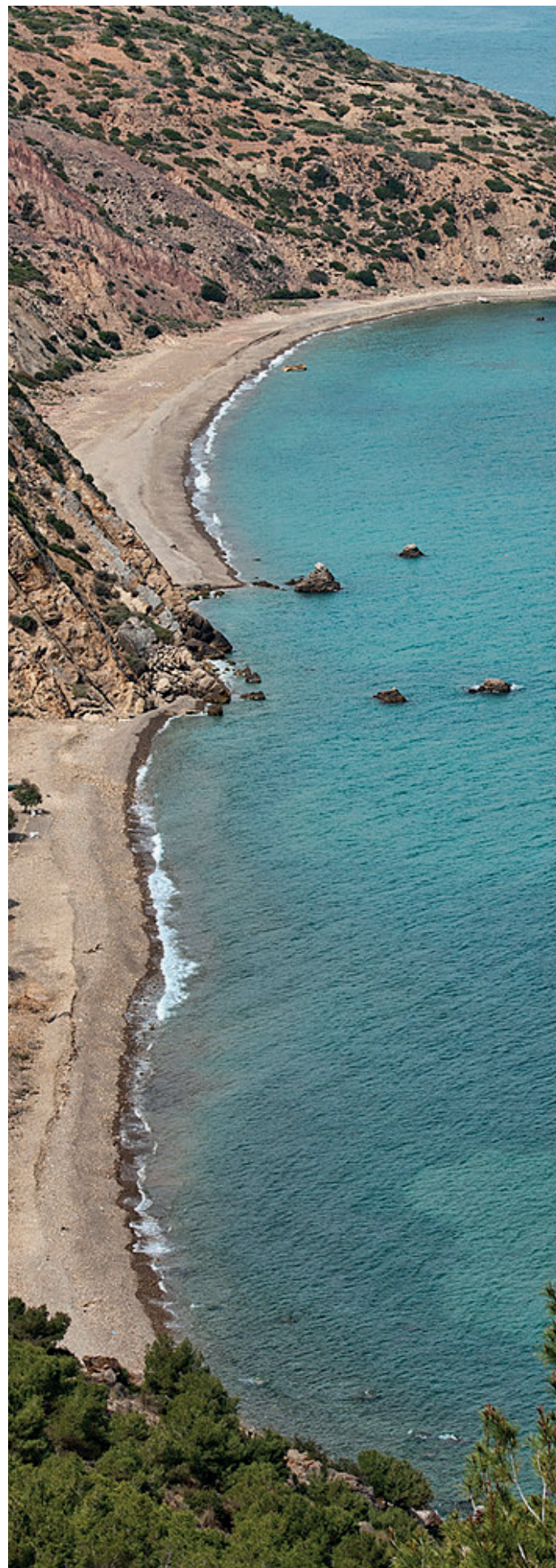
L'exemple décrit ci-dessus montre les développements et la régénération de la plage de Soliman après l'introduction du système d'épis qui a modifié le transport des sédiments au fil du temps. Une planification minutieuse est nécessaire pour intégrer les effets possibles des différentes structures et sélectionner celles qui auront les effets souhaités une fois mises en œuvre. L'éventail des différentes mesures possibles (qu'il s'agisse de solutions de défense dures comme les épis, de solutions douces comme le rechargement des plages ou de solutions naturelles, par exemple le reboisement ou le boisement de marais ou de mangroves) doit être pris en compte. Simultanément, les effets d'entraînement possibles des mesures sur d'autres parties du littoral nécessitent l'incorporation des différentes parties prenantes le long de la côte dans le processus de planification d'une manière intégrée. Par conséquent, une pré-évaluation des politiques d'adaptation devrait inclure des évaluations de faisabilité et d'impact environnemental dans un processus de gestion intégrée des zones côtières (GIZC) afin de minimiser les effets secondaires négatifs de ces politiques, car dans certains cas, des mesures d'adaptation mal informées peuvent causer plus de dommages que le fait de "ne rien faire" (Hoggart et al, 2014).

**Figure 17 : Changements dans l'érosion de la plage de Soliman après le remplacement des brise-lames par des épis.**

Modification de la ligne côtière 2000-2020



Source : Auteurs.



## Conclusion et autres pistes de recherche

Les côtes des pays du Maghreb abritent une grande partie de leur population et l'économie de ces pays est fortement dépendante de leurs côtes pour la création de valeur dans plusieurs industries. Cette étude a présenté une évaluation des coûts de l'inaction découlant de l'érosion de ces côtes. En se concentrant sur les coûts des terres perdues et des actifs bâtis détruits, elle révèle que ces coûts sont déjà substantiels pour les pays du Maghreb. Nous estimons que, même en ne considérant que les coûts directs, les pertes annuelles vont de 0,2% du PIB en Algérie à près de 3% du PIB en Tunisie.

Si ces estimations constituent un point de départ important pour la quantification des coûts qui découlent de l'érosion côtière, elles négligent les coûts relatifs aux flux économiques. Or, ces coûts indirects sont cruciaux pour l'évaluation des coûts globaux auxquels les économies nationales et locales sont confrontées face au recul du littoral. Pour les appréhender avec précision, des recherches complémentaires, notamment dans les pays du Maghreb, sont souhaitables. Les pistes de recherche possibles incluent des enquêtes sur la volonté de retour des touristes face à des plages disparues ou fortement réduites, des évaluations détaillées des pertes d'efficacité des infrastructures côtières (telles que les ports) ou l'évaluation de la volonté de payer pour des infrastructures de protection (par les résidents et les entreprises locales, mais aussi les touristes). Il est impératif d'identifier les localités où les coûts indirects et directs dus à l'érosion côtière sont les plus élevés, ainsi que les points chauds de cette érosion, afin d'aider les décideurs à prendre des décisions éclairées qui présentent un rapport coût-bénéfice favorable. Ceci est particulièrement important à la lumière des budgets limités que les gouvernements pourraient être disposés à réserver à la protection des côtes.

Afin d'identifier avec précision les points chauds de l'érosion côtière, le rapport présente un nouvel ensemble de données à échelle fine, actuellement disponible pour le Maroc et la Tunisie. Créé en coopération avec le National Oceanographic Center du Royaume-Uni, ce jeu de données utilise des images satellites d'une résolution supérieure à celle des études globales précédentes sur les littoraux du monde et des flux de travail affinés pour améliorer la précision, ce qui permet des évaluations plus précises de l'état actuel des littoraux. L'utilisation d'informations historiques sur les changements côtiers permet aux chercheurs de faire des prédictions sur l'avenir des côtes pour des périodes pertinentes pour les politiques. En outre, les interventions passées pour la protection des côtes peuvent être évaluées avec plus de précision, comme le montrent les exemples de la Tunisie.

L'extension de ce nouvel ensemble de données à d'autres pays du Maghreb est en cours et constitue un point de départ précieux pour s'attaquer aux conséquences négatives de l'érosion côtière là où elle se produit. Cependant, pour améliorer l'évaluation de la dynamique côtière et la précision des prévisions, des études supplémentaires sont souhaitables. Celles-ci comprennent des bilans sédimentaires et des analyses de flux ainsi que des études sur la dynamique des vagues et les caractéristiques géomorphologiques des points chauds de l'érosion côtière, mais de préférence à grande échelle. La compréhension de ces différentes dynamiques est cruciale pour formuler des réponses politiques appropriées à l'érosion côtière. En outre, les connaissances acquises par ces études sont des conditions préalables importantes pour une approche intégrative du développement côtier, idéalement dans le cadre d'un programme de gestion intégrée des zones côtières.

Le travail présenté dans ce rapport est en étroite relation avec un rapport phare qui sera bientôt publié, intitulé "Blue Skies, Blue Seas", « Cieux Bleus Mers Bleus » qui analyse trois des problèmes environnementaux les plus urgents dans la région MENA, dont l'érosion côtière. Il présente un large éventail d'approches possibles qui peuvent être adoptées pour protéger les côtes de la région MENA et donc du Maghreb, tirées de l'expérience régionale et internationale. Il complète également les efforts de la MENA Blue Economy ASA, et les activités supplémentaires financées par le Fonds fiduciaire coréen pour la croissance verte, en fournissant de nouvelles informations sur le processus et les coûts de l'érosion côtière. Elle contribue ainsi à la formulation de réponses politiques appropriées et intégratives à la menace que représente l'érosion côtière pour les pays de la région.



## Références

- Abdel-Latif, Tarek, Salwa T. Ramadan, et Abeer M. Galal. 2012.** Le développement des régions côtières égyptiennes par la diversité économique pour ses villes côtières. *Journal du CRHB*. Volume 8(3), pp 252-262.
- Abou-Dagher, M., M. Nader, et S. El Indary. 2012.** Évolution de la côte du Liban Nord de 1962 à 2007 ; Cartographie des changements pour l'identification des hotspots et pour les futures interventions de gestion. In : *IV Symposium international "Monitoring des zones côtières méditerranéennes" : Problems and Measurement Techniques*, Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Italy.
- AFED. 2009.** Impact du changement climatique : Vulnérabilité et adaptation. In : *Environnement arabe - Changement climatique*. Forum arabe pour l'environnement et le développement.
- Ahizoun, Mohamed, Eric Maire, Souad Haida, José Darrozes, et J. Probst. 2009.** Estimation des changements de la ligne de rivage de la zone côtière sablonneuse de Kénitra au Maroc. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*. Volume 5(2).
- Aitali, Rajaa, Maria Snoussi et Siham Kasmi. 2020.** Aménagement côtier et risques d'inondation au Maroc : les cas des côtes de Tahaddart et de Saidia. *Journal of African Earth Sciences*. Volume 164, pp 103771.
- Alexandrakis, George, Constantine Manasakis, et Nikolaos A. Kampanis. 2015.** Valorisation des effets de l'érosion des plages sur les revenus du tourisme. Une perspective de gestion. *Gestion des océans et des côtes*. Volume 111, pp 1-11.
- Alonso, I., J. Alcántara-Carrió, et L. Cabrera. 2002.** Tourist resorts and their impact on beach erosion at Sotavento beaches, Fuerteventura, Spain. *Journal of Coastal Research*. Volume 36, pp 1-7.
- Amrouni, Oula, Abderraouf Hzami et Essam Heggy. 2019.** Évaluation photogrammétrique du recul du littoral en Afrique du Nord : facteurs anthropiques et naturels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 157, pp 73-92.
- Anfuso, G., E. Pranzini, et G. Vitale. 2011.** Une approche intégrée des problèmes d'érosion côtière dans le nord de la Toscane (Italie) : Evolution morphologique du littoral et distribution des cellules. *Géomorphologie*. Volume 129(3-4), pp 204-214.
- Benkhattab, Fatima Zahra, Mounir Hakkou, Ingrida Bagdanavičiūtė, Abdelmounim El Mrini, Hafid Zagaoui, Hassan Rhinane et Mehdi Maanan. 2020.** Analyse spatio-temporelle du taux de changement du trait de côte à l'aide du calcul automatique et des outils géospatiaux le long de la côte de Tétouan au Maroc. *Risques naturels*. Volume 104(1), pp 519-536.
- Bitan, Menashi, et Dov Zviely. 2019.** Évaluation de la valeur perdue des plages de baignade en raison de l'élévation du niveau de la mer : une étude de cas de la côte méditerranéenne d'Israël. *Journal of Coastal Conservation*. Volume 23(4), pp 773-783.
- Bouhmadouche, Mohamed, et Yacine Hemdane. 2016.** Érosion d'une côte sableuse : suivi continu des épis côtiers de protection à Boumerdes (Algérie). *Sciences de la terre de l'environnement*. Volume 75(10).
- Carboni, Michele, Carlo Perelli et Giovanni Sistu. 2014.** Le tourisme islamique est-il une option viable pour le tourisme tunisien ? Insights from Djerba. *Perspectives de la gestion du tourisme*. Volume 11, pp 1-9.
- Chekirbane, Anis, Maki Tsujimura, Atsushi Kawachi, Hiroko Isoda, Jamila Tarhouni et Abdallah Benalaya. 2013.** Hydrogéochimie et salinisation des eaux souterraines dans une plaine d'inondation côtière éphémère : Cap Bon, Tunisie. *Journal des sciences hydrologiques*. Volume 58(5), pp 1097-1110.
- Cooper, J. Andrew G., Andrew N. Green et Carlos Loureiro. 2018.** Contraintes géologiques sur le comportement des barrières côtières à méso-échelle. *Changement global et planétaire*. Volume 168, pp 15-34.
- Croitoru, Lelia, Juan José Miranda et Maria Sarraf. 2019.** Le coût de la dégradation des zones côtières en Afrique de l'Ouest : Bénin, Côte d'Ivoire, Sénégal et Togo. *Banque mondiale*.
- Dabbeek, Jamal, et Vitor Silva. 2020.** Modélisation du parc immobilier résidentiel au Moyen-Orient pour l'évaluation des risques multirisques. *Risques naturels*. Volume 100(2), pp 781-810.
- Darwin, Roy F., et Richard SJ Tol. 2001.** Estimations des effets économiques de l'élévation du niveau de la mer. *Environmental and Resource Economics*. Volume 19(2), pp 113-129.
- Dribek, Abderraouf, et Louinord Voltaire. 2017.** Analyse d'évaluation contingente du consentement à payer pour le contrôle de l'érosion des plages par la technique du stabiplage : Une étude à Djerba (Tunisie). *Politique maritime*. Volume 86, pp 17-23.

- El Mrini A. 2011.** Évolution morphodynamique et impact des aménagements sur le littoral Tétounais entre Ras Mazari et Fnideq (Maroc nordoccidental). Thèse de 3ème cycle, Univ. Abdelmalek Essadi (Maroc) & Univ. de Nantes (France).
- El-Raey, Mohamed. 2010.** Impacts et implications du changement climatique pour les zones côtières de l'Égypte. *Zones côtières et changement climatique*. Pp 31-49.
- Enríquez, Alejandra R., et Angel Bujosa Bestard. 2020.** Mesurer l'impact économique des changements environnementaux induits par le climat sur le tourisme balnéaire. *Climatic Change*. pp 1-15.
- Flayou, Latifa, Maria Snoussi, Raji Otmane et Otmane Khalfaoui. 2017.** Évaluation des coûts économiques de l'érosion des plages liés à la perte dans l'industrie touristique : Le cas de la côte de Tétouan (Maroc). In : Conférence euro-méditerranéenne pour l'intégration environnementale, pp. 1633-1636. Springer, Cham.
- Fraser, Rob, et Geoff Spencer. 1998.** The value of an ocean view: an example of hedonic property amenity valuation. *Études géographiques australiennes*. Volume 36(1), pp 94-98.
- Ghermandi, Andrea, et Paulo ALD Nunes. 2013.** Une carte mondiale des valeurs récréatives côtières : Résultats d'une méta-analyse spatialement explicite. *Économie écologique*. Volume 86, pp 1-15.
- Gray, John S. 1997.** Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodiversité et conservation*. Volume 6(1), pp 153-175.
- Hamilton, Jacqueline M. 2007.** Coastal landscape and the hedonic price of accommodation. *Ecological Economics*. Volume 62(3-4), pp 594-602.
- Hayes, Miles O., et Duncan M. Fitzgerald. 2013.** Origine, évolution et classification des bras de mer à marée. *Journal of Coastal Research*. Volume 69, pp 14-33.
- Hoggart, S. P. G., M. E. Hanley, Dennis J. Parker, D. J. Simmonds, D. T. Bilton, M. Filipova-Marinova, E. L. Franklin, I. Kotsev, E.C. Penning-Rowsell, S.D. Rundle, E. Trifonova, S. Vergiev, A.C. Whie et R.C. Thompson. 2014.** Les conséquences de ne rien faire : les effets de l'inondation par l'eau de mer sur les zones côtières. *Ingénierie côtière*. Volume 87, pp 169-182.
- Huang J, Parsons GR, Poor PJ, Zhao MQ. 2011.** Combined conjoint-travel cost demand model for measuring the impact of erosion and erosion control programs on beach recreation. In : *Preference Data for Environmental Valuation : Combining Revealed and Stated Approaches*, ed. T Haab, J Huang, J Whitehead, pp. 115-38. New York : Routledge.
- Jeffrey, H. et Bleasdale, S. 2017.** Tunisie : Le tourisme de masse en crise ? In : *Le tourisme de masse dans un petit monde*. CAB International, pp 191-199.
- Kasmi, Siham, Maria Snoussi, Otmane Khalfaoui, Rajaa Aitali et Latifa Flayou. 2020.** Pressions croissantes, érosion des plages et changement climatique au Maroc. *Journal of African Earth Sciences*. Volume 164, pp 103796.
- Laffoley, Dan, et Gabriel D. Grimsditch. 2009.** La gestion des puits de carbone naturels côtiers. UICN, Gland.
- Landry, Craig E., Andrew G. Keeler, et Warren Kriesel. 2003.** Une évaluation économique des alternatives de gestion de l'érosion des plages. *Marine Resource Economics*. Volume 18(2), pp 105-127.
- Landry, Craig E., et Haiyong Liu. 2009.** A semi-parametric estimator for revealed and stated preference data-An application to recreational beach visitation. *Journal of Environmental Economics and Management*. Volume 57(2), pp 205-218.
- Landry, Craig E., et Haiyong Liu. 2011.** Modèles économétriques pour l'estimation conjointe de modèles de demande de loisirs à fréquence de site à préférences révélées et déclarées. In : *Preference Data for Environmental Valuation : Combining Revealed and Stated Approaches*, ed. T Haab, J Huang, J Whitehead, pp. 115-38. New York : Routledge.
- Luijendijk, Arjen, Gerben Hagenaars, Roshanka Ranasinghe, Fedor Baart, Gennadii Donchyts et Stefan Aarninkhof. 2018.** L'état des plages du monde. *Rapports scientifiques*. Volume 8(1), pp 1-11.
- Martínez, Maria Luiza, A. Intralawan, G. Vázquez, O. Pérez-Maqueo, P. Sutton et R. Landgrave. 2007.** Les côtes de notre monde : Ecological, economic and social importance. *Économie écologique*. Volume 63(2-3), pp 254-272.
- Marzougui, Wissem, et Ameur Oueslati. 2017.** Les plages de la côte d'Ejjehmi-Soliman (golfe de Tunis, Tunisie) : exemple d'accélération de l'érosion marine dans une cellule sédimentaire artificiellement tronquée. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*. Volume 11, pp 21-41.

- Maul George A., et Iver W. Duedall. 2019.** Démographie des populations côtières. In : Encyclopédie des sciences côtières 2e édition, pp 692-699. Cham : Springer.
- Mentaschi, Lorenzo, Michalis I. Vousdoukas, Jean-Francois Pekel, Evangelos Voukouvalas, et Luc Feyen. 2018** Observations globales à long terme de l'érosion et de l'accrétion côtières. Rapports scientifiques. Volume 8(1), pp 1-11.
- Nader, Manal. 2015. Présentation : Coastal zone management in Lebanon.** [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/uob\\_coastal\\_zone\\_management\\_in\\_lebanon\\_2015.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/uob_coastal_zone_management_in_lebanon_2015.pdf), consulté le 18 janvier 2021.
- Nicholls, RJ, Wong, PP, Burkett, VR, Codignotto, J, Hay, J, McLean, R, Ragoonaden, S, et Woodroffe, CD. 2007.** Systèmes côtiers et zones de basse altitude. In : Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability. Contribution du groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press. pp 315-356.
- CNO. 2020.** Utilisation de la détection du littoral par satellite optique pour mesurer les changements historiques et prévoir les changements futurs du littoral sableux en Afrique du Nord. Centre océanographique national, rapport technique.
- OCDE-FAO. 2018.** Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord : Perspectives et défis. In : Perspectives agricoles de l'OCDE-FAO 2018-2027. Organisation de coopération et de développement économiques / Organisation pour l'alimentation et l'agriculture.
- Oueslati, Ameer, Omar Labidi et Tharouet Elamri. 2015.** Atlas de la vulnérabilité du littoral tunisien à l'élévation du niveau marin. Programme des Nations unies pour le développement.
- Pardo-Pascual, Josep E., Elena Sánchez-García, Jaime Almonacid-Caballer, Jesús M. Palomar-Vázquez, Enrique Priego De Los Santos, Alfonso Fernández-Sarría et Ángel Balaguer-Beser. 2018.** Évaluation de la précision des lignes de rivage extraites automatiquement sur les plages microtidales à partir d'images Landsat 7, Landsat 8 et Sentinel-2. Télédétection. Volume 10(2), 326.
- Parsons, George R., et D. Matthew Massey. 2003.** A random utility model of beach recreation. The new economics of outdoor recreation. pp 241-267.
- Parsons, George R., Zhe Chen, Michael K. Hidrue, Naomi Standing et Jonathan Lilley. 2013.** Valorisation de la largeur des plages pour un usage récréatif : combinaison de données de préférences révélées et déclarées. Économie des ressources marines. Volume 28(3), pp 221-241.
- Pendleton, Linwood, Craig Mohn, Ryan K. Vaughn, Philip King et James G. Zoulas. 2012.** Size matters : la valeur économique de l'érosion et du rechargement des plages en Californie du Sud. Politique économique contemporaine. Volume 30(2), pp 223-237.
- Pompe, Jeffrey J., et James R. Rinehart. 1995.** Beach quality and the enhancement of recreational property values. Journal of Leisure Research. Volume 27(2), pp 143-154.
- Raybould, Mike, David Anning, Dan Ware et Neil Lazarow. 2013.** Tourisme et loisirs de plage et de surf en Australie : Vulnérabilité et adaptation. Gold coast: Bond University.
- Rigall-I-Torrent, Ricard, Modest Fluvià, Ramon Ballester, Albert Saló, Eduard Ariza et Josep-Maria Espinet. 2011.** Les effets des caractéristiques de la plage et de la localisation par rapport aux prix des hôtels. Gestion du tourisme. Volume 32(5), pp 1150-1158.
- Rinehart, James R., et Jeffrey J. Pompe. 1994.** Ajustement de la valeur marchande des propriétés côtières en fonction de la qualité de la plage. The Appraisal Journal. Volume 62(4), pp 604-608.
- Sahr, Kevin, Denis White, et A. Jon Kimerling. 2003.** Geodesic discrete global grid systems. Cartographie et science de l'information géographique. Volume 30(2), pp 121-134.
- Saïdi, Hanen, Radhia Souissi, et Fouad Zargouni. 2012.** Impact environnemental des brise-lames détachés sur le littoral méditerranéen de Soliman (Nord-Est de la Tunisie). Rendiconti Lincei. Volume 23(4), pp 339-347.
- Schäfer, Katja. 2013.** Urbanisation et risques urbains dans la région arabe. Présentation à : Première conférence de la région arabe pour la réduction des risques de catastrophe. Nations Unies Habitat.
- Schuhmann, Peter W., Brittany E. Bass, James F. Casey et David A. Gill. 2016.** Préférences des visiteurs et volonté de payer pour les attributs côtiers à la Barbade. Gestion des océans et des côtes. Volume 134, pp 240-250.
- Scott, Daniel, Murray Charles Simpson, et Ryan Sim. 2012.** La vulnérabilité du tourisme côtier des Caraïbes aux scénarios d'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique. Journal du tourisme durable. Volume 20(6), pp 883-898.



**Sharaan, Mahmoud, Chatuphorn Somphog et Keiko Udo. 2020.** Impact of SLR on Beach-Tourism Resort Revenue at Sahl Hasheesh and Makadi Bay, Red Sea, Egypt ; A Hedonic Pricing Approach. *Journal of Marine Science and Engineering*. Volume 8(6), pp 1-13.

**Sieghart, Lia Carol, Joseph Allen Mizener, et Jeff Gibson. 2019.** Saisir les opportunités pour la gestion intégrée des zones côtières et l'économie bleue dans la région MENA. *Connaissance et apprentissage de la région MENA : Série de notes rapides*. Numéro 172. Banque mondiale.

**Small, Christopher, et Robert J. Nicholls. 2003.** Une analyse globale de l'implantation humaine dans les zones côtières. *Journal of coastal research*. Volume 19(3), pp 584-599.

**Snoussi, Maria, Otmame Khalfaoui, Latifa Flayou, Siham Kasmî et Otmame Raji. 2017.** La GIZC peut-elle aider à la résilience des plages en voie de disparition face au changement climatique ? In : *Conférence euro-méditerranéenne pour l'intégration environnementale*. pp. 29-30. Springer, Cham.

**Snoussi, Maria, Tachfine Ouchani, Abdou Khouakhi, et Isabelle Niang-Diop. 2009.** Impacts de l'élévation du niveau de la mer sur la zone côtière marocaine : quantification de l'érosion côtière et des inondations dans la baie de Tanger. *Géomorphologie*. Volume 107(1-2), pp 32-40.

**Snoussi, Maria, Tachfine Ouchani, et Saïda Niazi. 2008.** Évaluation de la vulnérabilité de l'impact de l'élévation du niveau de la mer et des inondations sur la côte marocaine : le cas de la zone orientale de la Méditerranée. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volume 77(2), pp 206-213.

**Sytnik, Oxana, Laura Del Rfo, Nicolas Greggio et Jarbas Bonetti. 2018.** Analyse des tendances historiques du littoral et des moteurs du changement côtier le long de la côte de Ravenne, NE Adriatique. *Sciences de la terre environnementales*. Volume 77(23), pp 1-20.

**Tarui, Nori, Marcus Peng et Dolan Eversole. 2018.** Analyse de l'impact économique de l'érosion potentielle de la plage de Waikiki. Programme collégial Sea Grant de l'université d'Hawai'i. Honolulu : Université d'Hawai i à Mānoa.

**Trakadas, Athena. 2020.** Facteurs naturels et anthropiques impactant le patrimoine archéologique côtier du nord du Maroc : Une évaluation préliminaire. *Le journal de l'archéologie insulaire et côtière*. 1-32.

**Uyarra, Maria C., Isabelle M. Cote, Jennifer A. Gill, Rob RT Tinch, David Viner, et Andrew R. Watkinson. 2005.** Island-specific preferences of tourists for environmental features : implications of climate change for tourism-dependent states. *Environmental conservation*. Volume 32(1), pp 11-19.

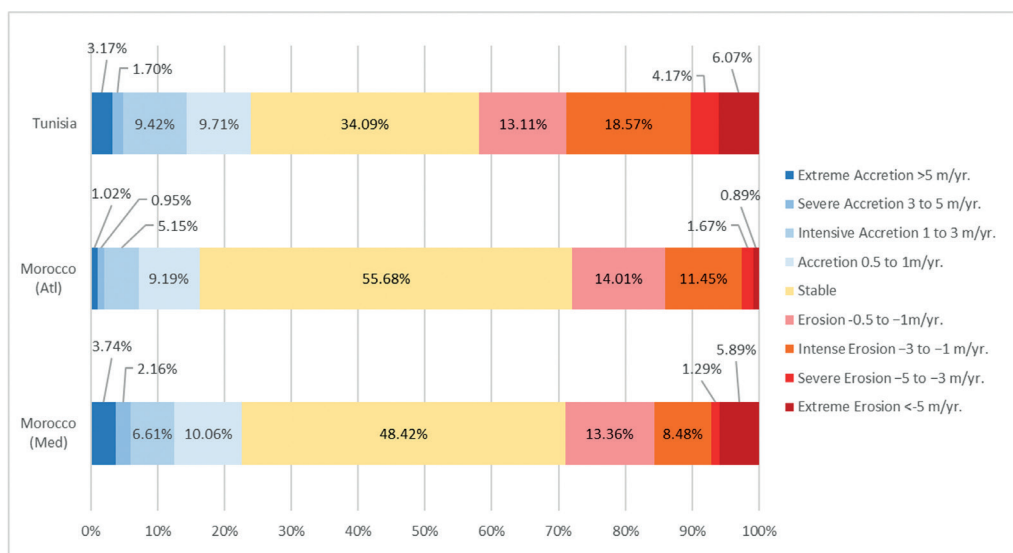
**Widz, Monika, et Teresa Brzezińska-Wójcik. 2020.** Évaluation du risque de phénomène de surtourisme en Tunisie en relation avec le concept de cycle de vie de la zone touristique. *Durabilité*. Volume 12(5), pp 1-13.

**Whitehead, John C., Christopher F. Dumas, Jim Herstine, Jeffery Hill et Bob Buerger. 2008.** Valorisation de l'accès et de la largeur des plages avec des données de préférences révélées et déclarées. *Marine Resource Economics*. Volume 23(2), pp 119-135.

**Whitehead, John C., Daniel J. Phaneuf, Christopher F. Dumas, Jim Herstine, Jeffery Hill et Bob Buerger. 2010.** Convergent validity of revealed and stated recreation behavior with quality change : a comparison of multiple and single site demands. *Environmental and Resource Economics*. Volume 45(1), pp 91-112.

## Annexe

Figure A1 : Modifications du littoral en Tunisie et au Maroc selon Luijendijk et al (2018)



Source : Les auteurs se basent sur Luijendijk (2018).

