

## 6.1 Modification du littoral

**Coordination :** Philippe Bonneton

**Rédacteurs :** Stéphane Abadie, Philippe Bonneton, Bruno Castelle, Jean Favennec, Cyril Mallet, Aldo Sottolichio

**Contributeurs :** Vincent Hanquiez, François Hissel, Vanessya Laborie, Philippe Maron, Jean-Pierre Tastet

*Les 270 km du littoral aquitain présentent une grande diversité d'entités géomorphologiques, ayant une forte valeur patrimoniale. Cet environnement, modelé par l'action de marées et de houles intenses, est sujet à de forts aléas naturels, tels que l'érosion et la submersion marine. Or ce milieu est soumis à une pression démographique et une urbanisation croissante. Il est donc essentiel d'avoir une bonne connaissance des aléas littoraux aquitains afin d'en limiter les risques, en particulier dans le cadre du changement climatique. Nous présentons dans cette section le fonctionnement des littoraux sableux et rocheux aquitains, ainsi que les aléas d'érosion et de submersion auxquels ils sont actuellement soumis. Nous analysons ensuite l'impact potentiel de l'élévation du niveau marin et des modifications du climat de houle en Aquitaine, liées au changement climatique, sur les aléas érosion et submersion.*

### Introduction

Le littoral aquitain est caractérisé par une longue façade maritime orientée approximativement nord/sud qui s'étend de l'embouchure de la Gironde à celle de la Bidassoa sur près de 270 km (**Figure 1**). La côte aquitaine est caractérisée par différentes entités géomorphologiques. La plus au nord est l'estuaire de la Gironde, le plus vaste estuaire d'Europe occidentale. Plus au sud, de la Pointe de Grave en Gironde à la Pointe Saint-Martin dans le département des Pyrénées Atlantiques, un long système de plages et dunes sableuses s'étend sur 230 km. Cet environnement est interrompu principalement par le bassin d'Arcachon, le Gouf de Capbreton et l'estuaire de l'Adour. Au sud de l'Aquitaine, les falaises rocheuses de la Côte Basque alternent avec des plages sableuses de poche sur un linéaire de 40 km jusqu'à la frontière espagnole. La côte aquitaine est donc caractérisée par une grande diversité d'entités géomorphologiques et d'écosystèmes associés.

Une caractéristique commune à l'ensemble du littoral aquitain est sa forte variabilité induite par des forçages hydrodynamiques (houle et marée) très intenses. De ce fait ce littoral est sujet à de forts aléas naturels tels que l'érosion et la submersion marine (**Figure 1**). L'érosion concerne aussi bien les côtes sableuses (ex. : Nord Médoc, **Figure 1**) que les falaises du Pays Basque (**Figure 1**), alors que la submersion marine affecte les zones basses estuariennes et lagunaires (ex. : tempêtes Klaus, 2009 et Xynthia, 2010). Ces phénomènes ont des conséquences sociales et économiques de plus en plus importantes, car les espaces littoraux subissent une pression démographique et une urbanisation croissantes liées principalement au développement de l'économie des loisirs et du tourisme.

Dans ce contexte, il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des aléas et de la vulnérabilité du littoral aquitain pour pouvoir prévoir et limiter les risques liés aux phénomènes d'érosion et de submersion. Ces enjeux sont renforcés par la problématique du changement climatique et l'évolution des forçages côtiers (**Tableau 1**). En effet, le changement climatique induisant une élévation du niveau moyen de la mer, mais aussi un changement des climats de houle et des caractéristiques des tempêtes, devrait modifier les risques d'érosion et de submersion.



1



2



3



4

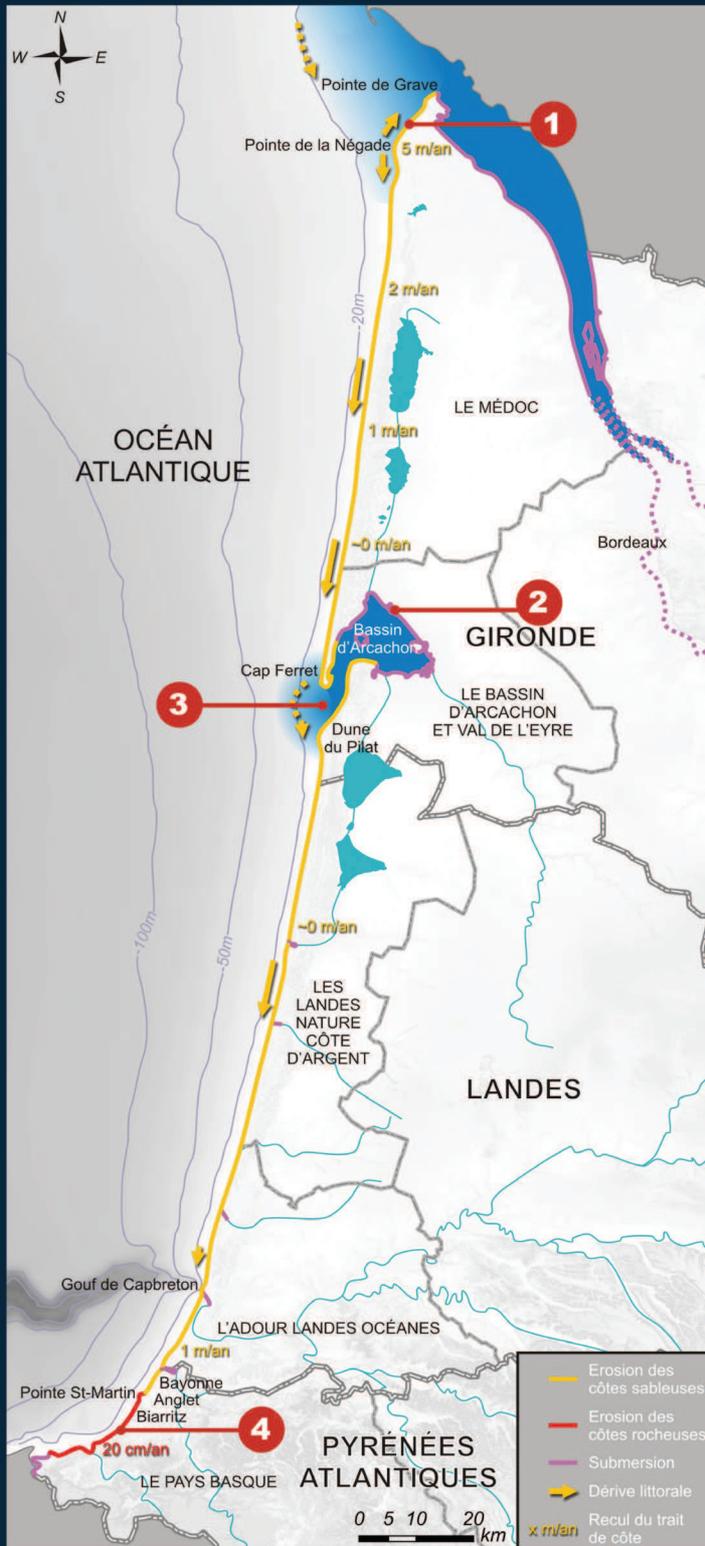


Figure 1 : Littoral aquitain et alsés.

Variable climatique	Importance	Observations (tendances)	Observations (variabilité)	Projections
Niveau marin moyen	Il s'agit d'une variable climatique qui a en général pour effet d'aggraver les aléas de submersion, d'érosion et d'intrusions salines dans les aquifères sur le long terme	Le niveau marin s'élève dans le golfe de Gascogne. Les mesures indiquent des tendances proches de la moyenne globale (de l'ordre de 2mm/an)	La variabilité du niveau marin est liée en premier lieu aux variations de température et de salinité des océans [1]	Chust et al. [2] prédisent des élévations de niveau marin de l'ordre de 0,28 à 0,48m de 2001 à 2100 mais ces évaluations ne prennent pas en compte les incertitudes
Vagues	La direction et la hauteur des vagues sont des paramètres importants pour les aléas de submersion et d'érosion marine	L'augmentation des hauteurs de vagues [3][4] n'a pas été confirmée par la régionalisation de Charles et al. [5][6]	La variabilité des vagues s'explique partiellement par des variables atmosphériques à l'échelle du bassin Atlantique Nord [7][4][5][6]	Baisse de l'énergie des vagues et décalage vers le nord de leur direction en été [5][6]
Surcotes marines	Les surcotes sont un paramètre important pour la submersion marine	Pas d'étude de tendance connue pour la côte Aquitaine	Pas d'étude de variabilité pluriannuelle connue pour l'Aquitaine	Pas d'étude de projection connue pour l'Aquitaine
Vent	Le vent agit sur le transport éolien, principalement lors des tempêtes [8]			Pas d'évidence de changement des régimes de tempêtes [9]
Précipitations	Variable climatique agissant sur l'érosion des sols et donc les apports sédimentaires. Ceci est cependant extrêmement délicat à quantifier			voir Déqué, 2007 [10]

**Tableau 1** : Synthèse des effets du changement climatique sur les principaux forçages contrôlant la dynamique du littoral (d'après Le Cozannet et al. [11]).

Les recherches en France concernant l'impact du changement climatique sur l'évolution du milieu littoral se sont développées depuis 10 ans, en particulier dans le cadre des programmes ANR portant sur la vulnérabilité des milieux et le changement global. On peut citer par exemple le projet ANR MISEEVA qui a étudié la vulnérabilité du système côtier à la submersion marine dans le contexte du changement global, avec des applications centrées sur le Languedoc Roussillon. Le projet ANR VULSACO a permis d'avancer dans la compréhension de la vulnérabilité des plages sableuses françaises, avec une des applications concernant la Gironde. Les enjeux aquitains concernés par l'érosion marine et la submersion sont de plusieurs ordres : humains, économiques, sociétaux, environnementaux et patrimoniaux. Au niveau de la région Aquitaine, cette thématique est au cœur des préoccupations des chercheurs du RRLA (Réseau de Recherche Littorale Aquitain) en interaction avec les objectifs plus appliqués de l'Observatoire de la Côte Aquitaine et du GIP littoral Aquitain. Ces derniers acteurs ont ainsi caractérisé l'aléa érosion côtière (y compris les mouvements de terrain) aux horizons 2020 et 2040 dans le cadre de la mise en place de la stratégie régionale de gestion de la bande côtière, sans toutefois prendre en compte explicitement l'impact du changement climatique.

Dans ce chapitre nous analysons l'impact potentiel des changements climatiques sur les différentes entités du littoral aquitain : côtes sableuses, côtes rocheuses, systèmes lagunaires et estuariens. Au préalable il est nécessaire d'introduire le fonctionnement actuel de ces entités.

## I- Fonctionnement des principales entités du littoral aquitain et aléas

### Côte sableuse

#### Évolution globale

Le littoral sableux aquitain s'est formé à la fin de la transgression post-glaciaire, il y a environ 6000 ans, lorsque le niveau marin s'est stabilisé à son niveau actuel (cf. chapitre 2). Lors de cette remontée, l'océan a entraîné de grandes quantités de sédiments détritiques qui s'étaient accumulées sur la plate-forme continentale pendant la période glaciaire. Cette abondance sédimentaire a conduit à la formation des plages et systèmes dunaires que nous connaissons aujourd'hui en Aquitaine [10]. Après une période de quasi-stabilité du littoral sableux, lié à un budget équilibré entre les flux sédimentaires océaniques,

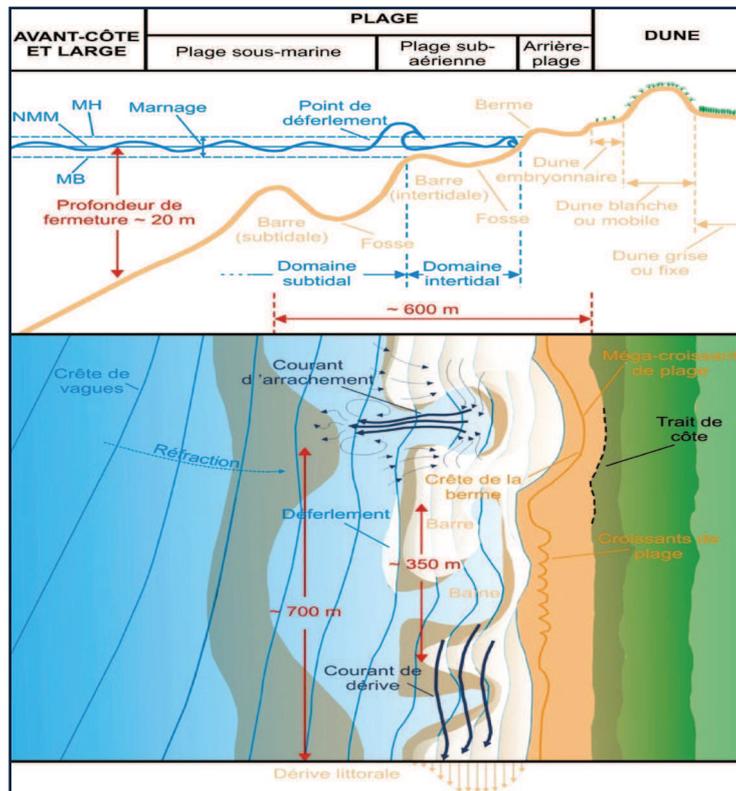
fluviaux et terrestres, commence une période de restriction des apports sédimentaires. Celle-ci s'explique en grande partie par la diminution sur le plateau du stock sableux (transporté par les vagues jusqu'au rivage), et qui actuellement peut se limiter en certains endroits à de simples placages sableux [13]. Cette pénurie de sable se traduit par une érosion globale du littoral depuis au moins deux siècles et peut être – au moins sur certaines sections du littoral – depuis que la mer a atteint son niveau actuel [14]. Cette évolution naturelle a été renforcée par l'action de l'Homme telle que l'extraction de granulats marins ou fluviaux. Le système de plages et dunes sableuses de la côte aquitaine est actuellement globalement en érosion (recul de 1 à 3 m/an ; **Figure 1**) avec une assez forte variabilité spatiale et des vitesses de recul pouvant localement atteindre 6 m/an [15]. L'anthropisation de cet environnement ne devient significative vers le sud qu'à partir de Capbreton, et de manière très prononcée le long du littoral basque.

Si l'évolution du niveau marin et le transport des sédiments par le vent ont joué un rôle majeur dans l'évolution de notre littoral depuis la dernière glaciation, ce ne sont plus actuellement les facteurs majeurs contrôlant l'évolution du trait de côte. Par exemple l'élévation du niveau marin de 2 mm/an en Aquitaine n'explique que seulement 5 % du recul observé sur le littoral (estimation METHYS/EPOC, résultats non publiés). Le budget sédimentaire de cet environnement est principalement contrôlé par l'hydrodynamique littorale et plus particulièrement par l'action des vagues et des courants qu'elles induisent, et la disponibilité de stocks sédimentaires. Excepté au niveau des embouchures estuariennes (Gironde et Adour) et lagunaires (bassin d'Arcachon) les courants de marée sont de faibles intensités (<10 cm/s) et contribuent peu au transport sédimentaire. Le principal phénomène contrôlant les flux sédimentaires sur notre littoral est donc le courant parallèle à la côte, dénommé courant de dérive, généré par les vagues lorsqu'elles déferlent avec un angle d'incidence par rapport au rivage. Ce courant transporte de grandes quantités de sable le long du littoral, qu'on appelle dérive littorale. Sur nos côtes, les houles de directions dominantes ouest/nord-ouest vont générer un courant de dérive et une dérive littorale résultante orientée vers le sud pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> par an. Les variations spatiales de ces flux sédimentaires (**Figure 1**) vont déterminer les taux d'érosion ou d'engraissement des plages. Au nord, à la Pointe de la Négade, le changement d'orientation de la côte induit une divergence de la dérive littorale et donc une forte érosion de cette zone (le taux d'érosion peut localement atteindre 5 m/an d'après Aubié *et al.* [16]). De l'Anse du Gulp (située au sud de la Pointe de la Négade) jusqu'à la Pointe du Cap-Ferret, on observe une évolution du trait de côte passant progressivement d'un fort recul de 2 m/an au nord, à une quasi-stabilité au sud. Ceci s'explique par une forte augmentation de la dérive littorale au sud de l'Anse du Gulp puis à une quasi-constance à l'approche du Cap-Ferret. Les plages sableuses sont interrompues par l'embouchure du bassin d'Arcachon. Si à long terme le transport sédimentaire vers le sud induit par les vagues n'est pas interrompu, en revanche les mécanismes sédimentaires dans cet environnement mixte (houle et marée) sont beaucoup plus compliqués. Le transport sédimentaire se réalise en partie par la lente migration de structures morphologiques (bancs sableux, dunes hydrauliques...) du nord vers le sud de l'embouchure, puis vers les plages adjacentes. Au sud de Biscarrosse jusqu'à Capbreton, on observe un trait de côte proche de l'équilibre avec peu de zones en érosion. La dérive littorale moyenne annuelle est orientée vers le sud jusqu'à environ 2 km au nord du Gouf de Capbreton. Du Sud de Capbreton à Anglet, le sens de la dérive fluctue d'un point à un autre car la direction moyenne des houles est frontale. Le Gouf de Capbreton induit une circulation particulière. En effet, à l'approche du Gouf, les houles faiblement ou modérément énergétiques sont réfractées, conduisant à une forte diminution de la dérive littorale au nord du Gouf. Cette convergence des flux sédimentaires entraîne un engraissement des plages au nord du Gouf. Cependant lors de conditions énergétiques (hauteur significative des vagues supérieure à 2-3 m) la dérive littorale peut à nouveau s'orienter vers le sud, et de grandes quantités de sable finissent leur route en tête de canyon.

#### *Dynamique sédimentaire des plages aquitaines*

La géomorphologie des plages sableuses aquitaines, synthétisée en **Figure 2**, est caractérisée par un système dunaire [8][17], et deux systèmes de barres sableuses. Le premier, appelé système barre/baïne,

est observé en zone d'estran avec une rythmicité longitudinale d'environ 350 m et une migration dans le sens de la dérive littorale [18][19]. Le deuxième système, en zone subtidale, a une forme plus ou moins prononcée en croissant avec une rythmicité d'environ 700 m [20][21], et une migration dans le même sens mais plus lente que celle du système barre/baine [22].



**Figure 2** : Morphologie des plages aquitaines et principaux processus hydrodynamiques. MH : marée haute, MB : marée basse, NMM : niveau moyen de la marée.

Les échanges sédimentaires transversaux (perpendiculaires au littoral) jouent un rôle important sur la dynamique de la plage à des échelles de temps inférieures à la décennie. Pendant les épisodes de tempête il y a une prédominance des flux sédimentaires vers le large, qui sont induits par le courant de retour (courant qui vient compenser l'apport de masse des vagues vers la plage). On observe alors une migration rapide (10 m/jour) des barres vers le large et une érosion du haut de plage. Pendant les épisodes de temps calme, il y a une prédominance des flux sédimentaires vers le bord induits par les vagues en eau peu profonde. On observe une migration lente (1 m/jour) des barres vers la côte et une lente reconstruction de la plage, en particulier matérialisée par la formation d'une berme. Ainsi on observe sur le littoral aquitain un quasi-équilibre dynamique du volume de la plage aérienne avec des cycles d'érosion/accréation à l'échelle des tempêtes [21], à l'échelle saisonnière (en réponse à la forte modulation saisonnière de l'énergie des vagues [19][23]) mais aussi aux cycles de la NAO sur plusieurs années [23]. Cette variabilité de la réponse du trait de côte à des indices climatiques a déjà été documentée sur d'autres sites dans le monde [24][25].

On observe une très forte interdépendance entre les barres sableuses, le haut de plage et la dune. En effet, les plages alimentent les dunes par transit éolien et les dunes réalimentent les plages lors des épisodes d'érosion. Les données sur le littoral aquitain manquent cruellement pour quantifier ces rétroactions. Les barres sédimentaires protègent également la plage en dissipant l'énergie des vagues de tempête au large par déferlement bathymétrique, réduisant ainsi considérablement à la fois l'intensité des processus hydro-sédimentaires en zone de jet de rive et le risque de submersion. *Castelle et al.* [26] ont ainsi montré que la dégénérescence d'une barre sédimentaire suite à un événement extrême avait conduit à une érosion exceptionnelle de la plage pendant plusieurs mois après celle-ci, puisque la barre n'était plus présente et ne protégeait plus la plage. Ceci a de fortes implications quant à l'impact potentiel d'un changement de la

fréquence et de l'intensité des événements extrêmes dans le cadre du changement climatique. Ainsi, il est important de noter que les barres sableuses et le système dunaire sont des éléments « tampon » essentiels à la bonne santé des plages sableuses aquitaines.

### *Submersion*

Sur les plages sableuses d'Aquitaine, caractérisées par la présence constante d'un système plage et dune, il n'y a risque de submersion que lorsque sont réunies les deux conditions suivantes : un cordon de dune littorale bas et étroit, et une zone d'arrière-dune de faible altitude. Sur la majeure partie de la façade sableuse d'Aquitaine, entre le Médoc et l'Adour, ces conditions ne sont pas réunies. En effet le système des dunes littorales y présente la succession suivante : plage, dune bordière de 10 à 25 mètres de haut, arrière-dunes et lettes de 5 à 15 m d'altitude et dunes modernes de 10 à 70 m. Ainsi, la façade sableuse d'Aquitaine est faiblement soumise au risque de submersion ; cependant une analyse plus fine doit être réalisée pour tenir compte de situations particulières : les zones basses qui bordent le bassin d'Arcachon, les estuaires de la Gironde et de l'Adour et les embouchures des courants et exutoires landais : Mimizan, Contis, Vieux Boucau, Huchet, et Capbreton (**Figure 1**). Pour ces zones des Landes, le risque de submersion a donné lieu à une étude du Centre d'Études Techniques de l'Équipement pour la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Landes<sup>2</sup>, et elles font l'objet d'études particulières en 2013 dans le cadre de la mise en place des PPRL et TRI par l'État. Les zones à risque occupent principalement les rives basses de ces émissaires. D'autre part, quelques secteurs de faible extension présentent des zones basses à l'arrière de cordons faibles et/ou en forte érosion, c'est notamment le cas du sud de Soulac (avec forts enjeux), et du secteur Capbreton/Labenne.

### *Côte rocheuse*

La côte rocheuse basque, longue de 40 km se situe au fond du golfe de Gascogne. Elle est limitée au nord par l'embouchure de l'Adour et au sud par l'embouchure de la Bidassoa. Le littoral au nord, entre l'Adour et la Pointe Saint-Martin est constitué de plages sableuses de 4 à 5 kilomètres correspondant à la terminaison méridionale du système de dunes landais. Les falaises de la côte basque dominent des plages de fond de baie, c'est-à-dire situées entre deux caps rocheux. La hauteur de ces falaises varie entre 10 m et 70 m et leur pente est comprise entre 10° et 90°. Jusqu'à la Pointe Sainte-Barbe (Saint-Jean-de-Luz), de petites criques découpent les falaises sub-verticales, atteignant jusqu'à 40 m de hauteur. Plus au sud, les falaises sont interrompues par la baie de Saint-Jean-de-Luz. De Socoa à la baie de Loya, les falaises constituent la Corniche Basque, avec des hauteurs variant entre 20 et 40 m.

Il est délicat de définir une direction générale de la dérive littorale sur la côte basque, les houles dominantes de nord-ouest étant orientées perpendiculairement à la côte. Chaque plage est donc soumise à des conditions de circulations sédimentaires particulières dépendant de la configuration géomorphologique (baie, plage frangeante, platier rocheux, etc.) et des conditions de houles, de marée et de tempête. De manière générale, les transports sédimentaires (sables, graviers surtout) sont préférentiellement cross-shore (transverses) et chaque plage de poche peut être considérée comme étant une cellule sédimentaire fermée vis-à-vis des plages ou baies adjacentes en conditions d'énergie moyenne.

L'aléa érosion côtière se caractérise sur la côte basque par des mouvements de terrain localisés affectant les falaises rocheuses [27]. Les plages situées entre deux pointes rocheuses et non dominées par des falaises (Grande Plage de Biarritz, baies de Saint-Jean-de-Luz et Hendaye) sont soumises à l'aléa érosion de plage et/ou submersion marine.

---

2. <http://www.land.es.equipement-agriculture.gouv.fr/littoral-r183.html>

Les falaises résultent des processus d'érosion littorale (mouvements de terrain et érosion marine). Au contact des formations géologiques, l'océan façonne une côte sous forme d'une falaise associée à une plate-forme d'abrasion. Cette action marine s'exprime de différentes manières, selon qu'il s'agit de formations dures ou de formations meubles. Dans les formations meubles, elle entraîne principalement des coulées boueuses et la purge des matériaux glissés en falaise. Dans les formations compétentes (dures), elle provoque des phénomènes de dissolution et d'abrasion produisant des cavités et des sous-cavages en pied de falaise. La dynamique marine locale a également une action de déblaiement du pied de falaise, empêchant la formation d'un profil d'équilibre. L'eau douce continentale joue également un rôle important dans les processus d'instabilité de la côte rocheuse aquitaine. Sur le long terme (milliers d'années) elle intervient en effet dans l'altération des matériaux offrant des formations géologiques meubles altérées sur un grand linéaire de côte (« altérites »). Et de manière combinée, l'eau douce est un facteur déclencheur de mouvements de terrain ainsi qu'un agent de transport des matériaux érodés. L'érosion de la côte rocheuse est donc à la fois d'origine marine et continentale.

En moyenne, la côte rocheuse aquitaine recule de 20 cm/an [16]. La vitesse de recul moyenne mesurée sur plusieurs décennies peut localement atteindre plus de 50 cm/an, par exemple dans les fonds de baies souvent constituées de formations meubles (sables ou roches altérées), comme celle d'Erromardie. Le linéaire concerné par une érosion supérieure ou égale à 20 cm/an représente environ 15 % de la côte rocheuse aquitaine. Sur certains secteurs, un événement peut se produire approximativement tous les 10 ans. Le linéaire concerné par un aléa faible représente 45 % (16 km sur un total de 36 km), 42 % (15 km) pour un aléa moyen et 13 % (5 km) pour un aléa fort.

## II- Impact potentiel des changements climatiques sur le littoral aquitain

### *Erosion*

#### *Côte sableuse*

Si on considère uniquement une lente augmentation du niveau moyen des mers, on peut alors estimer le recul du trait de côte le long des plages sableuses par la loi de Bruun (1962)[28]. En considérant une augmentation du niveau moyen de 0,5 m à l'horizon 2100 et en s'appuyant sur les caractéristiques morphologiques du système plage/dune aquitain, cette loi prédit un recul du trait de côte de seulement 15 m. Toutefois les conditions d'application de cette loi sont limitées et il est généralement admis qu'elle ne représente pas correctement les processus de transfert sédimentaires cross-shore [29]. Par ailleurs, elle ne prend pas en compte les gradients de dérive littorale qui sont souvent le moteur principal de l'évolution du trait de côte sur de grandes échelles spatio-temporelles. À titre d'exemple, sur une section du littoral australien Cowell *et al.* [30] ont montré qu'un petit déficit de 1 % des apports de la dérive littorale a le même impact sur le trait de côte qu'une augmentation du niveau moyen des mers de 0,5 m.

Une approche plus pertinente consiste alors à faire l'hypothèse que le changement climatique va accélérer les tendances évolutives en cours. Les tendances érosives actuelles sur la côte sableuse aquitaine ont été définies en 2011 par l'Observatoire de la Côte Aquitaine dans le document « Caractérisation de l'aléa érosion (2020-2040) de la côte aquitaine dans le cadre de l'étude stratégique de gestion du trait de côte ». C'est l'une des bases sur laquelle s'est appuyé le GIP Littoral Aquitain pour établir la « Stratégie régionale de gestion de la bande côtière ». La méthode utilisée pour estimer les évolutions prévisionnelles s'appuie sur le prolongement des tendances passées (mesures du trait de côte *in-situ* et par photo-interprétation pour la période 1966/2009). Dans l'étude précitée, il a été choisi de ne pas ajouter de facteur d'impact du changement climatique, cependant cet impact se manifeste déjà dans la période de référence, il est donc partiellement pris en compte. La façade sableuse d'Aquitaine a été divisée en une série de tronçons homogènes quant à leur tendance évolutive passée, et pour chacun de ces tronçons ont



Figure 3 : Cartographie de l'aléa érosion côtière sur la côte sableuse aux horizons 2020 et 2040 (Aubié et al. [16]).

été déduits les traits de côte prévisible en 2020 et 2040. Cette projection linéaire des tendances passées comporte bien entendu un degré d'incertitude. Cette évaluation a permis de cartographier l'aléa érosion côtière pour l'ensemble de la côte sableuse aquitaine (**Figure 3**).

Un changement d'intensité de la dérive littorale dans le cadre du changement climatique affectera très certainement ces projections. D'après les projections du forçage des vagues (cf. chapitre 1), qui indiquent une baisse de l'énergie des vagues et un décalage de l'ordre de 5° de leur orientation, il n'est pas évident de conclure sur l'évolution future de la dérive littorale (un changement compensant l'autre). Une autre grande source d'incertitude concerne la disponibilité des stocks sableux sur le plateau ou encore sur les bancs au large de l'estuaire de la Gironde. Ces stocks, essentiels si on veut évaluer de façon fiable le budget sédimentaire du littoral aquitain, sont très mal connus.

Dans certains secteurs, la projection est encore plus incertaine, en particulier au voisinage des embouchures et des estuaires (Soulac, Biscarrosse, Cap-Ferret, Capbreton, Anglet) où le *bypass* de sédiment, même s'il existe, est fortement perturbé. En effet, les passes et bancs tidaux ont des propriétés cycliques. Les bancs peuvent parfois s'accoler au rivage induisant une accrétion massive, et parfois le positionnement des passes proches des littoraux adjacents induit une forte érosion des plages. On connaît assez bien la cyclicité des 2 principales passes du bassin d'Arcachon (environ 80 ans [31]), mais beaucoup moins celle des réseaux « secondaires » de chenaux ni ceux au large de l'estuaire de la Gironde.

#### *Côte rocheuse*

L'impact du réchauffement climatique sur l'érosion de la côte rocheuse aquitaine aurait probablement pour conséquences :

- Une plus grande disparition des sédiments des plages de poche, des plages frangeantes et des matériaux en pied de falaise qui contribuent à alimenter l'estran,
- Une augmentation de l'impact des vagues qui intensifierait l'action mécanique d'arrachement et de dégradation des falaises (sous-cavage notamment),
- Une mise en pression de l'eau continentale contenue dans les cavités karstiques (hypothèse de travail).

Des changements de direction de houle ou des tempêtes auraient des conséquences localisées à l'échelle de chaque plage ou baie qui ne sont pas connues à l'heure actuelle. L'augmentation des fréquences de tempêtes conduirait à une augmentation de la vulnérabilité des falaises et des plages.

L'augmentation des pluies pourrait favoriser le ruissellement, la fracturation (effet à court terme, l'eau étant un facteur déclencheur) et l'altération des roches (long terme). Cependant, les modifications éventuelles de ces forçages n'ont pas été étudiées.

De manière plus pragmatique, l'étude précitée d'Aubié *et al.* [16] cartographie le trait de côte de la façade rocheuse aquitaine aux horizons 2020 et 2040 par projection dans le futur des tendances d'évolution passées des instabilités des falaises, des baies et des plages sableuses. Aucune hypothèse relative au changement climatique spécifique n'est faite, cependant l'étude historique permet d'intégrer les tendances éventuellement en cours. Cette étude permet de caractériser les niveaux d'aléas mouvements de terrain et érosion (**Figure 4**).

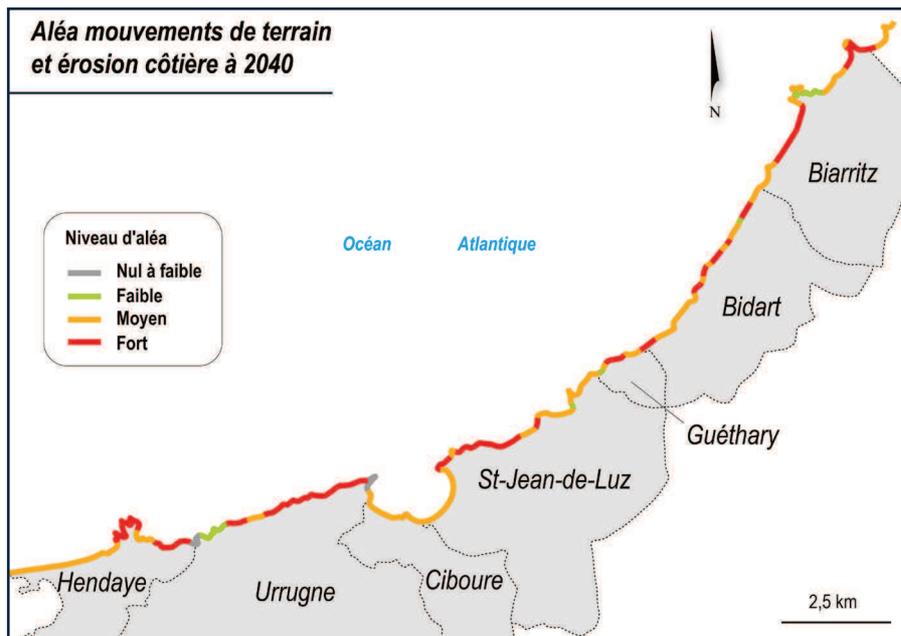


Figure 4 : Cartographie de l'aléa mouvements de terrain et érosion à échéance 2040 sur la côte rocheuse aquitaine (Aubié et al. [16]).

### Submersion

Pour les côtes rocheuses basques et les plages sableuses aquitaines l'impact direct des submersions marines est faible par rapport aux autres types d'aléas (mouvements de terrain et érosion). Par conséquent l'impact potentiel du changement climatique sur l'action de la submersion marine sur ces environnements est sans doute négligeable. En revanche, les zones basses estuariennes et lagunaires de la côte aquitaine sont concernées par les risques de submersions marines. Contrairement au littoral ouvert, ce sont des systèmes protégés de la houle océanique, mais soumis fortement à la marée et aux courants associés, ainsi qu'aux apports d'eaux douces par les fleuves.

#### Estuaire de la Gironde

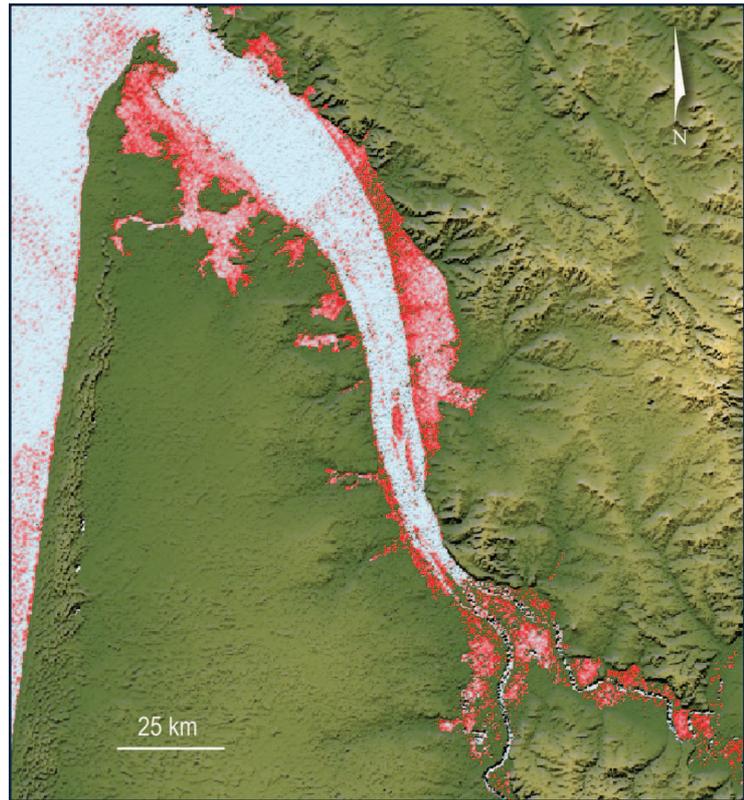
C'est un environnement qui accumule des sédiments fins et se comble sur le long terme (échelle du siècle et au-delà). Les marais estuariens sont d'anciennes baies, qui se sont comblées au cours des derniers 5 000 ans [32]. Ce sont des zones basses, donc très vulnérables à la submersion. Ces zones ont été progressivement protégées par des digues, qui représentent actuellement 130 km de linéaire (source EuroSION). Lors de la tempête de décembre 1999, la surcote liée à la dépression de 987 hPa et au vent de 130 km/h a été de 2 m environ, inondant une bonne partie des marais, notamment à l'est, à l'emplacement de la centrale Nucléaire du Blayais. Des digues ont cédé, comme dans le marais de Mortagne, en aval de l'estuaire. L'aléa érosion existe donc, mais il est moins bien quantifié dans la littérature scientifique, et semble beaucoup plus faible que sur le littoral ouvert. Lors des ruptures de digues, comme dans le marais de Mortagne en 1999 ou dans l'île Nouvelle plus récemment, des secteurs très localisés subissent des reculs par arrachement ou effondrement de mini-falaises. Ceci montre que les ouvrages de l'estuaire ont une efficacité dans la stabilisation de la ligne de rivage. Les secteurs érodés évoluent ensuite de manière à retrouver un ajustement morphodynamique et un profil d'équilibre avec les agents hydrodynamiques. De manière générale, l'élévation du niveau de la mer aura un fort impact sur la submersion. Dans l'estuaire de la Gironde, cet impact a été évalué récemment par le Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales, dans le cadre du projet THESEUS [33]. Un modèle simplifié de calcul des surcotes à partir des champs de vent et de pression du CLM/SGA a été construit au Verdon. En particulier, les cartes d'inondation correspondant aux périodes de retour de 2 à 100 ans pour les périodes [1960 ; 1999], [2010 ; 2039], [2040 ; 2069] et [2070 ; 2099] sur 3 sites particuliers de l'estuaire ont été produites. Des zones qui ne sont aujourd'hui pas inondées pour de faibles périodes de retour le deviennent à l'horizon 2100, en particulier dans la basse Garonne (Figure 5). À noter que dans cette étude les effets des débits fluviaux et des ruptures de digues n'ont pas été évalués.

*Estuaire de l'Adour*

Les berges au niveau de Bayonne sont à une cote assez faible ce qui entraîne déjà parfois des inondations. Dans la perspective d'une montée des eaux voire d'une augmentation des événements de pluies extrêmes, ces inondations pourraient devenir assez fréquentes pour justifier des aménagements nouveaux.

*Bassin d'Arcachon*

C'est une lagune dont le fonctionnement hydrosédimentaire est à mi-chemin entre celui d'une baie tidale et celui d'un estuaire. Il est soumis aux actions conjuguées de la marée, des vents et clapots associés, et des apports d'eau douce. La houle est efficace surtout dans les passes, la flèche sableuse du Cap-Ferret constituant la frontière naturelle entre le domaine océanique et le domaine lagunaire. Les rives de la lagune d'Arcachon sont constituées d'estrans sablo-vaseux et de plages artificielles, bordant des marais et des zones urbaines. Globalement, ce sont des zones basses, vulnérables à la submersion. De nombreux secteurs sont protégés par des ouvrages, perrés ou digues. Les ouvrages sont continus sur la portion externe des rivages, et plus discontinus à l'intérieur du bassin (Figure 6). La tempête Xynthia (27-28 février 2010) a atteint l'ensemble du pourtour du bassin d'Arcachon. La submersion marine a concerné l'ensemble des zones basses du bassin. Les hauteurs d'eau maximales ont atteint 0,90 m sur des distances de plusieurs centaines de mètres à l'intérieur des terres ([35], OCA). En ce qui concerne l'érosion, comme pour l'estuaire de la Gironde, celle-ci est plutôt faible à l'intérieur de la lagune, et tout aussi peu documentée dans la littérature. Les zones vulnérables à l'érosion sont le sud de la flèche du Cap-Ferret et le littoral du Pyla-sur-Mer, soit des secteurs sous l'influence des vagues et de l'interaction morphodynamique des courants de marée et des passes. L'intérieur du bassin est plutôt stable, et les secteurs modifiés récemment sont les marais de Certes, Graveyron et Malprat, davantage exposés au clapot et à la submersion suite aux ruptures de digues en 1999 et lors des tempêtes de 2009 et 2010.



**Figure 5 :** Cartes des marais et zones vulnérables à la submersion dans l'estuaire de la Gironde (doc. EAUCEA [34]).

Des projets tels que Theseus ou Barcasub, du programme LITEAU, ainsi que les études de mise en place des PPRL et TRI, tentent d'évaluer quantitativement les submersions dans la Gironde ou le bassin d'Arcachon, en considérant les morphologies et configurations actuelles des rivages. Cependant, pour prédire l'impact des changements climatiques sur les estuaires et les lagunes, les incertitudes scientifiques sont encore nombreuses. Outre les incertitudes sur le niveau de la mer et de la houle aux embouchures, il existe des incertitudes sur les régimes fluviaux en amont, qui entraîneront des modifications des flux de matières en suspension. De cet ensemble dépendent les bilans sédimentaires et les ajustements morphologiques des fonds et des berges. Cette incertitude peut s'étendre aux effets en retour sur la modification de l'onde de marée ; sa propagation dans les estuaires ou dans le bassin d'Arcachon peut se trouver significativement transformée, modifiant ainsi la configuration ou l'emplacement des zones vulnérables par rapport à ce qu'elles sont à l'heure actuelle.



Figure 6 : Ouvrages de protection sur les rives du bassin d'Arcachon (d'après P. Laymond, in T. Auly et J. Veiga, 2010, le Bassin d'Arcachon, un milieu naturel menacé ?, Editions Confluences).

### Conjonction avec les événements exceptionnels

La tempête du 27 décembre 1999 a été un événement marquant dans l'estuaire de la Gironde, par les niveaux exceptionnels de surcote atteints, ainsi que par son impact en termes de submersion et d'érosion des rives. Pourtant, les niveaux atteints pourraient être encore plus élevés si une conjonction de conditions favorisant la surcote venait à se produire. En extrapolant linéairement les conditions de décembre 1999, il est possible d'estimer sommairement les niveaux théoriques extrêmes pouvant être atteints dans ces conditions exceptionnelles.

Lors de la tempête, la hauteur d'eau enregistrée par les marégraphes au droit de Blaye et Pauillac, a atteint 4,52 m au-dessus du niveau NGF. Le coefficient de marée était de 77, soit une marée moyenne, dans une gamme allant de 20 à 120. Pour un coefficient de 77, le niveau de la marée haute prédit à Pauillac, sous des conditions atmosphériques normales, est de 2,51 m NGF. On peut en déduire que, lors de la tempête de 1999, l'effet de surcote liée à la dépression atmosphérique (987 hPa), et au vent (130 km/h) était de 2,01 m.

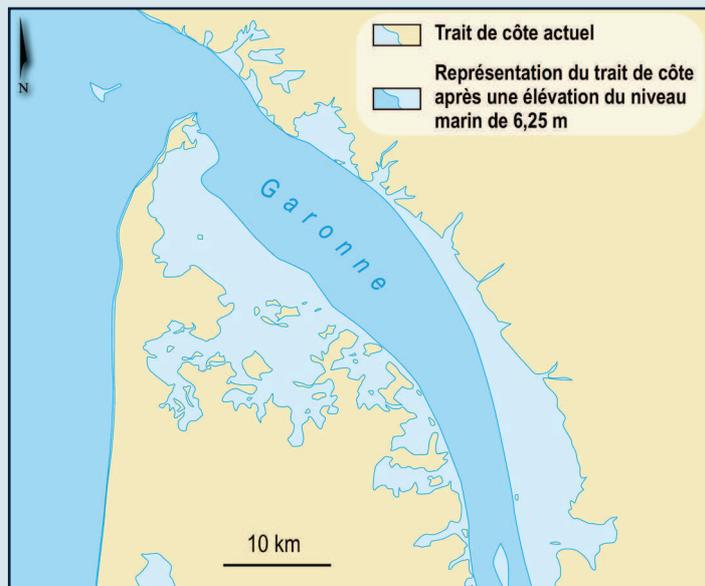


Figure 7 : Estuaire de la Gironde, prévisions de l'élévation du niveau de la mer en 2100. Les zones en bleu, d'altitude inférieure à 6,25 m, sont susceptibles de se trouver en dessous du niveau statique des eaux de l'estuaire dans des conditions de tempête extrême.

La pression atmosphérique minimum enregistrée dans la région lors de la tempête était de 955 hPa. Elle induirait sur l'estuaire, avec les mêmes conditions de vent, une surcote totale de 2,59 m, soit 0,58 m de plus que celle enregistrée en 1999. Par ailleurs, une marée théorique de coefficient 120 (vives-eaux), atteindrait une hauteur de 3,66 m. Si on suppose une conjonction de ces conditions extrêmes de pression et de marée (dépression de 955 hPa, vents de 130 km/h et marée de grandes vives-eaux), le niveau de l'estuaire à Pauillac ou Blaye atteindrait donc à marée haute une hauteur de  $2,59 + 3,66 = 6,25$  m, soit 1,73 m de plus que le niveau enregistré en décembre 1999.

Il faut souligner que cette estimation a minima tient compte uniquement de la marée et des effets atmosphériques, et ne tient pas compte des effets dus aux vagues se propageant dans l'estuaire. Celles-ci ont été peu étudiées, et leur effet de surcote reste à évaluer précisément. Toutefois, les constats faits à partir du franchissement des digues lors de la tempête de 1999 ont permis d'attribuer à l'action des vagues une surcote de 2,30 m. Enfin, l'apport d'eau douce de la Garonne et la Dordogne en régime de crue peut contribuer également à une élévation globale de la hauteur d'eau, mais celle-ci serait importante surtout en amont du Bec d'Ambès, et serait plus faible en aval.

L'hypothèse du scénario pessimiste du GIEC prévoit une élévation du niveau de la mer de l'ordre du mètre. Si conjonctuellement plusieurs phénomènes se superposent (une tempête d'ouest induisant une surcote, une marée haute, un fort coefficient de marée et enfin une crue de l'ensemble Dordogne-Garonne), alors on pourrait atteindre une surcote totale dépassant largement 6,25 m au milieu de la Gironde. Une telle élévation provoquerait l'invasion par la mer des marais du Médoc, transformant en île la Pointe de Grave ainsi que les marais de la rive droite (**Figure 7**). La situation serait similaire à celle déjà enregistrée par l'estuaire lors de son histoire géologique, il y a 6 000 ans ou il y a 130 000 ans.

### III- Adaptations/Mitigations

#### Côtes sableuses

Les structures en « dur » (épis, brise-lames, etc.) ont la particularité le plus souvent de déplacer le problème d'érosion aux littoraux adjacents. Sur le plan international, les techniques de protection dites « souples » (rechargements de plage, accompagnement de la mobilité des dunes, géotextiles, drainage de plage, [36][37]) sont progressivement apparues à la fin du siècle dernier, traduisant enfin une évolution de la doctrine du génie côtier. Une grande richesse du littoral aquitain est d'avoir été jusqu'à présent peu affecté par la mise en œuvre de structures en dur, et d'être caractérisé par un système plage/dune particulièrement préservé.

La gestion des dunes bordières par l'Office National des Forêts a pour mission d'optimiser les différents services écologiques et sociétaux rendus par les dunes, en particulier le contrôle de la mobilité des sables et la conservation d'écosystèmes originaux et rares par le maintien d'une mosaïque diversifiée et mouvante sans fixation excessive. Ce n'est que récemment que le rôle des dunes en matière de défense contre les risques d'origine marine (érosion et submersion) a été officiellement pris en compte dans les stratégies d'aménagement du territoire. En effet la dune influence le comportement de la plage par le maintien d'une partie du sédiment au plus près de la plage, ce qui contribue au soutien du budget sédimentaire côtier, facteur clé des tendances évolutives. Le système de dune joue donc un rôle « tampon » essentiel dans la réponse de la plage. À titre d'exemple, *Castelle et al.* [38] ont montré sur une section du littoral australien qu'une plage bordée par une dune végétalisée résistait beaucoup mieux aux épisodes de tempête que des plages sans dune ou des plages présentant des ouvrages de protection côtière (récif artificiel, épis).



Figure 8 : Plantation d'oyats sur la dune littorale sud de Lacanau.

D'autres mesures dites souples existent. Le rechargement de plage, réalisé par exemple sur le littoral basque, est efficace le long des plages sableuses en particulier si celles-ci ne sont pas soumises à un transit littoral trop important (le rechargement est sinon diffusé assez rapidement). C'est le cas par exemple des plages d'Anglet qui ont été régulièrement rechargées en sables issus des dragages de l'embouchure de l'Adour durant les dernières décennies. L'efficacité de cette méthode est démontrée pour ce site qui a fait l'objet de clapages réguliers à un taux approximatif de 500 000 m<sup>3</sup>/an entre 1980 et 1990. Durant cette période, les plages se sont réengraissées de manière continue, tandis que l'arrêt ultérieur de ces clapages a rapidement entraîné une érosion significative des plages sous marine [39]. Le choix des stocks sableux pour l'extraction (plateau, estuaire, etc.) doit aussi tenir compte de nombreux facteurs environnementaux et écologiques. Lorsque le transit sédiment-taire est interrompu par une structure en dur (e.g. digue), un système de *bypass* de sédiment peut être mis en place comme c'est le cas depuis 2008 à Capbreton. Sur un système similaire sur le littoral australien, *Castelle et al.* [40] ont montré à partir de 30 ans de données que ce système, si le sable était rejeté en zone de déferlement, était beaucoup plus efficace que le rechargement de plage classique. De plus, il est possible d'estimer (e.g. mensuellement) les quantités à pomper en fonction des données de houle et de gérer les quantités de sable pompé par le système de *bypass* pour reproduire au plus proche la dérive littorale naturelle [40], ce qui répond complètement aux recommandations sur les nouvelles pratiques à développer en ingénierie côtière [36]. D'autres méthodes souples ne semblent pas adaptées aux plages sableuses d'Aquitaine. La mise en place de récifs artificiels est très coûteuse et ces structures n'induisent typiquement une avancée du trait de côte, assez localisée, que de l'ordre de la dizaine de mètres [41]. Les systèmes de drainage ne semblent pas non plus adaptés aux plages ouvertes et très énergétiques du littoral aquitain.

L'analyse de l'impact du changement climatique doit tenir compte de la capacité d'ajustement du système plage/dune face aux perturbations. Le système plage/dune évolue constamment pour s'adapter aux diverses contraintes : les formes sont modifiées par les processus qu'elles influencent à leur tour. Cette aptitude à réagir aux perturbations est nommée résilience, elle permet d'assurer la continuité fonctionnelle du système en le rapprochant de la situation initiale (exemple post-tempête). Cette « auto défense » n'est opérationnelle que lorsque le système dispose de tous ses compartiments (de la plage immergée à la dune bordière) et de tous ses attributs fonctionnels (échanges transversaux et longitudinaux...). Les systèmes tronqués (absence des entités « tampon ») perdent cette capacité d'ajustement : c'est par exemple le cas lorsque les échanges entre plages et dunes sont interrompus par des murs d'enrochements. Cette capacité d'ajustement n'est possible que si le système dispose d'un « espace de liberté » pour se développer : les équipements rigides proches du littoral réduisent, ou suppriment, la résilience du système.

En Aquitaine, une réflexion a été menée depuis 2009 pour prendre en compte l'érosion côtière dans la gestion du littoral. Le GIP Littoral Aquitain, réunissant l'ensemble des gestionnaires issus des collectivités et des services de l'État, a finalisé cette étude en juin 2012 et proposé une stratégie régionale de gestion de la bande côtière<sup>3</sup> en cohérence avec la stratégie nationale adoptée par l'État le 2 mars 2012<sup>4</sup>.

Quatre familles de mode de gestion sont identifiées :

- Évolution naturelle surveillée ;
- Accompagnement des processus naturels ;
- Lutte active contre l'érosion ;
- Repli stratégique - relocalisation des activités, des biens et des personnes.

Ces familles regroupent toutes les possibilités d'intervention sur le littoral (souples, dures, etc.). À ces familles d'action il faut rajouter le cas de l'inaction (absence de gestion) qui est un non-choix.

3. <http://www.littoral-aquitain.fr/spip.php?rubrique20>

4. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Strategie\\_nationale\\_de\\_gestion\\_integree\\_du\\_trait\\_de\\_cote.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Strategie_nationale_de_gestion_integree_du_trait_de_cote.pdf)

## Côtes rocheuses

Les commentaires précédents relatifs à l'adaptation et à la mitigation des côtes sableuses s'appliquent également aux côtes rocheuses, en particulier aux plages de poche et frangeantes.

En termes d'ouvrage ou de méthode de protection face aux instabilités des falaises, il est en revanche plus délicat de distinguer les notions de solutions souples et dures.

Dans l'outil didactique du projet ANCORIM<sup>5</sup> consacré aux solutions douces de protection des côtes, toutes les solutions géotechniques classiquement utilisées pour stabiliser les falaises (végétalisation, géogrilles, filets, bétonnage, cloutage, etc.) sont considérées comme potentiellement souples si leur impact négatif reste peu important compte tenu de leur faible emprise spatiale et de la réversibilité de la méthode et des matériaux employés.

Sur les falaises, les méthodes de stabilisation combinent souvent plusieurs parades géotechniques entre elles et associent des solutions plus « souples » telle que le drainage qui réduit le rôle de l'eau continentale, ou la végétalisation qui limite le ruissellement et l'érosion des sols (attention toutefois à ne pas favoriser l'installation d'espèces invasives). Ces interventions souples permettent de maintenir une fonctionnalité naturelle des falaises vis-à-vis de l'érosion et notamment un recul contrôlé permettant une alimentation des stocks sédimentaires des plages adjacentes (de poche et frangeantes).

### Efficacité des « ouvrages »

La côte Aquitaine comporte relativement peu d'ouvrages en comparaison d'autres régions côtières françaises. Cette caractéristique s'explique par le long linéaire sableux peu urbanisé qui s'étend du nord de la Gironde au Sud des Landes. Les ouvrages se situent principalement sur la côte Basque (Hendaye, Saint Jean de Luz, Biarritz, Anglet) et au nord de la Gironde (Soulac, Le Verdon). Au niveau des Landes, les principaux sites sont Capbreton et les abords des courants landais. D'une façon générale, toutes les zones à enjeux urbains ou portuaires font l'objet d'ouvrages de protection en dur.

Les ouvrages côtiers aquitains regroupent les typologies suivantes selon leurs vocations (protection face à l'érosion, la submersion, etc.) :

- Des épis en enrochement dont la fonction est de limiter le transit sédimentaire le long de la côte (Anglet, Capbreton, Lacanau) et ce, afin de stabiliser localement la plage.
- Des jetées (digues à talus à carapace en blocs béton cubiques, Hendaye, Bayonne) dont la fonction est de stabiliser l'embouchure locale.
- Des brises lames (digue verticale mixte de Saint Jean de Luz) qui protègent les zones en arrière de l'ouvrage de l'action des houles.
- Des ouvrages de front de mer (perrés de Capbreton, de Soulac, tubes conteneurs à l'Amélie/Soulac [42]) qui sont censés jouer un double rôle vis-à-vis de la submersion et de l'érosion.

Dans la plupart des cas, bien que la fonction primaire de l'ouvrage soit au moins partiellement remplie, il existe des effets secondaires qui peuvent être néfastes. Ainsi, il est communément admis que les épis contribuent à augmenter l'érosion à une certaine distance en aval de l'ouvrage par rapport à la dérive littorale. De même, les jetées d'embouchure imposent une dynamique sédimentaire complexe parfois mal contrôlée (ex. : Bayonne, [39]).

Sur la côte rocheuse basque, les stratégies de protection mises en œuvre contre les mouvements de terrains sont des parades géotechniques classiquement utilisées qui sont plus ou moins souples suivant

5. <http://ancorim.aquitaine.fr/>

les sites (maçonnerie, cloutage, béton projeté, drainage, profilage, curage, géotextile, végétalisation, etc.). Face à l'érosion et à la submersion, on retrouve les mêmes types de parades que pour la côte sableuse et les zones basses : épis, digues, perrés, rechargements, etc.

De nombreuses parades souples sont entreprises sur le littoral aquitain pour limiter l'érosion marine et éolienne (rechargement de plage, brise-vent, végétation, etc.).

Le changement climatique peut avoir une influence sur la fonction de l'ouvrage ainsi que sur sa stabilité structurelle. Trmal et Lebreton [43] donnent un exemple de cet effet sur une digue à talus (e.g. Bayonne). Il est aisé de comprendre que la remontée du niveau d'eau moyen due au changement climatique aurait une influence certaine sur les débits de franchissement de l'ouvrage avec des aléas associés dans la zone protégée et pour les usagers de la digue. Pour revenir à l'état de service initial il conviendrait alors de rehausser l'ouvrage d'une hauteur supérieure à la remontée du niveau d'eau comme le montrent les simulations de Trmal & Lebreton [43]. Les formules de dimensionnement qui permettent de calculer les poids des enrochements naturels ou artificiels des carapaces d'ouvrages dépendent également de la hauteur de houle en pied d'ouvrage. Or dans le cas des ouvrages français et donc aquitain, qui sont en général construits en faible profondeur relative, la hauteur de houle est écrêtée par le déferlement. Une hausse du niveau d'eau moyen permettrait le passage d'une houle dimensionnante plus énergétique qui pourrait nécessiter en certains endroits le changement de la carapace actuelle pour des blocs plus lourds.

## Conclusion

Au niveau des plages sableuses et des embouchures aquitaines, soumises à des vagues de fortes amplitudes et où les fonds sédimentaires sont extrêmement mobiles, la caractérisation des flux sédimentaires et de l'évolution morphologique des fonds sableux représente un véritable défi scientifique et technique. Pour mieux caractériser le budget sédimentaire et prévoir l'évolution du littoral aquitain, il est nécessaire de disposer de davantage d'information sur les stocks sableux disponibles sur le plateau et surtout sur l'évolution morphologique des côtes à une fréquence suffisamment élevée (périodicité mensuelle mais incluant aussi l'observation d'événements exceptionnels comme les tempêtes). Ceci va demander la mise en œuvre d'observations régulières associant des suivis lidar avec le développement de méthodes permettant de cartographier la bathymétrie littorale et son évolution, à partir de systèmes vidéos terrestres et de l'imagerie satellitaire multi – et hyper-spectrale. L'étape finale est l'assimilation de ces données dans un modèle prédictif d'évolution morphodynamique du trait de côte à l'échelle de l'Aquitaine.

Les instabilités des falaises et l'érosion de la côte rocheuse aquitaine dépendent de trois agents essentiels : 1) le rôle de l'eau douce (altération des roches, déclenchement des mouvements de terrain, et transport de matériaux), 2) les stocks sédimentaires des plages de poche et frangeantes et 3) l'action des vagues (impact et déblaiement des matériaux). Un enjeu majeur de la compréhension de l'impact du réchauffement climatique vis-à-vis de l'érosion des côtes rocheuses est donc d'étudier de manière quantitative l'évolution de chacun de ces paramètres selon des approches combinant les suivis quantitatifs *in-situ* (plages, falaises) et les outils de modélisation (géotechniques et hydrosédimentaires).

ESPÈCES		EVOLUTION DES POPULATIONS		CORRÉLATION AVEC INDEX CLIMATIQUE
		Tendance	Variation Annuelle	
Eaux Froides	Merlu d'Europe <i>Merluccius merluccius</i>	↘	-3.3%	-0.5
	Tacauds <i>Trisopterus</i> sp.	↘	-3.4%	ns
	Lieu jaune <i>Pollachius pollachius</i>	↘	-4.1%	-0.6
	Crevette grise <i>Crangon crangon</i>	↘	-2.5%	-0.5
Sans préférence	Mulets <i>Mugil</i> sp.	↘	-9.7%	-0.4
	Sardine <i>Sardina pilchardus</i>	↘	-10.2%	ns
	Anchois <i>Engraulis encrasicolus</i>	→	-	-
Eaux Chaudes	Thon rouge <i>Thunnus thynnus</i>	→	-	-
	Crinchards <i>Trachurus</i> sp.	→	-	-
	Maquereaux <i>Scomber</i> * <small>* Maquereau espagnol principalement</small>	↗	+11.8%	+0.4

**Tableau 5** : Exemples d'évolutions (basées sur les données de captures) de populations de poissons et crevettes grises en Aquitaine en relation avec les conditions climatiques (index SBC), ↗ croissance, → stabilité, ↘ décroissance durant la période d'étude (1974-2000) ; les flèches en gras indiquent les tendances hautement significatives  $p < 0.01$ , sinon seulement significatives  $p < 0.05$  ; ns : non significatif  $p > 0.05$ , [57][63].

Les effets des changements climatiques sur la faune ichthyologique pour la partie sud du golfe de Gascogne restent difficiles à dissocier des effets liés à l'activité halieutique ou encore aux fluctuations naturelles des populations. Cependant, les espèces à affinité tropicale présentent l'intérêt de ne pas être encore ciblées et les tendances observées sont supposées être liées à des modifications d'ordre climatique ou tout au moins d'ordre naturel. Les principaux groupes concernés par ces changements du milieu dans le sud du golfe de Gascogne sont les Tétrodontiformes (6 espèces), les Carangidés (10 espèces) ainsi que les grands pélagiques à affinité tropicale et de façon plus générale les espèces en limite nord de répartition pour l'Aquitaine.

Ils témoignent de changements climatiques à travers différents paramètres :

- Une extension de leur aire de répartition vers le Nord, l'apparition de nouvelles espèces ;
- Une augmentation du nombre d'individus capturé par espèce, certaines espèces considérées comme rares sont aujourd'hui abondantes ;
- Une augmentation de la diversité biologique au sein de chacun de ces groupes ;
- Une modification de leur répartition bathymétrique.



Exemples de deux espèces à affinité tropicale capturées en Aquitaine (la daurade coryphène – *Coryphaena hippurus* et la Carangue coubali – *Caranx crysos*).

La fréquentation accrue de grands pélagiques s'accompagne également par l'apparition d'autres espèces méridionales comme le rémora *Echeneis naucrates* ou le poisson pilote *Naucrates ductor* qui est de plus en plus fréquent.

Ces dernières décennies se caractérisent par une augmentation de leur diversité biologique ainsi que de leur fréquence d'observation, particulièrement au sud de la Gironde. Même si ces observations sont à relativiser par rapport à l'attention accrue qui leur est portée dans le contexte actuel, certaines de ces espèces, telles que les grands pélagiques et les carangidés, pourraient constituer de nouvelles ressources halieutiques d'intérêt pour les professionnels dans un contexte de réchauffement climatique.

## Conclusion

Les informations présentées pour les espèces principales exploitées par les pêcheurs aquitains au large de l'Aquitaine mettent en évidence une sensibilité différente selon les espèces et selon les stades ontogéniques au changement climatique. Ces éléments restent valables pour d'autres zones que celle considérée dans cet ouvrage. Ils mettent également en exergue des lacunes dans les connaissances actuelles entre les conditions environnementales et la réponse biologique. Une des raisons réside dans l'existence simultanée de plusieurs facteurs (environnementaux mais aussi anthropiques) qui restent très difficiles à dissocier. La prédiction de l'effet du changement climatique sur le développement des écosystèmes marins et par conséquent la productivité de certains stocks à la lumière d'une autre pression, l'exploitation, constitue un challenge scientifique [147]. Dans le cas d'un effet négatif attendu du changement climatique, une attention particulière devra être portée aux stocks considérés comme surexploités.

En ce qui concerne les amphihalins, le défi est d'apprécier comment ces facteurs de changement peuvent jouer sur les capacités d'adaptation, la vulnérabilité et la résilience de ces populations dans les eaux marine et continentale, notamment par le croisement des connaissances sur la biologie et les caractéristiques (usages) de la zone considérée (milieu aquatique et bassin-versant de référence). La question se pose de savoir quelles sont les zones de fortes vulnérabilités au changement climatique et par voie de conséquence quelles sont les populations (ou phase du cycle biologique) qui risquent d'être fortement impactées.

Un certain nombre d'incertitudes demeurent. Elles sont liées au scénario retenu et à ses conséquences sur la gestion de la ressource en eau et des zones humides mais également à la difficulté de dissocier les effets du changement climatique au sein du changement global.

En matière de connaissance, les principaux défis à relever sont 1) la compréhension de la connectivité entre les milieux de vie (côte, estuaire, milieu profond, large) et les facteurs qui la contrôlent ; 2) l'intégration du changement climatique sur l'ensemble du cycle de vie et à l'échelle de la population ; 3) l'appréhension des effets du changement climatique sur le réseau trophique ; 4) et en complément l'observation suivie (temporelle et spatiale) d'espèces nouvelles dont celles à affinité tropicale.