

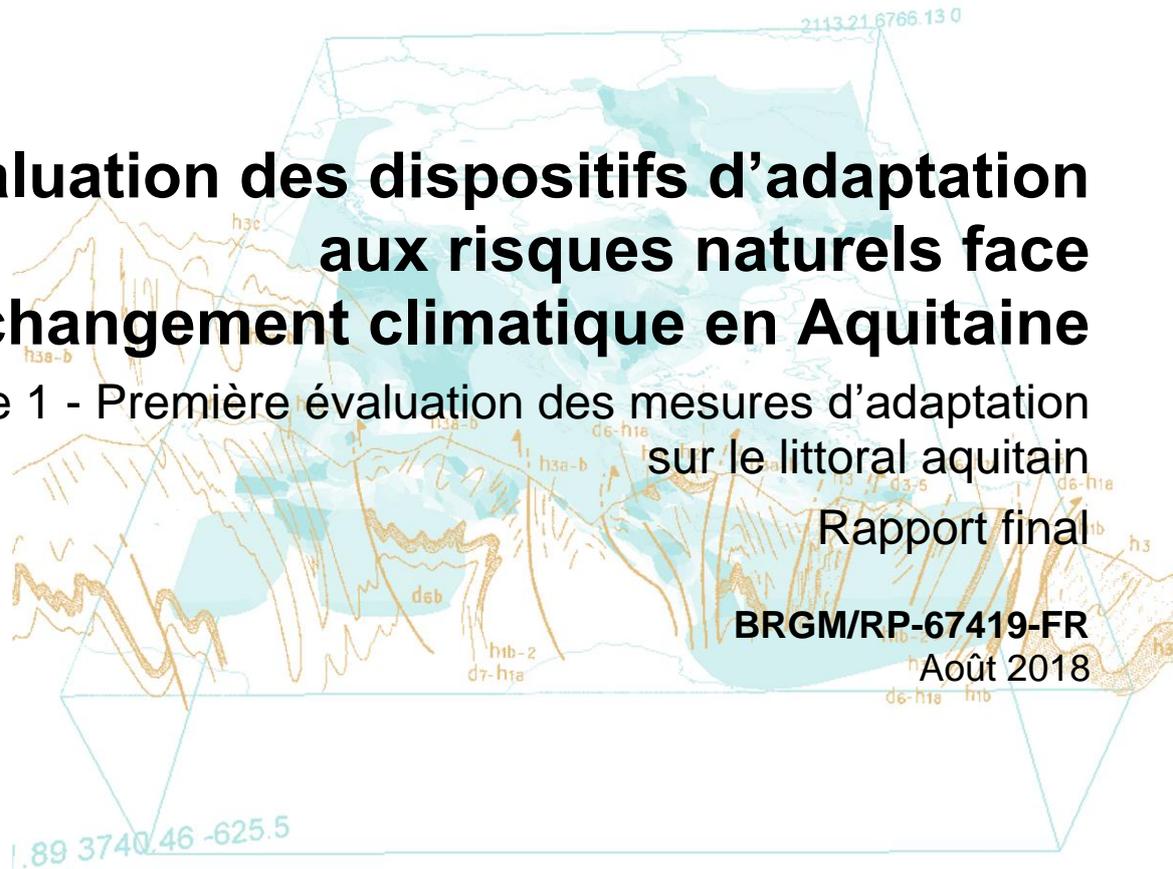
Document public



Évaluation des dispositifs d'adaptation aux risques naturels face au changement climatique en Aquitaine

Phase 1 - Première évaluation des mesures d'adaptation
sur le littoral aquitain
Rapport final

BRGM/RP-67419-FR
Août 2018



Évaluation des dispositifs d'adaptation aux risques naturels face au changement climatique en Aquitaine

Phase 1 - Première évaluation des mesures d'adaptation
sur le littoral aquitain

Rapport final

BRGM/RP-67419-FR

Août 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM AP15AQI041

M. Garcin, A. Baills, T. Bulteau

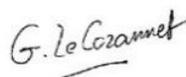
Vérificateur :

Nom : Gonéri Le Cozannet

Fonction : Responsable scientifique du
programme « Vulnérabilité et
résilience des systèmes anthropisés
et impacts du changement
climatique »

Date : 30/08/2018

Signature :



Approbateur :

Nom : Nicolas Pedron

Fonction : Directeur régional Nouvelle-
Aquitaine

Date : 17/12/2018

Signature :



**Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.**

Mots-clés : changement climatique, mesures d'adaptation, Aquitaine, risques côtiers

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Garcin, M., Bails, A., Bulteau, T. (2018) - Évaluation des dispositifs d'adaptation aux risques naturels face au changement climatique en Aquitaine. Phase 1 - Première évaluation des mesures d'adaptation sur le littoral aquitain. Rapport final. BRGM/RP-67419-FR, 82 p., 31 fig., 10 tabl., 2 ann.

Synthèse

Ce rapport est réalisé dans le cadre du programme complémentaire « Adaptation au Changement Climatique » de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, financé par la Région Nouvelle-Aquitaine, la DREAL Nouvelle-Aquitaine, l'Europe (fonds FEDER) et le BRGM. Il est destiné au comité de suivi de l'étude : membres du Comité Technique de l'OCA (BRGM, ONF, Région Nouvelle-Aquitaine, DREAL, Départements de la Gironde, des Landes et des Pyrénées-Atlantiques, Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon), GIP Littoral Aquitain, GIP ATGeRi (Aménagement du Territoire et Gestion des Risques) et DDTMs (Directions Départementales des Territoires et de la Mer de la Gironde, des Landes, des Pyrénées-Atlantiques et de la Charente-Maritime).

Le projet se décline en 2 phases :

- Phase 1 : Première évaluation des mesures d'adaptation sur le littoral aquitain (objet du présent rapport) ;
- Phase 2 : Application pratique et analyse du retour d'expérience pour une meilleure anticipation des effets du changement climatique en région Aquitaine.

L'objectif de la phase 1 est d'identifier les mesures d'adaptation aux risques côtiers existantes, envisagées ou envisageables sur le littoral aquitain, puis de les évaluer en les confrontant aux évolutions anticipées des risques en lien avec le changement climatique. L'approche mise en œuvre repose notamment sur des recommandations faites par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans le rapport AR5 WG2 « *Foundations for decision making* » (Jones et al., 2014).

Les différentes réunions du comité de suivi du projet ont amené à modifier le descriptif technique initial. En particulier, il a été décidé que le volet 1.2, relatif à l'analyse de la perception du changement climatique et de l'adaptation auprès des acteurs impliqués dans la prise de décision sur les risques affectés par le changement climatique, ne soit pas réalisé.

Après avoir rappelé le contexte et l'objectif général du projet ainsi que la méthode utilisée et ses limites (Chapitre 1), le Chapitre 2 présente les 51 mesures d'adaptation identifiées et la classification employée, basée sur les modes de gestion du littoral. L'évaluation des mesures selon 10 critères généraux en lien avec le changement climatique fait l'objet du Chapitre 3.

L'évaluation proposée des mesures d'adaptation se base sur des critères généraux essentiellement qualitatifs, ce qui permet une comparaison objective et aisée entre les mesures. Elle ne se substitue pas à une analyse visant à appuyer la prise de décisions en matière d'adaptation à l'échelle locale.

L'analyse des résultats met en évidence les caractéristiques principales des mesures dans chaque mode de gestion et permet l'identification d'un socle de mesures essentielles pour l'adaptation aux risques côtiers dans un contexte de changement climatique. De manière générale, l'étude révèle qu'il existe de nombreuses possibilités d'adaptation à court et moyen termes (2030-2050, 2080-2100) et souligne la nécessité de bien anticiper et planifier l'adaptation, en particulier pour les mesures qui nécessitent un délai entre leur mise en place et les bénéfices attendus. L'élaboration de chemins d'adaptation adaptés aux contextes géographiques locaux devra s'appuyer sur des projections d'aléas plus fines afin de préciser l'horizon temporel d'obsolescence des mesures.

Les stratégies locales élaborées actuellement établissent des plans d'actions à des horizons temporels (30-40 ans) qui justifient la prise en compte du changement climatique dans l'évolution des risques. Aussi, les résultats de cette étude nous amènent à recommander que les critères d'évaluation proposés dans ce rapport soient intégrés dans les analyses multicritères proposées par le GIP Littoral Aquitain dans sa stratégie régionale de gestion de la bande côtière.

Sommaire

1. Introduction : contexte et objectif de l'étude.....	9
1.1. CADRE : L'ENJEU MAJEUR DES RISQUES NATURELS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AQUITAINE	9
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE ET CONTENU DU RAPPORT	11
1.3. PRESENTATION GENERALE DE LA METHODE	11
1.4. PERIMETRE TERRITORIAL CONSIDERE DANS CE RAPPORT	15
1.5. LIMITE DE L'APPROCHE.....	16
2. Mesures d'adaptation aux risques littoraux dans le contexte du changement climatique.....	19
2.1. CLASSIFICATION DES MESURES D'ADAPTATION	19
2.2. DESCRIPTION DES MESURES D'ADAPTATION	23
2.2.1. Actions pour la gestion souple des espaces naturels	23
2.2.2. Actions sur l'aléa.....	28
2.2.3. Actions sur les enjeux	40
2.2.4. Actions complémentaires	49
3. Évaluation des mesures d'adaptation.....	57
3.1. METHODE D'EVALUATION	57
3.2. CRITERES D'EVALUATION	57
3.2.1. « Sans regret » (existence de co-bénéfices)	58
3.2.2. Robustesse.....	58
3.2.3. Flexibilité/réversibilité	58
3.2.4. Horizon temporel de décision.....	59
3.2.5. Synergie avec l'atténuation	59
3.2.6. Bénéfice immédiat	59
3.2.7. Impacts potentiels sur d'autres risques	60
3.2.8. Efficacité de la mesure si elle seule est mise en place	60
3.2.9. Coût d'implémentation et coût de maintenance.....	60
3.2.10. Horizon temporel d'obsolescence	61
3.3. RESULTATS.....	61
3.3.1. Analyse générale	67
3.3.2. Analyse multicritère.....	71
3.3.3. Synthèse.....	73
4. Conclusion.....	75
5. Bibliographie	77

Liste des figures

Figure 1 : Approche générale de l'adaptation et contribution du projet.....	15
Figure 2 : Levé topographique à Gujan-Mestras (Bassin d'Arcachon) ©Observatoire de la Côte Aquitaine.....	23
Figure 3 : Gauche : Dunes protégées par des ganivelles, bordant une plage de sable du Cotentin Ouest (Hatainville, Manche, 1990) © BRGM - Roland Paskoff. Droite : Épis, brise-lames et ganivelles (La Tamarissière-Grau D'Agde, 2006) Photo : Manuel Garcin.	25
Figure 4 : Érosion de falaise à Isla Vista Beach (USA) et palissade.....	25
Figure 5 : Reconstruction de dune et végétalisation au Cap-Ferret, 2012. Photo : Manuel Garcin.....	26
Figure 6 : Gauche : Île aux oiseaux, Bassin d'Arcachon (33) ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Michel Le Collen, 2009. Droite : Slikke à Arès, Bassin d'Arcachon (33). Photo : Thomas Bulteau.	27
Figure 7 : Gestion de la fréquentation en lien avec la revégétalisation de la dune © BRGM - Roland Paskoff	28
Figure 8 : Gauche : Pied de dune reprofilé avant les grandes marées de mars 2015 - (Notre-Dame-des-Monts, Les Marines). Photo : Manuel Garcin. Droite : Reconstruction de dune - La Pègue, Vendée, 2015. Photo: Manuel Garcin.	31
Figure 9 : Schéma de principe d'une super-digue. Source CEPRI (2015).....	31
Figure 10 : Gauche : Rehaussement de muret et ajout d'une seconde ligne de murets en arrière suite à la tempête Xynthia (Andernos-les-Bains, Photo ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Garcin, 2013). Droite : Rehaussement de muret et fermeture provisoire d'accès à la plage par batardeaux (Andernos les-Bains, Photo ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Garcin, 2013).	32
Figure 11 : Brise-lame à l'entrée de la baie de Saint-Jean-de-Luz : la « digue de l'Artha ». Gauche : ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM. Droite : ©Observatoire de la Côte Aquitaine, ULM Sud Bassin.	32
Figure 12 : Gauche : Batardeau en cours d'installation, Valras-Plage (2006). Photo Manuel Garcin. Droite : Fermeture d'une porte étanche à Andernos (2012). Photo Manuel Garcin.	33
Figure 13 : Fonctionnement du barrage sur la Tamise (source Graphics news & Alamy).....	34
Figure 14 : Barrage « Maeslantkering » en position fermée en aval du port de Rotterdam (Pays Bas) (source Rijkswaterstaat)	34
Figure 15 : Schéma de principe d'une intrusion saline dans un aquifère en milieu côtier. Source GW-MATE, d'après Vaessen et Brentführer (2015).	35
Figure 16 : Gauche : rechargement par camion à Montalivet (2014). ©Observatoire de la Côte Aquitaine. Milieu : rechargement par refoulement à Pyla-sur-Mer (2014). ©Observatoire de la Côte Aquitaine. Droite : Installation du système de by-pass hydraulique à Capbreton (2008).Crédit photo : mairie Capbreton.	36
Figure 17 : Gauche : Épis à Capbreton, 2016. ©Observatoire de la Côte Aquitaine, ULM Sud Bassin. Droite : Palissade à l'Amélie, Soulac-sur-Mer. ©Observatoire de la Côte Aquitaine	37
Figure 18 : Gauche : Perrés en haut de plage. Côte des Basques, 2006. Photo: Manuel Garcin. Milieu : La côte des Basques à Biarritz (entre 1935 et 1938). À noter le début des travaux de confortement (à gauche) et le caractère très instable de la falaise en arrière-plan. Droite : Mur de soutènement, Guéthary, 2015. ©Observatoire de la Côte Aquitaine.	39
Figure 19 : Fenêtres étanches au rez-de-chaussée de maisons exposées à la submersion marine (zone urbaine en fond de baie à Teignmouth, Devonshire). Photo: Manuel Garcin	40

Figure 20 : Porte étanche, muret et clapets anti-retour facilitant l'évacuation de l'eau (Andernos, 33). Photo : Thomas Bulteau.	41
Figure 21 : Maison amphibie sur la rivière Mass (Pays-Bas, Photo : Bas Czerwinski, Garcin, 2013).....	41
Figure 22 : Gauche : cabane tchanquée sur le Bassin d'Arcachon (Photo : Xabi Rome-Hérault (CC BY 3.0). Droite : maisons sur pilotis sur le schorre à Gujan-Mestras (quartier du château Madère), Bassin d'Arcachon (Photo : Thomas Bulteau).	42
Figure 23 : Maison bateau à proximité d'Amsterdam (Pays-Bas, Photo : Margriet Faber, Garcin, 2013)..	43
Figure 24 : Buse d'évacuation équipée d'un clapet anti-retour coté océan à Andernos-les-Bains (Photo Observatoire de la Côte Aquitaine, 2013).	44
Figure 25 : Clapets anti-retour sur buse d'évacuation d'eau en cas de submersion à Shaldon (UK). Photo : Manuel Garcin.	45
Figure 26 : Vers une sortie de secours surélevée.....	47
Figure 27 : Routes d'évacuation surélevées à Hambourg (Source Deltares, http://www.climateapp.nl/). ..	48
Figure 28 : La centrale du Blayais et sa digue principale en front de la Gironde, qui a été rehaussée suite à l'inondation de 1999, passant de 5,2 m à 6,2 m (source IRSN).....	48
Figure 29 : Sensibilisation du public à Notre-Dame-des-Monts et Saint-Hilaire-de-Riez, (Vendée), en 2015 (photos : Manuel Garcin).	52
Figure 30 : En 2050, la Nouvelle-Aquitaine devrait compter près d'un million d'habitants de plus qu'actuellement. La hausse de la population des séniors y sera très importante (+ 900.000). L'accroissement de population sera essentiellement concentré dans les départements littoraux. Source INSEE (2017).	85
Figure 31 : Modèle socio-économique utilisé dans le cadre du projet Explore 2070 (Source : BIPE).	87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des approches pour mettre en oeuvre l'adaptation à l'évolution des risques naturels dans un contexte de changement climatique	13
Tableau 2 : Classification des mesures d'adaptation aux risques côtiers (érosion et submersion marine).	22
Tableau 3 : Évaluation des mesures d'adaptation aux risques littoraux. NC : non concerné ; Indét. : indéterminé ; Fct : fonction ; CC : changement climatique.	66
Tableau 4 : Évaluation des critères pour toutes les catégories de mesures d'adaptation confondues.	67
Tableau 5 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Gestion souple des espaces naturels ».	67
Tableau 6 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions sur l'aléa ».	67
Tableau 7 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions sur les enjeux »	68
Tableau 8 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions complémentaires ».	68
Tableau 9 : Analyse multicritère des mesures d'adaptation.....	73
Tableau 10 : Mesures d'adaptation non robustes (ou dans certains cas seulement) ayant un horizon temporel de décision réduit.....	73

Liste des annexes

Annexe 1 Synthèse des éléments de prospective socio-économique	83
Annexe 2 Justification de l'évaluation des mesures d'adaptation	91

1. Introduction : contexte et objectif de l'étude

1.1. CADRE : L'ENJEU MAJEUR DES RISQUES NATURELS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AQUITAINE

Il est aujourd'hui bien établi que le réchauffement global que l'on observe est dû à l'augmentation spectaculaire de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère par les activités humaines depuis le début de l'ère industrielle (+40% depuis 1750). Des modifications des variables climatiques et océaniques (précipitations, tempêtes, températures, niveau de la mer, vagues) sont déjà perceptibles en Aquitaine et vont s'intensifier dans le futur (Le Cozannet et al., 2016). Il est attendu que les aléas naturels, directement liés à ces variables clés, évoluent de manière sensible. Or, de par ses paysages variés, l'Aquitaine est une région soumise à de nombreux aléas naturels : érosion des sols et du littoral, submersion marine, retrait-gonflement des sols argileux, feux de forêt, mouvements de terrain, inondation, sécheresse... Face au constat de la réalité du changement climatique et de ses impacts attendus, l'Europe, l'État, la Région Nouvelle-Aquitaine et leurs partenaires mènent simultanément deux politiques publiques suivant les recommandations du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat) :

- Une contribution à l'atténuation du changement climatique, via des actions visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre ;
- Des actions d'adaptation aux conséquences inévitables du changement climatique, telles qu'une élévation du niveau marin de quelques dizaines de centimètres au moins (voir Chapitre 2). En effet, l'inertie du système climatique fait qu'il y aura des changements futurs inévitables même si les émissions de CO₂ étaient stoppées aujourd'hui.

Au niveau régional, et avant le présent projet, deux rapports majeurs ont fait état des connaissances du changement climatique et ont esquissé des stratégies d'adaptation :

- En 2011, la Mission d'étude et de développement des coopérations interrégionales et européennes pour le grand sud-ouest (MEDCIE GSO) a mené une étude au niveau interrégional, portant sur « les stratégies d'adaptation territoriale au changement climatique » pour l'ensemble des quatre ex-régions Midi-Pyrénées, Aquitaine, Poitou-Charentes et Limousin (MEDCIE GSO, 2011). Cette étude s'inscrivait entre le niveau national du premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) et le niveau régional (plus opérationnel) des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) et avait pour objectif d'engager une démarche de prospective territoriale qui permette d'aboutir à des stratégies d'adaptation, cohérentes à l'échelle des territoires d'étude, et prenant en compte les enjeux territoriaux sectoriels spécifiques.
- En 2013, la communauté scientifique régionale et nationale a publié, à la demande de l'ex-Région Aquitaine, un état des connaissances sur les effets potentiels du changement climatique à l'échelle régionale (CRA, 2013). Ce rapport, élaboré sous la coordination d'H. Le Treut et auquel a contribué le BRGM, met en évidence la vulnérabilité du territoire aquitain au changement climatique et la nécessité d'élaborer des stratégies d'adaptations s'intégrant en particulier dans la gestion des risques naturels¹.

¹ Un nouvel état des lieux a été réalisé en parallèle du présent projet par le comité scientifique régional AcclimaTerra pour prendre en compte davantage de thématiques et le nouveau périmètre régional. Le BRGM a notamment contribué à la rédaction du chapitre 12 « Modifications physiques du littoral ».

Si la question de l'adaptation au changement climatique doit être posée pour plusieurs décennies, elle est tout particulièrement d'actualité en 2015 et au-delà. En effet, l'année 2015 a vu de nombreuses initiatives lancées en amont de la conférence Climat de Paris (COP21), tout particulièrement en Aquitaine : projet d'installation d'un conseil scientifique pour l'adaptation au changement climatique, organisation d'une journée scientifique sur le changement climatique (18 mai 2015), nombreuses manifestations sur ce sujet. L'accord signé à Paris entre les Nations à l'issue de la COP21 en décembre 2015 souligne d'autant plus l'urgence et l'importance de la mise en œuvre de politiques publiques ambitieuses à la fois sur l'atténuation et sur l'adaptation.

Malgré les constats de la réalité du changement climatique actuel et à venir, des incertitudes demeurent sur son ampleur, son évolution et ses impacts à l'échelle régionale à court (2030-2050), moyen (2080-2100) et long terme (2100-2300 et au-delà). En effet, malgré les évolutions majeures des modèles climatiques depuis 30 ans, les incertitudes pour les évolutions à 2100 sont restées peu ou prou les mêmes depuis les premiers rapports du GIEC (exemple : élévation du niveau de la mer entre quelques dizaines de cm et plus d'un mètre). Roe and Baker (2007) ont montré que l'ampleur de ces incertitudes est liée à des rétroactions du système climatique. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que les incertitudes des projections de toutes les variables climatiques (températures, précipitations, niveau de la mer) se réduisent de manière significative dans les prochaines années. Ainsi, de nombreuses questions demeurent sur la manière dont l'adaptation peut être appréhendée et mise en pratique dans ce contexte très incertain.

Dans un rapport consacré à la prise de décision en faveur de l'adaptation au changement climatique (Jones et al., 2014), le GIEC montre qu'il est nécessaire que les études consacrées à l'adaptation au changement climatique et à l'évaluation de ses impacts soient menées de concert. Ainsi, une actualisation des connaissances concernant les impacts du changement climatique doit prendre en compte les options d'adaptation déjà anticipées (aménagement du territoire, stratégies de repli, de protection, etc.) et les tendances actuelles (démographiques, économiques, urbanisation, etc.). Cette démarche est nouvelle en France. Elle se base sur des expériences menées notamment en Angleterre, aux Pays-Bas, et aux États-Unis (Lavery and Donovan, 2005 ; McFadden et al., 2009 ; Smith et al., 2011 ; Haasnoot et al., 2013, Ranger et al., 2013).

La démarche scientifique et l'avance de la région Nouvelle-Aquitaine dans son travail sur la prise en compte du changement climatique dans les politiques publiques ainsi que sur la gestion des risques littoraux (avec notamment l'Observatoire de la côte aquitaine - OCA), l'appelle naturellement à travailler sur ces sujets. L'attente est forte de la part des aménageurs, des collectivités et des services de l'État qui doivent en supporter les impacts dans la gestion à court, moyen et long terme. À l'occasion des contacts pris avec les différentes parties prenantes, le BRGM a mis en évidence un besoin de sécurité publique et d'appui aux politiques publiques relevant des missions de son contrat d'objectifs², et a donc décidé d'entreprendre ce travail d'experts qui doit déboucher sur une connaissance affinée pour une assistance et un accompagnement technique performant des gestionnaires et décideurs. Il s'agit ici de poursuivre la dynamique engagée pour développer les connaissances et favoriser l'adaptation au changement climatique en Aquitaine.

² Les orientations en matière d'appui du BRGM aux politiques publiques sont disponibles sur http://www.brgm.fr/sites/default/files/brgm_orientations_app_2018.pdf

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE ET CONTENU DU RAPPORT

Le projet vise à répondre à la question suivante : pour les risques affectés par le changement climatique en Aquitaine, à quelles échéances de temps les différentes options d'adaptation actuelles et envisageables sont-elles pertinentes et efficaces ?

L'objectif est donc de produire une évaluation des mesures d'adaptation actuellement mises en œuvre, en concrétisation ou envisageables, pour différents risques affectés par le changement climatique, en prenant les incertitudes sur les évolutions futures des risques telles qu'elles sont connues actuellement.

Dans un premier temps, l'étude se focalise sur les risques côtiers, c'est l'objet du présent rapport. Cette première phase est complémentaire des actions de l'OCA et du GIP Littoral Aquitain (étude de l'occupation de l'espace Littoral, stratégie régionale de gestion de la bande côtière). L'étude sera élargie dans une seconde phase à d'autres risques affectés par le changement climatique en Aquitaine (retrait-gonflement des sols argileux, mouvements de terrain, ressources en eaux souterraines).

La présente étude a donc pour objet principal **l'identification et l'évaluation des différentes mesures d'adaptation possibles dans le contexte évolutif du changement climatique**. Elle n'a pas vocation à travailler sur la caractérisation des aléas : ceux-ci sont disponibles ou en cours d'élaboration, notamment dans le cadre réglementaire (ex : Plan de Prévention des Risques Naturels). Une synthèse des connaissances actualisées de l'impact du changement climatique sur les risques côtiers en région Nouvelle-Aquitaine a été produite dans le cadre de ce projet (Le Cozannet et al., 2016). Notons que l'étude a pour ambition de contribuer à l'une des orientations transversales du rapport MEDCIE GSO (2011) : « explorer la diversité des actions d'adaptation possibles pour un impact donné du changement climatique et développer des méthodes d'analyse économique de la vulnérabilité et des options d'adaptation permettant d'éclairer les choix des décideurs ».

1.3. PRESENTATION GENERALE DE LA METHODE

Mise en avant par le GIEC (Jones et al., 2014), l'approche utilisée dans ce projet consiste à penser l'adaptation de manière itérative et continue dans le temps, en considérant conjointement l'évolution des aléas et l'évolution du territoire au cours des décennies futures. Une mesure d'adaptation au risque de submersion marine pourrait ainsi être efficace et pertinente jusqu'à une certaine date, c'est-à-dire tant que le risque n'excède pas le niveau limite supporté par la mesure d'adaptation, puis ne plus l'être. C'est cette évaluation au cours du temps des différentes mesures d'adaptation qui est recherchée dans ce projet.

Cette approche est actuellement développée en recherche et l'étude proposée revêt donc un caractère ambitieux et pionnier dans le domaine de l'adaptation au changement climatique. Elle présente trois avantages majeurs, synthétisés dans le Tableau 1, en comparaison à une approche linéaire ponctuelle classique.

Approche linéaire ponctuelle classique	Approche itérative continue (Jones et al., 2014)
<pre> graph LR A1[Recueil d'infos sur climat futur, scénarios] --> B1[Projection/évolution aléas naturels] A2[Recueil d'infos sur prospective socio-éco] --> B2[Projection/évolution vulnérabilité] B1 --> C[Analyse déficit entre les pratiques actuelles et les risques futurs] B2 --> C C --> D[Choix de mesures d'adaptation] </pre>	<pre> graph LR A1[Recueil d'infos sur climat futur, scénarios] --> B1[Projection/évolution aléas naturels] A2[Recueil d'infos sur prospective socio-éco] --> B2[Projection/évolution vulnérabilité] B1 --> C[Evaluation des mesures d'adaptation à différentes échéances] B2 --> C C --> D[Liste de mesures d'adaptation] D --> E[Aménagement, plan d'adaptation] E --> B2 </pre>
<p>Approche centrée sur le problème (i.e. changement climatique) ce qui peut être perçu comme anxiogène et qui peut nuire à la prise de décision.</p>	<p>Approche centrée sur les solutions (i.e. mesures d'adaptation).</p>
<p>Pas de notion de temporalité : l'analyse est faite souvent à un horizon temporel donné et les mesures d'adaptation considérées sont liées à cet horizon.</p>	<p>Temporalité prise en compte dans l'évaluation des mesures d'adaptation. C'est également le fondement même de l'approche puisque le processus est itératif : une fois l'évaluation des mesures réalisée, il est possible de mettre en place un plan d'adaptation qui va influencer et modifier les risques futurs. Il sera alors nécessaire de réévaluer les mesures d'adaptation, etc.</p>
<p>Beaucoup d'incertitudes pèsent sur le choix des mesures d'adaptation car elles se propagent depuis les scénarios globaux de changement climatique jusqu'aux mesures d'adaptation à l'échelle locale.</p>	<p>En se focalisant sur les solutions, il est possible d'agir en s'affranchissant des incertitudes liées au climat et à l'évolution des risques naturels.</p>

Tableau 1 : Comparaison des approches pour mettre en oeuvre l'adaptation à l'évolution des risques naturels dans un contexte de changement climatique

Dans le cadre général de cette approche de l'adaptation au changement climatique en Aquitaine, la contribution du projet consiste à :

- synthétiser les données et connaissances existantes sur les effets du changement climatique concernant les variables climatiques et océaniques et d'en déduire les évolutions (fréquence, intensité...) des aléas naturels au cours du temps. Il s'agit d'une première évaluation, parfois qualitative, de l'évolution des aléas, qui ne se substitue en aucun cas aux études plus poussées menées localement (PPR, stratégies locales de gestion de la bande côtière, SAGE...). Pour les risques côtiers, cette tâche s'est traduite par la réalisation du rapport Le Cozannet et al. (2016) ;
- synthétiser les éléments existants de prospective socio-économique afin d'en déduire une évolution de la vulnérabilité du territoire (voir §1.6 et Annexe 1) ;
- réaliser un inventaire des mesures d'adaptation envisagées ou envisageables en Aquitaine pour chaque risque naturel considéré (le présent rapport se concentrant exclusivement sur les risques côtiers – voir Chapitre 2) ;
- confronter ces mesures d'adaptation aux évolutions anticipées des risques naturels (aléas et vulnérabilité) afin de les évaluer sur la base de critères généraux (ex : la mesure est-elle sans regret ? robuste ? réversible ? etc. – voir Chapitre 3) et de disposer d'une « boîte à outils » de mesures utilisable par les décideurs pour planifier l'adaptation dans une logique de long terme itérative.

La Figure 1 résume l'approche envisagée et la contribution du projet.

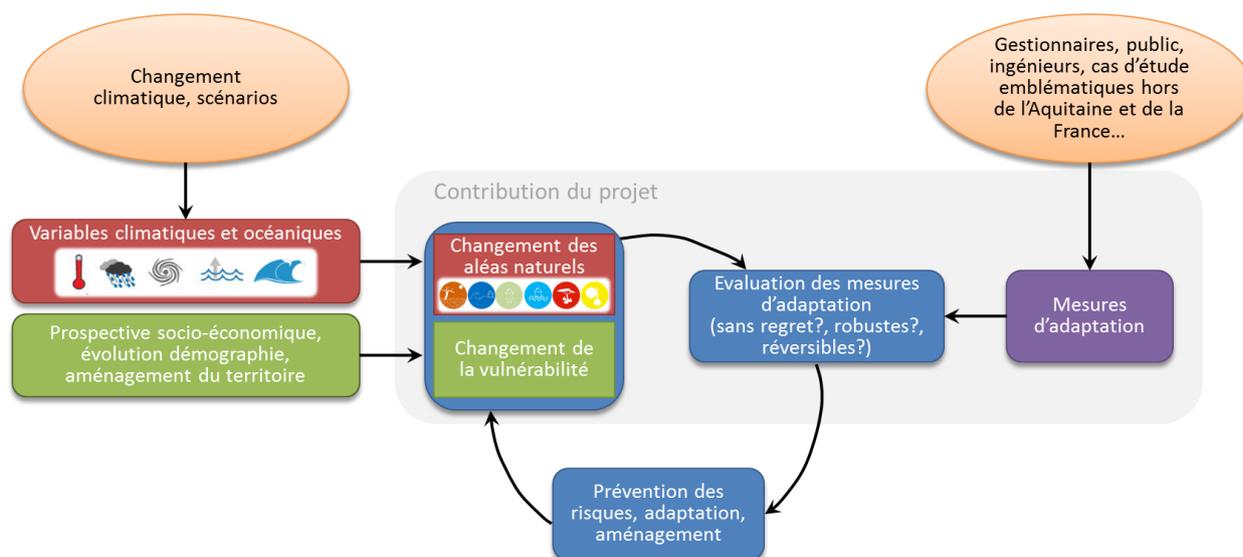


Figure 1 : Approche générale de l'adaptation et contribution du projet

1.4. PERIMETRE TERRITORIAL CONSIDERE DANS CE RAPPORT

Le projet ayant été engagé en 2015 avant la réforme territoriale, le périmètre d'étude était initialement restreint à l'ex-région Aquitaine, c'est-à-dire de l'estuaire de la Gironde au nord jusqu'à l'embouchure de la Bidassoa au sud. Dans la synthèse des connaissances de l'impact du changement climatique sur les aléas littoraux (Le Cozannet et al., 2016), les auteurs se sont

efforcés autant que possible d'élargir le périmètre d'étude au littoral charentais. Dans le présent rapport en revanche, le périmètre d'étude initial est conservé. Il sera ainsi fait volontairement référence à la région Aquitaine pour désigner le littoral de la Nouvelle-Aquitaine se situant au sud de l'estuaire de la Gironde.

1.5. LIMITE DE L'APPROCHE

L'étude de l'évolution des risques naturels nécessite de prendre en compte à la fois l'évolution des aléas et celle de la vulnérabilité du territoire. Cette dernière peut s'évaluer à travers une prospective socio-économique qui consiste à explorer les futurs possibles en construisant, de manière concertée, des scénarios qualitatifs et quantitatifs contrastés pour se projeter, pour anticiper l'évolution future de la vulnérabilité du territoire et éclairer les décisions d'aménagement.

Une synthèse bibliographique des éléments de prospective disponibles sur l'évolution de la démographie et de l'étalement urbain en Aquitaine a été réalisée et est présentée en Annexe 1. Les principales tendances identifiées à horizon 2050-2070 sont un accroissement de la population et du nombre de ménages plus fort en Aquitaine qu'en moyenne nationale, impliquant des besoins en nouveaux logements. Cet accroissement de la population se concentrerait dans les départements littoraux et sur les séniors.

Cette synthèse donne des pistes de réflexion sur l'évolution future de la vulnérabilité de la frange littorale à partir de l'analyse de données existantes touchant la démographie et l'habitat. Néanmoins, l'évaluation des mesures d'adaptation proposée dans ce rapport n'en tiendra pas compte pour plusieurs raisons :

- en premier lieu, les échelles de temps pour lesquelles les scénarios prospectifs ont une valeur prédictive ne dépassent jamais quelques décennies du fait des incertitudes croissantes qui pèsent sur le réalisme de ces scénarios hypothétiques à mesure que l'on se projette dans l'avenir. Dans le contexte du changement climatique, cela correspond à du court voire moyen terme (cf. Le Cozannet et al., 2016), si l'on considère que l'élévation du niveau de la mer se poursuivra pendant plusieurs siècles (Clark et al., 2016). L'évaluation des mesures d'adaptation sur le long terme (plusieurs siècles) ne peut donc se faire qu'à partir de la confrontation avec les évolutions anticipées de l'aléa et non du risque.
- deuxièmement, les changements sur la frange littorale, particulièrement en ce qui concerne l'aménagement du territoire, sont intrinsèquement liés à la réglementation en vigueur. Dans les conditions actuelles (sans modification de la réglementation), il est peu probable, par exemple, que l'on assiste à une densification massive de l'urbanisation sur les sites balnéaires. Néanmoins, l'actualité récente à l'Assemblée Nationale (succession de propositions de lois sur la frange littorale) tend à montrer que la situation pourrait évoluer dans un futur proche. L'incertitude sur ce contexte réglementaire et les objectifs des futures politiques publiques en matière de limitation de l'étalement urbain n'est pas propice à l'élaboration de scénarios partagés avec les acteurs.
- enfin, la méthode proposée dans ce rapport pour évaluer les mesures d'adaptation est générique (cf. Chapitre 3) et est ainsi décorrélée de tout contexte géographique local. Les éléments de prospective disponibles sont difficilement exploitables dans une telle approche. L'utilisation d'une prospective socio-économique dans le cadre de l'adaptation au changement climatique est sans doute plus adaptée à un contexte local où les futurs possibles peuvent être précisés, adaptés et dont l'échelle spatiale permet de travailler sur des chemins d'adaptation à partir des scénarios prospectifs. Les deux points précédents restent néanmoins un frein majeur à l'utilisation de l'outil prospectif à l'échelle locale.

En résumé, **la suite de ce rapport se concentre exclusivement sur l'évaluation des mesures d'adaptation aux risques côtiers dans le contexte du changement climatique en confrontant les mesures d'adaptation aux évolutions anticipées des aléas et non des risques. L'évolution de la vulnérabilité, en lien avec les transformations territoriales, n'est pas prise en compte, ce qui constitue une limite à cette étude.** En revanche, la réduction de la vulnérabilité existante, induite ou visée par les mesures d'adaptation, est quant à elle bien prise en compte (voir Chapitre 2).

2. Mesures d'adaptation aux risques littoraux dans le contexte du changement climatique

À la différence des mesures d'atténuation visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et donc attaquant le changement climatique à la racine, les mesures d'adaptation visent à limiter les impacts négatifs du changement climatique sur nos sociétés. Beaucoup de mesures d'adaptation ne sont pas spécifiquement élaborées pour faire face au changement climatique. Il s'agit avant tout de mesures d'adaptation aux risques naturels qui peuvent déjà être mises en œuvre en France ou ailleurs. Ces mesures visent donc à réduire les niveaux de risque auxquels une société peut faire face. L'adaptation peut ainsi jouer à deux niveaux : la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes et la réduction des niveaux d'aléa.

2.1. CLASSIFICATION DES MESURES D'ADAPTATION

Cinquante-et-une mesures d'adaptation génériques aux risques d'érosion et de submersion marine ont été recensées dans cette étude. Ces mesures sont déjà appliquées ou envisageables sur les côtes françaises et plus particulièrement sur la côte aquitaine. Elles sont issues d'une revue à la fois nationale et internationale qui s'est notamment appuyée sur :

- le chapitre 14 du rapport du GIEC (Noble et al., 2014),
- le rapport sur les impacts du changement climatique en Aquitaine sous la direction d'Hervé Le Treut (CRA, 2013),
- le rapport de synthèse des options d'adaptation dans les zones côtières (US EPA, 2009),
- le guide de l'adaptation au changement climatique côtier (US AID, 2009),
- le guide des mesures technologiques pour l'adaptation au changement climatique (Lingham and Nicholls , 2010),
- le rapport « *Impacts du changement climatique, Adaptation et coûts associés en France pour les risques côtiers* » (Le Cozannet et al. 2009),
- le rapport du projet ARAI 3 sur les Aménagements et ouvrages côtiers polynésiens (Garcin, 2013),
- le guide du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer sur La gestion du trait de côte (MEEDDM, 2010),
- le rapport du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, du Transport et du Logement sur le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (MEDDTL, 2011),
- le livret « changement climatique » du Conservatoire du Littoral (CDL, 2012),
- le rapport n°5 de la mission confiée à Jean Jouzel sur l'évolution du climat en France (Planton et al., 2015),
- le rapport du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie sur l'évaluation du PNACC (MEDDE, 2015a).

Afin de faciliter la lecture et l'analyse, les mesures d'adaptation recensées ont été classées en quatre grandes catégories (actions pour la gestion souple des espaces naturels, actions sur l'aléa, actions sur les enjeux, actions complémentaires, voir Tableau 2), elles-mêmes déclinées selon les modes de gestion de la zone côtière que l'on retrouve dans la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (MEDDTL, 2012) et dans la stratégie régionale de gestion de la bande côtière en Aquitaine portée par le GIP Littoral Aquitain (GIP, 2012, 2016). Le choix de cette classification a été discuté et validé au sein du Comité de suivi du projet afin d'afficher une cohérence avec la sémantique des actions régionales engagées par ailleurs (exemple : stratégies

locales). En outre, l'évaluation des mesures d'adaptation nécessite de les rapporter systématiquement à l'objectif et l'usage initiaux pour lesquels elles sont destinées. La classification proposée permet d'organiser les différentes mesures selon ces objectifs et usages, représentés par les modes de gestion de la zone côtière.

Pour conserver un lien avec les pratiques internationales et apporter un éclairage supplémentaire sur les caractéristiques des mesures, la classification des mesures d'adaptation selon leur nature « physique », « sociale » et/ou « institutionnelle » du GIEC a été utilisée. Le chapitre 14 du 5^{ème} rapport du GIEC classe en effet les mesures de manière non exclusive³ ainsi (GIEC, WGII AR5 Chap. 14.3 Table 14-1 ; Noble et al., 2014) :

- *Les mesures structurelles ou physiques* regroupent des solutions techniques, technologiques, d'ingénierie, basées sur les écosystèmes ou encore des services. « Ces mesures sont ponctuelles, avec des résultats et impacts clairs et bien définis à la fois dans l'espace, le temps et vis-à-vis de l'objectif pour lequel elles sont déployées » (GIEC, WGII AR5 Chap. 14.3.1). Exemples : ouvrages de protection, rechargement de plage, etc.
- *Les mesures sociales* incluent des solutions d'éducation, d'information et des solutions comportementales (GIEC, WGII AR5 Chap. 14.3). Il peut s'agir par exemple de sensibilisation aux risques et intégration à l'éducation, services climatiques, systèmes d'alerte précoces, communication à travers les médias, etc.
- *Les mesures institutionnelles* regroupent des solutions basées sur la législation, les politiques publiques ou encore l'économie (GIEC, WGII AR5 Chap. 14.3). Les incitations financières y compris les taxes et les subventions, les assurances, les Plans de Prévention des Risques, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, etc. sont des exemples de mesures institutionnelles. Ces mesures peuvent jouer à différents niveaux, national, régional ou local.

La classification des mesures d'adaptation choisie dans cette étude permet ainsi d'identifier à la fois le mode de gestion auquel elles sont rattachées et leurs caractéristiques, ce qui informe sur les moyens nécessaires à leur mise en œuvre.

L'inventaire des mesures d'adaptation aux risques d'érosion et de submersion marine présenté ici n'a pas pour prétention d'être absolument exhaustif, en particulier en ce qui concerne les mesures de la catégorie « actions complémentaires ». Celles-ci peuvent être extrêmement diversifiées et dépendent fortement du contexte économique, politique et législatif du moment aux échelles locale, régionale et/ou nationale.

³ Certaines mesures d'adaptation peuvent être classées de manière pertinente dans plusieurs catégories.

	Modes de gestion du GIP Littoral Aquitain	Mesures d'adaptation	Caractéristiques des mesures			
			Physique	Sociale	Institutionnelle	
Actions pour la gestion souple des espaces naturels	Évolution naturelle surveillée (submersion et érosion)	<ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'un réseau de surveillance / observation (->) 	✓	✓	✓	
	Accompagnement des processus naturels (érosion)	<ul style="list-style-type: none"> Mise en place de branchages, ganivelles, filets brise-vent, etc. (->) Mise en place de palissade en avant de falaise (->) Végétalisation (dune, falaise, etc.) (->) Restauration de milieux humides , dépoldérisation (->) Gestion de la fréquentation (->) 	✓ ✓ ✓ ✓	✓	✓	
Actions sur l'aléa	Atténuation de l'aléa (submersion)	<ul style="list-style-type: none"> Retrait / abandon des ouvrages de protection existants (->) Restauration de milieux humides, dépoldérisation (->) Digue de second rang (->) 	✓ ✓ ✓			
	Résistance face à l'aléa (submersion)	<ul style="list-style-type: none"> Réhabilitation ou reconstruction de dunes (->) Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur (->) <ul style="list-style-type: none"> Murs et murets Enrochements de haut de plage Brise-lames (naturels ou non, immergés ou non) Pieux hydrauliques Digues, super digues, digues successives, digues anti-franchissement (anti-submersion), etc. Mise en place de moyens de défense temporaires (->) Mise en place de barrages anti-tempêtes amovibles au niveau des estuaires (->) Limiter les actions favorisant la subsidence (pompage eau potable, exploitation pétrolière, gaz, etc.) (->) 	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓		✓	
	Lutte active souple (érosion)	<ul style="list-style-type: none"> Rechargement de plage et/ou de dune (->) Drainage de plage (->) 	✓ ✓			
	Lutte active dure (érosion)	Côte sableuse	<ul style="list-style-type: none"> Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur (->) <ul style="list-style-type: none"> Epis Brise-lames (naturels ou non, immergés ou non) Perrés Palissade en pied de dune Enrochements de haut de plage Pieux hydrauliques Digues Retrait / abandon des ouvrages de protection existants (->) Géotextile (->) 	✓ ✓ ✓		
		Côte rocheuse	<ul style="list-style-type: none"> Remodelage, reprofilage (->) Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur (->) <ul style="list-style-type: none"> Enrochement de pied de falaises Murs de soutènement Epis Perrés Confortement de falaises Création de terrasses Drainage des falaises (->) Mise en place d'aménagements en haut de falaise pour éviter le ruissèlement et l'infiltration (->) 	✓ ✓ ✓ ✓		

Actions sur les enjeux	Réduction de la vulnérabilité (submersion et érosion)	Actions sur les constructions (submersion)	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments étanchéifiés ou circulation de l'eau facilitée (->) Bâtiments flottants ou amphibies (et ancrés) (->) Rez-de-chaussée plus élevé (->) Constructions sur pilotis (->) Bâtiments démontables (->) Maison bateau (->) Matériaux de construction non sensibles à l'eau et au sel (->) Positionnement des réseaux (électrique, eau potable, égouts...) (->) 	✓			
		Actions sur les constructions (érosion)	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments démontables (->) 	✓			
		Autres actions de réduction de la vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> Normes de construction adaptées aux risques (->) Surélévations artificielles (île artificielle, tertre sous un bâtiment) (->) Repli stratégique (->) Mise en place d'un programme de gestion du foncier (échanges de terres) (->) <p><u>Préparation à la crise :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Plan Communal de Sauvegarde (->) Sorties de secours des bâtiments adaptées au niveau d'aléa (->) Routes d'évacuation au-dessus du niveau de l'eau (->) Protection des bâtiments/zones stratégiques ou dangereuses (->) 	✓	✓	✓	✓
Actions complémentaires	Tous	Connaissance	<ul style="list-style-type: none"> Réseau de surveillance et/ou d'observatoires (suivis) (->) Cartographie d'aléa et de vulnérabilité (->) Mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire (->) Conférences et réseau de recherche (->) 	✓	✓	✓	✓
		Éducation	<ul style="list-style-type: none"> Formations dédiées aux risques et au changement climatique (->) Conférences et réseau de recherche (->) Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements ou une relocalisation (->) 		✓	✓	✓
		Information	<ul style="list-style-type: none"> Mise en place ou amélioration des systèmes d'alerte précoce (->) Services climatiques (->) Concertation (->) Communication à travers les médias (->) 	✓	✓	✓	✓
		Urbanisme	<ul style="list-style-type: none"> Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme (->) Éviter d'installer de nouvelles constructions dans les zones menacées (->) 		✓	✓	✓

Tableau 2 : Classification des mesures d'adaptation aux risques côtiers (érosion et submersion marine).

2.2. DESCRIPTION DES MESURES D'ADAPTATION

2.2.1. Actions pour la gestion souple des espaces naturels

Cette catégorie d'actions regroupe les deux modes de gestion du littoral que sont l'évolution naturelle surveillée et l'accompagnement des processus naturels.

L'évolution naturelle surveillée regroupe des mesures particulièrement adaptées aux espaces naturels sans enjeux humains à proximité et valables aussi bien pour l'érosion que pour la submersion. Il s'agit de se doter d'outils de surveillance du littoral pour acquérir de la connaissance sur les processus physiques en jeu et ainsi d'anticiper les évolutions à venir et le passage éventuel à d'autres modes de gestion.

L'accompagnement des processus naturels regroupe des mesures destinées à gérer de manière souple les dunes littorales, les marais et les falaises afin de limiter l'érosion. Sur la côte sableuse aquitaine par exemple, il s'agit de gérer les stocks sableux dunaires par l'introduction de plantes ou d'autres méthodes d'ingénierie écologique afin de fixer le sable et limiter l'érosion éolienne.

Évolution naturelle surveillée (submersion et érosion)

Mise en place d'un réseau de surveillance / observation

Il s'agit de surveiller de manière régulière et pérenne l'évolution de la côte sans intervention directe contre l'érosion ou la submersion. Ce type de mesure est particulièrement adapté aux espaces naturels, cependant, elle peut être combinée à d'autres actions dans des zones à plus fort enjeux. La surveillance peut porter sur les conditions météorologiques, un suivi de la position du trait de côte (suivis DGPS, photographies aériennes, images satellites...), de la morphologie des plages et des petits fonds (levés topographiques (Figure 2) et bathymétriques, suivis vidéos, LiDAR...) ou encore des retours d'expérience post-tempêtes sur les secteurs sensibles à l'érosion et/ou la submersion. Cette mesure permet d'analyser les relations existantes entre les facteurs de forçage et les aléas côtier et participe à une amélioration significative des connaissances sur la zone de suivi. Ces connaissances sont fondamentales pour améliorer les modélisations prédictives et la prise en compte des risques ; elles permettent par ailleurs de fournir des éléments tangibles nécessaires au développement de la culture du risque.



Figure 2 : Levé topographique à Gujan-Mestras (Bassin d'Arcachon) ©Observatoire de la Côte Aquitaine

Exemples d'application en dehors de la région Nouvelle-Aquitaine :

- Réseau d'observation du littoral Normand et Picard (<http://www.rolnp.fr/rolnp/>) : il s'agit d'un partenariat entre les anciennes Régions Picardie, Haute-Normandie, Basse-Normandie et le Conservatoire du Littoral, initié en 2011. L'échelle de travail interrégionale permet d'appréhender des phénomènes qui, par leur nature, dépassent les frontières administratives. Les thématiques traitées sont la dynamique côtière, les risques littoraux, la biodiversité. Le ROLNP est un centre de ressources interrégional (capitalisation et valorisation de la connaissance) et un outil de porter à connaissance et d'aide à la décision.
- Observatoire du littoral des Pays de Monts : initié en 2009 par la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts, l'Observatoire du littoral du Pays de Monts vise, par son caractère pérenne, à constituer un véritable outil d'aide à la gestion prévisionnelle du trait de côte. Il couvre un linéaire côtier sableux de 19 km allant de La-Barre-de-Monts (Fromentine) à Saint-Jean-de-Monts (plage des Demoiselles) en Vendée.
- Parc naturel régional de Camargue : mise en place d'un dispositif d'observation de l'embouchure du Grand Rhône orienté sur la dynamique deltaïque et les conséquences des changements climatiques, en collaboration avec le Syndicat Mixte du Domaine de la Palissade (gestionnaire du site) et l'Observatoire Camargue.

Références : GIP (2012), Noble et al. (2014), Bulteau et al. (2011)

Accompagnement des processus naturels (érosion)

- Mise en place de branchages, ganivelles, filets brise-vent

La mise en place de branchages, de ganivelles (Figure 3) ou de filets brise-vent, permet de limiter le transport éolien des grains de sable, de les piéger au niveau de la dune ou de la plage, et ainsi de favoriser une restauration dunaire. En outre, ces techniques peuvent aussi avoir un effet dissuasif limitant la fréquentation et le piétinement. Elles sont destinées aux côtes sableuses.

Exemple d'application : Dunes de Dragey, Manche (Conservatoire du Littoral)

Références : GIP (2012), ONF (2017), Conservatoire du Littoral⁴

⁴ http://www.conservatoire-du-littoral.fr/siteLittoral/208/28-dunes-de-dragey-50_manche.htm

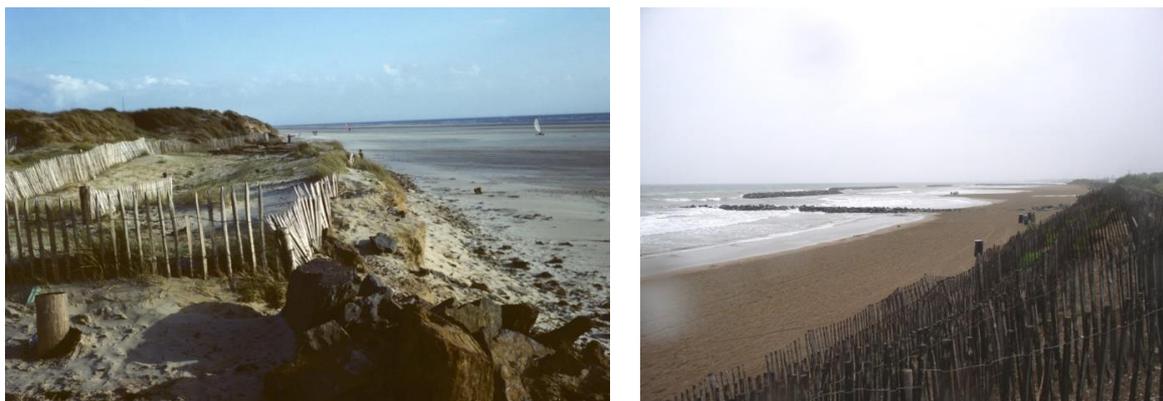


Figure 3 : Gauche : Dunes protégées par des ganivelles, bordant une plage de sable du Cotentin Ouest (Hatainville, Manche, 1990) © BRGM - Roland Paskoff. Droite : Épis, brise-lames et ganivelles (La Tamarissière-Grau D'Agde, 2006) Photo : Manuel Garcin.

- Mise en place de palissade en avant de falaise

L'installation d'une palissade en avant du pied de la falaise (Figure 4) permet en théorie de soustraire celui-ci à l'action directe des vagues et d'en limiter l'érosion. Cette mesure n'est efficace que temporairement et si l'action des vagues est la seule cause de l'érosion de la falaise.

Exemple d'application : Plage d'Isla Vista à côté de Santa Barbara (USA)

Référence : UC Santa Barbara⁵

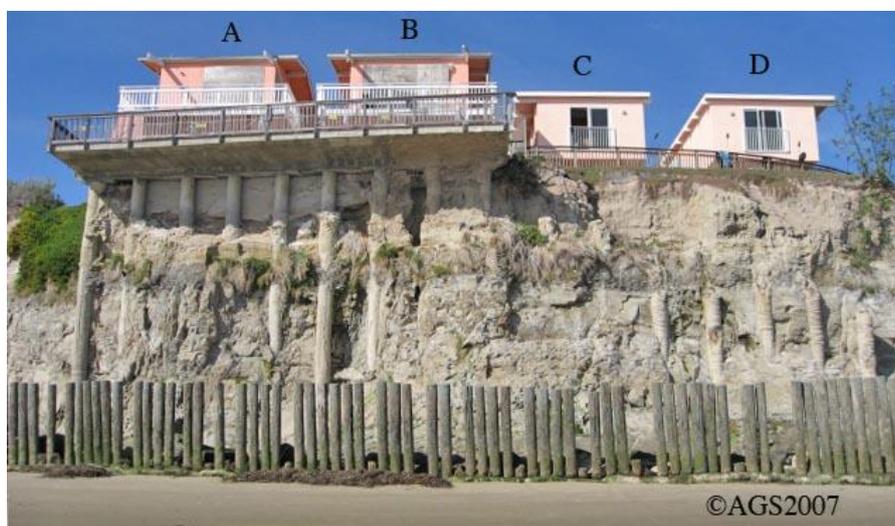


Figure 4 : Érosion de falaise à Isla Vista Beach (USA) et palissade

⁵ http://www.geol.ucsb.edu/faculty/sylvester/UCSB_Beaches/IVCLIFFS/IVclifferosion1.html

- Végétalisation (dune, falaise)

L'implantation d'une végétation adaptée sur une dune permet de piéger et de fixer le sable déplacé par le vent et, de fait, participe à sa pérennisation voire à son développement. De même sur une falaise, une végétation adaptée permet de maintenir la cohésion du sol, de limiter les infiltrations d'eau et donc de limiter l'érosion. À noter toutefois que la croissance du système racinaire peut provoquer un effet balancier et entraîner des fracturations dans la roche, ce qui peut provoquer des déstabilisations.

Comme des tempêtes peuvent éroder une dune quel que soit son couvert végétal, la végétalisation est une mesure qui ne peut pas être considérée comme un moyen de lutte active contre l'érosion.

Exemples d'application :

- Végétalisation pour aider au maintien et à la reconstruction des avant-dunes de Messanges dans les Landes (Favennec, 2006)
- Revégétalisation d'une dune aux Cabanes de Fleury (site du Conservatoire du Littoral) par l'EID Méditerranée en 2015⁶
- Reconstruction de dune et végétalisation au Cap-Ferret (Figure 5)

Références : Favennec (2006), De La Torre (2008), Noble et al. (2014), Le Cozannet et al. (2009), ONF (2017)



Figure 5 : Reconstruction de dune et végétalisation au Cap-Ferret, 2012. Photo : Manuel Garcin.

⁶ <http://www.eid-med.org/actualites/dunes-la-vegetalisation-en-images>

- Restauration de milieux humides, dépoldérisation

Le code de l'Environnement définit les milieux humides comme des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année » (Art.L211-1).

Sur le littoral aquitain, les milieux humides (Figure 6) sont des zones plates plus ou moins étendues, découvertes à marée basse. On distingue la slikke (recouverte à chaque marée haute) du schorre (zone recouverte uniquement lors des grandes marées). Les milieux humides permettent de réduire l'énergie des vagues et des marées en favorisant la dissipation de l'énergie dans la zone intertidale. Cela réduit le pouvoir érosif des vagues et les risques d'inondation côtière en diminuant la hauteur des surcotes de tempêtes. Afin de restaurer/préserver les milieux humides, il est recommandé de maintenir des corridors non urbanisés pour relier les zones naturelles entre elles, de permettre aux zones humides de migrer à l'intérieur des terres ou de conserver un réseau de zones humides terrestres qui peuvent prendre le relais des zones humides littorales peu à peu absorbées par le recul du trait de côte, d'intégrer des zones tampons naturelles aux limites des estuaires et de durcir les régulations concernant l'introduction d'espèces invasives qui peuvent menacer l'équilibre des milieux humides.

Exemples d'application :

- Restauration des dunes humides de l'île de Terschelling aux Pays-Bas (Eurosite, 2011)
- Marais de Graye sur mer, Calvados (Conservatoire du Littoral)
- Dépoldérisation de l'Île du Nord et de l'Île Verte dans l'estuaire de la Gironde (Conservatoire du littoral)⁷

Références : Noble et al. (2014), Linham and Nicholls (2010), US EPA (2009), US AID (2009), CDL (2012).



Figure 6 : Gauche : Île aux oiseaux, Bassin d'Arcachon (33) ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Michel Le Collen, 2009. Droite : Slikke à Arès, Bassin d'Arcachon (33). Photo : Thomas Bulteau.

⁷ <http://www.conservatoire-du-littoral.fr/siteLittoral/476/28-la-grande-ile-33-gironde.htm>

- Gestion de la fréquentation

La gestion de la fréquentation des zones littorales naturelles (par exemple l'interdiction de marcher sur les dunes, cf. Figure 7), permet de préserver des zones sensibles de la dégradation liée au piétinement (disparition de la végétation, accroissement de l'effet négatif du vent). Cette mesure est essentiellement destinée au littoral sableux.

Exemples d'application :

- Dune de Graves, Gironde
- Dunes de Dragey, Manche
- Dunes de l'île de Ré, du Pays Marennes Oléron, de la presqu'île d'Arvert, Charente-Maritime
- Dune du Grand Bec, Vendée (Conservatoire du Littoral).

Références : GIP (2012), Le Cozannet et al. (2009), ONF (2017)



Figure 7 : Gestion de la fréquentation en lien avec la revégétalisation de la dune © BRGM - Roland Paskoff

2.2.2. Actions sur l'aléa

Cette catégorie d'actions regroupe les quatre modes de gestion du littoral que sont l'atténuation de l'aléa, la résistance face à l'aléa, la lutte active souple et la lutte active dure.

L'atténuation de l'aléa concerne la submersion marine et regroupe des mesures destinées à contrôler les écoulements afin d'atténuer les sollicitations des submersions et des inondations (dans les zones d'embouchures fluviales) sur les secteurs stratégiques.

La résistance face à l'aléa concerne également la submersion marine et regroupe des mesures destinées à empêcher l'entrée d'eau sur le territoire ou à favoriser l'évacuation de l'eau qui rentre sur le territoire.

La lutte active souple concerne l'érosion des côtes sableuses et regroupe des mesures dont l'objectif est de ralentir ou stopper temporairement les processus naturels d'érosion. Ces mesures sont dites souples car elles n'engagent pas de mutation profonde de l'environnement et ne vont pas à l'encontre des processus naturels.

La lutte active dure concerne l'érosion (côtes sableuses ou rocheuses) et regroupe essentiellement des mesures physiques dont l'objectif est de stopper l'érosion ou de fixer le trait de côte. Ces mesures sont dites dures car elles modifient généralement l'environnement en perturbant les processus naturels.

Atténuation de l'aléa (submersion)

- Retrait / abandon des ouvrages de protection existants

Il s'agit de l'action délibérée de retirer ou de ne pas reconstruire un ouvrage de défense contre les submersions ou contre l'érosion afin de permettre l'inondation temporaire ou permanente d'une zone précédemment protégée lorsque l'entretien ou la reconstruction des ouvrages devient trop coûteux par rapport aux enjeux qu'ils sont censés défendre, ou plus néfaste que bénéfique (érosion induite par exemple).

Le retrait ou l'abandon d'ouvrages de protection existants permet parfois à la côte de se rééquilibrer. En revanche, ce n'est pas toujours réalisable quand des zones urbanisées se situent en arrière des ouvrages et qu'aucun plan de recomposition spatiale à la bonne échelle n'a été enclenché. En effet, les mesures d'effacement d'ouvrage impliquent dans ce cas la mise en œuvre de solutions alternatives pour protéger les populations et autres enjeux, comme par exemple une relocalisation des constructions (voir §2.2.3). Cela rend ainsi l'opération très coûteuse sans mentionner les problèmes liés à l'acceptation d'un tel projet et du cadre réglementaire nécessaire pour l'encadrer. De manière générale, le coût de retrait des ouvrages est fréquemment un frein.

Exemple d'application : *Medmerry Managed Realignment* - Selsey, West Sussex, Angleterre: suite à de nombreuses brèches dans le système de défense existant et à un entretien coûteux, une zone naturelle située entre des points d'urbanisation a été rouverte à la mer, assurant une meilleure protection de la région contre les submersions que le système de défense précédemment en place⁸.

Références : Linham and Nicholls (2010), US EPA (2009), US AID (2009), Planton et al. (2015).

- Restauration de milieux humides, dépoldérisation

Voir § 2.2.1 Accompagnement des processus naturels.

- Digues de second rang

Les digues de second rang sont une protection supplémentaire à un système de défense de première ligne. Cette mesure est donc étroitement liée au mode de gestion « résistance face à l'aléa » (voir ci-après). Le principe des digues de second rang consiste à subdiviser l'enveloppe principale du système d'endiguement afin de réduire le risque d'inondation sur les enjeux en cas de rupture des ouvrages de première ligne et permettre ainsi d'atténuer les écoulements en créant un deuxième rempart. Ce type de mesures peut également être déployé sur des secteurs

⁸ <https://www.ice.org.uk/disciplines-and-resources/case-studies/managed-realignment-at-medmerry-sussex>

en arrière de cordons dunaires naturels directement exposés au risque de submersion (débordement ou brèche).

Exemple d'application : Digue de second rang dite « des galiotes » dans le système de protection de l'Anse de Godechaud au maris du Chai, sur les communes d'Aytré et d'Angoulins-sur-Mer (autorisation préfectorale de juin 2017).

Référence : GIP (2016), Planton et al. (2015), CDL (2012)

Résistance face à l'aléa (submersion)

- Réhabilitation ou reconstruction de dunes

Les dunes, qui ne peuvent pas être assimilées à un système d'endiguement, jouent un rôle important non seulement pour la prévention des risques côtiers mais aussi pour l'écosystème. Lors des tempêtes, elles servent de barrières naturelles aux vagues énergétiques et aux niveaux marins élevés, aidant ainsi à prévenir les submersions marines. Les dunes constituent également un volume de sable disponible mobilisable par les processus d'érosion, offrant un premier rempart naturel face aux assauts de l'océan, et protégeant ainsi les territoires bâtis situés en arrière. Plus une dune est haute et large, plus son rôle de protection contre l'érosion et la submersion est accru (ONF, 2013).

Les dunes végétalisées piègent les grains de sable soufflés par le vent, entretenant ainsi leur propre croissance et renforçant leur rôle de protection contre l'érosion et la submersion. La réhabilitation des dunes peut prendre différentes formes selon l'état du système dunaire. Il peut s'agir de mesures d'accompagnement de la croissance de la dune, avec de la végétalisation, des ganivelles, des palissades ou des filets brise-vent, ou du reprofilage par l'apport ou le déplacement de sédiments (Figure 8). Cependant, la réhabilitation peut se heurter à de possibles conflits d'intérêt (activités récréatives dans les dunes par exemple) ou des difficultés à faire accepter les mesures et leurs coûts aux habitants, qui ne voient pas forcément cette action comme une mesure de protection (Avalon, New Jersey, USA. Nordstrom et al. (2010)). En Aquitaine, la réhabilitation est la règle en secteur naturel comme au voisinage des plans plages.

Exemples d'application :

- Réhabilitation de la dune « urbaine » de Lacanau Sud en 2004-2005 (Favennec, 2006)
- Reprofilage de la dune en arrière de la plage Le Petit-Nice en 2015 sur la commune de La Teste-De-Buch, en Gironde

Références : Noble et al. (2014), Linham and Nicholls (2010), US AID (2009), ONF (2017).

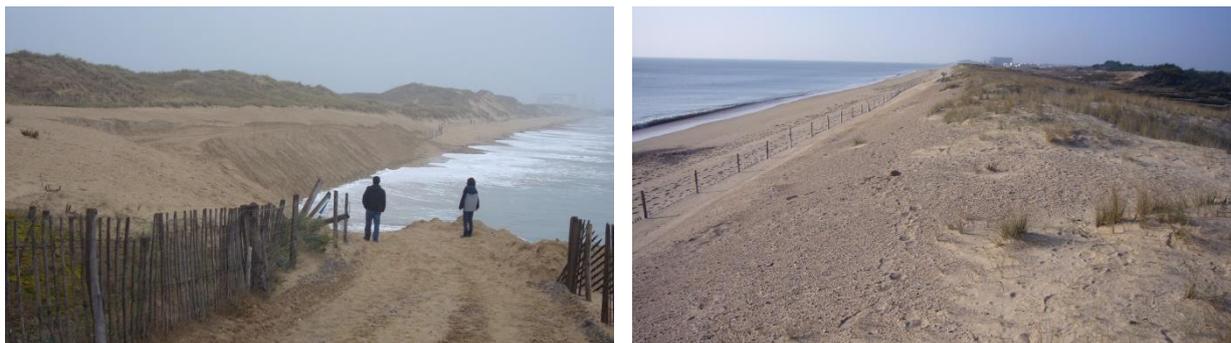


Figure 8 : Gauche : Pied de dune reprofilé avant les grandes marées de mars 2015 - (Notre-Dame-des-Monts, Les Marines). Photo : Manuel Garcin. Droite : Reconstruction de dune - La Pège, Vendée, 2015. Photo: Manuel Garcin.

- Ajustement/surélévation/installation de défenses en dur

Afin d'adapter la protection au niveau de l'aléa considéré, il peut être envisagé d'installer un ouvrage, de le renforcer ou de le redimensionner s'il en existe déjà un (Sergent, 2012). Le redimensionnement étant coûteux, le renforcement est souvent préféré. Il peut alors s'agir, par exemple, de renforcer des murs ou murets existants avec des enrochements.

Pour la protection des zones basses contre la submersion, les digues sont efficaces si elles sont bien dimensionnées par rapport au phénomène. Néanmoins, le dimensionnement est généralement réalisé en lien avec à un aléa de référence (intensité et période de retour données) et ne sera pas adapté à des événements plus rares et plus intenses. De plus, l'emprise au sol des digues est très importante et le rehaussement d'une digue afin de compenser l'élévation du niveau de la mer par exemple, nécessite d'augmenter considérablement son emprise au sol.

Le concept de super-digue (Figure 9) est peu expérimenté mais vise à solutionner le problème des ruptures de digues. En effet, il s'agit de rehausser le niveau du sol à l'aide de remblai en arrière de la digue, de la hauteur de celle-ci et de façon à ce que la pente reste faible (autour de 3%, CEPRI, 2015). L'installation d'une super-digue n'est donc pas aisément envisageable dans des zones déjà construites.



Figure 9 : Schéma de principe d'une super-digue. Source CEPRI (2015).

Les ouvrages en dur à la côte ou sur l'estran donnent lieu à divers phénomènes de dissipation énergétique ou de transformation de la houle (diffraction, réfraction, voire réflexion).

Les enrochements et les brise-lames ont l'avantage de pouvoir être redimensionnés progressivement, et demandent moins de place qu'une digue. Les murs verticaux, utilisés pour retenir les remblais ou les sédiments, sont, quant à eux, des ouvrages qui ne font que réfléchir l'énergie des vagues lorsqu'ils ne sont pas submergés par déferlement. À cause de l'augmentation de l'énergie induite, ils génèrent également une érosion accrue sur la plage au droit de l'ouvrage et conduisent généralement à l'abaissement du niveau de plage.

Ces ouvrages, bien que fort utilisés par le passé, peuvent engendrer des effets négatifs à leurs extrémités (érosion accrue de par la réfraction de la houle) ou sur des sites voisins car leur présence peut perturber la dérive sédimentaire. Ils peuvent également perturber les écosystèmes en altérant la dune (écosystème mobile par nature) et ses relations avec la plage.

Exemples d'application :

- Andernos-les-bains : rehaussement de murets suite à Xynthia (Figure 10)
- Saint-Jean-de-Luz : brise-lame (« digue de l'Artha ») (Figure 11)
- Renforcement de digues aux États-Unis (Caroline du Nord, Tyrell County, US EPA (2009))

Références : Noble et al. (2014), Linham and Nicholls (2010), CRA (2013), US EPA (2009), Planton et al. (2015).



Figure 10 : Gauche : Rehaussement de muret et ajout d'une seconde ligne de murets en arrière suite à la tempête Xynthia (Andernos-les-Bains, Photo ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Garcin, 2013). Droite : Rehaussement de muret et fermeture provisoire d'accès à la plage par batardeaux (Andernos les-Bains, Photo ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Garcin, 2013).

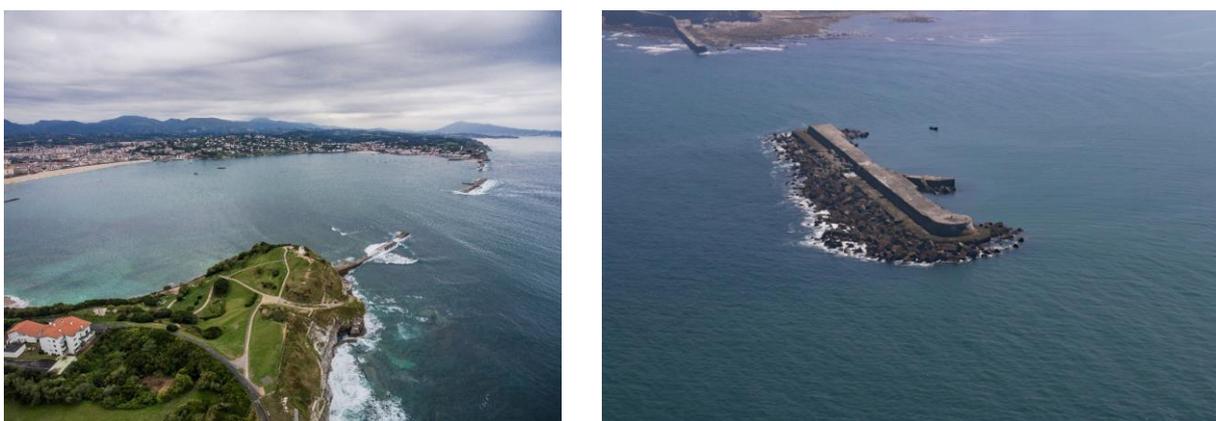


Figure 11 : Brise-lame à l'entrée de la baie de Saint-Jean-de-Luz : la « digue de l'Artha ». Gauche : ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM. Droite : ©Observatoire de la Côte Aquitaine, ULM Sud Bassin.

- Mise en place de moyens de défense temporaires

La mise en place de systèmes amovibles tels que des sacs de sable, batardeaux, barrières, etc. permet de se protéger temporairement des entrées d'eau lors d'évènements de tempête.

Exemples d'application :

- Valras-plage, Andernos, etc. (Figure 12)
- Plymouth, Royaume-Uni

Références : Noble et al. (2014), Linham and Nicholls (2010)



Figure 12 : Gauche : Batardeau en cours d'installation, Valras-Plage (2006). Photo Manuel Garcin.
Droite : Fermeture d'une porte étanche à Andernos (2012). Photo Manuel Garcin.

- Mise en place de barrages anti-tempêtes amovibles au niveau des estuaires

Les barrages anti-tempêtes dans les estuaires ont pour objectif de limiter la pénétration de la mer et l'élévation du plan d'eau lors des fortes tempêtes qui occasionnerait des submersions marines dans les marges estuariennes et des inondations fluviales en amont (par blocage des écoulements vers l'aval). Ces barrages peuvent être mis en place de manière ponctuelle, lors d'évènements, mais ils doivent être couplés à des systèmes de surveillance et de prédiction.

La mise en place de ces structures représente un fort investissement et des coûts d'entretien élevés. En outre, ils présentent un risque pour les populations et les enjeux situés à l'arrière en cas de défaillance du système ou de brèche dans le système d'endiguement auquel ce type de dispositif est généralement connecté.

Exemples d'application :

- le barrage sur la Tamise (Royaume-Uni) (Figure 13)
- le barrage géant téléguidé du « Maeslantkering », aux Pays-Bas (Figure 14)

Références : Linham and Nicholls (2010), Hillen et al. (2010), Ranger et al. (2013).

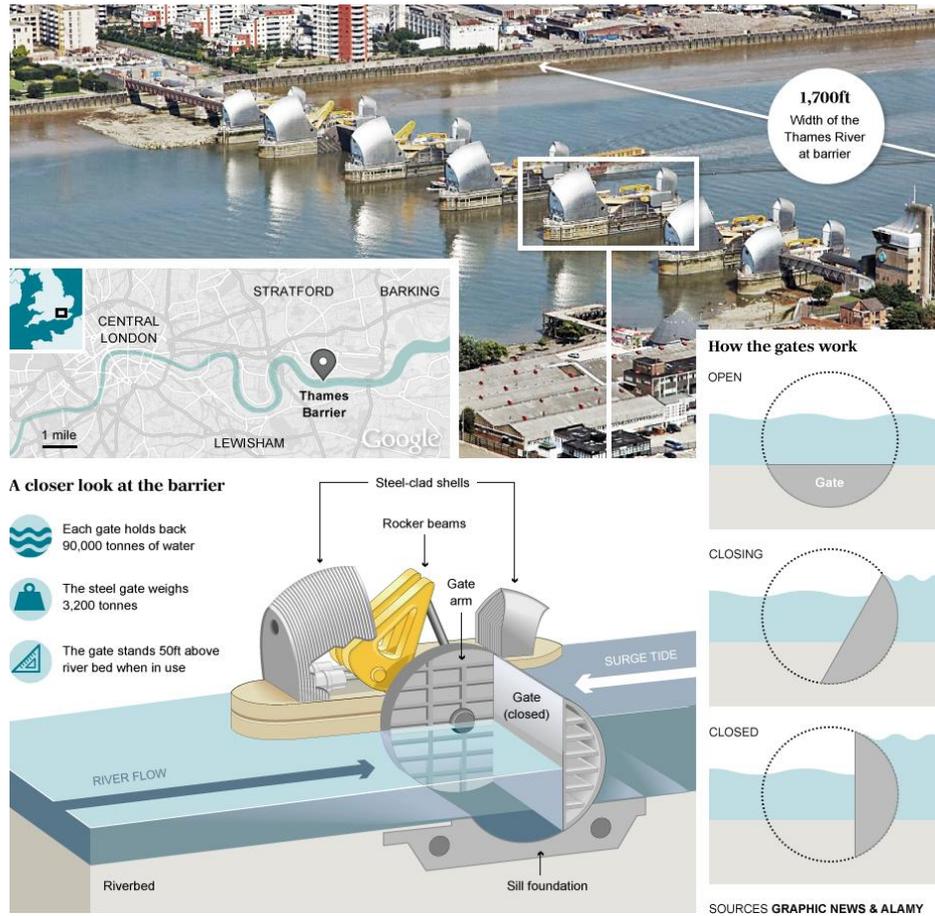


Figure 13 : Fonctionnement du barrage sur la Tamise (source Graphics news & Alamy)



Figure 14 : Barrage « Maeslantkering » en position fermée en aval du port de Rotterdam (Pays Bas) (source Rijkswaterstaat)

- Limitier les actions favorisant la subsidence (pompage eau potable, exploitation pétrolière, gaz, etc.)

Certaines actions humaines peuvent entraîner une subsidence, c'est-à-dire un affaissement du sol. Cet affaissement, outre les dommages qu'il peut engendrer sur les structures, expose la zone affectée à un risque d'inondation plus élevé, en particulier dans un contexte de hausse du niveau marin. Le sur-pompage d'un aquifère d'eau douce en zone côtière peut également entraîner l'intrusion d'eau salée dans l'aquifère de manière irréversible du fait de la différence de densité (Figure 15). Afin de prévenir la subsidence et réduire les intrusions salines dans les aquifères d'eau douce, il est conseillé de limiter le pompage dans les aquifères. En revanche, cette mesure nécessite de trouver une source d'eau douce alternative.

Exemple d'application : Certains quartiers de Jakarta, capitale de l'Indonésie, s'affaissent d'environ 5-10 cm par an

Références : Schmidt (2015).

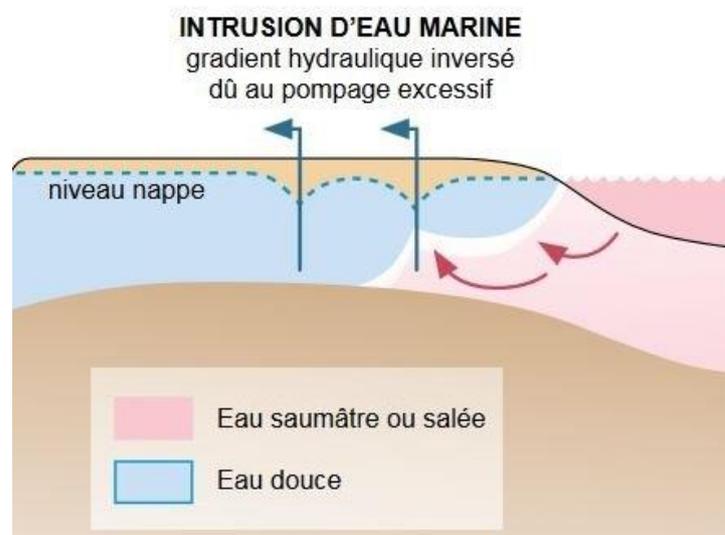


Figure 15 : Schéma de principe d'une intrusion saline dans un aquifère en milieu côtier. Source GW-MATE, d'après Vaessen et Brentführer (2015).

Lutte active souple (érosion)

- Rechargement de plage et/ou de dune

Le rechargement de plage se décline en 2 types d'actions :

- le **transfert de proximité**, qui consiste à apporter du sable, des graviers ou des galets, selon la composition initiale de la plage, en provenance de la même cellule hydrosédimentaire que le site étudié. On distingue alors le retroussage (mouvement du sable du bas de plage vers le haut de plage), du reprofilage (mouvement du sable du haut de plage vers le bas de plage) et du nivellement (répartition homogène du sable sur le profil) ;
- le **transfert distant**, qui consiste à apporter du sable, des graviers ou des galets, selon la composition initiale de la plage, en provenance d'une source extérieure à la cellule hydrosédimentaire considérée.

Le rechargement s'effectue soit directement sur la plage soit en mer, sur les petits fonds. Le sable sera alors déplacé et transporté sur la plage par les facteurs hydrodynamiques locaux pendant la période de reconstruction des plages (en été sur les plages aquitaines par exemple). Le rechargement vise à reconstituer le stock sédimentaire d'une plage suite à une perte de sédiments par érosion et/ou à modifier le profil de la plage de réfléchissant (i.e. forte pente) vers dissipatif (i.e. pente douce) pour augmenter l'atténuation de l'énergie des vagues. En revanche, le rechargement ne stoppe pas le phénomène d'érosion. Le rechargement peut affecter la faune et la flore locale, notamment si le matériau de rechargement ne correspond pas exactement au matériau natif en taille et/ou nature (IOC, 2009). En pratique, les actions de rechargement se font par camions (exemples en Aquitaine : Biscarrosse, Lacanau), par by-pass hydraulique (ex. : passage du Boucarot à Capbreton) ou par clapage/refoulement depuis un bateau (ex. : rechargement à la Teste-de-Buch).

L'apport de sédiments peut aussi concerner les dunes (voir § 2.2.2 Résistance face à l'aléa (submersion)).

Exemple d'application : Le rechargement de plage est une pratique courante, en France comme à l'international. En Aquitaine, on peut citer les cas de Biscarrosse, Lacanau, Montalivet, la Teste-de-Buch, Pyla-sur-Mer, Capbreton (Figure 16)...

Références : US EPA (2009), Linham and Nicholls (2010), US AID (2009), Pupier-Dauchez (2002), ONF (2017).



Figure 16 : Gauche : rechargement par camion à Montalivet (2014). ©Observatoire de la Côte Aquitaine. Milieu : rechargement par refoulement à Pyla-sur-Mer (2014). ©Observatoire de la Côte Aquitaine. Droite : Installation du système de by-pass hydraulique à Capbreton (2008). Crédit photo : mairie Capbreton.

- Drainage de plage

Le drainage d'une plage sableuse vise à drainer l'eau salée infiltrée dans les plages sableuses afin de favoriser l'infiltration du jet de rive et le dépôt et le maintien du sable sur la plage (CEPRI, 2016). Il augmente également la cohésion du sable et peut donc remplacer des enrochements afin de stabiliser le trait de côte (Lambert et al., 2007).

Exemples d'application :

- Baie d'Agay, Var
- Villers-sur-Mer, Calvados
- Quend, Somme
- La Baule, Loire-Atlantique
- Les Sables d'Olonne, Vendée

Références : Lambert et al. (2007), CEPRI (2016).

Lutte active dure (érosion)

Côte sableuse

- Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur

Dans les types de défense spécifiques à l'érosion, on trouve les épis, les perrés et les palissades en pied de dune. Les premiers sont des ouvrages perpendiculaires au trait de côte qui ont pour objectif de retenir le sable qui transite le long de la côte (processus connu sous le nom de dérive littorale). Ce type d'ouvrage n'est efficace que pour les sites et/ou dans les moments où le transport longshore est dominant. Sur la côte aquitaine par exemple, pendant les tempêtes où le transport cross-shore domine, les épis ne sont pas efficaces. De plus, lorsque les conditions sont réunies, le marnage important sur la côte aquitaine limite la plage de fonctionnement des épis (ouvrages hors d'eau à marée basse). D'autre part, si en amont de la dérive littorale le sable est effectivement retenu par l'ouvrage, un déficit de sédiments important est généré en aval dérive avec, dans la plupart des cas, un recul accentué du trait de côte (Figure 17). Les perrés sont quant à eux des ouvrages longitudinaux comme les digues, à la différence que l'objectif n'est pas de rehausser la cote altimétrique de la première défense terrestre mais de conforter et stabiliser le rivage. La cote altimétrique du sommet d'un perré est donc inférieure ou égale à la cote altimétrique du rivage. Enfin, les palissades en pied de dune jouent un rôle similaire aux perrés en faisant obstacle aux vagues. Plus facile à mettre en œuvre, ce sont néanmoins des ouvrages plus fragiles.

Pour tous les autres types de défense, voir §2.2.2 Résistance face à l'aléa (submersion).

Exemples d'application :

- Épis à Capbreton (Landes)
- Palissade à Soulac-sur-Mer (l'Amélie) (Gironde)

Références : Université de Picardie, Jacques Beauchamp⁹, GIP (2012).



Figure 17 : Gauche : Épis à Capbreton, 2016. ©Observatoire de la Côte Aquitaine, ULM Sud Bassin.
Droite : Palissade à l'Amélie, Soulac-sur-Mer. ©Observatoire de la Côte Aquitaine

⁹ <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/littoral/GRENOBLE-4.html>

- Retrait / abandon des ouvrages de protection existants

Voir § 2.2.2 Atténuation de l'aléa (submersion).

- Géotextile

Cette mesure consiste à protéger le pied de dune par des boudins/panneaux géotextiles qui sont ensuite recouverts par du sable. En théorie, cette technique confère au site une protection longitudinale du haut de plage en ralentissant les évolutions du trait de côte. À l'instar des autres défenses en dur, un ouvrage en géotextile peut provoquer un abaissement de la plage au droit de l'ouvrage et accentuer l'érosion à l'aval de l'ouvrage. De plus, ce type d'ouvrage est généralement fragile et nécessite des entretiens fréquents (apports de sable de couverture après tempêtes par exemple).

Exemples d'application :

- Amélie (33)
- Biscarrosse (40)
- Capbreton (40)

Référence : GIP (2012).

Côte rocheuse

- Remodelage, reprofilage

Les falaises rocheuses sont elles aussi soumises au phénomène naturel d'érosion, à la fois par infiltration des eaux continentales, par gélifraction, et par sapement à la base selon des degrés divers en fonction de la nature de la roche, du pendage etc. ; l'élévation du niveau de la mer devrait encore amplifier le dernier phénomène. Le remodelage ou le reprofilage permet de limiter temporairement cette érosion en travaillant directement sur la forme même de la falaise. L'objectif est en effet de réduire la verticalité de la pente et donc les risques gravitaires (mouvements de terrain). Il existe plusieurs méthodes de reprofilage :

- remblayer et déblayer en transférant le matériel érodible depuis le sommet vers le pied de la falaise ;
- remblayer uniquement ;
- déblayer uniquement.

Le reprofilage n'est jamais à envisager comme solution unique et doit nécessairement être accompagné de solutions complémentaires de drainage (voir ci-après) afin de limiter les déstabilisations en profondeur, comme par exemple les fracturations (De La Torre, 2008).

Exemples d'application :

- Travaux de confortement de l'assiette du sentier à Toulon (Marçot et al., 2014)
- Plage du Monaco (commune du Pradet) (Marçot et al., 2014)
- Travaux de protection de la falaise d'Ault (Somme).

Références : Marçot et al., 2014, Université de Picardie, Jacques Beauchamp

- Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur

Il existe de très nombreuses solutions de défense en dur, parmi lesquelles se trouvent les enrochements en pied de falaise, les murs de soutènement, perrés (Figure 18), épis, la création de terrasses, le confortement de falaise (par exemple : installation de tirants d'ancrage, utilisation de béton projeté, etc.). À l'instar des défenses en dur pour la côte sableuse, l'objectif est de ralentir voire stopper l'érosion et le recul des falaises. Les épis sont positionnés sur la plage ou le platier rocheux devant la falaise. Leur rôle est de permettre une accumulation de sédiments (sable, galets) au pied de falaise pour la protéger des assauts de l'océan. Les défenses en dur sont en général coûteuses, ont une durée de vie limitée et ne font que déplacer la zone d'érosion vers les portions du rivage non protégées.

Exemple d'application : Installation de défenses en dur sur la côte basque (Biarritz, Guéthary, Bidart, Saint-Jean-de-Luz...).

Références : Noble et al. (2014), Linham and Nicholls (2010), CRA (2013), US EPA (2009).



Figure 18 : Gauche : Perrés en haut de plage. Côte des Basques, 2006. Photo: Manuel Garcin. Milieu : La côte des Basques à Biarritz (entre 1935 et 1938). À noter le début des travaux de confortement (à gauche) et le caractère très instable de la falaise en arrière-plan. Droite : Mur de soutènement, Guéthary, 2015. ©Observatoire de la Côte Aquitaine.

- Drainage des falaises, mise en place d'aménagements en haut de falaise pour éviter le ruissellement et l'infiltration

On distingue ici deux types de mesures. Le drainage d'une falaise se limite à des aménagements directement sur la falaise qui ont pour but de limiter les déstabilisations en profondeur dues à la circulation d'eau dans la falaise (ex. côte des Basques à Biarritz). L'efficacité d'une telle mesure peut être grandement améliorée dans certains cas en mettant en place des aménagements en haut de falaise et sur l'ensemble du bassin versant, pour limiter l'infiltration et le ruissellement (ex. falaise d'Ault, Somme).

Ces mesures sont d'autant plus indiquées lorsque la falaise est sensible aux infiltrations.

Exemples d'application :

- L'étude sur la falaise d'Ault dans le cadre de l'appel à projet « relocalisation des personnes et des biens » du MEDDE (2015b),
- Travaux de confortement de l'assiette du sentier à Toulon (Marçot et al., 2014),

- Falaise des Basques, avec installation de puits à drains rayonnants de 4 m de diamètre intérieur et traversant les 10 m d'alluvions pour s'ancrer de 1 à 2 m dans les marnes sous-jacentes (Géologues n°156).

Références : MEDDE (2015b), Marçot et al. (2014), De La Torre (2008).

2.2.3. Actions sur les enjeux

Cette catégorie d'actions coïncide avec le mode de gestion du littoral « réduction de la vulnérabilité ». Ce mode de gestion concerne aussi bien la submersion marine que l'érosion côtière et regroupe des mesures qui vont de l'action individuelle sur un bâtiment à l'augmentation de la résilience de la société (exemple : préparation à la crise) en passant par le repli stratégique. Ces mesures ont donc généralement des composantes sociale et institutionnelle fortes.

Action sur les constructions

- Bâtiments étanchéifiés ou circulation de l'eau facilitée

Afin de rendre les bâtiments moins vulnérables aux inondations, il est possible d'étanchéifier l'enveloppe extérieure du bâtiment afin d'empêcher l'eau de rentrer à l'intérieur du bâtiment. Au contraire, pour un niveau d'aléa trop élevé, il est préférable de faciliter l'entrée et la sortie de l'eau afin de préserver la structure du bâtiment.

Exemples d'application :

- Dans le cadre fluvial : Village de Sommières dans le Gard : les portes du rez-de-chaussée (non-habité) sont ajourées afin de faciliter la circulation de l'eau et d'éviter les dommages à la structure,
- Bâtiments étanchéifiés en front de mer, Teignmouth, Devonshire (UK) (Figure 19),
- Clapets anti-retour et porte étanche à Andernos (33) (Figure 20).

Référence : Linham and Nicholls (2010).



Figure 19 : Fenêtres étanches au rez-de-chaussée de maisons exposées à la submersion marine (zone urbaine en fond de baie à Teignmouth, Devonshire). Photo: Manuel Garcin



Figure 20 : Porte étanche, muret et clapets anti-retour facilitant l'évacuation de l'eau (Andernos, 33).
Photo : Thomas Bulteau.

- Bâtiments flottants ou amphibies (et ancrés)

Ces bâtiments sont ancrés dans le sol, mais sont conçus pour s'élever avec le niveau de l'eau en cas d'inondation ou de submersion. Ce type de maisons est expérimenté notamment aux Pays-Bas et en Allemagne (Hambourg) dans un contexte fluvial. En France, la société Batiflo présente une solution prête à l'emploi, avec des maisons, des parkings et même des portions de routes s'adaptant aux zones inondables, quel que soit le niveau d'aléa. Cependant, en contexte maritime ouvert, les vagues semblent être un frein à l'installation de ce genre de bâtiments.

Exemples d'application :

- Maison amphibie sur la rivière Mass, Pays-Bas (Figure 21)
- Prototype de bâtiment flottant, Pau¹⁰

Références : Garcin (2013), <http://www.climateapp.nl/>



Figure 21 : Maison amphibie sur la rivière Mass (Pays-Bas, Photo : Bas Czerwinski, Garcin, 2013).

¹⁰ <http://www.batiflo.fr/modeles/52-batiment-pau>

- Rez-de-chaussée plus élevés

Élever les rez-de-chaussée par rapport au niveau de la rue permet de réduire la probabilité d'entrée de l'eau dans les bâtiments. Cependant, l'utilisation de cette mesure pour des bâtiments publics pourrait nuire à l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

Exemple d'application : Préconisations du CEPRI (DRE, 2004).

Références : <http://www.climateapp.nl/> , DRE (2004).

- Constructions sur pilotis

On rencontre des maisons sur pilotis dans de nombreux pays soumis à des inondations chroniques (Garcin, 2013). La mise en œuvre de ces constructions dans un contexte de submersion marine est possible, même dans les zones cycloniques, à condition de respecter un certain nombre de contraintes concernant l'élévation des pilotis, leur nature ainsi que la profondeur des fondations afin de faire face à des hauteurs de vagues et des vitesses de vents très importantes.

L'élévation des constructions sur pilotis peut poser des problèmes d'accessibilité ou d'intégration dans le paysage urbain. De plus, ce sont des bâtiments très coûteux à modifier.

Exemples d'application :

- Pays-Bas : le projet Het Nieuwe Water prévoit la construction de 1200 bâtiments sur pilotis (CEPRI, 2016),
- Etats-Unis (Mississippi, Texas, etc.), Hambourg,
- Bassin d'Arcachon (Figure 22).

Références : Garcin (2013), <http://www.climateapp.nl/>



Figure 22 : Gauche : cabane tchanquée sur le Bassin d'Arcachon (Photo : Xabi Rome-Hérault (CC BY 3.0)). Droite : maisons sur pilotis sur le schorre à Gujan-Mestras (quartier du château Madère), Bassin d'Arcachon (Photo : Thomas Bulteau).

- Bâtiments démontables

Les bâtiments démontables présentent l'avantage de pouvoir être déplacés facilement et sont donc adaptés pour réduire la vulnérabilité face à la submersion mais aussi l'érosion. Ce type de bâtiments peut par exemple être utilisé pour l'accueil du public sur les plages.

Exemples d'application :

- Poste de secours de la plage du Petit-Nice en 2011¹¹
- Poste de secours de Biscarrosse¹²

Référence : <http://www.climateapp.nl/>

- Maison bateau

Ce sont des constructions établies sur un caisson étanche, qui ne reposent pas sur le sol et sont complètement aquatiques. Ce type d'habitat ne paraît envisageable que dans un milieu marin calme, c'est-à-dire qui n'est pas affecté par de forts courants ou vagues (Garcin, 2013).

Exemple d'application : Ce type de maison est développé notamment aux Pays-Bas (Figure 23). On en trouve également depuis longtemps en Asie, sous une forme plus traditionnelle (Garcin, 2013).

Référence : Garcin (2013).



Figure 23 : Maison bateau à proximité d'Amsterdam (Pays-Bas, Photo : Margriet Faber, Garcin, 2013).

- Matériaux de construction non sensibles à l'eau et au sel

L'utilisation de matériaux de construction moins ou non sensibles à l'eau (et au sel dans le contexte de la submersion) permet de limiter les dégâts aux constructions et d'augmenter la résilience des bâtiments.

¹¹ <http://www.sudouest.fr/2011/02/12/le-trait-de-cote-recule-le-poste-de-secours-aussi-316764-2918.php>

¹² <http://littoral-aquitain.fr/tourisme-amenagements-durables/poste-de-secours-innovant>

Exemple d'application : Utilisation de Placoplatre hydrofuge, éviter le bois, etc.

Références : Linham and Nicholls (2010), DRE (2004).

- Positionnement des réseaux (électrique, eau potable, eaux usées...)

La surélévation des installations électriques et des réseaux au-dessus d'un niveau d'inondation de référence permet de limiter les dégâts et d'augmenter la résilience dans le cas d'une submersion marine. Cette mesure peut s'appliquer pour un bâtiment unique ou pour un quartier dans son ensemble. Les clapets anti-retour sur les réseaux d'évacuation aux niveaux des habitations permettent, quant à eux, d'éviter à leur contenu de se déverser dans le bâtiment lors d'une inondation. Les clapets anti-retour peuvent également être installés sur des buses d'évacuation située dans des murets afin d'empêcher l'entrée de l'eau mais de rendre possible son évacuation lorsqu'un débordement a eu lieu.

Exemples d'application :

- Andernos-les-Bains (Gironde) (Figure 24),
- Shaldon, UK (Figure 25).

Référence : Linham and Nicholls (2010).



Figure 24 : Buse d'évacuation équipée d'un clapet anti-retour coté océan à Andernos-les-Bains (Photo Observatoire de la Côte Aquitaine, 2013).



Figure 25 : Clapets anti-retour sur buse d'évacuation d'eau en cas de submersion à Shaldon (UK).
Photo : Manuel Garcin.

Autres actions de réduction de la vulnérabilité

- Normes de construction adaptées aux risques

Cette mesure d'adaptation consiste à émettre des normes de construction prenant en compte la connaissance contemporaine des risques côtiers. Il peut s'agir par exemple d'utiliser des matériaux non sensibles à l'eau et au sel pour les nouvelles constructions en bord de mer, de surélever les planchers habitables ou d'obliger la création d'une pièce de survie à l'étage des constructions dans les zones à risque. Effectuée en amont, cette action permet l'adaptation via la réduction de la vulnérabilité. Les normes doivent néanmoins être mises à jour autant que nécessaire selon l'évolution des conditions environnementales afin de rendre compte de l'évolution des aléas.

Exemple d'application : La Faute-sur-Mer : depuis 2012, les logements situés en zone à risque doivent se pourvoir d'une pièce de survie.

Références : Plans de Prévention des Risques Littoraux.

- Surélévations artificielles (île artificielle, tertre sous bâtiment)

Cette mesure permet d'élever le niveau du bâtiment. Elle peut être appliquée sur des bâtiments sensibles ou stratégiques par exemple. Dans le cas de l'île artificielle, la mesure permet aussi de gagner du terrain sur la mer, mais avec des impacts importants sur les processus hydrosédimentaires et une augmentation de la vulnérabilité des biens et des personnes en cas de défaillance.

Exemples d'application :

- Flevopolder, Pays-Bas
- Pearl-Qatar, Qatar
- Palm Islands, Émirats Arabes Unis
- Maldives

Référence : www.climateapp.nl

- Repli stratégique

Le repli stratégique est un terme générique qui peut se décomposer en 3 mesures distinctes (GIP, 2012) : le **déplacement** (lorsque le bien ou l'activité est déplacé à proximité de son point d'origine, sans procéder initialement à sa démolition), la **suppression** (lorsque les personnes sont évacuées de leurs biens, les biens démolis et/ou les activités supprimées, sans aucune action volontariste de réimplantation) et la **relocalisation** (lorsqu'après une phase d'évacuation des personnes, et de démolition du bien et/ou de suppression des activités, une action volontariste de réimplantation est menée sur le territoire).

L'objectif général du repli stratégique est de soustraire les enjeux de la bande littorale soumise à l'aléa (érosion et/ou submersion). Le choix du déplacement, de la suppression ou de la relocalisation dépend des enjeux considérés et des capacités du territoire à accueillir ces enjeux soustraits à la bande d'aléa dans des zones non exposées. Par exemple, dans le cadre de Plans Plage en ex-Aquitaine, il est possible de déplacer successivement les installations de plage mobiles, situées en première ligne sur le front de mer, permettant une progression vers l'intérieur des terres en suivant les évolutions du trait de côte. Les déplacements d'infrastructures fixes (équipements ou bâtiments publics ou privés) posent plus de questions, en termes financiers et légaux, mais aussi en matière d'acceptabilité.

Lorsqu'il ne s'agit pas de repli d'urgence, l'étude et la mise en œuvre du repli stratégique doivent s'inscrire dans une réflexion plus large sur l'aménagement du littoral et la planification dans laquelle la réorganisation urbaine doit être abordée afin de limiter la consommation d'espace et de ne pas porter de nouvelles atteintes aux espaces naturels littoraux.

Exemples d'application :

- Déplacement du poste de secours de la plage du Petit-Nice en 2011
- Réflexion en cours à Lacanau sur la zone de vulnérabilité dans le cadre de la stratégie locale de gestion de la bande côtière (relocalisation)
- Commune de Criel-sur-Mer (Seine-Maritime) : une dizaine de maisons, situées en bord de falaise, a fait l'objet d'une suppression
- La Faute-sur-Mer (Vendée) : suppression de 600 maisons ; Boyardville (île d'Oléron)
- Relocalisation de la route littorale à Happisburgh (UK)
- Relocalisation de bâtiments à San Bartolomeu Do Mar (Portugal)

Références : GIP (2012), CEPRI (2016), CRA (2013), MEEDDM (2010), Le Cozannet et al. (2009).

- Mise en place d'un programme de gestion du foncier

Dans ce schéma, les propriétaires échangent des terres exposées aux aléas contre des terres appartenant à l'État éloignées des zones à risques. Cette mesure n'est pas toujours applicable, il faut notamment que de grandes surfaces de terres éloignées des zones à risques soient disponibles à cet effet. Il s'agit de plus d'un programme basé sur le volontariat, qui s'accompagne de ses limites : on peut notamment citer la disponibilité du foncier, ainsi que l'acceptabilité de la mesure par les populations concernées. En pratique, cette mesure peut être utilisée pour anticiper les besoins en foncier rétro-littoral avant la mise en place d'un repli stratégique.

Exemple d'application : Programme d'échange de terres mis en place en 2007 dans le Comté de Suffolk¹³ (New-York) dans le but de préserver des zones d'intérêt environnemental particulier.

Référence : US EPA (2009).

- Plan Communal de Sauvegarde (PCS)

Le plan communal ou intercommunal de sauvegarde est un outil réalisé à l'échelle communale, sous la responsabilité du maire. Il définit l'organisation pour assurer l'alerte, l'information, la protection et le soutien de la population lors de catastrophes majeures. L'organisation mise en place dans le cadre du PCS permet de faire face à des situations très diverses telles que les catastrophes naturelles, technologiques (industriels, transports, nucléaires, ...) et anthropiques (troubles sociaux, menaces et actes terroristes, cyber malveillances, désinformations, ...). L'objectif du Plan Communal de Sauvegarde est de se préparer efficacement en se dotant d'outils techniques et organisationnels appropriés. Il peut s'agir par exemple d'assurer la disponibilité de l'eau potable en quantité suffisante pendant la crise, la disponibilité de groupes électrogènes, d'identifier des abris avec une capacité suffisante pour accueillir les personnes évacuées... Le PCS est obligatoire pour les communes dotées d'un Plan de Prévention des Risques naturels.

Exemple d'application : La plupart des communes littorales en Aquitaine ont adopté un PCS.

Référence : Ministère de l'intérieur et de l'aménagement du territoire (2012), Géorisques¹⁴.

- Sorties de secours des bâtiments adaptées au niveau d'aléa

Les principales sorties de secours des bâtiments sont généralement situées au rez-de-chaussée. Dans le cas d'inondation ou de submersion, les sorties de secours du rez-de-chaussée peuvent se trouver inondées, il est donc important de positionner des sorties de secours au-dessus du niveau maximum d'inondation afin de pouvoir évacuer les bâtiments même lorsque l'alerte n'a pas été donnée à temps (Figure 26).

Référence : www.climateapp.nl



Figure 26 : Vers une sortie de secours surélevée.

- Routes d'évacuation au-dessus du niveau d'inondation

Les routes d'évacuation surélevées sont recommandées pour permettre une évacuation sécurisée lors d'inondations. Elles doivent être construites au-dessus du niveau maximal d'inondation attendu.

¹³ <http://www.suffolkcountyny.gov/Portals/0/planning/Publications/OpenSpPol062007r.pdf>

¹⁴ <http://www.georisques.gouv.fr/glossaire/plan-communal-de-sauvegarde-pcs-0>

Exemple d'application : Hambourg, Allemagne (Figure 27).

Référence : www.climateapp.nl



Figure 27 : Routes d'évacuation surélevées à Hambourg (Source Deltares, <http://www.climateapp.nl/>).

- Protection des bâtiments/zones stratégiques ou dangereuses

Afin d'assurer la gestion de crise et de limiter les dégâts, il est important d'accorder une attention particulière à la protection et à l'accessibilité des lieux stratégiques (casernes de pompiers, hôpital, etc.) et la protection des installations dangereuses ou polluantes (centrale nucléaire, décharge, station d'épuration, etc.). Le niveau de protection doit être adapté à l'aléa de référence choisi.

Exemple d'application : Centrale nucléaire du Blayais, entourée par un système de digues (Figure 28).

Référence : www.climateapp.nl

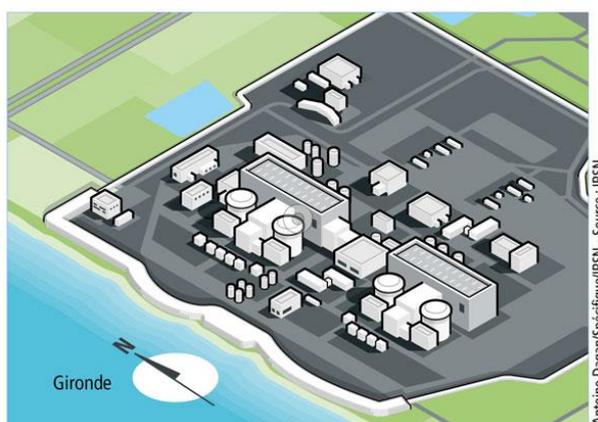


Figure 28 : La centrale du Blayais et sa digue principale en front de la Gironde, qui a été rehaussée suite à l'inondation de 1999, passant de 5,2 m à 6,2 m (source IRSN).

2.2.4. Actions complémentaires

Cette catégorie d'actions regroupe des mesures qui peuvent s'inscrire dans n'importe quel mode de gestion. Ce sont des mesures à caractère essentiellement social ou institutionnel, qui ne visent pas précisément à remplir les conditions d'un mode de gestion en particulier, mais qui sont souvent nécessaires pour fournir un cadre et des conditions optimales pour la mise en pratique d'une stratégie d'adaptation. On peut les diviser en 4 sous-catégories selon qu'elles sont destinées à l'amélioration de la connaissance, de l'éducation, à l'information des citoyens, ou à la planification de l'urbanisation.

Connaissance

- Réseau de surveillance et/ou d'observatoires (suivis)

Voir § 2.2.1 Évolution naturelle surveillée.

- Cartographie d'aléa et de vulnérabilité

La cartographie de l'aléa est un outil d'aide à la décision pour la planification territoriale et urbaine et la prévention des risques. La cartographie est d'ailleurs l'une des composantes des Plans de Prévention des Risques littoraux (PPRL). Les PPRL constituent l'un des instruments juridiques essentiels de l'action de l'Etat en matière de prévention des risques littoraux. La carte réglementaire des PPRL a généralement une échelle comprise entre 1/10 000 et 1/5 000 et délimite les zones réglementées.

Depuis 2014, le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie préconise l'étude et la cartographie d'un scénario à échéance 100 ans dans le cadre de l'élaboration des PPRL. Ce scénario à échéance 100 ans est déterminé à partir de l'évènement de référence et prend en compte l'élévation du niveau de la mer à échéance 100 ans. En revanche l'occupation du territoire (en termes d'enjeux et de systèmes de protections) correspond à celle à la date de réalisation du PPRL. Dans la plupart des cas, le scénario à échéance 100 ans ne rend pas inconstructibles les secteurs concernés¹⁵. En revanche, le périmètre et la nature des mesures de réduction de vulnérabilité à prescrire seront définis à partir de cet aléa.

Sans restreindre le propos aux seuls PPRL, il existe des cartographies d'aléa à d'autres échelles visant d'autres finalités, qui produisent toutes de la connaissance : indicateur national érosion, cartographies des TRI, PAPI, stratégie régionale de la bande côtière du GIP Littoral Aquitain et locales des territoires, etc.

Exemples d'application :

- PPRL Bassin d'Arcachon, Saint-Jean-de-Luz
- SRGBC en Aquitaine
- SLGBC Lacanau

Références : US AID (2009), MEDDE (2014).

¹⁵ L'inconstructibilité est à étudier pour un terrain en zone naturelle situé dans une zone non soumise à l'aléa de référence à la date du PPRL, mais dans la zone d'aléa à horizon 2100 (modéré ou fort).

- Mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire

Cette action permet d'éviter que certaines actions sur le domaine littoral (installation d'ouvrages de défense, exploitation de granulats marins, dragages, rechargements, etc.) ne se traduisent par un déficit sédimentaire sur les segments côtiers et cellules hydrosédimentaires adjacents. Pour ce faire, il faut raisonner précisément par cellule hydrosédimentaire et estimer les stocks et les budgets sédimentaires au sein de chaque cellule. Il faut donc prendre en compte l'ensemble des apports en provenance du bassin versant ainsi que les mouvements et les volumes de sédiments qui se déplacent le long du littoral, à différentes échelles de temps (événementielle, saisonnière, annuelle, inter-annuelle...). Un tel plan de gestion des sédiments, partagé par les parties prenantes, permet l'exploitation raisonnée et cohérente des stocks sédimentaires à l'échelle de chaque cellule hydrosédimentaire.

Exemples d'application : New York-New Jersey Harbor Estuary Program (<http://harborestuary.org/about.htm>).

Références : EuroSION (2004) (www.euroSION.org), US EPA (2009), Le Cozannet et al. (2009).

- Conférences et réseau de recherche

Les conférences sur des thématiques en lien avec le changement climatique et l'adaptation des territoires peuvent être des moments privilégiés pour réunir à la fois des acteurs de la prise de décision économique et politique, des acteurs de la société civile, des scientifiques impliqués dans des recherches sur le changement climatique et le grand public. Il s'agit de partager les expériences et les connaissances et de favoriser le transfert des résultats de la recherche fondamentale vers les problématiques concrètes auxquelles sont confrontés les territoires.

La constitution de réseau de recherche interdisciplinaire, mêlant sciences physiques et sciences humaines et sociales (économie, sociologie, géographie...), permet également de faire émerger des solutions adaptées à la réalité des changements en cours et à venir dans nos sociétés.

Exemple d'application :

- Colloque Sciences et Société, Pour l'adaptation des territoires aux changements climatiques, Bordeaux, 21-24 juin 2017,
- Réseau européen EUCC (Coastal and Marine Union).

Référence : Noble et al. (2014).

Éducation

- Formations dédiées aux risques et au changement climatique

L'intégration à l'éducation des connaissances sur l'impact du changement climatique sur nos vies et notre environnement est une mesure sociale nécessaire pour favoriser l'émergence d'une conscience collective sur cette thématique. Cette sensibilisation, via le cursus scolaire ou les formations, est un élément important de la stratégie d'adaptation à mettre en place dans la durée, quel que soit le mode de gestion. Elle permet aux citoyens de s'approprier ce sujet complexe, de prendre conscience de la nécessité de l'adaptation et d'accepter plus facilement certaines mesures en fournissant des éléments de compréhension.

Exemples d'application :

- MOOC sur le traitement médiatique du changement climatique (<https://www.fun-mooc.fr/courses/UVSQ/113001/session01/about>),
- MOOC sur les causes et enjeux du changement climatique (<https://www.uved.fr/production-et-coordination-de-moocs/mooc-causes-et-enjeux-du-changement-climatique>).

Référence : Noble et al. (2014).

- Conférences et réseau de recherche

Voir § Connaissance.

- Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements ou une relocalisation

Le travail de sensibilisation des populations potentiellement impactées par les risques, de futurs aménagements ou relocalisations est un point très important car il permet d'informer, de discuter avec les habitants des questions clés et améliore l'acceptation des éventuels futurs projets. La sensibilisation peut s'accompagner d'une phase de concertation qui vise à impliquer les populations (voir ci-après § Information). Elle peut également se faire sur site par l'intermédiaire de panneaux explicatifs pédagogiques. Il peut s'agir, par exemple, de sensibiliser à la protection des dunes (Figure 29).

Exemples d'application :

- Forums publics annuels organisés par Lacanau pour sa stratégie locale depuis 2012
- Gestion des zones de solidarité « Post-Xynthia » en Charente-maritime (2011-2016 ; DDTM17-DREAL Poitou-Charentes)
- La Rochelle, septembre 2014 : organisation d'une opération de sensibilisation au risque de submersion dans le cadre du PAPI de l'Agglomération rochelaise (CEPRI, 2016)
- Notre-Dame-des-Monts (Vendée) (Figure 29)

Références : Mairie Lacanau¹⁶, Le Cozannet et al. (2009), études DREAL Poitou-Charentes¹⁷, Noble et al. (2014).

¹⁶ <http://www.mairie-lacanau.fr/environnement/381-erosion-du-littoral.html>

¹⁷ http://www.sigena.fr/upload/gedit/1/Obs_littoral/ZDS_synthese.pdf



Figure 29 : Sensibilisation du public à Notre-Dame-des-Monts et Saint-Hilaire-de-Riez, (Vendée), en 2015 (photos : Manuel Garcin).

Information

- Mise en place ou amélioration de systèmes d'alerte précoce

La création ou l'amélioration d'un système d'alerte précoce à la submersion, et éventuellement à l'érosion, en cas de tempête, permet d'anticiper les impacts (inondation, recul du trait de côte) plusieurs heures avant l'évènement et d'enclencher éventuellement un Plan Communal de Sauvegarde et/ou d'organiser une évacuation des personnes de manière préventive.

En France, immédiatement après la tempête Xynthia en 2010, Météo-France a mis en place au niveau national, le système Vigilance Vagues-Submersion (VVS) qui a pour objectifs d'informer la population et les pouvoirs publics en cas de risques de submersion en métropole. Elle vise à attirer l'attention de tous sur les dangers potentiels d'une situation météorologique et à faire connaître les précautions pour se protéger. La Vigilance est également destinée aux services de la sécurité civile et aux autorités sanitaires qui peuvent ainsi alerter et mobiliser respectivement les équipes d'intervention et les professionnels et structures de santé. La Vigilance est actualisée au moins deux fois par jour à 6h et 16h et signale si un danger menace un ou plusieurs départements dans les prochaines 24 heures.

D'autres dispositifs plus locaux peuvent être développés afin de disposer d'outils opérationnels adaptés aux sites d'étude.

Exemples d'application :

- VVS, France (2010)
- Storm Surge Warning Service (SVSD), Pays-Bas (fin des années 80)
- Mise en place d'un système par Météo-France pour la Communauté d'agglomération de la presqu'île de Guérande - Atlantique (CEPRI, 2016)

Références : Noble et al. (2014), Alfieri et al. (2012), de Vries (2009), Météo-France¹⁸, CEPRI (2016).

¹⁸ <http://vigilance.meteofrance.com/html/vigilance/guideVigilance/vigilance.html>

- Services climatiques

Il s'agit de « rassembler l'ensemble des informations et prestations qui permettent d'évaluer et de qualifier le climat passé, présent ou futur, d'apprécier la vulnérabilité des activités économiques, de l'environnement et de la société au changement climatique, et de fournir des éléments pour entreprendre des mesures d'atténuation et d'adaptation » (source : Allenvi : <https://www.allenvi.fr/actualites/2014/strategie-scientifique-sur-les-services-climatiques>; Hewitt et al., 2012 ; Brasseur et Gallardo, 2016).

Aujourd'hui, il n'y a pas de services climatiques spécifiquement dédiés aux applications côtières, mais une multitude de services locaux, qui ne s'identifient pas nécessairement comme services climatiques (Le Cozannet et al., 2017). Pour gagner en pertinence, un niveau intermédiaire entre les services climatiques existants et les applications côtières pourrait être créé. Ce besoin est exprimé :

- Au niveau national (DRIAS, comité de pilotage des services climatiques d'Allenvi) (Lémond et al., 2011),
- Au niveau européen (Copernicus, ERA4CS...) (Monfray and Bley, 2016),
- Au niveau international (Brasseur et Gallardo, 2016).

Exemple d'application : Portail DRIAS, Les futurs du climat : <http://www.drias-climat.fr/>

Références : Allenvi (2014), Brasseur et Gallardo (2016).

- Concertation

La concertation est un outil visant à impliquer les populations dans un projet de territoire (exemple : stratégies locales de gestion de la bande côtière en ex-Aquitaine). Il s'agit de mettre en place une gouvernance partagée entre les décideurs (État et/ou collectivités) et les citoyens afin d'élaborer un projet en adéquation avec les besoins locaux et partagé par les populations concernées. La concertation vient souvent en complément d'une étape préalable de sensibilisation du public (voir plus haut § Éducation).

Exemples d'application :

- Forums publics annuels organisés par Lacanau pour sa stratégie locale depuis 2012
- Gestion des zones de solidarité « Post-Xynthia » en Charente-maritime (2011-2016 ; DDTM17-DREAL Poitou-Charentes)

Références : Mairie Lacanau¹⁶, Le Cozannet et al. (2009), études DREAL Poitou-Charentes¹⁷

- Communication à travers les médias

Les médias (radio, TV, presse quotidienne régionale et nationale...) sont un vecteur pour diffuser de la connaissance scientifique, informer et sensibiliser le public aux questions relatives aux risques littoraux et favoriser ainsi une culture partagée des risques et de leur gestion durable.

Exemple d'application : Volet animation-valorisation de l'Observatoire de la Côte Aquitaine : 28 sollicitations médias, 79 retombées presse en 2017.

Référence : Bulteau et Douillac (2017).

Urbanisme

- Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme

L'élaboration des documents stratégiques de planification à l'échelle de la région, des départements ou des communes (SRADDET, SCoT, PLUi,...), est une opportunité pour prendre en compte explicitement les risques côtiers et leurs évolutions futures à court, moyen et long termes dans les documents d'urbanisme. La prise en compte informative d'un scénario d'élévation du niveau de la mer à 2100 dans les PPRL est une première étape, puisque le PLU s'appuie sur le PPR lorsqu'il existe. En revanche, sur les territoires non soumis à l'élaboration d'un PPRL, les horizons temporels considérés dans les documents d'urbanisme (10-20 ans) ne suffisent pas pour intégrer les conséquences anticipées du changement climatique sur les risques. Cette mesure consiste ainsi à inclure systématiquement la connaissance actualisée des risques et de leurs évolutions à court, moyen voire long terme dans les étapes de diagnostics territoriaux préalables à l'élaboration des documents finaux.

La voie réglementaire est un levier pour favoriser l'intégration des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique au sein des documents d'urbanisme. On peut noter par exemple la proposition de loi déposée en 2016 à l'Assemblée Nationale par les députées Pascale Got et Chantal Berthelot. Cette proposition de loi propose des solutions pour une meilleure prise en compte du risque spécifique de recul du trait de côte dans les documents d'urbanisme afin de pouvoir maintenir une activité économique, des biens et des personnes sur une zone de vulnérabilité connue mais pendant une période limitée et avec des règles d'urbanisation spécifiques. Cette proposition de loi offre également « de nouveaux outils juridiques pour aider les collectivités à mieux gérer ce risque en instaurant, par exemple, de nouveaux zonages dans les plans de prévention des risques et la création d'un bail spécifique littoral pour les biens soumis à terme à l'érosion et à la destruction ».

Exemples d'application :

- En France, la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte a été adoptée par le Ministre en charge de l'Environnement en mars 2012. L'initiative Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte : vers la relocalisation des activités et des biens, 2012-2015 incluait ainsi une Action 4 dédiée à « Mieux utiliser les outils d'urbanisme et de prévention des risques. »
- Proposition de loi des députées Pascale Got et Chantal Berthelot (2016)¹⁹
- La prise en compte informative d'un scénario d'élévation du niveau de la mer à 2100 dans les PPRL est une première étape, puisque le PLU s'appuie sur le PPR lorsqu'il existe.

Références : US EPA (2009), US AID (2009), Rocle (2015), Hénaff et Philippe (2014), MEDDE (2014).

- Éviter d'installer de nouvelles constructions dans les zones menacées

Ne pas construire dans les zones menacées permet de limiter l'augmentation de l'exposition aux aléas, en particulier dans le contexte d'impacts prévisibles du changement climatique sur le littoral. Cela nécessite au préalable l'élaboration de cartes d'aléas précises et partagées par les parties prenantes, prenant en compte les taux d'érosion de la côte et des scénarios de hausse

¹⁹ <http://www.pascalegot.fr/?p=10023>

du niveau de la mer. Cette mesure pourrait donc permettre d'éviter de nouveaux problèmes dans le futur en préservant l'intégrité à long-terme des structures et des réseaux. Cependant elle ne constitue pas une solution pour les enjeux existants sur les territoires déjà urbanisés.

Dans le cas des structures en fin de vie, il s'agit de profiter de la phase de renouvellement des aménagements publics pour étudier la pertinence de renouveler ces aménagements au même emplacement, de les déplacer ou bien de les imaginer autrement pour anticiper un recul du trait de côte et les rendre résilients.

Exemple d'application : Pour les submersions, cette mesure est partiellement intégrée dans les PPRL, lorsqu'ils existent ; en revanche, elle ne s'applique pas pour les zones déjà urbanisées.

Références : US EPA (2009), CEPRI (2016), CRA (2013), US AID (2009), Le Cozannet et al. (2009).

3. Évaluation des mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation aux risques côtiers identifiées au Chapitre précédent sont très diverses de par leurs caractéristiques (physique, sociale, institutionnelle) et les modes de gestion auxquels elles sont destinées. L'objectif de ce Chapitre est de construire puis de mettre en œuvre une méthode d'évaluation commune à toutes ces mesures, afin de permettre une comparaison objective et aisée des mesures.

3.1. METHODE D'EVALUATION

Dans le cadre de la présente étude, l'évaluation des mesures d'adaptation au regard de l'évolution des aléas en lien avec le changement climatique se base sur une analyse multicritère essentiellement qualitative. La méthode d'évaluation s'inspire de celle mise en œuvre par Hallegatte (2009), dans laquelle chacune des mesures d'adaptation est évaluée qualitativement au regard de critères d'évaluation. Les critères d'évaluation proposés ici sont généraux et ne nécessitent pas un contexte particulier pour pouvoir être évalués. L'objectif est de parvenir à une première évaluation des mesures d'adaptation aux risques littoraux quel que soit le site d'étude.

Si cette analyse permet de dégager les principaux atouts et inconvénients de chaque mesure en lien avec l'évolution des risques, elle n'est pas suffisante pour prendre des décisions au niveau local. En effet, de nombreux autres critères d'évaluation sont à prendre en compte au niveau local pour apprécier la pertinence de telle ou telle mesure (exemples : impacts paysager, sur l'environnement, sur l'économie locale, coûts réels, ...).

L'évaluation générale est faite critère par critère et ne donne pas de note globale pour chaque mesure car cela nécessiterait une méthode d'agrégation des résultats qui pourrait être difficile à justifier en dehors de tout contexte local. En revanche, au niveau local, il serait sans doute utile de prendre en compte les préférences des parties prenantes pour pondérer les critères et agréger les résultats afin de faciliter la prise de décision.

3.2. CRITERES D'EVALUATION

Cette partie présente les différents critères utilisés dans l'évaluation des mesures d'adaptation aux risques côtiers dans le contexte de changement climatique. Ces critères ont été validés par les membres du Comité de suivi du projet.

Dix critères ont été sélectionnés pour évaluer les mesures d'adaptation inventoriées. Certains critères sont issus d'études scientifiques menées à l'échelle internationale (Hallegatte, 2009 ; rapports du GIEC), d'autres se basent sur les conclusions du rapport « *Conséquences du changement climatique sur les risques côtiers en Nouvelle-Aquitaine : état des connaissances* » (Le Cozannet et al., 2016).

Un critère prenant en compte les implications sociales, économiques et environnementales des mesures serait, dans l'absolu, utile et nécessaire (voir par exemple les travaux de Boruff et al. (2005)). Toutefois son élaboration impliquerait la prise en compte d'un certain nombre de groupes sociaux (élus, habitants, usagers et touristes, acteurs économiques etc.), dont les perceptions sont différentes, et de différentes catégories générationnelles. L'élaboration de ce critère nécessiterait un travail sociologique de fond dépassant largement le cadre de ce projet et la portée volontairement générique de la méthode d'évaluation proposée ; c'est pourquoi ce critère n'a pas été intégré dans cette étude.

On rappelle que les échelles temporelles de court, moyen et long termes dans ce rapport correspondent respectivement aux horizons 2030-2050, 2080-2100 et 2100-2300 (cf. §1.1).

3.2.1. « Sans regret » (existence de co-bénéfices)

Ce critère caractérise la capacité d'une mesure d'adaptation à apporter des bénéfices quelle que soit la trajectoire prise par le changement climatique dans le futur et même en l'absence de changement climatique²⁰. Les bénéfices s'entendent ici en termes économiques, tangibles (ex : dommages évités) ou non tangibles (ex : meilleure sensibilisation de la société à l'érosion par exemple). Ces bénéfices sont fonction de la mesure considérée, mais demeurent toujours en relation avec le mode de gestion pour lequel la mesure est destinée (cf. classification des mesures précédemment réalisée Chapitre 2). Par exemple, le caractère « *sans regret* » d'une mesure d'adaptation dans le mode de gestion « *Résistance face à l'aléa (submersion)* » s'évaluera au regard de ce mode de gestion uniquement. Les effets indirects potentiellement positifs ou négatifs sur d'autres risques ne sont pas pris en compte ici (voir critère « *Impact potentiel sur d'autres risques* » §3.2.7).

Une mesure peut être sans regret dans tous les cas ('+' dans le Tableau 3) ou dans certaines situations seulement ('+/-'), par exemple lorsque le caractère sans regret dépend fortement du contexte local. Une mesure qui n'est pas sans regret ('-') génère quant à elle un surcoût important par rapport à un « dimensionnement » pour le climat actuel, qui serait très dommageable si le changement climatique emprunte une trajectoire différente de celles anticipées.

3.2.2. Robustesse

La robustesse d'une mesure caractérise sa capacité à être efficace sur le long terme (plusieurs siècles), quelles que soient les évolutions à venir des aléas en lien avec les scénarios de réchauffement climatique et d'émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, une mesure dont l'efficacité est conditionnée par un niveau de la mer inférieur à un certain seuil n'est généralement pas robuste. En effet, le niveau de la mer pourrait dépasser ce seuil dans un ou plusieurs scénarios de changement climatique, rendant inopérante la mesure d'adaptation. Il faut souligner que la définition choisie s'affranchit de la durée de vie propre à la mesure considérée : il ne s'agit pas d'évaluer la robustesse de la mesure au regard de sa durée de vie mais de considérer l'efficacité de la mesure quel que soit le moment de son implémentation dans le futur (horizon 2100-2300).

Une mesure robuste ('+') est donc efficace quel que soit le scénario de changement climatique considéré et l'horizon temporel considéré (ex : 2030 ou 2300). En revanche, une mesure n'est pas robuste ('-') s'il existe un ou plusieurs scénarios de changement climatique pour lesquels la mesure n'est plus efficace à partir d'une certaine date. Si la robustesse de la mesure dépend du contexte local, elle sera classée ainsi '+/-'.

3.2.3. Flexibilité/réversibilité

Une mesure flexible ou réversible est une mesure qui peut être stoppée du jour au lendemain sans impact financier important. L'avantage de ce type de mesures est de permettre de conserver aussi bas que possible le coût engendré par des mésestimations des besoins en adaptation (Hallegatte, 2009). À titre d'exemple, une mesure d'adaptation consistant à optimiser les hauteurs des digues pour des scénarios de niveau de la mer incertains (Hunter, 2012) n'est pas flexible. En effet, si le niveau de la mer ne s'élève pas aussi vite qu'anticipé

²⁰ pour une revue du concept de co-bénéfices des politiques climatiques, cf. Cassen et al., 2015

dans le scénario optimal, il y aura eu une sur-adaptation. Les dépenses induites par cette sur-adaptation ne sont pas récupérables. En outre, dans le contexte actuel, le coût de la déconstruction partielle d'un ouvrage et la complexité des dimensions sociales et environnementales à prendre en compte, font qu'il paraît difficile de revenir en arrière la plupart du temps.

Ainsi, une mesure flexible/réversible ('+') n'engendre pas de grands coûts si elle est finalement abandonnée tandis qu'une mesure irréversible ('-') en engendre et/ou ne peut tout simplement pas être abandonnée.

Les impacts potentiels d'une mesure sur l'environnement, l'hydrodynamisme, les flux sédimentaires, le paysage, etc. ne sont pas pris en compte dans ce critère car leur caractère réversible/irréversible dépend fortement du contexte local. L'analyse se veut ici la plus générale possible.

3.2.4. Horizon temporel de décision

L'incertitude concernant les futures conditions climatiques et leurs impacts sur les variables météo-océaniques augmente rapidement avec le temps (Hallegatte, 2009). Réduire la durée de vie des investissements permet de se laisser la possibilité de changer de stratégie lorsque la mesure arrive en fin de vie et qu'elle n'est plus adaptée aux conditions environnementales du moment. On réduit ainsi les incertitudes sur les impacts potentiels et les coûts associés (en comparaison avec une mesure qui ne serait plus en phase avec les changements environnementaux constatés).

Une mesure ayant un horizon temporel de décision réduit ('+') est une mesure dont la mise en place engage sur moins de 10 ans (à partir du moment où elle est opérationnelle). À l'opposé, une mesure ayant un horizon temporel de décision long ('-') est une mesure dont la mise en place engage sur plus de 10 ans.

3.2.5. Synergie avec l'atténuation

Le 5^{ème} rapport du GIEC et de nombreux travaux montrent que l'adaptation au changement climatique sera considérablement plus aisée à mettre en place si la célérité de changement climatique est contenue, ce qui suppose la mise en place de politiques ambitieuses d'atténuation des émissions de GES. Aussi, nous introduisons le critère « *synergie avec l'atténuation* » pour rendre compte du fait que la mise en place d'une mesure d'adaptation peut favoriser ou contrarier l'objectif général de réduction des émissions de GES.

Ainsi, une mesure en synergie avec l'atténuation ('+') favorise la réduction des émissions de GES. À l'opposé, une mesure qui s'oppose à l'atténuation ('-') génère une surproduction significative de GES de manière continue ou lors de sa mise en place. Enfin, une mesure peut également être neutre vis-à-vis des émissions de GES ou ne pas en générer de manière significative ('NC').

3.2.6. Bénéfice immédiat

Ce critère permet de juger si une mesure est efficace dès sa mise en place, au regard du mode de gestion pour lequel elle est destinée ('+') ou si au contraire il existe un délai entre la mise en place de la mesure et les bénéfices associés ('-').

Ce critère est parfois difficile à attribuer notamment en ce qui concerne les mesures d'adaptation issues de la catégorie « *Actions complémentaires* » (Tableau 2). Celles-ci peuvent en effet s'appliquer à tous les modes de gestion du littoral ; or la notation de ce critère

dépend intrinsèquement du mode de gestion considéré. Nous avons ainsi considéré que pour les mesures de la catégorie « *Actions complémentaires* », ce critère évalue la capacité de la mesure à être efficace dès sa mise en place au regard de l'objectif défini par la sous-catégorie à laquelle elle appartient (i.e. amélioration de la connaissance, de l'éducation, information des citoyens, planification de l'urbanisation, cf §2.2.4).

3.2.7. Impacts potentiels sur d'autres risques

Ce critère permet de prendre en compte les effets indirects d'une mesure d'adaptation sur d'autres risques que celui (ou ceux) pour le(s)quel(s) elle est initialement destinée. Un exemple classique est un ouvrage de protection longitudinal en haut de plage qui est destiné à lutter contre la submersion et/ou le recul du trait de côte mais qui a comme effet indirect d'augmenter l'érosion aux extrémités et au pied de l'ouvrage. Dans ce cas l'effet indirect sera considéré comme négatif ('-').

On distinguera ainsi une mesure qui :

- diminue les autres risques que celui (ou ceux) pour le(s)quel(s) elle est initialement destinée (on parlera d'effets indirects positifs : '+'),
- de celle qui n'a aucun effet indirect positif ou négatif sur d'autres risques ('NC'),
- de celle qui peut avoir un impact négatif sur d'autres risques ('-').

3.2.8. Efficacité de la mesure si elle seule est mise en place

De nombreuses mesures d'adaptation ne sont efficaces que si elles sont accompagnées par d'autres mesures d'adaptation.

Afin de prendre en compte cette caractéristique, un critère spécifique a été mis en place, distinguant les mesures autonomes ('+') des mesures dont l'efficacité est assujettie à la mise en place d'autres mesures ('-'). Lorsque l'évaluation du critère dépend du contexte local, un troisième attribut est utilisé ('+/-').

Notons que ce critère, tout comme le critère « *Bénéfice immédiat* » (§3.2.6), peut être difficile à attribuer à certaines mesures d'adaptation de la catégorie « *Actions complémentaires* » (Tableau 2) puisque la notation dépend du mode de gestion considéré. De la même manière que précédemment (cf. §3.2.6), nous avons ainsi considéré que pour les mesures de la catégorie « *Actions complémentaires* », ce critère évalue la capacité d'une mesure à être autosuffisante au regard de l'objectif défini par la sous-catégorie à laquelle elle appartient (i.e. amélioration de la connaissance, de l'éducation, information des citoyens, planification de l'urbanisation, cf. §2.2.4).

3.2.9. Coût d'implémentation et coût de maintenance

C'est le seul critère de la grille d'évaluation des mesures d'adaptation qui soit quantitatif. Le renseignement de cette colonne est basé sur des exemples issus de la bibliographie. Il n'a pas été possible de le renseigner pour toutes les mesures identifiées.

L'intérêt de ce critère est de donner des ordres de grandeur des coûts engendrés par la mise en place d'une mesure. Ils sont fournis à titre indicatif et n'ont pas vocation à influencer l'évaluation générale d'une mesure dans le cadre de ce travail. En effet, le coût total réel de la mise en place d'une mesure est intrinsèquement lié au contexte local. Au contraire, lors d'une évaluation à l'échelle locale, la prise en compte de ce critère sera cruciale.

3.2.10. Horizon temporel d'obsolescence

Ce critère a été retenu pour tenir compte de la notion de période efficace dans l'évaluation des mesures d'adaptation : une fois implantée, à quelle échéance faut-il renouveler la mesure ou la remplacer par une autre ?

Ce critère correspond à la durée de vie de la mesure considérée comme une action unique. Par exemple, la mesure d'adaptation « *rechargement de plage* » aurait un horizon temporel d'obsolescence de l'ordre de 5 ans (ou plus court, selon la vitesse d'érosion de la plage). La durée de vie d'une mesure est sa durée de vie intrinsèque modulée par les conditions environnementales locales (ex : taux annuel d'érosion).

On considère que si rien ne venait perturber les conditions environnementales dans lesquelles la mesure a été implantée, le critère prendrait comme valeur la durée de vie de la mesure. Suivant les recommandations du rapport Le Cozannet et al. (2016), l'élévation du niveau de la mer est considérée ici comme la perturbation majeure influençant l'érosion sur les côtes meubles et la submersion marine à moyen et long terme, et donc l'horizon temporel d'obsolescence de la mesure.

Le critère peut ainsi prendre 3 types de valeurs²¹:

- une durée de vie de la mesure exprimée en nombre d'années « xx années » si celle-ci est assez faible pour que l'efficacité de la mesure ne soit pas impactée par une élévation du niveau de la mer ou si l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer ;
- « Fonction SLR » si la durée de vie de la mesure est suffisamment élevée pour que l'élévation du niveau de la mer soit une contrainte et qu'elle réduise sa période efficace ;
- « Infini » si l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer et qu'elle est virtuellement pérenne.

3.3. RESULTATS

Les résultats sont présentés dans le Tableau 3. La justification de l'évaluation de chaque mesure est présentée en Annexe 2. Cette évaluation repose sur une analyse qualitative, par l'équipe projet, de chacune des mesures d'adaptation selon la méthode et les critères précisés plus haut. De plus, ce type d'évaluation est présenté ici dans un contexte générique, mais il est nécessaire que les acteurs locaux concernés par l'adaptation au changement climatique se l'approprient et l'adaptent au contexte local afin d'appuyer la prise de décision.

²¹ Dans certains cas particuliers, ce critère peut prendre d'autres valeurs. Voir Tableau 3 et Annexe 2.

	Modes de gestion	Mesures d'adaptation	Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
Actions pour la gestion souple des espaces naturels	Évolution naturelle surveillée (submersion et érosion)	• Mise en place d'un réseau de surveillance / observation	+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini
	Accompagnement des processus naturels (érosion)	• Mise en place de branchages, ganivelles, filets brise-vent, etc..	+	-	+	+	NC	+	NC	+/-		10 ans
		• Palissade en avant de falaise	+	-	+	+	NC	+	NC	+/-		10 ans
		• Végétalisation (dune, falaise, etc.)	+	+/-	+	+	+	+	+	+/-	(I) 75€/ml	Infini ou Fct SLR
		• Restauration de milieux humides, dépoldérisation	+	-	+	-	+	+	+	+/-		Fct SLR
		• Gestion de la fréquentation	+	+	+	+	NC	+	NC	+/-		Infini
Actions sur l'aléa	Atténuation de l'aléa (submersion)	• Retrait / abandon des ouvrages de protection existants	+	+/-	-	-	Indét.	+	-	-		Infini ou Fct SLR
		• Restauration de milieux humides, dépoldérisation	+	-	+	-	+	+	+	+/-		Fct SLR
		• Digue de second rang	-	-	-	-	-	+	NC	+	(I) 1,8 M€/km (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR
	Résistance face à l'aléa (submersion)	• Réhabilitation ou reconstruction de dunes	+	+/-	+	+	-	+	+	+/-	(I) 320 à 400 €/ml (création); 75 €/ml (restauration)	Infini ou Fct SLR
		• Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur <ul style="list-style-type: none"> ○ Murs et murets ○ Enrochements de haut de plage ○ Brise-lames (naturels ou non, immergés ou non) ○ Pieux hydrauliques ○ Digues, super digues, digues successives, digues anti-franchissement (anti-submersion), etc. 	-	-	-	-	-	+	-	+/-	Pour une digue : (I) 1,8 M€/km (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR
		• Mise en place de moyens de défense temporaires	+	+	+	+	NC	+	NC	-	(I) 3500 €HT pour un batardeau	Infini
		• Mise en place de barrages anti-tempêtes amovibles au niveau des estuaires	-	-	-	-	-	+	+	-		Fct SLR
		• Limiter les actions favorisant la subsidence (pompage eau potable, exploitation pétrolière, gaz, etc.)	+	+	+	+	+	+	+	-		Infini
		Lutte active souple (érosion)	• Rechargement de plage et/ou de dune	+	+/-	+	+	-	+	+	-	(I) 7 à 45€/m ³
	• Drainage de plage		+	-	+	+	+	+	Indét.	+/-	(I) 1 k€/ml (M) ~20€/ml/an	En moyenne 5 ans mais fct taux d'érosion

	Modes de gestion	Mesures d'adaptation	Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence	
Actions sur l'aléa	Lutte active dure (érosion)	Côte sableuse	<ul style="list-style-type: none"> Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur <ul style="list-style-type: none"> Epis Brise-lames (naturels ou non, immergés ou non) Perrés Palissade en pied de dune Enrochements de haut de plage Pieux hydrauliques Digues 	-	-	-	-	-	+	-	+/-	(I) 2,5 k€/ml pour un épi ; 4 à 6,2 k€/ml pour un brise-lames (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR
			• Retrait / abandon des ouvrages de protection existants	+	+/-	-	-	Indét.	+	-	-		Infini ou Fct SLR
			• Géotextile	+/-	-	+	+	-	+	Indét.	+/-		En moyenne 5 ans mais fct taux d'érosion
		Côte rocheuse	• Remodelage, reprofilage	+	+/-	-	-	-	+	NC	-		Fct taux d'érosion Fct CC
			<ul style="list-style-type: none"> Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur <ul style="list-style-type: none"> Enrochement de pied de falaises Murs de soutènement Epis Perrés Confortement de falaises Création de terrasses 	-	-	-	-	-	+	-	+/-		Fct CC
			• Drainage des falaises	+	+	-	-	-	+	NC	+/-		Infini
			• Mise en place d'aménagements en haut de falaise pour éviter le ruissèlement et l'infiltration	+	+	-	-	-	+	NC	+/-		Infini

	Modes de gestion	Mesures d'adaptation	Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence	
Actions sur les enjeux	Réduction de la vulnérabilité (submersion et érosion)	Actions sur les constructions en lien avec la submersion	• Bâtiments étanchéifiés ou circulation de l'eau facilitée	+/-	-	-	+	-	+	NC	+	10-50 ans	
			• Bâtiments flottants ou amphibies (et ancrés)	+/-	+	+	-	Indét.	+	NC	+	50 ans	
			• Rez-de-chaussée plus élevé	+/-	-	-	-	-	+	NC	+	Fct SLR	
			• Constructions sur pilotis	+/-	-	-	-	Indét.	+	NC	+	Fct SLR	
			• Bâtiments démontables	+	+	+	+	-	+	NC	+	30 ans	
			• Maison bateau	+/-	+	+	-	Indét.	+	NC	+	50 ans	
			• Matériaux de construction non sensibles à l'eau et au sel	+	+	-	-	Indét.	+	NC	+	10-50 ans	
			• Positionnement des réseaux (électrique, eau potable, égouts...)	+	-	+	-	NC	+	NC	Indét.	Fct SLR	
		Actions sur les constructions en lien avec l'érosion	• Bâtiments démontables	+	+	+	+	-	+	NC	+	30 ans	
			Autres actions de réduction de la vulnérabilité	• Normes de construction adaptées aux risques	+	+	+	-	NC	-	NC	-	Fct CC
		• Surélévations artificielles (île artificielle, tertre sous un bâtiment)		-	-	-	-	-	+	-	+	Fct SLR	
		• Repli stratégique		+	+	-	-	-	+	NC	+	300 M€ pour la déconstruction de 1200 bâtiments post-Xynthia	Infini
		• Mise en place d'un programme de gestion du foncier (échanges de terres)		+	+	+	+	NC	-	NC	-	Infini	
		• Plan Communal de Sauvegarde		+	+	+	+	NC	+	NC	-	5 ans	
		• Sorties de secours des bâtiments adaptées au niveau d'aléa		+	-	+	-	NC	+	NC	+	Fct SLR	
• Routes d'évacuation au-dessus du niveau de l'eau	+/-	-		-	-	-	+	NC	+	Fct SLR			
• Protection des bâtiments/zones stratégiques ou dangereuses	-	-	-	-	-	+	-	+/-	Fct SLR				
Actions complémentaires	Tous	Connaissance	• Réseau de surveillance et/ou d'observatoires (suivis)	+	+	+	+	NC	-	NC	+	Infini	
			• Cartographie d'aléa et de vulnérabilité	+	+	+	+	NC	+	NC	-	5-10 ans	
			• Mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire	+	+	+	+	NC	+	NC	-	5-10 ans	
			• Conférences et réseau de recherche	+	+	+	+	NC	-	NC	-	2 ans -Infini	

	Modes de gestion	Mesures d'adaptation	Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence	
Actions complémentaires	Tous	Éducation	• Formations dédiées aux risques et au changement climatique	+	+	+	+	NC	-	NC	+	Infini	
			• Conférences et réseau de recherche	+	+	+	+	NC	-	NC	-		2 ans - Infini
			• Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements ou une relocalisation	+	+	+	+	NC	-	NC	+	(I) 25 k€/an opération de sensibilisation aux submersions marines de La Rochelle	Infini
		Information	• Mise en place ou amélioration des systèmes d'alerte précoce	+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini
			• Services climatiques	+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini
			• Concertation	+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini
			• Communication à travers les médias	+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini
		Urbanisme	• Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme	+	+	+	+	NC	-	NC	+		Infini
			• Éviter d'installer de nouvelles constructions dans les zones menacées	+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini

Tableau 3 : Évaluation des mesures d'adaptation aux risques littoraux. NC : non concerné ; Indét. : indéterminé ; Fct : fonction ; CC : changement climatique.

3.3.1. Analyse générale

Une analyse générale des résultats par critère d'évaluation est proposée dans cette partie. Le Tableau 4 représente la répartition des attributs pour chaque critère, pour toutes les catégories de mesures d'adaptation confondues. Les Tableau 5, Tableau 6, Tableau 7 et Tableau 8 montrent le détail de l'évaluation pour chaque grande catégorie de mesures d'adaptation.

Toutes les mesures	Sans regret	Robustesse	Flexible / réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impacts potentiels sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place
+	73%	51%	65%	53%	10%	86%	14%	37%
+/-	14%	12%						29%
-	14%	37%	35%	47%	35%	14%	12%	31%
NC					43%		71%	
Indét.					12%		4%	2%

Tableau 4 : Évaluation des critères pour toutes les catégories de mesures d'adaptation confondues.

Gestion souple des espaces naturels	Sans regret	Robustesse	Flexible / réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impacts potentiels sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place
+	100%	33%	100%	83%	33%	100%	33%	17%
+/-	0%	17%						83%
-	0%	50%	0%	17%	0%	0%	0%	0%
NC					67%		67%	
Indét.					0%		0%	0%

Tableau 5 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Gestion souple des espaces naturels ».

Actions sur l'aléa	Sans regret	Robustesse	Flexible / réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impacts potentiels sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place
+	65%	24%	41%	35%	18%	100%	29%	6%
+/-	6%	29%						53%
-	29%	47%	59%	65%	65%	0%	29%	41%
NC					6%		29%	
Indét.					12%		12%	0%

Tableau 6 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions sur l'aléa ».

Actions sur les enjeux	Sans regret	Robustesse	Flexible / réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impacts potentiels sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en
+	50%	50%	50%	25%	0%	88%	0%	69%
+/-	38%	0%						6%
-	13%	50%	50%	75%	44%	13%	6%	19%
NC					31%		94%	
Indét.					25%		0%	6%

Tableau 7 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions sur les enjeux »

Actions complémentaires	Sans regret	Robustesse	Flexible / réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impacts potentiels sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place
+	100%	100%	100%	100%	0%	58%	0%	50%
+/-	0%	0%						0%
-	0%	0%	0%	0%	0%	42%	0%	50%
NC					100%		100%	
Indét.					0%		0%	0%

Tableau 8 : Évaluation des critères pour les mesures d'adaptation de la catégorie « Actions complémentaires ».

Sans regret

Une grande majorité des mesures est sans regret (73%) et près de 14% des mesures sont sans regret sous certaines conditions (+/-). Par contre, 14% des mesures ne sont pas sans regret (-). Ces mesures n'apportent pas de bénéfice dans tous les scénarios de changement climatique et sont susceptibles de générer un surcoût par rapport à un « dimensionnement » pour le climat actuel, qui serait très dommageable si le changement climatique emprunte une trajectoire différente de celle prévue.

Dans le détail, les actions pour la gestion souple des espaces naturels sont toutes considérées comme sans regret, tout comme les actions complémentaires. Les actions sur les enjeux apparaissent comme positives à 50% et plus ou moins positives selon le contexte pour 38% d'entre elles. 65% des mesures d'adaptation visant à agir sur l'aléa sont sans regret et apportent donc des bénéfices même en l'absence de changement climatique ; 29% des mesures de cette catégorie ne sont toutefois pas sans regret.

Robustesse

L'analyse pour tous les types de mesures d'adaptation indique qu'environ 51% des mesures sont robustes, c'est-à-dire efficaces quel que soit le scénario de changement climatique

considéré et sur le long terme (i.e. à n'importe quelle date dans le futur, à horizon 2300). Près de 37% des mesures ne sont cependant pas robustes et 12% le sont dans certains cas seulement.

Dans le détail, une grande variabilité de robustesse se dégage selon la catégorie de mesures. Ainsi, les mesures de gestion souple et les actions sur l'aléa sont robustes respectivement pour 33% et 24% d'entre elles. **Près de 50% des mesures de gestion souple et des actions sur l'aléa ne sont pas robustes.** A contrario, les actions sur les enjeux apparaissent robustes à 50% tandis que les actions complémentaires le sont dans leur totalité.

Flexibilité/réversibilité

Sur l'ensemble des mesures, près de 65% sont flexibles et réversibles, alors que 35% ne le sont pas.

Dans le détail, cette fois encore des disparités existent : **100% des mesures de gestion souple et des actions complémentaires sont en effet considérées comme réversibles** alors que les **actions sur les aléas** ne le sont qu'à 41%, **une majorité (59%) étant irréversible.** Les actions sur les enjeux se répartissent équitablement entre les mesures réversibles et non réversibles.

Horizon temporel de décision

Les mesures, toutes catégories confondues, ont pour plus de la moitié d'entre elles (53%) un horizon temporel de décision réduit ; les 47% restants engagent au-delà de 10 ans.

Une grande majorité des mesures de gestion souple a un horizon temporel de décision réduit (83%). Les mesures des catégories « Actions sur l'aléa » et « Actions sur les enjeux » ont un horizon temporel de décision long pour 65% et 75% d'entre elles respectivement. Une fois encore, les actions complémentaires se démarquent avec 100% des actions qui ont un horizon temporel de décision court.

Synergie avec l'atténuation

Ce critère a parfois été difficile à évaluer car souvent dépendant de l'ampleur des actions à réaliser en fonction du contexte de chaque site. Seule la réalisation systématique d'un bilan carbone pour chaque mesure d'adaptation permettrait de quantifier et confirmer l'évaluation qualitative effectuée dans cette étude. **La synergie positive avec l'atténuation de l'émission de GES reste globalement très marginale** avec 10% de mesures la favorisant. Notons toutefois que 43% des mesures ne sont pas concernées (par exemple les actions complémentaires). Par contre, **ces mesures seraient plutôt génératrices d'émission de GES pour 35% d'entre elles.** Dans environ 12% des cas, cette synergie entre mesure d'adaptation et réduction des émissions de GES n'a pas pu être déterminée.

En ce qui concerne les mesures de gestion souple, elles apparaissent à 33% comme plutôt positives dans le cadre de la réduction de l'émission de GES tandis que les 67% restants ne sont pas concernés. Les actions sur les aléas sont par contre plutôt défavorables et vont à l'encontre de l'atténuation avec **65% des mesures qui apparaissent comme négatives**, contre 18% de positives. Dans environ 12% des cas, le critère n'a pas pu être évalué. **Les actions sur les enjeux ne favorisent jamais l'atténuation.** 44% d'entre elles vont à l'encontre de la synergie avec l'atténuation, 31% ne sont pas concernées et 25% sont indéterminées. Enfin, nous avons considéré que la totalité des mesures complémentaires n'est pas concernée par cette synergie avec l'atténuation des émissions de GES.

Bénéfice immédiat

Les mesures permettant un bénéfice immédiat sont très largement dominantes (86%) alors que 14% des mesures nécessitent un délai une fois mises en œuvre pour montrer leur efficacité. Cela signifie **que dans une grande majorité des cas, les mesures d'adaptation au changement climatique apportent un bénéfice immédiat à la société au regard de l'objectif pour lequel elles sont mises en œuvre, et ce indépendamment de tout autre facteur.**

Dans le détail, **toutes les mesures pour la gestion souple des espaces naturels et les actions sur l'aléa apportent des bénéfices immédiats.** Les actions sur les enjeux en apportent dans 88% des cas. Enfin, les actions complémentaires apportent un bénéfice immédiat pour 58% d'entre elles mais 42% n'en apportent pas.

Impacts potentiels sur d'autres risques

La réduction d'un risque autre que celui pour lequel une action a été entreprise ne concerne que 14% des mesures environ. Par ailleurs, les mesures d'adaptation sont potentiellement génératrices d'un effet négatif sur d'autre(s) risque(s) dans 12% des cas. **Dans 71% des cas, les mesures n'ont pas d'incidence sur les autres aléas.**

Dans le détail, les mesures complémentaires ne sont pas concernées. **Les actions pour la gestion souple des espaces naturels n'interfèrent pas avec les aléas autres que ceux pour lesquels elles ont été prises (67%) ou ont potentiellement un impact positif (33%).** Par contre, **les actions sur un aléa peuvent avoir des effets négatifs sur les autres aléas pour 29% d'entre elles.** 59% de ces mesures ont soit un impact positif, soit ne sont pas concernées ; il n'a pas été possible d'évaluer le critère pour les 12% restants. **Les actions sur les enjeux n'ont pas d'incidence sur les aléas dans 94% des cas ;** seuls 6% des actions seraient en mesure d'avoir des répercussions négatives sur un aléa.

Efficacité de la mesure si elle seule est mise en place

L'efficacité d'une mesure, si elle est appliquée seule (autosuffisance), concerne environ 37% d'entre elles tandis qu'un nombre équivalent (31%) de ces mesures ne sont pas autosuffisantes ; 29% d'entre elles seront autosuffisantes dans certains cas seulement, enfin, pour 2% d'entre elles, cette autosuffisance n'a pas pu être déterminée.

En ce qui concerne **les mesures de gestion souple, leur efficacité si elles sont mises en place seules dépend généralement du contexte local (83%).** Les mesures restantes sont considérées comme autosuffisantes. **L'efficacité des actions sur les aléas dépend d'autres actions ou du contexte local dans la majorité des cas (94%).** Les actions sur les enjeux sont autosuffisantes pour près de 70% d'entre elles alors que 19% nécessitent d'être accompagnés d'autres mesures pour être efficaces. Enfin, les actions complémentaires se répartissent équitablement entre des mesures autosuffisantes et d'autres qui nécessitent d'être accompagnées par d'autres mesures pour être efficaces.

Horizon temporel d'obsolescence

L'analyse générale de ce critère montre que **31% des mesures (toutes catégories confondues) ont un horizon temporel d'obsolescence qui dépend de l'élévation du niveau de la mer (ou du changement climatique en général) et que selon les cas, cette proportion peut monter à 39%.** Cela signifie que potentiellement deux cinquièmes des mesures d'adaptation considérées dans cette étude voient leur durée de vie intrinsèque modulée par les effets du changement

climatique. Ce constat a deux conséquences : d'une part il souligne la nécessité de la contextualisation de l'évaluation des mesures d'adaptation et d'autre part il met en évidence l'importance d'affiner les projections des aléas à l'échelle locale, ce qui se traduit par estimer les probabilités de recul du trait de côte ou de submersion marine locales en fonction des scénarios de changement climatique et des modèles probabilistes. Il serait alors possible de préciser les horizons temporels d'obsolescence et de créer des chemins d'adaptation pertinents.

3.3.2. Analyse multicritère

L'analyse de l'ensemble des mesures qui seraient à la fois **sans regret, robustes et réversibles/flexibles** met en avant **21 mesures d'adaptation** qui répondent à ces critères : 12 font partie de la catégorie « Actions complémentaires », 4 de la catégorie « Actions sur les enjeux », 2 de la catégorie « Actions sur l'aléa » et 2 de la catégorie « Actions pour la gestion souple des espaces naturels ». La liste de ces mesures est présentée dans le Tableau 9. Ces mesures apportent des bénéfices tangibles ou non tangibles pour la société indépendamment du changement climatique, sont pertinentes et efficaces quelle que soit la trajectoire prise par le changement climatique et à n'importe quelle date dans le futur et ne font pas supporter de coût important pour la société si elles sont finalement abandonnées. Ce sont des **mesures particulièrement intéressantes dans le cadre d'une planification de l'adaptation au changement climatique car elles représentent une bonne option dans un contexte empreint d'incertitudes**. Les mesures de la catégorie « Actions complémentaires » répondent toutes à ces 3 critères. Ceci est principalement dû au fait que ce ne sont pas des mesures physiques ; elles sont par conséquent indépendantes du changement climatique et systématiquement flexibles. Il faut néanmoins souligner que les mesures complémentaires viennent, comme leur nom l'indique, en complément d'autres mesures dans le cadre de la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de gestion selon le site étudié. Elles ne sont donc pas suffisantes pour planifier l'adaptation aux risques côtiers dans le cadre du changement climatique. Il est intéressant de noter que les modes de gestion « Atténuation de l'aléa (submersion) », « Lutte active souple (érosion côte sableuse) » et « Lutte active dure (érosion) » de la catégorie « Actions sur l'aléa » n'incluent aucune mesure qui remplisse les 3 critères précités.

Si aux critères précédents nous ajoutons les contraintes d'**horizon temporel de décision réduit et de bénéfice immédiat**, nous obtenons 13 mesures d'adaptation correspondantes. La majorité de ces actions (7) font partie de la catégorie « Actions complémentaires » (Tableau 9), 2 de la catégorie « Actions sur les enjeux », 2 de la catégorie « Actions sur l'aléa » et enfin 1 de la catégorie « Actions pour la gestion souple des espaces naturels ». En comparaison avec les 21 mesures identifiées précédemment, ces 13 mesures n'engagent pas sur des durées supérieures à 10 ans ce qui permet de se laisser la possibilité de changer de stratégie lorsqu'elles ne sont plus adaptées aux conditions environnementales du moment. Elles apportent en outre des bénéfices immédiats dès leur mise en œuvre au regard du mode de gestion ou de l'objectif pour lequel elles sont destinées. **Ces 13 mesures peuvent être considérées comme des mesures phares incontournables de l'adaptation au changement climatique.**

Si enfin nous ajoutons aux critères précédents celui de l'autosuffisance de la mesure, il ne reste plus que 4 mesures qui remplissent ces conditions :

- la mise en place d'un réseau de surveillance / observation pour le mode de gestion « Évolution naturelle surveillée » ;
- la réalisation de bâtiments démontables pour le mode de gestion « Réduction de la vulnérabilité » ;
- la création de services climatiques (actions complémentaires – information des citoyens) ;
- la communication via les médias (actions complémentaires – information des citoyens).

Pour chacun des objectifs ou modes de gestion concernés, **ces 4 mesures peuvent être considérées comme les actions minimales à mettre en œuvre dans une stratégie d'adaptation au changement climatique**. Par exemple, si l'on souhaite réduire la vulnérabilité d'un territoire, l'action minimale à mettre en œuvre consiste à réaliser des bâtiments démontables.

Mode de gestion / Objectif de la mesure complémentaire	Mesure	Critères		
		<i>Sans Regret Robuste Réversible</i>	<i>Sans Regret Robuste Réversible Temps réduit Bénéfice immédiat</i>	<i>Sans Regret Robuste Réversible Temps réduit Bénéfice immédiat Autosuffisance</i>
Évolution naturelle surveillée	Mise en place d'un réseau de surveillance / observation	✓	✓	✓
Accompagnement des processus naturels	Gestion de la fréquentation	✓	✓	
Résistance face à l'aléa	Mise en place de moyens de défense temporaires	✓	✓	
	Limitier les actions favorisant la subsidence (pompage eau potable, exploitation pétrolière, gaz, etc.)	✓	✓	
Réduction de la vulnérabilité	Bâtiments démontables	✓	✓	✓
	Normes de construction adaptées aux risques	✓		
	Mise en place de programmes de gestion du foncier (échanges de terres)	✓		
	Plan Communal de Sauvegarde	✓	✓	
Amélioration de la connaissance	Réseau de surveillance et/ou d'observatoires (suivis)	✓		
	Cartographie d'aléa et de vulnérabilité	✓	✓	
	Mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire	✓	✓	
	Conférences et réseau de recherche	✓		
Amélioration de l'éducation	Formations dédiées aux risques et au changement climatique	✓		
	Conférences et réseau de recherche	✓		
	Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements ou une relocalisation	✓		
Information des citoyens	Mise en place ou amélioration des systèmes d'alerte précoce	✓	✓	

	Services climatiques	✓	✓	✓
	Concertation	✓	✓	
	Communication à travers les médias	✓	✓	✓
Planification de l'urbanisation	Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme	✓		
	Éviter d'installer de nouvelles constructions dans les zones menacées	✓	✓	

Tableau 9 : Analyse multicritère des mesures d'adaptation.

La robustesse d'une mesure caractérise sa capacité à être pertinente et efficace dans tous les scénarios de changement climatique et à n'importe quelle date dans le futur. Les mesures robustes sont donc des mesures particulièrement intéressantes dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Néanmoins, des **mesures non robustes qui ont un horizon temporel de décision réduit sont tout aussi intéressantes** car elles permettent de changer de stratégie dès le moment où elles ne sont plus en adéquation avec les conditions environnementales. On considère en effet que les modifications des conditions environnementales dues au changement climatique ne sont pas perceptibles sur des durées inférieures à 10 ans. Le Tableau 10 liste les mesures qui sont dans ce cas. On remarque par exemple que toutes les mesures de génie écologique sur les plages ou les dunes en font partie. Il est utile de noter que ces 8 mesures engendrent en plus des bénéfices immédiats au regard du mode de gestion visé, ce qui renforce leur intérêt.

Mode de gestion	Mesure
Accompagnement des processus naturels (érosion)	Mise en place de branchages, ganivelles, filets brise-vent
	Palissade en avant de falaise
	Végétalisation (dune, falaise, etc.)
Résistance face à l'aléa (submersion)	Réhabilitation ou reconstruction de dunes
Lutte active souple (érosion côte sableuse)	Rechargement de plage et/ou de dune
	Drainage de plage
Lutte active dure (érosion)	Géotextile
Réduction de la vulnérabilité	Bâtiments étanchéifiés ou circulation de l'eau facilitée

Tableau 10 : Mesures d'adaptation non robustes (ou dans certains cas seulement) ayant un horizon temporel de décision réduit.

3.3.3. Synthèse

Comme mentionné au début de ce Chapitre, l'évaluation des mesures d'adaptation proposée est indépendante de tout contexte local afin de comparer, à partir d'une même grille d'analyse et

selon des critères objectifs en lien avec le changement climatique, toutes les mesures d'adaptation recensées. Il est ainsi possible d'en tirer quelques enseignements généraux. En revanche, une telle évaluation générale n'est pas suffisante pour les prises de décision liées au choix de mesures d'adaptation pour un site particulier. En effet, nous avons montré (cf. Tableau 3) qu'un certain nombre d'entre elles avait des conséquences et des répercussions différentes selon le site sur lequel elles étaient appliquées. Toute décision d'adaptation devra prendre en compte le contexte local afin d'évaluer finement les différents critères de choix. En outre, aucune note globale n'est donnée dans cette analyse car il faudrait pour cela pondérer les critères d'évaluation, ce qui ne serait possible qu'en concertation avec les parties prenantes locales. Notons qu'il existe des méthodes de pondération qui pourraient être appliquées localement (voir par exemple les travaux de Le Cozannet et al. (2013)). Les externalités positives ou négatives des mesures d'adaptation ne sont prises en compte que pour les aléas littoraux (cf. critère « *Impacts potentiels sur d'autres risques* » §3.2.7). Les effets indirects sur l'environnement, la biodiversité, le paysage, le tourisme ou les activités économiques au sens large ne sont pas considérés ici car ce sont des critères qui s'apprécient au cas par cas et dépendent du contexte local. L'évaluation plus fine des différentes options d'adaptation au niveau local devra en revanche prendre en compte ces éléments.

Quelles que soient leurs catégories, les mesures engendrant un bénéfice immédiat sont très largement dominantes (86%). Cela implique que **la mise en œuvre le plus rapidement possible de mesures d'adaptation au changement climatique sera bénéfique à la société** au regard des modes de gestion ou des objectifs visés, indépendamment des évolutions futures du climat. En revanche, **les mesures qui nécessitent un délai entre leur mise en place et les bénéfices attendus doivent être réfléchies et anticipées dans la planification de l'adaptation**. Il y a très peu de mesures physiques robustes, c'est-à-dire efficaces quel que soit le scénario de changement climatique considéré et à des échéances très longues (plusieurs centaines d'années). En revanche, **il existe de nombreuses possibilités d'adaptation à court et moyen termes (2030-2050, 2080-2100)**. Les mesures ayant un horizon temporel de décision réduit sont intéressantes dans le contexte incertain des impacts du changement climatique car elles permettent de changer de stratégie dès que le besoin s'en fait sentir. Notons également qu'il y a assez **peu de mesures d'adaptation qui sont en synergie avec l'atténuation des GES**, alors que celle-ci apparaît comme prioritaire pour tenter de limiter le réchauffement climatique, même si, d'après les dernières évaluations, l'inertie du système s'étendra sur plusieurs siècles. En effet, ce dernier conditionne, entre autres, la vitesse de l'élévation du niveau marin et son amplitude à une échéance donnée. Ces paramètres jouent un rôle important aussi bien pour l'aléa submersion marine que sur l'érosion et le recul du trait de côte (Le Cozannet et al., 2016).

Beaucoup de mesures ont un horizon temporel d'obsolescence qui dépend de l'élévation du niveau de la mer, elle-même contrainte par les scénarios de changement climatique. Cela signifie que la durée de vie intrinsèque de la mesure est suffisamment élevée pour que l'élévation du niveau de la mer joue un rôle et réduise sa période d'efficacité. Pour ces mesures, il est nécessaire d'**affiner les projections des aléas aux échelles globale, régionale et locale** pour préciser leur horizon temporel d'obsolescence. Il sera alors possible d'élaborer des chemins d'adaptation les mieux adaptés au site d'étude.

Les mesures de la catégorie « Actions complémentaires » ne s'excluent pas entre elles alors que c'est souvent le cas des autres mesures. Il apparaît d'ores-et-déjà que ces mesures **constituent un cadre nécessaire et propice à l'élaboration de toute stratégie d'adaptation mettant en œuvre un ou plusieurs modes de gestion**, tout en gardant à l'esprit qu'elles ne sont généralement pas suffisantes pour planifier l'adaptation aux risques côtiers dans le cadre du changement climatique.

4. Conclusion

Le présent rapport constitue le livrable final de la première phase du programme complémentaire « Adaptation au Changement Climatique » de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, financé par la Région Nouvelle-Aquitaine, la DREAL Nouvelle-Aquitaine, l'Europe (fonds FEDER) et le BRGM. Cette première phase a pour objectif de faire une première évaluation des stratégies d'adaptation sur le littoral aquitain.

La méthode développée dans le cadre de ce projet s'appuie sur des expériences néerlandaises et anglo-saxonnes récentes et est présentée par le GIEC comme la plus adaptée pour répondre efficacement aux défis de l'adaptation au changement climatique. Il s'agit d'une approche itérative, centrée sur les solutions (mesures d'adaptation), qui permet la prise de décision dans le contexte très incertain de l'évolution des risques. Cette approche revêt un caractère exploratoire et le projet n'a pour ambition que d'initier la démarche en Aquitaine.

Cinquante-et-une mesures d'adaptation, issues d'une synthèse bibliographique internationale, sont présentées et classées selon les modes de gestion du littoral, eux-mêmes issus de la terminologie employée dans les stratégies nationale et régionale de gestion de la bande côtière. Dix critères en lien avec le changement climatique sont identifiés afin d'évaluer les différentes mesures d'adaptation. L'analyse des résultats met en évidence les caractéristiques principales des mesures dans chaque mode de gestion et permet l'identification d'un socle de mesures essentielles pour l'adaptation aux risques côtiers dans un contexte de changement climatique. De manière générale, l'étude révèle qu'il existe de nombreuses possibilités d'adaptation à court et moyen termes (2030-2050, 2080-2100) et souligne la nécessité de bien anticiper et planifier l'adaptation, en particulier pour les mesures qui nécessitent un délai entre leur mise en place et les bénéfices attendus. L'élaboration de chemins d'adaptation adaptés aux contextes géographiques locaux devra s'appuyer sur des projections d'aléas plus fines afin de préciser l'horizon temporel d'obsolescence des mesures.

L'évaluation des mesures d'adaptation proposée est indépendante de tout contexte local afin de comparer, à partir d'une même grille d'analyse et selon des critères objectifs en lien avec le changement climatique, toutes les mesures d'adaptation recensées. Une telle évaluation générale n'est cependant pas suffisante pour les prises de décision liées au choix de mesures d'adaptation pour un site particulier. Toute décision d'adaptation devra prendre en compte le contexte local afin d'évaluer finement les différents critères de choix.

Les stratégies locales de gestion de la bande côtière élaborées actuellement en Aquitaine établissent des plans d'actions à des horizons temporels (30-40 ans) qui justifient la prise en compte du changement climatique dans l'évolution des risques. Aussi, les résultats de cette étude nous amènent à recommander que les critères d'évaluation proposés dans ce rapport soient intégrés dans les analyses multicritères proposées par le GIP Littoral Aquitain dans sa stratégie régionale de gestion de la bande côtière.

La phase 2 du programme complémentaire s'intéressera en partie à appliquer la méthode sur un site côtier idéalisé exposé à l'aléa érosion. Cette contextualisation devrait permettre d'affiner les projections de l'aléa recul du trait de côte localement et ainsi de préciser l'horizon temporel d'obsolescence de certaines mesures d'adaptation.

Rappelons pour finir la nécessité de penser et d'anticiper l'adaptation au changement climatique dès à présent et sans attendre un contexte général moins incertain, car elle fait face à deux inerties majeures : celle du système climatique, qui implique des changements inévitables à venir

même si les émissions de GES sont stoppées, et celle de la société, qui implique que la mise en place effective de mesures d'adaptation peut prendre un temps considérable.

5. Bibliographie

Alfieri, L., Salamon, P., Pappenberger, F., Wetterhall, F. and Thielen J. (2012) – Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. *Environmental Science & Policy*, Volume 21, August 2012, Pages 35-49.

Allenvi (2014) – Mise en œuvre de la stratégie scientifique de développement des Services Climatiques. Disponible sur <http://www.allenvi.fr/content/download/4450/33635/version/1/file/Strat%C3%A9gie+scientifique+de+d%C3%A9veloppement+des+services+climatiques.pdf> [dernier accès le 15/01/2016]

Becerra, S. (2012) – Vulnérabilité, risques et environnement: l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain, [VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 12, 1.

Boruff, B.J., Emrich, C. and Cutter, S.L. (2005) – Erosion hazard vulnerability of US coastal counties, *J. Coast. Res.*, 21, 932–942, doi:10.2112/04-0172.1.

Brasseur, G.P., Gallardo, L. (2016) – Climate services: Lessons learned and future prospects. *Earth's Future*, Volume 4, Issue 3, p. 79-89. doi:10.1002/2015EF000338.

Bulteau, T., Garcin, M., avec la participation de Oliveros, C. et Lenôtre N. (2011) – Synthèse des travaux menés sur l'observation de l'évolution du trait de côte. Rapport BRGM/RP-59396-FR, 156 p., 27 fig., 4 tab., 1 ann.

Bulteau, T., Douillac, P. (2017) – Bilan des actions de communication entreprises dans le cadre du programme complémentaire de l'Observatoire de la Côte Aquitaine « animation-valorisation ». Rapport final BRGM/RP-67417-FR, 40 p., 22 ill., 2 tabl.

Cardonna, O.D. (2004) – The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management, *Mapping vulnerability: Disasters, development and people*, 17, p. 37–51.

Cassen, C., Guivarch, C., Lecocq, F. (2015) – Les cobénéfices des politiques climatiques: un concept opérant pour les négociations climat?, *Natures Sciences Sociétés*, 23, S41-S51.

CEPRI (2015) – Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ? - Principes techniques d'aménagement. Accessible en ligne : http://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/CEPRI%20rapport%20principe%20amenagt.pdf [Dernier accès le 09/02/2015]

CEPRI (2016) – Les collectivités territoriales face aux risques littoraux. Élaborer et mettre en œuvre une stratégie de réduction du risque de submersion marine. Accessible en ligne : <http://www.localtis.info/cs/BlobServer?blobkey=id&blobnocache=true&blobwhere=1250169143464&blobheader=application%2Fpdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs> [dernier accès le 14/11/2016]

Clark, P.U., Shakun, J.D., Marcott, S.A., Mix, A.C., Eby, M., Kulp, S., Levermann, A., Milne, G.A., Pfister, P.L., Santer, B.D., et al. (2016) – Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nat. Clim. Chang.*, 6, 360–369.

CRA (2013) – Les impacts du changement climatique en Aquitaine, sous la direction d'Hervé Le Treut, Conseil régional Aquitaine, Presses Universitaires de Bordeaux, 365 p. ISBN 978-2-86781-874-5

CDL (2012) – Le conservatoire du littoral face au changement climatique, étude menée avec le soutien de la fondation P&G par Artelia et Stratys, 50pp.

De La Torre, Y. (2008) – Livret pédagogique « Gestion de l'érosion du littoral de Mayotte ». Rapport final. Rapport BRGM/RP-56366-FR, 30 p.

DRE (2004) – Rendre son habitation moins vulnérable aux inondations – Guide à l'usage des propriétaires. Direction Régionale de l'Équipement Bretagne. ISRN EQ-DRE35/RE- -04-02- -FR. Accessible en ligne : https://www.cepri.net/tl_files/pdf/guidedrebretagnepropritaires.pdf [Dernier accès le 02/10/2017].

Eurosite (2011) – Restitution des travaux atelier Eurosite : Pratiques de restauration des zones humides. Mai 2011. Ambleteuse (France) Accessible : <http://www.eden62.fr/wp-content/uploads/2012/05/eurosite-pour-site-internet.pdf> [dernier accès le 15/01/2016]

Fattal, P. et Walker, P. (2008) – Le drainage de plage : une méthode douce de stabilisation d'un littoral meuble - Etude de cas aux Sables d'Olonne (Vendée). X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis. Doi: 10.5150/jngcgc.2008.023-F

Favennec, J. (2006) – L'Office national des forêts et la gestion des dunes du littoral aquitain, présentation aux Rencontres de Chiberta, 9 juin 2006 [Accessible : <http://adala-asso.com/000/news/news-142-01.pdf>, dernier accès le 15/01/2016]

Garcin, M. (2013) – Projet ARAI 3 : Aménagements et ouvrages côtiers polynésiens – incidence sur l'aléa submersion et impacts environnementaux. Rapport BRGM/RP-61656-FR. Disponible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61656-FR.pdf> [Dernier accès le : 07-01-2016]

Géologues n°156 – Le confortement des falaises de Biarritz, pp 73-77. [Accessible : http://www.geosoc.fr/temoignages/doc_download/194-le-confortement-des-falaises-de-biarritz.html]

GIP (2012) – Sensibilité régionale à l'érosion côtière. Groupement d'intérêt public Littoral Aquitain.

GIP (2016) – Modalités de gestion des risques de submersion marine sur le littoral aquitain, Rapport de stage de M2, Florent Lasvaux, Camille André, Arnaud Gueguen, GIP Littoral Aquitain.

Hallegatte, S. (2009) – Strategies to adapt to an uncertain climate change, Global Environmental Change, 19, 240–247.

Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J. (2013) – Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. Glob. Environ. Chang.-Hum. Policy Dimens., 23, 485–498.

Hénaff, A. (Ed.), Philippe, M. (2014) – Gestion des risques d'érosion et des submersions marines, guide méthodologique. Projet Cocorisco, 156 p.

Hewitt, C., Mason, S., Walland, D. (2012) – Commentary: The global framework for climate services. Nat. Clim. Chang., 2, 831–832.

Hillen, M.M., Jonkman, S.N., Kanning, W., Kok, M., Geldenhuys, M., Vrijling, J.K. and Stive, M.J.F. (2010) – Coastal Defence Cost Estimates. Case Study of the Netherlands, New Orleans and Vietnam. The Netherlands: TU Delft. Available from: <http://tiny.cc/lwlkh> [Accessed: 07/07/10].

Hunter, J. (2012) – A simple technique for estimating an allowance for uncertain sea-level rise. *Climatic Change*, 113(2), 239-252.

INSEE (2017) – À l'horizon 2050, 900 000 séniors en plus en Nouvelle-Aquitaine. INSEE Analyses n°43, juin 2017. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2868301#titre-bloc-8> [Dernier accès le 22/11/2017].

IOC (2009) – Hazard Awareness and Risk Mitigation in Integrated Coastal Area Management (ICAM). Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Manual and Guides No. 50, ICAM Dossier No. 5. Paris: UNESCO.

Jones, R.N., Patwardhan, A., Cohen, S.J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R.J., Mirza, M.M.Q. and von Storch, H. (2014) – Foundations for decision making. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 195-228.

Lambert, A., Rey, V., Provansal, M., Samat, O. et Sabatier, F. (2007) – Lutte contre l'érosion littorale : efficacité des méthodes de stabilisation par drainage de plage, le cas de la baie d'Agay, Var. Méditerranée, 2007/1 (n° 108), pp105-117.

Lavery, S. and Donovan, B. (2005) – Flood risk management in the Thames Estuary looking ahead 100 years. *Phil. Trans. R. Soc. A* 363, 1455–1474. (doi:10.1098/rsta.2005.1579)

Le Cozannet, G., Ait-Kaci, A., Colas, S., De Lacaze, X., Lecacheux, S., Mirgon, C., Peinturier, C., Garcin, M. and Oliveros, C. (2013) – Recent GIS based national assessments of climate change consequences in France: methods, results and lessons learnt. *Journal of Coastal Research: Special Issue 65 - International Coastal Symposium Volume 2*: pp. 1421-1426.

Le Cozannet, G., avec la collaboration de Bulteau, T., Bails, A. et Garcin, M. (2016) – Conséquences du changement climatique sur les risques côtiers en Nouvelle-Aquitaine : état des connaissances. Rapport final, BRGM/RP-66465-FR, 74 p., 27 ill., 3 tabl.

Le Cozannet, G., Garcin, M., Bulteau, T., Mirgon, C., Yates, M.L., Méndez, M., ... & Oliveros, C. (2013) – An AHP-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1209-1227.

Le Cozannet, G., Lenôtre, N., Nacass, P., Colas, S., Perherin, C., Vanroye, C., Peinturier, C., Hajji, C., Poupat, B., Azzam, C., Chemitte, J. et Pons, F. (2009) - Impacts du Changement Climatique, Adaptation et coûts associés en France pour les Risques Côtiers ; Rapport du Groupe de Travail « Risques Naturels, Assurances et Adaptation au Changement Climatique », Rapport BRGM/RP-57141-FR.

Le Cozannet, G., Nicholls, R. J., Hinkel, J., Sweet, W. V., McInnes, K. L., Van de Wal, R. S., & White, K. D. (2017) – Sea level change and coastal climate services: The way forward. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(4), 49.

Lémond, J., Dandin, P., Planton, S., Vautard, R., Pagé, C., Déqué, M., Moisselin, J.M. (2011) – DRIAS: A step toward Climate Services in France. *Adv. Sci. Res.*, 6, 179–186.

Linham, M.M. and Nicholls, R.J. (2010) – Technologies for Climate Change Adaptation – Coastal Erosion and Flooding. TNA Guidebook Series. UNEP. Disponible sur : http://www.unep.org/pdf/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf [Dernier accès le : 15/01/2016]

McFadden, L., Penning-Rowsell, E., Tapsell, S. (2009) – Strategic coastal flood-risk management in practice: actors' perspectives on the integration of flood risk management in London and the Thames Estuary. *Ocean Coast. Manage.* 52, 636–645. (doi:10.1016/j.ocecoaman.2009.10.001)

Marçot, N., Stépanian, A., Larroque, B. (2014) – L'érosion du trait de côte rocheux et sableux sur le littoral Varois : présentation des dernières études menées et des travaux associés. Atelier EUCC-France, 14-15 octobre 2014. Disponible sur : http://www.brqm.fr/sites/default/files/atelier-eucc-var_2014_livret-guide.pdf [Dernier accès le : 29/07/2016]

MEDCIE GSO (2011) – Stratégies territoriales d'adaptation au changement climatique dans le Grand Sud-Ouest, 358 p. <http://www.aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/strategies-territoriales-d-adaptation-au-r811.html>

MEDDE (2014) – Guide méthodologique : plan de prévention des risques littoraux. Direction Générale de la Prévention des Risques, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 169 p.

MEDDE (2015a) – Évaluation du plan national d'adaptation au changement climatique, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, rapport n° 010178-01, 203 p.

MEDDE (2015b) – Vers la relocalisation des activités et des biens, 5 territoires en expérimentation. Actes du séminaire national de restitution du 30 juin 2015. Disponible sur : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/AAPR_ActesS_R_ministere20150630_V20160205_cle01dc58.pdf [Dernier accès le : 08/08/2017]

MEDDTL (2011) – Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, du Transport et du Logement, 187 p.

MEDDTL (2012) – Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, vers la relocalisation des activités et des biens, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 20 p.

MEEDDM (2010) – La gestion du trait de côte, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, éditions Quæ, 290 p.

Monfray, P. and Bley, D. (2016) – JPI Climate: A key player in advancing Climate Services in Europe. *Clim. Serv.*, 4, 61–64.

Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P., Osman-Elasha, B. and Villamizar, A. (2014) – Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.

Nordstrom, K.F., Lampe, R. and Vandemark, L.M. (2000) – Reestablishing naturally functioning dunes on developed coasts. *Environmental Management*, 25 (1), 37-51.

ONF (2013) – Evaluation de la robustesse des cordons dunaires face à une submersion marine, Mission d'intérêt général « Prévention des risques naturels », 206 p.

ONF (2017) – Guide de gestion des dunes et des plages associées, édition Quæ, 224 p., ISBN: 978-2-7592-2481-4.

Planton, S. et al. (2015) – Le climat de la France au XXI^e siècle. Vol 5 : Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises . [Rapport de recherche] Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 70 p.

Pupier-Dauchez, S. (2002) – Le rechargement sédimentaire : de la défense des côtes à l'aménagement du littoral : analyse des pratiques sur la côte atlantique française. 2 tomes, Thèse de doctorat de géographie, Brest, Université de Bretagne occidentale.

Ranger, N., Reeder, T., Lowe, J. (2013) – Addressing 'deep' uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: Four innovations of the Thames Estuary 2100 Project. *EURO J. Decis. Process.*, 1, 233–262.

Rocle, N. (2015) – Gouverner l'adaptation au changement climatique sur (et par) les territoires : l'exemple des littoraux aquitain et martiniquais. *Natures Sciences Sociétés*, EDP Sciences, 23 (3), pp.244-255.

Rocle, N. (2017) – L'adaptation des littoraux au changement climatique : une gouvernance performative par expérimentations et stratégies d'action publique. Thèse de sociologie. Université de Bordeaux, Français. <NNT : 2017BORD0896>. <tel-01769993>

Roe, G.H. and Baker, M.B. (2007) – Why is climate sensitivity so unpredictable?, *Science*, Vol.318, Issue 5850, pp.629-632, doi:10.1126/science.1144735.

Schmidt, C. W. (2015) – Delta subsidence: an imminent threat to coastal populations. *Environ. Health Perspect.*, 123 (8), A204–A209. doi: [10.1289/ehp.123-A204](https://doi.org/10.1289/ehp.123-A204)

Sergent, P. (2012) – Stratégies d'adaptation des ouvrages de protection marine ou des modes d'occupation du littoral vis-à-vis de la montée du niveau des mers et des océans. Présentation disponible sur http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/Sergent_cle21efcb.pdf [Dernier accès le 29/07/2016]

Smith, M. S., Horrocks, L., Harvey, A., Hamilton, C. (2011) – Rethinking adaptation for a 4°C world. *Phil. Trans. R. Soc. A* 369, 196–216, doi:10.1098/rsta.2010.0277

U.S. Agency for International Development (US AID) (2009) – Adapting to Coastal Climate Change: A Guidebook for Development Planners.

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) (2009) – Synthesis of Adaptation Options for Coastal Areas. Washington, DC, Climate Ready Estuaries Program. EPA 430-F-08-024.

Vaessen, V. et Brentführer, R. (2015) – L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique – un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB et IGRAC. Disponible sur http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarb/Politikberatung_GW/Downloads/Module_8_fr.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [Dernier accès le 15/09/2016]

de Vries, H. (2009) – Probability forecasts for water levels at the coast of The Netherlands, Marine Geodesy, 32 (2009), pp. 100–107

Wisner, B., Cannon, T., Davis, I., Blaikie, P. (2004) – At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters, 2nd edition, London, Routledge.

Annexe 1

Synthèse des éléments de prospective socio-économique

Le littoral aquitain est un territoire extrêmement attractif et moteur pour le développement de la région. Cette attractivité génère une augmentation de la densité de population (notamment en été) et une concentration des activités sur certains secteurs littoraux. La situation en matière d'habitat et d'infrastructures est contrastée : les côtes sableuses des Landes et de la Gironde ont été relativement préservées vis-à-vis d'aménagements aux abords immédiats du trait de côte ; à l'inverse, la côte basque présente des occupations relativement denses à l'aplomb des falaises rocheuses (Rocle, 2017). On estime ainsi que le littoral sableux est urbanisé sur 10% du linéaire tandis que le littoral rocheux l'est à 70%.

L'étude de l'évolution des risques naturels nécessite de prendre en compte à la fois l'évolution des aléas et celle de la vulnérabilité du territoire. Cette dernière peut s'évaluer à travers une prospective socio-économique qui consiste à explorer les futurs possibles en construisant, de manière concertée, des scénarios qualitatifs et quantitatifs contrastés pour se projeter, pour anticiper l'évolution future de la vulnérabilité du territoire et éclairer les décisions d'aménagement.

Cette Annexe fait la synthèse des éléments de prospective socio-économique disponibles en Aquitaine (cf. §1.6).

ANALYSE DES DONNEES

Évolutions démographiques de l'INSEE en Nouvelle-Aquitaine

Dans une récente étude consacrée à l'évolution démographique de la région Nouvelle-Aquitaine, l'INSEE démontre que la région devrait bénéficier d'un excédent migratoire important si les tendances récentes se poursuivent (+0,6 % par an jusqu'en 2050) (INSEE, 2017). La hausse de la population en région se concentrerait essentiellement sur les séniors (personnes âgées de 65 ans ou plus, Figure 30) : on dénombrait, selon les projections, près de 900 000 séniors en plus dans la région, dont presque les trois quarts seraient âgés de plus de 75 ans. L'INSEE précise que cette progression en région serait la plus forte à l'échelle de la métropole. La cause de cette augmentation est principalement liée à la mobilité résidentielle : la région aurait, en 2050, le plus important solde migratoire de France dans ces tranches d'âges. Entre 2013 et 2050, la population augmenterait dans tous les départements de Nouvelle-Aquitaine. Les quatre départements du littoral, ainsi que la Vienne, porteraient majoritairement cette dynamique (Figure 30). Leur rythme de croissance resterait égal ou supérieur à celui de la région : de + 0,4 % de croissance annuelle moyenne pour les Pyrénées-Atlantiques à + 0,7 % pour la Gironde. Entre 2013 et 2050, la Gironde, la Vienne et la Charente-Maritime seraient ainsi respectivement classées 6e, 12e et 15e des départements de métropole pour leur croissance démographique. Le poids de la Gironde, premier département de la région en nombre d'habitants, s'en trouverait renforcé : il passerait de 26 % de la population régionale en 2013 à 29 % en 2050.

En 2050, un million d'habitants en plus en Nouvelle-Aquitaine

Pyramide des âges des Néo-Aquitains en 2013 et en 2050

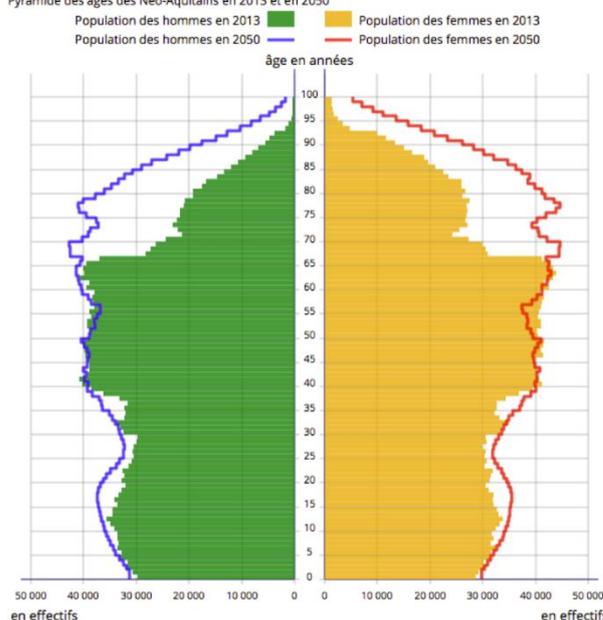


Figure 3 – Les 900 000 séniors en plus se répartissent dans tous les départements

Croissance annuelle moyenne des 65 ans ou plus par département entre 2013 et 2050

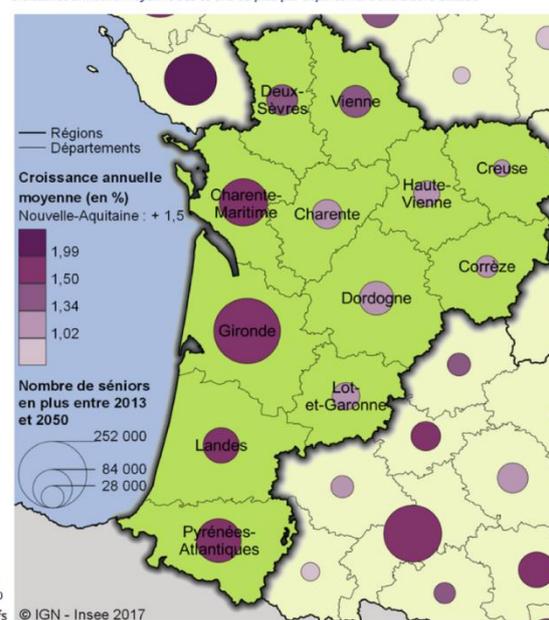


Figure 30 : En 2050, la Nouvelle-Aquitaine devrait compter près d'un million d'habitants de plus qu'actuellement. La hausse de la population des séniors y sera très importante (+ 900.000). L'accroissement de population sera essentiellement concentré dans les départements littoraux. Source INSEE (2017).

Enseignements du projet Explore 2070²²

L'objectif du projet Explore 2070 (2010-2012) était d'élaborer et évaluer des stratégies d'adaptation au changement climatique face à l'évolution des hydrosystèmes. Elaborées à partir de différents scénarios climatiques, démographiques et socio-économiques, ces stratégies concernaient la métropole et les départements d'Outre-mer, à l'horizon 2050-2070. Le projet comportait une étude prospective socio-économique qui a été réalisée par le BIPE (<http://www.bipe.fr/>). Cette étude prospective visait à évaluer les évolutions socio-économiques tendancielle à horizon 2070, sans prise en compte du changement climatique, en considérant deux scénarios :

- « Concentration » : densification de l'habitat : 70% des nouveaux ménages choisissent de vivre en appartement.
- « Étalement » : étalement de l'habitat : 30% des nouveaux ménages choisissent de vivre en appartement, et 70% privilégient des maisons individuelles.

Dans cette section, nous résumons ses principales conclusions, à l'échelle nationale et au niveau de la région Aquitaine.

Méthodes et hypothèses du volet socio-économique du projet Explore 2070

Les résultats socio-économiques du projet Explore 2070 reposent sur un modèle démographique, mis en place à l'échelle nationale (Figure 31). L'hypothèse de départ consiste à considérer que les tendances actuelles se poursuivront jusqu'en 2070. Le modèle prend en compte le taux de natalité, la mortalité, les migrations, pour calculer des évolutions au niveau national. Dans un second temps, les taux de croissance pour différents secteurs économiques ainsi que les migrations interrégionales sont évaluées.

Au niveau des hypothèses de départ, la donnée la plus incertaine est le solde migratoire : en effet, l'étude a considéré que le solde migratoire au niveau national sera de 100 000 personnes par an environ. Plus généralement, toutes les données du modèle socio-économique d'Explore 2070 restent basées sur des tendances observées actuellement. Ainsi, loin de prétendre être l'unique scénario démographique national, le modèle doit être considéré comme un outil pour détecter des tendances de développement insoutenables pour l'environnement sur le moyen terme et au-delà.

²² Cette section fait référence essentiellement à l'étude du BIPE réalisée dans le cadre du projet Explore 2070 (Prospective socio-économique réalisée pour le projet Explore 2070). Cette étude n'est pas disponible en ligne. En revanche, la fiche de synthèse de cette étude est accessible ici : http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/explore2070_4pages_prospective.pdf

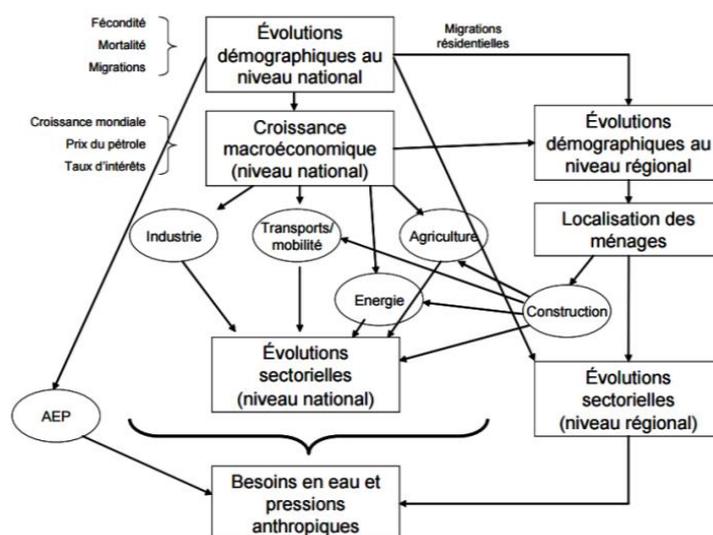


Figure 31 : Modèle socio-économique utilisé dans le cadre du projet Explore 2070 (Source : BIPE).

Résultats du volet socio-économique du projet Explore 2070, au niveau national

Sous ces hypothèses d'augmentation de la population résidente et d'évolution de la pyramide des âges, l'augmentation du nombre de ménages serait de +0,5% / an en moyenne entre 2007 et 2070 (environ +1% / an dans le passé récent). Le nombre de ménages ne comprenant qu'une seule personne augmenterait sensiblement, passant à 41% en 2070 contre 33% en 2007.

Ceci implique des besoins en logement, qui ont des impacts différents selon le scénario d'étalement urbain envisagé :

- dans la variante « étalement de l'habitat », le modèle anticipe une accélération du phénomène d'étalement, avec une superficie artificialisée multipliée par deux en métropole (20% du territoire). Ceci a pour conséquence une baisse de la surface disponible pour l'agriculture, si les espaces de prairies et de forêts sont maintenus. Une autre conséquence est une augmentation de la consommation d'énergie pour les transports, avec des difficultés plus grandes pour limiter les émissions de gaz à effets de serre.
- dans la variante « concentration de l'habitat », le modèle anticipe une légère augmentation de la surface artificialisée en métropole (de 9,4% en 2010 à 10% en 2070). Ce scénario implique une hausse du nombre d'étages moyens par habitation, passant de 4 en 2007 à 5 en 2070.

Les résultats du modèle mettent également en évidence des dynamiques différentes selon les régions : en effet, les migrations interrégionales résultent en un déplacement progressif de la population vers la façade atlantique et vers le sud.

Implications pour l'Aquitaine

La population de l'ex-région Aquitaine est passée de 2 550 000 à 3 151 000 entre 1975 et 2008. Sous les hypothèses de l'étude Explore 2070, elle serait de 4 208 000 en 2070. Par ailleurs, l'accroissement du nombre de ménages serait fort en Aquitaine comparativement à d'autres

régions : il est passé de 1 212 000 à 1 386 000 entre 1975 et 2008, et serait de 2 120 000 vers 2070.

Ces résultats indiquent que sous l'hypothèse de poursuite de tendances actuelles, le besoin en logements sera fort dans la région Aquitaine. Dans le scénario d'étalement de l'habitat, environ 8 000 nouveaux appartements et 15 000 nouvelles maisons devront être construites chaque année vers 2070. Au contraire, dans le scénario de concentration de l'habitat, environ 12 000 nouveaux appartements et 11 000 nouvelles maisons devront être construites chaque année vers 2070. Dans le cas du scénario « étalement », la surface artificialisée de la région Aquitaine double, alors qu'elle n'augmente que de 20% dans le cas du scénario « concentration ».

Dès lors, le choix d'une politique d'urbanisme favorisant l'étalement ou la concentration de l'habitat aura des conséquences importantes non seulement pour la vulnérabilité de la région aux conséquences du changement climatique, mais aussi pour limiter les émissions de gaz à effets de serre.

Implications pour les zones côtières

Les scénarios démographiques du projet Explore 2070 ne sont produits qu'à l'échelle régionale. Cependant, dans le cadre du volet côtier de ce même projet (volet porté par le BRGM), des scénarios démographiques côtiers ont été produits (Le Cozannet et al., 2013). Ces scénarios définissent dans un premier temps la zone côtière exposée aux risques côtiers futurs (dénommée « zone côtière exposée » ci-après). Il s'agit d'un regroupement de zones basses ou susceptibles d'être érodées, construit comme recommandé par le projet EuroSION (www.euroSION.org), en regroupant les zones situées en-deçà du niveau d'eau centennal plus un mètre, ainsi que celles situées à moins de 500m d'un rivage susceptible d'être érodé. La « zone côtière exposée » du projet Explore 2070 ne traduit donc pas un recul du trait de côte ou l'extension maximale des submersions marines lors de tempêtes. Néanmoins, on peut considérer qu'elle représente une enveloppe maximale des zones côtières directement exposées aux risques côtiers au cours du XXI^{ème} siècle.

Pour évaluer l'évolution de la population dans la « zone côtière exposée », trois scénarios ont été considérés :

- Scénario « prévention » dans lequel la population de la « zone côtière exposée » n'augmente pas ; ce scénario pourrait être la conséquence d'une politique de prévention des risques et d'adaptation au changement climatique ;
- Scénario « d'augmentation modérée de la population côtière », dans lequel l'augmentation de la population dans la « zone côtière exposée » suit la même tendance que la région dans laquelle elle est localisée ;
- Scénario « d'attractivité de la zone côtière », dans lequel l'augmentation de la population dans la « zone côtière exposée » est le double de la tendance observée dans la région.

Les densités de population dans la « zone côtière exposée » sont estimées en utilisant des données de densité de population de l'INSEE, qui sont disponibles à une échelle de 200m en France métropolitaine.

Les résultats montrent que :

- Pour la côte sableuse, la population, actuellement de l'ordre de 48 000 dans la « zone côtière exposée » du projet Explore 2070, pourrait passer en 2070 à 65 000 dans le scénario de « croissance modérée » et à 81 000 dans le scénario « attractivité ».

- Pour la côte basque, la population de la « zone côtière exposée » du projet Explore 2070, actuellement de l'ordre de 16 000, pourrait passer en 2070 à 22 000 dans le scénario de « croissance modérée » et à 28 000 dans le scénario « attractivité ».

Ces résultats valent surtout pour donner des éléments de comparaison entre les différentes régions. Ils mettent en évidence que pour l'ex-région Aquitaine, une croissance de la population dans les zones côtières exposées est possible et doit être prise en compte dans les scénarios prospectifs.

IMPLICATIONS POUR LA VULNERABILITE AUX RISQUES LITTORAUX

Les résultats du volet socio-économique du projet Explore 2070 sont basés sur une modélisation qui suppose qu'un certain nombre de tendances actuelles se poursuivent (taux de mortalité, migrations...). Aussi, les résultats doivent être pris avec précaution. Néanmoins, ils rappellent que des tendances lourdes existent et doivent être prises en compte si l'on étudie les impacts du changement climatique en Aquitaine :

- Sous l'hypothèse de poursuite des tendances actuelles, la croissance de la population et du nombre de ménages sera plus forte en Aquitaine qu'en moyenne nationale ;
- Ceci implique des besoins en nouveaux logements, avec l'enjeu de ne pas aggraver l'exposition aux aléas géologiques et côtiers ;
- Selon la politique d'urbanisme choisie (étalement ou concentration), la vulnérabilité au changement climatique et la capacité de limiter les émissions de gaz à effet de serre ne seront pas les mêmes ;
- Dans le cas de l'étalement de l'habitat, les surfaces artificialisées doublent, alors qu'elles n'augmentent que de 20% en cas de concentration de l'habitat.

De plus, l'accroissement de la population, vraisemblablement concentré dans les départements littoraux et sur les seniors, suggère une évolution notable de la vulnérabilité²³ aux aléas littoraux. En particulier, on peut noter que de nombreuses études en sciences humaines et sociales mettent en évidence le fait que les personnes âgées forment une partie de la population plus vulnérable aux risques que d'autres (Becerra, 2012 ; Cardona, 2004 ; Wisner et al., 2004).

²³ Par augmentation du nombre de personnes exposées aux aléas

Annexe 2

Justification de l'évaluation des mesures d'adaptation

Cette Annexe passe en revue chacune des mesures d'adaptation présentées dans le rapport (cf. Chapitre 2) et justifie l'évaluation qui en est faite, critère par critère (cf. Tableau 3 §3.3).

ACTIONS POUR LA GESTION SOUPLE DES ESPACES NATURELS

Évolution naturelle surveillée (érosion et submersion)

Mise en place d'un réseau de surveillance/observation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini

La mise en place d'un réseau pérenne de surveillance et d'observation de l'érosion côtière et/ou des submersions marines est une mesure qui participe à une amélioration significative des connaissances sur la zone de suivi et permet ainsi de mieux caractériser les aléas et leurs évolutions. Cette mesure est sans regret et robuste car, quel que soit le scénario climatique, elle est utile à la société pour la prévention et la gestion des risques et elle reste efficace sur le long terme. Cette mesure est considérée comme flexible et réversible car il est possible de l'arrêter à n'importe quel moment sans impact financier significatif. Elle a également un horizon temporel de décision réduit puisque la mise en place d'un réseau de surveillance n'engage pas sur plus de 10 ans. Nous avons considéré que cette mesure n'est pas concernée par la synergie avec l'atténuation (pas d'émissions de GES significatives ; mais seul un bilan carbone permettrait de statuer sur ce critère) et qu'elle n'avait pas d'impact sur d'autres risques (mesure non intrusive sur le milieu). Les bénéfices d'une telle mesure sont immédiats au regard du mode de gestion considéré et cette mesure est efficace si elle est mise en place seule. L'horizon d'obsolescence est infini car quelle que soit l'évolution future du climat et du niveau marin, cette mesure reste valide, utile et pertinente.

Accompagnement des processus naturels (érosion)

Mise en place de branchages, ganivelles, filets brise-vent

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	+	NC	+	NC	+/-		10 ans

Cette famille de mesures, visant à fixer le sable éolien, est sans regret car dans tous les cas elle n'engendre pas de surcoût important et apporte des bénéfices en fixant le sable. Ce sont des mesures qui ne sont pas robustes car dans les scénarios plus pessimistes que celui pris en compte pour la réalisation de ces actions, elles seront inefficaces : si le niveau de la mer monte plus haut que prévu, la présence de ganivelles, de branchages et de coupe-vent n'affectera en rien l'érosion. Ce sont également des mesures flexibles et réversibles, leur abandon n'entraînant aucun surcoût financier important. Son horizon temporel de décision est réduit car il n'engage pas sur des durées supérieures à 10 ans. La synergie avec l'atténuation n'apparaît pas significative et peut être considérée comme neutre. Ces mesures apportent des bénéfices immédiats car dès leur mise en place, elles favorisent le piégeage et la fixation des grains de sable, contribuant au développement dunaire et donc améliorant la résilience à l'érosion. A priori cette famille de mesures n'a aucun impact direct ou indirect sur d'autres risques et leur efficacité, si elles sont mises en place seules, peut être considérée comme variable en fonction des caractéristiques des sites (notamment l'intensité de l'érosion et des processus naturels associés). L'horizon temporel d'obsolescence est limité et de l'ordre de 10 années ce qui correspond à la pérennité des matériaux utilisés.

Palissade en avant de falaise

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	+	NC	+	NC	+/-		10 ans

Cette mesure est sans regret car dans tous les cas elle n'engendre pas de surcoût important et apporte des bénéfices en protégeant les pieds de falaise contre le sapement induit par l'action des vagues. C'est une mesure qui n'est pas robuste car potentiellement inadaptée si le niveau marin monte plus vite et plus haut que celui pour lequel le dispositif a été mis en place. Par contre

cette mesure est flexible et réversible car les palissades peuvent être techniquement retirées sans engendrer de surcoût trop important. Le bénéfice de ce type de mesure est immédiat (protection effective dès sa mise en place), par contre son efficacité, si c'est la seule mesure mise en œuvre sera variable selon les sites. En effet, elle sera limitée si d'autres causes que l'attaque des vagues et la sape du pied de falaise participe au recul et à l'érosion de la falaise (infiltration d'eau dans la falaise par exemple). La synergie avec l'atténuation n'apparaît pas significative et peut être considérée comme neutre. De même, cette mesure n'est pas concernée par les effets sur les autres risques. Enfin, l'horizon temporel d'obsolescence est estimé à une dizaine d'années (durée de vie des bois utilisés).

Végétalisation (dune, falaise, etc.)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	+	+	+	+	+	+/-	(I) 75€/ml	Infini ou Fct SLR

La végétalisation est une mesure sans regret car elle apporte une stabilisation du milieu dans tous les cas et permet ainsi de maîtriser l'évolution de l'érosion. Elle est également flexible/réversible car cela n'engendre pas de grands coûts si l'on décide d'arrêter l'action volontaire de végétaliser. Elle présente également l'avantage d'avoir un horizon temporel de décision réduit (il s'agit d'une décision ponctuelle qui n'engage pas sur un temps long bien qu'un entretien régulier soit nécessaire), de favoriser, à une échelle modeste, l'atténuation des émissions de GES (croissance des plantes, fixation du CO₂) et de produire des bénéfices au regard de l'érosion dès l'implantation de la végétation. Étant donné que la stabilisation accrue de la dune (ou de la falaise) renforce naturellement son rôle de rempart contre les assauts de l'océan, la végétalisation a un effet indirect positif sur la réduction du risque de submersion marine des zones basses éventuellement situées en arrière. L'efficacité de la mesure si aucune autre mesure n'est mise en place est variable et dépend du site d'étude. S'il s'agit d'une zone touristique par exemple, la gestion de la fréquentation (canalisation des accès par exemple) est nécessaire pour que la végétalisation soit efficace.

L'horizon temporel d'obsolescence de la mesure dépend du site d'étude et de l'altitude de la dune (ou de la falaise) : si celle-ci est élevée, alors l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer et sa durée de vie est virtuellement infinie. Si en revanche l'altitude de la dune (ou de la falaise) est relativement basse, alors l'efficacité de la végétalisation aura une période efficace restreinte et conditionnée à l'élévation du niveau de la mer. Il faut souligner que dans tous les cas, la mesure peut se révéler inefficace sous certaines conditions (par exemple lors de tempêtes). Corollaire, nous avons considéré que la robustesse de la mesure dépend du contexte local.

Le coût d'implémentation de la végétalisation est variable et fonction du type de plantation. En moyenne, il est de l'ordre de 75 € par mètre linéaire (CEPRI, 2016).

Restauration de milieux humides, dépoldérisation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	-	+	+	+	+/-		Fct SLR

Les milieux humides permettent de réduire l'énergie des vagues et des marées en favorisant la dissipation de l'énergie dans la zone intertidale. Ils réduisent le pouvoir érosif des vagues et les risques d'inondation côtière en diminuant la hauteur des surcotes de tempêtes. Les milieux humides (en bordure de rivage ou en position rétro-littorale) constituent aussi un espace tampon d'absorption lors des submersions marines. La restauration des milieux humides est une mesure qui s'inscrit à la fois dans le mode de gestion « Accompagnement des processus naturels (érosion) » et dans le mode de gestion « Atténuation de l'aléa (submersion) ». Son évaluation est identique dans les deux cas.

La restauration des milieux humides est une mesure sans regret car elle apporte des bénéfices quelle que soit la trajectoire suivie par le changement climatique. Par contre, elle est peu robuste dans le cas où la remontée du niveau marin est plus importante que celle envisagée à partir du moment où la zone humide se retrouve inondée en permanence, en particulier dans les nombreux cas où la topographie et l'usage des sols ne permet pas une translation vers la terre de la zone humide. C'est une mesure flexible et réversible dans le sens où elle n'engendre pas de surcoût dans le cas où elle est abandonnée. Nous avons considéré que l'horizon temporel de décision était long (engagement sur une durée supérieure à 10 ans). Le bénéfice est immédiat (la zone tampon créée par la zone humide sera efficace dès sa mise en place). Par contre, son efficacité, si c'est la seule mesure mise en œuvre, dépend du contexte local (surface, profondeur, largeur de la zone humide) : dans certains cas cette mesure seule sera suffisante alors que dans d'autres cas (zone humide plus restreinte) elle ne sera pas autosuffisante, des mesures complémentaires seront alors à envisager. Concernant son effet sur l'atténuation, il est assez difficile à déterminer mais il est souvent considéré que la mesure favorise l'atténuation des émissions de GES (croissance des plantes, fixation du CO₂). Nous pouvons considérer que l'horizon d'obsolescence de cette mesure dépend de la remontée du niveau marin : si un certain seuil d'élévation du niveau marin est dépassé, cette mesure est obsolète.

Gestion de la fréquentation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	+/-		Infini

La gestion de la fréquentation concerne pour l'essentiel les dunes côtières et vise à limiter la dégradation de la dune par le piétinement, la création de sentier etc. qui la fragilise, la rend moins résiliente à l'érosion. Dans certains cas ces dégradations peuvent favoriser la création d'entrées marines conduisant à la submersion de zones basses situées en arrière. C'est une mesure sans regret et robuste car elle est pertinente et apporte des bénéfices quelle que soit la trajectoire climatique future et même en l'absence de changement climatique. Elle est flexible et réversible car l'arrêt de cette mesure n'engendre aucun coût et ne pose aucun problème technique. Son horizon temporel de décision est réduit car les investissements induits sont très limités et engageant sur une durée inférieure à dix ans. Le bénéfice de cette mesure est immédiat car la régénération du milieu dunaire commence rapidement après la mise en place de cette mesure. Son efficacité, si c'est la seule mesure mise en œuvre, est variable selon les sites et leurs contextes. Dans certains cas (dégradation importante du massif dunaire), cette mesure seule ne permettra pas au massif de se régénérer et des mesures complémentaires (reprofilage, installation de ganivelles, végétalisation etc.) devront y être associés. Cette mesure a un horizon temporel d'obsolescence infini car cette mesure n'est pas directement impactée par le changement climatique et sera donc toujours efficace quel que soit le contexte climatique. Enfin, cette mesure n'est pas concernée par la synergie avec l'atténuation des émissions de GES ni par des effets potentiellement induits sur d'autres risques.

ACTIONS SUR L'ALEA

Atténuation de l'aléa (submersion)

Retrait / abandon des ouvrages de protection existants

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	-	-	Indét.	+	-	-		Infini ou Fct SLR

Cette mesure consiste à abandonner ou retirer un ouvrage de défense contre les submersions ou contre l'érosion afin de permettre l'inondation temporaire ou permanente d'une zone précédemment protégée lorsque l'entretien ou la reconstruction des ouvrages devient trop coûteux par rapport aux enjeux qu'ils sont censés défendre, ou plus néfaste que bénéfique (érosion induite par exemple). Nous avons considéré que cette mesure est sans regret puisqu'elle consiste à se désengager d'une approche « *Hold the Line* » ou « Coûte que coûte » dont les impacts en termes financiers de maintenance des ouvrages et d'exposition des biens et des personnes aux aléas vont être croissants dans le futur. Il faut malgré tout noter qu'une perte de terrain est à craindre à court terme. Les coûts induits par cette mesure seront différents selon la stratégie choisie. Si c'est l'abandon qui est choisi (on laisse l'ouvrage se dégrader), les coûts seront a priori plus faibles que dans le cas du retrait ou de l'effacement de l'ouvrage. Le caractère réversible/flexible peut donc être apprécié différemment selon qu'il s'agit d'un abandon ou d'un retrait de l'ouvrage. Néanmoins, même dans le cas d'un abandon, la remise en état de l'ouvrage, si elle est souhaitée, pourra être onéreuse (réhabilitation et adaptation de l'ouvrage aux conditions environnementales du moment). Nous avons donc évalué la mesure comme non réversible de manière générale. L'horizon temporel de décision n'est pas réduit car il engage sur une durée supérieure à dix ans (les investissements nécessaires pour l'effacement des ouvrages sont importants), par contre les bénéfices sont immédiats (arrêt des coûts de maintenance et d'entretien). Les effets sur l'érosion sont potentiellement négatifs : les ouvrages de protection contre la submersion tels que les digues fixent localement le trait de côte et leur effacement peut engendrer une reprise du recul du trait de côte à l'endroit de l'ouvrage. En revanche, il faut rappeler que les effets négatifs provoqués par la présence de l'ouvrage à son pied ou à ses extrémités (cf §2.2.2 Résistance face à l'aléa) disparaissent avec l'ouvrage. Si elle est mise en œuvre seule, cette mesure n'est pas efficace pour atténuer l'aléa. Il faut a minima qu'elle s'accompagne d'une réflexion sur la recomposition du territoire en arrière de l'ouvrage (par ex. des bâtiments situés derrière un ouvrage et qui étaient jusque-là protégés devront être déplacés ou détruits). La synergie avec l'atténuation est indéterminée, seul un bilan carbone permettrait d'évaluer ce critère.

L'horizon temporel d'obsolescence de la mesure dépend du site d'étude et de l'altitude des terrains jusqu'alors protégés par l'ouvrage : si ceux-ci sont élevés, alors l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer et sa durée de vie est virtuellement infinie. Si en revanche l'altitude des terrains en arrière de l'ouvrage est relativement basse, alors l'efficacité

de l'abandon ou du retrait de l'ouvrage est conditionnée à un niveau de la mer qui reste en deçà de la cote altimétrique de ces terrains. Dès lors que ces zones sont inondées de manière permanente, la mesure n'est plus efficace. Par conséquent, la robustesse de la mesure est variable et dépend du site d'étude.

Restauration de milieux humides, dépoldérisation

Voir évaluation de la mesure dans le mode de gestion « Accompagnement des processus naturels ».

Digue de second rang

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	NC	+	(I) 1,8 M€/km (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR

L'élaboration d'une digue de second rang consiste à doubler la ou les digues littorales existantes par un second niveau de protection en arrière du littoral. Du fait de leur plus grand éloignement du rivage et de la présence d'un premier rang d'ouvrages de défense, ces digues de second rang sont soumises à moins de contraintes ; elles sont moins exposées aux vagues lors des tempêtes et souvent installées à une altitude supérieure par rapport aux digues littorales. Elles visent à jouer le rôle d'ultime protection contre la submersion des enjeux majeurs (habitations, sites industriels majeurs etc.). Du fait de leurs caractéristiques et des plus faibles agressions qu'elles subissent, leurs coûts de construction et d'entretien sont plus faibles que ceux des digues de premier rang mais restent très significatifs et du même ordre de grandeur (environ 1,8 M€/km pour l'installation et un coût d'entretien de l'ordre de 3 à 5% du coût de construction par an, CEPRI 2016).

C'est une mesure qui n'est pas sans regret car si la vitesse de remontée du niveau marin est plus faible que celle anticipée dans le scénario retenu, il y aura eu une sur-adaptation (la mesure évaluée ici est le dimensionnement et la mise en place de la digue de second rang et non le recul stratégique éventuellement associé, qui relève de la réduction de la vulnérabilité). Les dépenses induites par cette sur-adaptation ne sont pas récupérables. En outre, il paraît difficile de revenir en arrière, c'est-à-dire de déconstruire l'ouvrage du fait d'une part du coût induit et d'autre part de l'acceptabilité sociale d'une telle décision. La mesure n'est donc pas flexible/réversible, du moins sans travaux importants. L'efficacité de l'ouvrage est conditionnée par le niveau de la mer qui doit rester sous un certain seuil. Si le niveau marin dépasse cette valeur seuil, l'ouvrage ne sera plus efficace : la mesure n'est donc pas robuste. La construction d'une digue de second rang a un horizon temporel de décision long car sa mise en place engage sur plus de 10 ans. De plus, cette mesure s'accompagne d'une émission significative de GES notamment lors de la phase de construction (consommation d'énergie fossile pour les engins en charge d'édifier la digue par exemple). Cette mesure offre un bénéfice immédiat, son effet étant perceptible dès sa mise en

place. Elle est également autosuffisante puisqu'elle permet par elle-même d'atténuer l'aléa submersion et elle est neutre vis-à-vis des autres risques (digue construite en arrière, dans les terres, sans impact pour l'érosion par exemple). Enfin, son horizon temporel d'obsolescence est fortement conditionné par l'évolution de l'aléa submersion et donc de la remontée du niveau marin. La durée de vie d'une digue est de l'ordre de 40-50 ans si elle est entretenue régulièrement. Or sur une période de temps aussi longue, l'aléa submersion évoluera : si l'ouvrage a été dimensionné pour un scénario climatique avec un certain taux de remontée du niveau marin et que celle-ci est finalement plus rapide et plus conséquente que celle pour laquelle l'ouvrage a été prévu, celui-ci deviendra obsolète avant la date initialement envisagée (fin de vie d'ouvrage).

Résistance face à l'aléa (submersion)

Réhabilitation ou reconstruction de dunes

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	+	+	-	+	+	+/-	(I) 320 à 400 €/ml (création); 75 €/ml (restauration)	Infini ou Fct SLR

Dans le cadre du mode de gestion « Résistance face à l'aléa (submersion) », la réhabilitation ou la reconstruction de dune a pour objectif de renforcer son rôle de barrière naturelle et de protection contre les submersion marines. Cette mesure peut également s'inscrire dans le mode de gestion « Lutte active souple (érosion côte sableuse) », l'objectif étant alors d'augmenter la résilience au recul du trait de côte en contexte dunaire érosif (voir plus bas).

Cette mesure est considérée comme sans regret car les effets seront positifs quelle que soit la trajectoire suivie par le changement climatique. La robustesse dépend du contexte local car l'efficacité de cette mesure est conditionnée par la largeur de la dune et son altitude par rapport au niveau marin. Par exemple, si ce dernier approche l'altitude des points les plus bas de la dune, la mesure devient inefficace pour résister face à l'aléa submersion. En revanche, si la dune est suffisamment haute et large, l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer ni des conditions météorologiques (exemple : tempêtes). Par conséquent, l'horizon temporel d'obsolescence de la mesure est virtuellement infini ou fonction de la remontée du niveau marin. L'arrêt de cette mesure n'engendre pas de surcoût, elle est donc flexible, et son horizon temporel de décision est réduit car elle n'engage pas sur plus de 10 ans. C'est également une mesure dont les bénéfices sont immédiats (augmentation de la résistance dunaire à l'impact des vagues et à la submersion) et qui présente des effets positifs sur la réduction du risque d'érosion (renforcement de la résilience au recul du trait de côte, constitution d'un stock de sable mobilisable par la mer). Si elle est mise en place seule, la mesure ne sera efficace que dans certains cas seulement, en fonction notamment des dimensions de la dune et du taux d'érosion local. Enfin, cette mesure n'est pas en synergie avec l'atténuation de l'émission de GES, le

renforcement, reprofilage et reconstruction de dune faisant appel à des engins utilisant une énergie carbonée.

Le coût de création d'une dune est de l'ordre de 320 à 400 €/ml. S'il s'agit d'une restauration d'une dune existante, le coût est de 75 €/ml (CEPRI 2016).

Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	-	+/-	Pour une digue : (I) 1,8 M€/km (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR

Il s'agit d'une mesure qui n'est pas sans regret puisque c'est une mesure souvent très coûteuse pour la collectivité d'aujourd'hui. Ainsi, en l'absence de changement de l'aléa, le dimensionnement *de facto* trop sécuritaire de l'ouvrage aura des conséquences économiques négatives. L'installation de défenses en dur n'est pas non plus une mesure robuste ce que corrobore son horizon d'obsolescence qui est fonction de l'élévation du niveau de la mer. Le dimensionnement d'un ouvrage de défense prend rarement l'option la plus défavorable en ce qui concerne l'élévation du niveau de la mer. Si le changement climatique est finalement plus important que celui qui a été pris comme référence lors du dimensionnement de l'ouvrage, il arrivera donc un moment où le niveau de la mer deviendra trop élevé pour que la mesure soit encore efficace. Comme toute construction en dur nécessitant un investissement important, cette mesure n'est pas flexible/réversible et son horizon temporel de décision est supérieur à 10 ans. À noter également une opposition avec l'atténuation des gaz à effet de serre (au moment de la construction) et un effet indirect souvent négatif sur l'érosion côtière (affouillement en pied d'ouvrage, érosion accrue aux extrémités de l'ouvrage). L'efficacité de la mesure, si aucune autre ne l'accompagne, dépendra du site d'étude et du type d'ouvrage considéré. Elle sera forcément limitée dans le temps bien que des bénéfices immédiats en matière de protection face à la submersion soient attendus dès l'implantation de la mesure.

Les coûts d'implémentation et de maintenance dépendent du type d'ouvrage considéré et s'il s'agit d'une adaptation d'un ouvrage existant ou d'une construction neuve. Dans ce dernier cas et pour une digue, le coût d'implémentation est de l'ordre de 1,8 M€/km, tandis que les coûts de maintenance sont estimés à 3-5% du coût de construction par an (CEPRI 2016).

Mise en place de moyens de défense temporaires

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-	(I) 3500 €HT pour un batardeau	Infini

La mise en place de moyens de défense temporaires pour lutter contre le risque de submersion est une mesure qui est sans regret et robuste car ce type d'action sera efficace dans tous les scénarios de changement climatique et même dans les conditions actuelles. Son caractère provisoire permet en effet de l'adapter avec un coût limité au fur-et-à-mesure de l'évolution constatée de l'aléa. De ce fait, elle est également flexible/réversible et son horizon d'obsolescence est infini. Par définition, son horizon temporel de décision est réduit (investissements à durée de vie restreinte) et les bénéfices sont immédiats dès la mise en place de ces moyens de défense. La synergie avec l'atténuation de l'émission de GES de cette mesure est difficilement évaluable et probablement neutre. De plus, les impacts sur les autres risques sont forcément limités du fait du caractère temporaire des installations. Par contre, cette mesure n'est pas autosuffisante car elle nécessite la mise en place d'un réseau de surveillance et d'alerte opérationnel auquel doivent être associées une organisation et une logistique adaptées pour déclencher la mise en place des dispositifs avant l'occurrence du phénomène.

Le coût d'implémentation dépend du moyen de défense envisagé. Pour un batardeau, il est estimé à 3500 € HT (CEPRI 2016).

Mise en place de barrages anti-tempêtes amovibles au niveau des estuaires

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	+	-		Fct SLR

Cette mesure n'est pas sans regret car la construction d'un tel ouvrage est très coûteuse et son dimensionnement est fonction du scénario de changement climatique choisi. Ainsi, en l'absence de changement de l'aléa, le dimensionnement *de facto* trop sécuritaire de l'ouvrage aura des conséquences économiques négatives. De plus, elle n'est pas robuste car l'efficacité d'un tel système est conditionnée au niveau de la mer inférieur à un certain seuil (dimensionnement de

l'ouvrage). Il arrivera donc un moment où l'élévation du niveau de la mer sera telle que l'ouvrage ne sera plus efficace. Ceci est confirmé par l'horizon temporel d'obsolescence de la mesure. Cette mesure n'est pas non plus flexible ni réversible car elle engendre des coûts d'installation très importants et s'il y a eu sur-adaptation, le surcoût induit n'est pas récupérable. De la même façon, la déconstruction de l'ouvrage aurait un coût très important et une faible acceptabilité sociale. L'horizon temporel de décision n'est pas réduit car les investissements nécessaires à la création de tels ouvrages sont largement supérieurs à 10 ans (cf. *Thames Barrier* en Grande-Bretagne, *Maeslantkering* aux Pays-Bas). En revanche, ils offrent un bénéfice immédiat et ont des impacts positifs en limitant l'érosion des berges et rivages estuariens par réduction de la pénétration des vagues lors des tempêtes les plus importantes. Cette mesure n'est pas en synergie avec les mesures d'atténuation, la construction d'un barrage anti-tempêtes amovible nécessitant une grande quantité d'énergie carbonée. Enfin, ce n'est pas une mesure auto-suffisante car elle nécessite la mise en place d'un réseau de surveillance et d'alerte opérationnel auquel doivent être associées une organisation et une logistique adaptées pour déclencher la fermeture de l'ouvrage avant l'occurrence du phénomène (et sa réouverture après son passage).

Limitier les actions favorisant la subsidence

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	+	+	+	-		Infini

Dans ce type d'actions, on retrouve celles visant à limiter le pompage excessif d'eau potable, la régulation des exploitations pétrolière et/ou de gaz, etc. En effet ces exploitations, dans les cas où elles sont pratiquées de façon intensive, peuvent localement engendrer une subsidence du sol significative favorisant la pénétration marine dans les terres.

Cette mesure peut s'opérer à titre préventif ou curatif. Elle est sans regret car n'engendre pas de surcoût particulier par rapport à la situation actuelle²⁴, elle est robuste car efficace quelle que soit la trajectoire climatique future, elle est flexible et réversible car il ne peut y avoir de sur-adaptation et l'arrêt de cette mesure n'engendre pas de coût particulier. Son horizon temporel de décision est réduit puisqu'elle n'engendre pas d'investissement particulier, son bénéfice est immédiat dès que le phénomène de subsidence est stoppé voire inversé, et les effets sur les autres risques tels que l'érosion côtière est positif (la subsidence favorisant l'érosion côtière et le recul du trait de côte). Cette mesure à un horizon d'obsolescence infini car elle est pérenne et ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer. En revanche, elle n'est pas suffisamment efficace pour assurer une résistance face à l'aléa submersion si c'est la seule mesure mise en place. Elle devra donc être accompagnée par d'autres mesures, en fonction des problématiques et du contexte du site.

²⁴ Par contre, elle induit une perte de productivité avec d'éventuelles incidences économiques et sociales.

Lutte active souple (érosion)

Rechargement de plage et/ou de dune

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	+	+	-	+	+	+/-	(I) 7 à 45€/m ³	En moyenne 5 ans mais fct taux d'érosion

Cette mesure est sans regret car elle peut apporter des bénéfices en matière de lutte contre l'érosion indépendamment de la trajectoire d'évolution climatique et sans surcoût particulier. Sa robustesse est variable et est liée au contexte local. Par exemple, si la plage finit par disparaître comme une conséquence de l'élévation du niveau de la mer, le rechargement ne sera plus une option. Cette mesure est réversible car son arrêt n'entraîne pas de contrainte particulière. Son horizon temporel est réduit car elle engage sur un nombre limité d'années. En revanche, c'est une mesure qui est souvent répétitive dans le temps car temporaire avec un horizon temporel d'obsolescence de l'ordre de 5 ans (en fonction de la vitesse de l'érosion du système plage/dune). Le rechargement de plage et/ou de dune offre des bénéfices immédiats et a une action positive sur la réduction du risque de submersion marine. L'efficacité de la mesure si elle est mise en place seule dépend du contexte local (présence d'enjeux, taux d'érosion local, etc.). Enfin, cette mesure n'est pas en synergie avec l'atténuation de l'émission de GES du fait de l'énergie carbonée utilisée par les engins pour le rechargement.

Le coût de rechargement d'une plage est estimé entre 7 et 45 €/m³ en fonction du type de sédiments (sable, galets), du volume rechargé, des techniques utilisées, de l'éloignement du site d'extraction, des modes d'acheminement (CEPRI 2016).

Drainage de plage

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	+	+	+	Indét.	+/-	(I) 1 k€/ml (M) ~20€/ml/an	5-10 ans mais fct taux d'érosion

Le drainage de plage est une mesure sans regret mais qui est peu robuste du fait de son efficacité qui est variable sur le long terme en fonction des scénarios climatiques considérés (si la plage finit par être submergée en permanence, le drainage ne sera plus pertinent). Par contre, c'est une mesure flexible et réversible pouvant être stoppée du jour au lendemain et dont l'horizon temporel de décision est réduit (inférieur à 10 ans). Elle offre en outre un bénéfice immédiat, la cohésion du sable étant renforcée dès la mise en œuvre de la mesure. Malgré l'utilisation d'énergie fossile pour la mise en œuvre de cette mesure, nous avons considéré que le drainage de plage pouvait être couplé à un système de récupération de chaleur de l'eau de mer (thalassothermie) et ainsi réduire les émissions de GES pour les besoins en chauffage des bâtiments situés à proximité (exemple : procédé Enerplage²⁵). La mesure semble se suffire à elle-même pour lutter efficacement contre l'érosion chronique dans certains cas (Fattal et Walker, 2008). Elle n'empêche pas cependant l'érosion événementielle lors de tempêtes par exemple. Enfin, l'horizon temporel d'obsolescence est en moyenne de 5 à 10 ans ; cela dépend du taux d'érosion local et des tempêtes qui peuvent mettre à mal le système. Le remplacement des drains est alors nécessaire.

Les impacts sur les autres risques sont indéterminés.

Le coût d'implémentation est de 1000 €/ml. L'entretien annuel est de l'ordre de 20 €/ml (CEPRI 2016).

²⁵ <http://www.ecoplage.fr/fr/>

Lutte active dure (érosion)

Côte sableuse

Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	-	+/-	(I) 2,5 k€/ml pour un épi ; 4 à 6,2 k€/ml pour un brise-lames (M) 3-5% du coût de construction/an	Fct SLR

Ce type de mesure n'est pas sans regret car les coûts induits par un dimensionnement prenant en compte le changement climatique par rapport à ceux induits par un dimensionnement adapté à la situation actuelle est très important. Ce type de mesure est par ailleurs non robuste car son efficacité dans le futur ne saurait être garantie pour tous les scénarios climatiques. Cela se traduit notamment par un horizon temporel d'obsolescence fonction de l'élévation du niveau de la mer. Ces mesures ne sont pas non plus réversibles car d'une part le risque de sur-adaptation n'est pas négligeable et surtout le coût de cette sur-adaptation n'est pas récupérable. Enfin, une déconstruction des ouvrages aurait un coût lui aussi prohibitif. L'horizon temporel de décision n'est pas réduit car ce type d'approche engage généralement sur plus de 10 ans. Il n'y a pas de synergie avec l'atténuation car la création de ces défenses engendre une consommation en énergie carbonée significative nécessaire aux engins utilisés pour réaliser les ouvrages. Ce type de mesure de lutte contre l'érosion peut avoir des répercussions négatives sur le risque de submersion marine, sans compter les impacts sur l'érosion des côtes adjacentes. Néanmoins, ce type de mesure offre généralement un bénéfice immédiat au niveau de l'ouvrage de protection mais peut nécessiter, en fonction du contexte local, la mise en œuvre d'autres mesures complémentaires (rechargement de plage, plan de gestion des sédiments...).

Les coûts d'implémentation et de maintenance dépendent du type d'ouvrage considéré et s'il s'agit d'une adaptation d'un ouvrage existant ou d'une construction neuve. Le coût d'investissement initial pour la construction d'un ouvrage de défense en dur est variable en fonction du type d'ouvrage. Il faut compter de l'ordre de 2,5 k€/ml pour un épi et de 4 à 6,2 k€/ml pour un brise-lames par exemple. Le coût de maintenance est de l'ordre de 3 à 5% du coût de construction par an.

Retrait / abandon des ouvrages de protection existants

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	-	-	Indét.	+	-	-		Infini ou Fct SLR

L'objectif d'une telle mesure est de restaurer le fonctionnement naturel du système littoral en abandonnant ou détruisant des ouvrages de protection en dur existants. Cette mesure s'applique en particulier dans les cas où l'ouvrage existant a un effet négatif avéré sur l'érosion de la côte. En conséquence, son retrait permet de libérer le système littoral d'une contrainte anthropique.

Le retrait ou l'abandon d'ouvrage de protection apparaît comme sans regret car l'abandon de cette mesure n'entraînera pas un besoin de redimensionnement pour tenir compte de l'évolution climatique et donc pas de surcoût induit par cette adaptation dans les décennies futures. En outre, elle consiste à se désengager d'une approche « *Hold the Line* » ou « Coûte que coûte » dont les impacts en termes financiers de maintenance des ouvrages et d'exposition des biens et des personnes aux aléas vont être croissants dans le futur. Les coûts induits par cette mesure seront différents selon la stratégie choisie. Si c'est l'abandon qui est choisi (on laisse l'ouvrage se dégrader), les coûts seront a priori plus faibles que dans le cas du retrait ou de l'effacement de l'ouvrage. Le caractère réversible/flexible peut donc être apprécié différemment selon qu'il s'agit d'un abandon ou d'un retrait de l'ouvrage. Néanmoins, même dans le cas d'un abandon, la remise en état de l'ouvrage, si elle est souhaitée, pourra être onéreuse (réhabilitation et adaptation de l'ouvrage aux conditions environnementales du moment). Nous avons donc évalué la mesure comme non réversible de manière générale. L'horizon temporel de décision est long car il engage sur une durée supérieure à dix ans (les investissements nécessaires pour l'effacement des ouvrages sont importants), par contre les bénéfices sont immédiats (arrêt des coûts de maintenance et d'entretien). La synergie avec l'atténuation est indéterminée car elle peut être neutre dans le cas de l'abandon d'un ouvrage ou négative dans le cas de sa déconstruction. Cette mesure peut avoir des effets négatifs sur les autres risques tels que la submersion marine. En effet, les ouvrages peuvent avoir été élaborés ou avoir des effets positifs dans le cadre de la protection contre la submersion. Leur effacement conduit à une modification des conditions hydrodynamiques locales pouvant engendrer une modification de l'aléa submersion. Si elle est mise en œuvre seule, cette mesure n'est pas efficace pour lutter efficacement contre l'érosion des côtes sableuses. Tout au plus la contrainte anthropique que représentait l'ouvrage disparaît, ramenant l'érosion à un rythme naturel. Si l'objectif est de lutter contre l'érosion, d'autres mesures doivent être mises en œuvre.

L'horizon temporel d'obsolescence de la mesure dépend du site d'étude et de l'altitude des terrains jusqu'alors protégés par l'ouvrage : si ceux-ci sont élevés, alors l'efficacité de la mesure ne dépend pas de l'élévation du niveau de la mer et sa durée de vie est virtuellement infinie. Si en revanche l'altitude des terrains en arrière de l'ouvrage est relativement basse, alors l'efficacité de l'abandon ou du retrait de l'ouvrage est conditionnée à un niveau de la mer qui reste en deçà de la cote altimétrique de ces terrains. Dès lors que ces zones sont inondées de manière permanente, la mesure n'est plus efficace car le trait de côte a nécessairement reculé. Par conséquent, la robustesse de la mesure est variable et dépend du site d'étude.

Géotextile

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	-	+	+	-	+	Indét.	+/-		En moyenne 5 ans mais fct taux d'érosion

La pose de géotextile est une mesure peu robuste du fait de son efficacité qui est variable sur le long terme en fonction des scénarios climatiques considérés. Le caractère sans regret dépend fortement du contexte local. En effet, en fonction de la dynamique du site, la mesure peut se révéler inefficace et les coûts d'entretien de cette mesure fragile peuvent être élevés. On considère qu'il s'agit d'une mesure flexible et réversible, pouvant être stoppée du jour au lendemain, et dont l'horizon temporel de décision est réduit (inférieur à 10 ans). Elle offre en théorie un bénéfice immédiat à l'instar des autres mesures de lutte active dure (fixation du trait de côte localement). L'utilisation d'énergie fossile pour la mise en œuvre de cette mesure justifie une synergie négative avec l'atténuation. En fonction du contexte local, cette mesure peut ne pas suffire pour lutter efficacement contre l'érosion et nécessiter la mise en œuvre d'autres mesures (rechargement en sable, plan de gestion des sédiments...). Enfin, l'horizon temporel d'obsolescence dépend du taux d'érosion local. Si le géotextile est souvent mis à nu et dégradé par la dynamique du site, sa durée de vie intrinsèque sera réduite.

Les impacts sur les autres risques sont indéterminés, mais il ne faut pas oublier les impacts potentiellement négatifs en matière d'érosion sur les côtes adjacentes (cf §4.2.2 Lutte active dure).

Côte rocheuseRemodelage, reprofilage

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+/-	-	-	-	+	NC	-		Fct taux d'érosion Fct CC

Le remodelage ou le reprofilage permet de limiter temporairement l'érosion en travaillant directement sur la forme de la falaise. L'objectif est en effet de réduire la verticalité de la pente et donc les risques gravitaires (mouvements de terrain).

C'est une mesure sans regret car quelle que soit la trajectoire suivie par le changement climatique, les effets de cette mesure seront positifs. C'est une mesure qui est relativement robuste car les différents scénarios climatiques influent peu sur les effets de cette mesure mais ces effets sont fonction du site considéré. Par contre, c'est une mesure qui n'est ni flexible ni réversible et qui engage sur un temps virtuellement infini. Cette mesure offre des bénéfices immédiats (effets positifs dès sa mise en place). En revanche, elle ne participe pas à l'atténuation de l'émission de GES car sa mise en œuvre implique un coût en énergie carbonée important (engins utilisés pour le remodelage, reprofilage). Comme mentionné au §4.2.2 Lutte active dure, le reprofilage n'est jamais à envisager comme solution unique et doit nécessairement être accompagné de solutions complémentaires de drainage. Son horizon temporel d'obsolescence est lié au taux d'érosion de la falaise et aux modifications, dues au changement climatique, des variables clés qui régissent l'érosion des côtes rocheuses (notamment l'élévation du niveau de la mer, le changement du régime des précipitations...). Cette mesure n'a pas d'incidence sur les autres risques.

Ajustement/surélévation/installation des défenses en dur

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	-	+/-		Fct CC

À l'instar des défenses en dur pour la côte sableuse, l'objectif de ces mesures est de ralentir voire stopper l'érosion et le recul des falaises.

Ce type de mesure n'est pas sans regret car les coûts induits par un dimensionnement prenant en compte le changement climatique par rapport à ceux induits par un dimensionnement adapté à la situation actuelle est très important. Ce type de mesure est par ailleurs non robuste car son efficacité dans le futur ne saurait être garantie pour tous les scénarios climatiques. Cela se traduit notamment par un horizon temporel d'obsolescence fonction des modifications, dues au changement climatique, des variables clés qui régissent l'érosion des côtes rocheuses. Ces mesures ne sont pas non plus réversibles car d'une part le risque de sur-adaptation n'est pas négligeable et surtout le coût de cette sur-adaptation n'est pas récupérable. Enfin, une déconstruction des ouvrages aurait un coût lui aussi prohibitif et serait socialement inacceptable. L'horizon temporel de décision n'est pas réduit car ce type d'approche engage généralement sur plus de 10 ans. Il n'y a pas de synergie avec l'atténuation car la création de ces défenses engendre une consommation en énergie carbonée significative nécessaire aux engins utilisés pour réaliser les ouvrages. En fonction du site, ce type de mesure de lutte contre l'érosion peut avoir des répercussions négatives sur le risque de submersion marine (exemple : plage en fond de baie sans falaise), sans compter les impacts sur l'érosion des côtes adjacentes. Néanmoins, ce type de mesure offre généralement un bénéfice immédiat au niveau de l'ouvrage de protection mais peut nécessiter, en fonction du contexte local, la mise en œuvre d'autres mesures complémentaires (rechargement de plage, drainage de falaise...).

Drainage des falaises et mise en place d'aménagements en haut de falaise pour éviter le ruissèlement et l'infiltration

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	-	-	-	+	NC	+/-		Infini

Le drainage des falaises et aménagements associés sont des mesures sans regret et robustes car bénéfiques dans tous les cas, sans surcoût associé à un dimensionnement particulier et efficace sur le long terme. Les bénéfices apportés par ces mesures sont immédiats sur la stabilité des falaises dès leur mise en place. En revanche, ces mesures sont peu flexibles ni réversibles et leur horizon temporel de décision est important. En effet, leur mise en place engage sur des durées supérieures à 10 ans. Comme pour les mesures précédentes, elles ne participent pas à l'atténuation de l'émission des GES du fait des besoins énergétiques nécessaires à leur mise en œuvre. Ces mesures peuvent s'avérer autosuffisantes dans certains cas seulement quand l'instabilité est essentiellement induite par les infiltrations d'eau en sommet et/ou au sein de la falaise. Ces mesures n'ont pas d'incidence sur les autres risques (ni négatif, ni positif) et leur horizon temporel d'obsolescence est infini, c'est-à-dire que ce sont des mesures virtuellement pérennes.

ACTIONS SUR LES ENJEUX

Réduction de la vulnérabilité (érosion et submersion)

Actions sur les constructions en lien avec la submersion

Bâtiments étanchéifiés ou circulation de l'eau facilitée

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	-	-	+	NC	+	NC	+		10-50 ans

L'étanchéification d'un bâtiment (ou la facilitation de l'évacuation de l'eau au sein d'un bâtiment) peut être considérée comme une mesure sans regret à partir du moment où celui-ci est susceptible de subir une submersion marine dans les conditions actuelles, en dépit du fait qu'elle engendre un surcoût à la construction (ou lors du traitement postérieur). En revanche, ce n'est plus le cas s'il s'agit d'une mesure d'anticipation et que la trajectoire prise par le changement climatique se révèle finalement plus clémente qu'envisagée, rendant la mesure superflue. C'est une mesure qui n'est pas robuste car, pour les scénarios les plus défavorables où la remontée du niveau marin sera supérieure à celle prévue, cette mesure d'adaptation sera inopérante. Cette mesure n'est pas flexible/réversible car elle ne peut pas être abandonnée sans surcoût (on ne peut pas revenir en arrière sans déconstruire en partie le bâtiment). Néanmoins, l'horizon temporel de décision de cette mesure reste réduit (l'investissement engendré par l'étanchéification est modéré et n'engage pas sur des durées supérieures à 10 ans). La mesure est neutre vis-à-vis des émissions de GES, le bénéfice attendu est immédiat (effet positif en cas de submersion) et elle est efficace au regard du mode de gestion « Réduction de la vulnérabilité » même si elle est mise en œuvre seule. Son horizon temporel d'obsolescence est difficile à évaluer mais probablement limité à quelques décennies.

Bâtiments flottants ou amphibies (et ancrés), maison bateau

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	+	+	-	Indét.	+	NC	+		50 ans

Comme pour la mesure d'étanchéification des bâtiments, cette famille de mesures d'adaptation est plus ou moins sans regret selon qu'elles sont mises en œuvre en anticipation des changements à venir ou comme une solution au risque actuel. C'est une famille de mesures robuste car elles sont efficaces à long terme sans dépendance au niveau de la mer, le bâtiment s'en accommodant par nature. Le bénéfice de ces mesures est immédiat (en cas de submersion) et elles sont efficaces au regard du mode de gestion « Réduction de la vulnérabilité » même si elles sont mises en œuvre seules. On peut considérer que l'horizon temporel d'obsolescence est de l'ordre de 50 ans ce qui correspondrait à la durée de vie de ce type de construction. La synergie avec les mesures d'atténuation de l'émission des GES est indéterminée.

Rez-de-chaussée plus élevé

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	-	-	-	-	+	NC	+		Fct SLR

Comme pour la mesure d'étanchéification des bâtiments, la constitution d'un rez-de-chaussée surélevé est une mesure plus ou moins sans regret selon qu'elle est mise en œuvre en anticipation des changements à venir ou comme une solution au risque actuel. Dans le premier cas, il est possible que cette surélévation s'avère inutile car surdimensionnée (sur-adaptation) ou au contraire pour certains scénarios sous-dimensionnée (sous-adaptation) et dans ce cas aussi, la mesure ne sera pas sans regret. En outre, cette mesure n'est ni robuste ni réversible (investissements engendrés par la surélévation importants et non récupérables en cas de sur-adaptation) et a un horizon temporel de décision long (engagement sur la durée de vie du bâtiment). Cette mesure n'est pas en synergie avec l'atténuation car elle engendre une surconsommation d'énergie fossile pendant la phase de construction. En revanche, le bénéfice attendu est immédiat (en cas de submersion) et la mesure est auto-suffisante.

Son horizon temporel d'obsolescence est fonction de la remontée du niveau marin et du niveau de surélévation. C'est une mesure efficace mais entraînant un surcoût à la construction et dont la durée d'efficacité est contrôlée par la remontée du niveau marin.

Constructions sur pilotis

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	-	-	-	Indét.	+	NC	+		Fct SLR

Comme pour la mesure d'étanchéification des bâtiments, cette mesure est sans regret dans certains cas seulement, selon qu'elle est mise en œuvre en anticipation des changements à venir ou comme une solution au risque actuel. Dans le premier cas, il est possible que dans certains scénarios de changement climatique, cette mesure s'avère superflue car surdimensionnée (sur-adaptation). De plus, ce type de construction ne facilite pas l'accès à des personnes à mobilité réduite et peut poser un problème d'intégration dans le contexte architectural local. En revanche, sur les sites déjà affectés par des submersions temporaires, la mesure est bien sans regret. En outre, les constructions sur pilotis apportent un bénéfice immédiat et sont efficaces au regard de l'objectif de réduction de la vulnérabilité vis-à-vis de la submersion même si aucune autre mesure d'adaptation n'est mise en place. Cette mesure n'est pas robuste comme en témoigne son horizon d'obsolescence qui est fonction de l'élévation du niveau de la mer. L'élévation d'une construction sur pilotis n'est pas illimitée et sous certains scénarios de changement climatique, le niveau de la mer deviendra trop élevé pour que la mesure soit encore efficace. Comme toute construction en dur nécessitant un investissement important, les constructions sur pilotis ne sont pas non plus une mesure flexible/réversible et l'horizon temporel de décision est supérieur à 10 ans. Cette mesure n'a a priori pas d'incidence sur les autres aléas, par contre, il faut veiller à ce que sa mise en œuvre soit compatible avec d'autres aléas tels que l'érosion marine ou éolienne afin de ne pas augmenter la fragilité de l'enjeu face à ceux-ci. Enfin, nous avons considéré que les émissions de GES liées à la construction de bâtiments sur pilotis sont indéterminées car d'une part ils sont difficiles à évaluer, mais surtout ils sont dépendants du mode de construction.

Bâtiments démontables

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	-	+	NC	+		30 ans

Cette mesure d'adaptation est sans regret et robuste car elle est compatible avec tous les scénarios de changement climatique et elle apporte des bénéfices dans tous les cas. Elle est également réversible/flexible car elle s'adapte à l'évolution de la situation. Son horizon temporel de décision est d'ailleurs inférieur à 10 ans ce qui lui confère une certaine souplesse pour s'ajuster aux conditions environnementales du moment. C'est une mesure qui offre un bénéfice immédiat et qui est autosuffisante au regard de l'objectif de réduction de la vulnérabilité face à la submersion. Par ailleurs, elle n'interagit pas avec les autres aléas. Par contre, ce type de bâtiment est réservé pour des usages spécifiques, généralement temporaires (ou saisonniers) et n'est pas en synergie avec l'atténuation des GES. En effet, le démontage/remontage du bâtiment à de nouvelles localisations engendre une consommation d'énergie importante. L'horizon temporel d'obsolescence de ce type de construction est de l'ordre de 30 ans.

Matériaux de construction non sensibles à l'eau et au sel

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	-	-	Indét.	+	NC	+		10-50 ans

L'utilisation de matériaux insensibles à l'eau et au sel lors de la construction de bâtiments est une mesure sans regret car elle apporte des bénéfices indépendamment de l'évolution climatique. Il s'agit d'une mesure robuste qui restera efficace quelle que soit l'évolution climatique future. Cette mesure ne peut être considérée comme réversible/flexible dans le sens où le surcoût engendré par sa mise en œuvre ne sera pas récupérable dans le cas d'une sur-adaptation. Son horizon temporel de décision n'est pas réduit car cette mesure engage sur la durée de vie du bâtiment (durée supérieure à 10 ans). Si elle est appliquée sur des bâtiments déjà soumis à un aléa de submersion marine, cette mesure procure des bénéfices immédiats (dégradation moindre des bâtiments lors des submersions) et est autosuffisante. La synergie avec l'atténuation n'a pu être déterminée car pour l'essentiel liée aux traitements et au mode de production des matériaux utilisés. Ce type de mesure n'interfère pas avec les autres aléas. L'horizon temporel d'obsolescence a été évalué à quelques dizaines d'années en considérant que l'insensibilité des matériaux à l'eau et au sel se dégradait dans le temps au fur et à mesure des cycles de submersion.

Positionnement des réseaux (électrique, eau potable, égouts...)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	-	NC	+	NC	Indét.		Fct SLR

Un positionnement des réseaux, notamment électriques, tenant compte de l'inondabilité des bâtiments (surélévation des réseaux) est une mesure sans regret car elle n'engendre pas de surcoût significatif par rapport à un positionnement « normal » du réseau. En revanche, elle n'est pas robuste comme en témoigne son horizon d'obsolescence, qui est fonction de l'élévation du niveau de la mer. La surélévation des réseaux n'est pas illimitée et sous certains scénarios de changement climatique, le niveau de la mer deviendra trop élevé pour que la mesure soit encore efficace. C'est une mesure à effet immédiat (par exemple en cas de submersion se produisant juste après la construction du bâtiment, tant que la hauteur d'eau est inférieure à celle du réseau surélevé) et dont l'autosuffisance est difficile à déterminer. L'horizon temporel de décision de cette mesure est long car elle engage sur la durée de vie du bâtiment. La mesure consistant à positionner les réseaux en fonction du futur niveau de la mer (et donc des submersions plus fréquentes induites) est une mesure réversible dans le sens où il peut être décidé d'arrêter de l'appliquer à n'importe quel moment.

Actions sur les constructions en lien avec l'érosion

Bâtiments démontables

Voir évaluation de la mesure dans les actions sur les constructions en lien avec la submersion.

Autres actions de réduction de la vulnérabilitéNormes de construction adaptées aux risques

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	-	NC	-	NC	-		Fct CC

Cette mesure d'adaptation consistant à émettre des normes de construction adaptées aux risques est sans regret car elle apporte des bénéfices quelle que soit l'évolution future. C'est une mesure robuste dans le sens où la prise en compte des risques dans les normes de construction est une action amont primordiale pour l'adaptation qui sera toujours pertinente à n'importe quelle date dans le futur. Par contre, les normes devront être mises à jour autant que nécessaire selon l'évolution des conditions environnementales. La réalisation et la mise en vigueur de normes de construction adaptées aux risques est une mesure réversible et flexible car elle peut être stoppée à tout moment sans impact financier important. Cette mesure a un horizon temporel de décision long car elle engage au-delà de 10 ans. Elle n'engendre pas de bénéfice immédiat en matière de réduction de la vulnérabilité car seules les futures constructions (aujourd'hui inexistantes) bénéficieront de ces nouvelles normes. Il existe donc un délai entre l'application de la mesure et les bénéfices attendus. Elle n'a pas d'effet sur l'atténuation de l'émission de GES et on peut considérer que son horizon temporel d'obsolescence (mise à jour des normes) est fonction du changement climatique et de l'évolution des conditions environnementales. Cette mesure est une action amont qui est nécessaire pour l'adaptation et la réduction de la vulnérabilité mais qui n'est pas autosuffisante ; elle ne sera efficace que si elle est accompagnée par d'autres mesures.

Surélévations artificielles (île artificielle, tertre sous un bâtiment)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	-	+		Fct SLR

Cette mesure consiste à intégrer l'élévation du niveau marin dès le début de la construction d'un bâtiment ou d'un ouvrage afin de garantir qu'il reste hors d'eau dans le futur. Cette mesure n'est pas sans regret car le surcoût engendré est potentiellement important et irrécupérable si l'on surdimensionne la surélévation par rapport au niveau marin réellement atteint dans le futur. De même, l'efficacité de cette mesure est conditionnée par un niveau de la mer inférieur au seuil de

la surélévation : la mesure n'est donc pas efficace pour tous les scénarios climatiques à n'importe quelle date dans le futur et n'est donc pas robuste. C'est une mesure qui n'est pas réversible et dont l'horizon temporel est long car il engage sur la durée de vie de l'aménagement et donc sur une durée largement supérieure à 10 ans. Par contre c'est une mesure qui offre un bénéfice immédiat et qui est autosuffisante au regard de l'objectif de réduction de la vulnérabilité (mise hors d'eau de l'aménagement dès son édification). Elle peut avoir potentiellement, et selon le contexte local, des effets sur les aléas, tels que l'érosion, en changeant les morphologies et en induisant des modifications des dynamiques hydro-sédimentaires cross-shore et longshore. Cette mesure n'apparaît pas en synergie avec l'atténuation de l'émission des GES compte tenu du surcoût en énergie carbonée induit par la réalisation des surélévations lors de sa mise en place. Enfin, l'horizon temporel d'obsolescence de cette mesure est intrinsèquement lié à la remontée du niveau marin.

Repli stratégique

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	-	-	-	+	NC	+	300 M€ pour la déconstruction de 1200 bâtiments post-Xynthia	Infini

Le repli stratégique consiste à déplacer les enjeux et centres vitaux d'une société au-delà des zones soumises à l'aléa. Cela implique notamment la prise en compte des modifications de la position du trait de côte dans le futur en considérant l'impact du changement climatique (remontée du niveau marin et autres modifications environnementales).

C'est une mesure que l'on peut considérer comme sans regret et robuste car bénéfique quel que soit le contexte et le scénario envisagé. C'est une mesure extrêmement coûteuse qui, une fois appliquée, n'est pas réversible et dont l'horizon temporel de décision est long car elle engage sur de nombreuses décennies. C'est une mesure qui n'est pas en synergie avec l'atténuation de l'émission de GES du fait de la mise en œuvre de gros travaux et d'engins fonctionnant avec des énergies carbonées lors de sa mise en œuvre. Les bénéfices en matière de réduction de la vulnérabilité sont immédiats et on peut considérer cette mesure comme autosuffisante. Cependant, il faut souligner l'importance d'actions complémentaires à mettre en œuvre, notamment en matière d'éducation et d'information auprès des populations concernées, pour rendre la mesure socialement acceptable. Elle a un horizon temporel d'obsolescence virtuellement infini si le repli a été suffisamment généreux.

Le repli stratégique opéré après la tempête Xynthia en Charente-Maritime donne une idée du coût (actuel) d'une telle mesure d'adaptation : 300 millions d'euros pour la déconstruction de 1200 bâtiments post-Xynthia. Pour un front de mer balnéaire de 3 km, comprenant 500 maisons individuelles, 1 500 appartements et 80 commerces, le coût du repli est estimé à 835 millions d'euros (CEPRI 2016).

Mise en place d'un programme de gestion du foncier (échanges de terres)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	-		Infini

Cette mesure peut être utilisée pour anticiper les besoins en foncier rétro-littoral avant la mise en place d'un repli stratégique.

Il s'agit d'une mesure que l'on peut considérer comme sans regret car utile même en l'absence de changement climatique dans le cadre de la prévention des risques côtiers. C'est une mesure robuste car indépendante des scénarios de changement climatique et des échéances fixées. Elle est flexible et réversible car elle peut être stoppée à tout moment sans engendrer de surcoût significatif et sans contrainte. Cette mesure à un horizon temporel de décision réduit car elle n'engage pas sur des durées longues. Par contre, elle n'a aucune efficacité intrinsèque pour réduire la vulnérabilité et le bénéfice attendu ne sera visible qu'une fois le repli effectué. L'horizon temporel d'obsolescence d'une telle mesure est virtuellement infini.

Plan Communal de Sauvegarde (PCS)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		5 ans

L'établissement d'un PCS est une mesure sans regret, utile dès sa mise en place et robuste car efficace quelle que soit l'évolution climatique considérée, à condition de mettre à jour le document si les conditions environnementales évoluent. C'est une mesure réversible dont l'arrêt n'engendre ni surcoût ni contrainte et dont l'horizon de temporel de décision est réduit sans engagement à long terme. C'est une mesure qui engendre un bénéfice immédiat car applicable dès sa réalisation en cas d'occurrence d'un aléa et d'une crise. En revanche, dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, cette mesure n'est pas efficace si c'est la seule mesure mise en place pour réduire la vulnérabilité.

L'élaboration d'un PCS n'est pas un aboutissement, mais la naissance d'une organisation qui doit évoluer avec la commune et les changements qu'elle vivra. Le maire a donc pour responsabilité de maintenir l'opérationnalité du PCS de sa commune. Pour cela, il doit s'assurer d'une mise à jour régulière des documents PCS, afin de tenir compte des évolutions possibles en matière d'urbanisme et des risques. Légalement, le délai de révision ne peut excéder cinq ans.

Sorties de secours des bâtiments adaptées au niveau d'aléa

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	-	+	-	NC	+	NC	+		Fct SLR

Positionner les sorties de secours des bâtiments en fonction du niveau d'aléa est une mesure qui est sans regret car elle n'engendre pas de surcoût significatif par rapport au positionnement « normal » des sorties de secours. En revanche, elle n'est pas robuste comme en témoigne son horizon d'obsolescence qui est fonction de l'élévation du niveau de la mer. Le positionnement en hauteur des sorties de secours n'est pas illimité et sous certains scénarios de changement climatique, le niveau de la mer pourrait devenir trop élevé pour que la mesure soit encore efficace. C'est une mesure à effet immédiat (par exemple en cas de submersion se produisant juste après la construction du bâtiment, tant que la hauteur d'eau est inférieure à celle des sorties de secours) et qui est autosuffisante au regard de l'objectif général de réduction de la vulnérabilité des personnes. L'horizon temporel de décision de cette mesure est long car elle engage sur la durée de vie du bâtiment. La mesure consistant à positionner les sorties de secours des bâtiments en fonction du futur niveau de la mer (et donc des submersions plus fréquentes induites) est une mesure réversible dans le sens où il peut être décidé d'arrêter de l'appliquer à n'importe quel moment.

Routes d'évacuation au-dessus du niveau d'inondation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+/-	-	-	-	-	+	NC	+		Fct SLR

La construction de routes d'évacuation au-dessus du niveau maximum d'inondation attendu peut être considérée comme une mesure sans regret à partir du moment où le territoire est susceptible de subir une submersion marine dans les conditions actuelles. En revanche, ce n'est plus le cas s'il s'agit d'une mesure d'anticipation et que la trajectoire prise par le changement climatique se révèle finalement plus clémente qu'envisagée, rendant la mesure superflue. C'est une mesure qui n'est pas robuste car, pour les scénarios les plus défavorables où la remontée du niveau marin sera supérieure à celle prévue, cette mesure d'adaptation sera inopérante. Cette mesure n'est pas flexible/réversible car elle ne peut pas être abandonnée sans surcoût (on ne peut pas revenir en arrière sans déconstruire les routes d'évacuation). Son horizon temporel de décision est long car l'investissement engendré par la construction des routes d'évacuation est élevé et engage sur des durées supérieures à 10 ans. De plus, la mesure engendre des émissions de GES lors de sa mise en place. En revanche, le bénéfice attendu est immédiat (effet positif en cas de submersion) et elle est efficace au regard de l'objectif général de réduction de la vulnérabilité des personnes, même si elle est mise en œuvre seule. Son horizon temporel d'obsolescence est fonction de la remontée du niveau marin.

Protection des bâtiments/zones stratégiques ou dangereuses

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
-	-	-	-	-	+	NC	+/-		Fct SLR

La protection des bâtiments ou des zones stratégiques ou dangereuses implique la mise en œuvre d'ouvrages de défense. L'évaluation de cette mesure est donc similaire à celle de l'installation de défenses en dur (voir par exemple le mode de gestion « Résistance face à l'aléa (submersion) »).

ACTIONS COMPLEMENTAIRES

Connaissance

Réseau de surveillance et/ou d'observatoires (suivis)

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	+		Infini

Cette mesure est sans regret et robuste car quel que soit le scénario climatique, elle est utile à la société pour la prévention et la gestion des risques et elle reste pertinente à n'importe quelle date dans le futur. Cette mesure est considérée comme flexible et réversible car il est possible de l'arrêter à n'importe quel moment sans impact financier significatif. De plus, elle n'engage pas sur des temps longs. Nous avons considéré que cette mesure n'était pas concernée par la synergie avec l'atténuation (émissions de GES négligeables), bien que seul un bilan carbone permettrait de confirmer cette évaluation qualitative, et qu'elle n'avait pas d'impact sur les autres risques (mesure non intrusive sur le milieu). Les bénéfices d'une telle mesure ne sont pas immédiats au regard de l'objectif d'amélioration de la connaissance mais elle est autosuffisante. L'horizon d'obsolescence est virtuellement infini car quelle que soit l'évolution future du climat et du niveau marin, cette mesure reste valide, utile et pertinente.

Cartographie d'aléa et de vulnérabilité

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		5-10 ans

Sur le littoral, elle s'applique au recul du trait de côte et à la submersion marine. La cartographie de l'aléa et de la vulnérabilité du territoire est essentielle pour un aménagement adapté dans un environnement évolutif soumis à un aléa. Dans le cadre plus général de l'adaptation au changement climatique, c'est une mesure fondamentale et préalable à beaucoup d'autres mesures qui nécessitent une évaluation fine à l'échelle locale des aléas et de la vulnérabilité.

Comme beaucoup de mesures à caractère social et institutionnel, la cartographie des aléas et de la vulnérabilité est sans regret. Cette mesure améliore en effet la connaissance du risque au moment où elle est réalisée et apporte des bénéfices non tangibles pour la société dans tous les cas. La mesure est également robuste puisqu'il sera toujours possible de la mettre en œuvre, et flexible/réversible puisqu'il est facile de ne pas la poursuivre et que son arrêt n'engendre pas de surcoût particulier. De plus, la mesure n'engage pas sur une durée longue : il est en effet nécessaire de la renouveler régulièrement (horizon temporel d'obsolescence de l'ordre de 5-10 ans) pour prendre en compte l'évolution réelle du climat et du niveau marin, elle a donc naturellement un horizon temporel de décision réduit. Au regard de l'objectif d'amélioration de la connaissance, cette mesure engendre des bénéfices immédiats. En revanche, elle nécessite au préalable et en parallèle des suivis réguliers du littoral pour pouvoir caractériser les aléas. C'est donc une mesure nécessaire mais pas suffisante.

Mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		5-10 ans

Cette mesure a pour objectif de mieux contrôler le bilan sédimentaire à l'échelle d'une cellule en vue de mieux maîtriser l'érosion et le recul du trait de côte. C'est une mesure sans regret et robuste qui sera bénéfique dans tous les cas et qui sera toujours applicable. Elle est réversible car elle n'engage pas de coût particulier ni ne pose de problème technique en cas d'arrêt. Cette mesure a un horizon temporel de décision réduit car n'engageant pas d'investissement ni d'action particulière dans le long terme. Le plan de gestion des sédiments n'a en lui-même aucune incidence sur l'atténuation de l'émission de GES ni d'impact sur les aléas. En revanche, il peut entraîner d'autres mesures qui sont potentiellement émettrices de GES (cf. mesure « rechargement de plage » par exemple). Cette mesure apporte un bénéfice immédiat en matière d'amélioration de la connaissance mais elle nécessite au préalable et en parallèle des suivis réguliers du littoral ; elle n'est donc pas autosuffisante. Son horizon temporel d'obsolescence est variable et difficile à estimer. En effet, un PGS doit être révisé dès lors que les changements environnementaux ou une amélioration de la connaissance du fonctionnement hydrosédimentaire du site d'étude justifient une modification substantielle des pratiques de gestion recommandées dans le document. Nous avons considéré ici que le temps de renouvellement d'un PGS est de l'ordre de 5 à 10 ans.

Conférence et réseau de recherche

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	-		2 ans - Infini

Il s'agit d'une mesure sans regret et robuste car complètement décorrélée des effets physiques du changement climatique et qui assure une diffusion, un partage des connaissances en la matière entre différents publics (chercheurs, décideurs, citoyens...). Elle peut donc viser l'amélioration de la connaissance ou de l'éducation. C'est également une mesure qui n'engage pas sur un temps long et qui peut être stoppée à tout moment sans conséquence lourde pour la société. En revanche, elle n'engendre pas de bénéfice immédiat car il faut un certain temps pour que le transfert et le partage de connaissances soient efficaces, touchent le plus grand nombre et finissent par changer les mentalités. Cette mesure n'est pas non plus autosuffisante car elle implique nécessairement d'acquérir des données et de la connaissance avant de la diffuser et de la partager. L'horizon temporel d'obsolescence pour une conférence sur la thématique du changement climatique est généralement de l'ordre de 2 ans (exemple d'Uhinak en Nouvelle-Aquitaine). Pour un réseau de recherche par contre, l'horizon d'obsolescence est virtuellement infini.

Éducation

Formations dédiées aux risques et au changement climatique

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	+		Infini

L'intégration à l'éducation des connaissances sur l'impact du changement climatique sur nos vies et notre environnement est une mesure sociale permettant d'éclairer les citoyens sur les choix faits en matière de gestion des risques et d'adaptation et de favoriser l'acceptabilité des mesures d'adaptation en fournissant les éléments de compréhension.

C'est une mesure qui est sans regret car elle apporte des bénéfices dans tous les cas, elle est robuste car indépendante des scénarios et trajectoires climatiques. Par ailleurs, elle est flexible et réversible et relativement peu coûteuse par rapport à d'autres actions d'adaptation. Le bénéfice d'une telle mesure n'est pas immédiat car le processus de changement des consciences est progressif, mais l'horizon temporel de décision est réduit car cette action n'engage pas à long terme. De plus, on peut considérer qu'elle est autosuffisante au regard de l'objectif d'amélioration de l'éducation. Enfin, cette mesure a un horizon temporel d'obsolescence infini.

Conférences et réseau de recherche

Voir évaluation de la mesure dans les actions complémentaires destinées à l'amélioration de la connaissance.

Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements ou une relocalisation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	+	(I) 25 k€/an pour l'opération de sensibilisation aux submersions marines de La Rochelle	Infini

C'est une mesure qui est sans regret car elle apporte des bénéfices dans tous les cas, elle est robuste car indépendante des scénarios et trajectoires climatiques. Par ailleurs, elle est flexible et réversible et relativement peu coûteuse par rapport à d'autres actions d'adaptation. Le bénéfice d'une telle mesure n'est pas immédiat car les changements qu'elle peut induire sont progressifs, mais son horizon temporel de décision est réduit car cette action n'engage pas à long terme. De plus, on peut considérer qu'elle est autosuffisante au regard de l'objectif d'amélioration de l'éducation. Enfin, cette mesure à un horizon temporel d'obsolescence infini.

Le coût d'une opération pluriannuelle de sensibilisation aux submersions marines à La Rochelle est de l'ordre de 25k€/an (CEPRI 2016).

Information

Mise en place ou amélioration des systèmes d'alerte précoce

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini

La mise en place ou l'amélioration des systèmes d'alerte précoce est utile dans les zones exposées aux aléas quel que soit le mode de gestion envisagé. Ces systèmes sont nécessaires en amont de certaines mesures physiques ou institutionnelles présentées précédemment comme la mise en place de défenses temporaires, les barrages anti-tempêtes amovibles, les PCS, etc.

Ces dispositifs sont des mesures sans regret et robustes car efficaces dès leur mise en place et utiles quelle que soit l'évolution des aléas dans le cadre du changement climatique. Nous avons considéré que les systèmes d'alerte précoce apportent des bénéfices immédiats en matière d'information des citoyens. Cette mesure n'engage pas sur un horizon temporel long et peut être désactivé à tout moment sans surcoût significatif ce qui lui confère un caractère réversible. Par contre elle n'est pas autosuffisante et nécessite d'être accompagnée par d'autres mesures pour être efficace, par exemple la sensibilisation des citoyens aux risques. Enfin, son horizon temporel d'obsolescence est virtuellement infini (mises à part les évolutions et mises à jour du système au cours du temps).

Services climatiques

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini

Les services climatiques visent à rendre accessible à l'ensemble des acteurs concernés (décideurs, associations ou simples citoyens), une information et des données actualisées sur le changement climatique. Ces données doivent être validées, accessibles et compréhensibles.

La mise en place de services climatiques est une mesure sans regret et robuste qui apporte des bénéfices dans tous les cas (exemple : meilleure sensibilisation du public aux risques et au changement climatique) et qui est efficace à n'importe quelle date dans le futur. Cette mesure est facilement réversible et a un horizon temporel de décision réduit car n'engageant pas d'investissement sur une longue durée (i.e. supérieure à 10 ans). Elle est également autosuffisante et apporte un bénéfice immédiat au regard de l'objectif d'information des citoyens. Enfin, son horizon temporel d'obsolescence est infini (moyennant l'actualisation des données).

Concertation

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini

Comme les autres actions complémentaires, la concertation est sans regret, robuste, flexible et a un horizon temporel de décision réduit. Elle engendre des bénéfices immédiats en matière d'information des citoyens et peut permettre également une meilleure appropriation du projet par les parties prenantes. En revanche, cette mesure n'est pas autosuffisante car la concertation vient souvent en complément d'une étape préalable de sensibilisation du public. Enfin, son horizon temporel d'obsolescence est infini.

Communication à travers les médias

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	+		Infini

Pour les mêmes raisons que les autres actions complémentaires, la communication à travers les médias est sans regret, robuste, flexible et a un horizon temporel de décision réduit. Elle engendre des bénéfices immédiats en matière d'information des citoyens et est également autosuffisante. Enfin, son horizon temporel d'obsolescence est infini.

Urbanisme

Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	-	NC	+		Infini

Cette mesure institutionnelle est fondamentale dans le cadre de l'adaptation au changement climatique car elle permettra d'adapter le tissu urbain, économique et industriel à l'évolution des contraintes et des risques environnementaux.

Cette mesure est sans regret car bénéfique dans tous les cas et robuste car indépendante de la trajectoire climatique. Cette mesure est réversible et peut être stoppée à tout moment. Elle possède également un horizon temporel de décision réduit puisqu'elle n'engage pas sur des temps longs et elle est autosuffisante au regard de l'objectif de planification de l'urbanisation. En revanche, elle n'apporte pas de bénéfice immédiat étant donné qu'il existe un délai entre l'application de la mesure d'une part et sa transcription concrète sur le terrain d'autre part. Enfin, l'horizon temporel d'obsolescence est infini (moyennant la révision éventuelle des documents d'urbanisme).

Éviter d'installer de nouvelles constructions dans les zones menacées

Sans regret	Robustesse	Flexible/réversible	Horizon temporel de décision	Synergies avec l'atténuation	Bénéfice immédiat	Impact potentiel sur d'autres risques	Efficacité si seule mesure mise en place	Coûts d'implémentation (I) et/ou de maintenance (M)	Horizon temporel d'obsolescence
+	+	+	+	NC	+	NC	-		Infini

Cette mesure, à première vue simple, implique en amont la réalisation d'autres mesures telles que la cartographie des aléas et des risques, la mise en place d'un réseau de suivi et d'observation, la prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme etc. Il s'agit donc d'une mesure qui n'est pas autosuffisante. Par contre, elle est robuste et sans regret car applicable quelle que soit l'évolution du climat et des risques, et apportant des bénéfices dans tous les cas. Cette mesure est bien sûr flexible et son horizon temporel de décision est réduit (pas d'engagement ni d'investissement lourds). C'est une mesure dont le temps d'obsolescence est infini et qui apporte des bénéfices immédiats en matière d'urbanisme raisonné.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine

Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci

33600 – Pessac – France

Tél. : 05 57 26 52 70