



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Octobre 2022

L'adaptation au changement climatique des gestionnaires d'infrastructures de navigation maritime et fluviale en France

Contribution du groupe de travail ad hoc du collège IGEDD/IGAM Mer,
fluvial et littoral avec le Cerema, le Shom, l'UPF, l'AFPI, VNF, CNR et EDF,
animé par Geoffroy Caude

igedd.developpement-durable.gouv.fr



Rapport n° 014713-01



Sommaire

Editorial	10
Introduction générale.....	12
Synthèse générale	14
1. Synthèse des principaux apports scientifiques.....	15
1.1 Questions scientifiques pour les aspects maritimes	15
1.1.1 Remontée des niveaux marins.....	15
1.1.2 Niveaux marins extrêmes	17
1.1.3 Autres aspects examinés	17
1.2 Questions scientifiques pour les infrastructures fluviales	18
2. Synthèse de la contribution du Cerema et du Shom sur les niveaux marins extrêmes en France	20
2.1 Remontée séculaire des niveaux marins en France	20
2.2 Évolution des niveaux marins extrêmes en France	20
3. Autres aspects de l'adaptation	24
3.1 Ouverture à la navigation des routes Arctiques.....	24
3.2 Lien entre atténuation et adaptation pour les ports maritimes	24
3.3 Résilience des infrastructures fluviales et aggravation des conflits d'usage de l'eau...25	
4. Parangonnage	27
4.1 Méthodologie d'adaptation au changement climatique : base navale de Norfolk, cas des ports de Long Beach et de Rotterdam	27
4.2 Aspects propres aux basses eaux des grands fleuves	28
4.3 L'adaptation des grandes structures anti-tempêtes dans le monde	29
5. Synthèse de l'état des lieux des gestionnaires d'infrastructures de navigation maritime et fluviale en France par rapport à l'adaptation au changement climatique	30
6. Synthèse du financement de l'adaptation	34

Recommandations du groupe de travail	35
R1. Recommandations à l'attention de l'administration centrale.....	36
R2. Recommandations scientifiques et techniques	37
R3. Recommandations aux gestionnaires des ports	39
R3.1 Recommandations générales applicables à l'ensemble des ports	39
R3.2 Recommandations propres aux ports d'Outre-mer.....	40
R4. Recommandations aux gestionnaires d'infrastructures de navigation fluviale	42
R5. Recommandations relatives au financement de l'adaptation	44
R5.1 Recommandations aux administrations centrales	44
R5.2 Recommandations générales à l'attention des ports.....	47
R5.3 Recommandations particulières aux ports ultra-marins	48
Conclusion.....	49
Partie I Principaux apports scientifiques du GIEC identifiés par le collège MFL.....	50
I.1 Le rapport spécial « Océan et Cryosphère dans un climat qui change » : synthèse pour les décideurs	50
I.1.1 Les lignes de force du rapport de synthèse	50
I.1.2 Rétrospective des observations et des connaissances sur les océans	51
I.1.3 Projections retenues dans les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5	51
I.1.4 Adaptation.....	52
I.2 Les apports du chapitre 4 du rapport Océan et Cryosphère	55
I.2.1 La météorologie et la caractérisation de l'élévation du niveau marin global	55
I.2.2 Un bref aperçu des conséquences des phénomènes extrêmes sur les niveaux marins extrêmes.....	56
I.2.3 Les stratégies d'adaptation alternatives	57
I.3 Les apports du chapitre 6 du rapport Océan et Cryosphère	58
I.3.1 Événements extrêmes	59
I.3.2 Changements brutaux et irréversibles	59
I.3.3 Adaptation dynamique.....	60

I.4 Les apports maritimes du rapport scientifique AR6 du GIEC.....	60
I.4.1 L'état actuel du climat	61
I.4.2 Les possibles changements climatiques futurs	61
I.4.3 Informations climatiques pour l'évaluation des risques et l'adaptation régionale	63
I.4.4 Limiter les changements climatiques futurs	64
I.5 Les apports scientifiques disponibles pour la navigation fluviale	65
I.5.1 Synthèse du projet Explore 2070	65
I.5.2 Explore 2 – Les futurs de l'eau	71
Partie II Contribution du Cerema et du Shom sur les niveaux marins en France : houles, marées, surcotes	72
II.1 Remontée séculaire des niveaux marins et autres effets directs du changement climatique.....	72
II.1.1 Niveau marin absolu et niveau marin relatif : facteurs d'évolution et observations.....	72
II.1.2 Niveau marin absolu et niveau marin relatif : projections	74
II.2 Aggravation des événements extrêmes maritimes d'origine climatique	76
II.2.1 Principes d'évaluation de l'évolution des risques côtiers	77
II.2.2 Principes d'analyse des niveaux marins extrêmes.....	79
II.2.3 Évolution des niveaux marins extrêmes sur les littoraux français.....	82
II.2.4 Conclusion sur l'évolution des ESL sur les littoraux français	87
Partie III Autres contributions : routes arctiques, lien entre atténuation et adaptation ; résilience des infrastructures fluviales et conflits d'usage de l'eau	93
III.1 Ouverture des routes maritimes arctiques	93
III.1.1 Les perspectives de la navigation arctique.....	93
III.1.2 Les contraintes de la navigation arctique	94
III.1.3 Les routes arctiques au cœur de zones de confrontations	96
III.2 Aggravation des événements fluviaux extrêmes	97
III.2.1 Résilience des infrastructures de navigation fluviale.....	97
III.2.2 Espèces invasives.....	99
III.2.3 Aggravation des conflits d'usage de l'eau.....	101
III.3 Impact des mesures d'atténuation sur l'adaptation des infrastructures : le cas des ports	102

III.3.1 Les ports français développent une offre diversifiée en branchements électriques à quai et en carburants alternatifs.....	103
III.3.2 Les ports français s'engagent à récompenser la performance environnementale des navires.....	104
III.3.3 Les ports français participent activement au dialogue « villes-ports ».....	104
III.3.4 Les ports français contribuent à la dynamique des énergies marines renouvelables (EMR)	104
III.3.5 Les ports français sont appelés à devenir des hubs de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire.....	105
Partie IV Parangonnage	107
IV.1 Stratégies d'adaptation relatives aux grandes structures anti-tempête (digues et barrages)	108
IV.2 Stratégies d'adaptation relatives aux infrastructures portuaires et fluviales.....	112
IV.2.1 Planification de l'adaptation au changement climatique des ports et des voies navigables.....	112
IV.2.2 Exemples de planification de l'adaptation au changement climatique des ports et des voies navigables.....	113
IV.3 Stratégies d'adaptation relatives aux structures en mer (posées ou flottantes)	116
Partie V État des lieux des gestionnaires portuaires et fluviaux par rapport à l'adaptation au changement climatique	117
V.1 État des lieux de l'adaptation au changement climatique dans les ports de commerce en métropole et en Outre-mer.....	117
V.1.1 Les ports de commerce métropolitains	117
V.1.2 – Les ports de commerce ultramarins.....	121
V.2 – État des lieux des ports fluviaux et des axes fluviaux	123
Partie VI Le financement de l'adaptation et des actions climatiques.....	128
VI.1 Des financements directs – structurels et sectoriels - multiples et essentiels, leviers pour la mise en œuvre des politiques européennes en faveur de la lutte contre le changement climatique	129
VI.1.1 les financements relevant des programmes structurels ou sectoriels de l'Union européenne au bénéfice potentiel des ports maritimes et fluviaux.....	129
VI.1.2 Les financements résultant des aides d'État (publiques) notifiées à la Commission pour les ports, pilier essentiel du financement de l'adaptation au changement climatique.....	129
VI.1.3 La réforme attendue de la fiscalité européenne visant la décarbonation et	

l'adaptation au changement climatique	132
VI.2 La situation dans les ports maritimes et fluviaux français au regard des financements européens	133
VI.2.1 Une situation hétérogène et qui mérite une attention particulière durant la période de programmation financière 2021/2027 dans l'Union européenne	133
Annexes.....	137
Annexe 1 - Composition du groupe de travail	138
Annexe 2 - Éléments de méthode pour l'adaptation des territoires littoraux : contribution du Cerema	139
Annexe 3 - Le projet Explore 2 et son calendrier	151
Annexe 4 - Contribution de VNF sur les espèces invasives.....	152
Annexe 5 - Tableau de restitution de l'enquête conduite auprès des gestionnaires de ports : paramètres pris en compte dans les réflexions relatives à l'adaptation au changement climatique	160
Annexes 6 - Financement de l'adaptation	163
Annexe 7 - Synthèse étude Cerema pour le grand port maritime de Bordeaux	165
Annexe 8 - Chronique des hauteurs d'eau du Parana à Rosario	181

Editorial

L'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) a engagé en 2019 une réflexion transversale pour une meilleure prise en compte des nécessités de l'adaptation au changement climatique dans tous les champs des ministères auprès desquels elle est placée.

Elle a choisi de faire une analyse spécifique des questions portuaires et fluviales. La navigation maritime et portuaire dépend étroitement des niveaux marins et du degré d'agitation de la mer, tandis que la navigation fluviale est tributaire entre autres des niveaux d'eau dans les voies fluviales : ces formes de navigation dont dépendent en large partie le commerce international et sa distribution territoriale sont de ce fait particulièrement exposées aux évolutions climatiques en cours.

Le relèvement progressif des niveaux marins, l'aggravation des épisodes climatiques extrêmes tant en mer qu'à la côte s'imposent peu à peu aux gestionnaires d'infrastructure tant pour la conception de leurs ouvrages que pour leur exploitation.

L'IGEDD s'est naturellement associée à l'Inspection générale des affaires maritimes par l'intermédiaire de notre collège commun *Mer, fluvial et littoral*. Il s'est agi d'investiguer l'avancement des gestionnaires de ces infrastructures dans leur appréhension des nécessaires adaptations et dans leur capacité à mobiliser les financements correspondants. Sous le pilotage de Geoffroy Caude, le collège a mis en place un groupe de travail *ad hoc* auquel ont été associés le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), le Shom (Service hydrographique et océanographique de la Marine), la DGITM (Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités), l'Union des ports de France, l'Association française des ports intérieurs ainsi que VNF (Voies navigables de France) et la CNR (Compagnie nationale du Rhône).

Ce travail illustre à la fois le degré d'engagement actuel des gestionnaires, à travers des études de vulnérabilité en cours ou achevées, la priorité qu'ils ont accordée jusqu'ici aux thèmes de la submersion marine, des inondations, de la sécheresse et des basses eaux fluviales. Il aborde également l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Il mesure l'ampleur du chemin qu'il reste à parcourir pour adopter les meilleures mesures d'adaptation à court et à moyen terme dans le contexte très incertain des trajectoires de réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

Le parangonnage auprès de la CNUCED (Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement), de l'AIPCN (Association internationale pour les infrastructures maritimes et fluviales), de l'IAGF (Initiative pour l'avenir des grands fleuves) et de quelques travaux parallèles à la COP 26 sur le climat a permis d'analyser les orientations prises par certains pays particulièrement exposés aux risques de remontée des niveaux marins, notamment lorsque les surcotes de tempête peuvent atteindre 3 à 4 mètres comme cela a pu être le cas aux Pays-Bas ou en Allemagne.

Le rapport propose de nombreuses pistes d'amélioration et le chemin à parcourir pour s'adapter occupera largement les prochaines décennies : homogénéiser les hypothèses prises en compte dans les études de vulnérabilité tout en tenant compte des spécificités locales, voir comment aborder les scénarios plausibles mais peu probables qui pourraient être liés à une fonte plus rapide qu'envisagée jusqu'ici des calottes glaciaires comme le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat) a commencé à l'aborder dans son sixième cycle, tenir compte des spécificités des Outre-mer, insérer les plans d'adaptation portuaires au sein de processus de planification nationaux et régionaux, notamment au niveau des façades maritimes, dégager de premières idées de chiffrage des coûts d'adaptation pour mieux mobiliser ensuite les financements accessibles au niveau européen : autant de pistes d'amélioration, autant d'obstacles à franchir dans les prochaines années et autant de défis à relever.

Tout en remerciant les ports qui ont alimenté la réflexion, VNF, CNR, le Shom et le Cerema ainsi que Geoffroy Caude et tous les contributeurs de ce rapport et en soulignant l'efficacité de ce travail collégial, nous vous en souhaitons une bonne lecture.



Paul Delduc

Chef de l'Inspection générale de l'environnement
et du développement durable



Guillaume Sellier

Chef de l'Inspection générale des affaires
maritimes

Introduction générale

La Vice-présidente du CGEDD a demandé en 2019 aux différents collèges du CGEDD de produire une contribution sur la question posée par l'adaptation au changement climatique dans leurs champs respectifs de compétence. Le collège « Territoires » a produit le 8 janvier 2020 une première réflexion en ce sens¹.

Le collège conjoint CGEDD/IGAM « Mer, fluvial et littoral » (MFL), conscient du rôle essentiel que jouent sur ces questions les rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), après avoir pris connaissance du rapport spécial « Océan et Cryosphère » dans un climat qui change (*Special Report Ocean and Cryosphere in a changing Climate- SROCC*), produit à l'été 2019 dans le cadre du sixième cycle (*AR6 Sixth Assessment report*), en a exposé les principaux éléments utiles à ses membres lors de la séance du 12 décembre 2019, puis a attendu la production du rapport scientifique du sixième cycle du GIEC à l'été 2021 pour initier à la fin de l'automne 2021 cette contribution spécifique, qui tient également compte du rapport du GIEC sur l'adaptation.

Compte tenu de la compétence propre à ses membres, à ses membres associés et à ses invités permanents, le collège a instauré un groupe de travail spécifique² et a choisi de limiter le champ de sa réflexion à la prise en compte de ce sujet par les gestionnaires d'infrastructures portuaires et de navigation fluviale.

L'approche du groupe de travail s'est voulue résolument pragmatique, l'objectif général étant de proposer des pistes d'approfondissement à des gestionnaires aux prises avec des préoccupations de gestion de court terme et confrontés à des enjeux de transition énergétique, écologique et numérique de moyen et long termes, ou de formuler des recommandations à des décideurs sur un sujet ouvrant la voie à de très fortes incertitudes. En ce sens, le groupe de travail a procédé à une délimitation géographique du sujet et s'est résolument déterminé pour une approche pédagogique.

La délimitation géographique du rapport

- **au plan maritime**, le groupe de travail a proposé de considérer le port dans une double perspective, celle qui va du port à la haute mer et celle qui se dirige du port vers son *hinterland* avec l'idée de traiter principalement de l'adaptation au changement climatique des infrastructures de navigation maritime et des infrastructures de navigation fluviale tant du point de vue de leur conception que de leur exploitation, telle qu'elle se pose à leurs gestionnaires, c'est-à-dire en élargissant l'analyse à la résilience de la *supply chain* dont ils représentent un des maillons essentiels, ainsi qu'à l'adaptation de la gestion domaniale associée à ces infrastructures de transport ;

- **au plan littoral**, partagé entre plusieurs collèges ou groupes thématiques du CGEDD, l'accent est mis sur des sujets cruciaux comme celui de la remontée séculaire des niveaux marins, sur les événements extrêmes (niveaux marins, tempêtes, cyclones) ou comme celui de l'incidence sur la conception et sur l'exploitation des infrastructures parmi les réponses possibles, dans la droite ligne du rapport spécial du GIEC Océan et Cryo-sphère et des autres apports du 6^{ème} cycle du GIEC (rapport scientifique d'août 2021 et rapport sur l'adaptation de mars 2022) dans la mesure où ces sujets sont aussi abordés par certains gestionnaires d'infrastructures portuaires ;

- **au plan de la navigation fluviale**, le groupe de travail a associé les principaux gestionnaires d'infrastructures de navigation fluviale, principalement Voies navigables de France (VNF), mais aussi CNR (Compagnie nationale du Rhône) avec sa concession sur le Rhône et EDF avec sa

¹ Note sur l'adaptation territoriale au changement climatique du 8 janvier 2020, rédigée par Catherine Candelier, Pierre Narring, Ruth Marquès et Philippe Schmit, considérée comme une contribution du collège « Territoires », suite à sa séance du 26 novembre 2019 organisée en collaboration avec le collège « Risques naturels et technologiques » et le collège « Mer, fluvial et littoral ».

² Composition en annexe 1

concession sur une partie du Rhin, compte tenu de leur large expérience d'aménagements hydroélectriques avec de multiples usages et a retenu de ne pas ouvrir la vaste question de l'eau dans toutes ses composantes, si ce n'est lorsque les éventuels conflits d'usage peuvent affecter la navigation.

Une approche pédagogique

La contribution du groupe de travail porte son accent principal sur l'adaptation car le sujet de l'atténuation, notamment des émissions de GES par la navigation a donné lieu à plusieurs travaux du CGEDD qui aident à replacer cette composante des conséquences des évolutions climatiques en cours, dans le contexte d'une part des instruments juridiques internationaux (protocole de Kyoto, Accord de Paris) mais également dans le cadre européen (Pacte vert de l'Union européenne et sa feuille de route d'actions de réduction des gaz à effet de serre (GES) *Fit for 55*). L'atténuation ne sera donc pas abordée en tant que telle, mais seulement indirectement par ses incidences sur les gestionnaires d'infrastructure de navigation, c'est-à-dire comme une forme d'adaptation nécessaire de leur part aux besoins des utilisateurs de leurs infrastructures. Toutefois l'imbrication forte des deux sujets amènera ponctuellement à associer les deux sujets, par exemple quand il s'agira d'aborder le financement de l'adaptation.

Il convient aussi de préciser que par la suite la notion de résilience³ des infrastructures considérées est définie à la fois comme la capacité des ouvrages à résister à des phénomènes extrêmes plus importants que ceux pour lesquels l'ouvrage est conçu et comme la capacité du gestionnaire de remettre en état rapidement l'infrastructure endommagée par un événement extrême ou de façon plus large la *supply chain* concernée par le passage au port.

Au niveau de la méthode, le groupe de travail a rapidement souhaité connaître l'état des lieux des gestionnaires des ports vis-à-vis du sujet de l'adaptation qu'il s'agisse des ports de commerce maritimes ou fluviaux si bien que deux questionnaires ont été adressés aux ports maritimes via l'Union des ports de France (UPF) et aux ports fluviaux via l'Association française des ports intérieurs (AFPI). Le groupe de travail a considéré que le sujet du financement et des sources de financement méritait d'autant plus d'attention que les dispositifs européens ouverts à ce sujet sont nombreux et complexes. Il s'est aussi interrogé pour savoir si les gestionnaires travaillaient ce sujet individuellement ou si les acteurs des trois grands axes ou façades liées aux portes d'accès internationales du Havre et de Rouen, de Marseille-Fos et de Dunkerque avaient eu l'occasion d'aborder ensemble ce sujet.

Enfin le groupe de travail a cherché, chaque fois que cela était possible, d'illustrer ses propos à l'aide d'exemples soit en France (métropole et Outre-mer), soit en Europe, soit au niveau international, puisqu'entre autres la Conférence des Nations-Unies pour le commerce et pour le développement (CNUCED), ou l'Association mondiale des infrastructures de navigation maritime et fluviale (AIPCN) se sont penchées récemment sur ce sujet.

La contribution comporte une synthèse générale et un ensemble de recommandations suivi de cinq parties successives qui traitent des principaux apports scientifiques du GIEC identifiés par le collège MFL (partie I), des niveaux marins en France (houles, marées et surcotes) grâce à une contribution originale du CEREMA et du SHOM (partie II), d'autres aspects de l'adaptation comme les routes maritimes arctiques, le lien entre atténuation et adaptation, le parangonnage international (partie III), un état des lieux des gestionnaires portuaires et fluviaux (partie IV) et le financement de l'adaptation (partie V).

³ Des développements plus complets de la notion de résilience dans le contexte des submersions côtières et des territoires littoraux sont donnés en annexe 2

Synthèse générale

Les gestionnaires d'infrastructures portuaires maritimes sont habitués de longue date à dimensionner leurs ouvrages pour résister aux événements climatiques extrêmes et à considérer pour ce faire la combinaison marée, surcote de tempête et houle selon les différentes configurations géographiques et littorales où sont implantés les ouvrages. Ils le font d'ailleurs souvent en étroite liaison avec les principales collectivités territoriales, gestionnaires des ouvrages littoraux parfois conçus dans le prolongement des ouvrages portuaires extérieurs.

Au-delà du dimensionnement des ouvrages, ils ont en charge la réalisation de réseaux d'infrastructures de desserte locale (voies routières, ferroviaires et fluviales) ou des réseaux d'utilités (eau, électricité, réseaux de chaleur, etc...) et l'aménagement d'espaces fonciers dont ils ont la charge, ce qui inclut des espaces naturels sensibles.

De même les outillages des terminaux sont dimensionnés pour être exploités jusqu'à certaines limites de vitesse de vent au-delà desquelles ils restent bloqués et à l'arrêt, que la responsabilité en incombe aux ports ou aux opérateurs de terminaux selon les différents types de ports (GPM de métropole, GPM Outre-mer, ports de commerce décentralisés).

Le changement climatique induit principalement des évolutions de rythme de remontée marin, de modification des houles, de diminution des périodes de retour des niveaux marins extrêmes, de variation des conditions de vent et de modification des précipitations extrêmes. À leur tour ces inducteurs climatiques (*drivers*) peuvent submerger des terminaux, perturber le fonctionnement des infrastructures de desserte ou inonder les terminaux. Bien entendu aussi, l'élévation des températures les conduira à vérifier l'adaptation des espaces naturels sensibles qu'ils contribuent à gérer.

Une approche systémique est donc requise pour aborder l'adaptation au changement climatique des infrastructures des ports maritimes pour la navigation dans ses diverses composantes.

Pour les gestionnaires d'infrastructures fluviales de navigation, les principaux sujets de préoccupation liés au changement climatique sont de nature hydrologique : il leur faut donc s'adapter à l'allongement des périodes d'étiage sur nombre de cours d'eau, à la désaisonnalisation des régimes hydrologiques, à l'apparition de crues rapides liées à de fortes précipitations localisées, à la prolifération de certaines espèces invasives liées au réchauffement des températures des cours d'eau et aux conséquences des modifications des niveaux des nappes sur la pérennité des digues. Pour le moment les restrictions de navigation sont assez limitées mais à l'avenir les conflits d'usage de l'eau seront plus prégnants.

Là aussi une approche systémique est nécessaire aux gestionnaires pour aborder la question de l'adaptation.

1. Synthèse des principaux apports scientifiques

Les principaux apports scientifiques pris en compte par le groupe de travail sont détaillés dans la partie I du rapport : ce sont essentiellement ceux du GIEC pour les aspects maritimes et ceux d'Explore 70 pour les aspects fluviaux.

1.1 Questions scientifiques pour les aspects maritimes

Les gestionnaires d'infrastructures portuaires maritimes concentrent aujourd'hui leur attention sur deux sujets principaux, celui du rythme de remontée du niveau marin global (MGS *mean global sea level*)⁴ et celui des niveaux marins extrêmes (ESL *extreme sea level*).

1.1.1 Remontée des niveaux marins

Le groupe de travail estime utile d'insister sur les derniers travaux du GIEC concluant au fait que la contribution à l'élévation des niveaux marins provenant des glaciers est devenue plus importante que celle de l'expansion thermique due au réchauffement des océans.

Il en résulte que l'incertitude qui accompagne les contributions provenant de la fonte des glaciers et notamment des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique impacte directement l'incertitude sur le niveau d'élévation du niveau marin global. Même si les incertitudes sont de nature scientifique liée à la modélisation des instabilités des calottes glaciaires, notamment au niveau de l'Antarctique Ouest et ne peuvent de ce fait donner lieu à un aléa quantifié, il s'agit de scénarios plausibles que le GIEC commence à demander de considérer.

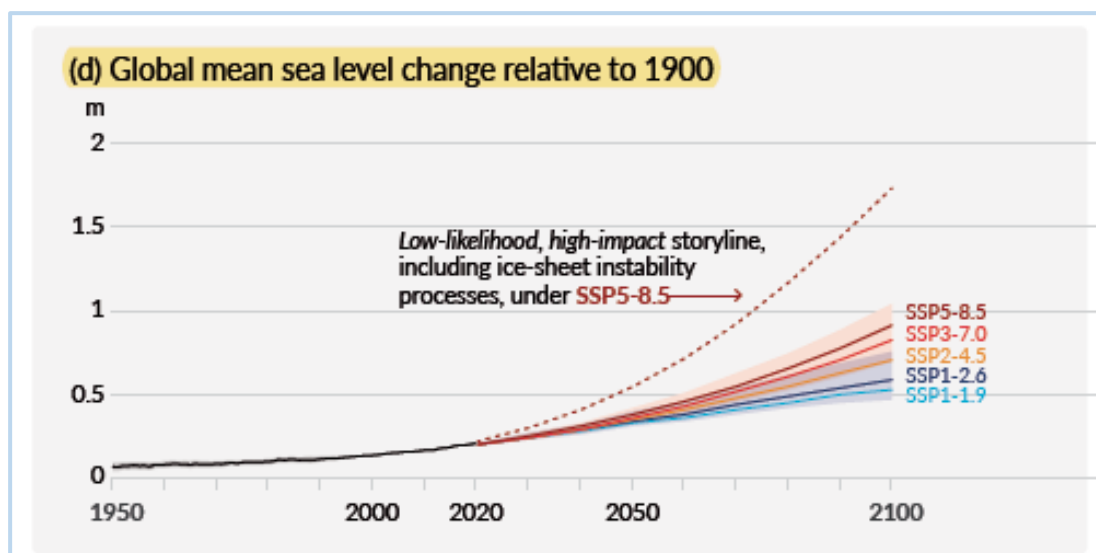


Tableau 1 : projections du niveau marin global de 1950 à 2100
extrait du rapport du GT1 du GIEC sur la base scientifique page 22

Le tableau 1 montre bien à la fois que le processus d'élévation du niveau marin moyen a tendance à s'accélérer pour atteindre une fourchette comprise entre 0,50 et 1,00 m à l'horizon 2100 mais qu'on pourrait dans un scénario plausible dépasser 1,50 m à ce même horizon (ligne en pointillés).

⁴ Ce rythme est évidemment très variable au niveau géographique d'où la notion de niveau marin moyen.

En complément des scénarios étudiés par le GIEC (SPP1.9 à SPP8.5), des hypothèses de surélévation supérieure doivent donc être envisagées pour tenir compte des fortes incertitudes sur les mécanismes régissant la formation, la fonte et l'équilibre des calottes glaciaires.

C'est d'ailleurs ce qui a conduit l'administration côtière flamande à confier en 2022 une étude à des consultants avec une possibilité d'élévation du niveau marin de 3 mètres⁵ dans la mesure où les dispositions du plan de résilience actuel ne permettent de protéger les populations et les activités que jusqu'à l'horizon 2050. Ce sujet rejoint assez largement les préoccupations de plusieurs membres du groupe de travail qui considèrent que ce type de scénario n'est pas à écarter ainsi que les recommandations du dernier travail de la *task force* permanente de l'AIPCN⁶, qui recommande aussi de considérer ce type d'éventualité comme limite supérieure permettant d'évaluer la robustesse des investissements planifiés.

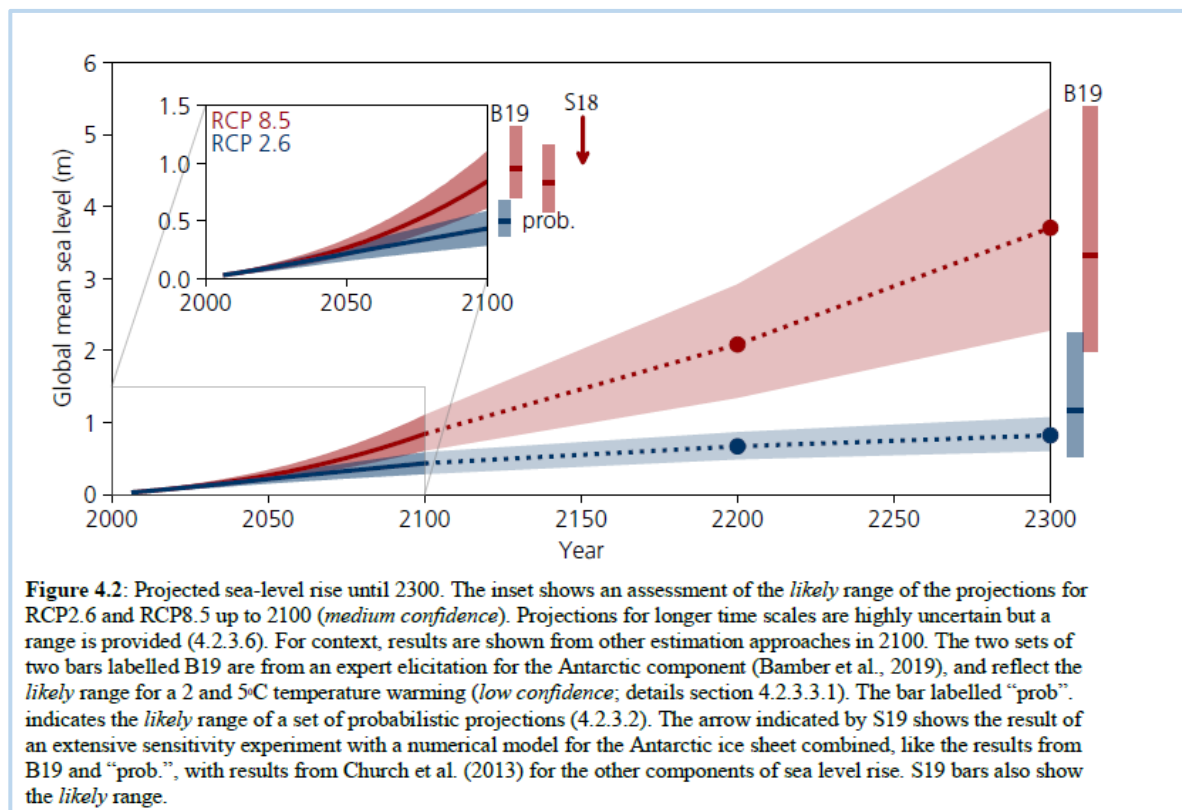


Figure 1 : projections du niveau marin global de 2000 à 2300 – source rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère p 327

Comme par ailleurs le GIEC a prolongé les projections à l'horizon 2300 pour bien montrer que même si les émissions de GES venaient à être contenues, le processus d'élévation du niveau marin global se poursuivrait inexorablement pendant plusieurs siècles, une réflexion sur l'urbanisation des zones littorales et portuaires doit donc s'amorcer.

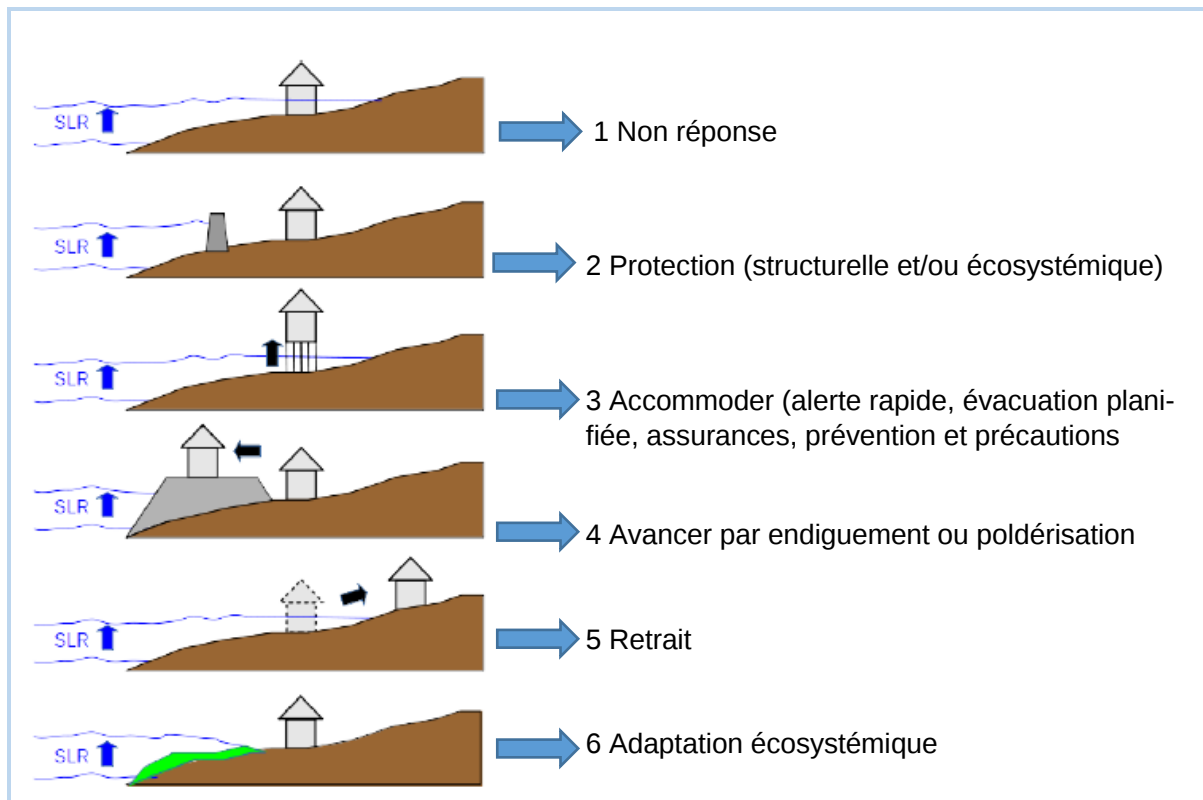
Ainsi dans le scénario 8.5 on pourrait atteindre entre deux et six mètres : d'ores et déjà les États-Unis avaient examiné les zones géographiques susceptibles d'être concernées par des élévations

⁵ Site <https://www.arcadis.com/en/projects/europe/belgium/kustvisie> : “That is why government authorities are now working toward a longer-term vision for 2100: the “Complex Coastal Vision Project.” This plan takes into account a sea-level rise of **up to 300 cm**, whereas the master plan takes into account a rise of only 80 cm.”

⁶ PIANC- PTGCC-Technical note 1-2022 : “there is a growing body of evidence regarding the stability of the West Antarctic ice sheets in particular, and the possibility of a global sea level rise of up to 3 m by 2100 [IMechE, 2019].” And “Unlikely-but-plausible scenarios are not recommended as being the most appropriate scenario on which to base engineering designs; rather they are useful in providing an upper bound for evaluating the robustness of planned investments”

à très long terme de cette ampleur, tandis que les Pays-Bas ont expertisé grâce à leur programme Delta⁷ des niveaux d'élévation compris entre un et cinq mètres pour mieux appréhender s'il existe des seuils d'irréversibilité par rapport aux structures côtières et pour appréhender l'adaptation⁸ de l'ensemble des activités concernées.

Enfin le groupe a rappelé le schéma illustratif des stratégies possibles d'adaptation, au relèvement de niveau marin :



1.1.2 Niveaux marins extrêmes

Le travail du CCR (Centre Commun de Recherche – en anglais JRC pour *Joint Research Centre*) européen est très éclairant à ce sujet ⁹. Il donne par exemple les élévations de niveau centennal aux horizons 2050 et 2100 dans les scénarios climatiques RCP 4.5 et 8.5 : une vingtaine de centimètres en 2050 et une cinquantaine en 2100 avec 4.5 ; environ 25 centimètres en 2050 et environ 80 cm en 2100 avec 8.5. La France métropolitaine est concernée sur les zones Ouest-Méditerranée, golfe de Gascogne, et la partie méridionale de la zone Atlantique Nord.

1.1.3 Autres aspects examinés

Le groupe de travail a rappelé que le GIEC considère pour le moment qu'un ralentissement sensible de la circulation océanique de l'Atlantique Sud (AMOC *Atlantic Meridional Ocean Circulation*)

⁷ Il est bon d'observer qu'une actualisation des données scientifiques de ce programme est opérée avec une périodicité de six ans

⁸ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/documenten/publicaties/2021/06/22/verslag-dag-van-de-zeespiegelstijging-2021>

⁹ **Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts by** Michalis I. Vousdoukas (1), (2), Lorenzo Mentaschi (1), Evangelos Voukouvalas(1) ,Martin Verlaan(3), and Luc Feyen

aurait des conséquences sur les hivers en Europe et qu'une augmentation des vagues de chaleur marine plus ou moins forte selon les scénarios climatiques est à prévoir du fait du réchauffement des eaux marines comme l'illustre le tableau suivant (figure 2).

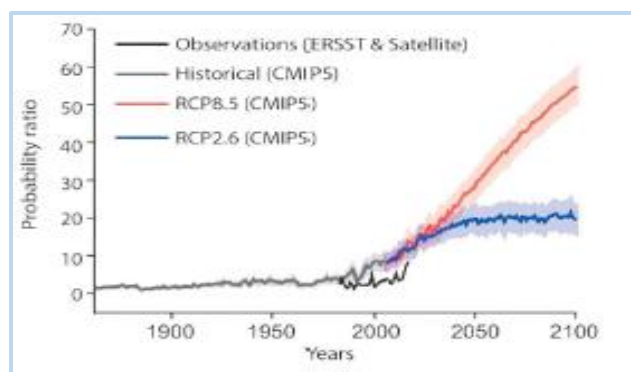


Figure 2 : évolution des vagues de chaleur marine- source rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère 2019 page 609

1.2 Questions scientifiques pour les infrastructures fluviales

Les questions scientifiques propres au secteur fluvial ne sont pas abordées en tant que telles dans les travaux du GIEC : le sous-groupe fluvial a pris connaissance des travaux préliminaires réalisés par l'AIPCN en 2007¹⁰ qui portaient alors sur l'identification des inducteurs climatiques et sur les conditions d'atténuation et qui abordaient à la fois la navigation, les ports et les voies navigables. À titre illustratif du lien existant entre inducteurs climatiques et impacts sur la navigation fluviale on peut se référer à la figure 3 suivante produite par l'institut fédéral allemand d'hydrologie :

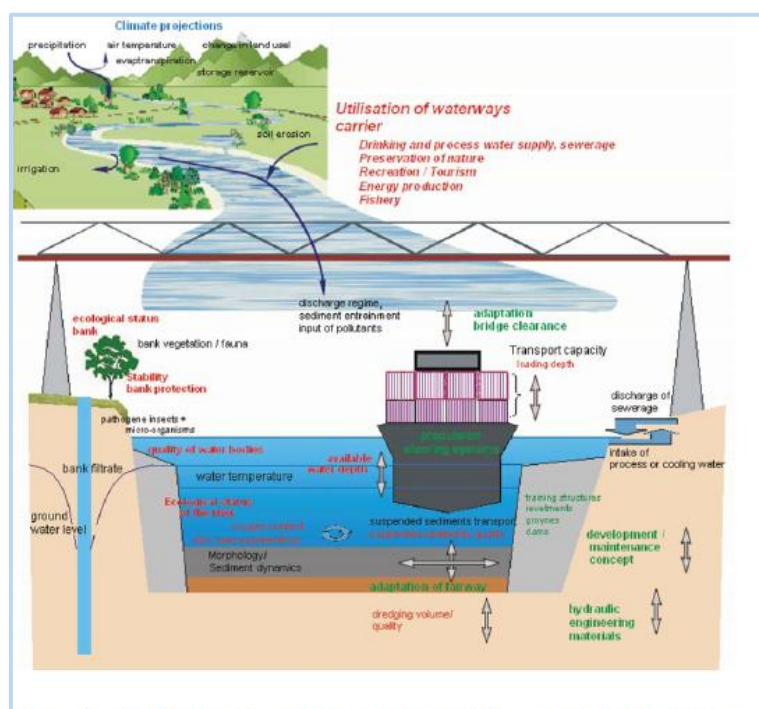


Figure 3 : liens entre inducteurs d'évolution climatique et impacts potentiels sur la navigation intérieure(AIPCN Envicom TG3 (avec l'aimable autorisation de l'institut fédéral d'hydrologie allemand))

¹⁰ EnviCom Task group 3 "Waterborne transport, ports and waterways: A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation

Plus précisément, en France VNF a synthétisé les travaux d'Explore 2070 : prospective plus générale de l'évolution possible des ressources en eau et de leur répartition, selon plusieurs scénarios, menée au niveau national dans les années 2012-2013 et en cours d'actualisation avec le projet Explore 2, qui devrait être achevé en 2023-2024 en centrant son analyse autour de trois thématiques : hydrologie de surface, hydraulique souterraine et écosystèmes aquatiques.

Hydrologie de surface

Les résultats des modèles montrent une baisse globale significative des débits moyens annuels sur toute la métropole à l'exception des affluents rive droite du bas Rhône (projections en désaccord). Pour une majorité de points, le **débit moyen annuel** pourrait baisser de l'ordre de **10 à 40 %**. Les débits **d'étiage** pourraient baisser davantage puisque la baisse du débit mensuel minimal annuel de période de retour 5 ans (QMNA5) serait comprise entre **5 et 65 %**. Pour les débits de crue il n'existe pas de tendance très nette mais on peut s'interroger sur les précipitations extrêmes au vu des épisodes plus récents connus au niveau de la Belgique ou de l'Allemagne.

Hydraulique souterraine

Explore 2070 fait ressortir une **baisse quasi générale de la piézométrie associée à une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25 %**. Deux zones sont particulièrement touchées : le bassin versant de la Loire (baisse de la recharge comprise entre 25 et 30 % sur la moitié de sa superficie) et surtout le Sud-Ouest (avec des baisses comprises entre 30 et 50 %). Cette diminution entraînerait une baisse du même ordre de grandeur des débits d'étiage des cours d'eau et **une augmentation de la durée des assecs**.

Ecosystèmes aquatiques

VNF retient trois résultats d'Explore 2070 sur ce sujet :

- la **vulnérabilité particulière des zones humides** au changement climatique selon leur localisation géographique et leur fonctionnement hydrologique ;
- la réduction des espèces du domaine amont des cours d'eau (truite, saumon, etc...) au profit des espèces des domaines aval et intermédiaire, liée à l'augmentation des températures de l'eau ainsi qu'aux interactions entre pressions anthropiques et changement climatique ;
- des communautés piscicoles plus diversifiées mais moins typiques (prélude à une possible banalisation de la diversité des milieux).

2. Synthèse de la contribution du Cerema et du Shom sur les niveaux marins extrêmes en France

Dans leur contribution qui porte davantage sur le rythme de remontée des niveaux marins et sur l'évolution des niveaux marins extrêmes en France, le Cerema et le Shom soulignent à quel point la démarche de l'adaptation doit se frayer un chemin entre deux attitudes, l'attitude incrémentale et l'anticipation excessive. Ils rappellent également que la problématique de l'adaptation se situe à deux niveaux, celui de l'infrastructure et celui du territoire littoral. Cette dernière distinction les conduit à considérer que pour la question des niveaux marins les infrastructures relèvent davantage de la résilience technique, c'est-à-dire d'une conception qui leur permet de résister à une certaine occurrence de niveau extrême, tandis que les territoires littoraux représentent des systèmes sociaux et environnementaux intégrant activité humaine et écosystèmes, leur résilience résidant davantage dans leur capacité d'adaptation à un événement ou à une tendance dommageable.

2.1 Remontée séculaire des niveaux marins en France

Le SHOM tient à préciser que si le niveau marin moyen global a tendance à évoluer au rythme de 3,53 mm par an depuis 1993 qui marque le début des observations satellitaires, il est important de déterminer le niveau relatif de la mer. Comme la France métropolitaine connaît un affaissement modéré inférieur au millimètre par an il s'ajoute à la variation du niveau marin moyen global. Par ailleurs les projections d'augmentation du niveau marin régional aux horizons 2050 et 2100 par rapport à la période 1995-2014 dans les deux scénarios climatiques RCP 2.6 et RCP 8.5 sont résumées dans le tableau 2 suivant :

	2050 (RCP 2.6)	2050 (RCP 8.5)	2100 (RCP 2.6)	2100 (RCP 8.5)
Calais	0.22	0.25	0.45	0.78
Le Havre	0.21	0.25	0.45	0.77
Saint-Malo	0.19	0.23	0.41	0.72
Brest	0.20	0.23	0.42	0.73
La Rochelle	0.19	0.23	0.41	0.72
Saint-Jean-de-Luz	0.19	0.23	0.42	0.73
Port Vendres	0.20	0.24	0.43	0.74
Sète	0.20	0.24	0.45	0.75
Marseille	0.19	0.23	0.41	0.72
Saint-Pierre-et-Miquelon (Référence : Port aux Basques, Canada)	0.34	0.38	0.65	1.01
Pointe-à-Pitre (Guadeloupe)	0.15	0.18	0.35	0.66
Guyane (Référence : Belém, Brésil)	0.20	0.24	0.44	0.77
Pointe des Galets (La Réunion)	0.18	0.23	0.45	0.76
Papeete (Polynésie française)	0.19	0.23	0.45	0.78

Tableau 2 : projections d'augmentation du niveau marin régional en différents points du littoral français par rapport à la période 1995-2014 (source : site de la NASA)

Si les élévations de niveau à l'horizon 2050 restent modérées, elles sont de l'ordre de 75 cm à l'horizon 2100 à deux exceptions près, celle de Saint-Pierre-et Miquelon où elle atteint le mètre et à l'inverse les Antilles où elle se situe autour de 66 cm.

2.2 Évolution des niveaux marins extrêmes en France

En rappelant en préambule que l'étude réalisée pour la DGEC en 2015 « Le climat de la France en 2015 au XXIème siècle » concluait qu'une étude de l'évolution du niveau de la mer au niveau des côtes françaises (métropole et outre-mer) prenant en compte l'ensemble des processus reste

à réaliser, le Shom et le Cerema ont proposé une méthodologie pour y parvenir et schématisé les différentes contributions au niveau marin total.

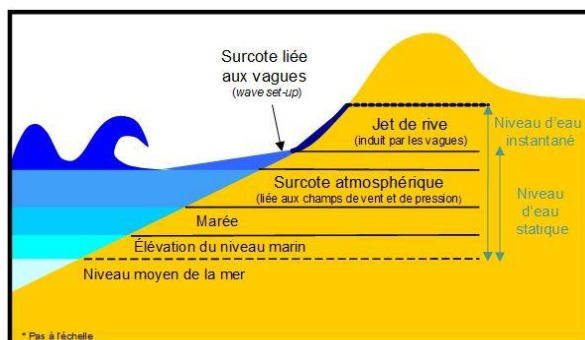


Figure 4 : schéma des différentes contributions au niveau marin total. Crédit : Marissa Yates.

Parmi ces diverses contributions celle de la surcote atmosphérique liée aux ondes de tempête et aux vagues a été étudiée par le Cerema à partir des données marégraphiques :

Marégraphe	Surcote de période de retour 100 ans (m)
Dunkerque	1,4
Calais	1,1
Boulogne-sur-Mer	1,2
Dieppe	1,4
Le Havre	1,4
Cherbourg	0,9
Saint-Malo	1,1
Roscoff	0,8
Le Conquet	1,0
Brest	1,0
Concarneau	1,0
Port Tudy	1,0
Crouesty	1,1
Saint-Nazaire	1,3
Saint-Gildas	1,1
Sables d'Olonne	1,0
La Rochelle	1,2
Port-Bloc	1,2
Arcachon	1,3
Bayonne	0,9
Saint-Jean-de-Luz	0,6
Port-Vendres	0,9
Sète	1,1
Marseille	1,3
Toulon	0,8
Nice	0,8
Monaco	0,8
Ajaccio	0,8

Tableau 3 : estimations en m des surcotes de période de retour 100 ans. Deux estimations ont été établies, respectivement par ajustement statistique d'une distribution de Pareto (GPD) et d'une loi exponentielle sur les pics de tempête (Cerema, 2018). Le présent tableau affiche la moyenne de ces deux estimations.

Puis, de ces diverses contributions et de leur répartition sur chaque zone géographique, le Cerema et le Shom sont parvenus à rassembler dans un tableau récapitulatif les principales sources d'évolution des risques de niveau marin extrême (NME) en considérant l'hypothèse du scénario RCP 8.5.

NMR niveau marin relatif (en anglais RSL *relative sea level*)

NME niveau marin extrême (en anglais ESL *extreme sea level*)

	Marnage	Evénement météo-marin de référence	Surcote centennale (m)	ΔNMR (m) pour RCP 8.5	ΔNME (m) pour RCP 8.5	%ΔNME pour RCP 8.5	Période de retour du NME centennal actuel pour RCP 8.5
Manche – Mer du Nord	Macrotidal (7 à 14 m)	Tempête	0,8 à 1,4	En 2050 : 0,19 à 0,22 En 2100 : 0,72 à 0,78	En 2050 : 0,29 En 2100 : 0,88	En 2050 : 5,2 En 2100 : 15,7	En 2050 : 22,7 En 2100 : 1,8
Golfe de Gascogne	Macrotidal (5 à 7 m)	Tempête	0,6 à 1,3	En 2050 : 0,19 à 0,20 En 2100 : 0,72 à 0,73	En 2050 : 0,22 En 2100 : 0,8	En 2050 : 4,9 En 2100 : 17,4	En 2050 : 17 En 2100 : 0,4
Méditerranée	Microtidal	Tempête	0,8 à 1,3	En 2050 : 0,23 à 0,24 En 2100 : 0,72 à 0,75	En 2050 : 0,24 En 2100 : 0,75	En 2050 : 19,7 En 2100 : 60,7	En 2050 : 9,8 En 2100 : 0,2
Saint-Pierre-et-Miquelon	Microtidal	Tempête	1 à 2	En 2050 : 0,38 En 2100 : 1,01	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Antilles	Microtidal	Tempête et ouragan	1 à 3	En 2050 : 0,18 En 2100 : 0,66	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Guyane	Mésotidal	Alizés (sans tempête)	Faible (Non quantifiée)	En 2050 : 0,24 En 2100 : 0,77	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
La Réunion et Mayotte	Microtidal	Tempête et ouragan	1 à 3	En 2050 : 0,23 En 2100 : 0,76	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Polynésie Française	Microtidal	Tempête et cyclone	1 à 3	En 2050 : 0,23 En 2100 : 0,78	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié

Tableau 4 : Récapitulatif des principaux facteurs d'évolution des risques côtiers. Les données se rapportent à un NME d'occurrence centennale. La période de référence pour la projection du NMR est 1995-2014. La période de référence pour la projection du NME est 1980-2014.

Considérations sur la variabilité des situations géographiques

Bien que des différences puissent exister, selon les territoires, quant à l'élévation du niveau relatif de la mer, le facteur prépondérant dans l'évolution des aléas côtiers est la variabilité des niveaux marins générée par les marées astronomiques et les surcotes de tempête. Si une grande variabilité est déjà observable actuellement, elle constitue une forme d'entraînement aux conditions futures.

La situation est ainsi très différente selon que l'on considère :

- un littoral dont le cumul du marnage et des surcotes maximales est de l'ordre de 1 m. Dans ce cas une surélévation du niveau moyen de 1 m se traduit par un dépassement très fréquent des niveaux marins extrêmes actuels ;
- un littoral avec un très fort marnage (régulièrement supérieur à 10 m) et de fortes surcotes de tempête (fréquemment supérieure à 2 m). Sur un tel littoral, les niveaux exceptionnels ne sont atteints que si la surcote de tempête se produit à un moment correspondant à une marée haute de vive-eau. Une surélévation du niveau moyen de 1 m engendrera certes une augmentation des niveaux extrêmes, mais les situations de niveaux marins extrêmes (en référence à la situation présente) demeureront peu fréquentes.

La conclusion des travaux du Cerema et du Shom pour la métropole à l'horizon 2050 est la suivante :

L'augmentation du niveau marin extrême (NME) centennal sera de l'ordre de 5 % en Manche-Mer du Nord et dans le golfe de Gascogne. En Méditerranée, l'augmentation de l'intensité de ce NME sera de l'ordre de 20 %. Mais l'évolution de la situation sera surtout perceptible dans l'augmentation de la fréquence des NME, puisque cette fréquence sera multipliée par 4 en Manche-Mer du Nord, par 5 dans le golfe de Gascogne et par 10 en Méditerranée.

Leur conclusion sur **les littoraux d'outre-mer** est plus qualitative :

- sur les littoraux **des Antilles, de La Réunion, de Mayotte et de la Polynésie Française**, les marnages sont inférieurs à 2 m. Par contre le passage des cyclones génère des surcotes plus importantes (jusqu'à 3 m), ce qui confère aux niveaux marins une plus forte variabilité qu'en Méditerranée. Cette évolution de l'aléa, en intensité et en fréquence, doit cependant être considérée comme plus préoccupante sur ces territoires, du fait des dommages supérieurs que peuvent causer les ouragans par rapport aux tempêtes qui atteignent la métropole ;
- sur le littoral de **Saint-Pierre-et-Miquelon**, les marnages sont inférieurs à 2 m. Si les vents violents qui soufflent régulièrement sur ces îles peuvent produire des surcotes assez importantes, la variabilité des niveaux marins demeure faible.
- sur le littoral de **la Guyane**, le marnage maximal est 2,9 m, et la surcote maximale relevée dans la bibliographie n'est que de 0,4 m. La situation est moins préoccupante que sur les autres territoires ultramarins.

3. Autres aspects de l'adaptation

Parmi les nombreux sujets à aborder quand on traite d'adaptation au changement climatique, le groupe de travail a retenu pour les aspects maritimes la question de l'ouverture à la navigation des routes arctiques et celle du lien étroit qu'entretiennent les questions d'atténuation et d'adaptation et, pour les questions fluviales les aspects de résilience et de conflit des usages de l'eau.

3.1 Ouverture à la navigation des routes Arctiques

La fonte accélérée de la banquise suscite, depuis la fin des années quatre-vingts, un vif intérêt pour l'ouverture de l'océan Arctique au transport maritime et l'établissement de liaisons ainsi raccourcies entre l'Asie, l'Europe et le continent américain. L'enjeu de telles routes, de fait, dépend moins du réchauffement climatique que de la tempérance dans les rapports entre États: la liberté de la navigation ne dépend pas que du recul de la banquise. Il reste qu'un jeu de bascule des chaînes logistiques mondiales depuis les mers chaudes vers les mers froides ferait perdre aux ports français, très favorablement positionnés à l'ouverture sud de l'Europe et du « Range nord », leur avantage comparatif dans l'organisation des lignes du commerce maritime mondial.

Les modèles de prévision climatique ne prévoient en aucun cas la libération des glaces de l'océan Arctique pendant l'ensemble de l'année. Les routes du Nord ne demeureront par conséquent navigables que pendant l'été. Sur un été boréal de trois à quatre mois la route n'est actuellement complètement libre que pour quelques semaines à la fin de l'été, la mer de Sibérie orientale étant la dernière à se dégager et la banquise se reformant mi-octobre. Du fait de la dérive des glaces l'été et de leur accumulation en épaisseur du fait du vent, notamment dans les détroits et à proximité des îles et de la côte, la progression des navires dans les endroits névralgiques de la route peut s'avérer difficile même avec l'appui de brise-glaces.

Les perspectives d'accroissement spectaculaire des trafics entre l'Europe et l'Extrême-Orient par les routes arctiques se heurtent à la réalité des difficultés de la navigation dans les zones polaires qui ne deviendront pas des mers tempérées même dans les scénarios les plus alarmés du réchauffement climatique. De fait les armateurs et leurs assureurs montrent un faible intérêt pour ces routes, aujourd'hui et dans le futur imaginable. Les promesses, qui sont portées au crédit de la route maritime du Nord le long des côtes de la Russie, servent principalement les intérêts de puissance de son gouvernement.

3.2 Lien entre atténuation et adaptation pour les ports maritimes

La stratégie nationale portuaire française insiste particulièrement sur la décarbonation des ports et de leurs activités industrielles puisque les émissions de GES dans l'ensemble du système portuaire dépassent la moitié des émissions industrielles en France. Il en résulte que la question de l'atténuation du changement climatique dans les ports occupe une place de choix alors que la question de l'adaptation passe pour l'instant au second plan comme on le verra plus amplement dans le chapitre 5. La partie III détaille l'ensemble des mesures mises en œuvre dans les ports pour améliorer les réductions de GES, notamment celles du transport maritime à quai ou aux approches portuaires. De fait la conception des nouvelles infrastructures anticipe ces évolutions avec l'alimentation électrique à quai par exemple.

3.3 Résilience des infrastructures fluviales et aggravation des conflits d'usage de l'eau

Tirant parti des travaux scientifiques d'Explore 2070 tels qu'ils ont été développés dans la partie 1.2, et en attendant les actualisations qui résulteront de l'étude Explore 2, le groupe de travail considère que l'attention des gestionnaires d'infrastructures de navigation fluviale doit se concentrer sur les aspects suivants :

- l'exploitation des voies navigables se fera avec une augmentation des périodes de restriction ou d'arrêt de la navigation, si la ressource en eau devient inférieure au besoin, dans un contexte de partage de la ressource ;
- pour les canaux qui nécessitent des prélèvements en rivière respectant les débits réservés, les prélèvements autorisés diminueront aussi. Certains secteurs du réseau fluvial étant déjà en difficulté en été, il est probable que la ressource ne sera plus suffisante partout pour remplir les barrages réservoirs en hiver et au printemps, et maintenir les niveaux d'eau nécessaires pour la navigation dans les canaux ;
- en rivière, les niveaux d'eau sont tenus par les barrages de navigation ce qui en diminue la sensibilité au débit par rapport aux canaux. Toutefois, des débits très faibles conduiraient aussi à des difficultés pour maintenir les niveaux d'eau en raison des débits minimums à maintenir, des consommations diverses (éclusées, fuites aux barrages, autres prélèvements, évapotranspiration), et de la difficulté de la régulation fine avec des faibles débits ;
- une fragilisation des digues par les plus longues périodes de sécheresse entraînant un vieillissement des matériaux argileux ou limoneux, soumis à des cycles hydriques, pourrait conduire à des phénomènes divers de retrait, fissuration, gonflement et diminution de perméabilité à long terme, même si ces phénomènes sont encore peu étudiés ;
- la baisse des débits et la hausse des températures auront un impact sur la pollution (eau plus chaude et moindre dilution) et peuvent favoriser la diffusion des espèces invasives ;
- en crue l'aggravation d'événements provoqués par des précipitations intenses localisées pourra affecter de nombreux bassins versants : cela a déjà été le cas de l'Aude et du canal du Midi avec une destruction partielle de digues ;
- le transit supplémentaire de débits par les canaux, avec ou sans brèche (exemple du Loing en 2016) pourra dépasser la capacité du canal avec des risques de débordement ;
- l'abaissement du niveau de protection des barrages réservoirs en raison de la modification des références de crues, peut entraîner aussi une réduction du niveau d'eau maximal autorisé pour des raisons réglementaires et obérer en conséquence les réserves d'eau mobilisables en période d'étiage ;
- le cas des espèces invasives et de leur prolifération préoccupe beaucoup VNF et un développement important sur l'espèce *Myriophylle hétérophylle* est détaillé dans la partie III.

Enfin si l'on aborde l'évolution possible des conflits d'usage de l'eau, il convient de rappeler que les usages concurrents sont principalement : l'irrigation agricole, l'alimentation en eau potable, la production hydro-électrique, les besoins d'eau industrielle avec le cas particulier du refroidissement des centrales nucléaires, et les prélèvements destinés aux autres usages, dont celui de la navigation fluviale.

À la suite des Assises de l'Eau conclues en 2019, le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique lancé le 28 mai 2021 a appelé toutes les parties-prenantes (représentants agricoles, associations, élus, territoires...) à prendre part aux groupes de travail dont les objectifs portent :

- a) sur une meilleure anticipation des impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à l'échéance 2070,
- b) sur l'adaptation des pratiques pour économiser la ressource,
- c) sur le partage d'une vision raisonnée des besoins et de l'accès aux ressources mobilisables pour les différentes activités.



Figure 5 Rivière à sec - Thierry Degenne - Terra 2005

4. Parangonnage

Le groupe de travail a utilisé le parangonnage naturel que représentent les travaux propres à l'AIPCN (association mondiale des infrastructures de navigation maritime et fluviale), notamment grâce aux travaux propres à sa *task force* permanente sur le changement climatique (PTGCC) et celui recueilli par l'IAFG (initiative pour l'avenir des grands fleuves¹¹). Les contraintes propres à ses membres n'ont pas permis d'accéder aux travaux menés notamment en matière fluviale par les commissions internationales fluviales comme la CCNR (commission centrale pour la navigation sur le Rhin), la commission de la Moselle ou de la Meuse : leurs travaux notamment sur les étiages complèteraient utilement ce premier parangonnage. Le parangonnage mené par le groupe de travail a porté en fait sur trois sujets : la méthodologie adoptée par des ports comme ceux de Long Beach ou de Rotterdam ; les aspects propres aux basses eaux des grands fleuves ; l'adaptation des grandes structures côtières anti-tempêtes.

4.1 Méthodologie d'adaptation au changement climatique : base navale de Norfolk, cas des ports de Long Beach et de Rotterdam

Aux États-Unis, l'*US Army Corps of Engineers* (USACE) a en charge les principales voies navigables, l'accès aux ports et les défenses côtières et la section américaine de l'AIPCN est dirigée par une personnalité politique qui supervise l'USACE.

En 2016, lors de la conférence Pianc-Copedec consacrée aux pays en développement qui s'est déroulée à Rio de Janeiro au Brésil, des considérations sur l'adaptation de la base de Norfolk ont été présentées¹² qui combinent des niveaux de remontée marine de 0,50 à 2 mètres et des surcotes de tempête centennale. Cette analyse destinée à appréhender comment l'exploitation de la base navale pourrait être affectée montre une aggravation sensible quand la remontée de niveau marin passe de 0,50 à 1 mètre : en effet l'indice d'affectation de l'exploitation sur deux des trois môles de la base passe de 20 % à 80 %, ce qui amène à s'interroger sur la non-linéarité des processus et sur les seuils de niveaux marins à partir desquels l'exploitation des zones portuaires peut être fortement perturbée.

Lors de la COP 21, l'AIPCN s'est engagée dans une coalition d'acteurs internationaux autour des questions climatiques appelée « *Navigating a changing climate* » et s'est engagée à produire plusieurs rapports dont le rapport 178¹³ de la commission environnementale, où est relatée à titre d'exemple la méthodologie développée par le port de Long Beach en 2016 pour s'adapter au changement climatique. Sans entrer dans les détails de cette méthodologie qui sont développés dans la partie IV, on peut en retenir que :

- les hypothèses à prendre en compte (niveau ou fourchette de niveau de remontée marin aux horizons 2050 et 2100 et surcote centennale) sont données au port par l'État de Californie¹⁴ ;
- une étude de vulnérabilité explore six scénarios et aboutit à quelques mesures de court terme comme le renforcement d'un mur de quai ;

¹¹ Association internationale initiée par la CNR et présidée par Erik Orsenna

¹² Présentation de Todd Bridges, président de la commission environnementale de l'AIPCN et membre de l'*US Army Corps of Engineers* en 2016

¹³ Rapport EnviCom 178-2020 *Climate change adaptation planning for ports and inland waterways*

¹⁴ En lien avec les outils et indications fournies par la FEMA-Federal Emergency Management Agency

- l'actualisation du plan d'actions d'adaptation se fait tous les cinq ans.

Pour le port de Rotterdam dont les principaux éléments¹⁵ ont été présentés lors d'un workshop qui se situait en marge de la COP 26 à Glasgow, on retiendra les éléments suivants :

- là aussi les hypothèses de remontée du niveau marin à prendre en compte sont fixées par la commission Delta ¹⁶ ;
- en revanche l'analyse des vulnérabilités au risque de submersion est menée pour le moment à l'horizon 2050 avec des surcotes de tempête millénaire avec une démarche associant les parties prenantes et les collectivités concernées pour partager le constat et en déduire ensuite les mesures de court terme à adopter : en l'occurrence deux zones portuaires situées à l'extérieur du système complet de digues et de barrages anti-tempêtes protégeant la ville et une partie du port donnent lieu soit à un remblaiement localisé soit à un renforcement de leur quai adjacent ;
- l'actualisation du plan est prévue tous les six ans ce qui correspond à l'actualisation périodique des données scientifiques demandées à l'institut météorologique.

De surcroît on peut mentionner que certains ports comme les ports australiens ont mené une analyse des conséquences d'événements climatiques sur leurs voies d'accès comme des glissements de terrain consécutifs à des épisodes pluvieux extrêmes. De même la CNUCED a mené un travail très complet sur le sujet que le groupe de travail n'a pas été en mesure d'exploiter mais qui pourrait intéresser particulièrement les Outre-mer car il s'est intéressé notamment à la zone Caraïbe dont la Jamaïque.

4.2 Aspects propres aux basses eaux des grands fleuves

L'épisode des basses eaux du Rhin de 2018, qui a duré 107 jours donc plus de trois mois et demi a engendré des conséquences logistiques considérables du fait de l'impossibilité de naviguer sur cette voie européenne de premier plan. Cet épisode n'est pas exceptionnel au plan historique puisque des basses eaux de durée plus longue ont été rappelées par la CCNR : 113 jours en 1920, 146 jours en 1971, 147 jours en 1962, 156 jours en 1921 et 173 jours en 1949. En revanche ce qui est plus inquiétant est la baisse relative des niveaux d'eau au second semestre de l'année par rapport aux moyennes des cinq années précédentes. Au plan logistique cet épisode a d'ailleurs conduit VNF à se rapprocher de SNCF Réseau pour envisager des solutions alternatives ferroviaires massifiées (et réciproquement).

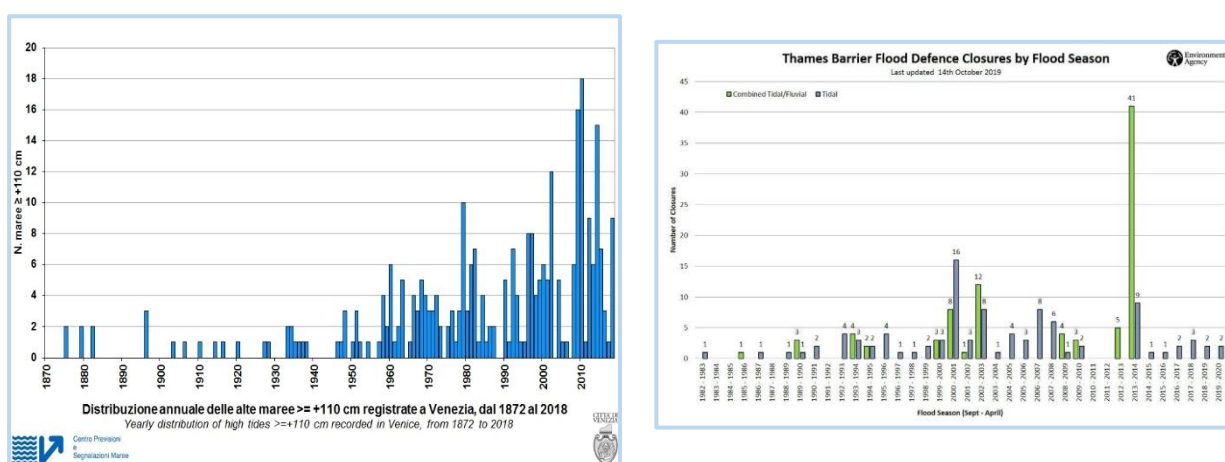
L'IAGF a donné deux exemples : celui du Saint Laurent pour lequel un travail sur le sujet de l'adaptation se poursuit et le cas du Parana à Rosario, assez proche de celui du Rhin puisqu'un épisode de basses eaux prolongées s'est produit en 2021 et a perturbé tout le système d'exportation des productions agroalimentaires de l'Argentine. Si l'épisode de basses eaux a représenté une perte économique estimée à quelque 315 millions de dollars en six mois entre mars et septembre, il est aussi préoccupant au plan proprement hydrologique car si des niveaux de basses eaux équivalents ont été observés sur la période d'observation des niveaux d'eau du Parana à Rosario (notamment en 1916, 1944 et 1969), aucun épisode similaire n'a été observé depuis 1971, date à laquelle a été mis en service le barrage d'Itaipu.

¹⁵ Présentation de Marc Eisma du 3 novembre 2021 sur le port de Rotterdam lors du séminaire parallèle à la COP 26 sur l'adaptation au changement climatique des ports dans diverses parties du monde

¹⁶ Rappelons que le plan Delta a été développé par les Pays-Bas suite à la tempête catastrophique de 1953 et que la commission du plan Delta a été refondue en 2008 pour tenir compte de la nécessaire adaptation au changement climatique aux Pays-Bas.

4.3 L'adaptation des grandes structures anti-tempêtes dans le monde

Les structures anti-tempêtes dans le monde ont été mises en place pour éviter que ne se reproduisent des épisodes exceptionnels de tempête ou de cyclone avec des surélévations des niveaux marins pouvant atteindre cinq à six mètres notamment au cours de la propagation des surcotes lorsque la direction du vent dans les estuaires augmente les surcotes atmosphériques : en Europe les cas les plus élaborés sont le plan Delta aux Pays-Bas, celui de Hambourg en Allemagne, de Londres sur la Tamise, de Venise en Italie ou de Saint Pétersbourg en Russie. La fréquence de l'*acqua alta* à Venise où des manœuvres du barrage anti-tempêtes de Londres depuis sa mise en place en 1983 sont significatives des évolutions climatiques en cours :



Figures 6 : Distribution des épisodes de l'*acqua alta* à Venise de 1872 à 2018 (source : centre de prévision et de signalisation marine de la ville de Venise) et nombre de fermetures annuelles du barrage anti-tempêtes de Londres de 1983 à la mi-octobre 2019 (source : agence britannique de l'environnement)

Il résulte de cet examen que les barrages anti-tempêtes ne se justifient que là où les enjeux de sécurité des riverains, les enjeux urbains et économiques permettent de rentabiliser des investissements aussi onéreux comme cela a pu être le cas à La Nouvelle-Orléans et comme les réflexions qui se poursuivent dans le cas de New-York et du New Jersey suite à l'ouragan Sandy. La stratégie d'adaptation de ces larges structures côtières passe elle aussi par une analyse complète des scénarios de remontée des niveaux marins et par un examen approfondi de la résilience à des événements de surcotes de tempête plus élevés que ceux contre lesquels les systèmes ont été conçus.

5. Synthèse de l'état des lieux des gestionnaires d'infrastructures de navigation maritime et fluviale en France par rapport à l'adaptation au changement climatique

Le groupe de travail a souhaité apprécier la façon dont les gestionnaires de ports maritimes et fluviaux prennent en compte les questions d'adaptation au changement climatique grâce à deux questionnaires, le premier adressé aux ports maritimes par l'UPF et le second aux ports fluviaux par l'AFPI.

Questionnaire UPF	Questionnaire AFPI
CCI Var port de Toulon	Ports de Mulhouse
CCI Nice Côte d'Azur	Ports de Lille
GPM de Guyane	Port de Villefranche sur Saône
Port de Strasbourg	Haropa ports de Paris
GPMNSN	Ports Rhône-Saône
GPMD	Canaux de la Ville de Paris
Haropaports LH et R	
port de Bayonne	
GPM de La Réunion	
GPM de La Rochelle	
GPM de La Guadeloupe	
Région HdF port de Calais	
GPM Marseille	
GPM de La Martinique	
GPM Bordeaux	

Tableau 5 : liste des ports maritimes ou intérieurs ayant répondu à l'enquête du groupe de travail

De façon générale on peut observer que les grands ports maritimes français ont initié des réflexions sur le sujet de l'adaptation de leurs infrastructures, pour certains d'entre eux il y a déjà plusieurs années, puis, plus récemment, grâce à l'élaboration des nouveaux plans stratégiques, mais le plus souvent sans aboutir à un plan d'actions à court terme visant la protection d'espaces particulièrement vulnérables à des submersions marines, comme on a pu le voir dans le cas de Long Beach ou de Rotterdam pour des infrastructures ou des amodiataires existants. En revanche pour les infrastructures ou les aménagements nouveaux, ils n'hésitent pas à se placer dans les scénarios climatiques les plus défavorables comme le RCP 8.5 pour dimensionner le niveau des plateformes à long terme.

Les hypothèses à prendre en compte et les inducteurs climatiques à retenir n'ont pas été précisés au niveau de l'administration centrale, ce qui semble au groupe de travail une lacune à combler.

Pour le moment seul le grand port maritime de Bordeaux a mené une étude assez complète avec le Cerema, l'objectif consistant à appliquer la méthodologie nationale dédiée aux infrastructures de transport, et à la compléter dans le cas particulier des infrastructures portuaires avec pour la première fois une amorce de réflexion stratégique destinée à identifier les actions susceptibles d'être mises en œuvre à court et moyen termes. La synthèse de ce travail figure en annexe à la partie V. Les deux dernières diapositives de cette synthèse figurent ci-après (Figures 7 et 8). Elles montrent que cette étude a le mérite de traiter également les questions de canicule, d'étiage, de dragages et d'impact sur les espaces naturels, mais il ne s'agit pour l'heure que de pistes d'action ce qui illustre que le travail reste à achever plus complètement, notamment parce que la question d'associer les collectivités territoriales et les parties prenantes dans une vision partagée de la vulnérabilité des zones portuaires concernées reste à élaborer.

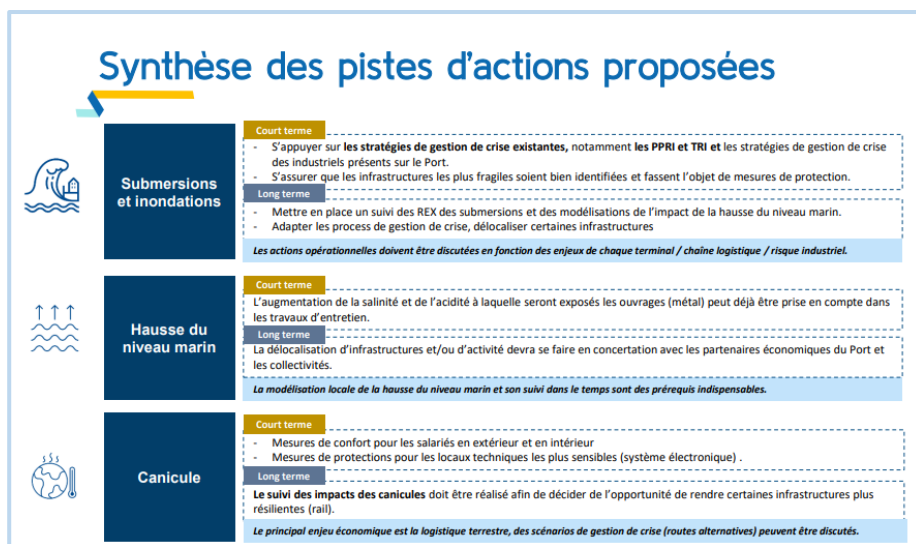


Figure 7 : extrait du diaporama de synthèse des études menées par le Cerema et Scet pour le grand port maritime de Bordeaux

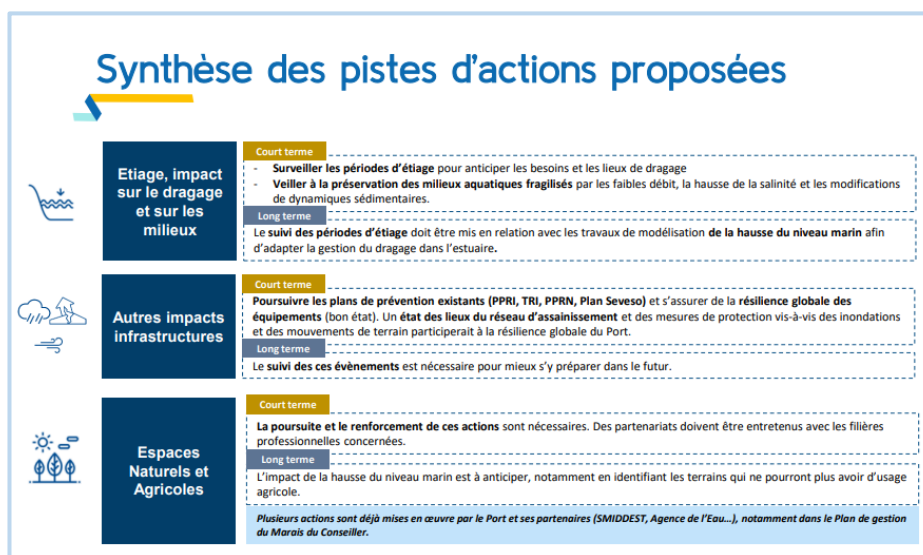


Figure 8 : extrait du diaporama de synthèse des études menées par le Cerema et Scet pour le grand port maritime de Bordeaux

Curieusement, en revanche, la stratégie foncière semble, à ce jour et hors environnement particulièrement contraint (Nice-Cannes), ne pas être encore prise en compte dans la réflexion plus globale vis à vis des impacts du changement climatique. Il faut toutefois noter la situation de Marseille où le confortement d'une infrastructure naturelle « la pointe de la gracieuse » constitue une protection majeure pour les installations portuaires de la ZIP de Fos.

Le questionnaire a permis à plusieurs ports, notamment au GPMNSN (grand port maritime de Nantes Saint-Nazaire), de rappeler le lien étroit existant entre PPR littoraux et adaptation au changement climatique avec des prescriptions détaillées visant les aménagements futurs. À titre illustratif, on peut mentionner que la stratégie d'aménagement systématiquement mise en œuvre par HAROPA sur l'ensemble des espaces de développement du port consiste à éviter le risque submersion marine- inondabilité en portant les cotes finales aménagées des plateformes au-dessus de la cote Xynthia + 60 cm à l'aval, sous influence marine.

Pour les **ports ultramarins**, leurs instances dirigeantes intègrent bien le changement climatique dans leurs stratégies et la gestion de leur infrastructure. Avec des différences notables de méthode, de priorité, d'avancement, les quatre ports ont achevé, ou sinon lancé, des réflexions stratégiques et la plupart ont conduit des actions concrètes et travaux d'adaptation, y compris les aspects fonciers.

Les **ports fluviaux** sont à la fois moins avancés dans leur réflexion propre sur l'adaptation mais aussi plus étroitement imbriqués dans les stratégies développées par les instances de bassin pour l'évolution des ressources hydrauliques. Le **port autonome de Strasbourg** a réalisé en 2021 une étude prospective sur le sujet de l'adaptation au changement climatique et envisage de monter un projet visant à se doter d'un plan d'adaptation, en coopération avec les ports voisins allemands et suisses pour un démarrage en 2023.

Le groupe de travail a également estimé utile de souligner la vulnérabilité particulière du **canal du Rhône à Sète** à l'horizon 2050 ; le risque occasionné par l'érosion du cordon littoral, particulièrement dans le secteur des Aresquiers situé sur la commune de Frontignan, pourrait conduire à des invasions marines, et à une double attaque du canal, avec une possible communication permanente entre le canal et les étangs salés. Les réflexions actuelles vis à vis de ce risque clairement identifié vont dans le sens de ne pas chercher à s'opposer à cette évolution.

La question des **référentiels techniques** a également été soulevée par la DGITM au sein du groupe de travail, puisque le PNACC 2 demandait à l'ensemble des gestionnaires d'infrastructure de transport d'actualiser les référentiels techniques utilisés pour le dimensionnement ou pour l'exploitation des infrastructures de transport.

En revenant au travail mené par le Cerema à ce sujet en 2015¹⁷ ont été abordés pour les infrastructures de navigation et par variable climatique la température (4.5 et 4.6), les précipitations (5.5 et 5.6), le vent (6.5 et 6.6), l'élévation des niveaux marins ainsi que la modification des climats de houle (7.5 et 7.6), et l'impact sur la biodiversité (8.5 et 8.6).

Les référentiels techniques identifiés l'ont été par le Cerema (DtecEMF, aujourd'hui DtecREM) : il s'agit principalement de Rosa 2000, de divers documents de l'AIPCN, de l'AFNOR et de la circulaire de 1976 sur les caractéristiques des voies navigables. Le groupe de travail a mentionné que la *task force* permanente de l'AIPCN (PTGCC) veille constamment à l'actualisation des rapports de l'AIPCN sur le changement climatique, ce qui répond en quelque sorte au souci d'actualisation exprimé et le Cerema a mentionné l'actualisation en cours des Eurocodes dédiés aux structures maritimes et celle de Rosa 2000, qui en représente la déclinaison au niveau français. Le groupe a eu aussi connaissance, lors d'une présentation aux premières rencontres de l'ingénierie maritime à Caen en juin 2022 de ce qui représente un quasi référentiel pour les digues littorales à savoir *l'Eurotop manual*¹⁸, qui apparaît largement comme une référence mondiale en la matière.

¹⁷ Cerema-PNACC: volet infrastructures et systèmes de transport- Action 1 Impacts potentiels du CC sur les référentiels de conception, d'entretien et d'exploitation- Rapport de juillet 2015

¹⁸ *Eurotop- Manual on wave overtopping of sea defences and related structures- An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application- Second Edition 2018- Authors, in alphabetical order:*

J.W. van der Meer Van der Meer Consulting; IHE Delft, NL; co-author and editor; N.W.H. Allsop Former HR Wallingford, UK, now William Allsop Consulting, T. Bruce University Edinburgh, UK; J. De Rouck Ghent University, BE; A. Kortenhaus Ghent University, BE; T. Pullen HR Wallingford, UK; H. Schüttrumpf University of Aachen, DE; P. Troch Ghent University, BE; B. Zanuttigh University of Bologna, IT

Pour les gestionnaires d'infrastructures fluviales, le groupe de travail a pris connaissance du fait que le Cerema avait mené une étude en 2015 ¹⁹ sur l'axe Seine. Ce travail exploratoire mené par la DT Nord-Picardie du Cerema pour appliquer une méthodologie développée par la Dtec EMF montre que le systématisme de la méthodologie et l'absence de priorisation des thématiques à examiner rend difficile sa généralisation à l'ensemble du réseau et que l'association du gestionnaire est indispensable à la conduite de ce travail. Il y a donc un socle méthodologique qui doit être affiné avec les gestionnaires et allégé pour permettre de le déployer sur l'ensemble du réseau ou *a minima* sur ses tronçons les plus vulnérables.

¹⁹ Cerema DT NC - Juin 2015 " Méthodologie d'analyse de l'évolution de la vulnérabilité des infrastructures et des systèmes de transport au changement climatique- Etude de cas: voies navigables- Axe Seine (biefs Suresnes-Chatou/Bougival)

6. Synthèse du financement de l'adaptation

Le groupe de travail avait également inclus dans le questionnaire à destination des ports un volet destiné à apprécier dans quelle mesure les gestionnaires ont connaissance et utilisent les nombreuses possibilités de financement existant au niveau européen. L'enquête portait sur un champ plus large, celui des actions climatiques qu'il s'agisse d'atténuation ou d'adaptation. En effet pour le moment le financement de l'adaptation apparaît peu utilisé puisque les gestionnaires n'ont pas encore bien identifié les actions à entreprendre et que le coût global de leur adaptation à terme reste encore un champ largement inexploré.

La partie V détaille l'ensemble de la panoplie de financements proposés par l'Union européenne et les facilités qui ont pu être octroyées aux gestionnaires comme celle de l'allègement fiscal destiné à favoriser l'utilisation d'énergie électrique à quai pour les navires qui représente une forme de dérogation autorisée par rapport au régime des aides d'État. Il en va de même du règlement d'exemption de base (RGEC) par catégorie qui donnera lieu à une révision courant 2024 notamment pour favoriser les actions favorables au climat.

Pour les ports maritimes et fluviaux, la conjonction des trois piliers de financement que sont les financements directs de l'UE, les aides d'État et la fiscalité constituent la base de la stratégie financière à mettre en place pour optimiser leur intervention en termes d'adaptation au changement climatique en relation avec les autres acteurs de la filière portuaire – collectivités territoriales, chantiers navals, concédants, armateurs...

S'agissant de l'évaluation des moyens nécessaires à l'adaptation au changement climatique, quinze ports indiquent qu'ils n'ont pas procédé à ce jour à une telle évaluation ; cinq y sont parvenus avec toutefois des différences notables de précision de cette évaluation.

Pour le recours aux financements européens, on constate que onze ports y ont recours et que neuf d'entre eux n'y ont pas recours ce qui s'explique par l'hétérogénéité de leurs connaissances relatives aux différentes initiatives liées à l'adaptation au changement climatique et aux difficultés rencontrées pour le montage, le suivi et l'évaluation des projets. La plupart indiquent aussi leur souhait d'être accompagnés dans ces démarches.

Le groupe de travail s'interroge donc sur l'utilité de disposer au niveau national d'une vue d'ensemble des adaptations d'infrastructure à envisager et se demande si un premier travail ne consisterait pas à inventorier la valeur à neuf des infrastructures portuaires de façon à mieux appréhender ce qu'une proportion de cette valeur représenterait en termes d'ordre de grandeur d'investissement à consentir dans les prochaines décennies. Cet exercice est d'autant plus important que les ports sont confrontés à une rapide transition énergétique qui requerra des investissements importants pour mobiliser des relais de croissance. Ils éprouveront donc des difficultés à financer dans le même temps d'importants investissements liés à l'adaptation. Un travail sur les coûts unitaires d'adaptation serait également à entreprendre pour les différentes familles d'ouvrages portuaires.

Recommandations du groupe de travail

Parvenu au terme d'un triple état des lieux qui porte à la fois sur les travaux scientifiques internationaux et nationaux sur l'adaptation au changement climatique, sur les pratiques d'adaptation actuelles des principaux gestionnaires d'infrastructures portuaires ou fluviales, sur le recours aux sources possibles de financement et guidé par un parangonnage international succinct, le groupe de travail a dégagé plusieurs pistes de réflexion ou d'approfondissement sur ce sujet qui reste encore largement en friche aujourd'hui et se propose de donner un certain nombre de pistes de recommandations.

Le groupe de travail considère donc qu'il existe des enjeux de portée nationale intéressant les administrations centrales (R1) dont l'ampleur nécessite d'inscrire des actions de long terme construites à partir de travaux à mener rapidement, ainsi que des enjeux scientifiques et techniques tournant autour des méthodologies à parfaire et des référentiels techniques (R2). Le groupe propose aussi un ensemble de recommandations à destination des ports (R3), puis des gestionnaires d'infrastructures fluviales (R4), avant de formuler des recommandations en matière de financement de l'adaptation (R5).

R1. Recommandations à l'attention de l'administration centrale

L'hétérogénéité des hypothèses retenues dans les travaux individuels des ports, qui est très présente par exemple sur les GPM d'Outre-mer, même si elle est tempérée par le recours fréquent aux hypothèses données par la DGPR à la suite de la tempête Xynthia, conduit naturellement le groupe de travail à formuler une recommandation à court terme : celle de cadrer les hypothèses des plans d'adaptation comme cela a pu être le cas des ports de Long Beach avec l'État de Californie ou avec la commission Delta dans le cas de Rotterdam. Ce cadrage sera sans doute à insérer au sein de la stratégie française énergie-climat visant à définir le niveau de réchauffement de référence auquel il conviendra de s'adapter.

Si le rythme de remontée du niveau marin et la fréquence des épisodes de surcote à différents horizons de temps sont un noyau dur à faire figurer dans ce cadrage, de nombreux autres sujets peuvent figurer à titre informatif ou avec la faculté de les inclure dans les déclinaisons locales du cadrage national, comme les précipitations extrêmes, les vagues de chaleur marine, etc...

Comme l'ensemble du système portuaire est concerné, ce cadrage ne saurait se limiter aux GPM et devrait par conséquent à l'instar de la méthode utilisée pour l'élaboration de la stratégie nationale portuaire associer les régions. Le groupe de travail a d'ailleurs été contacté par la région Sud qui mène actuellement un travail assez exhaustif sur l'adaptation au changement climatique de l'ensemble des infrastructures de transport de la région.

Dans la mesure où le contenu des informations à faire figurer dans ces plans fait l'objet de plusieurs travaux méthodologiques pilotés par le Cerema, celui-ci doit être associé étroitement à ce cadrage. De même l'UPF pour les ports maritimes et l'AFPI pour les ports fluviaux devraient être associés ou consultés dans le cadre de ce travail national de cadrage.

La périodicité de réexamen de ce cadrage au vu des avancées scientifiques mérite aussi d'être précisée.

Recommandation 1. À la DGITM : mettre en place sans retard un groupe de travail associant la DGPR, la DGE, la DEB, l'ARF et le Cerema pour parvenir d'ici fin 2022 à un cadrage général des hypothèses à prendre en compte dans les plans d'adaptation des ports au changement climatique.

Deux autres sujets concernent les administrations centrales : celui des infrastructures de desserte et celui de l'évaluation du coût du patrimoine portuaire à adapter.

Comme le groupe de travail a constaté que de nombreux ports étrangers (australiens et britanniques) sont particulièrement préoccupés de l'incidence d'événements climatiques aggravés sur les infrastructures de desserte portuaire, le groupe s'est interrogé pour proposer à la DGITM de se pencher sur cette question au niveau national avec les gestionnaires nationaux d'infrastructures routières, ferroviaires et fluviales, de façon à limiter le travail propre aux gestionnaires aux seules infrastructures dont ils ont directement la charge (desserte de pré et post-acheminement de leur circonscription), cette question étant sans doute également à aborder au niveau régional pour les ports décentralisés.

Recommandation 2. À la DGITM : associer les gestionnaires de réseau de transport terrestre à la façon de décliner l'adaptation des infrastructures linéaires de transport dont ils ont la charge, y associer en tant que de besoin le COI et inciter ces gestionnaires à transmettre les données utiles aux ports concernés.

R2. Recommandations scientifiques et techniques

D'une manière générale, les gestionnaires d'infrastructures ressentent le besoin d'être guidés par un travail méthodologique national. Il devrait être établi à la fois pour les gestionnaires portuaires maritimes et pour les gestionnaires fluviaux, sachant que leur mission ne consiste pas seulement à gérer des infrastructures de transport mais qu'ils ont aussi une large mission de valorisation de leur domaine foncier respectif, fortement impacté par le changement climatique.

Il peut largement s'appuyer sur le travail mené par le Cerema sur le GPM de Bordeaux²⁰ et antérieurement en 2015 sur l'axe Seine pour les infrastructures de navigation fluviale avec le souci :

- de distinguer les réflexions propres aux infrastructures nouvelles de l'examen de la résilience des infrastructures ou des installations existantes ;
- d'examiner l'ensemble des aspects fonciers impliqués ;
- de discerner les variables climatiques les plus importantes à considérer ;
- de décliner les hypothèses ou jeux d'hypothèses du cadrage national de la recommandation 1 à considérer dans l'établissement des cartes de vulnérabilités aux différents horizons de temps à prendre en compte (scénarios climatiques à étudier, hypothèses de rythme de remontée des niveaux marins, surcotes extrêmes à prendre en compte, examen de scénarios éventuels) ;
- de préciser l'ensemble des sujets à passer en revue et de les hiérarchiser pour concentrer l'effort sur les plus importants d'entre eux qui sont limités pour le moment aux niveaux marins, voire aux vents ou aux évolutions des espaces naturels que certains ports ont la charge de gérer ;
- de recueillir les bonnes pratiques sur les actions d'adaptation à entreprendre à court terme (cinq ans), moyen terme (2050) de façon à établir un plan d'actions d'adaptation afin notamment de préciser comment associer au mieux les collectivités territoriales concernées et les parties prenantes concernées pour obtenir une appréciation partagée de la perception de la vulnérabilité et des mesures à prendre ;
- d'établir les fréquences de révision de ces documents.

Le groupe de travail mentionne également que le Cerema travaille avec le Service des infrastructures de défense du ministère des armées et qu'il pourrait être opportun d'élargir les réflexions aux ports militaires comme cela a pu être le cas aux États-Unis. L'élargissement des réflexions méthodologiques aux ports militaires nécessite un échange de courriers entre ministères à ce sujet.

Recommandation 3. À la DGITM et au Cerema :

3.1 Établir d'ici fin 2023 sur la base de l'expérience acquise par le Cerema, notamment sur le port de Bordeaux²¹ et des premiers retours d'expérience des autres études de vulnérabilité lancées en 2021, un guide méthodologique opérationnel pour traiter de l'adaptation au changement climatique des ports maritimes en liaison étroite avec la fois les gestionnaires portuaires et avec l'UPF.

²⁰ Sachant qu'il existe d'autres travaux en cours menés par des consultants et que le guide de l'Ademe consacré à l'adaptation des infrastructures de transport peut également représenter une source méthodologique utile, notamment grâce à la méthodologie TACCT (trajectoire d'adaptation au changement climatique des territoires) de diagnostic des impacts <https://tacct.ademe.fr>

²¹ Et aussi grâce aux premiers retours d'expérience des études de vulnérabilité initiées par les ports en 2021 et 2022

3.2 Établir de même d'ici fin 2024 sur la base d'une simplification du travail réalisé en 2015 sur deux biefs de la Seine un guide méthodologique pour aborder l'adaptation au changement climatique des gestionnaires d'infrastructure fluviale (VNF, CNR, EDF), en y associant l'INRAE et voir avec l'AFPI s'il faut également y intégrer les ports fluviaux en tenant compte des délais d'établissement d'Explore 2 en liaison avec VNF, CNR et EDF.

3.3 Vérifier que les référentiels techniques de conception, de construction ou de maintenance des infrastructures portuaires et fluviales recensés par le Cerema en 2015 sont bien en cours d'actualisation par rapport aux dernières avancées scientifiques sur le sujet.

Certains membres du groupe de travail ont été amenés à approfondir avec la DGPR les constats actuels selon lesquels l'AIPCN recommande d'examiner des scénarios plausibles de remontée du niveau marin global bien plus élevé que celui pris en compte actuellement, notamment du fait des possibles instabilités de la calotte glaciaire à l'Ouest de l'Antarctique : d'une part la DGPR considère que la préparation de la loi énergie-climat prévue pour le mois de juillet 2023 permettra de déterminer les niveaux de réchauffement visés en termes de température, d'où découleront les scénarii hydrologiques et de variation des niveaux marins, d'autre part l'une des difficultés majeures liée à la prise en compte de scénarios plausibles réside dans l'impossibilité d'en déterminer le niveau d'aléa ou de risque en termes quantitatifs. Une des voies possibles consisterait sans doute à examiner ce type d'hypothèse dans le cadre de la feuille de route nationale de la recherche portuaire en cours d'élaboration d'où la recommandation suivante :

Recommandation 4. À la DGITM : Intégrer à la feuille de route nationale de la recherche portuaire en cours d'élaboration un travail de recherche sur les conséquences locales d'une remontée des niveaux marins de trois mètres en 2100, mené sur quelques cas types, par exemple sur la zone de Dunkerque, en continuité avec les travaux menés par l'administration côtière flamande.

Enfin le groupe de travail rappelle ce qu'avait déjà relevé le collège Mer, fluvial et littoral antérieurement à savoir que le volume 5 de mars 2015 intitulé « Le climat de la France au XXIème siècle : tome V « changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises », avait demandé une étude exhaustive de l'évolution du niveau marin en France d'où la recommandation :

Recommandation 5. À la DGAMPA et à la DGITM : par rapport à la recommandation formulée en 2015 qu'une étude générale de l'évolution du niveau de la mer au niveau des côtes françaises (métropole et DOM-COM) prenant en compte l'ensemble des processus, soit réalisée, le groupe de travail préconise à la fois :

5.1 qu'un contact puisse être pris par le Cerema avec le CCR européen(JRC) pour voir si une étude analogue à celle menée en Europe sur l'évolution des niveaux marins extrêmes peut être étendue aux territoires ultramarins de l'UE

5.2 qu'une meilleure appropriation par les acteurs territoriaux des différents facteurs influençant l'évolution des aléas littoraux soit opérée avec l'appui du Cerema (à l'échelle régionale il s'agit du marnage, des surcotes, des configurations géographiques et des événements météo-marins caractéristiques, tandis qu'à l'échelle locale on peut y ajouter des facteurs géologiques, sédimentaires et biologiques).

R3. Recommandations aux gestionnaires des ports

D'une façon générale, l'ensemble des gestionnaires de port est confronté à la mise en œuvre simultanée d'enjeux qu'ils portent souvent seuls dans le domaine des transitions énergétique, environnementale et numérique et s'efforce de convaincre les collectivités qui ne les voient pas toujours avec la même acuité de s'inscrire dans la logique générale de sobriété et de recherche de la croissance verte.

R3.1 Recommandations générales applicables à l'ensemble des ports

Les gestionnaires des ports en l'absence de cadre méthodologique établi et de cadrage national ont initié de nombreuses démarches au degré d'avancement hétérogène. Le parangonnage réalisé montre que plusieurs ports étrangers intègrent fortement l'aggravation des épisodes pluvieux sur les terminaux pendant les épisodes de vents extrêmes et s'intéressent de près à la résilience aux événements climatiques au-delà des seuls niveaux. Ceci illustre le fait qu'une démarche plus systémique est préférable si bien que plusieurs ports pourraient s'investir pour améliorer les guides méthodologiques, objet de la recommandation 3.

Par ailleurs, les ports ont aussi conscience de ces décalages entre eux sur ce sujet et demandent que s'instaure un partage d'expérience propre aux plans d'actions climatiques au niveau national d'où la recommandation suivante :

Recommandation 6. À l'UPF et à l'AFPI : mettre en place un groupe d'échange d'expérience avec l'aide du Cerema et de la DGITM pour partager l'expérience des ports les plus avancés en termes de plan d'actions d'adaptation au changement climatique.

Cette recommandation peut aussi se décliner au niveau international grâce à une participation accrue des ports français aux réflexions de la *task force* changement climatique de l'AIPCN (PTGCC), qui poursuit à la fois l'objectif des échanges de bonnes pratiques et de recommandations aux maîtres d'ouvrage à ce sujet.

Elle peut aussi trouver sa place au niveau européen via l'ESPO par exemple, d'où la recommandation.

Recommandation 7. À l'UPF et à l'AFPI : se rapprocher du Cerema ou de la section française de l'AIPCN pour contribuer aux échanges internationaux sur ce sujet de l'adaptation au sein de l'AIPCN ainsi que de l'ESPO et de la FEPI au plan des ports européens.

Par ailleurs, la question foncière est déjà très prégnante sous la double contrainte de trouver des espaces fonciers aptes à accueillir rapidement les activités destinées à prendre le relais des industries carbonées pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre et ce dans le contexte de la progressive avancée vers la suppression de toute artificialisation nette. Si des besoins fonciers apparaissent aussi au titre de l'adaptation la question foncière deviendra très difficile à gérer. D'où la recommandation suivante qui s'applique avec encore davantage d'acuité aux ports d'Outre-mer.

Recommandation 8. À l'UPF et à l'AFPI : entreprendre un travail spécifique sur les besoins fonciers propres à l'adaptation de façon à mesurer son ampleur et à pouvoir anticiper ses conséquences par rapport aux politiques foncières.

R3.2 Recommandations propres aux ports d'Outre-mer

Dans le défi de l'adaptation au changement climatique, les ports d'Outre-mer présentent des spécificités par leur localisation et leur exposition à des événements climatiques propres (cyclones à La Réunion et aux Antilles, envasement en Guyane, par exemple). Mais ils jouent aussi un rôle économique et social très particulier dans des territoires le plus souvent insulaires et toujours éloignés de la métropole. Ils sont enclavés dans des territoires fortement urbanisés et disposent de faibles marges de manœuvre. Il faut une approche, des idées, qui tiennent compte de cette place des ports ultramarins.

L'adaptation coûte plus cher et est moins reconnue que l'accompagnement, mais ces deux objectifs sont liés. Comment faire les deux alors que les ports ont souvent du mal à moderniser les infrastructures existantes ? Comment concilier toutes les politiques publiques et positionner les GPM sans connaître précisément l'avenir ?

1) Stratégique

Recommandation 9. Associer systématiquement les GPM aux travaux d'élaboration des documents stratégiques locaux dans les territoires d'Outre-mer.

En effet il y a plusieurs niveaux de planification à la fois temporels et géographiques, et plusieurs autorités en charge de ces schémas ou plans. Bien que ces outils de planification ne soient pas spécifiques à l'Outre-mer, on peut citer par exemple :

- les SAR (Schémas d'aménagement régionaux) pilotés par les collectivités régionales, qui définissent la stratégie les objectifs et les règles d'aménagement à long terme sur tout le territoire, en Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte et à La Réunion ;
- les PCAET (Plans climat-air-énergie territoriaux) pilotés par les intercommunalités, qui déclinent sur leur périmètre les objectifs nationaux en matière de climat, d'air et d'énergie, dans une double logique d'atténuation et d'adaptation ;
- les PPR (plans de prévention des risques) pilotés par l'État sur le périmètre communal ou intercommunal, qui traitent du risque (aléas et enjeux) et de sa prévention en matière essentiellement d'urbanisme ;
- les PPE (programmations pluriannuelles de l'énergie) élaborés par les Régions et qui exposent la feuille de route du territoire en matière d'énergie.

Si l'on ajoute enfin les documents en matière d'urbanisme (PLU, PLUI) ou de logement (PLH), on constate un foisonnement parfois non coordonné d'activité planificatrice dans laquelle un acteur comme un grand port peut être oublié. Si chaque outil a sa logique, son périmètre, ses acteurs et ses objectifs, beaucoup de ces documents ont l'ambition d'avoir un impact sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique. Les ports ont donc toute légitimité à intégrer ces réflexions et à peser sur les décisions, en raison de leur rôle potentiel d'atténuation, et leur nécessité de s'adapter pour préserver l'outil économique.

2) Politique

Recommandation 10. À la direction générale des Outre-mer : Faire de l'adaptation au changement climatique une priorité majeure dans les politiques publiques en direction des Outre-mer, en partenariat avec les collectivités territoriales.

Les collectivités ont de multiples priorités qu'elles traduisent dans des plans et schémas divers (voir ci-dessus). Les GPM, étant considérés comme des établissements de l'État, ils ne sont pas dans ces priorités. Les sujets d'adaptation des ports doivent réintégrer les priorités et les plans d'actions.

En outre les collectivités occultent le fait que les usagers et clients commerciaux ne payent pas le vrai prix. La répercussion des coûts réels du gestionnaire et son impact sur le coût de la vie locale outremer est un sujet très sensible politiquement, les ports étant considérés comme un service public alors qu'ils ont aussi une mission d'EPIC.

3) Foncier

Recommandation 11. À la DGITM et à l'UPF : développer pour les ports ultramarins la fonction de porteur de foncier de compensation et établir des plans à 2050 concernant cette politique foncière.

À l'exception du cas de la Guyane, le foncier est rare outremer, car ce sont des territoires insulaires de petite taille dotés d'un relief important. Les ports disposent parfois de réserves foncières, de friches industrielles ou encore de capacité à acquérir du foncier proche. Dans cet esprit, il serait opportun d'ouvrir la capacité d'acquisition de foncier à ces GPM au-delà des espaces de proximité, notamment pour favoriser les relocalisations d'activités ou les actions environnementales.

Mais les ports, surtout quand ils se situent en milieu urbain (ce qui est le cas partout, même en Guyane) peuvent être victimes d'un arbitrage priorisant le relogement des populations au maintien de ces réserves pour leur usage propre.

La reconnaissance du rôle des ports à la résilience pourrait donc justifier qu'ils conservent ou qu'ils acquièrent des surfaces de compensation (inondation, recul stratégique, relocalisation d'activité pour l'adaptation, action environnementale, etc.). Le financement de ce portage (les zones inondées ne sont plus commercialisables, par exemple) pourrait être soit répercuté sur les usagers, soit faire l'objet de mesures fiscales.

R4. Recommandations aux gestionnaires d'infrastructures de navigation fluviale

Le groupe de travail a constitué en son sein un sous-groupe dédié aux gestionnaires d'infrastructures de fluvial et a produit une série complémentaire de dix recommandations :

Recommandation 12. À la DEB et à la DGITM : *changer de paradigme en matière hydraulique en considérant que nous sommes passés d'un climat tempéré marqué par une relative abondance de la ressource en eau en France à un état climatique avec des étiages plus sévères ce qui appelle une possible adaptation du corpus réglementaire relatif à l'aggravation future des conflits d'usage de l'eau.*

Recommandation 13. À VNF/CNR/EDF : *caractériser la résilience actuelle du réseau fluvial navigable au changement climatique au regard des horizons raisonnables (2050), en utilisant les résultats disponibles d'Explore 2.*

Recommandation 14. À VNF/CNR/EDF : *déterminer comment adapter à moyen terme le réseau fluvial pour le rendre plus résilient aux évolutions climatiques en cours (déclinaison du plan national d'adaptation au changement climatique) et examiner s'il est possible d'utiliser le réseau fluvial pour assurer une meilleure répartition des réserves d'eau au niveau des territoires (usages et répartition pour le soutien des étiages).*

Recommandation 15. À DEB/DGPR/DGITM : *Examiner les interactions entre instances de bassin (comité de bassin, EPTB, entités gemapiennes) qui sont le lieu privilégié de débat sur les différents usages de l'eau dans chaque bassin et les instances interservices de type MISE pour déterminer comment mieux organiser la gouvernance de la stratégie d'adaptation au changement climatique des voies navigables.*

Recommandation 16. À VNF/EDF/CNR/AFPI : *Utiliser les données hydrologiques disponibles pour alimenter un observatoire des périodes d'étiage sur les différentes parties du réseau fluvial navigable, partagé entre gestionnaires d'infrastructures de transport fluvial et de ports fluviaux.*

Les sujets fluviaux n'ont pas permis de disposer d'un parangonnage assez précis : en effet les données de l'AIPCN ont bien relaté le cas des basses eaux du Rhin mais les renseignements obtenus de l'IAGF auprès des canadiens sur le Saint-Laurent montrent que les actions entreprises portent davantage sur la navigation durable que sur l'adaptation au changement climatique et dans

le cas du Parana à Rosario en Argentine qu'un épisode récent de basses eaux dont les conséquences économiques ont été évaluées ne présente que peu de différences avec des épisodes historiques plus anciens si ce n'est qu'il s'est produit après la mise en service du barrage d'Itaipu.

Il reste à approfondir notamment les travaux internationaux menés sur les bassins de la Meuse et de la Moselle d'où la recommandation suivante.

Recommandation 17. À VNF et CNR : Progresser dans la mise au point de la stratégie d'adaptation au changement climatique des gestionnaires d'infrastructures de navigation fluviale :

- en favorisant des échanges intra-européens ou internationaux entre gestionnaires de voies fluviales (cf. AIPCN)***
- en déterminant la typologie des situations envisageables (nature des événements, solutions possibles)***
- en utilisant là où cela est possible les interactions avec les P.A.P.I. et avec la GEMAPI).***

R5. Recommandations relatives au financement de l'adaptation

Le constat général du groupe de travail montre que la question de l'évaluation du coût de l'adaptation n'est pas encore suffisamment avancée et anticipée pour justifier des actions de court terme et que de ce fait l'attention des gestionnaires est davantage orientée pour le moment sur les questions de financement des actions d'atténuation.

Pour progresser à ce sujet, le groupe de travail formule des recommandations à la fois en direction des administrations centrales (R5.1), à destination des ports métropolitains (R5.2) et des ports Outre-mer (R5.3).

R5.1 Recommandations aux administrations centrales

Le groupe de travail confirme à cet effet qu'il existe une forte opportunité d'optimiser les multiples financements pour la période 2021/2027.

Recommandation 18. À l'attention de la DAEI, de la DGITM et de la DGEC: Soutenir les initiatives législatives résultant de nombreuses politiques et financements de l'Union européenne prises sur la base du pacte vert pour l'Europe et de la loi climat européenne, (tenant compte du rapport annuel de la Commission pour l'année 2019 relatif aux émissions de CO₂ du transport maritime), et en promouvoir le financement à travers : « FuelEU maritime » dédié à l'utilisation des carburants maritimes durables - biocarburants et carburants de synthèse, et « AFIR » dédié au déploiement des infrastructures de carburants alternatifs, la promotion de l'utilisation des énergies produites à partir de sources renouvelables, la nécessaire révision de la directive sur la taxation de l'énergie, le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières, l'intégration du secteur maritime au système européen de quota d'émission (Seque).

Le groupe de travail précise également que les interventions de l'État sont de trois ordres :

- a) le soutien au financement direct structurel et sectoriel par les fonds nationaux et européens
- b) le soutien au titre des aides publiques aux ports eu égard aux nouvelles lignes directrices CEEAG (*supra*)
- c) le soutien par une fiscalité adaptée aux enjeux de l'adaptation au changement climatique.

Par ailleurs pour progresser dans le sens d'une meilleure évaluation des coûts d'adaptation, le groupe de travail formule la recommandation suivante :

Recommandation 19. À l'attention de la DGITM : soutenir l'adaptation au changement climatique dans les secteurs portuaire et fluviaux

19.1 Promouvoir dans le cadre de la feuille de route co-élaborée avec le CNRS la production d'études en vue de réaliser la quantification des coûts de l'adaptation au changement climatique dans les ports et si possible aussi pour les voies navigables.

La DGITM pourra également vérifier que cette feuille de route peut être étendue sur ce sujet aux infrastructures fluviales.²² La quantification des coûts pourra s'appuyer sur les premiers travaux du projet Quanti-adapt de l'I4CE.

19.2 Évaluer, avec l'ARF et l'ADF pour les ports décentralisés, à grands traits la valeur de reconstruction à neuf de l'ensemble des infrastructures portuaires et fluviales susceptibles d'être adaptées dans les trente années à venir avec l'aide du COI.

19.3 Contribuer au financement de la réalisation d'études de vulnérabilité par les gestionnaires d'infrastructures portuaires et fluviales.

19.4 Soutenir la mise en réseau des gestionnaires d'infrastructures portuaires dans le cadre du PNACC3.

L'adaptation au changement climatique devant se penser de pair avec l'atténuation dans la perspective de construction d'une stratégie climatique, ce rapport est également l'occasion de formuler des recommandations concernant les investissements dans l'atténuation du changement climatique. De façon plus indifférenciée entre atténuation et adaptation le groupe de travail formule également des recommandations spécifiques au financement de l'adaptation.

Recommandation 20. À l'attention de la DAEI, de la DGITM et de la DGEC: tenir compte du règlement délégué relatif à la taxonomie (finance durable) définissant les critères de durabilité pour les objectifs d'adaptation et d'atténuation par rapport au changement climatique aux termes desquels les ports sont reconnus comme des activités durables.

L'objectif à atteindre est ici de :

1. Soutenir, dans tous les ports, la filière de l'électrification à quai des navires aujourd'hui en phase démarrage mais pour laquelle il n'existe pas encore de modèle économique, par les financements européens et nationaux, notamment des (FESI) des RTE-T (MIE), et du plan de relance européen ;
2. Soutenir les projets de carburants alternatifs et la nécessité de coopération avec l'ensemble des parties prenantes - ports, armateurs, collectivités territoriales, chantiers navals - pour que les efforts de transition vers des carburants alternatifs s'inscrivent dans une politique générale de décarbonation des ports ;
3. Soutenir la création d'infrastructures afin de favoriser l'utilisation des carburants alternatifs qui doivent disposer de soutiens financiers et fiscaux (*supra*) pour assurer leur compétitivité face à des carburants fossiles. Les amendements futurs des propositions de règlement sur les infrastructures de carburants alternatifs et sur l'utilisation des carburants maritimes renouvelables et bas carbone et ceux de la directive sur la taxation de l'énergie doivent donc aller de pair pour permettre d'inciter fortement l'usage des systèmes d'alimentation électrique à quai dans les ports, de l'hydrogène dans la navigation intérieure et de favoriser le développement de nouvelles solutions propres ;

²² En s'appuyant par exemple sur les travaux du projet Quanti-adapt d'I4CE : <https://www.i4ce.org/download/moyens-adaptation-consequences-changement-climatique-france/>.

4. Assurer une cohérence et une harmonisation des normes techniques européennes afin d'éviter les distorsions de concurrence, au détriment des ports français, en tenant compte de la situation des ports européens et de l'objectif global de décarbonation du transport maritime et fluvial, afin de ne pas sanctionner les ports et opérateurs qui adoptent des pratiques vertueuses en termes d'adaptation au changement climatique, de transition énergétique et d'utilisation des carburants alternatifs ;
5. Promouvoir et soutenir les bonnes pratiques au bénéfice de tous les ports européens et ceux des États tiers voisins et rendre éligibles les actions de coopération aux instruments financiers de l'Union européenne, notamment « Interreg » et les instruments financiers de la politique de voisinage ;
6. Prévenir du risque de fuite de carbone et de distorsion de concurrence entre les ports de l'Union européenne et les États tiers, effet possible de la proposition d'étendre au transport maritime le système d'échange de quotas d'émission ;
7. Soutenir le projet de réforme de la fiscalité des produits énergétiques et actionner le processus législatif européen pour amender la directive du 27 octobre 2003 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité et s'efforcer d'obtenir *a minima* un niveau de fiscalité de l'électricité à quai homogène entre pays européens ;
8. Soutenir la mise en réseau des gestionnaires d'infrastructures portuaires dans le cadre du PNACC3 ;
9. Solliciter le Cerema pour qu'il assure la diffusion d'informations sur les programmes européens mais également qu'il fournisse une assistance technique aux ports ;
10. Demander, s'agissant de l'électrification à quai, que les navires eux-mêmes soient éligibles au financement dès lors qu'ils assurent des trajets à courte distance, intra européens ou avec des pays tiers ayant une mer commune avec l'UE (Maghreb, Royaume-Uni, Turquie, ...).

Recommandation 21. À la DAEI, à la DGITM et à la DGAMPA: Mettre en place une cellule de coordination et de suivi des financements UE.

En effet, le panorama des sources de financements potentielles en faveur des ports et des gestionnaires d'infrastructures portuaires s'avère extrêmement riche et varié.

On peut ainsi citer :

- le MIE (Mécanisme pour l'interconnexion en Europe) Transports, le programme Life sur l'action climatique ;
- l'instrument de coopération inter-régionale Interreg ;
- les appels à projets issus du programme « Horizon Europe 2021-2027 » ;
- les fonds structurels FEDER et FEAMPA.

Si ce dernier ne concerne pas directement les infrastructures portuaires, il dispose cependant d'une ouverture sur l'environnement marin, ciblée sur les navires.

Or, tous ces dispositifs sont complexes et imposent une connaissance fine des procédures et des montages de dossiers pour parvenir à leur terme.

Aussi, les gestionnaires d'infrastructures font ressortir un besoin de coordination, de suivi et de mises à jour des informations relatives aux programmes cités.

La mise en place d'une cellule de veille et/ou d'accompagnement des acteurs serait susceptible de répondre à ces préoccupations, en plus du travail d'animation déjà réalisé par l'Union des ports français au bénéfice de ses adhérents.

R5.2 Recommandations générales à l'attention des ports

Recommandation 22. À l'UPF et aux ports sur les financements

Pour les ports vis-à-vis des Régions : S'efforcer de rendre éligibles – dans les programmes opérationnels des fonds européens - les projets visant à la décarbonation du transport maritime et à la réduction des émissions polluantes dans les instruments financiers européens pour la période 2021-2027, notamment dans la politique de cohésion, à travers les fonds européens structurels d'investissement : notamment FEDER, FEAMPA, INTERREG transnational et transfrontalier.

Promouvoir les projets d'infrastructures d'atténuation et d'adaptation au changement climatique dans la politique des transports et notamment les RTE/T, du mécanisme pour l'interconnexion en Europe (MIE) particulièrement pour soutenir les ports, chantiers navals, armateurs, collectivités territoriales dans la mise en œuvre des mesures de décarbonations – carburants alternatifs, électrification à quai, soutien aux énergies renouvelables.

Assurer une veille permanente des financements sectoriels : MIE-T en synergie avec le MIE Energie, Horizon Europe, programme Life et des programmes liés à l'innovation.

Assurer une assistance technique au montage, au suivi et à l'évaluation....

Initier les relations avec la BEI et la BERD.

Recommandation 23. À la DGITM : obtenir de la DGFIP l'amortissement du surdimensionnement de l'adaptation dans les travaux sur les infrastructures portuaires. Appliquer des mécanismes de crédit d'impôt. Intégrer la résilience dans les critères FEDER.

- Dans la mesure où les ports participent plus largement à l'adaptation du territoire au changement climatique et peuvent aussi participer à son atténuation, il convient que le surcoût engendré par le surdimensionnement « ACC » (et par rapport au simple entretien des infrastructures) soit pris en charge de manière financière et fiscale.
- Par ailleurs il est demandé aux ports des taux de rentabilité qui ne sont pas compatibles avec la prise en compte du surcoût de l'adaptation, ce qui conduit les conseils de surveillance à repousser de tels investissements.

Recommandation 24. À l'UPF, l'AFPI et la DGITM : Élaborer une veille nationale d'accès aux fonds européens (et nationaux) visant à accompagner les ports maritimes et fluviaux et les acteurs qui leur sont associés à postuler aux financements structurels et sectoriels.

R5.3 Recommandations particulières aux ports ultra-marins

S'agissant des DOM, tenir compte des spécificités des régions ultrapériphériques définies à l'article 349 du TFUE à un triple point de vue : promouvoir une législation adaptée à ces territoires, reconduire les règles définies dans le cadre du Règlement général d'exemption par catégorie (RGEC) concernant les infrastructures portuaires et maintenir *a minima* - la bonification de 10 %, apporter une assistance particulière à la veille, au montage, au suivi et à l'évaluation de projets.²³

Recommandation 25. À la DGITM : obtenir un accroissement du taux d'intensité des aides par rapport à la métropole pour le cas des Outre-mer afin de tenir compte des infrastructures localisées dans les départements d'Outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte). Le Règlement général d'exemption par catégorie (RGEC) n°651/2014 pourrait, de ce point de vue, être mis en œuvre en faveur des infrastructures portuaires.

²³ Le Parlement européen a repris à son compte, le 7 juin 2022, la demande de la Commission du développement régional en faveur de l'élaboration, au plus vite et avec l'ensemble des parties prenantes, d'une stratégie européenne spécifique pour les régions insulaires

Conclusion

Le groupe de travail du collège Mer, fluvial et littoral s'est penché sur la manière dont les gestionnaires d'infrastructures portuaires et de navigation fluviale abordent aujourd'hui la question de l'adaptation au changement climatique de leurs infrastructures.

Pour ce faire, il s'est largement appuyé sur les apports que lui ont fournis le Cerema et le Shom et a pu compter sur un appui tant de la DGITM que de l'UPF, de l'AFPI, ainsi que de VNF et de CNR et sur les enseignements tirés de questionnaires adressés à la majeure partie des ports maritimes et fluviaux.

La diversité des réponses montre que le sujet est en cours d'appropriation et qu'il devient urgent que l'administration centrale définisse les hypothèses principales à prendre en compte dans l'étude de vulnérabilité au changement climatique.

De même, les travaux méthodologiques engagés par le Cerema depuis 2015 en direction des gestionnaires portuaires et de voies navigables pour décliner la méthode générale proposée aux gestionnaires d'infrastructures de transport doivent être à la fois complétés, notamment pour préciser comment associer collectivités territoriales et parties prenantes concernées, aller au-delà des seules infrastructures de transport et aborder les aspects fonciers tout en suggérant des pistes de simplification pour donner la possibilité aux gestionnaires de se concentrer sur les questions majeures.

Le groupe de travail considère également qu'un parangonnage international et européen doit se poursuivre dans la durée.

Il a formulé vingt-cinq recommandations à destination des administrations centrales, du réseau scientifique et technique et des gestionnaires pour progresser à ce sujet.

Six parties dotées chacune de leur annexe bibliographique complètent cette synthèse et ces recommandations :

Partie I Principaux apports scientifiques du GIEC identifiés par le collège MFL

Partie II Contribution du Cerema et du Shom sur les niveaux marins en France : houles, marées, surcotes

Partie III Autres contributions : routes arctiques, lien entre atténuation et adaptation ; résilience des infrastructures fluviales et conflits d'usage de l'eau

Partie IV Parangonnage

Partie V État des lieux des gestionnaires portuaires et fluviaux par rapport à l'adaptation au changement climatique

Partie VI Le financement

Elles sont accompagnées de leurs annexes spécifiques.

Partie I Principaux apports scientifiques du GIEC identifiés par le collège MFL

I.1 Le rapport spécial « Océan et Cryosphère dans un climat qui change » : synthèse pour les décideurs

La synthèse pour les décideurs aborde trois sujets : la rétrospective des éléments de connaissance sur les océans ; les projections issues des modèles climatiques avec leurs incertitudes ; enfin les stratégies d'adaptation proprement dites. Sachant que le chapitre 4 du rapport spécial aborde la question spécifique de remontée du niveau marin et que nous en synthétiserons des éléments utiles au I-2, que le chapitre 6 du même rapport aborde la question des événements extrêmes ce que nous traiterons au I-3 et que ces mêmes questions seront examinées dans le cadre géographique français (métropole et outre-mer) dans la partie II de ce rapport, nous nous proposons de focaliser l'attention dans un premier temps sur les lignes de force de cette synthèse pour les décideurs au regard des travaux de notre groupe (I-1-1) avant de reprendre les trois sujets relevant de ce rapport : rétrospective (I-1-2) ; projections (I-1-3) ; stratégie d'adaptation (I-1-4).

I.1.1 Les lignes de force du rapport de synthèse

Le premier chapitre du rapport spécial du GIEC rappelle opportunément les liens étroits qui lient océan et cryosphère au regard du cycle du point de vue des échanges thermiques, du cycle de l'eau et du carbone :

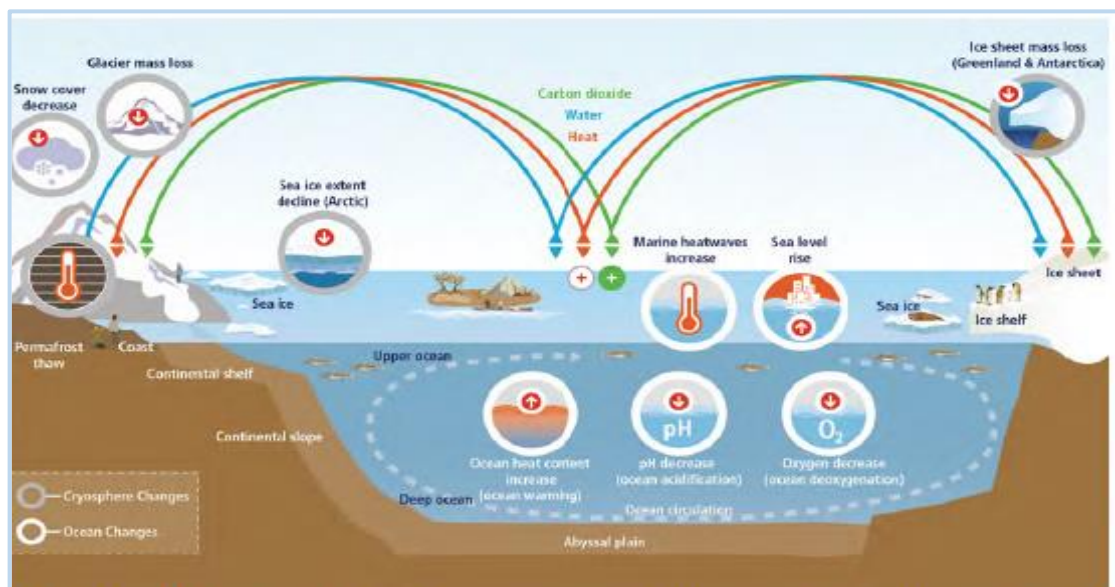


Figure 9 : schéma illustrant les principales composantes et les changements de l'océan et de la cryosphère- source chapitre 1 du rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère page 79

Les effets principaux des évolutions climatiques sur l'océan sont ainsi l'élévation du niveau marin, l'accroissement de la chaleur emmagasinée par les océans avec comme conséquence des vagues de chaleur des eaux marines, la diminution de l'oxygène dissous dans l'eau de mer et l'acidification.

Pour la cryosphère proprement dite, ce sont la réduction de la banquise Arctique tant en superficie qu'en épaisseur et la diminution des calottes glaciaires au Groenland sans parler du dégel du pergélisol et de la baisse des manteaux neigeux.

Ces éléments avaient déjà été identifiés lors du 5^{ème} cycle du GIEC, mais plusieurs éléments nouveaux sont apparus comme l'observation effective d'une accélération de la remontée des

niveaux marins, ou comme le ralentissement de la circulation de retournement méridionale Atlantique (*Atlantic Meridional Overturning Circulation* - AMOC), dont l'évidence résulte à la fois d'observations régulières et de reconstitutions paléo-climatiques. De surcroît, des contributions significatives à l'élévation du niveau marin provenant de la perte de masse de la calotte glaciaire Antarctique sont observées alors que les rapports précédents n'en attendaient pas la manifestation avant la fin de ce siècle.

Ces effets d'augmentation de la température, d'acidification et de désoxygénation des océans de même que la dégradation du permafrost sont réputés irréversibles à l'échelle des sociétés humaines ou des écosystèmes. Les effets se prolongeront donc bien après que le niveau de concentration des GES et le forçage radiatif auront été stabilisés, ce qui accroît d'autant les risques et les défis de l'adaptation.

1.1.2 Rétrospective des observations et des connaissances sur les océans

Deux éléments majeurs marquent la question des observations du niveau marin moyen mondial :

- l'accélération du rythme de l'élévation : alors que l'élévation de ce niveau qu'on a pu appeler antérieurement remontée séculaire du niveau marin a atteint 16 cm²⁴ pour la période 1902-2015, le **rythme annuel d'élévation du niveau marin a plus que doublé** en passant de 1,4 mm par an²⁵ pour la période 1901-1990 à 3,6 mm par an pour la période récente de 2006 à 2015.

- **l'ensemble des contributions à cette élévation de niveau provenant de la cryosphère sont devenues dominantes** : 1,8 mm par an, contre 1,4 mm par an pour l'expansion thermique des océans. Pour la période 2006 à 2015, cette valeur de 1,8 mm par an se décompose en 0,77 mm et 0,43 mm par an pour la contribution respective des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, les autres systèmes glaciaires contribuant également à hauteur de 0,61 mm par an.

Le rapport appelle l'attention sur le fait que les observations faites pour les glaciers de l'Antarctique, à l'Ouest au niveau de l'échancrure (*embayment*) que représente la mer d'Amundsen et à l'Est sur la terre de Wilkes montrent une accélération de la fonte et du retrait glaciaire qui pourrait conduire à des élévations de plusieurs mètres d'ici quelques siècles, sachant que pour le moment de fortes incertitudes existent quant au déclenchement de ces instabilités ²⁶.

Deux autres éléments sont mentionnés : **l'élévation de hauteur des houles** qui conduit à des niveaux marins extrêmes accrus, des érosions côtières et des submersions ; elle croîtrait de 8mm par an sur la période 1985-2018 dans l'Atlantique Nord, en partie due à la réduction de la banquise Arctique ; la perte de surface des **zones humides côtières** qui aurait atteint 50 % au cours des cent dernières années.

1.1.3 Projections retenues dans les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

De façon générale, l'océan sera sujet à une période de transition vers des températures plus élevées, une forte stratification des couches océaniques supérieures, une acidification accrue, peut-être aussi une perte d'oxygène dissous. Des vagues de chaleur marines ainsi que les épisodes d'événements extrêmes d'El Niño et de La Niña seront plus fréquents. Enfin la circulation de retournement méridionale Atlantique (AMOC) s'affaiblira.

²⁴ dans une fourchette d'incertitude de 12 à 21 cm

²⁵ dans une fourchette d'incertitude de 0,8 à 2 mm par an

²⁶ Elles peuvent avoir pour origine des observations insuffisantes, une modélisation inadéquate des processus à l'œuvre ainsi qu'une compréhension limitée des interactions existant entre atmosphère, océan et cryo-sphère

Pour les vagues de chaleur marine entre la seconde moitié du XIX^{ème} et les vingt dernières années du XXI^{ème} les modèles climatiques projettent une fréquence accrue d'un facteur 20 dans le scénario RCP 2.6 et 80 dans le scénario 8.5²⁷. De même les niveaux marins extrêmes vont eux aussi se produire plus fréquemment comme l'illustre la figure 10 schématique suivante où l'événement centennal tend à devenir annuel dans le futur projeté.

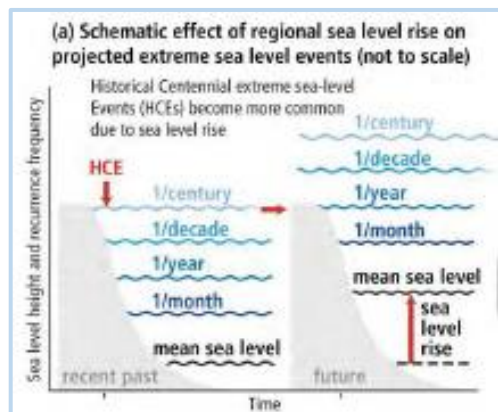


Figure 10 : présentation schématique des projections de niveaux marins extrêmes (source rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère 2019 page 57)

La fourchette d'élévation du niveau marin moyen mondial entre la période 1986-2005 et l'horizon 2100 est **de 29 à 59 cm** dans le scénario 2.6 et de **61 cm à 1,10 m** dans le scénario 8.5, où le rythme annuel atteindra 15 mm par an et excèdera plusieurs centimètres par an à la fin du XXI^{ème} siècle. L'inertie des processus est telle que les projections à **l'horizon 2300** indiquent une fourchette de **2,30 m à 5,40 m** dans le scénario climatique 8.5 tandis que la fourchette du scénario 2.6 se situe entre **0,60 et 1,07m**. Même si pour le moment les processus à l'œuvre dans les instabilités de la calotte glaciaire Antarctique sont encore mal connus, des élévations très supérieures aux évolutions projetées présentent un risque d'impact fort.

I.1.4 Adaptation

Selon le rapport du GIEC l'un des principaux défis est celui de la gouvernance de l'adaptation à cette situation évolutive, notamment dans les zones les plus vulnérables.

Les rapporteurs l'illustrent par exemple en montrant la complexité de cette gouvernance pour les différentes zones maritimes littorales ou hauturières comme l'illustre la figure 11 suivante:

²⁷ Pour la pédagogie de ses travaux les rapporteurs du rapport spécial ont pris les deux scénarios climatiques extrêmes, le 2-6 qui est le plus bas et seul conforme au maintien d'une élévation de température de 1,5°C et le scénario le plus élevé 8.5

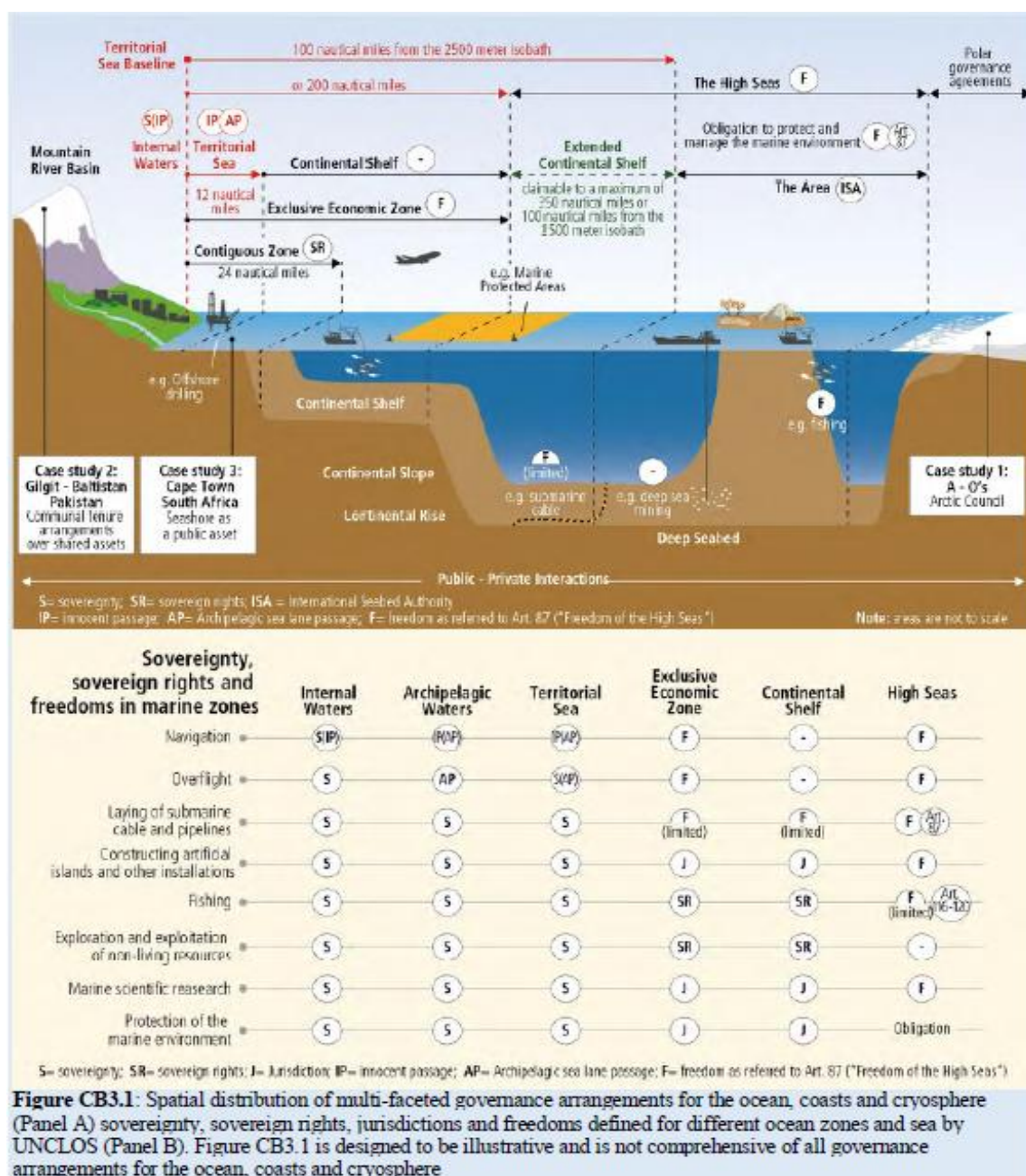


Figure 11 : schématisation des niveaux de gouvernance issue du rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère 2019 chapitre 1 page 96

La question de l'élévation du niveau marin et celle de la fréquence accrue des niveaux marins extrêmes sont parmi les plus difficiles. Elles touchent plus spécialement les zones urbanisées littorales et un certain nombre d'îles atolls, avec une intensité d'autant plus forte qu'on se situe dans les scénarios avec hauts niveaux d'émission de GES.

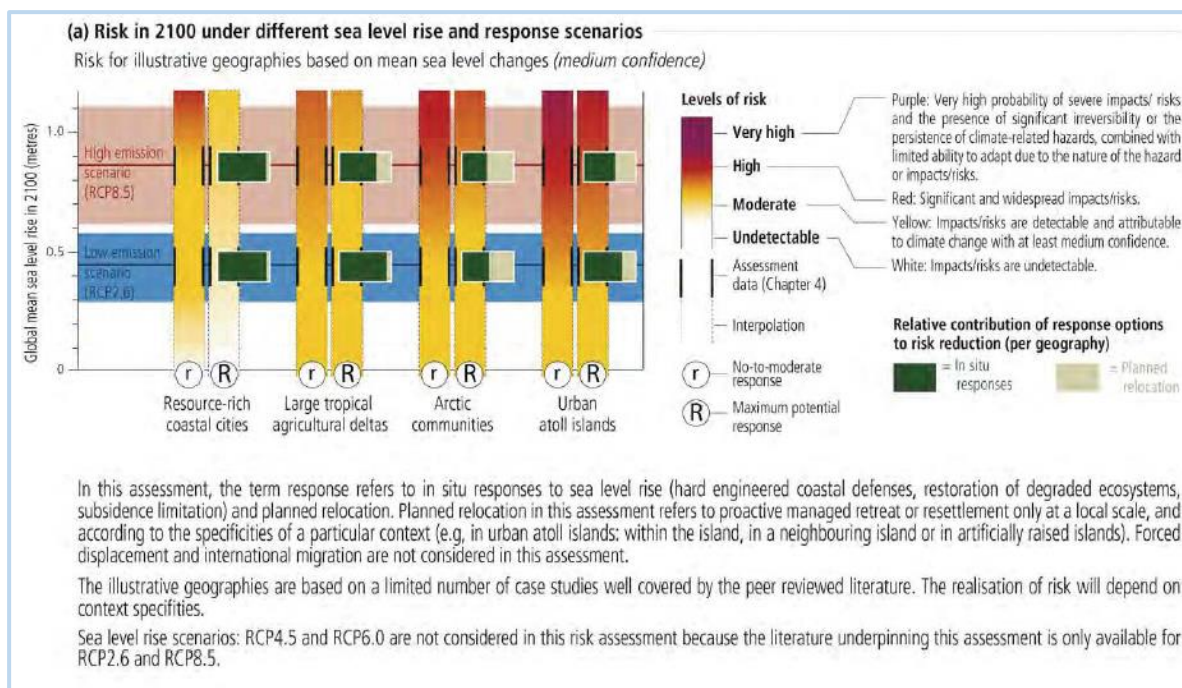


Figure 12 : risques induits par l'élévation des niveaux marins selon les situations – source : rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère 2019 sommaire technique page 59

Cette question de l'adaptation est centrale dans la perspective des travaux du sixième cycle et il est assez logique que le rapport spécial Océan et Cryosphère l'ait abordée à la fois par l'angle de la gouvernance essentielle à sa mise en œuvre et bien évidemment aussi sous l'angle des mesures ou des solutions adaptées.

Ainsi on peut relever que si les protections lourdes sont adaptées à des élévations sensibles des niveaux marins, elles ne pourront concerner que des zones fortement urbanisées avec des enjeux lourds. La recherche de solutions flexibles d'adaptation est préconisée. Nous y reviendrons plus particulièrement dans la suite de ce rapport tout en soulignant que la synthèse pour les décideurs met aussi en avant l'utilité de combiner au mieux atténuation et adaptation comme l'illustre la figure 13 suivante :

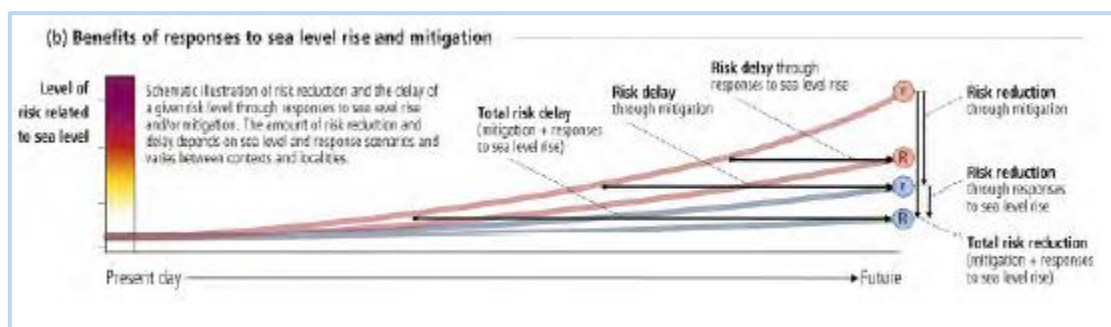


Figure 13 : réponses aux augmentations de niveau marin et atténuation- Source : rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère 2019 sommaire technique page 59

1.2 Les apports du chapitre 4 du rapport Océan et Cryosphère

Les éléments clefs du chapitre 4 sur l'élévation globale du niveau marin portent sur les éléments suivants :

1.2.1 La métrologie et la caractérisation de l'élévation du niveau marin global

Depuis les années 1700, des marégraphes enregistrent les variations relatives du niveau marin par rapport au niveau terrestre où se situent ces appareils. C'est ce que le SHOM indique par exemple avec le marégraphe de Brest depuis 1710 :

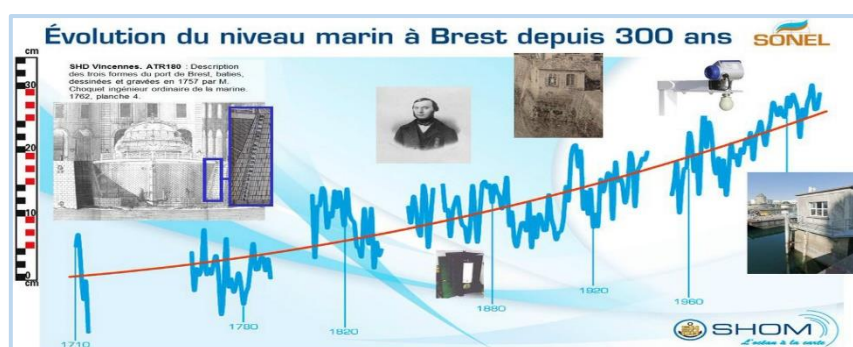
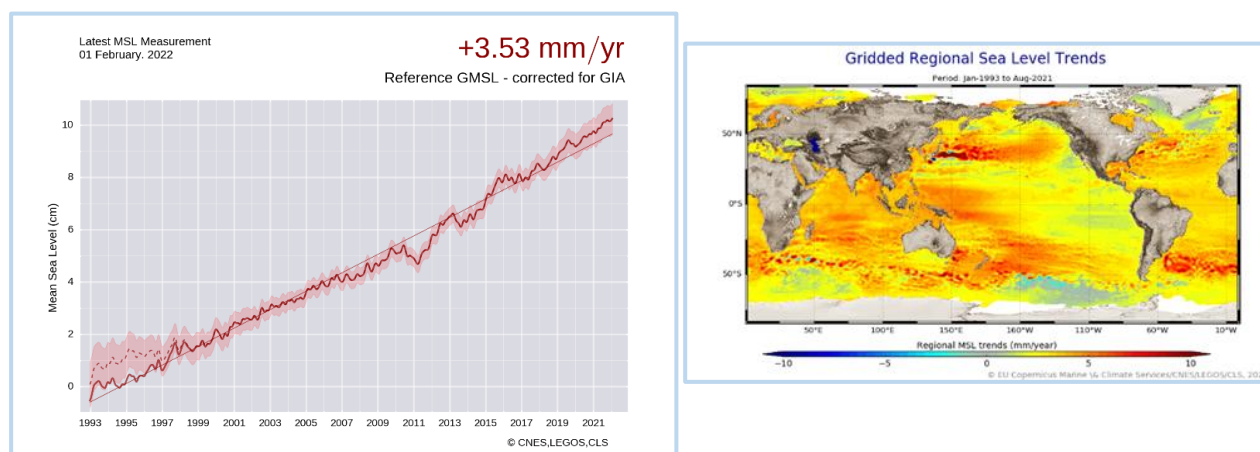


Figure 14 : observations marégraphiques à Brest- source SHOM

Ces observations marégraphiques sont localisées et ont été complétées à partir de 1992 par des observations satellitaires. Celles-ci atteignent aujourd'hui une précision centimétrique avec l'altimétrie de satellites comme Jason²⁸. Les données les plus récentes donnent les valeurs suivantes pour la période 1993-2022²⁹, avec une fourchette d'incertitude à 90 % estimée à 0,4 mm et une forte variabilité régionale de l'ordre de plus ou moins 10 mm par an au maximum :



Figures 15 : augmentation du niveau marin global par voie satellitaire : source CNES/LEGOS/CLS et variation régionale du niveau marin :source UE Copernicus 2022

²⁸ Cf. par exemple <https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/Jason-mesure-niveau-ocean/11-precision-mesures-altimetriques.jpg>

²⁹ https://www.avisio.altimetry.fr/fileadmin/images/data/Products/indic/msl/MSL_Serie_MERGED_Global_AVISO_GIA_Adjust_SerieReference.png

Ces éléments sont développés plus complètement dans la partie II. Ils sont simplement rappelés dans le tableau suivant :

Scénario climatiques	2050 fourchette	2050 moyenne	2100 fourchette	2100 moyenne	2300 fourchette	2300 moyenne
RCP 2.6	17cm à 32 cm	+24 cm	29 cm à 59 cm	+ 43 cm	60 cm à 110 cm	+ 85 cm
RCP 8.5	23 cm à 40 cm	+ 32 cm	61 cm à 110 cm	+ 84 cm	230 cm à 540 cm	+385 cm

De fortes incertitudes encadrent ces projections d'autant plus importantes que l'on se situe à des horizons lointains avec aussi la difficulté à anticiper les réelles conséquences du réchauffement sur les calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland.

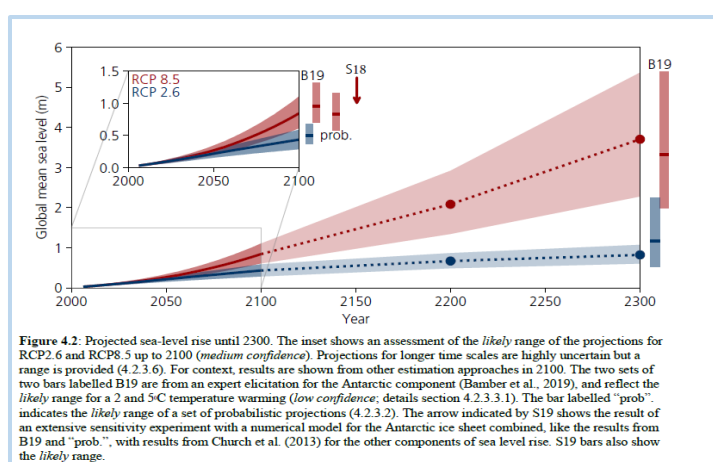


Figure 16 : projections du niveau marin global de 2000 à 2300 – source rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère page 327

1.2.2 Un bref aperçu des conséquences des phénomènes extrêmes sur les niveaux marins extrêmes

Si les niveaux marins extrêmes sont une combinaison des niveaux moyens des mers, des effets locaux, des marées et des surcotes de tempête, il faut se référer au chapitre 6 du rapport Océan et Cryo-sphère qui détaille davantage les risques induits par ces événements hydrométéorologiques générateurs. On peut se contenter de lister ici :

a) Des perturbations de la circulation océanique de l'Atlantique Sud (AMOC ou *Atlantic Meridional Overturning circulation*) qui, si elle venait à s'effondrer, engendrerait entre autres des hivers beaucoup plus sévères en Europe.

b) Sur les houles et niveaux extrêmes et sur la base de 91 publications, un consensus semble s'être établi pour considérer un accroissement des houles significatives dans les océans de l'hémisphère Sud, du Pacifique Est tropical et de la Baltique et des diminutions dans l'Atlantique Nord et la Méditerranée.

c) Sur les niveaux marins extrêmes, un travail du JRC (*Joint Research Centre*) européen ³⁰

³⁰ **Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts** by Michalis I. Voudoukas (1),(2) , Lorenzo Mentaschi (1) , Evangelos Voukouvalas(1) ,Martin Verlaan(3), and Luc Feyen

donne par exemple les élévations de niveau centennal aux horizons 2050 et 2100 dans les scénarios climatiques RCP 4.5 et 8.5 : une vingtaine de centimètres en 2050 et une cinquantaine en 2100 avec 4.5 ; environ 25 centimètres en 2050 et environ 80 cm en 2100 avec 8.5. La France métropolitaine est concernée sur les zones Ouest-Méditerranée, golfe de Gascogne, et la partie méridionale de la zone Atlantique Nord.

d) Accroissement des vagues de chaleur marine

Des projections sont aussi proposées à l'horizon 2100 par le rapport pour les scénarios RCP 2.6 et 8.5.

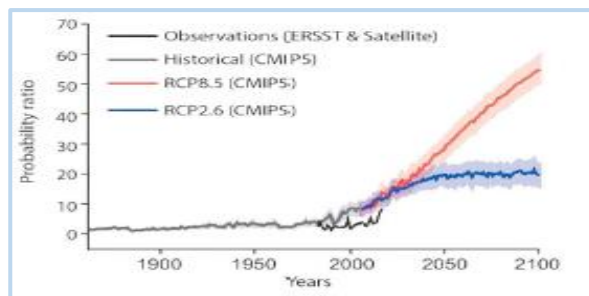
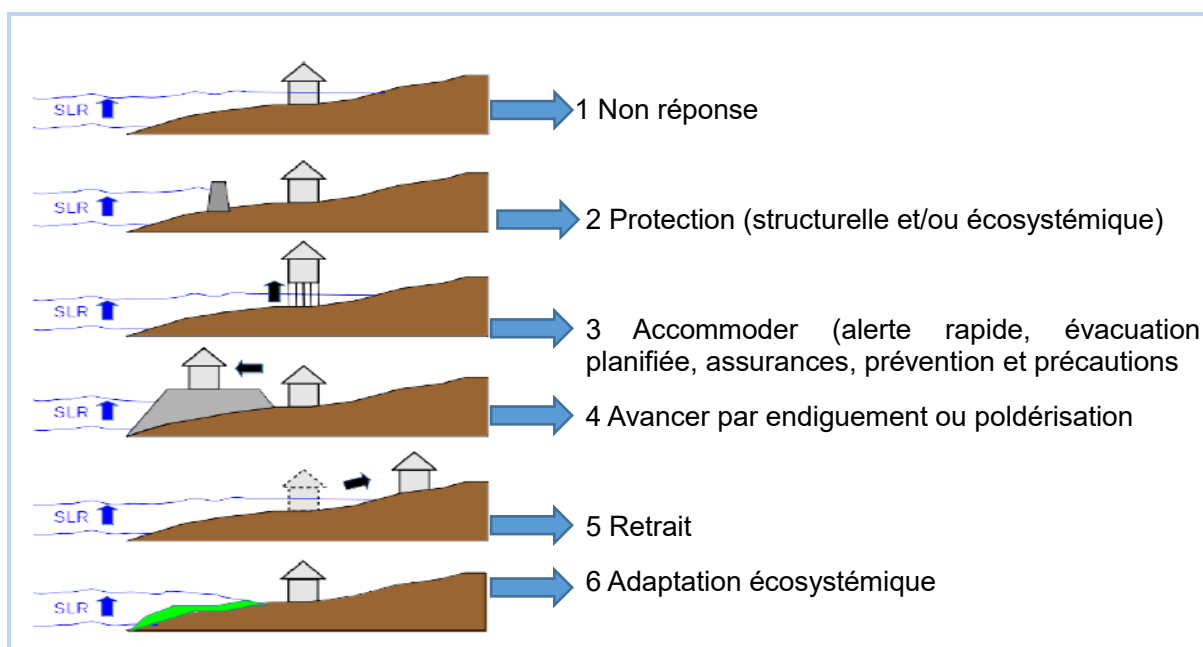


Figure 17 : projections du niveau marin global de 2000 à 2300 – source rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère page 327

1.2.3 Les stratégies d'adaptation alternatives

Elles sont schématisées à grands traits dans le schéma ci-dessous pour l'adaptation au relèvement des niveaux marins :



Nous pouvons aussi rappeler les enseignements qui avaient été déduits antérieurement par le collège MFL :

En effet la régionalisation des analyses est un élément clef :

- d'une part l'approfondissement de la projection réalisée par Vousdoukas et al. (2017) sur la projection des niveaux extrêmes le long des côtes européennes mérite d'être souligné

Table 1. Table Summarizing the Projected Absolute and Relative Changes of the 100-Year Event ESL (Δ ESL and $\% \Delta$ ESL) Under RCP4.5 and RCP8.5, During the Years 2050 and 2100

Area	RCP45-2050			RCP45-2100			RCP85-2050			RCP85-2100		
	Δ ESL (m)	$\% \Delta$ ESL	$\% \Delta \eta_{W-SS}$	Δ ESL (m)	$\% \Delta$ ESL	$\% \Delta \eta_{W-SS}$	Δ ESL (m)	$\% \Delta$ ESL	η_{W-SS}	Δ ESL (m)	$\% \Delta$ ESL	$\% \Delta \eta_{W-SS}$
Black Sea	0.25	18.6	7.9	0.60	44.2	4.2	0.27	19.7	5.0	0.81	60.1	1.1
East Mediterranean	0.20	14.3	-5.9	0.53	38.8	-1.1	0.22	16.0	-6.7	0.71	52.3	-8.6
Central Mediterranean	0.19	12.1	-0.8	0.53	33.4	2.5	0.24	14.9	8.6	0.75	47.8	-0.9
West Mediterranean	0.20	15.8	-1.1	0.51	41.0	-0.3	0.24	19.7	9.6	0.75	60.7	2.5
S-North Atlantic	0.18	4.9	-13.8	0.48	12.9	-17.8	0.18	4.9	-29.2	0.66	17.8	-19.4
Bay of Biscay	0.18	4.0	-10.3	0.53	11.6	-9.2	0.22	4.9	-8.2	0.80	17.4	-1.6
N-North Atlantic	0.27	4.7	28.9	0.64	11.3	13.8	0.29	5.2	27.5	0.88	15.7	17.0
North Sea	0.35	7.9	53.5	0.75	17.0	27.4	0.35	7.9	32.4	0.98	22.1	20.2
Baltic Sea	0.27	12.9	58.9	0.55	26.2	31.3	0.31	14.8	65.4	0.88	42.3	36.9
Norwegian Sea	0.21	5.1	18.1	0.46	11.2	9.5	0.23	5.7	-0.8	0.64	15.4	-5.8
Europe	0.25	8.3	18.5	0.57	19.4	9.5	0.27	9.2	15.7	0.81	27.3	7.1

ESLs, extreme sea levels; RCP, Representative Concentration Pathway.
 $\% \Delta \eta_{W-SS}$ expresses how much of the projected change can be attributed to changes in extreme waves and storm surges, considering again the 100-year event.

Figure 18 : évolution des niveaux marins extrêmes en Europe selon étude Vousoukas et al. 2017

<https://doi.org/10.1002/2016EF000505>

- et d'autre part on peut rappeler que dans le rapport de mars 2015 intitulé « Le climat de la France au XXIème siècle » : tome V « changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises », il était suggéré en page 28 :

« En conclusion, une étude de l'évolution du niveau de la mer au niveau des côtes françaises (métropole et DOM-COM) prenant en compte l'ensemble des processus, reste à réaliser. »

I.3 Les apports du chapitre 6 du rapport Océan et Cryosphère

Le chapitre 6 aborde la question très difficile à appréhender des événements extrêmes et des changements brutaux ou irréversibles au niveau des océans ou plus particulièrement de la cryosphère induits par l'évolution plus ou moins rapide du changement climatique et insiste pour préconiser une nouvelle forme d'adaptation qui ne soit pas simplement progressive mais capable d'induire des transformations rapides au cas où des seuils ou des points de basculement (*tipping points*) sont atteints.

1.3.1 Événements extrêmes

Les événements extrêmes considérés ou les irréversibilités portent principalement sur les sujets suivants :

- 1- les cyclones
- 2- les vagues de chaleur marine
- 3- la circulation de retournement méridionale Atlantique
- 4- les niveaux marins extrêmes

Un recensement de ces épisodes extrêmes est donné avec un zoom sur plusieurs cas dont nous relaterons celui des ouragans de 2017 en Atlantique.

1- Un grand nombre de **cyclones tropicaux ou extra-tropicaux**, dont l'origine résulte du changement climatique d'origine anthropique, se sont accompagnés de précipitations accrues, de vents et de niveaux marins extrêmes.

2- Les **vagues de chaleur marine** marquées par des températures marines très élevées et qui impactent les organismes et écosystèmes sur tous les océans ont doublé de fréquence entre 1982 et 2016 et sont devenues plus longues, plus intenses et plus étendues. Entre 2006 et 2015, 84 à 90 % d'entre elles sont liées à l'élévation de température qui s'est produite depuis la période 1850-1900. Elles croîtront en fréquence, en durée, en extension et en intensité sous l'effet du réchauffement ce qui conduira des organismes marins, des pêches et des écosystèmes à dépasser les limites de leur résilience.

3- L'élévation des niveaux marins contribuera à celle **des niveaux marins extrêmes** celle-ci étant aggravée lors des tempêtes extrêmes ou des cyclones tropicaux.

Une étude de cas a d'ailleurs été produite sur les tempêtes de 2017 en Atlantique: se sont succédées en effet les trois tempêtes Harvey, Irma et Maria dans la zone Caraïbe et méridionale des États-Unis, ce qui en a fait la saison cyclonique la plus dommageable connue. Sans qu'il soit possible pour le moment d'identifier les effets de long terme liés au réchauffement climatique, les observations confirment une forte augmentation de la température des eaux de surface du golfe du Mexique et de la plupart des océans. Pour la tempête Harvey qui a produit une surcote de deux mètres dans plusieurs régions, l'intensité des précipitations a été sans précédent et il a pu être estimé que la probabilité de pluies localisées dépassant les 500 mm qui se situait autour de 1 % de 1981 à 2000, serait passée à 6 % en 2017 et atteindrait 18 % entre 2081 et 2100, dans le scénario climatique RCP 8.5. De même, pour la tempête Irma qui a touché les îles de la Barbade et de Cuba, il est estimé que l'observation de pics de vent de 160 nœuds à moins de 300 km des côtes de la Barbade serait passée de 0,13 % sur la période 1981-2000, à 0,43 % en 2017 et atteindrait une fréquence triple de 1,3 % entre 2081 et 2100, également dans le scénario climatique RCP 8.5.

1.3.2 Changements brutaux et irréversibles

Parmi les changements brutaux et irréversibles pris en considération, le rapport considère le ralentissement accéléré de la circulation de retournement méridionale Atlantique, la disparition des couvertures glaciaires de l'Antarctique Ouest et du Groenland qui s'ils venaient à se produire induiraient un accroissement considérable des dommages liés aux émissions de GES. À l'inverse, toute politique affirmée de réduction des GES réduit les risques liés à ces changements brutaux ou extrêmes possibles.

Pour le sujet de la **circulation de retournement méridionale Atlantique** par exemple, les conséquences se feraient sentir globalement avec une baisse des précipitations au Sahel et de la mousson en Asie, ainsi qu'avec un accroissement des niveaux marins en Atlantique et des hivers plus rigoureux en Europe. Celle-ci s'est en effet ralentie depuis l'ère préindustrielle. Elle continuera à se ralentir au cours du XXI^{ème} siècle, vraisemblablement sans disparaître, même si sa disparition reste un scénario plausible au plan physique, ce qui tendrait à accréditer le fait qu'en

réduisant l'émission des GES cette situation serait évitée.

Toute la question qui se pose ensuite consiste à déterminer comment aborder ces risques qu'il n'est guère possible de quantifier en termes de probabilité d'occurrence mais dont les conséquences dommageables peuvent être quantifiées.

1.3.3 Adaptation dynamique

Sans aller dans le détail des mécanismes à mettre en place pour une meilleure adaptation (comme le couplage entre mécanismes assurantiels et mesures de réduction des risques), le rapport insiste, dans l'exemple des cyclones tropicaux ou extratropicaux, sur la nécessaire combinaison des systèmes de protections (écosystémiques ou d'ingénierie), sur les mesures de gestion des inondations ou des submersions, ainsi que sur les systèmes d'alerte précoce pour réduire les dommages, sachant qu'ils peuvent se heurter à des capacités limitées d'adaptation dans plusieurs zones géographiques.

Le rapport met aussi en avant la combinaison des aléas qui peuvent avoir des effets dominos (*cascading effects*).

Il en résulte la nécessité de ne pas se limiter à l'approche incrémentale actuelle, mais que l'identification des changements brutaux et irréversibles liés à des points de basculement et leurs effets locaux doivent modifier la gouvernance de l'adaptation en profondeur pour aborder une véritable adaptation dynamique (transformation adaptation) ; l'une des questions centrales à se poser consistant à savoir si la modification des événements extrêmes, que ces changements brutaux et irréversibles induiront, se traduira simplement par une amplification de conséquences déjà identifiées ou si des conditions radicalement différentes pourront se produire. Une autre question posée consiste à parvenir avec les populations concernées à un consensus suffisant sur l'analyse de ces effets et des mesures à prendre en conséquence, le cas le plus évident étant celui du retrait en cas d'élévation considérable des niveaux marins suite à la fonte des calottes glaciaires.

Le rapport appelle d'ailleurs de ses vœux la mise au point de nouveaux outils de modélisation susceptibles d'intégrer ces préoccupations au niveau local.

1.4 Les apports maritimes du rapport scientifique AR6 du GIEC

Introduction

Le résumé à l'intention des décideurs (SPM) présente les principales conclusions de la contribution du Groupe de travail I (GTI) au Sixième rapport d'évaluation (AR6)³¹ du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur les bases scientifiques physiques du changement climatique. Le rapport s'appuie sur la contribution du Groupe de travail I de 2013 au cinquième rapport d'évaluation (AR5) du GIEC et sur les rapports spéciaux 2018-2019 du GIEC³² du cycle AR6 et intègre de nouvelles preuves ultérieures issues de la science du climat³³.

Ce SPM fournit un résumé de haut niveau de la compréhension de l'état actuel du climat, y compris la façon dont il change et le rôle de l'influence humaine, l'état des connaissances sur les futurs climatiques possibles, les informations climatiques pertinentes pour les régions et les secteurs, et les limites d'adaptation au changement climatique induit par l'homme.

31 Décision IPCC/XLVI-2.

32 Les trois rapports spéciaux sont les suivants : Réchauffement planétaire de 1,5 °C : Un rapport spécial du GIEC sur les impacts d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels et les voies d'émission mondiales de gaz à effet de serre connexes, dans le contexte du renforcement de la réponse mondiale à la menace du changement climatique, le développement durable et les efforts pour éradiquer la pauvreté (SR1.5) ; Changement climatique et terres : Un rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres (SRCCL) ; Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution (SROCC).

33 L'évaluation porte sur la littérature scientifique acceptée pour publication au 31 janvier 2021

Sur la base d'une compréhension scientifique, les principales conclusions peuvent être formulées sous forme d'énoncés de faits ou associées à un niveau de confiance évalué indiqué à l'aide du langage calibré du GIEC³⁴.

1.4.1 L'état actuel du climat

Il est sans équivoque que l'influence humaine a réchauffé l'atmosphère, l'océan et la terre. Des changements étendus et rapides dans l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la biosphère se sont produits.

L'influence humaine a réchauffé le climat à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans.

L'ampleur des changements récents dans l'ensemble du système climatique – et l'état actuel de nombreux aspects du système climatique – sont sans précédent depuis des siècles voire des milliers d'années.

Le niveau moyen mondial de la mer a augmenté plus rapidement depuis 1900 qu'au cours de tout siècle précédent au moins au cours des 3000 dernières années (confiance élevée). L'océan mondial s'est réchauffé plus rapidement au cours du siècle dernier que depuis la fin de la dernière glaciation (il y a environ 11 000 ans) (confiance moyenne).

Le changement climatique induit par l'homme affecte déjà de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes dans toutes les régions du monde. Les preuves des changements observés dans les extrêmes tels que les vagues de chaleur, les fortes précipitations, les sécheresses et les cyclones tropicaux, et, en particulier, leur attribution à l'influence humaine, se sont renforcées depuis le AR5.

Le changement climatique affecte déjà toutes les régions habitées du monde, l'influence humaine contribuant à de nombreux changements observés dans les extrêmes météorologiques et climatiques.

Une meilleure connaissance des processus climatiques, des preuves paléo-climatiques et de la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif donne une meilleure estimation de la sensibilité climatique à l'équilibre de 3°C, avec une fourchette plus étroite par rapport à l'AR5.

Le réchauffement du système climatique a entraîné une élévation du niveau moyen mondial de la mer en raison de la perte de glace sur les terres et de l'expansion thermique due au réchauffement des océans. Ces éléments sont développés plus avant dans la partie II.

1.4.2 Les possibles changements climatiques futurs

Un ensemble de cinq nouveaux scénarios d'émissions illustratifs est pris en compte de manière cohérente dans ce rapport pour explorer la réponse climatique à une gamme plus large de futurs gaz à effet de serre (GES), d'utilisation des sols et de polluants atmosphériques que celle évaluée dans l'AR5. Cet ensemble de scénarios oriente les projections des modèles climatiques sur les changements du système climatique. Ces projections tiennent compte de l'activité solaire et du forçage de fond des volcans. Les résultats sur le XXI^{ème} siècle sont fournis pour le court terme (2021-2040), le moyen terme (2041-2060) et le long terme (2081-2100) par rapport à 1850-1900, sauf indication contraire.

Pour la première fois dans un rapport du GIEC, les changements futurs évalués de la température

34 Chaque constatation est fondée sur une évaluation des preuves sous-jacentes et de la concordance. Un niveau de confiance est exprimé à l'aide de cinq qualificatifs : très faible, faible, moyen, élevé et très élevé, et écrit en italique, par exemple, confiance moyenne. Les termes suivants ont été utilisés pour indiquer la probabilité évaluée d'un résultat ou d'un résultat : probabilité pratiquement certaine de 99 à 100 % ; très probablement 90 à 100 % ; probablement 66 à 100 % ; à peu près aussi probable qu'improbable 33 à 66 % ; improbable 0–33 % ; très improbable 0–10 % ; et exceptionnellement improbable 0–1 %. Des termes supplémentaires (extrêmement probable 95 à 100 % ; plus probable qu'improbable > 50 à 100 % ; et extrêmement improbable 0 à 5 %) sont également utilisés le cas échéant. La vraisemblance évaluée est écrite en italique, par exemple, très probable. Ceci est cohérent avec AR5. Dans le présent rapport, sauf indication contraire, les crochets [x à y] sont utilisés pour indiquer la fourchette très probable évaluée, ou intervalle de 90 %.

de surface mondiale, du réchauffement des océans et du niveau de la mer sont construits en combinant des projections multi-modèles avec des contraintes d'observation basées sur le réchauffement passé simulé, ainsi que l'évaluation AR6 de la sensibilité climatique.

La température à la surface de la planète continuera d'augmenter jusqu'au moins au milieu du siècle dans tous les scénarios d'émissions envisagés. Les réchauffements planétaires de 1,5°C et 2°C seront dépassés au cours du XXI^{ème} siècle, à moins que des réductions importantes des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre ne se produisent dans les décennies à venir.

De nombreux changements dans le système climatique s'amplifient en relation directe avec l'augmentation du réchauffement climatique. Ils comprennent des augmentations de la fréquence et de l'intensité des températures extrêmes, des vagues de chaleur marines, des fortes précipitations et, dans certaines régions, des sécheresses agricoles et écologiques ; une augmentation de la proportion de cyclones tropicaux intenses ; et la réduction de la banquise arctique, de la couverture neigeuse et du pergélisol.

Avec chaque augmentation du réchauffement climatique, les changements s'amplifient dans la température moyenne régionale, les précipitations et l'humidité du sol.

Les changements projetés dans les extrêmes sont plus importants en fréquence et en intensité à chaque augmentation supplémentaire du réchauffement climatique.

La poursuite du réchauffement climatique devrait intensifier davantage le cycle mondial de l'eau, y compris sa variabilité, les précipitations mondiales de mousson et la gravité des événements humides et secs.

Selon les scénarios d'augmentation des émissions de CO₂, les puits de carbone océaniques et terrestres devraient être moins efficaces pour ralentir l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère.

La proportion des émissions de CO₂ absorbée par les puits de carbone terrestres et océaniques est plus faible dans les scénarios avec des émissions cumulées de CO₂ plus élevées.

De nombreux changements dus aux émissions de gaz à effet de serre passées et futures sont irréversibles pendant des siècles, voire des millénaires, en particulier les changements dans l'océan, les calottes glaciaires et le niveau mondial de la mer.

Il est pratiquement certain que le niveau moyen mondial de la mer continuera d'augmenter au cours du XXI^{ème} siècle.

Une élévation du niveau moyen mondial de la mer au-dessus de la plage probable - approchant 2 m d'ici 2100 et 5 m d'ici 2150 dans le cadre d'un scénario d'émissions de GES très élevées (SSP5-8.5) (confiance faible) - ne peut être exclue en raison de la profonde incertitude entourant les processus de la calotte glaciaire.

À plus long terme, le niveau de la mer est appelé à s'élever pendant des siècles, voire des millénaires en raison du réchauffement continu des océans profonds et de la fonte de la calotte glaciaire et restera élevé pendant des milliers d'années (degré de confiance élevé). Au cours des 2000 prochaines années, le niveau moyen global de la mer augmentera d'environ 2 à 3 m si le réchauffement est limité à 1,5°C, de 2 à 6 m, s'il est limité à 2°C et de 19 à 22 m avec un réchauffement de 5°C, et il continuera d'augmenter au cours des millénaires suivants.

Les activités humaines affectent toutes les principales composantes du système climatique, certaines réagissant sur des décennies et d'autres sur des siècles

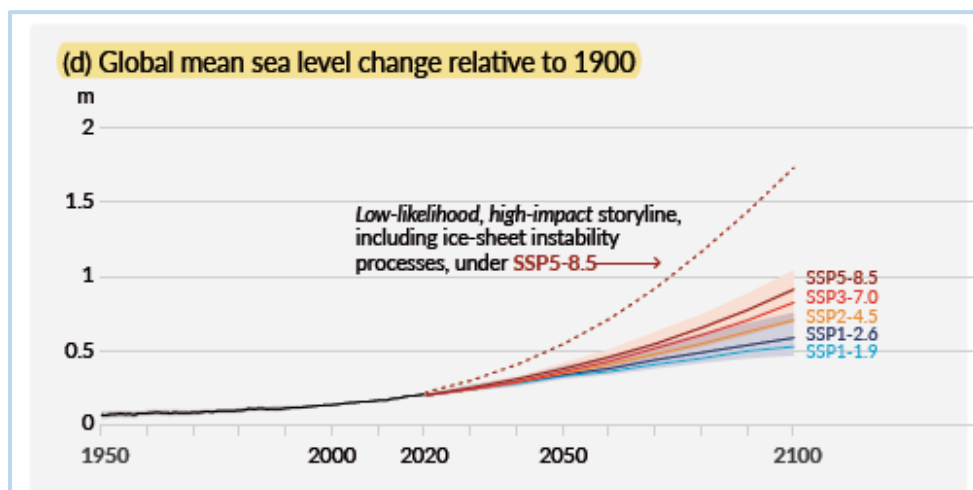
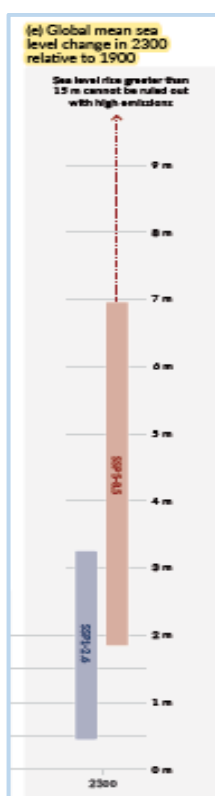


Figure 19 : Changement du niveau moyen global de la mer en mètres par rapport à 1900 observé depuis 1950 et projeté jusqu'en 2100 ; source rapport GT1 cycle 6 du GIEC sur la base de la science physique- page 22

Seules les plages probables sont évaluées pour les changements du niveau de la mer en raison des difficultés à estimer la distribution de processus profondément incertains.

Les changements par rapport à 1900 sont calculés en ajoutant 0,158 m (élévation moyenne mondiale observée du niveau de la mer de 1900 à 1995-2014) aux changements simulés et observés par rapport à 1995-2014.



Dans la figure 19 bis ci-contre (Figure 19 bis : changement du niveau moyen global de la mer à 2300 en mètres par rapport à 1900 ; source : rapport GT1 cycle 6 du GIEC sur la base de la science physique - page 22), seuls SSP1-2.6 et SSP5-8.5 sont projetés à 2300, car les simulations qui s'étendent au-delà de 2100 pour les autres scénarios sont trop peu nombreuses pour des résultats robustes. Les plages du 17e au 83e centile sont ombrées. La flèche en pointillés illustre le 83e centile des projections SSP5-8.5 qui incluent des processus de calotte glaciaire à faible probabilité et à fort impact qui ne peuvent être exclus.

1.4.3 Informations climatiques pour l'évaluation des risques et l'adaptation régionale

Les facteurs naturels et la variabilité interne moduleront les changements causés par l'homme, en particulier à l'échelle régionale et à court terme, avec peu d'effet sur le réchauffement climatique centennal. Ces modulations sont importantes à prendre en compte lors de la planification de toute la gamme des changements possibles.

Avec la poursuite du réchauffement climatique, chaque région devrait connaître de plus en plus de changements simultanés et multiples dans les facteurs d'impact climatique. Les changements de plusieurs facteurs d'impact climatique seraient plus répandus à 2°C par rapport au réchauffement climatique de 1,5°C et encore plus répandus et/ou prononcés pour des niveaux de réchauffement plus élevés.

Il est pratiquement certain que l'élévation moyenne régionale du niveau relatif de la mer se poursuivra tout au long du XXI^{ème} siècle, sauf dans quelques régions où les taux de soulèvement géologique des terres sont importants.

Environ les deux tiers du littoral mondial ont une élévation régionale prévue du niveau relatif de la mer à $\pm 20\%$ de l'augmentation moyenne mondiale (degré de confiance moyen). En raison de l'élévation relative du niveau de la mer, les événements extrêmes du niveau de la mer qui se sont produits une fois par siècle dans un passé récent devraient se produire au moins une fois par an à plus de la moitié de tous les emplacements des marégraphes d'ici 2100 (confiance élevée). L'élévation relative du niveau de la mer contribue à l'augmentation de la fréquence et de la gravité des inondations côtières dans les zones basses et à l'érosion côtière le long de la plupart des côtes sablonneuses (confiance élevée).

Dans les villes côtières, la combinaison d'événements extrêmes du niveau de la mer plus fréquents (en raison de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête) et d'événements extrêmes de pluie/débit fluvial rendra les inondations plus probables (degré de confiance élevé).

De multiples facteurs d'impact climatique devraient changer dans toutes les régions du monde.

Les résultats à faible probabilité, tels que l'effondrement de la calotte glaciaire, les changements brusques de la circulation océanique, certains événements extrêmes composés et un réchauffement nettement supérieur à la fourchette très probable évaluée du réchauffement futur, ne peuvent être exclus et font partie de l'évaluation des risques.

1.4.4 Limiter les changements climatiques futurs

Du point de vue des sciences physiques, limiter le réchauffement climatique induit par l'homme à un niveau spécifique nécessite de limiter les émissions cumulées de CO₂, d'atteindre au moins zéro émission nette de CO₂, ainsi que de fortes réductions des autres émissions de gaz à effet de serre. Des réductions fortes, rapides et soutenues des émissions de CH₄ limiteraient également l'effet de réchauffement résultant de la diminution de la pollution par les aérosols et amélioreraient la qualité de l'air.

Il faudrait plusieurs siècles, voire des millénaires, pour que le niveau moyen mondial de la mer s'inverse, même en présence d'importantes émissions nettes négatives de CO₂ (degré de confiance élevé).

Les scénarios avec des émissions de GES très faibles ou faibles (SSP1-1.9 et SSP1-2.6) entraînent en quelques années des effets perceptibles sur les concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols et sur la qualité de l'air, par rapport aux scénarios d'émissions de GES élevées et très élevées (SSP3-7.0 ou SSP5-8.5). Dans ces scénarios contrastés, des différences perceptibles dans les tendances de la température de surface mondiale commenceraient à émerger de la variabilité naturelle dans environ 20 ans, et sur des périodes plus longues pour de nombreux autres facteurs d'impact climatique (confiance élevée).

Les scénarios avec des émissions de GES très faibles et faibles (SSP1-1.9 et SSP1-2.6) conduiraient à des changements sensiblement plus faibles dans une fourchette de CID³⁵ au-delà de 2040 que dans le cas de scénarios d'émissions de GES élevées et très élevées (SSP3-7.0 et SSP5-8.5). D'ici la fin du siècle, des scénarios d'émissions de GES, très faibles et faibles, limiteraient fortement l'évolution de plusieurs CID, comme l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes du niveau de la mer, les fortes précipitations et les inondations pluviales, et le dépassement des seuils de chaleur dangereuse, tout en limitant le nombre de régions où de tels

³⁵ CID *Climate impact driver* ou inducteur d'impact climatique, tels l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes du niveau de la mer, les fortes précipitations et les inondations pluviales, et le dépassement des seuils de chaleur dangereuse

dépassements se produisent, par rapport aux scénarios d'émissions de GES plus élevées (confiance élevée).

L'adaptation spécifique des territoires littoraux est développée dans l'annexe 2 dans la mesure où elle ne représentait pas le sujet central des questionnaires d'infrastructure considérés.

I.5 Les apports scientifiques disponibles pour la navigation fluviale

Après avoir identifié les principales sources scientifiques utiles à ses travaux le sous-groupe fluvial de la mission s'est concentré sur les travaux Explore 2070 qui sont en cours d'actualisation selon un calendrier précisé en annexe 3.

VNF a réalisé une synthèse des travaux correspondants pour les besoins du groupe de travail :

I.5.1 Synthèse du projet Explore 2070

Le projet Explore 2070, qui s'est déroulé de juin 2010 à octobre 2012, a été porté par la direction de l'eau et de la biodiversité du MEDDE (ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie entre 2012 et 2016) avec la participation de l'Onema, du CETMEF, des agences de l'eau, des DREAL de bassin, du CGDD, de la DGEC et de la DGPR. Il avait pour objectif d'évaluer l'impact possible du changement climatique sur les eaux superficielles, principalement en termes de débits de cours d'eau mais aussi de température de l'eau sur la base du scénario d'évolution climatique A1B du GIEC, à l'horizon 2046-2065. Il est, à ce jour le projet de référence du MTES (ministère de la transition écologique et solidaire) sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau.

On distingue cinq grandes thématiques :

- **Hydrologie de surface**
- **Hydraulique souterraine**
- **Écosystèmes aquatiques**
- Milieux côtiers
- Prospective socio-économique et démographique

Cette contribution de VNF présente les résultats obtenus des études portant sur les trois premières thématiques et plus particulièrement sur l'hydrologie de surface.

La méthodologie utilisée

L'objectif de cette étude étant de réaliser une évaluation de l'impact possible du changement climatique sur les ressources en eau superficielles à l'horizon **2070**, une chaîne de modélisation a été mise en place afin d'établir des simulations de débits journaliers en temps présent (1962-1991) et en temps futur (2046-2075) au droit de 1522 points de calculs situés sur le réseau hydrographique de la Métropole.

Sept modèles de circulation générale (MCG) simulant les écoulements atmosphériques et océaniques, forcés par le scénario A1B ont permis de simuler le climat présent et le climat futur possible à une résolution spatiale de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres sous la forme de séries de précipitations, températures et évapotranspiration potentielle (ETP). Les résultats ont été désagrégés par une méthode de descente d'échelle statistique par type de temps.

À noter que le scénario A1B du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) est un scénario médian (ni optimiste ni pessimiste) qui conduit à une augmentation de la température moyenne mondiale de + 2.8°C en 2100 par rapport à l'an 2000. Le choix de ce scénario a été fait compte tenu de la disponibilité des données nécessaires à l'étude au moment de son lancement. **On notera que les résultats hydrologiques finaux pourraient être fortement influencés par ce choix de scénario, sans que l'on puisse toutefois le mesurer.**

Les données de sorties de ces modèles ont ensuite été utilisées en entrée de deux modèles hydrologiques (le modèle GR4J et le modèle Safran-Isba-Modcou) afin de simuler les débits présents et futurs possibles aux exutoires de bassins et ainsi d'appréhender les changements hydrologiques possibles en ces points.

Les résultats ne constituent pas des prévisions mais des projections visant à donner une image des états possibles des cours d'eau français à l'horizon 2050-2070. Il est donc important de garder à l'esprit que de nombreuses incertitudes sont attachées à tous les résultats produits.

Les impacts du changement climatique selon EXPLORE 2070

Climatologie

Tous les modèles s'accordent sur une augmentation uniforme des températures comprise entre 1,4 et 3°C en moyenne annuelle. En période estivale, l'écart de température est plus élevé que sur les autres périodes (**+ 2.2 à 2.5 °C**). En hiver, les écarts les plus élevés sont dans le Nord-Est et diminuent en allant vers le Sud-Ouest. Etant donné que l'évapotranspiration est un phénomène contrôlé principalement par les évolutions de températures, les résultats traduisent une augmentation de sa valeur moyenne annuelle. En ce qui concerne les précipitations, une tendance à la baisse apparaît sur la moyenne multi-modèle. En hiver et en automne aucune tendance significative ne se dégage à l'échelle du territoire. C'est en été que la baisse est significative : **23 % à 16 %** de la valeur moyenne de référence. L'extrême Sud-Ouest est déficitaire dans la majorité des cas.

Hydrologie

Ressource moyenne annuelle

Les résultats des modèles montrent une baisse globale significative des débits moyens annuels sur toute la métropole à l'exception des affluents rive droite du bas Rhône (projections en désaccord). Pour une majorité de points, le débit moyen annuel pourrait baisser de l'ordre de 10 à 40 %.

Cette baisse est particulièrement forte sur le district Adour-Garonne pour les cours d'eau des contreforts pyrénéens et dans une moindre mesure sur le district Seine-Normandie avec des baisses de 10 à 60 %.

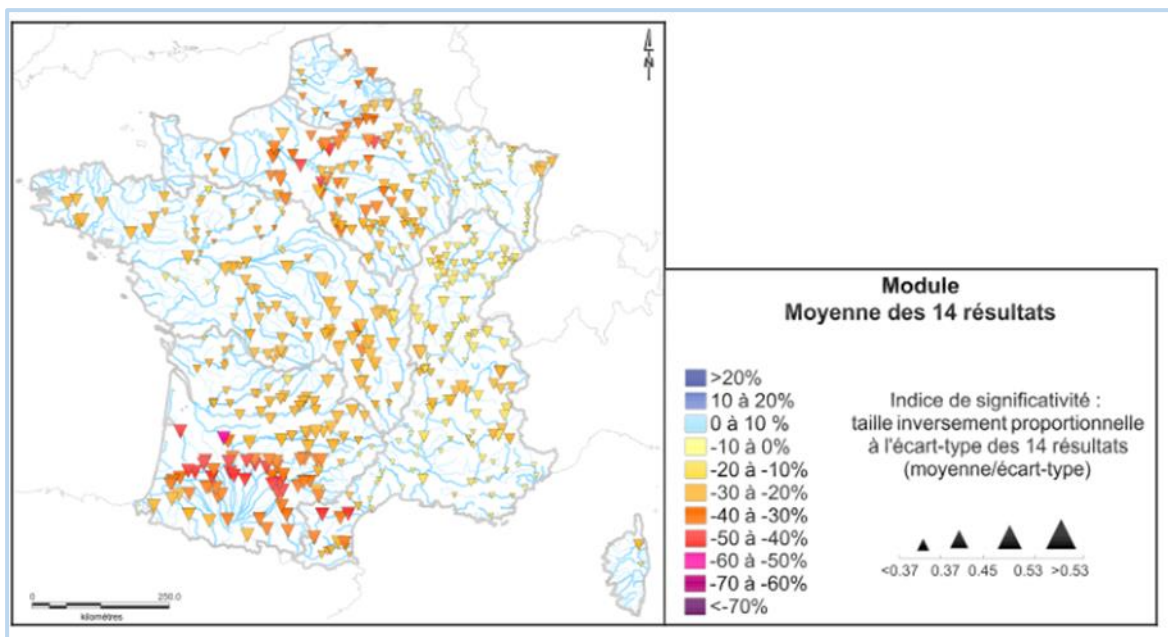


Figure 20 : évolutions relatives possibles (en %) du débit moyen annuel (module) entre 1961-90 et 2046-65.

Débits d'étiage

Les projections vont dans le sens d'une baisse générale des débits d'étiage pour la majorité des bassins de la métropole et tous les modèles convergent vers des étiages plus sévères sur les exutoires des grands bassins versants français mais cependant avec des résultats hétérogènes d'un bassin à l'autre. Cette baisse est plus sévère que pour les débits moyens. En effet, la baisse du QMNA5 (débit mensuel minimal annuel de période de retour 5 ans) est de l'ordre de 5 à 65 %.

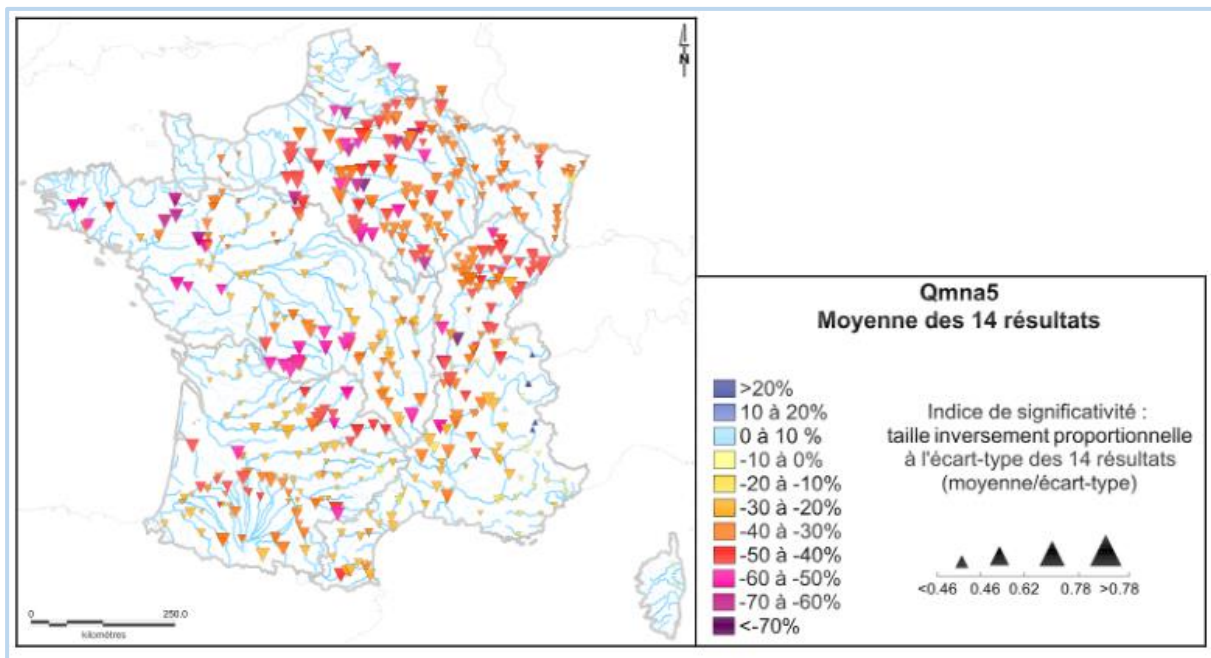


Figure 21 : évolutions relatives possibles (en %) du QMNA5 entre 1961-90 et 2046-65

Débits des crues

Il n'y a pas de tendance significative qui se dégage sur la majeure partie du territoire (nombreuses divergences entre les projections).

L'intensité des crues pourrait augmenter dans les Cévennes, et dans la partie est du district Rhin Meuse au Nord-Est de la France.

Les zones de haut relief (Alpes, Pyrénées, Jura), la rive gauche de la Garonne et les 2/3 Ouest du district Seine-Normandie sont des zones pour lesquelles le QJXA10 (débit journalier maximal décennal) pourrait baisser à l'horizon 2046-2065.

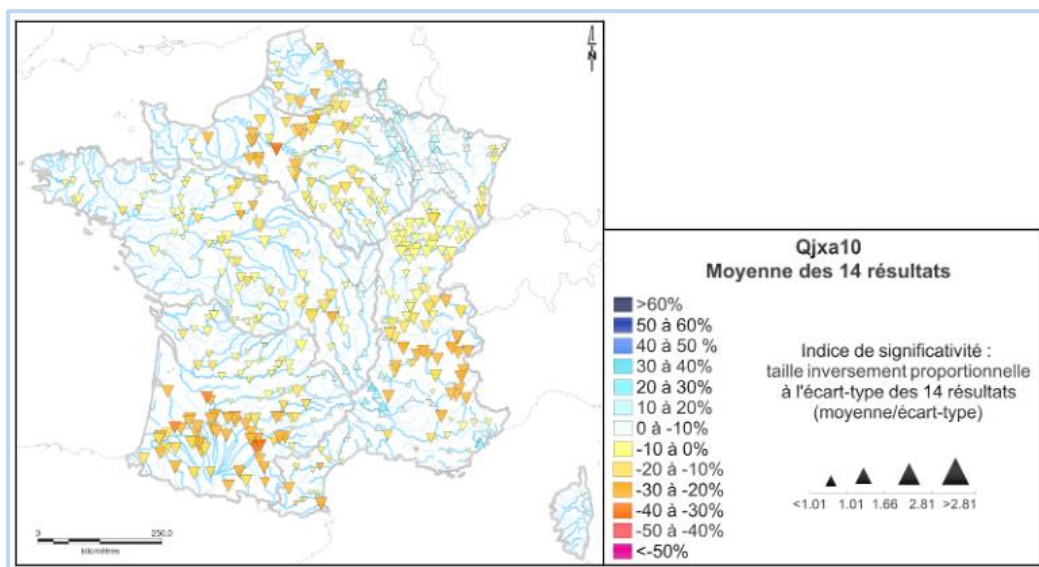


Figure 20 : évolutions relatives possibles (en %) du QJXA10 entre 1961-90 et 2046-65

Analyse des tendances par district hydrographique

1-Adour Garonne

Sur ce district, l'analyse se base sur 121 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 5 à 20 %. L'évapotranspiration annuelle pourrait augmenter de 10 à 30 %.

Débits annuels : Le sud du district (contreforts pyrénéens) et la Garonne moyenne constituent les zones les plus sensibles. En effet, les débits moyens annuels pourraient baisser de 10 à 60 % contre 10 à 40 % sur la moitié Nord (bassins du Lot et de la Dordogne). Cela s'explique en grande partie par la baisse des précipitations annuelles.

Étiages : Le QMNA5 pourrait baisser de l'ordre de 0 à 65 % selon les projections et les cours d'eau. La Garonne moyenne est encore une fois sévèrement touchée. La moitié Nord du district est davantage impactée en étiage que pour les débits annuels.

Crues : La quasi-totalité des projections s'accordent sur une baisse de l'intensité des crues décennales, plus prononcée sur la partie pyrénéenne et la Garonne moyenne.

Comparaisons aux études antérieures : Les résultats d'Explore 2070 vont dans le même sens que ceux du projet Imagine 2030 et de l'étude Tisseuil et al. (2010) concernant la baisse significative des débits moyens annuels et des débits d'étiages.

2)-Artois Picardie

Sur le district Artois-Picardie, l'analyse se base sur 11 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 18 % selon les projections avec une médiane de l'ordre de 8 %. L'ETP annuelle pourrait augmenter de 15 à 35 %.

Débits annuels : Les débits moyens annuels pourraient baisser de 0 à 60 % selon les projections. Il n'y a pas de disparités régionales marquées.

Étiages : Le QMNA5 pourrait baisser de l'ordre de 0 à 65 % selon les projections et les cours d'eau.

Crues : Globalement les résultats vont dans le sens d'une baisse des crues.

Comparaisons aux études antérieures : aucune étude antérieure sur ce district.

3)-Loire Bretagne

Sur ce district, l'analyse se base sur 110 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 20 % selon les projections, avec une médiane de l'ordre de 5 %. L'ETP annuelle pourrait augmenter de 15 à 30 %.

Débits annuels : Sur la Loire à Montjean, le débit annuel pourrait baisser de 10 à 45 % selon les projections.

Étiages : Sur la Loire à Montjean, le QMNA5 pourrait baisser de 5 à 60 % selon les projections.

Crues : Les crues décennales ont tendance à baisser modérément à l'exception des parties amont de la Loire et de l'Allier (augmentation modérée).

Comparaisons aux études antérieures : les résultats d'Explore 2070 sont globalement en accord avec ceux du récent projet Hydroqual sur le bassin de la Loire.

4)-Seine Normandie

Sur le district Seine-Normandie, l'analyse se base sur 103 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 15 % selon les projections, avec une médiane de l'ordre de 5 %. L'ETP annuelle pourrait augmenter de 15 à 30 %.

Débits annuels : Les débits moyens annuels pourraient baisser de 10 à 60 %. Cela concerne plus particulièrement la partie intermédiaire du bassin de la Seine (-20 à -50 %) et dans une moindre mesure la partie amont (-10 à -30 %) à savoir la Marne, l'Aisne amont et l'Aire.

Étiages : Le QMNA5 pourrait baisser de 10 à 70 % selon les projections. Le bassin de la Seine ressort comme l'un des bassins avec les baisses les plus sévères au niveau du territoire.

Crues : Les bassins amont de la Marne et de l'Aisne montrent une augmentation modérée de la crue décennale tandis que le reste du bassin de la Seine présente une tendance à la baisse.

Comparaisons aux études antérieures : les résultats d'Explore 2070 confirment les tendances annoncées par les projets GICC-Seine et RExHySS sur le bassin de la Seine (diminution des débits moyens annuels, étiages et crues moins marquées).

5)-Rhin Meuse

Sur ce district, l'analyse se base sur 44 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 15 % selon les projections, avec une médiane de l'ordre de 3 %. L'évapotranspiration annuelle pourrait augmenter de 15 à 35 %.

Débits annuels : Les débits moyens annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 40 % selon les projections et de manière plus prononcée sur la frontière Nord du bassin.

Étiages : le QMNA5 pourrait baisser de 10 à 70 % selon les projections. Les résultats sont cependant extrêmement dispersés et incertains.

Crues : le QJXA10 pourrait augmenter sur la majorité des cours d'eau du district (de 5 à 30 %) et plus particulièrement sur la Meuse et la Moselle (à l'exception du bassin de l'Ill où la tendance est à une baisse modérée).

Comparaisons aux études antérieures : sur le bassin de la Meuse les résultats d'Explore 2070 vont dans le même sens que les résultats d'autres études (Booij en 2004, Wit et al en 2007, Van Pelt et al en 2009 et Drogue et al en 2010). Sur le bassin de la Moselle les résultats d'Explore 2070 sont aussi en accord avec le projet RheinBlick2050.

6)-Rhône Méditerranée Corse

Sur le district Rhône-Méditerranée-Corse, l'analyse se base sur 154 points de calcul.

Évolutions climatiques : Les cumuls de précipitations annuels pourraient baisser de l'ordre de 0 à 15 % selon les projections, avec une médiane de l'ordre de 5 % (à l'exception des Cévennes et de la pointe Sud-Ouest où les modèles montrent une hausse). L'évapotranspiration annuelle pourrait augmenter de 5 à 30 %.

Débits annuels : Sur la majeure partie du district, les projections s'accordent sur une baisse du débit moyen annuel de l'ordre de 10 à 40 %. Les tendances les plus fortes se situent sur le bassin de l'Aude et les bassins pyrénéens, et sur la partie médiane du bassin du Rhône (notamment bassin de l'Isère). Sur le bassin de la Saône, la tendance est assez homogène autour de -20 %. En ce qui concerne les affluents rive droite du bas Rhône, on ne peut conclure sur l'évolution des écoulements moyens annuels. On note cependant une baisse significative des débits des mois de mai à octobre

Étiages : Le QMNA5 pourrait baisser de 10 à 60 % selon les projections. Il y a une grande variabilité d'évolution possible selon les bassins versants. Cette baisse est particulièrement sensible (20 à 70 %) au Nord du district (Saône, Doubs, Ain).

Crues : Les résultats sont très disparates sur le district. Le QJXA10 pourrait augmenter (5 à 30 %) au niveau des Cévennes et plus particulièrement sur les affluents rives droite du Rhône tandis qu'il pourrait diminuer (5 à 20 %) au niveau des bassins de la Saône et du Doubs.

Hydraulique souterraine

L'objectif était de réaliser une évaluation de l'impact possible du changement climatique sur la piézométrie et la recharge des nappes à l'horizon 2050-2070 en France par rapport à un état de référence (1961-1990).

Explore 2070 fait ressortir une baisse quasi générale de la piézométrie associée à une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25 %. Deux zones sont particulièrement touchées : le bassin versant de la Loire (baisse de la recharge comprise entre 25 et 30 % sur la moitié de sa superficie) et surtout le Sud-Ouest (avec des baisses comprises entre 30 et 50 %). Cette diminution entraînerait une baisse du même ordre de grandeur des débits d'étiage des cours d'eau et une augmentation de la durée des assecs.

Il est important de préciser que les résultats présentés ici n'ont pas pu prendre en compte la hausse attendue des besoins de l'irrigation en lien avec l'augmentation des températures. En effet, les valeurs de prélèvements agricoles utilisées pour la période 2050-2070 sont proches des valeurs actuelles (année 2006).

Écosystèmes aquatiques

L'objectif était d'évaluer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes aquatiques en France. Deux thèmes ont été abordés :

- la vulnérabilité des zones humides et des services écosystémiques ;
- la vulnérabilité des poissons d'eau douce.

Les principaux résultats à retenir :

- les zones humides sont fortement vulnérables au changement climatique selon leur localisation géographique et leur fonctionnement hydrologique ;
- les espèces du domaine amont des cours d'eau (truite, saumon etc..) sont menacées au profit des espèces des domaines aval et intermédiaire. Ceci est lié à l'augmentation des températures de l'eau ainsi qu'aux interactions entre pressions anthropiques et

changement climatique ;

- des communautés piscicoles plus diversifiées mais moins typiques (prélude à une banalisation des milieux ?).

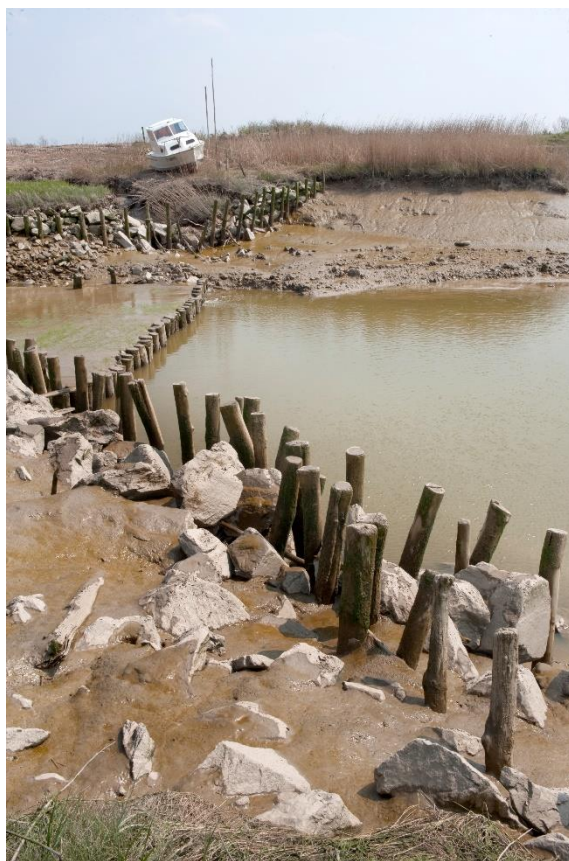
1.5.2 Explore 2 – Les futurs de l'eau

Le projet Explore 2 s'inscrit dans la suite du projet Explore 2070 et est porté par l'INRAE et l'OiEAU (Office International de l'Eau). Il a pour objectif, d'ici 2024, d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des dernières publications du GIEC et d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau.

L'ensemble des résultats sera également mis à disposition sur un portail de services hydro-climatiques dédié à l'eau, développé sur le même modèle que le portail actuel DRIAS **"Les futurs du climat"** (<http://www.drias-climat.fr/>), qui met à disposition pour la France des informations climatiques régionalisées. Une première version de cette extension "DRIAS-Eau", créée dans le cadre du projet LIFE Eau&Climat, est opérationnelle depuis le début 2022, avant une version finale en 2024.

Le calendrier des travaux d'Explore 2 est fourni en annexe 3.

Le groupe de travail avait aussi identifié les approches des Commissions internationales d'hydrologie (Rhin, Moselle, Meuse) mais n'a pas pu recueillir les éléments correspondants.



**Figure 21 : Port dévasté par la vague - Thierry Mignaux
Terra 2010**

Partie II Contribution du Cerema et du Shom sur les niveaux marins en France : houles, marées, surcotes

La rédaction des deux chapitres II.1 et II.2 a fait l'objet d'une contribution spécifique de Marc Igigabel du Cerema et d'Alexa Latapy, de Nicolas Pouvreau, de Gaël André, de Claire Fraboul et de Nathalie Giloy du Shom, que nous tenons à remercier particulièrement pour cet éclairage significatif de la question des remontées de niveau marin et de niveaux extrêmes en France.

Le chapitre II.1 traite de l'évolution des niveaux marins dans le contexte du changement climatique. Le II.2 élargit la réflexion aux événements extrêmes, considérant notamment, en plus de l'évolution du niveau marin, les marées astronomiques, les ondes de tempêtes et les vagues. Dans les deux sous-chapitres, il s'agit d'apporter des éclairages sur les côtes françaises. La bibliographie propre à ces deux sous-chapitres est renvoyée en fin de cette partie.

II.1 Remontée séculaire des niveaux marins et autres effets directs du changement climatique

La compréhension de l'évolution des niveaux marins nécessite de bien distinguer les variations moyennes à l'échelle du globe des variations locales. À la suite de l'exposé de ces notions, seront présentés les facteurs d'évolution et les observations concernant les niveaux marins, puis les projections au XXI^{ème} siècle et à des horizons plus lointains.

II.1.1 Niveau marin absolu et niveau marin relatif : facteurs d'évolution et observations

Le niveau de la mer est en constante évolution, à l'échelle mondiale et locale, à des échelles saisonnières, annuelles ou séculaires. Ces variations peuvent être induites (GIEC 2019), par :

- des fluctuations des masses d'eau liquides dans l'océan (p. ex., en raison de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires) ;
- des changements de la densité de l'eau océanique (p. ex., expansion dans des conditions plus chaudes) ;
- la variation de la forme des bassins océaniques et des champs gravitationnels et rotationnels de la Terre ;
- la subsidence ou l'élévation locale des terres.

Ces processus sont représentés schématiquement sur la figure 24 ci-après.

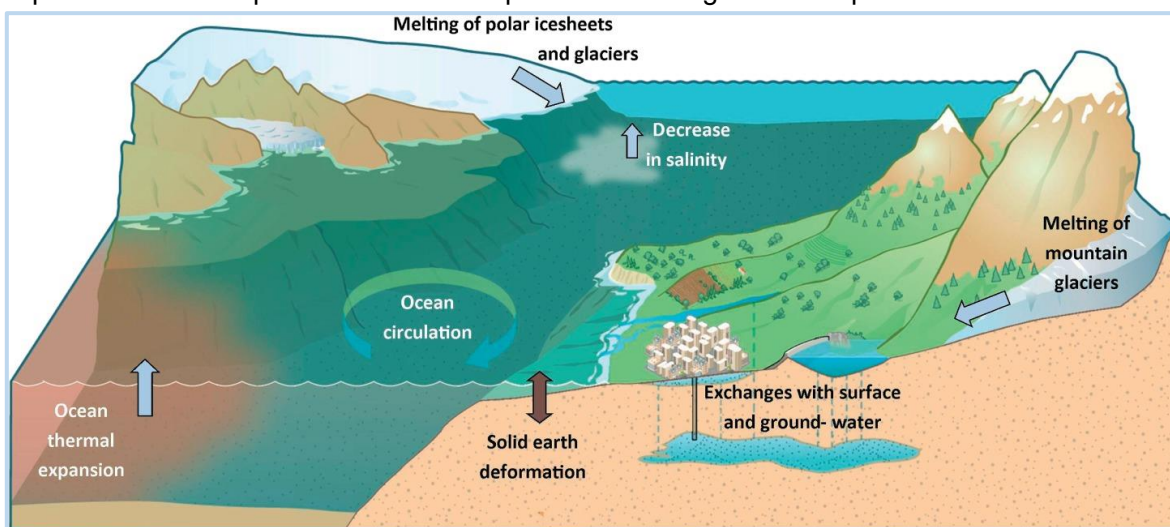


Figure 22 : schéma montrant les principaux facteurs à l'origine des changements du niveau de la mer (Cazenave et Le Cozannet, 2013)

Parmi les causes de changement du niveau de la mer, identifiées par le GIEC (2019), on distingue les variations des masses ou du volume des océans, et les mouvements verticaux de la surface de la Terre par rapport à la surface de la mer. Dans le premier cas, un changement du niveau de la mer est défini comme étant « eustatique » ou « absolu » ; dans le second cas, il est défini comme étant « relatif » (Rovere et al., 2016).

Le niveau moyen global de la mer (en anglais, *Global Mean Sea Level* (GMSL)) peut être défini comme une moyenne, à l'échelle de la Terre, du niveau eustatique. Ni le niveau eustatique de la mer, ni sa moyenne à l'échelle planétaire, le GMSL, ne correspondent donc à un niveau physique de la mer en référence à un point de la surface terrestre (Rovere et al., 2016).

Depuis le début des années 1990, le niveau de la mer est systématiquement mesuré avec une couverture quasi mondiale sur des périodes de quelques jours/semaines (appelé « cycle orbital ») par des satellites altimétriques de haute précision. L'altimétrie par satellite mesure les variations « absolues » du niveau de la mer dans un cadre de référence géocentrique.

Le GMSL s'élève avec une accélération au cours des dernières décennies en raison d'une perte croissante de glace des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, en plus de la perte continue de masse des glaciers et de la dilatation thermique de l'océan. Les composantes principales des élévations de niveau marin et la variation de leur importance relative selon la progression des évolutions climatiques ont été synthétisées dans un tableau présenté par Anny Cazenave.

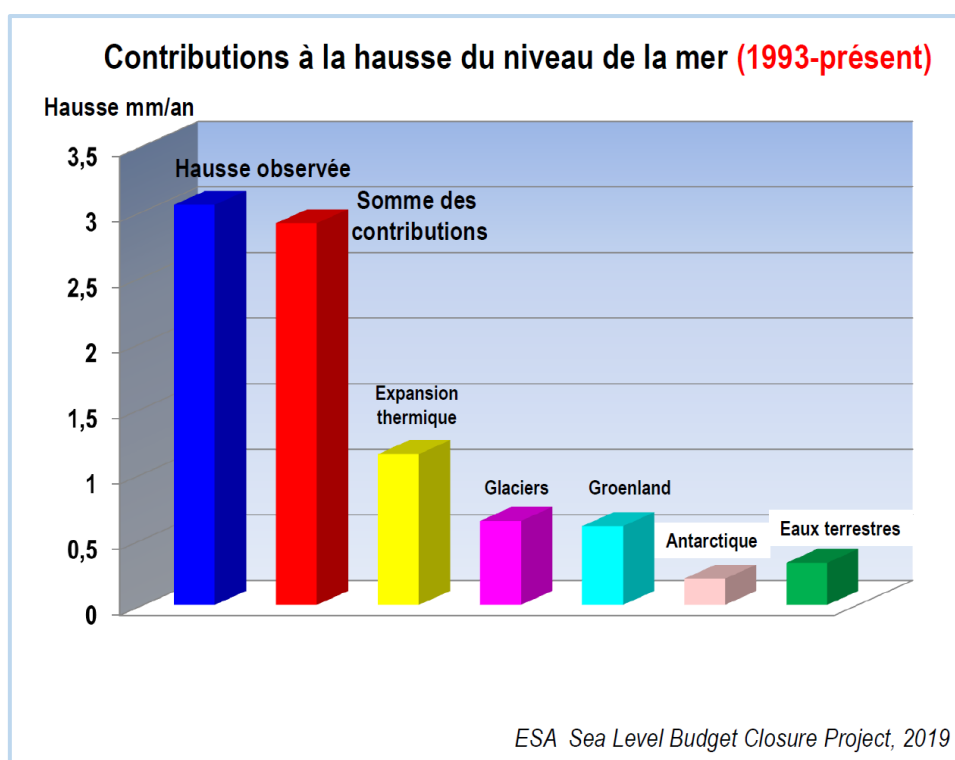


Figure 23 : contributions à la hausse du niveau de la mer (1993-2019). Crédit : Anny Cazenave

Les observations montrent que le GMSL augmente à un rythme moyen de 3,53 mm/an sur la période 1993-2022, avec une fourchette d'incertitude à 90 % estimée à 0,4 mm (cf. figure 26).

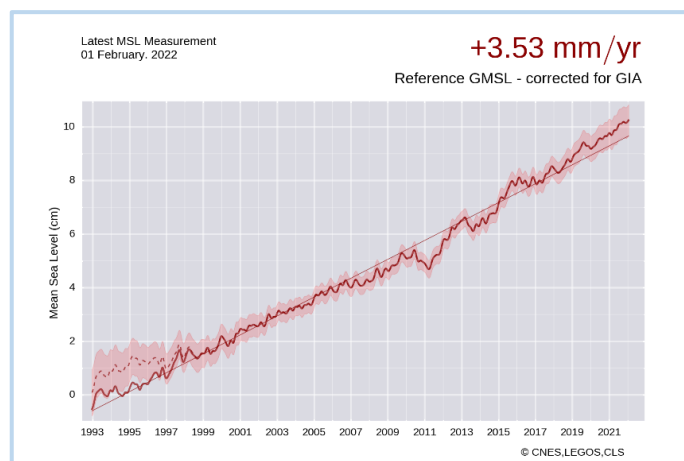


Figure 24 : variation du GMSL sur la période 1993-2021 (variations corrigées du rebond isostatique)

En complément de la connaissance de l'évolution du niveau absolu, il est important de connaître localement l'évolution du niveau relatif de la mer (en anglais, *Relative Sea Level* (RSL)). Le RSL est défini comme le niveau de la mer mesuré par un marégraphe par rapport à la Terre sur laquelle il se trouve (GIEC, 2019). En France métropolitaine, un affaissement modéré des terres (< 1 mm/an) est observé pour la majorité des stations (Dodet et al., 2019). Bien que cet affaissement soit modéré, il s'ajoute néanmoins à l'augmentation absolue du niveau marin et correspond à un facteur aggravant. Pour affiner les projections concernant l'évolution du RSL, le programme SONEL (consortium entre deux EPA, le Shom et l'IGN et deux unités mixtes de recherche CNRS, le LEGOS et le LIENSs) donne accès à la fois aux observations des mouvements terrestres locaux et des évolutions des niveaux marin absolu et relatif.

Le taux d'élévation du RSL présente de fortes variations régionales de l'ordre de plus ou moins 10 mm par an au maximum telles que représentées sur la figure 27.

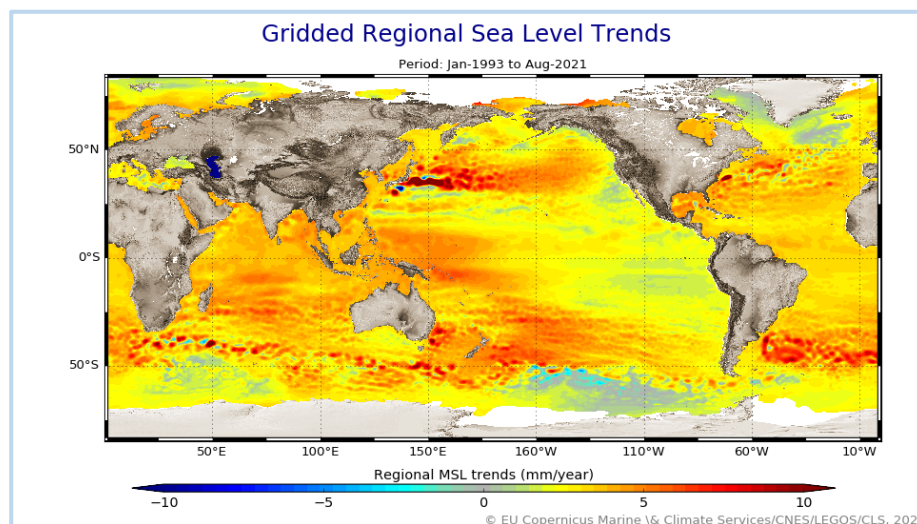


Figure 25 : variations régionales des tendances du niveau de la mer entre janvier 1993 et août 2021.

D'après Dodet et al. (2019), en France métropolitaine, l'analyse des tendances à long terme du niveau de la mer révèle des variabilités importantes. Au cours du XX^{ème} siècle, les observations disponibles montrent une élévation du niveau des mers de +1,2mm/an (à Brest). L'élévation s'accroît sur les dernières décennies (1993-2018) et fluctue entre +1,23 mm/an (à Roscoff) et +4,25 mm/an (à Nice).

II.1.2 Niveau marin absolu et niveau marin relatif : projections

La projection des niveaux marins est donnée par le GIEC (2019) aux horizons 2050, 2100 et étendue aux horizons ultérieurs jusqu'en 2300 pour illustrer que même si la maîtrise des émissions de gaz à

effet de serre venait à se réaliser, les effets du réchauffement continueraient de se faire sentir par une remontée progressive des niveaux marins pendant plusieurs siècles (plus ou moins marquée en fonction des scénarios).

Les deux scénarios contrastés du GIEC sont retenus pour effectuer ces projections à savoir le RCP 2.6 et le RCP 8.5. Les données issues de ces projections sont rappelées dans le tableau 6. De plus, des évolutions accélérées et plus fortes pourraient se produire : en cas de fonte plus rapide des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, Bamber et al. (2019) estiment la hausse du GMSL supérieure à 2 m au XXI^{ème} siècle.

Scénario climatique	2050 médiane	2050 fourchette	2100 médiane	2100 fourchette	2300 médiane	2300 fourchette
RCP 2.6	+24 cm	17cm à 32 cm	+ 43 cm	29 cm à 59 cm	+ 85 cm	60 cm à 110 cm
<i>RCP 8.5</i>	<i>+ 32 cm</i>	<i>23 cm à 40 cm</i>	<i>+ 84 cm</i>	<i>61 cm à 110 cm</i>	<i>+385 cm</i>	<i>230 cm à 540 cm</i>

Tableau 6 : projection des niveaux marins aux horizons 2050, 2100 et 2300 suivant les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5 (les valeurs médianes et les fourchettes des 17^e à 83^e centiles sont indiquées en prenant comme référence la période 1986-2005) (IPCC, 2019).

À l'échelle mondiale, l'expansion thermique, la dynamique océanique et la perte de glace terrestre sont susceptibles de générer des écarts régionaux d'environ 30 % autour de la hausse du GMSL. Localement, des écarts supérieurs à 30 % pourraient être observés notamment dans les zones de mouvements verticaux rapides du sol, y compris ceux causés par des facteurs anthropiques locaux comme l'extraction des eaux souterraines (GIEC, 2019).

	2050 (RCP 2.6)	2050 (RCP 8.5)	2100 (RCP 2.6)	2100 (RCP 8.5)
Calais	0.22	0.25	0.45	0.78
Le Havre	0.21	0.25	0.45	0.77
Saint-Malo	0.19	0.23	0.41	0.72
Brest	0.20	0.23	0.42	0.73
La Rochelle	0.19	0.23	0.41	0.72
Saint-Jean-de-Luz	0.19	0.23	0.42	0.73
Port Vendres	0.20	0.24	0.43	0.74
Sète	0.20	0.24	0.45	0.75
Marseille	0.19	0.23	0.41	0.72
Saint-Pierre-et-Miquelon (Référence : Port aux Basques, Canada)	0.34	0.38	0.65	1.01
Pointe-à-Pitre (Guadeloupe)	0.15	0.18	0.35	0.66
Guyane (Référence : Belém, Brésil)	0.20	0.24	0.44	0.77
Pointe des Galets (La Réunion)	0.18	0.23	0.45	0.76
Papeete (Polynésie française)	0.19	0.23	0.45	0.78

Tableau 7 : projections d'augmentation du niveau marin régional en différents points du littoral français par rapport à la période 1995–2014 (source : site de la NASA)

Les valeurs médianes de la montée du niveau marin sur les littoraux français sont assez uniformes (en général de l'ordre de 0,75 m en 2100 pour le scénario RCP8.5). On peut néanmoins distinguer dans les territoires d'Outre-mer :

- Saint-Pierre-et Miquelon : comme le long de la côte est des États-Unis, en raison des effets stériques (changements dans la structure de la densité des océans associés aux variations de température et de salinité), l'élévation du niveau de la mer sera supérieure à la moyenne mondiale. Cette situation est particulièrement préoccupante, car cette région est déjà sujette à une élévation relative du niveau de la mer en raison des effets de l'ajustement isostatique glaciaire (Cazenave et Le Cozanet, 2013) ;
- Les Antilles : à l'inverse, ces littoraux devraient connaître une hausse légèrement inférieure à la moyenne (0,66 m en 2100 pour RCP8.5).

II.2 Aggravation des événements extrêmes maritimes d'origine climatique

D'une manière générale, les évolutions lentes, comme l'élévation du niveau de la mer, le réchauffement et l'acidification des océans, doivent être étudiés conjointement avec les événements extrêmes, tels que les cyclones, les tempêtes, les ondes de tempête associées et les fortes précipitations, pour expliquer les impacts observés et évaluer l'évolution des risques. En particulier, l'augmentation du RSL se combine avec les marées et les surcotes produites par les événements météo-marins pour générer des niveaux marins extrêmes (en anglais, *Extreme Sea Level* (ESL)) provoquant des inondations, des modifications géomorphologiques et la salinisation des sols, des eaux souterraines et des eaux de surface.

Avec la surélévation du RSL, la zone de déferlement des vagues est susceptible de se décaler. Mais la zone littorale est aussi une zone tampon où une multitude de processus interviennent et des effets de rétroactions peuvent avoir lieu, ce qui fait que pour deux zones côtières d'altitude équivalente, la réponse aux variations du niveau de la mer ne sera pas forcément la même :

- dans les estuaires, l'évolution de la morphologie côtière (bathymétrie, topographie du rivage et aménagements anthropiques) peut influencer, à la hausse ou à la baisse, les phénomènes extrêmes, notamment en modifiant la propagation des ondes de marée et de tempête (Talke et al., 2020) ;
- le long de la plupart des côtes sableuses, l'élévation accélérée du niveau de la mer entraînera probablement l'inondation permanente de basses terres non protégées. Des inondations côtières épisodiques plus fréquentes et intenses pourraient également avoir lieu avec le changement climatique qui modifie les conditions des vagues et les ondes de tempête en s'additionnant avec le RSL. Il peut également en résulter un recul chronique du trait de côte à long terme (Ranasingh, 2016).

D'autres phénomènes induits par le changement climatique peuvent augmenter l'intensité des événements extrêmes ou aggraver leur impact :

- l'acidification des océans se combine au réchauffement et à la désoxygénation des océans pour avoir un impact sur les écosystèmes (p. ex., les récifs coralliens, les bancs d'huîtres) et les services connexes qui profitent aux sociétés humaines, dont la protection contre les submersions marines ;
- dans les régions polaires, l'accélération du dégel du pergélisol favorise l'érosion rapide des sédiments riches en glace (Lantuit et al., 2011). La fonte de la glace et la subsidence associée au dégel peuvent entraîner l'instabilité des infrastructures. L'élévation du RSL autour de l'Arctique et le réchauffement de la surface de la mer pourraient contribuer considérablement à ce dégel (Lamoureux et al., 2015). De plus, la diminution de l'étendue de la glace de mer saisonnière dans l'Arctique, conjuguée à l'allongement de la saison des eaux libres, offre moins de protection contre les effets des tempêtes (Forbes, 2011).

Le changement climatique par ses multiples effets, ainsi que les autres changements anthropiques,

peuvent donc créer des situations très diverses en fonction des littoraux considérés. De très nombreux paramètres doivent donc être pris en compte pour appréhender l'évolution des risques sur un territoire (cf. annexe 2). Cependant dans cette section, il sera considéré uniquement l'évolution des conditions hydrodynamiques sur les littoraux français, ce qui permettra en particulier de donner suite à la suggestion du rapport intitulé « Le climat de la France au XXIème siècle : tome V « changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises » (Planton et al., 2015), qui concluait en page 28 (déjà cité au I.2.3) :

« Une étude de l'évolution du niveau de la mer au niveau des côtes françaises (métropole et DOM-COM) prenant en compte l'ensemble des processus, reste à réaliser. »

Pour traiter cette question, nous présenterons successivement :

- les principes d'évaluation de l'évolution des risques côtiers dans le contexte du changement climatique ;
- les principes d'analyse des niveaux marins extrêmes ;
- les paramètres hydrodynamiques déterminants, en s'intéressant plus particulièrement à leurs variations sur les littoraux français ;
- les conclusions sur les différences d'évolution du risque qui apparaissent entre les littoraux français.

II.2.1 Principes d'évaluation de l'évolution des risques côtiers

Le risque d'inondation peut être défini de deux manières au moins (FLOODsite, 2009b) :

La première définition consiste à considérer le risque comme résultant de l'exposition d'un enjeu vulnérable à un aléa, ce que traduit la formule suivante :

(1) $\text{risque} = \text{aléa (événement météo-marin)} * \text{exposition} * \text{vulnérabilité (de la société/zone/structure)}$

Cependant, dans l'objectif de quantifier le risque et en considérant que le mot risque suggère une probabilité d'occurrence, une deuxième définition peut être recherchée. Pour cela :

- les deux termes « exposition » et « vulnérabilité » sont remplacés par le terme les « conséquences », les conséquences étant généralement plus quantifiables (par exemple, en nombre de victimes et en dommages économiques) que les deux précédents termes ;
- l'aléa peut être représenté par sa distribution de probabilité.

Il en résulte la deuxième définition :

(2) $\text{risque} = \text{probabilité (de l'aléa)} * \text{conséquences}$

Pour appréhender l'évolution des risques, il sera considéré ici :

- qu'un événement météo-marin génère simultanément une onde de tempête et des vagues de fortes énergies ;
- que sur le littoral, les vagues contribuent également à la surélévation du niveau marin par deux phénomènes :

o le *wave set-up* : augmentation épisodique du niveau moyen de l'eau causée par les vagues près de la côte, résultant des processus de réfraction et de déferlement (Bowen et al., 1968) ;

o le *run-up* : hauteur atteinte par une vague sur une plage ou une structure côtière, par rapport au niveau d'eau statique, mesuré verticalement (le *run-up* génère des franchissements qui, contrairement aux débordements, se produisent de façon discontinue).

La figure 28 représente les contributions aux niveaux d'eau « statiques » et « instantanés » de ces phénomènes sur le littoral.

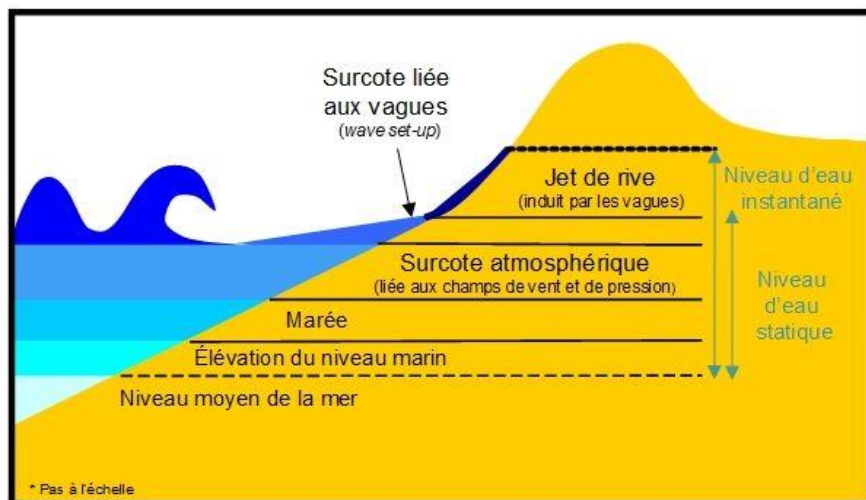


Figure 26 : schéma des différentes contributions au niveau marin total. Crédit : Marissa Yates.

La deuxième définition du risque sera utilisée en appliquant l'étude des probabilités aux niveaux marins, donc aux paramètres du RSL, du marnage et de la surcote générée par l'onde de tempête et les vagues.

Quelle que soit la situation considérée (avec ou sans surélévation du RSL), un événement météo-marin peut se produire en conjonction avec une marée haute de vive-eau. Ainsi, la probabilité que ces deux événements conjoints produisent des niveaux d'eau exceptionnels est d'autant plus forte que le marnage est faible :

- pour une mer sans marée, la probabilité est de 100 % ;
- pour une mer avec de très forts marnages, les niveaux exceptionnels ne sont atteints que si la surcote se produit sur une plage horaire correspondant à une marée d'amplitude suffisamment importante.

La surélévation du RSL peut aggraver fortement les risques, parce qu'en augmentant les profondeurs d'eau, elle permet localement à des conditions de vagues plus sévères d'attaquer le rivage. Or les impacts côtiers des ESL sont en grande partie dus au fait que les vagues peuvent transférer des quantités considérables d'énergie vers la côte, entraînant des changements morphologiques et de l'érosion, ainsi que des défaillances de la protection côtière, des débordements et des franchissements (Vousdoukas et al., 2018). En particulier, Almar et al. (2021) ont montré que les heures de franchissement annuelles par les vagues sur la côte à l'échelle mondiale ont augmenté de près de 50 % au cours des deux dernières décennies. Leurs projections indiquent que les heures de franchissement annuelles agrégées à l'échelle mondiale s'accroîtront plus rapidement que la hausse moyenne mondiale du niveau de la mer, avec une augmentation clairement perceptible vers le milieu du siècle, quel que soit le scénario climatique. Dans le cadre du scénario RCP8.5, les franchissements à la fin du XXI^e siècle devraient être jusqu'à 50 fois plus élevés qu'aujourd'hui.

L'aggravation des dommages par la houle sera prise en compte en recherchant les projections locales relative à l'évolution de la hauteur significative des vagues (la hauteur moyenne du creux à la crête du tiers le plus élevé des vagues). À ce sujet, des tendances d'évolution des climats de houle sur les littoraux sont indiquées dans le rapport du GIEC (2019) : les projections de la hauteur extrême significative future des vagues convergent dans le sens d'une diminution en Méditerranée et en Atlantique du Nord-Est et d'une augmentation dans l'océan Austral. Cela signifie que la houle significative associée aux événements extrêmes tendrait à diminuer en Méditerranée, aux Antilles et à Saint-Pierre-et-Miquelon, tandis qu'elle tendrait à augmenter sur l'île de la Réunion et à

Mayotte. Ces tendances, rappelées ici à titre indicatif, ne seront cependant pas exploitées en détail dans la suite de ce rapport : nous nous concentrerons sur les fortes différences qui existent déjà (et qui se maintiendront globalement) entre les climats de houle des façades maritimes.

II.2.2 Principes d'analyse des niveaux marins extrêmes

Pour rendre compte pleinement de l'évolution des risques côtiers associés aux niveaux marins, l'analyse doit porter à la fois sur l'évolution de la fréquence moyenne d'un événement extrême donné et sur l'augmentation du niveau d'eau pour un événement de période de retour donnée.

La fréquence des niveaux marins extrêmes connaîtra des variations suivant les littoraux (Buchanan et al., 2016), tel que représenté sur la figure 28 ci-après. La conjugaison des phénomènes de marée et de surcote oblige à une approche statistique pour apprécier l'évolution de l'aléa. Ainsi, l'évolution des niveaux marins extrêmes est généralement exprimée en termes de facteurs d'amplification et de surélévation. Le facteur d'amplification désigne l'amplification de la fréquence moyenne d'un événement extrême donné, souvent en référence au niveau de l'eau avec une période de retour de 100 ans au cours de la période historique. La surélévation indique l'augmentation du niveau d'eau pour une période de retour donnée. Cette surélévation est égale à la projection régionale de la variation du RSL avec une hauteur supplémentaire liée à l'incertitude de la projection (Hunter, 2012).

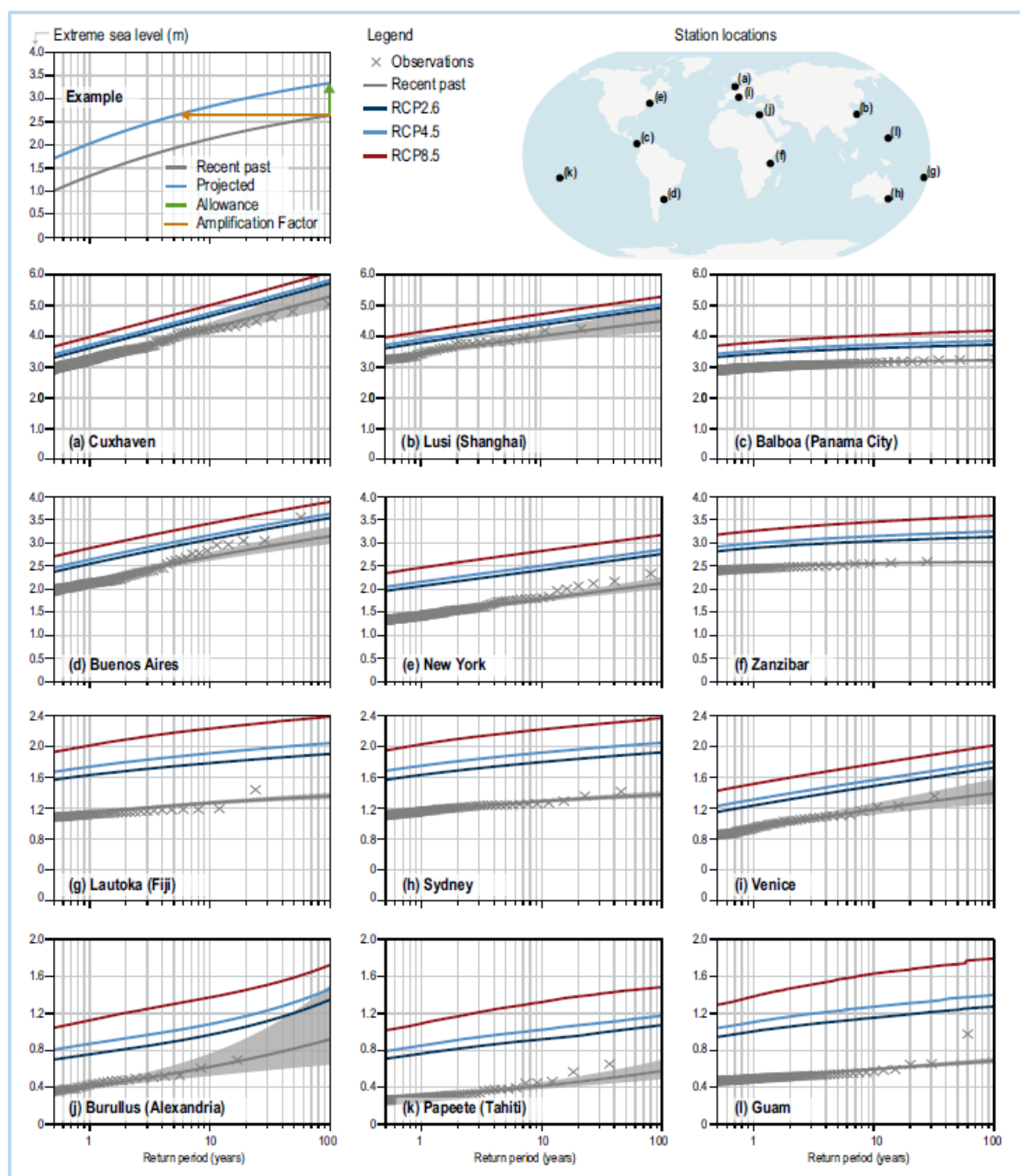


Figure 27 : relation entre les événements prévus de niveau marin extrême et la période de retour à un ensemble d'emplacements caractéristiques de marégraphe (voir leur localisation dans le coin supérieur droit), en référence au niveau moyen passé récent, d'après les observations de la base de données GESLA-2 (lignes grises) et les conditions de 2081 à 2100 pour trois scénarios RCP différents. De Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. De Conto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, et Z. Sebesvari. Dans: IPCC, 2019: *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*, figure 4.11.

Sur la figure 29, les bandes grises représentent la plage d'incertitude de 5 à 95 % dans l'ajustement de la distribution des valeurs extrêmes aux observations. Le panneau supérieur gauche fournit un exemple illustrant la relation entre les ESL et la période de retour pour les conditions historiques et futures ; la ligne bleue de ce panneau montre la meilleure estimation de l'ESL (i. e. scénario RCP4.5 considéré comme le plus probable) au-dessus du niveau moyen de la mer de référence de 1986 à 2005. Les lignes colorées pour les différents emplacements montrent les ESL prévus pour différents scénarios RCP. La flèche horizontale orange indiquant le facteur d'amplification exprime l'augmentation de la fréquence des événements qui ont historiquement une période de retour de 100 ans. Dans l'exemple, un niveau d'eau de 2,5 m au-dessus du niveau moyen de la mer, se produisant en moyenne tous les 100 ans dans le climat récent passé, se produira en moyenne tous

les 2 à 3 ans dans les conditions climatiques futures. La surélévation (flèche verte) exprime l'augmentation du niveau marin extrême pour les événements qui ont historiquement une période de retour de 100 ans.

Il apparaît que les facteurs d'amplification sont fortement déterminés par la variabilité locale des ESL. Les endroits où cette variabilité est importante en raison des grandes ondes de tempête et des marées astronomiques (p. ex., Cuxhaven, voir la figure 15(a)) connaîtront une amplification relativement modérée de la fréquence des événements extrêmes. À titre de comparaison, les endroits où la variabilité des événements liés à l'ESL est faible (p. ex., Lautoka et Papeete, voir la figure 15(g ; k)) connaîtront de grandes amplifications, même pour une hausse modérée du RSL (Vitousek et al., 2017). Globalement, ce contraste entre les régions à grands et petits facteurs d'amplification devient clair pour les projections d'ici le milieu du siècle et considérable dans les siècles à venir. En particulier, de nombreuses zones côtières situées dans les basses latitudes peuvent s'attendre à des facteurs d'amplification de 100 ou plus d'ici le milieu du siècle, quel que soit le scénario considéré. À la fin du siècle, et en particulier sous RCP8.5, de tels facteurs d'amplification seront largement répandus le long des côtes mondiales, comme le montre la figure 30 (Voudoukas et al., 2018).

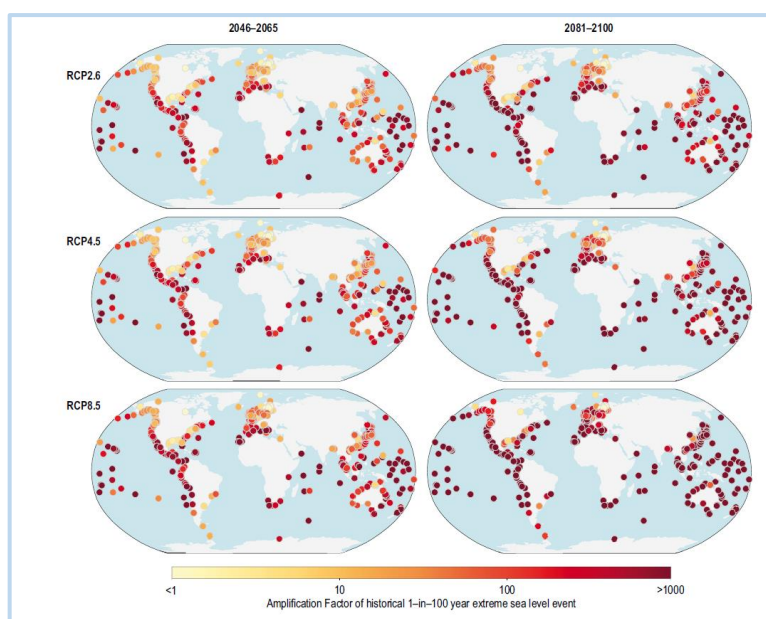


Figure 28 : les couleurs des points expriment le facteur par lequel la fréquence des ESL augmente dans le futur pour les événements qui ont historiquement une période de retour de 100 ans. Par conséquent, une valeur de 50 signifie que ce qui est actuellement un événement sur 100 ans se produira tous les 2 ans en raison d'une hausse du RSL. Les résultats sont affichés pour trois scénarios RCP et deux coupes temporelles futures comme valeurs médianes. De Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. De Conto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, et Z. Sebesvari. Dans: *IPCC, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*, figure 4.12.

De même que pour les facteurs d'amplification, l'étude des facteurs de surélévation doit être régionalisée. À cette fin, nous adoptons les principes d'analyse et les annotations utilisés par Voudoukas et al. (2018) dans leur étude de l'évolution des niveaux extrêmes le long des côtes européennes. En particulier, nous nous concentrerons sur les changements dans l'amplitude et la fréquence de l'ESL d'occurrence actuelle 100 ans (ESL100). À cette fin, nous considérerons que l'ESL est déterminée par l'effet combiné du niveau moyen des mers (en anglais, *Mean Sea Level* (MSL)), des marées (en anglais, *tide*) et des fluctuations du niveau de l'eau dues aux vagues et aux ondes de tempête (en anglais, *waves* (w) et *storm surge* (ss)).

Par conséquent, l'ESL peut être définie comme suit :

$$(3) \text{ESL} = \text{MSL} + \eta_{\text{tide}} + \eta_{\text{w-ss}}$$

La contribution $\eta_{\text{w-ss}}$ des vagues et des ondes de tempête aux événements extrêmes peut être estimée selon l'équation suivante :

$$(4) \eta_{w-ss} = SSL + 0.2 \times H_s$$

où SSL est le niveau d'onde de tempête, H_s est la hauteur significative des vagues et $0,2 H_s$ est une approximation générique (*U.S. Army Corps of Engineers*, 2002) de la surcote générée par les vagues (*wave set-up*).

Ces équations correspondent bien sûr à des approches simplifiées de la réalité dans la mesure où il existe des interactions entre les différents phénomènes qui produisent des effets non linéaires dont la modélisation ne peut rendre compte en l'état actuel des connaissances (Voudoukas et al., 2018).

II.2.3 Évolution des niveaux marins extrêmes sur les littoraux français

Conformément aux principes énoncés précédemment, l'évolution des niveaux marins extrêmes dépend principalement, en plus de l'évolution du RSL présentée précédemment, de deux paramètres déterminants à savoir : le marnage et les surcotes associées aux ondes de marée et aux vagues.

Les données disponibles et les projections sur ces deux paramètres révèlent des situations très contrastées sur les littoraux français.

Étude de l'influence du marnage

Le premier paramètre discriminant dans l'évolution des aléas littoraux est le marnage. Ce paramètre exerce une grande influence sur le facteur d'amplification (facteur d'amplification fort pour les marnages faibles).

Il est à noter que les simulations des marées ne montrent aucun contrôle significatif de la montée du RSL sur l'amplitude des marées tout au long du XXI^e siècle à l'échelle régionale bien que cela n'exclut pas les effets locaux potentiels (Haigh et al., 2020). Nous ferons donc l'hypothèse que les marées sont dans un régime stationnaire et que le marnage ne change pas le facteur de surélévation.

Les littoraux français peuvent être représentés dans les trois catégories habituellement retenues :

- milieu microtidal (marnage < 2 m) : les côtes de Méditerranée au marnage compris entre 20 et 50 cm et les côtes des Antilles, de La Réunion, de Mayotte et de la Polynésie Française où les marnages sont inférieurs à 1 m ; s'ajoutent les côtes de Saint-Pierre-et-Miquelon, où le marnage atteint 1,70 m.
- milieu mésotidal (marnage entre 2 et 4 m) : les côtes de Guyane (le marnage maximum mesuré au port de Degrad des Cannes atteint 2,90 m en période de vive-eau) ;
- milieu macrotidal (marnage > 4 m) sur les côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord, avec des différences sensibles représentées en figure 17. Sur les côtes nord de la Bretagne, les marnages sont par exemple compris entre 7 et 14 m, tandis que sur les côtes sud de cette même région, les marnages varient entre 5 et 7 m.

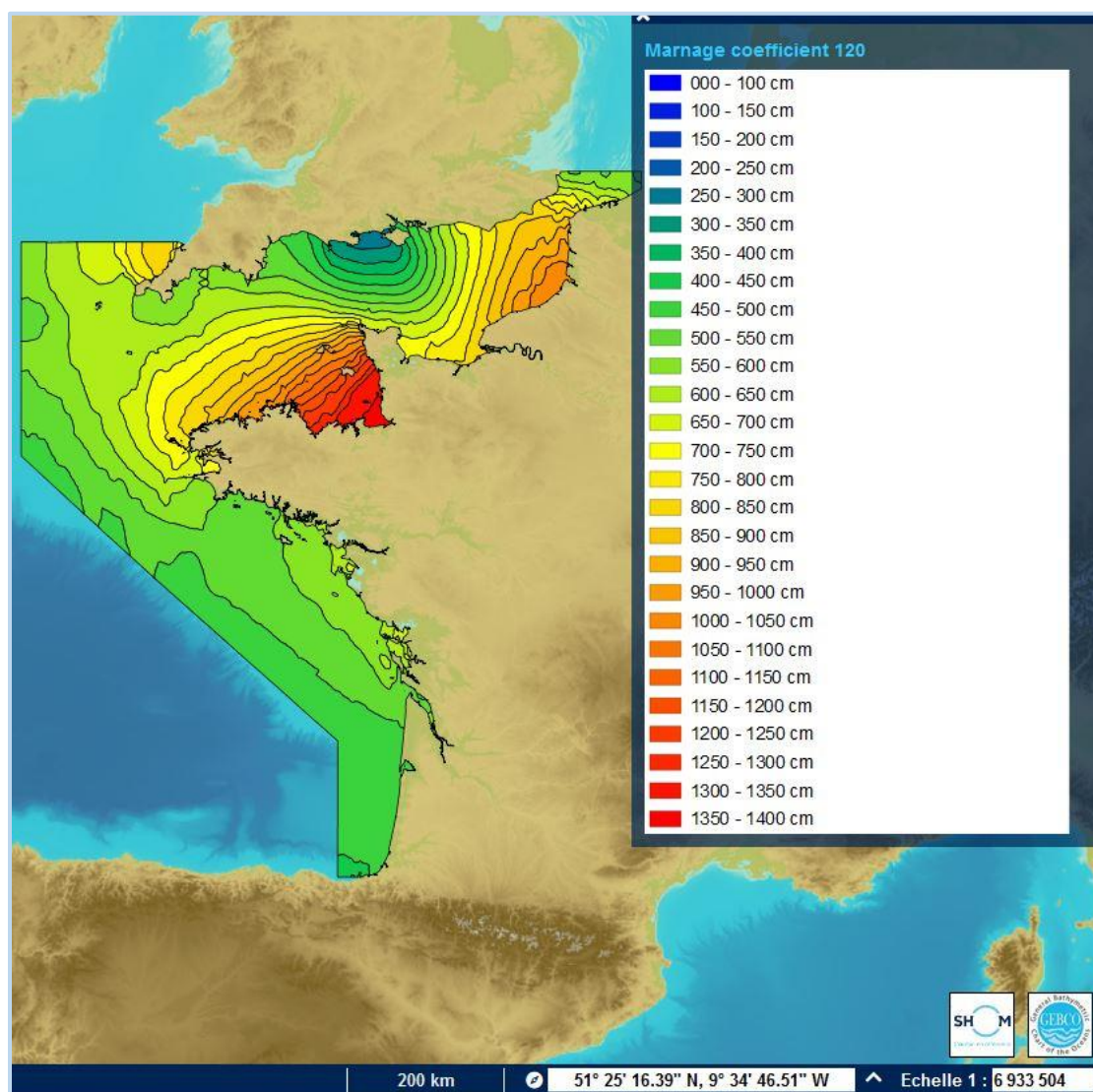


Figure 29 : marnage de coefficient 120 (source : Data.shom.fr)

Étude de l'influence de la surcote

Le deuxième facteur discriminant dans l'évolution des aléas littoraux est la surcote liée aux ondes de tempête et aux vagues. Ce facteur intervient dans l'évolution de la fréquence des ESL (facteur d'amplification fort pour les surcotes faibles) et peut aussi intervenir dans la surélévation des ESL. En effet, par une analyse statistique des observations marégraphiques, Calafat et al. (2022) ont montré que les tendances des surcotes extrêmes et de l'élévation du niveau de la mer ont toutes deux contribué de façon comparable à l'évolution globale des ESL en Europe depuis 1960.

Les estimations de surcote sont en général établies sur la base de mesures marégraphiques, en des points à l'abri des vagues. Ces valeurs correspondent donc principalement à la surcote liée aux ondes de tempête. Les surcotes additionnelles liées aux vagues peuvent être plus ou moins importantes en fonction des conditions météorologiques et des états de mer qu'elles génèrent, ainsi que de la configuration de la côte.

Les informations sur la surcote seront présentées distinctement en métropole (où l'on dispose à la fois d'observations et de projections) et en Outre-mer (où l'on dispose principalement d'observations).

En métropole, des variations sensibles existent, comme le montrent les estimations des surcotes de période de retour 100 ans (Cerema, 2018) présentées dans le tableau 8.

Marégraphe	Surcote de période de retour 100 ans (m)
Dunkerque	1,4
Calais	1,1
Boulogne-sur-Mer	1,2
Dieppe	1,4
Le Havre	1,4
Cherbourg	0,9
Saint-Malo	1,1
Roscoff	0,8
Le Conquet	1,0
Brest	1,0
Concarneau	1,0
Port Tudy	1,0
Crouesty	1,1
Saint-Nazaire	1,3
Saint-Gildas	1,1
Sables d'Olonne	1,0
La Rochelle	1,2
Port-Bloc	1,2
Arcachon	1,3
Bayonne	0,9
Saint-Jean-de-Luz	0,6
Port-Vendres	0,9
Sète	1,1
Marseille	1,3
Toulon	0,8
Nice	0,8
Monaco	0,8
Ajaccio	0,8

Tableau 8 : estimations en m des surcotes de période de retour 100 ans. Deux estimations ont été établies, respectivement par ajustement statistique d'une distribution de Pareto (GPD) et d'une loi exponentielle sur les pics de tempête (Cerema, 2018). Le présent tableau affiche la moyenne de ces deux estimations.

L'analyse des mesures marégraphiques de la base de données nationale REFMAR révèle que les surcotes sont contrôlées non seulement par les trajectoires de tempêtes, mais aussi par la largeur du plateau continental. Ainsi, au cours de la période étudiée 1998-2018, les surcotes associées aux ondes de tempête atteignent à peine 1,0 m le long des côtes du sud du golfe de Gascogne et de la Méditerranée orientale, mais peuvent dépasser 2,0 m dans la Manche (Dodet et al., 2019). À noter que cette dernière valeur est légèrement supérieure à la surcote centennale estimée sur la base des mesures réalisées dans les ports de métropole (Cerema, 2018).

Vousdoukas et al. (2018) ont étudié le long des côtes européennes l'évolution de la surélévation des ESL. Cette étude précise l'influence sur ce paramètre :

- de l'élévation du RSL ;
- de la surcote liée aux ondes de tempête et aux vagues.

Les projections des vagues et des ondes de tempête ont été obtenues en exploitant six modèles climatiques (ceux utilisés par le GIEC), ce qui garantit une certaine robustesse des résultats.

	RCP4.5 - 2050			RCP4.5 - 2100			RCP8.5 - 2050			RCP8.5 - 2100		
	Δ ESL (m)	% Δ ESL	% Δ η_{w-ss}	Δ ESL (m)	% Δ ESL	% Δ η_{w-ss}	Δ ESL (m)	% Δ ESL	% Δ η_{w-ss}	Δ ESL (m)	% Δ ESL	% Δ η_{w-ss}
Méditerranée orientale	0,20	15,8	-1,1	0,51	41,0	-0,3	0,24	19,7	9,6	0,75	60,7	2,5
Golfe de Gascogne	0,18	4,0	-10,3	0,53	11,6	-9,2	0,22	4,9	-8,2	0,8	17,4	-1,6
Manche	0,27	4,7	28,9	0,64	11,3	13,8	0,29	5,2	27,5	0,88	15,7	17,0

Tableau 9 : tableau résumant les changements absolus et relatifs prévus de l'ESL d'occurrence 100 ans (Δ ESL et % Δ ESL) sous RCP4.5 et RCP8.5, au cours des années 2050 et 2100. Extrait de Vousdoukas et al. (2018). % $\Delta\eta_{w-ss}$ exprime le pourcentage de changement projeté de l'ESL d'occurrence 100 ans qui peut être attribué aux changements dans les vagues et les ondes de tempête extrêmes.

Il apparaît en premier lieu que si l'augmentation des ESL en valeur absolue est relativement homogène sur les différentes façades maritimes de la métropole (0,75 m pour la Méditerranée occidentale, 0,80 m pour le Golfe de Gascogne et 0,88 m pour la Manche en 2100 sous le scénario RCP 8.5), les variations en pourcentage sont très contrastées : de l'ordre de 60,7 % pour la Méditerranée occidentale, 17,4 % pour le Golfe de Gascogne et 15,7 % pour la Manche en 2100 sous le scénario RCP 8.5. L'augmentation sera donc beaucoup plus perceptible en Méditerranée.

Une contribution relativement importante de la surcote à l'augmentation des ESL est prévue sur les côtes de la Manche, atteignant des valeurs de l'ordre de 27,5 % de l'augmentation du RSL d'ici le milieu du siècle et environ 17 % d'ici 2100 sous le RCP8.5. Des contributions plus faibles dans la hausse future des ESL sont prévues pour la Méditerranée occidentale, respectivement 19,7 et 2,5 % en 2050 et 2100 sous le RCP8.5. Dans le golfe de Gascogne, l'évolution de la surcote est négative et devrait atténuer légèrement l'augmentation provoquée par la montée du RSL.

L'analyse de la variation en hauteur des ESL doit être complétée par une analyse en fréquence sur la base du tableau 10.

	Tr = 100 ans				Tr = 1000 ans			
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Méditerranée orientale	14,8	0,5	9,8	0,2	157,4	6,9	94,5	0,6
Golfe de Gascogne	23,0	2,0	17,0	0,4	138,5	8,4	91,5	1,6
Manche	27,4	4,9	22,7	1,8	167,4	23,9	147,5	8,0

Tableau 10 : période de retour (Tr) de l'ESL actuelle de 100 et 1000 ans en 2050 et 2100, sous RCP4.5 et RCP8.5. Extrait de Vousdoukas et al. (2018)

Il ressort des prévisions du tableau 10 que les submersions marines d'occurrence centennale

pourraient se produire sur une base presque annuelle d'ici la fin de ce siècle en métropole. Certaines régions pourraient même connaître une augmentation encore plus importante de la fréquence des événements extrêmes, notamment le long de la Méditerranée, où l'ESL actuelle de 100 ans devrait se produire plusieurs fois par an (Vousdoukas et al., 2018).

Outre-mer, les fascicules de la collection « Dynamiques et évolution du littoral » du Cerema, consacrés à la Réunion, à Mayotte, à la Guyane, à la Martinique, à la Guadeloupe, à Saint-Martin et Saint-Barthélemy et à Saint-Pierre-et-Miquelon renseignent sur les surcotes mesurées, observées et modélisées sur ces territoires. Les principales informations sont présentées ci-après.

Les surcotes mesurées par les marégraphes Outre-mer atteignent couramment des valeurs de 0,5 à 1 m. Ces valeurs sont très inférieures aux valeurs mesurées sur les façades continentales exposées aux cyclones : par exemple, dans le cas de Katrina qui a frappé les États-Unis en 2005, les surcotes dans l'est de la Louisiane ont atteint des valeurs comprises entre 3,05 m et 5,79 m (Graumann, 2006). Au cours de ce même événement, la surcote a dépassé 8 m à plusieurs endroits le long des côtes du Mississippi (Dietrich et al., 2010).

Cet écart entre les surcotes observées sur les littoraux continentaux et insulaires s'explique par le fait que dans le cas d'un ouragan, la surcote est produite par l'eau poussée vers la côte par la force des vents qui se déplacent autour du centre dépressionnaire. La figure 32 ci-après donne une représentation schématique d'un ouragan à l'approche de la côte et montre que l'impact sur l'onde de la basse pression associée à la tempête est minime par rapport à l'eau forcée vers le rivage par le vent. Dans le cas des îles de petite taille comme celles de l'arc antillais ou de la Réunion, la surcote est globalement réduite par un effet dissipatif (Durand, 1996). Cependant, la surcote potentielle maximale pour un endroit particulier est très sensible aux moindres changements de l'intensité de la tempête, de sa vitesse de progression, de sa taille (rayon des vents maximums), de l'angle d'approche à la côte, de la pression centrale, et de la forme et des caractéristiques côtières telles que les baies et les estuaires (site internet « *Storm surge* » de *NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration*). Surtout en eaux peu profondes, l'effet du vent peut dominer très sensiblement l'effet de la surcote dépressionnaire et cette surcote peut donc être très largement amplifiée selon la bathymétrie des fonds marins en bordure de côte (Bertin et al., 2012). Par exemple, lors du passage du cyclone Irma, le 6 septembre 2017, une surcote instantanée de 2,6 m a été mesurée au marégraphe de Saint-Martin. La surcote, modélisée par Météo-France, a été de plus de 3 m sur les côtes nord de Saint-Martin (baie du Marigot, Grand Case) et à Gustavia (Saint-Barthélemy), mais n'a guère dépassé 1,2 m sur le littoral presque rectiligne de l'île (De la Torre Y., 2017). De façon concordante, en septembre 1989, pendant le passage du cyclone Hugo sur l'archipel de la Guadeloupe, des témoignages ont indiqué que le niveau de la mer se serait accru de 2 à 3 m le long des côtes (Pagney, 1991).



Figure 30 : contributions du vent et de la pression à l'onde de tempête (crédit : le programme COMET, UCAR et NOAA)

On peut donc conclure que les surcotes qui sont mesurées par des marégraphes présents dans les principaux ports ne sont pas représentatives de l'ensemble des surcotes apparaissant sur le littoral. Les surcotes générées par les cyclones sur les très petites îles (surcote maximale de l'ordre de 3 m) demeurent néanmoins très inférieures aux surcotes observées sur les littoraux des continents (surcote maximale de l'ordre de 8 m). Cependant, en fonction de la trajectoire et de l'intensité du cyclone, pour les îles de taille plus importante, l'effet dissipatif peut être moindre et on peut de ce fait considérer que la surcote peut atteindre des valeurs supérieures à 3 m en fond de baie :

- en Guadeloupe, au niveau de Baie Mahault (Grand Cul-de-Sac Marin) et de la rade de Pointe-à-Pitre (Petit Cul-de-Sac Marin). À noter que le secteur de Pointe-à-Pitre, construit sur des marécages et sur des terres gagnées sur la mer est sans doute particulièrement exposé au risque de submersion ;
- en Martinique, au niveau de la baie de Fort-de-France et de la baie du Robert.

II.2.4 Conclusion sur l'évolution des ESL sur les littoraux français

Le présent rapport étant destiné à éclairer la prise de décision pour des infrastructures de longue durée de vie, dont les coûts d'investissement et d'entretien sont très élevés, les conclusions seront établies en considérant le scénario RCP8.5 et les horizons 2050 et 2100. En termes d'évaluation des risques, il semble en effet plus approprié de prendre en compte la trajectoire d'émission de gaz à effet de serre actuellement suivie, plutôt que de faire le pari d'une forte inflexion de la courbe. Ce parti pris présente aussi l'intérêt de mieux mettre en évidence des situations contrastées dans l'évolution des risques côtiers en France sur le long terme. Pour mieux établir ces différences, un récapitulatif des facteurs d'évolution est présenté en considérant notamment le RSL et l'ESL centennal. Puis les conclusions sont apportées à la fois en termes d'évolution de la fréquence moyenne d'un événement extrême donné (facteur d'amplification) et d'augmentation du niveau d'eau pour un événement de période de retour donnée (facteur de surélévation).

Rappelons avant d'engager cette analyse que les données retenues pour les variations du RSL et de l'ESL sont des valeurs médianes. Les valeurs obtenues pour le GMSL montrent à quel point les incertitudes demeurent élevées : pour ce paramètre et pour le seul scénario RCP8.5, la valeur médiane est de 0.84 m et la fourchette des 17^e à 83^e centiles s'étend de 0,61 à 1,10 m (la valeur haute est presque double de la valeur basse). Des incertitudes de même ordre (ou supérieures puisque d'autres phénomènes locaux doivent être pris en compte) existent sur le RSL et l'ESL centennal, l'analyse ne peut donc prétendre à une grande précision sur les chiffres. La recherche de précision sur la variation de chacun des facteurs à un horizon de temps bien défini serait d'ailleurs vaine puisque les niveaux marins ne cesseront d'augmenter, qu'il existe une grande variabilité dans les événements météo-marins et que pour les adaptations de long terme, une description générale de l'évolution du risque est plus appropriée qu'une prévision, forcément imprécise, de l'évolution d'un paramètre à une date donnée. L'objectif doit donc davantage être de rechercher l'effet de la montée du RSL dans les divers contextes locaux, notamment en tenant compte de la concomitance des marées hautes astronomiques, des surcotes et des vagues de fortes puissances.

En particulier l'exposition aux vagues étant un facteur aggravant considérablement les risques côtiers lors d'événements produisant des niveaux marins extrêmes, les conclusions tiendront compte du climat régnant sur chacune des façades maritimes, selon qu'elles sont (ou non) sujettes au passage de cyclones, de tempêtes tropicales ou extratropicales.

En définitive nos conclusions seront établies sur la base des données rassemblées dans le tableau 11.

	Marnage	Evénement météo-marin de référence	Surcote centennale (m)	Δ RSL (m) pour RCP 8.5	Δ ESL (m) pour RCP 8.5	% Δ ESL pour RCP 8.5	Période de retour de l'ESL centennal actuel pour RCP 8.5
Manche Mer du Nord	Macrotidal (7 à 14 m)	Tempête	0,8 à 1,4	En 2050 : 0,19 à 0,22 En 2100 : 0,72 à 0,78	En 2050 : 0,29 En 2100 : 0,88	En 2050 : 5,2 En 2100 : 15,7	En 2050 : 22,7 En 2100 : 1,8
Golfe de Gascogne	Macrotidal (5 à 7 m)	Tempête	0,6 à 1,3	En 2050 : 0,19 à 0,20 En 2100 : 0,72 à 0,73	En 2050 : 0,22 En 2100 : 0,8	En 2050 : 4,9 En 2100 : 17,4	En 2050 : 17 En 2100 : 0,4
Méditerranée	Microtidal	Tempête	0,8 à 1,3	En 2050 : 0,23 à 0,24 En 2100 : 0,72 à 0,75	En 2050 : 0,24 En 2100 : 0,75	En 2050 : 19,7 En 2100 : 60,7	En 2050 : 9,8 En 2100 : 0,2
Saint-Pierre-et-Miquelon	Microtidal	Tempête	1 à 2	En 2050 : 0,38 En 2100 : 1,01	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Antilles	Microtidal	Tempête et ouragan	1 à 3	En 2050 : 0,18 En 2100 : 0,66	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Guyane	Mésotidal	Alizés (sans tempête)	Faible (Non quantifiée)	En 2050 : 0,24 En 2100 : 0,77	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
La Réunion et Mayotte	Microtidal	Tempête et ouragan	1 à 3	En 2050 : 0,23 En 2100 : 0,76	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié
Polynésie Française	Microtidal	Tempête et cyclone	1 à 3	En 2050 : 0,23 En 2100 : 0,78	Non quantifié	Non quantifié	Non quantifié

Tableau 11 : récapitulatif des principaux facteurs d'évolution des risques côtiers. Les données se rapportent à un ESL d'occurrence centennale. La période de référence pour la projection du RSL est 1995-2014. La période de référence pour la projection de l'ESL est 1980-2014.

Les projections quantitatives relatives à la surcote (liée aux ondes de tempêtes et aux vagues) et l'ESL centennal n'étant établies que pour la métropole, les conclusions seront formulées dans un premier temps sur ce domaine, puis des extrapolations aux territoires d'Outre-mer seront recherchées.

Conclusion pour la métropole

À l'horizon 2100, sur les trois façades maritimes de métropole, la variation de l'ESL centennal est largement dominée par la montée du RSL. Bien que l'évolution des surcotes ait pu contribuer sensiblement à l'augmentation des ESL depuis 1960 en Europe (Calafat et al., 2022), l'étude de Vousdoukas et al. (2018) montre que ce facteur perdra progressivement de son importance au cours du XXI^{ème} siècle en raison de la forte augmentation du RSL qui devient largement prépondérante. Ainsi à l'horizon 2100, dans le scénario RCP 8.5, les augmentations du RSL et de l'ESL sur les trois façades maritimes sont assez équivalentes en valeur absolue, avec des valeurs médianes comprises entre 0,70 et 0,90m. L'effet de ces augmentations est par contre sensiblement différent suivant la façade maritime considérée, en fonction du marnage, des surcotes et du type d'événement météo-marin auxquels sont soumis ces littoraux :

- en Manche et mer du Nord, les très forts marnages et le passage des tempêtes produisent une forte variabilité des niveaux marins. L'augmentation de l'ordre de 0,9 m de l'ESL centennal ne représente en pourcentage qu'une variation d'environ 15,7 %. Le facteur de surélévation est donc relativement faible. Par contre l'augmentation du RSL suffit à ce qu'un événement de période de retour actuelle 100 ans, ait une période de retour inférieure à deux ans (facteur d'amplification de 50) ;
- dans le golfe de Gascogne, la situation est assez similaire, mais avec des marnages et des surcotes plus faibles (surtout sur le littoral des Pyrénées Atlantiques où le marnage maximal est de l'ordre de 5 m et la surcote centennale de l'ordre de 0,6 m). Dans ces conditions, l'augmentation de 0,8 m de l'ESL centennal correspond à une augmentation relative de 17,4 % et surtout, un événement actuellement centennal se produira en moyenne plus de deux fois par an (facteur d'amplification de l'ordre de 200) ;
- en Méditerranée, la situation est nettement aggravée par la très faible variabilité du niveau marin (régime microtidal et surcotes assez faibles). Il en résulte que l'augmentation de 0,75 m de l'ESL centennal correspond à une très forte augmentation relative (supérieure à 60 %) et que l'événement actuellement centennal se produira environ cinq fois par an (facteur d'amplification de l'ordre de 500).

À l'horizon 2050, l'augmentation de l'ESL centennal sera de l'ordre de 5 % en Manche-Mer du Nord et dans le golfe de Gascogne. En Méditerranée, l'augmentation de l'intensité de l'ESL sera déjà de l'ordre de 20 %. Mais l'évolution de la situation sera surtout perceptible dans l'augmentation de la fréquence des ESL, puisque cette fréquence sera multipliée par 4 en Manche-Mer du Nord, par 5 dans le golfe de Gascogne et par 10 en Méditerranée.

Conclusion pour l'Outre-mer

L'analyse quantitative sur les façades maritimes de métropole peut être prolongée par une analyse plus qualitative sur les littoraux d'Outre-mer :

- sur les littoraux des Antilles, de La Réunion, de Mayotte et de la Polynésie Française, les marnages sont inférieurs à 2 m. Par contre le passage des cyclones génère des surcotes plus importantes (jusqu'à 3 m), ce qui confère aux niveaux marins une plus forte variabilité qu'en Méditerranée. On peut considérer que la situation de ces littoraux est intermédiaire entre celle de la Méditerranée et celle du golfe de Gascogne en termes de facteurs de surélévation et d'amplification. Cette évolution de l'aléa, en intensité et en fréquence, doit cependant être considérée comme plus préoccupante sur ces territoires, du fait des dommages supérieurs que peuvent causer les ouragans par rapport aux tempêtes qui atteignent la métropole ;
- sur le littoral de Saint-Pierre-et-Miquelon, les marnages sont inférieurs à 2 m. Si les vents violents qui soufflent régulièrement sur ces îles peuvent produire des surcotes assez importantes, la variabilité des niveaux marins demeure faible. De plus la montée du niveau marin sera un peu plus rapide que sur les autres littoraux français. La situation est donc

assez proche de celle de la Méditerranée en termes d'augmentation relative de la hauteur de l'ESL centennal et d'augmentation de la fréquence de l'ESL centennal actuel ;

- sur le littoral de la Guyane, le marnage maximal est 2,9 m, et la surcote maximale relevée dans la bibliographie n'est que de 0,4 m. L'augmentation de la hauteur des ESL et de leur fréquence sera du même ordre de grandeur qu'au sud de la façade atlantique de métropole. Cependant ce littoral proche de l'équateur est peu exposé aux événements météo-marins générateurs de fortes houles. La situation est donc moins préoccupante que sur les autres territoires ultramarins.

Références bibliographiques des chapitres 2.1 et 2.2

Almar, R., Ranasinghe, R., Bergsma, E.W.J., Diaz, H., Melet, A., Papa, F., Vousdoukas, M., Athanasiou, P., Dada, O., Almeida, L.P., Kestenare, E., 2021. A global analysis of extreme coastal water levels with implications for potential coastal overtopping. *Nat Commun* 12, 3775. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24008-9>

Bamber L. Jonathan, Oppenheimer Michael et al., 2019, Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, p. 5

Bertin X., Bruneau N., Breilh J.-Fr., B. Fortunato A., Karpytchev M., Importance of wave age and resonance in storm surges: The case Xynthia, Bay of Biscay, *Ocean Modelling*, Volume 42, 2012, Pages 16-30, ISSN 1463-5003, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2011.11.001>

Bowen, A. J., D. L. Inman, and V. P. Simmons (1968), Wave 'set-down' and set-up, *J. Geophys. Res.*, 73, 2569–2577, doi: 10.1029/JB073i008p02569

Buchanan, M.K., R.E. Kopp, M. Oppenheimer, and C. Tebaldi, 2016: Allowances for evolving coastal flood risk under 41 uncertain local sea-level rise. *Climatic Change*, 137(3–4), doi: 10.1007/s10584-016-1664-7

Calafat, F.M., Wahl, T., Tadesse, M.G., Sparrow, S.N., 2022. Trends in Europe storm surge extremes match the rate of sea-level rise. *Nature* 603, 841–845. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04426-5>

Cazenave, A., and G. Le Cozannet (2013), Sea level rise and its coastal impacts, *Earth's Future*, 2, 15–34, doi: 10.1002/2013EF000188

Cerema, 2018. Les niveaux marins extrêmes. Ports de métropole. Collection : Données. ISBN : 978-2-37180-308-4

Cerema, 2020. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 11 : Synthèse des connaissances de Saint-Pierre-et-Miquelon. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-341-1

Cerema, 2020. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 12 : Synthèse des connaissances de Saint-Barthélemy et Saint-Martin. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-342-8

Cerema, 2020. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 13 : Synthèse des connaissances de l'archipel de Guadeloupe. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-316-9

Cerema, 2020. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 14 : Synthèse des connaissances de la Martinique. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-343-5

Cerema, 2021. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 15 : Synthèse des connaissances de la Guyane. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-344-2

Cerema, 2019. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 16 : Synthèse des connaissances de l'archipel de Mayotte. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-311-4

Cerema, 2020. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 17 : Synthèse des connaissances de La Réunion. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-345-9

CIRIA, MEDDE, USACE, 2013. The International Levee Handbook. C731, CIRIA, UK, London.

ISBN : 978-0-86017-734-0. 1332 pages

De la Torre Y. (2017). Impacts du cyclone Irma sur le littoral des « îles du Nord » à Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Rapport BRGM/RP-67291-FR, 29 p., 20 ill., 2 ann

Dietrich, J.C., Bunya, S., Westerink, J.J., Ebersole, B.A., Smith, J.M., Atkinson, J.H., et al., 2010. A high resolution coupled riverine flow, tide, wind, wind wave and storm surge model for southern Louisiana and Mississippi: part II — synoptic description and analyses of Hurricanes Katrina and Rita. *Monthly Weather Review* 138, 378–404. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2907.1>

Dodet, G., Bertin, X., Bouchette, F., Gravelle, M., Testut, L., & Wöppelmann, G. (2019). Characterization of Sea-level Variations along the Metropolitan Coasts of France : Waves, Tides, Storm Surges and Long-term Changes. *Journal of Coastal Research*, 88(sp1), 10-24. <https://doi.org/10.2112/SI88-003.1>

Durand, F. (1996). Hydrodynamique sédimentaire sur le plateau insulaire de la Martinique. Thèse doctorale, Université Bordeaux 1. 214 p., 4 annexes, 3 cartes

Forbes, D.L., 2011: State of the Arctic coast 2010: scientific review and outlook. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Institute of Coastal Research. <http://arcticcoasts.org/files/sac/state%20of%20the%20arctic%20rept-exec%20summ-high%20res.pdf>

Graumann A. et al., 2006. Hurricane Katrina, A Climatological Perspective. October 2005, Updated August 2006. NOAA's National Climatic Data Center <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/techrpts/tr200501/tech-report-200501z.pdf>

(2006)

Haigh, I.D., Pickering, M.D., Green, J.A.M., Arbic, B.K., Arns, A., Dangendorf, S., Hill, D., Horsburgh, K., Howard, T., Idier, D., Jay, D.A., Jänicke, L., Lee, S.B., Müller, M., Schindelegger, M., Talke, S.A., Wilmes, S.-B., Woodworth, P.L., 2020. The Tides They Are a-Changin': A comprehensive review of past and future non-astronomical changes in tides, their driving mechanisms and future implications. *Reviews of Geophysics* n/a. <https://doi.org/10.1029/2018RG000636>

Hunter, J., 2012: A simple technique for estimating an allowance for uncertain sea level rise. *Clim. Change*, 113(2), 239–252, doi:10.1007/s10584-011-0332-1

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. Available online: <https://www.ipcc.ch/srocc/> (accessed on 20 December 2021)

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

Lamoureux, S. et al., 2015: The impact of climate change on infrastructure in the western and central Canadian Arctic. In: From Science to Policy in the Western and Central Canadian Arctic: an Integrated Regional Impact Study (IRIS) of Climate Change and Modernization [Stern, G.A. and A. Gaden (eds.)]. ArcticNet, Quebec, pp. 300–341

Lantuit, H. et al., 2011: Coastal erosion dynamics on the permafrost-dominated Bykovsky Peninsula, north Siberia, 1951–2006. *Polar Res.*, 30(1), 7341. <https://doi.org/10.3402/polar.v30i0.7341>

Louisior J., Laugel A., Gagnaire-Renou E, Benoît M., 2014. Modélisation de l'évolution des climats de houle sur les côtes françaises de l'île de La Réunion

Louisor J., Joly A., Tiberi-Wadier A., Joly A., (2015). Modélisation de l'évolution des climats de houle sur les côtes françaises des îles de la Martinique et de l'archipel de la Guadeloupe Rapport final. 100 p., 51 fig., 18 tab

Moss R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard et al., 2008: Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. IPCC Expert Meeting Report, 25 pp, 19–21 September, 2007, Noordwijkerhout, The Netherlands. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/expert-meeting-ts-scenarios-1-1.pdf> (accessed on 20 December 2021)

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>

Pagney, F. (1991). Genèse et dynamique de l'ouragan Hugo sur la Guadeloupe. In *Annales de géographie* (pp. 152- 165). Armand Colin

Planton Serge, Gonéri Le Cozannet, Anny Cazenave, Stéphane Costa, Olivier Douez, et al.. 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'Ecologie et du Développement Durable. 2015,70 p

Raftery, A. E., Zimmer, A., Frierson, D. M. W., Startz, R., and Liu, P.: Less than 2 °C warming by 2100 unlikely, *Nat. Clim. Chang.*, 7, 637–641, <https://doi.org/10.1038/nclimate3352> 2017

Ranasinghe Roshanka, Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review, *Earth-Science Reviews*, Volume 160, 2016, Pages 320-332, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.011>.

Talke, S. A., Famikhalili, R., Helaire, L. T., Jay, D. A., Orton, P. M., & Ralston, D. K. (2020, February). The influence of human induced landscape and bathymetry changes on tides, surge and extreme water levels. In *Ocean Sciences Meeting 2020. AGU*

U.S. Army Corps of Engineers (2002), *Coastal Engineering Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Vousdoukas, M. I., Bouziotas, D., Giardino, A., Bouwer, L. M., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., and Feyen, L.: Understanding epistemic uncertainty in large-scale coastal flood risk assessment for present and future climates, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 2127–2142, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2127-2018>

Partie III Autres contributions : routes arctiques, lien entre atténuation et adaptation ; résilience des infrastructures fluviales et conflits d'usage de l'eau

III.1 Ouverture des routes maritimes arctiques

La fonte accélérée de la banquise suscite, depuis la fin des années quatre-vingts, un vif intérêt pour l'ouverture de l'océan Arctique au transport maritime et l'établissement de liaisons ainsi raccourcies entre l'Asie, l'Europe et le continent américain. Il s'agit d'en apprécier les perspectives et les incidences possibles pour les armements et le système portuaire français. La bibliographie (références *in fine*) se montre réservée dans son ensemble sur ses potentialités. L'actualité, l'agression de la Russie contre l'Ukraine fin février 2022, en renforce les mises en garde stratégiques. L'enjeu de telles routes, de fait, dépend moins du réchauffement climatique que de la tempérance dans les rapports entre États : la liberté de la navigation ne dépend pas que du recul de la banquise. Il reste qu'un jeu de bascule des chaînes logistiques mondiales depuis les mers chaudes vers les mers froides ferait perdre aux ports français, très favorablement positionnés à l'ouverture sud de l'Europe et du « Range nord », leur avantage comparatif dans l'organisation des lignes du commerce maritime mondial.

III.1.1 Les perspectives de la navigation arctique

L'évolution accélérée de la banquise libère la périphérie de l'océan Arctique. Au cours de la période 1980 - 2000 la route maritime du Nord a été accessible environ 45 jours par an. Sa durée d'ouverture pourrait être allongée de 20 à 30 jours d'ici 2080 d'après le rapport du GIEC de 2014. Le rapport du groupe intergouvernemental sur le changement climatique (GIEC - septembre 2019) sur l'océan et la cryosphère confirme le constat et cette perspective. À plus long terme une éventuelle disparition complète des glaces d'été, qui ne correspond pas aux prévisions du GIEC, permettrait un transit direct intercontinental via le Pôle Nord. Ces nouvelles routes offriraient par rapport à celle de Panama, de Suez et du cap de Bonne-Espérance des gains de coûts de transport significatifs. Est souvent évoquée la règle des 30 %, pour 30 % de gain de distance entre ports chinois et européens et 30 % d'économies de soutes (combustible) et de coûts d'exploitation. Mais il convient de relativiser immédiatement ces ordres de grandeur car ils n'ont été évalués par les promoteurs de la navigation arctique qu'entre ports du Nord de la Chine et du Nord de l'Europe. Or les distances, et donc les temps et les coûts, s'équilibrent avec celles des routes actuelles par les mers chaudes dès que sont considérées les liaisons Europe - Extrême-Orient dans leur configuration d'escales habituelles qui correspondent aux attentes logistiques actuelles, européennes et françaises.

D'ores et déjà les autorités canadiennes ont marqué, pour des raisons de protection environnementale, leur distance à l'égard de la route du Nord-Ouest à travers les côtes très découpées de l'archipel canadien. Déjà opérationnel, le passage du Nord-Est, du détroit de Béring à la mer de Kara devant les côtes relativement linéaires de la Sibérie et de la Russie, est emprunté aujourd'hui par des navires qui y rencontrent de faibles quantités de glace l'été. Il est acquis que le trafic que l'on y constate pour la mise en valeur des ressources de la Sibérie a vocation à s'y développer. Les intérêts russes promeuvent d'ailleurs activement cette route du Nord-Est qu'ils dénomment la Route maritime du Nord (*Northern Sea Road – NSR*), longue de 14 000 km, contre les 22 000 km de la route traditionnelle par Suez, et s'étalant sur onze fuseaux horaires. La Russie se dit capable d'utiliser cette route six mois par an avec une flotte de 41 navires brise-glaces dont six nucléaires. Cette route assure la mise en valeur et l'approvisionnement de la Sibérie, enjeu crucial pour la Russie depuis Pierre le Grand. Celle-ci fait de l'espace arctique une priorité nationale, tirant de l'exploitation de ses réserves d'hydrocarbures plus de 15 % de son PIB et plus d'un cinquième de ses exportations. 18 millions de tonnes de marchandises ont été transportées sur cette route en 2018, Vladimir Poutine ordonnant que le volume annuel de marchandises transitant par cette route passe à 80 millions de tonnes en 2024. Les mises en production successives des

usines de GNL, des gisements de charbon et de nickel rendent ces perspectives plausibles, toutes choses égales par ailleurs. Les programmes de construction de vingt tankers et de méthaniers ainsi que de trois brise-glaces nucléaires par les chantiers russes appuient ces projections tout autant que l'adoption par la Douma des législations propres à assurer le contrôle de ces transports maritimes par les intérêts russes.

Dans leur raisonnement stratégique de puissances la Russie et la Chine s'allient pour le développement de cette Route maritime du Nord, rebaptisée Route de la soie polaire, dans le cadre du programme chinois Belt and road initiative qu'elle expose dans son livre blanc de 2018. De fait la Chine y contribue par ses investissements importants sur les ports d'Arkhangelsk et de Mourmansk, dans les sites de production GNL de Yamal et de Gydan, et pour des navires méthaniers brise-glaces. L'armement national chinois Cosco fait transiter chaque année des porte-conteneurs par la route du Nord. Cette montée en puissance de la Chine s'explique autant d'ailleurs par le fort recul des participations occidentales au programme de mise en valeur de la Sibérie à la suite de l'annexion en 2014 de la Crimée par la Russie.

Mais à ce jour le nombre de navires sur cette route maritime du Nord demeure marginal au regard du transport maritime mondial. Il ne représente annuellement en nombre de navires qu'une journée du trafic du canal de Panama. Il reste, de plus, circonscrit aux hydrocarbures et minerais exportés de Sibérie. De fait les trafics non plus de destination mais de transit des marchandises générales, qui constituent le moteur des échanges maritimes internationaux, y tiennent une place marginale et en régression. Après une montée en puissance au début des années 2010 culminant à 1,5 millions de tonnes annuelles, quand Suez enregistre 998 millions de tonnes, ce trafic est retombé des trois quarts les années suivantes et stagne depuis. Cela s'explique par les contraintes auxquelles cette route fait face, qui ne sont pas seulement climatiques et qui, de ce fait, ont vocation à perdurer même si les températures moyennes arctiques progressent de quelques degrés.

III.1.2 Les contraintes de la navigation arctique

Au-delà de la vulnérabilité au grand froid de beaucoup de marchandises générales, la navigation au nord du cercle polaire assume des contraintes qui affectent sa rentabilité, y compris dans un contexte de réchauffement climatique.

III.1.2.1 La persistance des contraintes liées aux glaces

Les modèles de prévision climatique ne prévoient en aucun cas la libération des glaces de l'océan Arctique pendant l'ensemble de l'année. Les routes du Nord demeureront par conséquent navigables seulement pendant l'été. Sur un été boréal de trois à quatre mois la route n'est actuellement complètement libre que pour quelques semaines à la fin de l'été, la mer de Sibérie orientale étant la dernière à se dégager et la banquise se reformant mi-octobre. Du fait de la dérive des glaces l'été et de leur accumulation en épaisseur du fait du vent, notamment dans les détroits et à proximité des îles et de la côte, la progression des navires dans les endroits névralgiques de la route peut s'avérer difficile même avec l'appui de brise-glaces. Si le réchauffement climatique accroîtra de quelques mois la disponibilité de la route arctique en réduisant également la variabilité de l'embâcle et de la débâcle d'un été ou d'un hiver à l'autre, cette route demeurera néanmoins déterminée par les glaces et donc par des charges et des coûts lourds et spécifiques pour la navigation.

- **Contraintes navales:** La classification « glace » des navires génère des surcoûts de construction de 10 % et des devis de poids élevés, avec parfois des exigences de double coque et de double motorisation. De même, pour ne pas se priver de manœuvrabilité ces navires sont limités en dimension, se privant ainsi des économies d'échelle propres au transport maritime.
- **Contraintes nautiques:** La réduction de vitesse et les difficultés de détection des « growlers » qui imposent des changements de cap répétés rallongent les temps et les distances de 20 à 30 % et imposent des modulations d'allure coûteuses en combustibles. L'expérience spécifique des équipages coûte cher également. Enfin peu de ports refuges en eau profonde sont identifiés sur la côte sibérienne ; la plupart cotent à moins de douze mètres et sont peu équipés.

- **Contraintes hydrographiques:** La route maritime du Nord comprend de nombreux détroits, de très faible profondeur parfois (13 m). La zone reste mal hydrographiée, les aides à la navigation sont rares, moins précises et moins redondantes qu'ailleurs. Les communications satellitaires Inmarsat ne sont plus disponibles aux latitudes au-dessus de 72° Nord. Pour ces raisons les prestations de pilotage maritimes demeureront obligatoires avec leurs conséquences en termes de coûts mais aussi de perte de temps et de route pour l'attente de la disponibilité du pilote ainsi que sa prise en charge dans un port. L'escorte d'un brise-glace, d'un coût équivalent à celui du franchissement du canal de Suez, demeurera également nécessaire dans le calcul du transit en terme de coûts et de temps. La question de la disponibilité des brise-glaces se pose d'ailleurs dans les mêmes termes que pour le pilotage. Le recours à un brise-glace constitue en outre un facteur limitant la largeur du navire suiveur, le chenal libre de glace créé par son sillage ne dépassant pas trente mètres de large. Cela limite la taille des navires suiveurs à 100 000 tonnes pour les navires de charge et à 5 000 EVP pour les porte-conteneurs, dans la fourchette basse du transport maritime.
- **Contraintes assurantielles:** Les surprimes, de 10 à 50 %, couvrent les risques propres à la région arctique au-delà de 60° Nord : collision avec la glace et voie d'eau, avarie machine en raison du froid, manque de navires d'assistance et de remorqueurs en cas d'avarie, gestion difficile d'une pollution accidentelle, immobilisation dans les glaces, etc...

III.1.2.2 Les contraintes environnementales

Les caractéristiques climatiques et l'isolement des zones arctiques rendent cette région particulièrement vulnérable aux pollutions, accidentelles ou d'usage. Leur intérêt crucial pour la biodiversité et l'enjeu en soi de la protection de leur intégrité appellent des protections spécifiques qui pèsent sur cette route maritime. Ainsi l'organisation maritime internationale (OMI), par son code polaire entré en vigueur le 1^{er} janvier 2017, renforce la sécurité de l'exploitation des navires et atténue leur impact sur l'environnement de façon similaire à l'Antarctique par l'interdiction du fioul lourd dès 2024, généralisée au plus tard au 1^{er} juillet 2029, au profit du diesel. Cette surcharge de combustible réduit l'écart de coût avec les routes actuelles par les mers chaudes.

III.1.2.3 Les contraintes géomorphologiques

La route maritime du Nord souffre, on l'a vu, d'insuffisants relais portuaires et soutiens industriels en dehors des sites d'exploitation actuels des gisements d'hydrocarbures et miniers, qui la privent de points d'expansion. Or l'effet du réchauffement climatique sur le dégel du sol et du sous-sol arctique (la fonte du permafrost - pergélisol) freine, voire paralyse les projets d'infrastructures lourdes par défaut de résistance des sols. C'est ainsi que la Russie construit actuellement sur barges deux centrales nucléaires à l'est de la Sibérie pour les affranchir de ce type de risque. Le développement d'infrastructures portuaires le long de la route maritime du Nord réclamerait donc un alourdissement considérable de leurs coûts si cette difficulté ne rendait pas de tels investissements simplement inenvisageables.

III.1.2.4 Les contraintes commerciales

Dans l'organisation logistique mondiale, conditionnée par la massification des transports par conteneurs et par la rigueur de leur cadencement « juste à temps », les aléas climatiques et nautiques de la navigation circumpolaire ne peuvent pas être considérés dans les trente prochaines années comme négligeables pour la planification rigoureuse des escales par la route maritime du Nord. Cette route ne devrait dès lors pas davantage qu'aujourd'hui mobiliser les trafics conteneurs. De plus la route polaire n'offre aucune escale intermédiaire ni aucun hub portuaire significatif entre la Chine et le nord de l'Europe, à la différence des lignes actuelles Europe-Méditerranée-Suez-Singapour-Chine. Pour la plupart des armements la route arctique apparaît davantage comme théorique que comme une alternative aux routes actuelles.

Enfin pour ce qui est du transport de vrac, en dehors de la Russie pour l'exportation de ses propres gisements de Sibérie, peu de pays se montrent objectivement concernés par la route du Nord. La Chine se procure son fer en Australie, son pétrole au Moyen-Orient et en Asie centrale, son cuivre au Chili et aux USA. Ce sont donc essentiellement les trafics liés à l'exploitation des ressources

minières de Sibérie et la desserte des communautés locales qui continueront de constituer le moteur du développement de la route maritime du Nord.

Cette marginalité des routes arctiques se trouve accentuée par les facteurs géopolitiques et militaires propres à cette zone à lourds enjeux, indépendamment du réchauffement climatique.

III.1.3 Les routes arctiques au cœur de zones de confrontations

Le transport maritime ne peut prospérer sans une liberté de navigation stable et complète permettant aux organisations logistiques de jouer les économies d'échelle et les coûts marginaux à l'abri des enjeux de puissances et des rivalités interétatiques. L'agression en mars 2022 de la Russie contre l'Ukraine éclaire dramatiquement les points de prudence qui ont accompagné les réflexions de ces dernières années sur l'opportunité de cette route maritime du Nord qui longe sur 6 000 km les côtes de la Russie.

III.1.3.1 Les rivalités de souverainetés dans la zone arctique

Selon plusieurs études 30 % des gisements de gaz et 10 % des réserves de pétrole supposés et non encore découverts de la planète seraient situés en zone boréale, la plus grande partie dans les zones économiques exclusives (ZEE) des cinq États bordant l'océan Arctique (Canada, USA, Russie, Norvège, Danemark). 60 % des réserves de gaz de l'Arctique se trouveraient dans la ZEE de la Russie. La création en 1996 du Conseil de l'Arctique comme enceinte de coopération entre États riverains pour résoudre ces enjeux dans le cadre du droit maritime international n'a pas empêché « l'appropriation » du point géographique du Pôle Nord par la Russie à l'été 2007. Elle y a fait planter par un bathyscaphe un drapeau russe en titane par 4200 mètres de fond.

Zone névralgique pendant la guerre froide pour les dispositifs d'interception et de protection des deux blocs, l'Arctique redevient aujourd'hui un sujet d'inquiétude. La multiplication récente des bases militaires russes, une quinzaine, le long des côtes arctiques et le développement des exercices militaires associés sont dénoncés depuis quelques années par les États-Unis d'Amérique au nom en particulier de la protection de la liberté de navigation notamment sur le passage du Nord-Est. Mais les tensions existent également autour du passage du Nord-Ouest entre États-Unis d'Amérique et Canada qui ont depuis 1950 convenu d'être en désaccord sur son statut. Ottawa considère en effet les eaux archipélagiques du Nord-Ouest comme « eaux intérieures », ces îles étant la continuité du continent canadien, et les routes qui les traversent devant être contrôlées pour des raisons de sécurité environnementales par le Canada. Tandis que pour les USA, et l'Union européenne dans une moindre mesure, il s'agit de détroits internationaux où doit être garantie la liberté de la navigation. S'agissant du passage du Nord-Est, la Route maritime du Nord, les autorités russes ont utilisé les mêmes arguments pour englober dans leurs eaux intérieures les passages entre les îles et le continent qui s'apparentent davantage à des détroits internationaux. Cette position leur permet de revendiquer la souveraineté sur la route maritime du Nord et d'y imposer dès lors leurs conditions d'usage et de taxation. Ce faisant la Russie réfute le fait que la majeure partie du tracé de cette route maritime du Nord se situe au-delà de ses eaux territoriales et se trouve donc placée sous le régime de la liberté de navigation. La Russie a par ailleurs légiféré pour conditionner la navigation des navires d'État étrangers dans ses eaux territoriales à l'accord préalable et sous condition des autorités russes, à l'encontre des principes de la liberté de navigation et du libre passage inoffensif.

III.1.3.2 La militarisation des abords de la route du Nord au détriment de sa sécurisation civile

Pour autant la Russie ne développe pas les moyens de sécurisation maritime de cette route sur les six mille kilomètres de ses côtes. En dépit de ses engagements d'y implanter onze centres de secours et de sauvetage maritime seuls deux sont en service en 2021 tandis que d'importants moyens sont dédiés à la réactivation d'anciennes bases militaires ou à la construction de nouvelles, à l'implantation de station radar et d'écoute ainsi que de sites de missiles. De même, les services d'aide et d'assistance à la navigation civile, qui appellent des investissements considérables en termes d'hydrographie, de positionnement et de balisage électroniques, de pilotage hauturier, d'assistance aux navires en détresse et de matériel de lutte contre les pollutions ne sont pas

développés. Le contrôle de la Russie sur la route maritime du Nord se révèle davantage stratégique et militaire qu'ouvert à la coopération internationale au profit du commerce mondial. Cette réalité ne plaide pas pour les garanties de la liberté de navigation au large de la Russie. Et les perspectives ouvertes pour la navigation du fait du réchauffement climatique semblent de ce point de vue durablement annihilées par le non-respect de l'ordre international par l'actuel gouvernement russe.

En conclusion, les perspectives d'accroissement spectaculaire des trafics entre l'Europe et l'Extrême-Orient par les routes arctiques se heurtent à la réalité des difficultés de la navigation dans les zones polaires qui ne deviendront pas des mers tempérées même dans les scénarios les plus alarmés du réchauffement climatique. De fait les armateurs et leurs assureurs montrent un faible intérêt pour ces routes, aujourd'hui et dans le futur imaginable. Les promesses, qui sont portées au crédit de la route maritime du Nord le long des côtes de la Russie, servent principalement les intérêts de puissance de son gouvernement.

Parce que le transport maritime est une industrie d'opportunité propre à s'adapter aux circonstances les plus particulières on peut lui faire le crédit de savoir choisir avec discernement entre perspectives climatiques à l'horizon de 2080 et réalités du monde d'aujourd'hui et de demain.

Bibliographie du III.1

- Arctique: nouvelles routes maritimes, nouveaux enjeux stratégiques. (Vie publique. 01 07 2019)
- Les routes maritimes arctiques : un enjeu de commerce international et de liberté de navigation. (Observatoire arctique. 2016)
- Des autoroutes maritimes polaires ? Analyse des stratégies des transporteurs maritimes dans l'arctique. (Cybergeo: *European Journal of Geography*. 2011)
- La route maritime du Nord (Armateurs de France. Mai 2020)
La route maritime du Nord, perspectives et réalités. (Hervé Baudu. Conseil québécois d'études géopolitiques. 2019)

III.2 Aggravation des événements fluviaux extrêmes

III.2.1 Résilience des infrastructures de navigation fluviale

a - Évolution des aléas:

Le projet Explore 2070 (2010-2012) a établi des projections hydrologiques et de températures sur la base des rapports du Giec et de modélisations par bassins. Ses résultats seront actualisés par le projet Explore 2 en 2024. Une description plus précise de ces démarches et des résultats est donnée en annexe 3.

Il ressort notamment d'Explore 2070, une baisse généralisée en France des débits moyens et plus encore des débits d'étiage : la baisse du QMNA5 (débit mensuel minimal annuel de période de retour 5 ans) est de l'ordre de 5 à 65 % selon les régions et cours d'eau à l'horizon 2070.

b - les risques et conséquences

Les conséquences sur les voies navigables sont distinctes en crue et en étiage. Elles se posent à la fois en termes de robustesse de l'exploitation et de résilience de l'infrastructure elle-même.

Par ailleurs, la voie d'eau est à considérer à la fois dans sa fonction d'infrastructure de transport de marchandises (passage des bateaux) et dans sa fonction de stockage et transport de l'eau pour de multiples usages qui se renforce d'autant plus que le réseau VN est fortement lié au réseau hydrographique national.

En étiage, la diminution de la ressource en eau pourra se combiner à une augmentation du besoin due aux températures plus élevées donc à une évapotranspiration accrue. Cette réduction de la ressource disponible pour VNF sera encore accentuée par la concurrence accrue sur les usages de l'eau, selon les arbitrages.

Elle est susceptible de conduire aux phénomènes suivants :

Difficultés pour l'exploitation des VN si la ressource est inférieure au besoin, dans un contexte de partage de la ressource, avec une augmentation des périodes de restriction ou d'arrêt de la navigation.

Les canaux nécessitent des prélèvements en rivière respectant les débits réservés ; les prélèvements autorisés vont donc diminuer. Les prélèvements se font soit directement par prise d'eau sur les cours d'eau soit par l'intermédiaire de barrages réservoirs qui sont un appoint pour certains canaux ; Prises d'eau et barrages réservoirs sont en général reliés aux canaux par des rigoles. Certains secteurs étant déjà en difficulté en été, il est probable que la ressource ne sera plus suffisante partout pour remplir les barrages réservoirs en hiver et au printemps, et maintenir les niveaux d'eau nécessaires pour la navigation dans les canaux.

En rivière, les niveaux d'eau sont tenus par les barrages de navigation ce qui en diminue la sensibilité au débit par rapport aux canaux. Toutefois, des débits très faibles conduiraient aussi à des difficultés pour maintenir les niveaux d'eau en raison des débits minimums à maintenir, des consommations diverses (éclusées, fuites aux barrages, autres prélèvements, évapotranspiration), et de la difficulté de la régulation fine avec des faibles débits.

Ce fonctionnement fragile repose sur des infrastructures nombreuses et dispersées, souvent anciennes (barrages réservoirs, barrages de navigations, digues, rigoles berges). Si elles ne sont pas maintenues en bon état, l'efficacité sera moindre et les difficultés seront accentuées.

Fragilisation des digues par les plus longues périodes de sécheresses entraînant un vieillissement des matériaux argileux ou limoneux, soumis à des cycles hydriques, et pouvant conduire à des phénomènes divers de retrait, fissuration, gonflement et diminution de perméabilité à long terme. Ces phénomènes sont encore mal connus (voir thèse de Yasmina Mankour : Durabilité des digues fluviales ; université Paris-Est 2019).

Autres conséquences concernant l'environnement et la biodiversité: la baisse des débits et la hausse des températures ont un impact sur la pollution (eau plus chaude et moindre dilution) et les espèces invasives.

En crue, les évolutions sont moins marquées et plus variables selon les bassins, mais des événements de crues plus violents (rapidité et intensité) dans certaines régions pourront conduire à l'interruption ou de la navigation ou des restrictions durant la crue.

La submersion ou l'érosion des digues de canaux voisines des cours d'eau dont les crues sont plus violentes (exemple de l'Aude et du canal du Midi) avec pour conséquence une destruction partielle des digues.

Le passage des débits dans les canaux, avec ou sans brèche (exemple du Loing en 2016) éventuellement au-delà de la capacité du canal avec des risques de débordement.

L'abaissement du niveau de protection des barrages réservoirs en raison de la modification des références de crues, entraînant aussi une réduction du niveau d'eau pour des raisons réglementaires et donc de la réserve en étiage.

c - les stratégies d'adaptation

L'analyse peut se faire au niveau d'une voie d'eau dont la fonction a vocation à être pérennisée (gestion hydraulique d'une voie d'eau intégrant l'ensemble de ses consommations et ressources) ou d'un bassin versant en considérant l'ensemble des autres usages et prélèvements (agriculture, eau potable, industrie...) et les nécessités d'arbitrages.

Au premier niveau, les stratégies possibles sont :

- d'évaluer finement la vulnérabilité de la voie étudiée par rapport aux différents scénarios climatiques pour les enjeux et fonctions de cette voie ;
- d'améliorer la connaissance du réseau par des systèmes de mesure et supervision voire gestion en temps réel ;
- d'économiser l'eau en particulier en recherchant et réduisant les fuites, et d'optimiser les réserves en eau ;
- d'optimiser l'exploitation et l'utilisation de la ressource par la modernisation des méthodes et l'adaptation des niveaux de service ;
- de moderniser, de fiabiliser et de mettre en conformité réglementaire les ouvrages (par exemple les évacuateurs de crue), ce qui contribue à améliorer leurs performances et l'efficacité des actions ci-dessus.

Au second niveau, il s'agit de collaborer à l'échelle adaptée avec tous les acteurs du fluvial, les parties prenantes pour les divers usages de l'eau, et les acteurs institutionnels (collectivités mettant en œuvre la Gemapi, agence de l'eau, EPCI). L'objectif est d'anticiper sur l'évolution de la ressource, de connaître les interactions entre les différents usages de l'eau et de définir les futures modalités de gestion et de partage de la ressource.

III.2.2 Espèces invasives

Les espèces invasives ont tendance à se développer dans les cours d'eau ou dans les eaux marines avec les élévations de température observées au cours des dernières décennies et les autres inducteurs de modifications du climat qui accompagnent ces réchauffements. Un travail international est mené actuellement par l'AIPCN³⁶ sur ce thème pour l'ensemble des infrastructures de transport maritime ou fluvial ; et VNF, très concerné par ce sujet, a réalisé conjointement avec l'OFB les premières assises nationales sur les plantes invasives en France pour faire le point sur cette question, sur les techniques mobilisables et sur les besoins de recherche complémentaires pour mieux appréhender le phénomène. La contribution de VNF à ce rapport, dont une partie figure en annexe 4 permet de se rendre compte de l'importance que revêt déjà ce sujet, de son rythme d'évolution et des pistes envisagées pour y faire face.

III.2.2.1 Une stratégie offensive pour contrer le développement du Myriophylle hétérophylle dans les canaux et rivières français

Les espèces exotiques les plus présentes sur le réseau de VNF sont le Myriophylle hétérophylle, les Elodées, l'Egérie dense et la Jussie.

VNF a décidé de mettre en place un plan d'actions spécifique pour stopper la prolifération du Myriophylle hétérophylle dont l'expansion est particulièrement importante ces dernières années.

Cette espèce pousse extrêmement rapidement, jusqu'à 30 cm par semaine (en particulier au printemps) et reste présente sur le réseau tout au long de l'année. Ces caractéristiques, associées à sa faculté de multiplication, expliquent son développement foudroyant dans le réseau fluvial.

Rien que dans le Nord-Est de la France, le réseau fluvial a vu la présence de la plante passer de 70 km à 300 km de canaux impactés entre 2017 et 2020 (comme le montrent les deux cartes ci-après).

³⁶ AIPCN EnviCom GT 218 « *The implications of invasive alien species for waterborne transport infrastructure* »

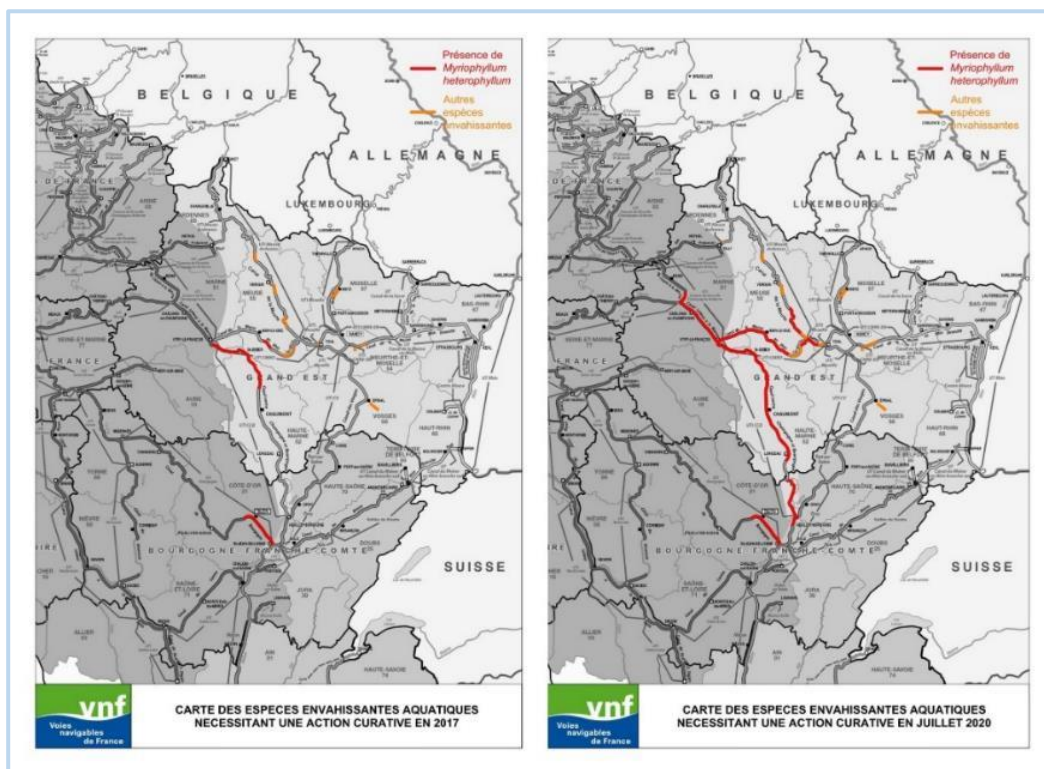


Figure 31 : cartes des espèces envahissantes aquatiques en 2017 et 2020-source VNF

Le même constat a été observé sur le canal de Bourgogne ces deux dernières années.

Confronté à cette espèce pour la première fois il y a plusieurs années sur quelques biefs du Canal de Champagne à Bourgogne, sa présence a été identifiée par VNF sur 600 km de linéaire en 2020. Elle a poursuivi son expansion en 2021, colonisant de nouveaux secteurs jusqu'à présent peu ou pas impactés.

Inscrit sur la liste des espèces exotiques envahissantes (EEE) préoccupantes pour l'Union européenne, le Myriophylle hétérophylle fait l'objet d'une réglementation européenne (transposée en droit français par la loi Biodiversité de 2016). Aujourd'hui, le Myriophylle Hétérophylle est présent dans de nombreux pays en Europe, au-delà de la France : Pays-Bas, Allemagne, Belgique, Suisse, Espagne, Croatie, Autriche, notamment.

À ce jour, seules les techniques d'arrachage et de faucardage offrent des résultats rapides :

- l'arrachage permet d'affaiblir la plante et de diminuer son envahissement
- le faucardage permet un « nettoyage » immédiat pour assurer la navigation.

Ces opérations sont réalisées avec du matériel spécifique : faucardeur amphibie, bateau faucardeur, faucardeur-moissonneur...

Le protocole élaboré par le réseau d'experts, préconise avant toute intervention, que les équipes de VNF prévoient un dispositif de capture des fragments de plante afin de limiter autant que possible la dispersion de la plante (pose de filets, barrage de confinement, barrage flottant à jupe). La phase de ramassage est l'étape clé du chantier. Il est en effet primordial de ramasser les fragments avec une grande précaution, pour ne pas entretenir la prolifération et éviter ainsi de créer de nouveaux foyers.

III.2.2.1 Le développement d'expérimentations et de partenariats pour mettre en place collectivement des solutions pérennes

Face au défi que représente la prolifération des plantes exotiques envahissantes, il apparaît dès

lors crucial de mobiliser tous les types d'acteurs concernés, gestionnaires, collectivités territoriales, établissements publics, structures de recherche, associations naturalistes, pour mettre en place des actions, outils et financements communs et traiter cet enjeu environnemental et de territoire de façon concertée.

VNF entend agir de façon volontariste, en contribuant à la recherche et à l'innovation pour développer des solutions pérennes, via la mise en place de partenariats et d'expérimentations.

En 2021, sur les 2,8 millions d'euros dépensés pour la gestion des plantes envahissantes, 1,5 millions étaient dédiés à l'expérimentation et la recherche. De nombreuses expérimentations ont ainsi été réalisées comme le test de différents matériels d'arrachage, l'arrachage à l'automne, la mise en place de rideaux de bulles pour limiter la dispersion des fragments et aider au ramassage des débris... Toutes ses expérimentations font ensuite l'objet d'un suivi afin d'étudier l'évolution de la croissance des plantes après intervention.

La recherche s'avère fondamentale pour mieux comprendre les facteurs qui expliquent la propagation accélérée des EEE et identifier les solutions de gestion les plus adaptées (matériels et traitements les plus efficaces). Pour ce faire, VNF participe activement à l'élaboration d'un programme ambitieux, qui comporte plusieurs volets :

- l'expérimentation ;
- la recherche.

L'établissement cofinance avec l'agence de l'eau Rhin Meuse et le département de la Somme, une thèse sur le Myriophylle hétérophylle (pour un montant de 156 000 euros). **Supervisée par l'Université de Lorraine**, la thèse vise essentiellement à mieux comprendre les facteurs environnementaux déterminants dans la croissance de la plante et prédire son développement afin d'adapter et d'améliorer sa gestion. Elle a également pour objectif d'étudier les services écosystémiques rendus par la végétation aquatique pour estimer le coût économique de la prolifération du Myriophylle hétérophylle.

En parallèle, une **étude pilotée par le Cerema** a été réalisée sur la **recherche de filières de valorisation et d'élimination des déchets** de chantier générés par la gestion du Myriophylle hétérophylle (un budget de 20 000 euros). Cette étude est complétée **par un partenariat avec GRDF gaz** afin d'étudier le potentiel méthanogène du Myriophylle Hétérophylle en vue d'une valorisation en méthanisation.

- L'innovation

Un appel à partenaires a également été lancé via **le pôle DREAM eau et milieux** afin de permettre à VNF de réaliser un *benchmark* des entreprises proposant des solutions innovantes. Un groupe de travail innovation interne a été mis en place afin d'étudier toutes les solutions proposées.

III.2.3 Aggravation des conflits d'usage de l'eau

Avec le changement climatique, les épisodes de sécheresse tendent à devenir plus fréquents et plus intenses. Ces épisodes entraînent une augmentation des conflits d'usage de l'eau.

À ce jour, il existe de multiples usages de l'eau. Les prélèvements et les influences anthropiques sont observés à plusieurs niveaux :

- pour l'irrigation des terres agricoles,
- pour l'alimentation en eau potable,
- pour la production hydro-électrique,
- pour l'industrie et notamment le refroidissement des centrales nucléaires,
- les prélèvements destinés aux autres usages, dont celui de la navigation fluviale.

Par ailleurs, nous distinguons un aspect saisonnier par rapport à l'apparition de ces tensions. En

effet, la saison estivale devrait être la plus sensible principalement à cause des demandes croissantes dans de nombreux secteurs. La consommation en eau dans le domaine agricole devrait augmenter ; la démographie étant toujours en croissance, la demande agrégée en eau potable sera en hausse ; le besoin pour le tourisme nautique ainsi que pour les centres de loisirs aquatiques pourrait décupler. En raison d'une augmentation de la demande en électricité en été, il sera également nécessaire de refroidir plus fréquemment les centrales nucléaires, ce qui augmentera les prélèvements à un instant t et les températures de l'eau.

Pour les agriculteurs, comme pour d'autres acteurs économiques, les épisodes de plus en plus longs et répétés de sécheresse impacteront la viabilité de leurs exploitations et activités, avec notamment pour conséquence des variations brutales des volumes de production qui augmenteront mécaniquement et une plus grande volatilité des marchés.

Ces usages sont parfois concurrents et peuvent générer des contraintes lorsque la ressource est limitée. Des règles de répartition parfois anciennes encadrent l'usage de l'eau. Ces règles seront peut-être à repenser pour s'adapter au mieux à l'évolution de nos besoins et de nos contraintes et trouver un équilibre entre son utilisation et les besoins des milieux naturels (qualité des eaux et biodiversité).

Il y a donc urgence à agir pour garantir la pérennité de ces activités, de leurs productions et de leur ancrage à la fois social et économique dans nos territoires. Face à ce constat d'urgence, le président de la République a appelé à une mobilisation collective et rapide avec un impératif : anticiper les effets du changement climatique sur nos activités pour mieux la protéger et s'adapter. Par exemple, à la suite des Assises de l'Eau conclues en 2019, cet élan est décliné et porté par le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique lancé le 28 mai 2021 par Julien Denormandie, ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation et Bérangère Abba, secrétaire d'État chargée de la Biodiversité. Ils ont appelé l'ensemble des parties-prenantes (représentants agricoles, associations, élus, territoires...) à prendre part aux groupes de travail.

Les objectifs principaux de ces groupes de travail portent sur :

- une meilleure anticipation des impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à l'échéance 2070,
- l'adaptation des pratiques pour économiser la ressource,
- le partage d'une vision raisonnée des besoins et de l'accès aux ressources mobilisables pour les différentes activités.

Ces axes de travail peuvent d'ores et déjà constituer des pistes de réflexion pour l'ensemble des activités concernées par les futurs conflits d'usages de l'eau afin d'identifier au plus vite les actions à entreprendre.

III.3 Impact des mesures d'atténuation sur l'adaptation des infrastructures : le cas des ports

La transition écologique des ports est une ambition-clé de la stratégie nationale portuaire (SNP) adoptée en janvier 2021. Les ports ont vocation à devenir des accélérateurs des transitions écologique et énergétique à horizon 2025-2030. Dans ce cadre, les ports français mettent en œuvre une série d'actions destinées à réduire leur impact environnemental et à développer leurs activités dans une logique d'écologie industrielle, en cohérence avec les objectifs nationaux de décarbonation à horizon 2050 - développement des infrastructures de carburants alternatifs, écologie industrielle, corridors verts, etc.

III.3.1 Les ports français développent une offre diversifiée en branchements électriques à quai et en carburants alternatifs

- La stratégie nationale portuaire (SNP) prévoit pour chaque grand port maritime (GPM) une feuille de route pour le déploiement de carburants alternatifs et de l'électricité à quai à horizon 2025, afin de renforcer la contribution du secteur portuaire à la décarbonation des transports. Dans ce cadre, les ports français ont engagé une série de projets structurants de transition écologique qui visent à réduire l'impact environnemental de l'activité portuaire, en particulier sur les trois grands axes : Nord, Seine, Méditerranée-Rhône-Saône (MeRS) mais aussi sur les façades Atlantique (La Rochelle, Bordeaux, Nantes) et Méditerranée (Sète, Toulon).
- La fourniture d'électricité par les ports et le raccordement des navires à quai est l'une des solutions permettant de réduire l'impact environnemental des navires en escale. Selon les études de la Commission européenne, en France, le branchement d'un navire à une borne électrique à quai permet une réduction de l'émission de CO₂ de l'ordre de 86 %³⁷.
- À l'échelle nationale, quatre GPM (ports d'État) métropolitains sont déjà équipés d'une dizaine de branchements à quai : Marseille, Dunkerque et La Rochelle, Nantes (Le Port de Nantes Saint-Nazaire dispose de branchements à quai dans ses bassins de Saint-Nazaire, notamment pour les besoins de la construction navale). Pour les autres GPM, des projets à horizon 2022-2025-2030 sont déjà lancés. Les ports décentralisés développent aussi des solutions : le port de Sète a signé en novembre 2020 une convention avec ENEDIS pour déployer d'ici à 2023 le branchement électrique à quai des navires.
- Les crédits de FRANCE Relance pour le verdissement des ports (175 M€) permettent d'accompagner le financement d'investissements en électricité à quai sur les terminaux portuaires français. À titre d'exemple, l'État contribuera pour plus de 5 M€ aux projets de bornes à quai sur les terminaux « croisières » et « ferries internationaux » du port de Marseille. De même, à HAROPA – PORT DU HAVRE, le projet RENAQ (raccordement électrique des navires à quais) vise à électrifier progressivement les quais croisière entre 2023 et 2025. Un investissement de 20 M€ est dédié à ce projet, dont un soutien de 11,1 M€ porté par FRANCE Relance.
- Le développement d'infrastructures de carburants alternatifs cohérentes et efficaces passe aussi par des démarches de partenariats/coopérations entre ports, à l'image de la **déclaration pour un engagement commun des acteurs portuaires pour la réduction de l'impact environnemental des escales**, signée sous initiative de la France lors du *One Ocean Summit* de Brest en février 2022 par plus de quinze États de l'Union européenne, d'Amérique du Nord et de l'Asie ainsi qu'une vingtaine de grands ports maritimes et la Banque européenne d'investissement : les signataires de la déclaration s'engagent pour le déploiement de branchements électriques à quai d'ici 2028, notamment en faveur des navires de croisières et des porte-conteneurs, ainsi que pour des mécanismes incitatifs permettant de réduire les frais d'escale des navires les plus propres.
- **Le Port de Nantes Saint-Nazaire est engagé dans le cadre du projet européen (programme Interreg Europe *Smooth Ports*, 2019-2022) dont l'objectif est la réduction des émissions de GES liés aux circulations routières dans les zones portuaires (implantation mi-2021 au plus près des terminaux d'une station-service GNV/Biogaz).**
- **Les zones portuaires sont des espaces propices au développement de l'hydrogène** de par leur concentration d'activités associées aux différents usages de l'hydrogène (production et distribution énergétiques, logistique, transports fluviaux, maritimes et terrestres, *process* industriels). De nombreux projets portuaires ont d'ores et déjà été initiés – **construction d'unités de production d'hydrogène vert par électrolyse de l'eau à Dunkerque ou Marseille, réemploi d'hydrogène fatal à Bordeaux, capture carbone en Vallée de Seine, etc...** **Le Port de Nantes Saint-Nazaire travaille actuellement sur un**

³⁷ La consommation d'électricité à quai en 2019 était de 10 400 MWh. Une telle consommation de fioul lourd aurait généré 4,472 tonnes d'émissions soufrées, 135,2 tonnes d'émissions azotées et 5,919 tonnes de particules (PM 2.5). En termes d'émissions de gaz à effet de serre, une consommation équivalente de fioul lourd aurait émis 3 370 tonnes de CO₂.

schéma de déploiement de l'hydrogène dans son écosystème à 2025, visant à développer un hub régional pour la production, le stockage et la distribution au service d'une mobilité et d'une industrie décarbonées. En lien avec le développement de l'hydrogène, **des projets de production d'e-fuel (e-méthanol, e-ammoniac) sont en cours d'élaboration sur le domaine portuaire du GPMM.**

III.3.2 Les ports français s'engagent à récompenser la performance environnementale des navires

- Créée en 2011 par l'*International Association of Ports and Harbors* (IAPH), la démarche *Environmental Ship Index* (ESI) vise à récompenser les compagnies maritimes vertueuses d'un point de vue environnemental. L'ESI permet d'établir, pour chaque navire participant, un score de 0 à 100 tenant compte de plusieurs paramètres. Selon un seuil d'éligibilité défini à l'échelle des ports, les navires ESI peuvent prétendre à des réductions sur les frais d'escale. Un plafond à hauteur de 10 % des droits de port a été fixé en 2020. Plusieurs ports français ont adhéré à la démarche ESI depuis son lancement : HAROPA (ports du Havre et de Rouen), GPM de La Rochelle, GPM de Marseille, GPM de La Réunion, GPM de Dunkerque, GPM de Nantes-St-Nazaire et GPM de Bordeaux.
- Des « chartes de bonnes pratiques environnementales » pour l'accueil des navires de croisière ont été adoptées aux fins d'amélioration de la qualité de l'air (réduction de la vitesse des navires, utilisation de carburant à faible teneur en soufre dès l'entrée de la zone de pilotage obligatoire...) ont été mises en place aux GPM de Bordeaux et Marseille ou encore au port de Cannes.

III.3.3 Les ports français participent activement au dialogue « villes-ports »

- **À l'instar du GPM de Marseille** (partenariats avec ATMOSUD pour l'amélioration de la qualité de l'air aux abords des ports) **certains ports ont adopté des chartes « ville-port »** associant les acteurs locaux afin de définir une stratégie d'aménagement conciliant la qualité de vie des riverains, la protection du patrimoine naturel et le développement des activités économiques.
- **Les ports français, à l'image de HAROPA – Port du Havre, mettent également en œuvre des politiques d'amélioration continue de la performance environnementale**, garantie par le Système de Management Environnemental (SME) : éco-conception des projets d'aménagement, prise en compte des risques environnementaux dans l'architecture des bâtiments. **Certains déploient en complément des démarches globales d'engagement RSE, à l'instar du GPM de La Rochelle** qui atteint le niveau « exemplaire » le plus élevé de ce référentiel (ISO 26000).
- En outre, **les ports français sont particulièrement actifs au sein de l'Association internationale des villes portuaires (AIVP)**, organisation internationale qui rassemble depuis 30 ans les acteurs, publics et privés, du développement des villes portuaires. L'AIVP publie des études, des guides, et des revues de projet, dont notamment un **guide de bonnes pratiques Faire la ville avec le port**, consacré en partie aux défis environnementaux - submersion marine, nuisances industrielles portuaires, optimisation des consommations énergétiques, préservation de la biodiversité, etc.

III.3.4 Les ports français contribuent à la dynamique des énergies marines renouvelables (EMR)

- Plus de **55 M€ d'investissements en faveur des EMR ont été réalisés en 2019 dans les ports français** (maintenance, hub logistique, production industrielle). Près de 200 hectares d'espaces fonciers portuaires sont d'ores et déjà consacrés aux EMR. La part des EnR, et en particulier de l'éolien en mer, est appelée à croître de manière accélérée dans une perspective d'un mix énergétique totalement décarboné à l'horizon 2050. En ce

sens, lors de son déplacement à Belfort le 10 février dernier, le Président de la République a fixé un objectif de 40GW d'éolien en mer installés à horizon 2050. La partie la plus importante de cet objectif reposera sur le développement de l'éolien flottant. Au stade actuel, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-2023 prévoit déjà l'installation de près de 750 à 2 250 MW d'éolien flottant à horizon 2030-2035. Un premier parc sera attribué en 2022 en Bretagne Sud pour une capacité de 250 MW pour une mise en service prévue à horizon 2029. Une extension de 500MW devrait être attribuée à partir de 2024 sur cette même zone. En Méditerranée, une procédure de mise en concurrence visant à attribuer deux parcs (2x 250 MW) vient d'être lancée. La mise en service de ces parcs est prévue à horizon 2030 et des extensions, de 500 MW chacune, devraient être attribuées à partir de 2024. Deux AMI à destination des ports et des industries et dédiés la structuration de la filière industrielle de l'éolien flottant viennent d'être publiés en avril 2022. Inscrits dans la stratégie d'accélération « Technologies Avancées des Systèmes Énergétiques » du volet dirigé de France 2030, ces AMI visent à faire de la France un leader industriel de l'éolien flottant, en structurant une chaîne de valeur complète sur le territoire. Dans cette stratégie d'industrialisation, les ports auront un rôle central en tant que pourvoyeurs d'infrastructures de qualité à même d'accueillir des activités industrielles de construction et de mise à l'eau de flotteurs, mais aussi d'intégration de turbines à quai, de maintenance et, à terme, de démantèlement.

- **À HAROPA – Port du Havre, l'implantation de l'usine de fabrication de pales d'éoliennes et d'assemblage de nacelles** a déjà permis de créer plus de 200 emplois – sur 750 à terme. Le site havrais permettra de livrer les composants des champs éoliens en mer de Saint-Brieuc, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Dieppe/Le Tréport et Yeu/Noirmoutier. **À Cherbourg et au GPM de Nantes-Saint-Nazaire, General Electric a également localisé ses unités de production d'éoliennes posées.**
- **À La Rochelle, le GPM accueille depuis 2021 les composants (monopieux, pièces de transition) à destination du parc éolien posé de Saint-Nazaire.**
- **Le GPM de Nantes St-Nazaire a mis en œuvre dès 2016 un programme d'adaptation de ses infrastructures (70 M€) en soutien au déploiement de la filière EMR** (deux usines *General Electric Renewable Energy* (GE RE) à Montoir pour fabriquer des aérogénérateurs et des nacelles d'éoliennes marines, unité de fabrication de sous-station électrique *Atlantique Offshore Energy* (Chantiers de l'Atlantique à Saint Nazaire) et d'aménagement d'un site de pré-assemblage d'éoliennes de 15 ha (mobilisé par GE RE pour l'installation en cours des 80 éoliennes du Parc de St-Nazaire). **Le GPMNSN développe, d'ici 2026, une base industrielle d'intégration des éoliennes offshore** pour soutenir l'accélération du déploiement de l'éolien *offshore* flottant dans l'arc atlantique. Elle permettra l'installation à une échelle industrielle des futurs projets de parcs éoliens en Atlantique et contribuera ainsi à la transition énergétique du Port ainsi qu'au développement de l'emploi sur le territoire (EMR : 1 600 emplois dans la Région des Pays de la Loire).

III.3.5 Les ports français sont appelés à devenir des hubs de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire

- **Le GPM de Marseille développe une plateforme d'accueil de 12 ha, Innovex.** Dédiée à accueillir des démonstrateurs en lien avec filières industrielles et énergétiques de demain, Innovex accueille d'ores et déjà Jupiter 1000, un projet phare de Power To Gaz. Sur le territoire du GPM, l'association **PICTO rassemble les acteurs industriels, économiques et institutionnels depuis 2014, au sein d'une plateforme industrielle « plug & play »** de 1200 ha afin de consolider le tissu industriel, et de promouvoir l'attractivité en vue de l'accueil de nouveaux industriels.
- Initié en 2013 par le **GPM de Bordeaux, le projet PÉÉPOS** vise à améliorer l'efficacité énergétique des activités portuaires, favoriser le développement d'énergies renouvelables, développer de nouvelles filières sur les terminaux et anticiper l'impact des réglementations en matière d'émissions.
- Créée en 2017, l'**association Synerzip propose des réponses aux enjeux de sécurité**

industrielle sur la ZIP d'Haropa - port du Havre et favorise les synergies entre acteurs industriels. Membre de la communauté des seize plateformes chimiques françaises, sous tutelle de France Chimie, elle contribue à renforcer la visibilité et l'attractivité de la chimie à l'échelle internationale.

- **L'association MER (Matières Energies Rochelaises)**, a été lancée en 2016, avec pour mission principale de **promouvoir la transition écologique auprès des acteurs de la place portuaire de La Rochelle et de ses environs**. L'initiative positionne le port de La Rochelle comme un des acteurs essentiels des actions mises en œuvre sur le territoire de l'agglomération de La Rochelle (« La Rochelle, territoire zéro carbone »).
- Des projets de décarbonation industrielle se développent avec pour objectif la neutralité carbone des zones industrialo-portuaires à horizon 2050. Sur l'axe Seine, une alliance entre onze entreprises, soutenue par Haropa et comprenant de grands émetteurs prévoit la mise en place d'une infrastructure mutualisée de captage, liquéfaction et transport de CO₂ vers la mer du Nord. À Dunkerque, L'ensemble des acteurs (Communauté Urbaine de Dunkerque, Grand Port Maritime de Dunkerque, CCI Littoral Hauts-de-France, Région Hauts-de-France et les industriels) sont fédérés autour d'un projet collectif nommé « Dunkerque, l'énergie créative » pour la décarbonation du territoire et de la zone industrialo-portuaire.
- Depuis 2014, le GPM de Nantes St-Nazaire et l'agglomération de St-Nazaire co-animent une démarche d'écologie industrielle et territoriale mobilisant une vingtaine d'entreprises. Une étude des flux de matières les plus structurants à l'échelle du port permettra d'identifier, début 2022, les synergies à mettre en place pour valoriser les 33 flux recensés auprès de 28 industriels et créer des boucles d'économie circulaire. Le port est acteur et partenaire du projet AMARCRETE labellisé Pôle Mer Bretagne Atlantique pour le recyclage des amarres synthétiques dans les bétons fibrés et réalise avec le CEDRE (Centre d'Études et de Recherche de l'Environnement) des essais de nouveaux matériels innovants de lutte anti-pollution.

Partie IV Parangonnage

Comme évoqué dans la synthèse le groupe de travail a utilisé le parangonnage naturel que représentent les travaux propres à l'AIPCN (association mondiale des infrastructures de navigation maritime et fluviale), notamment grâce aux travaux propres à sa *task force* permanente sur le changement climatique (PTGCC) et celui recueilli par l'IAGF (initiative pour l'avenir des grands fleuves). Les contraintes propres à ses membres n'ont pas permis d'accéder aux travaux menés notamment en matière fluviale par les commissions internationales fluviales comme la CCNR (commission centrale pour la navigation sur le Rhin), la commission de la Moselle ou de la Meuse : leurs travaux notamment sur les étiages complèteraient utilement ce premier parangonnage. Le parangonnage mené par le groupe de travail a porté en fait sur trois sujets : la méthodologie adoptée par des ports comme ceux de Long Beach ou de Rotterdam ; les aspects propres aux basses eaux des grands fleuves ; l'adaptation des grandes structures côtières anti-tempêtes.

Aux États-Unis, l'*US Army Corps of Engineers* (USACE) a en charge les principales voies navigables, l'accès aux ports et les défenses côtières et la section américaine de l'AIPCN est dirigée par une personnalité politique qui supervise l'USACE.

En 2016, lors de la conférence Pianc-Copedec consacrée aux pays en développement qui s'est déroulée à Rio de Janeiro au Brésil des considérations sur l'adaptation de la base de Norfolk ont été présentées, qui combine des niveaux de remontée marine de 0,50 à 2 mètres et des surcotes de tempête centennale. Cette analyse destinée à appréhender comment l'exploitation de la base navale pourrait être affectée montre une aggravation sensible quand la remontée de niveau marin passe de 0,50 à 1 mètre : en effet l'indice d'affectation de l'exploitation sur deux des trois mûles de la base passe de 20 % à 80 %, ce qui amène à s'interroger sur la non-linéarité des processus et sur les seuils de niveaux marins à partir desquels l'exploitation des zones portuaires peut être fortement perturbée.

Lors de la COP 21, l'AIPCN s'est engagée dans une coalition d'acteurs internationaux autour des questions climatiques appelée « *Navigating a changing climate* » et s'est engagée à produire plusieurs rapports dont le rapport 178 de la commission environnementale, où est relatée à titre d'exemple la méthodologie développée par le port de Long Beach en 2016 pour s'adapter au changement climatique. Avant d'entrer dans les détails, et comme déjà indiqué dans la synthèse, on peut en retenir que :

- les hypothèses à prendre en compte (niveau ou fourchette de niveau de remontée marin aux horizons 2050 et 2100 et surcote centennale) sont données au port par l'État de Californie ;
- une étude de vulnérabilité explore six scénarios et aboutit à quelques mesures de court terme comme le renforcement d'un mur de quai ;
- l'actualisation du plan d'actions d'adaptation se fait tous les cinq ans.

Pour le port de Rotterdam dont les principaux éléments ont été présentés lors d'un *workshop* qui se situait en marge de la COP 26 à Glasgow, on retiendra les éléments suivants :

- là aussi les hypothèses de remontée du niveau marin à prendre en compte sont fixées par la commission Delta ;
- en revanche l'analyse des vulnérabilités au risque de submersion est menée pour le moment à l'horizon 2050 avec des surcotes de tempête millénaire avec une démarche associant les parties prenantes et les collectivités concernées pour partager le constat et en déduire ensuite les mesures de court terme à adopter : en l'occurrence deux zones portuaires situées à l'extérieur du système complet de digues et de barrages anti-tempêtes protégeant la ville et une partie du port donnent lieu soit à un remblaiement localisé soit à un renforcement de leur quai adjacent ;
- l'actualisation du plan est prévue tous les six ans ce qui correspond à l'actualisation périodique des données scientifiques demandées à l'institut météorologique.

De surcroît on peut mentionner que certains ports comme les ports australiens ont mené une

analyse des conséquences d'événements climatiques sur leurs voies d'accès comme des glissements de terrain consécutifs à des épisodes pluvieux extrêmes. De même la CNUCED a mené un travail très complet sur le sujet que le groupe de travail n'a pas été en mesure d'exploiter mais qui pourrait intéresser particulièrement les Outre-mer car il s'est intéressé notamment à la zone Caraïbe dont la Jamaïque.

Aspects propres aux basses eaux des grands fleuves

L'épisode des basses eaux du Rhin de 2018, qui a duré 107 jours donc plus de trois mois et demi a engendré des conséquences logistiques considérables du fait de l'impossibilité de naviguer sur cette voie européenne de premier plan. Cet épisode n'est pas exceptionnel au plan historique puisque des basses eaux de durée plus longue ont été rappelées par la CCNR : 113 jours en 1920, 146 jours en 1971, 147 jours en 1962, 156 jours en 1921 et 173 jours en 1949. En revanche ce qui est plus inquiétant est la baisse relative des niveaux d'eau au second semestre de l'année par rapport aux moyennes des cinq années précédentes. Au plan logistique cet épisode a d'ailleurs conduit VNF à se rapprocher de SNCF Réseau pour envisager des solutions alternatives ferroviaires massifiées (et réciproquement).

L'IAGF a donné deux exemples : celui du Saint Laurent pour lequel un travail sur le sujet de l'adaptation se poursuit et le cas du Parana à Rosario, assez proche de celui du Rhin puisqu'un épisode de basses eaux prolongées s'est produit en 2021 et a perturbé tout le système d'exportation des productions agroalimentaires de l'Argentine. Si l'épisode de basses eaux a représenté une perte économique estimée à quelque 315 millions de dollars en six mois entre mars et septembre, il est aussi préoccupant au plan proprement hydrologique car si des niveaux de basses eaux équivalents ont été observés sur la période d'observation des niveaux d'eau du Parana à Rosario (notamment en 1916, 1944 et 1969), aucun épisode similaire n'a été observé depuis 1971, date à laquelle a été mis en service le barrage d'Itaipu.

Au-delà de ces considérations méthodologiques préliminaires, le groupe a focalisé son attention sur trois sujets : les stratégies d'adaptation relatives aux grandes structures anti-tempêtes (IV.1), les stratégies d'adaptation des infrastructures portuaires et fluviales (IV.2) et un bref aperçu des stratégies des structures posées en mer (posées ou flottantes) (IV.3).

IV.1 Stratégies d'adaptation relatives aux grandes structures anti-tempête (digues et barrages)

L'AIPCN a pour cœur de métier les infrastructures liées à la navigation maritime et fluviale et elle ne s'est intéressée aux grandes structures anti-tempête que dans des espaces géographiques soumis à des surcotes de tempête exceptionnelles dont les impacts ont touché simultanément d'importants espaces urbains, des activités économiques et des voies d'eau naviguées. Si l'origine de ces structures anti-tempête est évidemment la réduction des impacts de ces phénomènes exceptionnels, la pérennité de ces structures, voire leur réplique dans d'autres espaces pose à l'évidence des questions fondamentales de résilience et d'adaptation aux accroissements de niveaux extrêmes dont le groupe de travail a souhaité vérifier s'ils ne pouvaient pas apporter des réponses pertinentes à sa propre réflexion.

Lors d'une présentation faite au titre de l'AIPCN sur ce sujet en 2019³⁸, plusieurs exemples de cette nature ont été rappelés. Parmi ceux-ci on peut retenir :

a) **l'expérience hollandaise du plan Delta** lancé à la suite des submersions catastrophiques des Pays-Bas de février 1953, qui conduira à un plan complet de digues et de structures conçues pour faire face à des surcotes de 5 mètres, dont l'ouvrage ultime le barrage Maeslant, inauguré en 1986 a bloqué l'accès au port de Rotterdam en 2007 et qui, en janvier 2018, a été également fermé simultanément avec quatre autres barrages du plan Delta, ce qui ne s'était jamais produit auparavant. Cette expérience est d'ailleurs relatée dans le rapport Océan et Cryo-sphère du GIEC.

b) **l'expérience allemande du système d'endiguement du port de Hambourg** : là aussi l'origine

³⁸ Geoffroy Caude-AIPCN-présentation du 22 novembre 2019 à l'occasion des rencontres SHF sur le littoral et le changement climatique: adaptation des côtes, des ports et des estuaires

en est une tempête exceptionnelle marquée par une forte sous-estimation des niveaux extrêmes puisqu'aux 1,70 m de la marée se sont surajoutées des surcotes de 4 mètres conduisant à des niveaux extrêmes de 5,70 m à cause de l'amplification des surcotes de tempête de l'extrémité de l'estuaire lors de leur progression sous l'influence de la direction du vent dans l'estuaire de l'Elbe entre Cuxhaven et Hambourg. Il en est résulté une forme de poldérisation des zones portuaires grâce à la réalisation d'un ensemble de digues et de portes de crue pour faire face à des niveaux extrêmes de 6,50m.

c) **l'expérience italienne : Venise et le barrage Mose-** Destiné à protéger Venise du phénomène de l'*acqua alta* (niveaux marins supérieurs à 1,10 m), force est de constater que ce phénomène s'amplifie comme en témoigne ce graphique qui donne la distribution des épisodes d'*acqua alta* depuis 1872 (cf. graphique ci-dessous). De plus de 1908 à 1996, la ville de Venise s'est affaissée de 12 cm sous l'effet de la subsidence tandis que le niveau marin augmentait de 11 cm ce qui fait que la ville a perdu 23 cm par rapport au niveau marin. Comme le barrage Mose comporte trois passes navigables avec des écluses donnant accès via la lagune au port de Marghera, l'ouvrage a été maintes fois présenté à l'AIPCN lors de ses phases de réalisation.

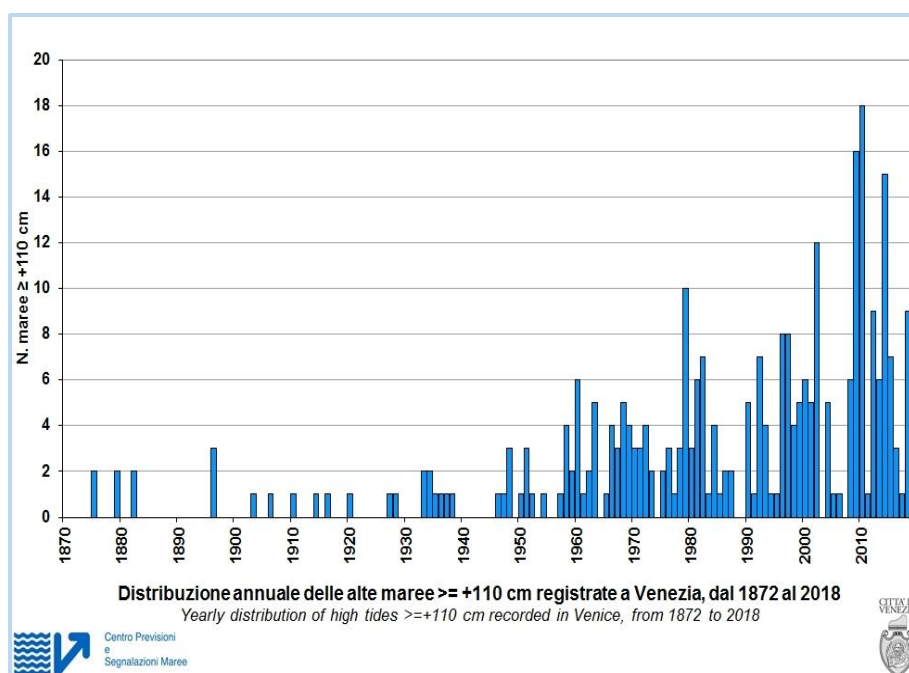


Figure 32 : répartition annuelle des « acqua alta » à Venise de 1872 à 2018- source Centre de prévision et de signalisation marine de la ville de Venise

d) **l'expérience britannique du barrage anti-tempêtes de Londres sur la Tamise :** issu, là aussi, d'un épisode de tempête de 1967 bien moins intense que les deux précédents de 1953 et 1961, il a conduit le conseil du Grand Londres à s'interroger sur le niveau de dommage possible lors de tempêtes et de crues plus intenses ce qui a abouti à estimer à 30 milliards de livres les dommages potentiels. Le barrage anti-tempêtes sur la Tamise est un ouvrage de 520 mètres de large, opérationnel dès 1983, qui a été inauguré en 1984 : il comprend des passes de 61 mètres pour y laisser passer la navigation. De 1983 à 2019, il a été manœuvré 186 fois dont 99 pour des risques de submersion marine et 87 pour des risques combinés d'inondations fluviales et marines. Géré par l'agence britannique de l'environnement, la projection à l'horizon 2070 conduit à prévoir des relèvements du système d'endiguement à l'aval du barrage et au réaménagement du barrage avec des écluses.

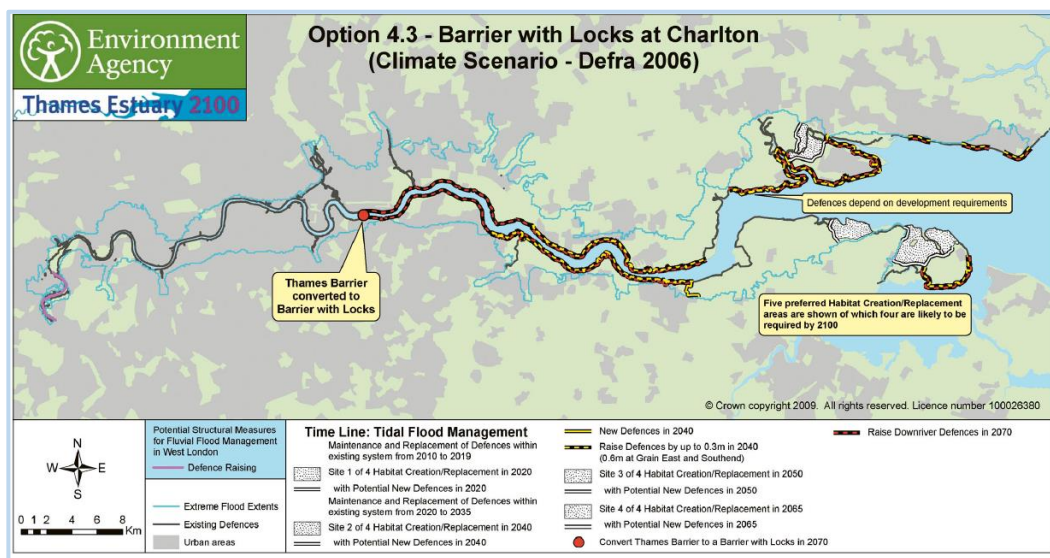


Figure 33 : scénario illustrant le système de défense contre les submersions à mettre en place dans l'estuaire de la Tamise en 2100- source Agence britannique de l'environnement

e) l'expérience américaine du **GNOHSDRRS** (*Great New Orleans Hurricane and Storm Damage Risk Reduction System*) après Katrina et les réflexions de l'**USACE** (*US Army Corps of Engineers*) sur New-York après la tempête Sandy : la tempête Katrina qui a submergé la majeure partie de la Nouvelle-Orléans en 2005 s'est traduite par la construction d'un nouveau système de protection de la ville destiné à prémunir celle-ci contre les effets d'une tempête centennale et résilient contre un événement cinq-centennal, en ce sens que même si la population doit être évacuée pour un événement plus que centennal, les structures construites (murs anti-tempête, barrages anti-tempête, pompes d'évacuation des eaux pluviales) résistent à l'événement cinq-centennal.

Une réflexion de même nature est en cours au niveau de l'**USACE** car la ville de New-York et le New Jersey ont été fortement touchés par l'ouragan Sandy. Là aussi les élévations de niveau marin ont été projetées à l'horizon 2100, ce qui donne les résultats suivants ³⁹: de 0,27 m à 0,58 m dans les projections faible et intermédiaire et jusqu'à 1,5 mètres dans un scénario élevé.

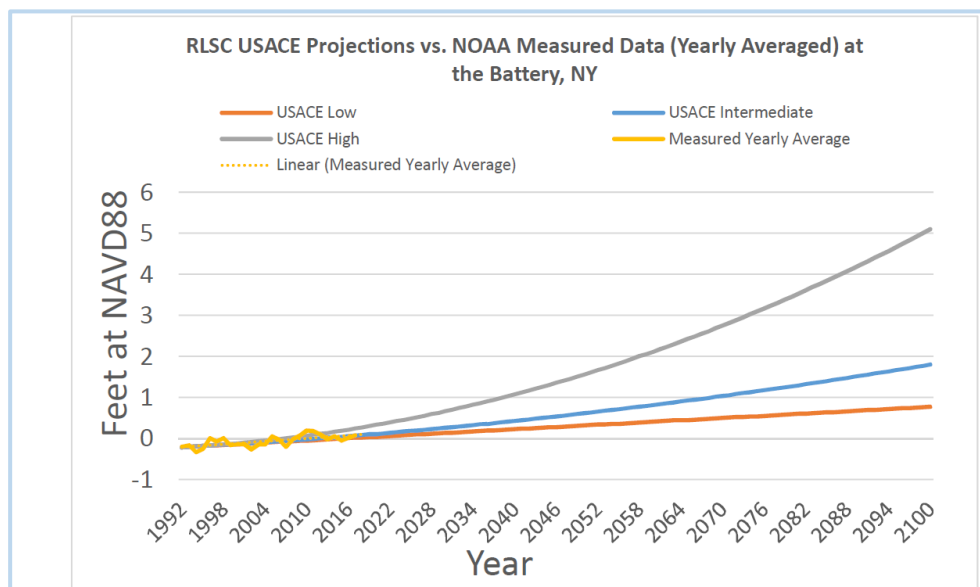


Figure 34 : projections comparées d'élévation de niveau marin dans le New Jersey et à New York source rapport intermédiaire de février 2019 cité en note infrapaginale 39

³⁹ New York-New Jersey Harbor and Tributaries: coastal storm risk management - interim report- USACE and al. February 2019

La question de savoir s'il faut ou non réaliser des barrages anti-tempête dans le New Jersey reste débattue actuellement, compte tenu du coût de ces structures et des incertitudes attachées à leur efficacité compte tenu de la grande amplitude possible de remontée des niveaux marins à l'horizon 2100.

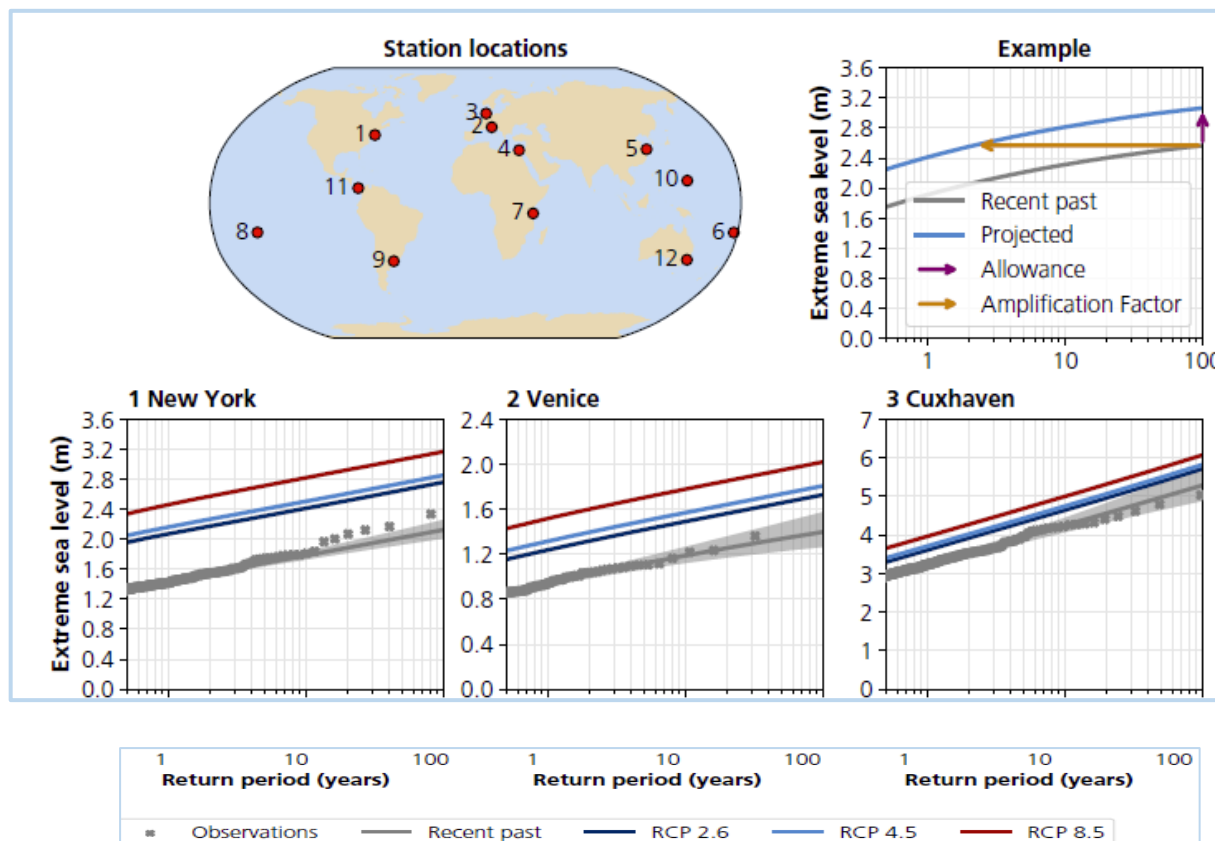


Figure 35 : projections des périodes de retour des niveaux marins extrêmes à New York, Venise et Cuxhaven citées par le GIEC extrait du chapitre 4 du rapport spécial du GIEC Océan et Cryosphère de 2019 page 358

On peut aussi observer que trois de ces expériences sont données par le rapport du GIEC Océan et Cryosphère pour illustrer l'accroissement progressif des fréquences de niveaux marins extrêmes à New-York, à Venise et à Cuxhaven, dans les trois scénarios climatiques RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

À la suite du parachèvement du GNOHSDRRS à La Nouvelle Orléans, la commission de navigation intérieure InCom de l'AIPCN⁴⁰ a produit un rapport spécifique sur le rôle des infrastructures de navigation. Sans entrer dans l'exhaustivité des recommandations formulées on peut rappeler :

- la nécessité de prévoir une résilience de l'ouvrage ou du système structurel en cas de submersion ou de surcharge (*overloading*) allant au-delà de celle pour laquelle le système est conçu ;
- les coûts incrémentaux résultant de cette analyse sont minimes par rapport aux vies épargnées ce faisant ;
- pour de nombreux systèmes, prévoir une zone renforcée armée là où les submersions peuvent se produire est une clef de réussite ;
- passer en revue de façon rigoureuse les conséquences d'une défaillance du système de défense et la possibilité de s'être trompé dans le processus de conception sont essentiels pour valider la résilience.

⁴⁰ InCom 137-2014 Navigation structures : their role within flood defense systems (resilience and performance under overloading conditions)

Il résulte de cet examen que les barrages anti-tempête ne se justifient que là où les enjeux de sécurité des riverains, les enjeux urbains et économiques permettent de rentabiliser des investissements aussi onéreux et que la stratégie d'adaptation passe par une analyse complète des scénarios de remontée des niveaux marins et par un examen approfondi de la résilience à des événements plus élevés que ceux contre lesquels les systèmes ont été conçus.

IV.2 Stratégies d'adaptation relatives aux infrastructures portuaires et fluviales

Deux groupes de travail de l'AIPCN mis en place au moment du lancement de la Coalition « *Navigating a changing climate* » lors de la COP 21 et des accords de Paris apportent méthodologie et exemples utiles aux stratégies d'adaptation : le rapport EnviCom 178-2020 sur la planification de l'adaptation au changement climatique des ports et des voies navigables, puis le rapport EnviCom TG n° 193-2020 sur la résilience du système de transport maritime et fluvial.

IV.2.1 Planification de l'adaptation au changement climatique des ports et des voies navigables

Certains éléments du rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN ont été utilisés pour diligenter les questionnaires adressés aux ports maritimes et aux ports fluviaux. Sans chercher à synthétiser ce rapport on peut simplement indiquer qu'il considère que la démarche de planification comprend quatre étapes successives : contextualisation et détermination des objectifs ; recueil des informations de nature climatique ; analyse des vulnérabilités et des risques ; choix des options permettant une adaptation.

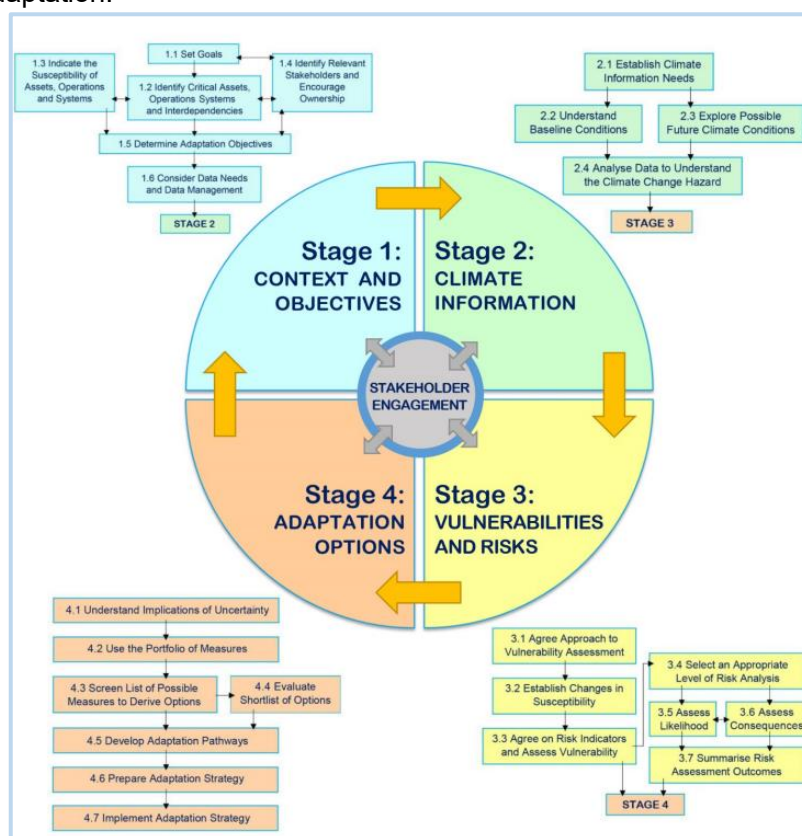


Figure 36 : les quatre étapes du processus de planification de l'adaptation au changement climatique issues du rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN

La panoplie des mesures disponibles est à la fois de nature physique, sociale et institutionnelle comme l'illustre le tableau -ci-après :

Physical measures Structures, systems, technologies, services	Social measures People, behaviour, operations, information	Institutional measures Governance, economics, regulation, policy
Prioritise maintenance to maximise operational resilience and improve adaptive capacity Install real-time monitoring infrastructure Use Cloud (back-up) for data storage to reduce physical risks to systems Relocate vulnerable assets and equipment out of high-risk areas Revert to phased array for radar Invest in redundancy, temporary infrastructure or other physical back-up provision for critical assets (including power and water supply) Reinforce, raise, strengthen or otherwise protect or modify critical assets Install or develop new, responsive or dismountable infrastructure or equipment Install warning equipment Nominate or provide physical sanctuaries Increase storage capacity Install multi-modal equipment Apply nature-based solutions, Working with Nature, soft engineering Install treatment or reception facilities Incorporate flexibility in new or replacement infrastructure design to allow for modification as conditions change Modify material or equipment selection to accommodate changing conditions Invest in SMART technology	Undertake climate change risk assessment, prepare risk maps Prepare and raise awareness of contingency, emergency or disaster response plans Introduce and regularly review warning systems Prioritise asset inspection Educate workforce, stakeholders, local communities Liaise and coordinate with utilities and other service providers; develop information-sharing protocols Improve (or instigate) monitoring, record keeping and data management, consider cybersecurity issues Undertake trend analysis or forecasting Develop revised operational protocols; modify working practices as conditions change Introduce and implement adaptive management procedures, base operations or working arrangements on monitoring outputs Allow for flexibility and responsiveness in programming (increase operational hours, modify staffing rotas, vessel scheduling, lock operation, etc.) Revert to traditional, low tech, ways of operating; ensure binoculars, telephone, paper charts, two-way radios are available Ensure availability of transport and accommodation for personnel during an incident Temporarily or permanently restrict activities in high-risk areas Nominate safe routes and areas, identify diversions Identify and exploit interconnectivity and intermodal options to maintain business continuity during events Provide training on new tools, codes of practice, procedures or protocols, ensure importance of redundancy is understood Facilitate technology transfer	Prepare strategic level climate change adaptation strategies Review and revise relevant codes of practice, standards, specifications or guidelines to accommodate changing conditions Review health and safety requirements and revise if needed Introduce penalties for non-compliance with standards Require zoning of assets, operations or activities based on risk Use local regulations (e.g. byelaws) to reduce risks, especially in multi-use locations Policies to encourage relocation out of high-risk areas Collaborate with land-use planning systems e.g. to introduce set back or buffer areas Limit new infrastructure development in high-risk areas Identify, secure and coordinate alternative transport routes or modes Promote reduced insurance premiums if improved resilience is demonstrated Set up contingency or disaster response fund Introduce and enforce build-back-better or build-out-of-harm's-way policy Facilitate diversification in facilities and employment as conditions change Improve legal protection for vulnerable habitats with risk reduction role (e.g. absorbing wave energy, providing erosion protection) Provide grants or incentives e.g. for development or maintenance of resilient infrastructure Research and develop novel tools and methods

Tableau 12 : inventaire des mesures génériques de renforcement de la résilience ou de l'adaptation des infrastructures et de leur exploitation listées dans le rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPC

Ce tableau est d'ailleurs décliné plus complètement grâce à un travail qui a impliqué des membres de quatorze pays ainsi que des associations sœurs de l'AIPC comme l'IMP, l'IHMA, l'ESPO, la CNUCED, etc...

Ces mesures détaillées dans l'annexe 4 du rapport EnviCom 178-2020 abordent les seize sujets suivants :

inondations pluviales (annexe 4A); inondations par submersion (annexe 4B) ; niveaux marins extrêmes (annexe 4C) ; étiages et sécheresses (annexe 4D) ; changement du régime sédimentaire (annexe 4E) ; érosion du lit ou des berges (annexe 4F) ; visibilité réduite (annexe 4G) ; changement des caractéristiques des vents (annexe 4H) ; incidence sur les périodes de gel (annexe 4I) ; chaleurs extrêmes (annexe 4J) ; accroissement de l'acidité des eaux marines (annexe 4K) ; intrusion d'eau salée (annexe 4L) ; croissance de la végétation (annexe 4M) ; migration d'espèces liée au réchauffement (annexe 4N) ; survie d'espèces natives avec le réchauffement (annexe 4O) ; prolifération d'espèces invasives(annexe 4P).

IV.2.2 Exemples de planification de l'adaptation au changement climatique des ports et des voies navigables

Nous avons sélectionné deux exemples instructifs mentionnés dans le rapport EnviCom TG n° 193-2020 : celui des basses eaux du Rhin pour la partie fluviale et celui du port de Long Beach en Californie.

Basses eaux du Rhin

Le système de navigation sur le Rhin a connu deux épisodes de basses eaux prolongées en 2003 et en 2015. Les basses eaux de 2015 ont duré de juillet à novembre soit pendant cinq mois avec des niveaux deux fois inférieurs à la normale sur le Rhin moyen en Allemagne, comme l'illustrent les graphiques qui comparent les niveaux de 2015 à la station de Kaub par rapport à la moyenne des cinq années précédentes.

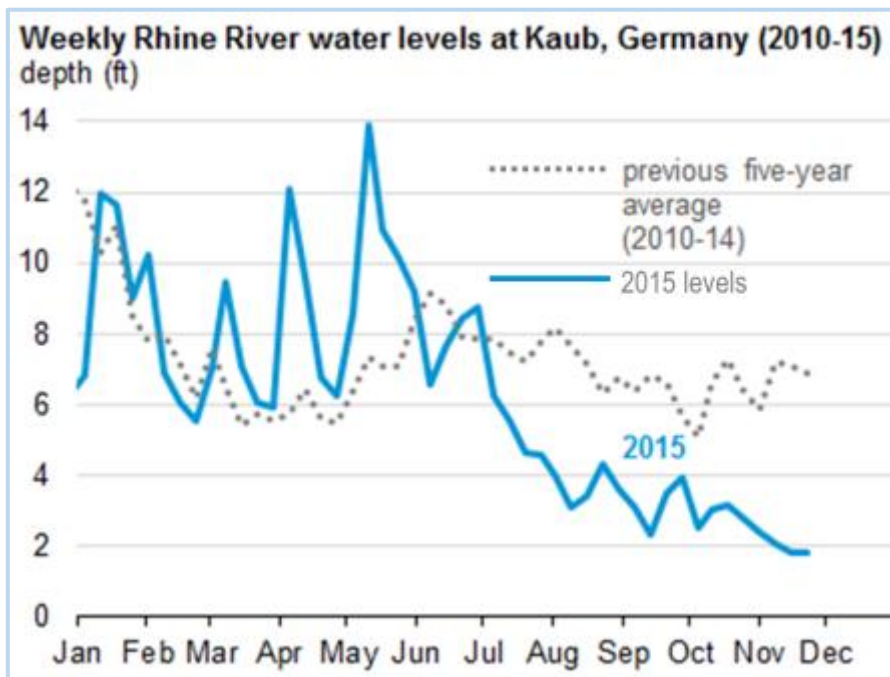


Figure 37 : niveaux moyens hebdomadaires du Rhin à Kaub en Allemagne
- source rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN

Il en est résulté une réflexion de la Commission internationale de protection du Rhin pour étudier la résilience du bassin du Rhin au changement climatique, ces épisodes de basses eaux étant appelés à se répéter.

Plusieurs facteurs logistiques en ont été déduits : la présence d'un hub intermodal sur le réseau fluvial est essentielle au report modal en cas d'épisode prolongé et les entreprises les plus diversifiées en termes de services de transport et de logistique peuvent mieux faire face à ce type d'impondérables.

Adaptation au changement climatique du port de Long Beach

Le port de Long Beach est sans doute l'un de ceux qui ont initié une démarche de stratégie d'adaptation la plus complète puisque dès l'automne 2016 il avait élaboré un plan d'adaptation climatique et de résilience côtière⁴¹. Les étapes de la démarche sont bien retracées dans le schéma suivant :

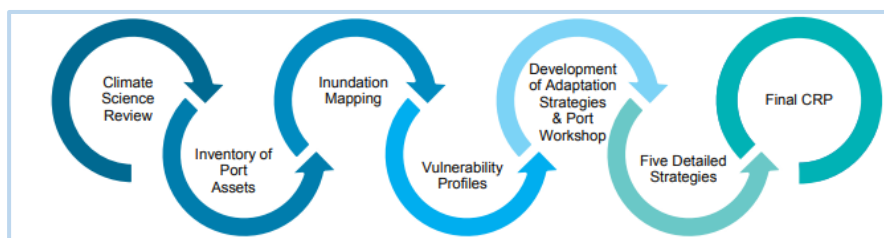


Figure 38 :étapes d'élaboration du plan d'adaptation climatique et de résilience côtière du port de Long Beach cité dans le rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN

Six scénarios combinant surcotes de tempête centennale et élévation de niveau marin selon les hypothèses définies par la FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) ont été définis et la cartographie des submersions correspondantes établie. Voici les deux exemples extrêmes étudiés :

- une élévation du niveau marin de 16 pouces, environ 40 cm ;

⁴¹ Port of Long Beach- Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan-Executive Summary-
<https://polb.com/environment/climate-change#climate-change-overview>

- une élévation du niveau marin de 55 pouces, environ 1,40 m assortie d'une surcote de tempête centennale.

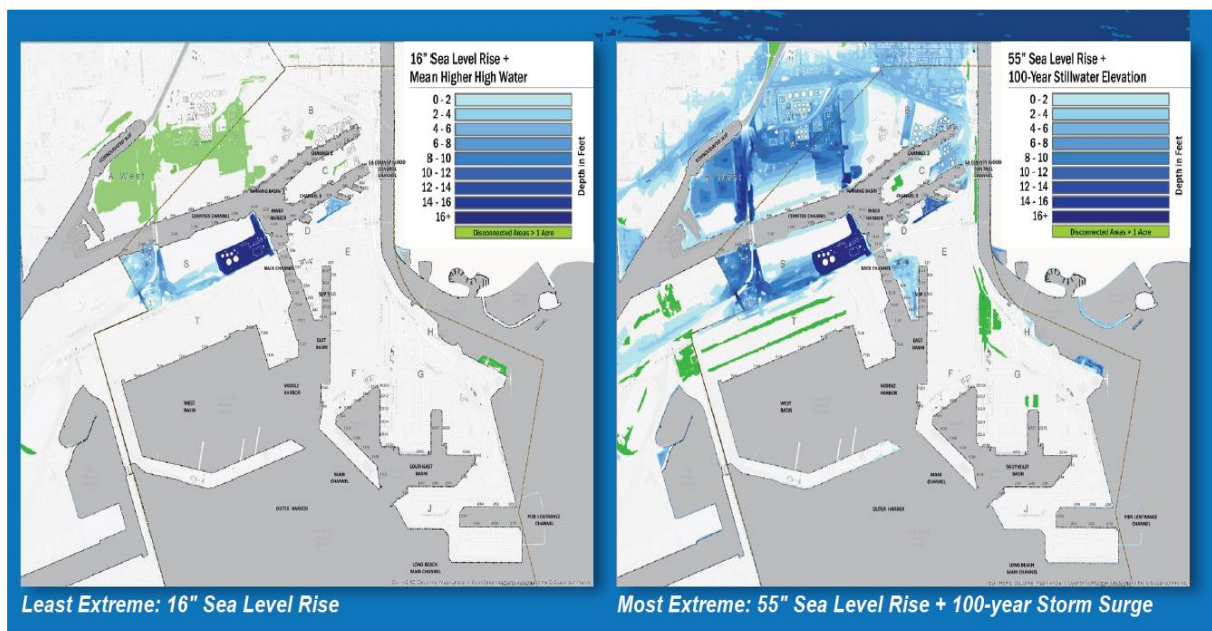


Figure 39 : cartes des zones submergées des deux scénarios extrêmes considérés par le port de Long Beach dans son plan d'adaptation - source rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN

L'analyse des vulnérabilités porte à la fois sur les infrastructures portuaires proprement dites, mais aussi sur les réseaux ferroviaire et routier de pré- et post-acheminement, ainsi que sur les réseaux d'utilité (eau, télécommunication, électricité).

La stratégie d'adaptation aboutit aussi à actualiser les documents d'urbanisme (*harbor development permit*). Le plan débouche également sur des mesures de court terme comme l'inclusion des éléments relatifs aux évolutions climatiques dans les critères de conception des infrastructures (jusqu'à cinq ans et des mesures de moyen et long terme (comme le renforcement du mur de quai du môle S qui figure sur la photo suivante et l'actualisation du plan au fur et à mesure des avancées de la science climatique).

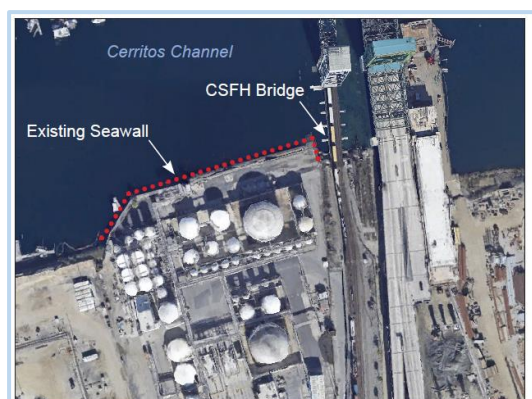


Figure 40 : zone de renforcement de la jetée du teminal (pier S) de Vopak
source rapport EnviCom 178-2020 de l'AIPCN

IV.3 Stratégies d'adaptation relatives aux structures en mer (posées ou flottantes)

Étant donné les profondeurs d'eau (en général supérieures à 20 m pour les équipements destinés à la production d'énergie ou à l'extraction d'hydrocarbures), la surélévation des niveaux marins aura un impact négligeable sur la propagation des vagues dans les secteurs concernés. Néanmoins en fonction des sites, l'augmentation du vent ou l'augmentation des hauteurs de houle pourrait renforcer les sollicitations sur les structures, qu'il s'agisse de leur partie émergée ou immergée.

Si, sous les latitudes de la métropole, les prévisions d'augmentation d'intensité de vent et de hauteur significative de houle ne sont pas suffisamment nettes pour que l'on puisse en tirer des conclusions sur le dimensionnement des structures, il existe au moins deux cas où des adaptations devraient être envisagées :

- les tropiques. Comme le montre l'étude de cas produite sur les cyclones en Atlantique (cf. 1.3.1 sur les événements extrêmes), une forte augmentation des actions sur les structures est attendue sous ces latitudes ;
- l'Arctique : la diminution de l'étendue de la glace de mer saisonnière, conjuguée à l'allongement de la saison des eaux libres, offre moins de protection contre les effets des tempêtes, particulièrement en fin d'année lorsque les tempêtes sont fréquentes (Forbes, 2011).

Partie V État des lieux des gestionnaires portuaires et fluviaux par rapport à l'adaptation au changement climatique

V.1 État des lieux de l'adaptation au changement climatique dans les ports de commerce en métropole et en Outre-mer

V.1.1 Les ports de commerce métropolitains

La prise en compte de l'adaptation au changement climatique peut s'opérer de différentes manières au regard des caractéristiques du littoral où sont implantés les ports (profil rocheux, côte sableuse, estuaire), des trafics existants et envisagés, et des activités déployées dans et autour des zones portuaires. Afin d'en avoir la vision la plus large possible, un questionnaire spécifique et repris en annexe 5 a été adressé aux gestionnaires de ports, qu'il s'agisse de grands ports maritimes ou de ports décentralisés. L'exploitation de ces derniers permet de dégager ci-après des grandes orientations, mais également des écarts et des spécificités.

S'agissant en tout premier lieu de la prise en compte de la thématique de l'adaptation au changement climatique, on peut noter d'une part le lancement réalisé ou à venir de réflexions ciblées sur ce sujet le plus souvent en lien avec des projets stratégiques, et d'autre part des prises en compte ponctuelles de cette thématique soit en gestion courante soit dans le cadre de réalisation de nouveaux aménagements ou acquisitions d'équipements. Au cas spécifique de Bordeaux, il convient de souligner que, pour l'étude conduite avec le Cerema, le principe retenu était d'appliquer la méthodologie nationale dédiée aux infrastructures de transport, et de la compléter, pour la première fois, par un volet stratégique en posant les actions à mettre en œuvre à court et moyen terme.

Pour les réflexions en lien avec des projets stratégiques, ces dernières peuvent être initiées en propre pour les besoins spécifiques du port ou en lien avec d'autres actions engagées à différentes échelles (cf. en particulier la situation d'HAROPA avec des réflexions Bassin et Région). Des interactions présentes et à venir sont également à signaler avec les autorités gémapiennes, comme cela sera le cas en particulier pour Dunkerque.

Sont à signaler en particulier :

Étude	Temporalité	Observations
Bordeaux		
Le GPMB a réalisé une étude avec le CEREMA en 2020 sur le sujet (Cf. annexe).	Suite à l'étude CEREMA, souhait de lancement d'un Plan d'Atténuation et d'Adaptation au Changement Climatique (P2A2C). Temporalité : dans le cadre de la mise en œuvre du Projet Stratégique 2021-2025 afin de bénéficier de ce plan pour préparer la prochaine période. Dans le cadre de l'étude deux jalons ont été utilisés : 2050 et 2100. Le futur P2A2C ne modifiera pas ces jalons. La périodicité de révision n'est pas définie à ce jour.	Cette démarche s'intègre à la Stratégie de Développement Durable 2021-2025 du GPMB et a été reprise dans le Projet Stratégique 2021-2025 (Décarbonation de l'industrie).

Étude	Temporalité	Observations
Nantes - Saint-Nazaire		
Identification des vulnérabilités, des opportunités, et des leviers d'actions pour la gestion du foncier, des infrastructures, des ouvrages, des métiers et des missions	Résultats prévus en 2022, en vue de l'élaboration d'un plan d'adaptation à fin 2022 Horizon temporel retenu dans le diagnostic à définir	Étude inscrite dans le projet stratégique 2021-2026 du GPM adopté le 03 décembre 2021 « devenir l'éco port national du Grand Ouest » Traitera les deux volets : conception infrastructures et adaptation des structures existantes
Haropa Le Havre et Rouen		
Réalisation d'une étude par le GIPSA ⁴² comprenant un modèle de débordement de la Seine intégrant les niveaux exceptionnels et l'élévation du niveau marin	Réalisée. Suites attendues vis à vis de la révision du PPRI et des EDD des systèmes d'endiguement	Élaboration plan d'adaptation au changement climatique inscrite dans le projet stratégique 2020-2025, mais travail engagé sur le risque inondation. Implication dans les travaux du comité de Bassin au titre de la stratégie d'adaptation au changement climatique, et dans les réflexions à venir de la Région sur l'évolution du climat et son impact sur les activités portuaires
La Rochelle		
Étude CEREMA sur l'adaptation au changement climatique du territoire de port Atlantique La Rochelle	Lancement mi-2021 sur deux ans	Plan d'adaptation au changement climatique élaboré postérieurement au rendu de l'étude CEREMA
Dunkerque		
Réflexions ayant conduit à des plans d'actions anciens mais toujours d'actualité (stratégie de gestion du trait de côte permettant une approche holistique des différentes problématiques que connaît la façade du GPM)) et réflexions en cours en collaboration avec la collectivité gémapienne afin d'intégrer l'impact du changement climatique dans la prédiction submersion, le risque d'inondation par l'arrière-pays, ou l'évacuation d'une partie des eaux du polder.	Pas de plan	Si besoin, capacité à en produire un aisément sur la base des éléments existants ; devra toutefois être complété par les missions GEMAPI
Marseille		
Réalisation d'une étude par le cabinet INDIGGO pour accompagner le port pour la rédaction d'une feuille de route opérationnelle de la transition énergétique. Le rajout d'un volet spécifique dédié à l'adaptation du changement climatique est à l'étude.	Objectif de stabilisation d'un plan d'adaptation pour y intégrer les principaux axes dans le prochain projet stratégique du GPM, à 2025.	Un groupe de travail doit se réunir prochainement sur le sujet de l'adaptation au changement climatique, et il sera alimenté en données opérationnelles par l'étude INDIGGO.

Tableau 13 : extraits de l'état des lieux de la planification de l'adaptation dans les grands ports maritimes

Il convient également de relever que des stratégies, englobant la dimension portuaire, sont aussi développées par les régions. C'est ainsi le cas pour la région Nouvelle Aquitaine qui a adopté en 2019 une feuille de route régionale dédiée à la transition énergétique et écologique, Néo Terra. Dans ce cadre, Acclima Terra est le comité scientifique régional sur le changement climatique, groupe indépendant de plus de 300 experts scientifiques capable d'apporter aux acteurs du territoire, dont le port de Bayonne, les connaissances nécessaires à leur stratégie d'adaptation au changement climatique. Ce thème est également l'un des axes stratégiques de la direction Mer, Port et Littoral de la région Hauts-de-France, qui initiera des études sur ce sujet spécifique fin 2022,

⁴²Groupement d'intérêt public Seine Aval

début 2023. Le GPM de Marseille, de son côté, a travaillé avec la région pour l'élaboration de son SRADDET adopté en 2019 et continue à travailler avec la région pour l'adaptation de ce schéma qui prend notamment en compte un objectif de neutralité carbone à 2050.

Au cas particulier du port de Dunkerque, il est en outre à noter qu'une partie des infrastructures du port participent aux stratégies plus globales de défense côtière, et se trouvent donc prises en compte dans le plan de gestion du territoire dunkerquois, piloté par le pôle métropolitain de la côte d'Opale.

Pour ce qui est de la prise en compte ponctuelle de la thématique de l'adaptation au changement climatique, elle peut résulter de nouveaux projets d'aménagement à l'instar par exemple du port de Toulon sur la base d'un « porter à connaissance » submersion marine de 2019 à l'échelle départementale et qui concerne les terminaux, ou encore d'une intégration dans la gestion portuaire (ex. de Nice et Cannes). Dans ces réflexions, le sujet des infrastructures peut faire l'objet d'une prise en compte spécifique. Ainsi, pour Bayonne, la conception des infrastructures nouvelles prend en compte une durée de vie de l'ouvrage étendue à 100 ans, et pour les ports de Nice et Cannes, pour toute nouvelle infrastructure le nécessitant, les projections d'élévation du niveau de la mer sont prises en compte à l'instar de la digue du vieux port de Cannes pour laquelle les travaux ont été réalisés entre 2018 et 2021.

Curieusement, en revanche, la stratégie foncière semble, à ce jour et hors environnement particulièrement contraint (Nice-Cannes), ne pas être encore prise en compte dans la réflexion plus globale vis à vis des impacts du changement climatique. Il faut toutefois noter la situation de Marseille où le confortement d'une infrastructure naturelle « la pointe de la gracieuse » constitue une protection majeure pour les installations portuaires de la ZIP de Fos.

Dans les réflexions précitées, le lien entre atténuation et adaptation est régulièrement fait, ou à tout le moins des actions sont prévues aux deux titres. Le tableau ci-après détaille ainsi la prise en compte de ce lien :

Ports	Lien opéré
Bordeaux	La stratégie d'atténuation est déclinée dans le Projet Stratégique sous l'angle de la décarbonation de la zone industrialo-portuaire. Elle repose en grande partie sur le développement de la production massifiée d'hydrogène vert, molécule indispensable à la décarbonation des <i>process</i> industriels (chimie des engrais, bio-carburants, énergie, etc.) et de la mobilité lourde (maritime, ferroviaire, fluviale). Le GPMB porte aussi des projets de production d'électrons verts (fermes photovoltaïques sur des délaissés portuaires) ou de bio-gaz (méthaniseur utilisant les déchets de la ZIP) ...
HAROPA- Le Havre et Rouen	Transition énergétique et décarbonation du transport et des zones industrialo-portuaires sont des sujets cruciaux pour HAROPA Port : Axe du volet transition écologique du PS 2020-2025, avec deux types de mesures : atténuation (stratégie de décarbonation de l'axe Seine : électrification des quais des terminaux de croisière, déploiement d'un réseau de bornes électriques, développement de solutions d'approvisionnement de carburants alternatifs, projet de capture de carbone, développement de production d'hydrogène vert)) et adaptation (venant en complémentarité et visant à anticiper les risques sur les zones portuaires)
La Rochelle	Stratégie portuaire de réduction des GES, et projet de programme d'accompagnement de la décarbonation des navires portuaires ou escalant régulièrement
Nantes-Saint-Nazaire	Bilan carbone du GPM 2019 en cours de réalisation, et engagement de l'élaboration d'un plan opérationnel d'actions (à destination du port et offre de service pour clients du port)

Ports	Lien opéré
Dunkerque	Existence d'une stratégie d'atténuation qui se décline notamment autour de la production d'énergie renouvelable et la création d'une autoroute de la chaleur portuaire, la poursuite de l'économie circulaire et la création d'un hub CO ₂ sur le domaine portuaire, l'accueil d'activités économiques innovantes par le déploiement des nouveaux réseaux de la décarbonation ; la continuité du développement du transport massifié ferroviaire et fluvial ; la poursuite des aménagements pour l'électrification à quai, le soutage au GNL pour les navires et l'utilisation de carburants alternatifs dans la logistique et la manutention.
Marseille	Travail conduit sur décarbonation de la ZIP de Fos-sur-mer, dont la structure comporte trois items : réduire les émissions, compenser les émissions, et stocker les émissions.
Toulon	Plusieurs projets conduits en vue de la décarbonation (dont projet Hynovar : développement d'une station hydrogène sur le port)
Calais	Un projet large au niveau de l'ensemble portuaire intégrera l'adaptation au changement climatique, l'économie circulaire et le port durable contributeur de la transition écologique (dont réduction des GES)
Bayonne	Réflexion EITNA sur la décarbonation des activités industrielles, la transition énergétique, l'accueil des navires décarbonés, et la logistique optimisée
Nice et Cannes	Réflexions sur l'électrification des quais pour les navires de croisière, l'hydrogène, et EDD pour l'approvisionnement en GNL

Tableau 14 travaux relatifs à l'atténuation des émissions de GES dans les ports maritimes

Au regard de ces réflexions et de leurs impacts potentiels sur les populations, plusieurs ports ont développé, selon diverses modalités, une information des citoyens : sur Nice, création en 2018 d'une commission locale et permanence environnementale à destination des riverains, sur Bayonne, une instance S3PI pour la concertation entre État, industriels, collectivités et associations, pour La Rochelle, avec l'ajout volontaire d'une association du quartier dans la gouvernance du port, et enfin pour Calais, le principe d'association est retenu mais ses modalités ne sont pas encore arrêtées. À Marseille, toutes les démarches de planification sont fortement associées à un processus de concertation ; ainsi, la validation de la stratégie d'aménagement à 2030/2040 de la ZIP de Fos (conseil de surveillance d'avril 2022) a fait l'objet d'un processus de concertation.

Pour les réflexions et plans relatifs à l'adaptation au changement climatique, et au regard des aléas auxquels le port est soumis, la question des paramètres pris en compte est centrale. L'historique des données, en lien notamment avec des événements survenus dans un passé récent impacte également les scénarii retenus. Compte tenu des variations importantes, la situation à date est détaillée dans le tableau en annexe 5, même si de nombreux éléments sont renvoyés à des études en cours et à venir :

Concernant enfin les mesures d'adaptation, pour la plupart des ports, leur arrêt puis déploiement ne pourront intervenir qu'à l'issue des études engagées et/ou à venir notamment dans le cadre des plans d'adaptation précités. On peut cependant noter, comme le mentionne le GPM de Saint-Nazaire, qu'un ensemble de prescriptions, parfois très détaillées, et ayant directement vocation à prendre en compte cet enjeu du changement climatique tant pour les nouveaux aménagements que pour les aménagements existants, figurent d'ores et déjà dans les PPRL.

Le GPM de Bordeaux souligne également le fait que les zonages des PPRI, qui tiennent compte des premiers effets du changement climatique, permettent d'identifier les espaces aménageables. Cela oriente les opérations d'aménagement et les mutations foncières (acquisitions ou vente). Les espaces naturels sont également importants, dans la mesure où ils sont mobilisables pour trouver les compensations hydrauliques, entre autres.

La plupart des plans de prévention des risques de submersion marine ont d'ailleurs été largement actualisés, voire élaborés, à l'issue du dernier événement extrême connu sur la façade Atlantique, c'est à dire la tempête Xynthia du 26 février 2010.

En termes d'illustration, on peut mentionner que la stratégie d'aménagement systématiquement mise en œuvre par HAROPA sur l'ensemble des espaces de développement du port consiste à éviter le risque submersion marine-inondabilité en portant les cotes finales aménagées des plateformes au-dessus de la cote Xynthia + 60 cm à l'aval, sous influence marine.

Pour Bordeaux, les infrastructures nouvelles prennent également en compte les conséquences du changement climatique. Le GPMB a ainsi réalisé deux remblais en 2014 et 2015 avec des cotes d'arase qui tiennent compte du risque de submersion marine lié au changement climatique (surcote intégrée dans les modélisations). Concernant les infrastructures existantes, le travail est plus complexe. Il se base en premier lieu sur un suivi des évolutions et sur des aménagements au moment de travaux (rehausse, pose de panneaux photovoltaïque en toiture à l'occasion de réhabilitation de bâtiments...).

Le port de Dunkerque a en revanche déployé un ensemble de mesures de niveaux variés, avec une adaptation des dragages pour pérenniser l'accessibilité, et pour l'aménagement du port et la conception des infrastructures, la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature comme outils de lutte contre l'érosion côtière, la valorisation des sédiments de dragage comme rechargement de plages et confortement des ouvrages portuaires, la contribution de noues pour maîtriser le ruissellement local, la conception de pontons et passerelles démontables et adaptables, l'élévation des nouvelles routes et le choix de la cote marine des ouvrages du front de mer supérieure à celle du PPRL intégrant le changement climatique à horizon 2100.

V.1.2 – Les ports de commerce ultramarins

Les quatre grands ports maritimes (GPM) d'Outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion) ont été consultés via le questionnaire évoqué plus haut sur la prise en compte de l'adaptation au changement climatique. Au-delà de la réponse à cette question simple, il est constaté que les quatre ports ont tous une sensibilité au sujet mais l'expriment de manière différente. Tous ont une préoccupation écologique (au sens large incluant le climat) ancienne et plus ou moins formelle. Le tableau joint en annexe 5 traduit la richesse et la variété de ces réponses, que l'on peut toutefois synthétiser sur les points les plus importants comme suit.

L'adaptation au changement climatique, de manière formelle :

- apparaît dans le projet stratégique du GPM de Guadeloupe en 2019, fait l'objet d'un « plan d'adaptation au changement climatique » approuvé et réalisé à 40 %, et est mise en œuvre dans le projet Life Adapt'Island avec des solutions fondées sur la nature ;
- intervient depuis 2013 dans les hypothèses de dimensionnement des infrastructures du GPM de Martinique qui souhaite améliorer la résilience du port et formaliser un plan sur une temporalité supérieure au projet stratégique et intervient aussi dans le cadre des dix actions de la stratégie « port vert » du projet stratégique 2020-2024 ;
- se traduit depuis 2013 par des actions nombreuses et variées de prise en compte de l'environnement pour le GPM de Guyane, notamment la démarche « écologie industrielle territoriale » (EIT) ;
- est prise en compte en tant que telle dans une stratégie en cours d'élaboration au GPM de La Réunion qui comprendra un plan d'action sur ce thème.

Concernant la temporalité de la réflexion, de son actualisation et celle des actions, les quatre GPM voient relativement loin (horizon de réflexion 2040 pour la Guadeloupe, vision à 2029 pour le projet stratégique de la Martinique, jalons de 5 à 15 ans pour les actions opérationnelles de La Réunion).

Les ports affichent une implication volontaire et ancienne auprès d'acteurs locaux comme l'ADEME, l'ARB, les services déconcentrés du MTES, de l'Académie des Sciences, l'Europe et parfois des pays voisins. Tous souhaitent élaborer leur stratégie en lien avec les services de l'État, les organismes experts et les collectivités. Tous les responsables des GPM lient les démarches

stratégiques finalisées ou en cours aux préoccupations de transition environnementale de leur port.

Les infrastructures des GPM peuvent participer localement à la protection et la défense côtière, mais cela dépend des implantations géographiques de chacun : le port de Guadeloupe a mis en place un dispositif de gabions et de protection béton sur le port de Basse-Terre et pratique des interventions localisées, le port de Guyane est situé dans un estuaire soumis à un fort envasement et des phénomènes cycliques de développement de mangrove qui nécessitent un dragage permanent, le port de La Réunion intègre systématiquement les travaux dans la stratégie en cours.

Les surcotes liées au changement climatique sont désormais prises en compte systématiquement dans les conceptions nouvelles (avec notamment des hauteurs de + 50 cm à l'horizon 2011, et l'augmentation de la vitesse des vents cycloniques). Pour les infrastructures existantes des diagnostics sont menés pour évaluer si des mesures correctives doivent être prises.

La question foncière est préoccupante et prise en compte dans les stratégies des quatre GPM. En effet les ports sont insérés (même celui de Guyane, mais dans une moindre mesure) dans des milieux urbains qui font pression. Cette situation n'a pas permis aux ports de disposer ou de conserver des réserves foncières importantes. La stratégie la plus courante est donc de densifier, d'optimiser l'espace existant et de tenter de réguler (avec l'aide de l'État et des collectivités locales) la cohabitation avec de multiples activités voisines. Les GPM sont en outre souvent en concurrence avec les villes ou agglomération sur la maîtrise de foncier en bordure de l'espace portuaire.

Les ports intègrent tous dans leurs réflexions les schémas directeurs de réseau, lorsqu'ils existent (Guadeloupe, Martinique, Réunion). Il en va de même pour les documents de planification officiels (SAR, SCOT, PLU, PDU, PCAE, SDAGE, etc.), dans certains cas (Martinique) ces travaux prennent place dans un comité de pilotage spécifique sur l'interface ville-port. À l'inverse aucun programme finalisé de type PAPI ne concerne à ce jour les installations portuaires. Enfin, aucune réflexion suffisamment globale n'a été menée sur la résilience au changement climatique des filières logistiques.

Il existe dans chacun des quatre ports une stratégie d'atténuation et beaucoup d'actions concrètes. Celles-ci passent majoritairement par la décarbonation de l'activité. Deux actions reviennent : l'électrification des postes à quai pour le branchement obligatoire des navires (qui nécessiterait une législation plus sévère), la production d'énergie renouvelable à travers la construction de parc photovoltaïques. Les ports réduisent aussi leur consommation dans une stratégie de sobriété (flotte de véhicule, éclairage LED, meilleure gestion des *reefers*, etc.).

A contrario les ports ultramarins sont peu engagés ou impactés par des sujets plus globaux. Si les ports ont une action de communication classique (bilan d'activité, plaquettes, info ciblées sur les professionnels, etc.) aucun n'a véritablement développé une action spécifique d'association des citoyens aux démarches évoquées. À l'exception du port de la Guadeloupe, impliqué dans le programme Life Adapt'Island, les ports ne participent pas directement à la protection globale de leur île ou région contre le changement climatique. À noter aussi que les quatre ports ne perçoivent pas de modification impactante des grandes lignes maritimes. En effet les lignes qui pourraient être modifiées ou ouvertes par le changement climatique (ligne par l'océan Arctique par ex) ne concernent pas les territoires ultramarins français.

La prise en compte des paramètres climatiques dans les stratégies ou plans d'action est hétérogène. Les contextes géographiques, les méthodes, et les références sont très différents d'un port à l'autre. Certains ports (Guadeloupe) ont clairement pris en compte l'ensemble des paramètres climatiques (élévation du niveau de la mer, submersion marine, houle cyclonique, vents violents, températures extrêmes, précipitations et inondations), d'autres (La Réunion) dépendent d'études en cours sur certains paramètres. Dans tous les cas le recul sur l'historique des données est relativement faible (2013, 2016, 2018) et la question de leur actualisation est envisagée au vu des prévisions globales du GIEC de 2021 et 2022 ou des études spécifiquement menées sur un territoire (calculs des aléas dans les TRI, PPRN PPRL notamment).

Sur ce sujet des paramètres dimensionnant, la comparaison des quatre ports peut être pratiquée à partir des deux blocs suivants :

- le GPM de la Guadeloupe prenait une **remontée séculaire** moyenne du niveau marin à 1,8 mm/an et a réajusté ses hypothèses à une remontée de 0,26 m à l'horizon 2050 et de 0,75 m à l'horizon 2100 ;
- le GPM de la Martinique adopte une remontée de 3 à 4 mm/an et + 0,50 m à 2050, les hypothèses varient cependant selon la durée de vie des ouvrages ;
- le GPM de Guyane se base sur une remontée de 0,2 m à l'horizon 2050 ;
- le GPM de La Réunion se base sur le rapport du GIEC 2019.

Aucun de ces quatre ports n'a estimé à ce jour un niveau de la remontée séculaire qui serait critique pour leur exploitation.

Pour ce qui est des **événements extrêmes** (houles cycloniques, tempêtes, vents extrêmes – les pluies intenses sont généralement intégrées aux conditions cycloniques -) :

- le GPM de la Guadeloupe prend une surcote de 3,5 m intégrant le cumul de tous les événements et la montée du niveau séculaire évoquée plus haut (cyclone de 1928 catégorie 5 + horizon 2100) ;
- le GPM de Martinique prend une surcote de 2,30 m, intégrant la remontée séculaire de 0,5 m. La prise en compte du vent extrême est à 288 km/h, mais il y a un enjeu d'actualisation de ces données après IRMA et Maria ;
- le GPM de Guyane n'est pas concerné de la même manière par les événements de type cycloniques, les surcotes sont celle du plan du PPR submersion, la référence de vent a été fixée à 42 km/h notamment pour le dimensionnement des grues ;
- le GPM de La Réunion a pris une surcote de 1,75 incluant la remontée séculaire. Les hypothèses de références, notamment en matière de vent, sont celles des cyclones DIWA et DINA.

D'autres facteurs pourraient impacter les ports dans leur exploitation ou leur fonctionnement. La sédimentation n'est pas préoccupante pour l'instant, sauf en Guyane où le phénomène est ancien en raison de l'envasement permanent de l'estuaire par l'Amazone. Les ports se préoccupent toutefois du futur et lancent des modélisations (Guadeloupe, Réunion). La hausse des températures n'impacte pas actuellement les installations, mais le fonctionnement des ports (climatisation, consommation d'électricité). Enfin pour la prévention des espèces marines invasives les ports se réfèrent à la convention « gestion des eaux de ballast » adoptée par l'OMI.

En conclusion, les instances dirigeantes des ports de commerce ultramarins intègrent bien le changement climatique dans leurs stratégies et la gestion de leur infrastructure. Avec des différences notables de méthode, de priorité, d'avancement, les quatre ports ont achevé, ou sinon lancé, des réflexions stratégiques et la plupart ont conduit des actions concrètes et des travaux d'adaptation. Signalons la gestion du foncier, l'anticipation en général (trafics, besoins de dragage, outils de manutention), la mise aux normes des quais et des réseaux, etc.

Ces programmes nécessitent la recherche de financements, évalués à plus ou moins long terme selon les ports. À part les programmes LIFE, FEDER et FEAMPA, les gestionnaires des ports manquent d'informations sur les autres financements existants (Horizon Europe, RTE énergie, BEI, appels à projets ; etc.). Formation au montage de dossiers et parangonnage sont des pistes susceptibles de les intéresser.

V.2 – État des lieux des ports fluviaux et des axes fluviaux

À l'instar de ce qui a été réalisé pour les ports maritimes, les gestionnaires de ports et d'axes fluviaux ont fait l'objet d'un questionnement. Les réponses apportées conduisent à présenter les développements qui suivent avec trois focus : la situation de Paris, en lien avec la réflexion plus globale engagée par HAROPA PORT, les réflexions de la Compagnie nationale du Rhône (CNR) en qualité d'aménageur, et enfin des illustrations de réflexions engagées par des ports intérieurs par le biais de leur démarche RSE.

Au regard de la problématique spécifique des axes fluviaux, nous aborderons enfin la situation particulière du canal du Rhône à Sète.

Les ports de Paris

Étant rappelé en préalable que le plan d'adaptation au changement climatique pour HAROPA PORT n'en est qu'au stade du début de la réflexion, il apparaît probable, compte tenu du territoire en présence, très contrasté, que les raisonnements qui seront suivis à ce titre s'opèrent par zones géographique concernée, avec d'une part le territoire estuarien sensible à la concomitance de conditions marines et de conditions de crue (cf. *supra*), et d'autre part le territoire parisien soumis à l'influence du débit de la seine et des crues.

Cette sensibilité du territoire parisien aux crues, notamment de la Seine, conduit à une implication d'HAROPA PORT-Paris, qui est par ailleurs membre de la MISEN Paris Proche Couronne, dans la stratégie d'adaptation au changement climatique engagée à l'échelle du Bassin Seine Normandie, avec notamment la signature en octobre 2020 de l'engagement pour l'adaptation climatique dans le domaine de l'eau. Reposant sur cinq objectifs, cet engagement vise notamment à prévenir les risques d'inondation et à anticiper les conséquences de l'élévation du niveau de la mer. Cet engagement se traduit également par la signature du contrat de Bassin « eau, trame verte et bleue, climat » des plaines et coteaux de la Seine centrale urbaine 2020-2024, et par la signature du contrat d'actions trames vertes et bleues sur le territoire SAGE Marne confluence 2018-2023. Ces contrats permettent de concourir, à la bonne échelle, à la résilience des territoires et à leur adaptation au changement climatique.

S'agissant du lien entre atténuation et adaptation, il est particulièrement marqué avec de nombreuses actions déployées sur l'ensemble du périmètre HAROPA PORT. Des actions complémentaires spécifiques au territoire parisien sont en outre mises en place à l'effet de réduire le niveau des GES ; on peut notamment citer la définition d'un plan de mobilité, l'accueil de stations multi-énergies, ou encore la mise en place d'un trophée environnemental de la flotte fluviale.

Pour ce qui est des paramètres pris en compte, ils concernent les niveaux d'eau et les risques de submersion/ inondations. Les précipitations et les sécheresses, qui ont toutes deux vocation à s'accroître à horizon 2100 tant en quantité qu'en intensité, auront ainsi des impacts et sur le dimensionnement des installations d'évacuation des eaux pluviales, et sur la réduction des débits de 10 à 30 %.

En termes de connaissance des aléas, le risque inondation est pris en compte dans différents documents, et à différentes échelles, celle du Bassin Seine Normandie tout d'abord avec le plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) 2016-2021, celle du territoire à risque important (TRI) d'inondation ensuite pour la métropole francilienne permettant la déclinaison du PGRI en une stratégie locale de gestion du risque inondation (SLGRI), et enfin à l'échelle départementale avec les PPRI. Ces PPRI, depuis le début des années 2000, couvrent la Seine, la Marne, l'Oise et leurs principaux affluents. On peut enfin noter que dans le cadre d'un projet de plateforme multimodale dédiée au BTP, les études de conception ont analysé les modalités de gestion des accès et d'évacuation du futur port en cas de crue de la Seine et de l'Oise à des occurrences respectivement de 300 ans et de 1000 ans.

La CNR, aménageur du Rhône

Bien que le changement climatique produise d'ores et déjà des effets concrets sur le comportement des ouvrages hydrauliques, la CNR ne porte pas de stratégie propre sur l'étude ou la prévention des impacts du changement climatique. Cependant, en sa qualité d'aménageur, la CNR s'est dotée d'un mécanisme d'étude des niveaux et débits du fleuve. En outre, l'établissement est engagé aux côtés des territoires pour les accompagner dans la mise en œuvre de la transition écologique. Deux stratégies guident ainsi principalement CNR dans son action, d'une part la stratégie CNR 2030, et d'autre part la politique de responsabilité sociétale d'entreprise (RSE). La stratégie CNR 2030 comporte six ambitions, dont cinq sont axées sur la prise en compte des enjeux environnementaux, et la sixième est spécifiquement dédiée à l'accompagnement des territoires dans les défis climatiques et environnementaux. S'agissant de la stratégie RSE, complémentaire à CNR 2030, trois de ses quatre axes ont pour approche principale la protection de l'environnement et l'action pour mettre en œuvre la transition à la fois de la CNR et des territoires traversés par le

Rhône. En complément, et plus spécifiquement, le port de Lyon, 1^{er} port de l'axe Rhône-Saône, fait l'objet d'une gouvernance et d'une stratégie particulières.

Les paramètres climatiques étudiés, notamment pour les projets de nouvelles infrastructures fluviales, sont les niveaux de crues et d'étiages, et l'envasement.

De manière générale, si les stratégies précitées sont évolutives, on constate que les actions engagées et effectivement suivies sont, du fait d'une difficulté à quantifier les impacts occasionnés sur les infrastructures, davantage orientées vers une prise en compte de l'impact des ouvrages sur l'environnement que vers la prise en compte de l'impact du changement climatique sur les infrastructures. Le positionnement de la CNR est donc majoritairement orienté vers l'atténuation, avec notamment le volet énergie du plan [5Rhône](#) et certaines catégories du volet navigation avec l'accompagnement des projets de verdissement de la flotte et le développement de la filière hydrogène⁴³ pour la navigation et pour les outillages portuaires.

Certains sujets en lien avec l'adaptation commencent néanmoins à apparaître, à l'instar des espèces invasives. Problème existant de longue date, ce dernier s'accroît ces dernières années avec le réchauffement de l'eau, en particulier sur le Haut-Rhône, entre Lyon et la frontière suisse.

Le port autonome de Strasbourg

Le port autonome de Strasbourg a réalisé en 2021 une étude prospective sur le sujet de l'adaptation au changement climatique et envisage de monter un projet visant à se doter d'un plan d'adaptation, en coopération avec les ports voisins allemands et suisses pour un démarrage en 2023. Ce projet candidatera à un financement européen. Il faut noter à ce titre et par ailleurs, que le port a été partenaire de deux projets INTERREG successifs, tout d'abord « Clim'ability » (2016-2019) piloté notamment par l'INSA (université de Strasbourg) et visant à élaborer des outils de diagnostic de vulnérabilité au changement climatique à destination des entreprises (le PAS a testé l'outil élaboré), puis « Clim'ability Design » (2020-2022) qui vise à élaborer des solutions d'adaptation au changement climatique ; le PAS en était partenaire sur la thématique des basses eaux du Rhin.

S'agissant du lien entre adaptation et atténuation, le port de Strasbourg est partenaire d'un projet d'écologie industrielle qui représente l'action-phare de décarbonation du territoire portuaire : CLES (Coopérations locales et environnementales en synergies). Cette démarche comporte une quinzaine de synergies entre matières et énergies actives. Par exemple, en 2021, un réseau de chaleur a été construit pour récupérer la chaleur d'un industriel et fournir des quartiers résidentiels et d'autres industriels. Le PAS est actionnaire de la société R-PAS qui porte le projet. Sur les aspects de lien entre adaptation et atténuation, il faut également observer que le port de Strasbourg est connecté à différentes façades maritimes (Mer du nord, Manche, Méditerranée) ; dès lors, d'éventuels changements de routes maritimes pourraient avoir pour effet de modifier l'équilibre des flux entre le fluvial et le ferroviaire.

En termes de paramètres pris en compte, et au vu des plans d'adaptation mis en œuvre par différentes agglomérations dans la région transfrontalière (Strasbourg, Karlsruhe, Mannheim, Kehl), les principaux paramètres sont la température (canicules, fonte des neiges), la pluviométrie (sécheresses et à l'inverse précipitations extrêmes), et leurs effets notamment en termes de navigabilité et d'inondation et, dans une moindre mesure, le vent. Pour ce qui est des dispositifs d'observation, et bien qu'aucune décision dans ce sens n'ait été prise, des outils et méthodologies ont été développés dans le cadre des projets comme Clim'ability, en lien avec Météo France notamment.

Les politiques RSE des ports de l'intérieur

La politique de la responsabilité sociétale de l'entreprise, évoquée *supra* pour la CNR, constitue un vecteur important d'approche des sujets liés à la transition écologique et au changement climatique.

Au cas des ports de Lille, une stratégie rev3 en évolution constante, constitue un axe fort de la

43 Une stratégie spécifique est en cours de définition

démarche RSE. Cette dernière s'articule autour de trois axes : port économiquement responsable, port socialement et socialement engagé, et port intégré à son environnement. Vingt projets touchant aux différents piliers ont ainsi été conçus. Les différents piliers et axes de travail figurant dans le programme rev3 ont été identifiés sur la base des risques climatiques identifiés, avec un diagnostic spécifique établi à cet effet en 2019. L'objectif affiché est de favoriser la décarbonation afin de contribuer à la baisse des émissions de GES et en particulier de CO₂. Cela se traduit par différentes actions telles que la mise à disposition de nouveaux carburants (stations multi énergies) et le raccordement électrique à quai pour les péniches.

Pour le port de Villefranche-sur-Saône, si une réflexion spécifique aux impacts du changement climatique sur le port et les activités n'a pas encore été menée, des réflexions permanentes sur les risques et moyens d'y faire face sont conduites dans le cadre des démarches du système de management intégré (SMI), et QSE (certification ISO, Qualité 9 001, Sécurité 18 001, et Environnement 45 001). En outre, une démarche de certification RSE est en cours, avec une certification à l'horizon de l'année 2023, pour aller plus loin au quotidien dans la prise en compte des enjeux environnementaux. L'ensemble de ces actions s'inscrit dans les réflexions collectives menées à l'échelle du Bassin Rhône-Saône. Concernant l'analyse des risques climatiques, le port participe aux réflexions menées sur le bassin, notamment en suivant les travaux réalisés dans le cadre de « la Saône, face au changement climatique » afin de mieux connaître et comprendre les enjeux climatiques pour le port, et comment agir. Comme précédemment, le focus est mis sur les enjeux d'atténuation, avec en amont, dans le cadre des revues annuelles de risques, une adaptation des réflexions en flux continu aux évolutions des risques et aux impacts sur les activités portuaires. Ceci s'applique par exemple tant pour les acquisitions de nouveaux matériels portuaires que pour des participations à des groupes de travail, comme par exemple pour l'accompagnement au rétrofit des usagers.

Les axes fluviaux : particularités du canal du Rhône à Sète

Long de 68 kilomètres, ce canal relie l'étang de Thau au Rhône. Géré par VNF, il est classé à grand gabarit, mais avec croisement dans des zones prévues à cet effet. Ce canal est doublement confronté aux effets du changement climatique, de manière immédiate du fait des apports sédimentaires latéraux liés aux crues et aux vents, et à moyen terme du fait de l'érosion du cordon littoral.

S'agissant des apports sédimentaires, ils résultent de deux phénomènes, d'une part des crues du Lez qui, contrairement au Vidourle, n'est pas équipé de portes pour les contenir, et d'autre part des vents soufflant sur les étangs littoraux. Ces derniers ont à titre d'illustration conduit à une perte de trente centimètres de mouillage en six mois. Face à cette situation, il n'y a pas de plan en tant que tel, mais à la fois une politique de gestion des dragages au quotidien et un programme de confortement des berges. S'agissant des dragages, il est à noter que leur gestion pose des difficultés importantes, encore accrues par la salinisation des eaux consécutive à des phénomènes de remontée du biseau salé du fait du déplacement des sédiments. À cet égard, les solutions de stockage sont trouvées au coup par coup, sans perspective durable à court terme. À horizon 2025 au plus tôt, une zone de stockage dédiée d'une capacité de 500 000 m³ sera créée sur une emprise du port de Sète.

Cette problématique a d'ailleurs fait l'objet d'un rapport du CGEDD remis en octobre 2020, « canal du Rhône à Sète : quel devenir ? ». Conformément à une préconisation de ce rapport, une concertation (conférence du canal) s'est déroulée d'octobre à fin 2020 sous l'animation du préfet François Lalanne.

Au terme de cette concertation, un consensus s'est dégagé pour maintenir la navigabilité du canal sur un horizon *a minima* de 30 ans, avec des travaux identifiés à cet effet. Au-delà, soit après 2050, l'horizon devient incertain en raison de l'impact du changement climatique sur le territoire.

Les incertitudes ainsi exprimées à l'horizon 2050 tiennent notamment au risque occasionné par l'érosion du cordon littoral, particulièrement dans le secteur des Aresquiers situé sur la commune de Frontignan, qui pourrait conduire à des invasions marines, et à une double attaque du canal, avec une possible communication permanente entre le canal et les étangs salés. Les réflexions actuelles vis à vis de ce risque clairement identifié vont dans le sens du « laisser faire ».

Dans ce contexte, et pour l'ensemble de son réseau, VNF conduit une politique affichée de décarbonation visant ses propres moyens, et avec la volonté d'être catalyseur de réactions vis à vis des professionnels.

Partie VI Le financement de l'adaptation et des actions climatiques

Le financement de la transition climatique est une priorité de l'Union européenne et un levier majeur au bénéfice des ports maritimes et fluviaux des États membres pour aborder les enjeux de l'adaptation au changement climatique et les coûts importants qu'elle induit. L'UE soutient résolument la transition vers une économie durable, à faible intensité de carbone et plus efficace dans l'utilisation des ressources. Cela s'inscrit dans le cadre des efforts que l'UE déploie pour atteindre ses objectifs en matière de climat et d'énergie, conformément à l'accord de Paris et aux objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies à l'horizon 2030.

Pour atteindre les objectifs de durabilité climatique, environnementale et sociale, d'importants investissements publics et privés sont nécessaires⁴⁴. Le pacte vert pour l'Europe a en outre souligné la nécessité de mobiliser les flux financiers et le flux de capitaux privés en faveur d'investissements écologiques. Dans ce pacte, il a été annoncé que la Commission présenterait une stratégie renouvelée en matière de finance durable, en s'appuyant sur les mesures déjà mises en œuvre depuis son plan d'action de 2018.

Il convient de rappeler le contexte porteur aujourd'hui qui permet d'envisager des financements structurels et sectoriels au bénéfice des ports. Le pacte vert européen lancé il y a deux ans, le paquet « *Fit for 55* », l'adoption du paquet énergie-climat, la loi climat UE (et ses 15 législations spécifiques en préparation) et le plan de relance européen sont autant d'instruments dont il faut tenir compte pour organiser une ingénierie financière efficiente.

Le groupe de travail précise que le soutien aux ports et plus généralement au transport maritime est multiforme et ne se limite pas au financement direct de l'UE à travers ses différents programmes structurels ou sectoriels. Le financement au regard des aides d'État compatibles avec le droit européen (infra) mais également grâce au recours à la fiscalité (infra) sont aussi importants tant leur impact concret sur le financement d'infrastructures ou de pratiques vertueuses visant la décarbonation est prégnant.

Le rôle et le poids de l'Union européenne dans le domaine de l'adaptation au changement climatique sont fondamentaux au regard des compétences qui lui sont conférées par les traités et qui concernent de nombreuses politiques : transports, climat, énergie, environnement, développement durable, finance, fiscalité, concurrence, aides d'État, commerce extérieur, protection civile... et par conséquent des financements qui leur sont associés.

Deux raisons majeures peuvent être invoquées :

- Son rôle normatif au sein de l'Union européenne voire de l'Espace économique européen au regard des compétences précitées et qui influencent directement la législation des États membres.
- Son poids financier résultant des budgets alloués aux différentes politiques qu'elle mène avec les États membres. Les financements européens constituent pour les ports maritimes et fluviaux français, un des outils de mise en œuvre efficace de ces politiques. Mais, dans un secteur intrinsèquement international comme le transport maritime, fortement concurrentiel, les leviers de l'UE pour les États membres et opérateurs résident également dans les politiques de soutien au titre des aides d'État ou de la fiscalité, comme indiqué précédemment.

L'adaptation au changement climatique en Europe est soutenue par le biais d'un large éventail d'instruments. Et, au plan macro-économique, le cadre financier pluriannuel 2021-2027 garantit

⁴⁴ L'UE et ses États membres sont le **principal bailleur de fonds publics consacrés à l'action climatique dans le monde**, ceux-ci ayant alloué 23,39 milliards d'euros (chiffres 2020). Pour les pays tiers, en février 2022, les ministres des affaires étrangères de l'UE ont approuvé des conclusions sur les résultats de la COP 26 sur le climat et sont convenus des priorités pour les travaux de l'UE en matière de diplomatie climatique consistant à mobiliser 100 MDS de dollars par an à destination des pays en développement.

qu'au moins 25 % du budget européen soient consacrées aux dépenses liées au climat. En conséquence, les actions d'adaptation au changement climatique doivent être intégrées dans tous les grands programmes de dépenses de l'UE ; un système de suivi est mis en place pour garantir que ces objectifs sont atteints.

Enfin, il est utile de rappeler que le lien est parfois ténu entre instruments visant à renforcer l'adaptation au changement climatique - qui consiste en la réduction des risques et des impacts des effets néfastes du changement climatique (tempêtes, inondations, submersions...), objet direct de cette mission-- et ceux visant l'atténuation qui s'entend généralement par la réduction des émissions de GES par des processus naturels ou des moyens technologiques (définition de l'UICN). Mais tant l'adaptation que l'atténuation se fondent sur le fonctionnement des milieux naturels ou les solutions techniques ou technologiques. Aussi, les principales réformes envisagées dans le projet de loi « climat européenne » du 14/07/21 peuvent toutes prétendre directement ou indirectement à remplir l'objectif d'adaptation car inscrite structurellement dans la durée et dans la prévention à terme des conséquences du changement climatique. Tel est le cas de la proposition de règlement sur le déploiement d'infrastructures de carburants alternatifs, l'initiative « *EU fuel maritime* » relative aux carburants maritimes durables, de l'intégration du secteur maritime au système européen de quotas d'émission (SEQUE), la révision de la directive de 2003 sur la taxation de l'énergie – fondatrice d'un nouveau paradigme visant à sanctionner les énergies fossiles – ou encore le mécanisme d'ajustement de taxes frontières aux frontières.

Dans ce contexte, l'acception large du concept « adaptation » préconisée par le groupe de travail permettra d'ouvrir plus largement le champ des financements dédiés à ces différents instruments juridiques, en gestation actuellement, cités plus haut.

VI.1 Des financements directs – structurels et sectoriels - multiples et essentiels, leviers pour la mise en œuvre des politiques européennes en faveur de la lutte contre le changement climatique

VI.1.1 les financements relevant des programmes structurels ou sectoriels de l'Union européenne au bénéfice potentiel des ports maritimes et fluviaux

Dans ce cas de figure, les ports maritimes et fluviaux doivent postuler aux différents programmes soit en présentant des projets auprès des autorités de gestion nationales : les Régions dans le cadre des fonds européens structurels d'investissement (*infra*) (parfois pour certaines mesures, c'est l'État qui assure cette fonction) soit en répondant à des appels d'offres ou appels à des manifestations d'intérêt, s'agissant des programmes sectoriels.

Le tableau en annexe 6 donne un aperçu du panel des différents instruments financiers susceptibles d'être sollicités dans l'action climatique et pour répondre aux objectifs d'adaptation au changement climatique.

VI.1.2 Les financements résultant des aides d'État (publiques) notifiées à la Commission pour les ports, pilier essentiel du financement de l'adaptation au changement climatique

Les financements européens ne sont pas exclusifs des financements nationaux mais pour ces derniers, il faut qu'ils soient compatibles avec les règles du marché intérieur et de la libre concurrence. Et, dans ce cas de figure, c'est l'État ou toute autorité publique qui décide d'octroyer telle ou telle aide visant à préparer les ports à l'adaptation au changement climatique. Les aides d'État (publiques) constituent indubitablement un soutien aux objectifs du pacte vert et aux programmes de l'UE en matière de neutralité carbone, d'atténuation comme d'adaptation... Elles

sont régies par les articles 107 et 108 du TFUE et il convient d'être vigilants sur la licéité vis à vis des règles européennes qui comportent des exemptions au principe de libre concurrence, tenant compte des politiques et objectifs publics prioritaires, telle que la neutralité carbone dans le transport maritime. Les aides d'État sont notifiées à la Commission européenne qui en vérifie la licéité.

Et, dans l'attente d'une réforme fiscale incertaine (*infra*) au plan européen, les solutions de court terme résident donc dans la prise en compte du transport maritime décarboné dans les nouvelles lignes directrices sur les aides d'État. À cet égard, les nouvelles lignes directrices 2021/2027 relatives aux aides d'État pour le climat, la protection de l'environnement et l'énergie (« CEEAG ») répondent à deux objectifs :

a) adapter les lignes directrices à la mise en œuvre du pacte vert pour l'Europe et notamment à l'objectif de neutralité carbone ;

b) réduire les redevances pour le financement des énergies renouvelables accordées aux utilisateurs intensifs d'énergie.

Et, c'est bien dans cet esprit que la Commission a approuvé, le 21/12/21, ces nouvelles lignes directrices. Elles constituent une étape majeure pour garantir que les règles en matière d'aides d'État jouent pleinement leur rôle dans le soutien du pacte vert européen. Elles fixent les conditions dans lesquelles les aides d'État accordées par les États membres dans les domaines du climat, de la protection de l'environnement et de l'énergie peuvent être considérées comme compatibles avec le marché intérieur et les critères appliqués par la Commission pour examiner les aides fournies par les États membres dans ces domaines.

Il ressort de l'évolution du droit des aides d'État (CEEAG), cinq novations majeures parmi lesquelles certaines concernent directement le changement climatique et particulièrement le volet adaptation. En effet, les **États membres peuvent soutenir** toutes les technologies à même de contribuer à la mise en œuvre du pacte vert pour l'Europe. Ce qui laisse une grande marge de manœuvre pour les ports, ces lignes directrices offrant l'opportunité d'une plus grande ouverture dès lors que les projets présentés répondent à l'urgence climatique. Leurs caractéristiques principales :

- Une acception plus large des **catégories d'investissements et de technologies** : investissements dans l'énergie renouvelable, l'efficacité énergétique des processus de production et la décarbonation dans l'industrie, en concordance avec la loi européenne sur le climat (*supra*). Les règles révisées prévoient généralement des montants d'aide couvrant jusqu'à 100 % du déficit de financement, en particulier lorsque l'aide est accordée à l'issue d'une procédure de mise en concurrence, et introduisent de nouveaux instruments d'aide, tels que les contrats d'écart compensatoire, pour aider les États membres à répondre aux besoins de verdissement de l'industrie.

- **Un champ d'application d'aides d'État également plus large.** Des sections sont spécifiquement consacrées aux aides encourageant les investissements dans les domaines phares tels que la **performance énergétique des bâtiments, et la mobilité propre** couvrant tous les modes de transport et l'introduction de modification aux règles révisées relatives aux **réductions de certaines taxes sur l'électricité pour les gros consommateurs d'énergie**. Les règles visent à limiter le risque que ces taxes encouragent le déplacement des activités de certains secteurs vers des sites où les règles environnementales sont absentes ou moins ambitieuses que dans l'UE. Afin de prendre en compte les efforts accrus de décarbonation qui sont requis pour atteindre les objectifs de l'UE en matière de climat, les CEEAG couvrent les réductions de toutes les taxes finançant la décarbonation.

- **Un renforcement des garanties donnant l'assurance que l'aide est effectivement dirigée là où elle est nécessaire** pour améliorer la protection du climat et de l'environnement, qu'elle se limite à ce qui est nécessaire pour atteindre les objectifs environnementaux ou climatiques et qu'elle ne fausse ni la concurrence ni l'intégrité du marché unique. À cet égard, les « CEEAG » renforceront par exemple la participation des parties prenantes à la conception des mesures d'aide de grande ampleur, exigeant des États membres qu'ils consultent les parties prenantes sur leurs principales caractéristiques. Les conseils de développement dans les ports peuvent jouer dans ce

cas un rôle important.

- **Une cohérence avec la législation et les politiques de l'UE pertinentes** dans les domaines de l'environnement et de l'énergie, notamment en supprimant les subventions en faveur des combustibles fossiles les plus polluants, pour lesquels une appréciation positive de la Commission au regard des règles en matière d'aides d'État est peu probable compte tenu de leurs effets négatifs importants sur l'environnement.

- Un accroissement de **la flexibilité et la simplification des règles antérieures**, notamment en supprimant l'obligation de notification individuelle des grands projets écologiques au titre de régimes d'aides déjà autorisés par la Commission.

Les États membres seront tenus d'aligner les régimes existants sur les nouvelles règles à partir de 2024. En outre, il convient de préciser que les dispositions de ces lignes directrices sont complétées par le règlement général d'exemption par catégorie (RGEC), qui établit des conditions de compatibilité *ex ante* sur la base desquelles les États membres peuvent mettre en œuvre des mesures d'aide d'État sans notification préalable à la Commission.

Les dispositions du RGEC relatives aux aides dans les domaines du climat, de la protection de l'environnement et de l'énergie font actuellement l'objet d'une révision ciblée. Cette révision vise à faciliter davantage les investissements verts en élargissant le champ d'application des mesures bénéficiant d'une exemption par catégorie aux aides en faveur des investissements dans les nouvelles technologies, telles que le captage et le stockage de l'hydrogène et du carbone ou l'utilisation de ceux-ci, et en faveur des domaines essentiels pour atteindre les objectifs du pacte vert pour l'Europe, tels que l'utilisation efficace des ressources et la biodiversité. En outre, la révision du RGEC vise à affiner davantage les dispositions relatives aux aides aux investissements dans des domaines phares tels que la performance énergétique des bâtiments et les infrastructures de recharge et de ravitaillement pour une mobilité propre, qui ont déjà été introduites dans le cadre de la révision ciblée du RGEC en juillet 2021. Enfin, les règles seront assouplies dans le contexte de la définition des coûts admissibles et des intensités d'aide. Une consultation publique sur les modifications proposées des dispositions pertinentes du RGEC s'est déroulée du 6 octobre au 8 décembre 2021.

Un cas d'espèce dans les ports qui relève du droit des aides d'État et du droit fiscal de l'énergie : l'allègement fiscal pour l'électrification à quai

L'électrification à quai fait l'objet d'un traitement fiscal spécifique. Un texte particulier⁴⁵ peut autoriser une dérogation fiscale qui s'apparente à une aide d'État licite. Une illustration réside dans l'allègement fiscal (qui est une aide d'État) prévu par la directive 2003/96 précitée au regard de la décision d'exécution du Conseil autorisant la France à appliquer un taux réduit de taxation à l'électricité directement fournie aux navires se trouvant à quai dans un port en vertu de l'article 19 de cette directive sur la fiscalité énergétique (*infra*). Il s'agit de promouvoir davantage le déploiement et l'utilisation de l'électricité fournie par le réseau électrique terrestre. Ce mode d'approvisionnement en électricité des navires se trouvant à quai dans un port moins préjudiciable pour l'environnement, le climat et la santé publique que l'utilisation de combustibles de soute par lesdits navires.

⁴⁵ Décision d'exécution (UE) 2020/1629 du Conseil du 29 octobre 2020 autorisant la France à appliquer un taux réduit de taxation à l'électricité directement fournie aux navires se trouvant à quai dans un port

VI.1.3 La réforme attendue de la fiscalité européenne visant la décarbonation et l'adaptation au changement climatique

Dans ce cas de figure, l'UE mais également les États membres sont compétents pour adopter les mesures fiscales visant à soutenir les projets d'adaptation au changement climatique dans le transport maritime et les ports. Parmi les mesures annoncées en juillet 2021 dans le cadre de l'initiative « *Fit for 55* », du pacte vert pour l'Europe et de la loi climat européenne⁴⁶, la réforme de la fiscalité énergétique demeure celle qui sera sans doute la plus difficile à mener, pour autant l'une des plus efficaces pour lutter contre le changement climatique. En effet, toute réforme fiscale requérant l'unanimité au Conseil de l'UE, il faut s'attendre en conséquence à un risque quasi-inévitable de blocage par certains États membres représentant les intérêts des États du pavillon mais également d'acteurs dépendant largement des énergies fossiles. Pour autant, à terme et pour répondre aux objectifs climatiques attendus, il paraît important de repenser en profondeur la fiscalité des produits énergétiques notamment la directive du 27 octobre 2003 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité. La Commission a apporté sa pierre par sa communication sur la nécessité d'une taxation plus rationnelle et plus ciblée de l'énergie pour rendre la consommation plus propre et plus efficace pour une croissance durable⁴⁷. Elle a procédé à une évaluation (11 septembre 2019), et conclut à la nécessité d'amender cette directive pour plusieurs raisons. Elle met en avant à juste titre :

- la non-conformité au pacte vert européen car les subventions aux combustibles fossiles sont toujours en place avec des interventions nationales variées et plusieurs types d'exonération et de réduction pour protéger la compétitivité des industries européennes. Le secteur maritime étant intégralement exempté de fiscalité énergétique, ces exonérations et réductions constituant par conséquent des subventions indirectes aux combustibles fossiles ;
- la non-compatibilité avec les politiques sur le climat, la qualité de l'air et la biodiversité (notamment) mais également avec le système d'échange de quotas d'émissions (SEQUE) de gaz à effet de serre (GES) et la directive sur l'efficacité énergétique puisque les émissions de CO₂ ne sont toujours pas couvertes par le système d'échange de quotas d'émission (SEQUE) de l'UE ;
- la non-incitation fiscale pour la promotion des carburants propres. Cette directive ne promeut pas de façon suffisante des réductions d'émissions de GES, l'efficacité énergétique ou des combustibles/carburants alternatifs - hydrogène, carburants de synthèse, e-carburants, électricité, biocarburants avancés (*supra*). Il reste donc difficile d'investir dans des technologies bas-carbone ;
- la non-pertinence pour le marché unique : cette directive ne remplissant plus son objectif principal, à savoir contribuer au bon fonctionnement du marché intérieur, puisque les taux minimaux de fiscalité n'ont plus d'effet ;
- la distorsion de concurrence entre certaines énergies fossiles qui bénéficient d'un traitement fiscal plus favorable et les produits plus propres avec lesquels elles sont en concurrence.

Pour les ports maritimes et fluviaux, la conjonction de ces trois piliers de financement : financements directs de l'UE, aides d'État et fiscalité constituent la base de la stratégie financière à mettre en place pour optimiser leur intervention en termes d'adaptation au changement climatique – en relation avec les autres acteurs de la filière portuaire, collectivités territoriales, chantiers navals, concédants, armateurs...

⁴⁶ Ensemble de propositions de directives et de règlements en cours de négociation à la date du présent rapport

⁴⁷ COM (2011) 168 final COMMUNICATION DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN, AU CONSEIL ET AU COMITÉ ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN « Une taxation plus intelligente de l'énergie dans l'UE: proposition de révision de la directive sur la taxation de l'énergie »

VI.2 La situation dans les ports maritimes et fluviaux français au regard des financements européens

VI.2.1 Une situation hétérogène et qui mérite une attention particulière durant la période de programmation financière 2021/2027 dans l'Union européenne

La mission a élaboré un questionnaire à destination des ports maritimes et fluviaux concernant les opportunités de financements européens pour la période 2021/2027.

VI.2.1.1 L'hétérogénéité des situations dans les ports au regard des financements

Cette hétérogénéité constatée, de grandes tendances se dégagent :

S'agissant de l'évaluation des moyens nécessaires à l'adaptation au changement climatique, quinze ports indiquent qu'ils n'ont pas procédé à ce jour à une telle évaluation ; cinq y sont parvenus avec toutefois des différences notables de précision de cette évaluation.

À la question de la connaissance des dispositifs de financement et leur adéquation à leurs besoins et leur souhait d'informations, la proportion est sensiblement la même, treize déclarent qu'ils n'en ont pas ou peu ; sept estiment au contraire qu'ils sont relativement bien informés et qu'ils en ont pratiqué.

Concernant le parangonnage des pratiques de financement.

Il est assez mal pratiqué par l'ensemble des ports : onze contre neuf qui en bénéficient avec plus ou moins d'intensité. Plus précisément, ces neuf ports indiquent qu'ils n'y ont pas eu recours mais trois d'entre eux apportent des nuances : le 1^{er} précise tout de même que pour la sous-région à laquelle il appartient, il a l'opportunité de disposer du réseau régional avec des financements de l'Agence française de développement (AFD) et particulièrement pour l'assistance technique (rédaction des termes de références d'un projet) ; un autre réalise une veille « active » sur les financements. Onze ports y ont recours avec plus ou moins d'intensité, les mieux « équipés » s'appuient sur un réseau spécifique régional, trois autres ports disposent soit d'une représentation à Bruxelles, soit d'un pôle « Europe » dédié à repérer les opportunités de financement, une assistance, ou encore d'une formation spécifique dispensée par l'ENA visant à comprendre et mobiliser les fonds européens.

Quant aux recours aux financements européens : a) à l'état de leurs connaissances aux différentes initiatives liées à l'adaptation au changement climatique b) aux difficultés rencontrées pour le montage, le suivi et l'évaluation des projets, c) leur souhait d'être accompagnés :

L'équilibre est pratiquement atteint : neuf n'y ont pas recours contre onze.

Cela étant précisé, ce qui ressort *in fine*, est le besoin d'informations, de sensibilisation des fonds dédiés au changement climatique évidemment pour ceux qui ne les connaissent pas et une information plus qualitative pour ceux qui ont utilisé les fonds les plus connus : fonds européens structurels d'investissement (FESI, avec le FEDER, le FEAMPA, le FSE voire Interreg) ou encore le programme sectoriel Life, RTE/T avec le MIE (*supra*). Ces derniers souhaitent disposer d'information de soutien pour les fonds pour lesquels il faut répondre aux appels d'offre ou appel à manifestation d'intérêt. Il ressort enfin qu'il serait opportun de porter l'effort sur le mode opératoire des différents fonds et la bonne gestion, le suivi et l'évaluation des projets.

Plus précisément, s'agissant de la connaissance des dispositifs, cinq ports n'ont pas répondu à cette question, quinze se déclarent soit pratiquement en dehors des circuits d'information, soit relativement bien informés, soit (un petit nombre) très bien informés. Plusieurs demandes explicites sont formulées sur l'aide au montage, au suivi et à l'évaluation des projets ; d'autres

préoccupations sont exprimées : un port indique qu'il a été sensibilisé grâce à l'opportunité du recours à un fonds d'investissement, un port estime que c'est l'appel à projets qui est privilégié, un port régional considère qu'il est défavorisé au regard de l'obtention des fonds européens, certains pointent la nécessité d'une vigilance sur l'éligibilité des porteurs de projets : concédant, concessionnaire, la forte concurrence dans le cadre de certains dispositifs (MIE, Life, Horizon Europe...) et la faiblesse du financement des infrastructures.

En conclusion, tous estiment nécessaire d'approfondir la question du financement et de disposer en temps réel des informations indispensables pour postuler à des projets. Plus précisément sur les questions suivantes : sensibilisation aux appels à projets, appels d'offres, identification des partenaires potentiels pour la constitution du consortium, mutualisation des moyens pour y répondre dans un contexte de forte concurrence.

VI.2.1.2 Un positionnement souhaitable et souhaité de la filière portuaire maritime et fluviale pour la programmation financière européenne et nationale 2021/2027

Les efforts sur l'information, la sensibilisation des acteurs publics et privés portuaires mais également pour l'optimisation des aides d'État, conformes au droit européen semblent nécessaires pour solliciter les financements pour la génération des fonds 2021/2027.

S'agissant de ces différents programmes financiers, il importe d'en connaître les modalités pour que les opérateurs publics et privés français puissent en bénéficier. À cet égard, la mission estime qu'il faut saisir toutes les opportunités, ce qui passe par une information et une sensibilisation adéquates des opérateurs, information ciblée vers les questions essentielles d'éligibilité en tant qu'opérateurs, porteurs de projets, d'éligibilité des dépenses, de gestion, de suivi et d'évaluation des projets.

Les financements structurels

C'est une logique mixte « guichet/projets » qui prévaut. Logique guichet très encadrée par les programmes opérationnels gérés par les Régions, certaines mesures peuvent être néanmoins gérées par l'État (FEAMPA, notamment). Logique projets répondant aux nécessaires critères d'éligibilité du porteur, du projet lui-même (*infra*).

Aussi, pour les Fonds européens structurels d'investissement (FESI), notamment le FEDER et le FEAMPA, il convient de s'assurer que les mesures liées à décarbonation et à l'adaptation au changement climatique dans le transport maritime et les ports figurent explicitement dans les programmes opérationnels (PO) nationaux ou régionaux, sachant que l'autorité de gestion du FEDER est assurée par les Régions et que les bénéficiaires finals doivent être expressément cités. Cela concerne potentiellement tous les partenaires des différentes filières de la décarbonation : chantiers navals, armateurs, collectivités territoriales dont les Régions, les ports maritimes et fluviaux, sachant que pour ces derniers, il convient de bien mentionner, comme l'a indiqué l'un des ports dans son questionnaire (*supra*), qu'il faut veiller à ce que tant le concessionnaire que le concédant puissent être déclarés éligibles à ces fonds.

Pour optimiser les chances de succès, il convient donc :

- d'analyser chaque PO régional ou national pour faire un état des lieux des axes et mesures concernant l'adaptation au changement climatique dans les ports et dans les espaces littoraux ;
- de vérifier que la mesure de type « adaptation des infrastructures portuaires » est prévue dans ces PO ;
- de vérifier que tous les acteurs portuaires susceptibles de porter un projet dans le domaine de l'adaptation sont bien éligibles au titre de ce PO et s'assurer que tant le concédant que le concessionnaire sont éligibles.

S'agissant de l'éligibilité des dépenses, il convient :

- de prendre connaissance avec attention du décret d'éligibilité récemment publié⁴⁸ pour « monter » convenablement son projet ;
- de bien s'assurer des coûts admissibles et de l'intensité d'aide, sachant que le principe d'additionnalité (fonds UE, fonds nationaux, fonds privés parfois) doit être respecté.

Si dans le cadre des PO actuels, cette garantie est prévue, postuler à un projet est alors possible, sinon il faut attendre l'évaluation intermédiaire (à mi-parcours) de la programmation pour demander à la Région mais également à l'État de remédier à ces manques.

La relation avec les Régions concernées est donc indispensable, l'actuelle programmation a montré que les présidents de Région sont particulièrement sensibilisés aux conséquences des émissions polluantes en matière de santé publique et d'environnement.

Les financements sectoriels

Dans ce cas, c'est la seule logique « projet » qui prévaut, les propositions de financements sont lancées par appel d'offre ou appel à manifestation d'intérêt (qui font l'objet de publicité) par les directions générales concernées de la Commission :

- pour « Horizon Europe », le principe de mise en concurrence des parties prenantes par appel à projets ou appels d'offre incite à préparer dès l'amont tous les partenaires publics et privés travaillant sur la décarbonation aux futures consultations. De même qu'il est nécessaire de les préparer à la constitution de consortiums intra européens ;
- les financements spécifiques relevant du RTE/T sont particulièrement adaptés avec le mécanisme pour l'interconnexion en Europe (MIE) établi en 2014⁴⁹. À cet égard l'initiative *Fuel EU Maritime (supra)* vise à accroître l'utilisation de carburants de substitution durables dans le transport maritime et dans les ports européens en supprimant les obstacles commerciaux qui freinent leur utilisation, les incertitudes quant aux solutions techniques qui sont prêtes à être mises sur le marché. Le Parlement européen a appelé à aborder non seulement les carburants mais aussi l'efficacité des navires et leurs opérations pour atteindre un objectif d'efficacité de – 40 % pour les armateurs d'ici 2030 (conformément à la proposition d'amendement du règlement MRV). L'initiative, selon le PE, devrait également inclure une approche du cycle de vie intégrant toutes les émissions de gaz à effet de serre ;
- les financements particuliers issus du programme Life « environnement/climat », le fonds pour une transition juste, le fonds pour l'innovation et ceux émanant de la BEI, de la BERD répondent de la même logique avec pour certains l'obligation de créer un consortium (regroupant un autre ou plusieurs acteurs d'État membres).

L'hétérogénéité des situations dans les ports au regard des financements

Cette hétérogénéité constatée, de grandes tendances se dégagent :

S'agissant de l'évaluation des moyens nécessaires à l'adaptation au changement climatique, quinze ports indiquent qu'ils n'ont pas procédé à ce jour à une telle évaluation ; cinq y sont parvenus avec toutefois des différences notables de précision de cette évaluation.

À la question de la connaissance des dispositifs de financement et leur adéquation à leurs besoins et leur souhait d'informations, la proportion est sensiblement la même, treize déclarent qu'ils n'en ont pas ou peu ; sept estiment au contraire qu'ils sont relativement bien informés et qu'ils en ont pratiqué.

Le parangonnage est mal pratiqué par l'ensemble des ports : quatorze contre six qui en bénéficient avec plus ou moins d'intensité.

⁴⁸ JORF 23/04/22, Décret n° 2022-608 du 21/04/2022 fixant les règles nationales d'éligibilité des dépenses des programmes européens de la politique de cohésion (notamment pour le FEDER, le FEAMP et le fonds de transition juste).

⁴⁹ Article 33 du règlement RTE/T sur le déploiement des carburants de substitution et la directive 2014/94 du 22/10/2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburant alternatif pour les projets de construction de nouveaux navires et de modification des navires existants

Annexes

Annexe 1 - Composition du groupe de travail

IGAM : Jean-Marie Coupu-Benoît Faist-Denis Mehnert-Guillaume Sellier

IGEDD : Geoffroy Caude-Didier Kruger-Thierry Ménager-Raynald Vallée-Rouchdy Kbaier

Cerema : Fabrice Daly-Jeanne-Marie Gouiffès-Marc Igigabel -

Gestionnaires d'infrastructures :

UPF : Mathilde Pollet

AFPI : Dominique Drapier

VNF : Guy Rouas-Sophie-Charlotte Valentin

CNR : Alexandre Janin-Sandra Célié

EDF : Denis Aelbrecht

DGITM : Gabriel Aronica-Thomas Doublic-Julien Fernandez-Teodora Popescu-Lisa Sutto

Avec une contribution spécifique du SHOM: Alexa Latapy, Nicolas Pouvreau, Gaël André, Claire Fraboul et Nathalie Giloy

Annexe 2 - Éléments de méthode pour l'adaptation des territoires littoraux : contribution du Cerema⁵⁰

L'importance de l'adaptation aux changements et de la réduction des risques de catastrophe est reconnue dans plusieurs accords mondiaux, comme l'Accord de Paris (UN, 2015) et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (UNISDR, 2015). Le Cadre de Sendai fixe notamment comme objectif général la réduction substantielle des pertes et des risques liés aux catastrophes en termes de vies humaines, d'atteinte aux moyens de subsistance et à la santé des personnes, et d'atteinte aux biens économiques, physiques, sociaux, culturels et environnementaux des personnes, des entreprises, des collectivités et des pays. Cet objectif général s'applique aux inondations côtières, en considérant, le cas échéant d'autres aléas apparaissant de façon concomitante (vent violent, choc des vagues) ou en cascade (en particulier les risques anthropiques) : pour mieux prendre en compte les événements tels que le tsunami qui a déclenché l'accident nucléaire de Fukushima en 2011. Le cadre de Sendai élargit en effet l'objet de son action des risques naturels aux risques anthropiques, admettant ainsi qu'il est difficile de considérer les premiers sans envisager les seconds. Les risques anthropiques sont plus particulièrement liés à la manipulation, au transport ou au stockage de substances dangereuses pour la santé et l'environnement (p. ex., risques industriel, nucléaire et biologique).

En matière de protection contre les inondations côtières, le principal défi à relever demeure l'adaptation aux effets du changement climatique et aux autres perturbations anthropiques générées par la croissance démographique, la gestion inappropriée des sols, l'utilisation non durable des ressources naturelles et les écosystèmes en déclin. L'ensemble de ces facteurs peut générer des situations complexes qui justifient de recourir à des approches systémiques pluridisciplinaires, par opposition aux approches analytiques adoptées ordinairement par les projets d'ingénierie (par exemple dimensionnement d'un ouvrage en ne considérant qu'un nombre réduit de paramètres, tels que le niveau marin et la hauteur significative de la houle). La figure 43 illustre le fait qu'une approche systémique est plus pertinente pour appréhender les conditions d'émergence des risques.

Malgré cette opposition formelle, les démarches systémiques et analytiques sont en fait complémentaires en pratique : dès lors qu'ont été identifiés les processus d'émergence des risques par des approches systémiques, des approches analytiques sont nécessaires pour décrire précisément les mécanismes à l'œuvre et caractériser l'aléa de façon quantitative. De la même manière, dès lors que des principes de protection ont été établis par une approche systémique globale, le relais doit être pris par l'ingénieur analyste pour assurer le bon dimensionnement des mesures correspondantes (Krob, 2008).

⁵⁰ Cette contribution a été réalisée par Marc Igigabel à partir de l'article suivant :
Igigabel M, Diab Y and Yates M (2021) *Exploring Methodological Approaches for Strengthening the Resilience of Coastal Flood Protection System*. *Front. Earth Sci.* 9:756936. doi: 10.3389/feart.2021.756936

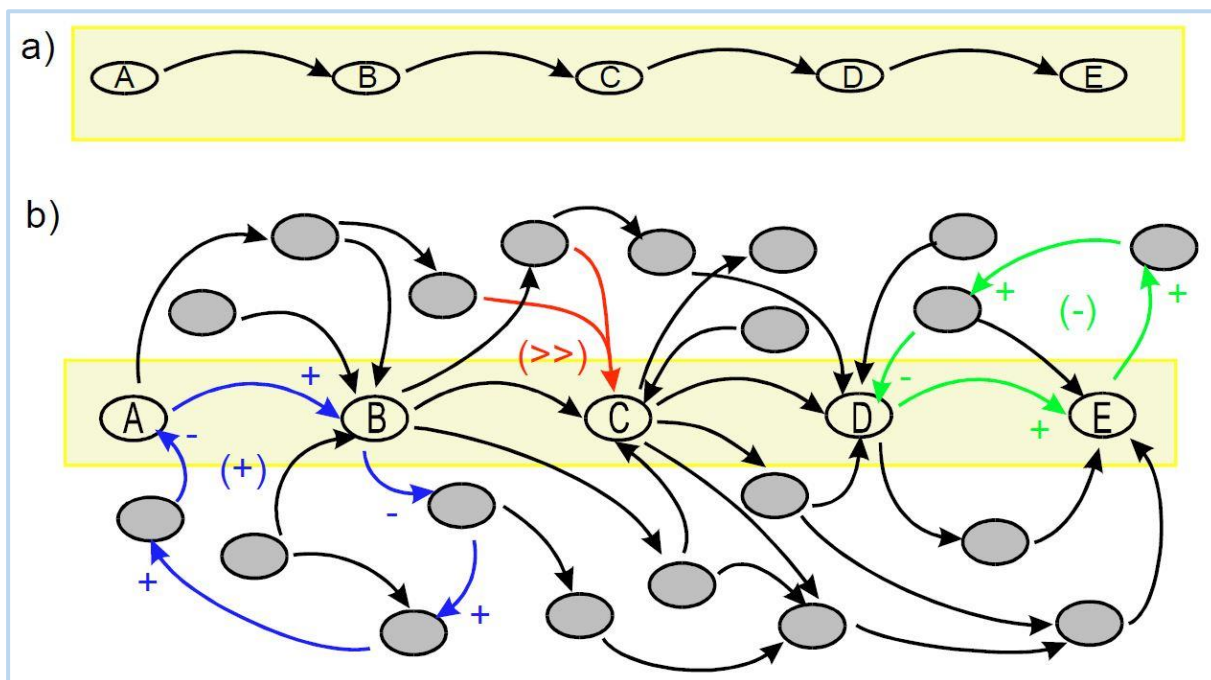


Figure 41 : (a) Notion simplifiée de chaînes de cause à effet : A cause B cause C, etc.; (b) Description plus réaliste des réseaux complexes de cause à effet avec des effets synergiques (>>), et des mécanismes de rétroaction positifs (+) et négatifs (-) (Cassel-Gintz, 2001) (a) A simplified notion of cause-effect chains: A causes B causes C, etc.; (b) a more realistic description of complex cause-effect webs with synergistic effects (>>), positive (+) and negative (-) feedback mechanisms (Cassel-Gintz, 2001).

Aborder l'adaptation des territoires littoraux (et de leurs sous-ensembles, tels que les réseaux d'infrastructures) par des approches systémiques implique une réflexion préliminaire sur ces « systèmes » qui inclut :

- leurs caractéristiques intrinsèques ;
- les phénomènes les affectant ;
- les objectifs associés à leur adaptation et les limites de leur adaptation ;
- les méthodes d'observation et d'analyse des systèmes ;
- les méthodes d'adaptation des systèmes.

1- Caractéristiques des territoires littoraux

Les territoires littoraux sont des systèmes socio-écologiques intégrant des composantes de l'environnement naturel, de l'environnement construit, et de l'environnement social et institutionnel. Il s'agit de systèmes éminemment complexes par le nombre et la diversité des éléments qui les constituent (constituants physiques, biologiques, anthropiques), par l'interconnexion de ces éléments et leurs relations avec l'environnement extérieur.

Dans les territoires littoraux, il est possible de distinguer des sous-ensembles, par exemple des villes ou des espaces portuaires ou, de façon plus sélective, des systèmes d'infrastructures portuaires, des systèmes de protection contre les inondations, divers réseaux de transport, d'alimentation en eau, en électricité et en télécommunication, ou encore des réseaux d'évacuation d'eau de pluie, ou d'eaux usées. Ces sous-ensembles comportent certes des éléments moins nombreux et moins divers, mais conservent néanmoins un haut degré de complexité, dès lors que l'on prend en compte les dimensions écologiques et sociales.

À ce titre, les territoires littoraux et leurs sous-ensembles peuvent en général être considérés comme des Systèmes Adaptatifs Complexes (en anglais, *Complex Adaptive Systems* (CAS)) : des

systèmes de composants interconnectés caractérisés par un comportement émergent⁵¹.

Une caractéristique des systèmes adaptatifs complexes est l'auto-organisation sans intention (Levin, 1998) : bien que la dynamique des SES soit dominée par des acteurs humains individuels qui manifestent une intention, le système dans son ensemble ne le fait pas, comme dans le cas d'un marché (Walker et al., 2004). Ceci doit conduire à mettre l'accent sur les incertitudes importantes auxquelles sont sujets ces systèmes et, par conséquent, sur la nécessité d'apprendre et d'expérimenter continuellement et de gérer de façon adaptative l'incertitude, la perturbation et l'imprévu plutôt que de tenter de les éliminer.

2- Phénomènes affectant les territoires littoraux

Les littoraux sont des espaces tout à la fois particulièrement exposés aux phénomènes naturels et attractifs pour les hommes. Ils sont aujourd'hui sujets au **développement de l'urbanisation** dans un contexte d'augmentation des échanges internationaux et de mondialisation. Ces évolutions peuvent conduire à des situations localement préoccupantes en matière d'habitabilité et d'exposition aux catastrophes naturelles (Cerema, 2019a).

Les inondations représentent le premier risque naturel en France. 1,4 million d'habitants et plus de 850 000 emplois sont exposés au risque de submersion marine⁵² (MTES, 2020). Bien que les inondations côtières puissent également résulter de précipitations intenses, de débordement de fleuve ou de remontée de nappe phréatique, la vigilance doit donc porter en premier lieu sur les **submersions marines**, générées par des phénomènes physiques se manifestant à très grande échelle (tempêtes, cyclones, tsunamis) et qui ont été dans l'histoire de l'humanité à l'origine de catastrophes majeures (Flather, 2001). Outre les victimes et les dommages résultant directement des inondations, ces catastrophes engendrent aussi des désordres sanitaires, des préjudices psychologiques et économiques. Au XXI^e siècle, malgré les progrès enregistrés notamment en matière de connaissance scientifique, de prévision et d'alerte, des signes alarmants d'aggravation des risques de catastrophe existent à l'échelle mondiale, notamment au niveau des grandes villes portuaires : au cours des dernières décennies, la croissance démographique élevée sur les littoraux, se traduit à la fois par une exposition supérieure à l'aléa et par une déstabilisation des milieux naturels qui constituent pourtant la première forme de protection. Par ailleurs, le changement climatique produit de multiples effets qui exacerbent le risque de submersion marine.

Les effets du changement climatique, notamment la surélévation du niveau moyen des mers, est sur la plupart des littoraux à l'origine d'une aggravation des risques côtiers, qui incluent non seulement les risques d'inondation côtière, mais aussi les **risques d'érosion, de recul du trait de côte et de migration dunaire**. Par exemple, en France, près de 20 % des côtes sont affectées par l'érosion (Cerema, 2019b).

Cependant attribuer les impacts à l'élévation du niveau de la mer reste difficile dans la plupart des régions, étant donné que ces impacts ont été amplifiés par des facteurs humains non climatiques tels que **la modification de l'usage des sols, la subsidence des terres (provoquées par les extractions souterraines d'eau et d'hydrocarbure) et la dégradation des habitats côtiers** (IPCC, 2019), en particulier des zones humides. Les zones humides sont définies comme des régions inondées par l'eau, soit temporairement, soit en permanence. Les zones humides côtières, comme les mangroves, les marais salés et les récifs coralliens, agissent comme des barrières de protection contre les phénomènes météo-marins et les tsunamis, tandis que les zones humides intérieures, comme les rivières, les plaines d'inondation, les lacs, les marais fonctionnent comme des éponges, absorbant et stockant les précipitations excédentaires et amortissant les crues éclaircies (Ramsar, 2016). Près de 50 % de l'étendue préindustrielle et naturelle des zones humides côtières mondiales ont été perdus depuis le XIX^e siècle. La perte et la dégradation des zones

⁵¹ L'émergence est un comportement global du système qui découle de l'interaction de nombreux composants, un comportement qui ne peut être prédit ni même envisagé à partir d'une connaissance de ce que chaque composant d'un système fait de façon isolée (Lissack, 1999).

⁵² <https://www.ecologie.gouv.fr/generalites-sur-risque-inondation-en-france>

humides mondiales ont été accélérées depuis les années 1990, en raison de facteurs anthropiques et naturels, tels que la conquête de terre sur la mer, l'aquaculture, l'urbanisation, la construction de ports et de canaux de navigation, la diminution des apports de sédiments des bassins versants, l'élévation du niveau marin et l'érosion (Li et al. 2018). La surexploitation et la pollution des ressources en eau sont deux autres menaces majeures (*Mediterranean Wetlands Observatory, 2014*).

À l'échelle mondiale, le cas des deltas est particulièrement préoccupant, parce qu'il s'agit de zone basse sur lesquelles sont positionnés de forts enjeux, en particulier de très grandes villes (e.g., Shanghai, Guangzhou, Bangkok, Yangon, Calcutta, Dhaka, Lagos, Ho Chi Min City, Hanoi: Woodroffe et al. 2006). Ces villes connaissent pour la plupart de forts taux de subsidence, qui dépassent d'un ordre de grandeur au moins les vitesses d'élévation du niveau moyen des mers (Syvitski, 2008). **L'approvisionnement en sédiments** atteignant la côte est également un facteur critique de durabilité des deltas (Tessler et al., 2018). La construction de barrages, les changements dans l'utilisation des terres et l'extraction de sable peuvent engendrer une diminution significative de ces apports (Ouillon, 2018). La plupart des stratégies d'ingénierie conventionnelles couramment utilisées pour réduire les risques d'inondation (y compris les digues, les perrés et les barrages) perturbent les mécanismes naturels de progression d'un delta, soit en retenant les sédiments en amont (cas des barrages), soit en accélérant les écoulements et en empêchant ainsi le dépôt des sédiments (cas des digues et des perrés). Les approches d'ingénierie conventionnelle réduisent donc globalement leur résilience à long terme (Tessler et al., 2015; Welch et al., 2017): les deltas, privés de la majorité de leurs apports en sédiment, pourraient à court terme ne pas être en mesure de maintenir leur élévation actuelle par rapport au niveau de la mer, ce qui impliquerait une augmentation de la salinisation, de l'érosion et des risques d'inondation (Dunn et al., 2018). Les systèmes particulièrement vulnérables aux risques d'inondation en raison des activités anthropiques comprennent le delta du Mississippi en Amérique du Nord, le delta du Rhin en Europe et les deltas en Asie de l'Est (Renaud et al., 2013; Day et al., 2016). En France le Delta du Rhône (Camargue) est également menacé.

3- Objectifs d'adaptation et limites d'adaptation

S'agissant de maintenir l'habitabilité des territoires et les fonctions des réseaux d'infrastructures, l'adaptation des territoires littoraux (ou de leurs sous-ensembles) doit être réalisée par un renforcement de leur résilience. Dans des contextes fortement évolutifs et incertains, cet objectif global inclut l'objectif particulier de réduction des risques. Mais d'autres bénéfices sont en général attendus : les SES produisent un « faisceau » d'ES, classés dans *Millenn. Ecosyst. Assess.* (2005), comme services d'approvisionnement (p. ex., eau douce, cultures, viande), de régulation (p. ex., régulation des inondations et du climat) et services culturels (p. ex., loisirs et valeurs spirituelles). Le renforcement de la résilience d'un SES correspond donc au développement de sa capacité à soutenir un ensemble désiré de services écosystémiques (en anglais, *Ecosystem Services* (ES)) face aux perturbations et aux évolutions et changements en cours (Biggs et al., 2012).

Il est essentiel par ailleurs dans la définition des objectifs de considérer que l'adaptation est un processus continu d'ajustement aux changements, sans point final. Cela signifie que la définition d'une adaptation réussie concerne davantage la durabilité des processus et les principes d'équité que la mesure des résultats à un moment donné (Stafford-Smith et al., 2011, Hurlimann et al., 2014, Barnett et al., 2015). L'adaptation réussie est donc une question de « voies de développement durable sur les plans social et environnemental, y compris la justice sociale et l'intégrité environnementale » (Eriksen et al., 2011).

La définition des stratégies d'adaptation des territoires littoraux et de leurs systèmes de protection contre les inondations doit donc considérer la continuité des processus comme un de ses principes directeurs. Une bonne appréhension des limites d'adaptation est également nécessaire à l'élaboration des stratégies. Les limites d'adaptation peuvent être définies comme :

Le point auquel les objectifs d'un acteur (ou les besoins du système) ne peuvent plus être protégés contre des risques intolérables par des actions adaptatives (GIEC, 2019).

Plus précisément, les limites de l'adaptation sont atteintes lorsque l'adaptation ne permet plus à un acteur ou à un écosystème d'atteindre des objectifs principaux ou de maintenir des fonctions clés contre des risques intolérables. La définition des risques tolérables et des fonctions clés du système revêt donc une importance centrale pour l'évaluation des limites à l'adaptation (GIEC, 2019).

Il est également possible de distinguer entre :

- limite d'adaptation dure – Aucune mesure d'adaptation n'est possible pour éviter les risques intolérables ; et
- limite d'adaptation souple – Des options peuvent exister, mais elles ne sont actuellement pas disponibles pour éviter les risques intolérables au moyen d'une mesure d'adaptation.

De fait, l'adaptation exige une capacité d'adaptation qui, pour les systèmes humains, comprend les actifs (financiers, physiques et/ou écologiques), le capital (social et institutionnel), les connaissances et le savoir-faire technique (Klein et al., 2014). L'étendue de la capacité d'adaptation détermine le potentiel d'adaptation, mais ne se traduit pas nécessairement par une adaptation efficace si la prise de conscience de la nécessité d'agir, la volonté d'agir et/ou la coopération nécessaire pour agir font défaut. Par exemple, la capacité d'adaptation à l'élévation du niveau de la mer dépend, en partie, de l'élévation des îles de basse altitude et des côtes en question, mais aussi de la capacité de négocier avec succès sur les plans social et politique des mesures de protection ou de relocalisation (GIEC, 2019).

Les limites de l'adaptation sont parfois considérées comme différentes des obstacles à l'adaptation. Les obstacles peuvent en principe être surmontés si la capacité d'adaptation est disponible (p. ex., là où le financement est disponible), même si surmonter les obstacles est souvent difficile en réalité, en particulier pour les communautés et les pays aux faibles ressources, ou ceux dont la gouvernance n'est pas adaptée.

D'après Holling (2002), les systèmes socio-écologiques évoluent suivant des cycles adaptatifs au cours desquels :

- le système devient progressivement moins souple et plus sensible aux chocs externes : par exemple, pour les territoires littoraux et leurs infrastructures, la saturation de l'occupation des sols par le processus d'urbanisation peut empêcher leur repositionnement ou leur redimensionnement ; et
- les ressources deviennent de moins en moins mobilisables : la difficulté à faire évoluer le système conduit à une augmentation des dépenses de maintenance au détriment des dépenses d'investissement.

À terme, ces processus condamnent les systèmes à une phase chaotique d'effondrement et de réorganisation, marquant le départ d'un nouveau cycle (similaire au précédent ou très différent).

De façon similaire, par une analyse sociologique, Bhowmik (2017) a montré, sur la base d'une revue de la littérature scientifique, que les changements climatiques et les événements extrêmes associés exigent une complexité croissante des organisations, c'est-à-dire la formation de nouvelles institutions sociales pour concevoir, atténuer et s'adapter aux problèmes climatiques, ce qui entraîne une augmentation des dépenses liées au climat. Il peut en résulter un effondrement social. Ce type de processus apparaît plus rapidement dans des zones caractérisées par des ressources insuffisantes qui n'ont pas permis de croître en complexité et d'assumer le coût croissant de la résolution des problèmes associés à l'intensification des chocs. Mais le phénomène peut aussi apparaître dans une société complexe, avec les mêmes symptômes : catastrophes (p. ex. submersion marine de grande ampleur) et changements structurels (par ex. migration). Sans qu'il y ait un lien direct avec le changement climatique, il est à noter que la Nouvelle-Orléans (USA, Louisiane) présente ces symptômes : après que l'ouragan Katrina a dévasté le littoral de cette région en 2005, la ville a perdu 30 % de sa population (CensusViewer, 2020).

4- Méthodes d'observation et d'analyse des systèmes

Comprendre comment les phénomènes interagissent les uns avec les autres, et ce qu'ils signifient pour les personnes et les écosystèmes, nécessite une approche holistique qui examine ensemble la dynamique humaine et naturelle. Les concepts de résilience et de SES contribuent à fournir cette vision (*Arctic Council, 2016*). Le point de départ clé de cette démarche est l'intégration de différents types de connaissances et une variété d'expériences dans lesquelles les scientifiques, le public et les décideurs en charge de la définition et de la mise en œuvre des politiques collaborent pour générer des connaissances non seulement scientifiquement fiables, mais aussi appropriées au contexte, socialement pertinentes et exploitables (*Weichselgartner et Kasperson, 2010*), tout en gardant à l'esprit que l'intégration des connaissances est nécessaire, mais pas suffisante : la coopération entre les acteurs doit se poursuivre avec des programmes de renforcement de la résilience (*Weichselgartner et Kelman, 2014*).

Pour gérer l'approche systémique autour d'un thème (par exemple, « les risques affectant une zone littorale » constitue un thème possible) ou d'un territoire, un observatoire peut être un outil pertinent pour fournir de l'information, mais aussi pour diffuser cette information. Un observatoire peut être défini comme un système d'observation mis en place par une ou plusieurs organisations pour suivre l'évolution d'un phénomène, d'une zone ou d'une partie d'un territoire, dans le temps et dans l'espace ; la plupart des observatoires prennent la forme d'applications informatiques dans lesquelles les données sont agrégées et présentées sous forme de tableaux, cartes ou indicateurs statistiques. Les objectifs, les utilisateurs et les temporalités pris en compte par l'observatoire doivent être définis avec précision (*Bourlier et al., 2020*).

Il est à noter que la mesure et le suivi d'un ensemble restreint d'indicateurs ou la réduction de la résilience à une seule unité de mesure peuvent bloquer la compréhension approfondie de la dynamique des systèmes nécessaire pour appliquer ce concept et éclairer les mesures de gestion (*Quinlan, 2016*). En particulier, il faut être conscient du fait que les cadres classiques de gestion du risque inondation ne prennent pas suffisamment en compte certains phénomènes souvent déterminants dans l'apparition ou l'aggravation du risque, tels que la subsidence, les modifications morphologiques naturelles, la perturbation des transits sédimentaires, la destruction des mangroves, la disparition des récifs coralliens, etc. Il est donc préférable de considérer que l'aléa peut émerger d'une combinaison de phénomènes potentiellement de natures diverses, qui se développent sur une gamme d'échelles de temps. Le Cadre d'action de Hyōgo 2005-2015 (*UNISDR, 2005*) donne une définition appropriée de l'aléa :

« Manifestation physique, phénomène ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des préjudices corporels, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement. Font partie des aléas les conditions latentes qui peuvent à terme constituer une menace. Celles-ci peuvent avoir des origines diverses : naturelles (géologiques, hydro-météorologiques ou biologiques) ou anthropiques (dégradation de l'environnement et risques technologiques) ».

Gill et Malamud (2014) ont présenté un panorama des relations d'interaction entre 21 aléas naturels (la figure 44 représente une sélection de 16 d'entre eux), tirés de six groupes d'aléas : géophysique, hydrologique, terrestre peu profond, atmosphérique, biophysique et spatial.

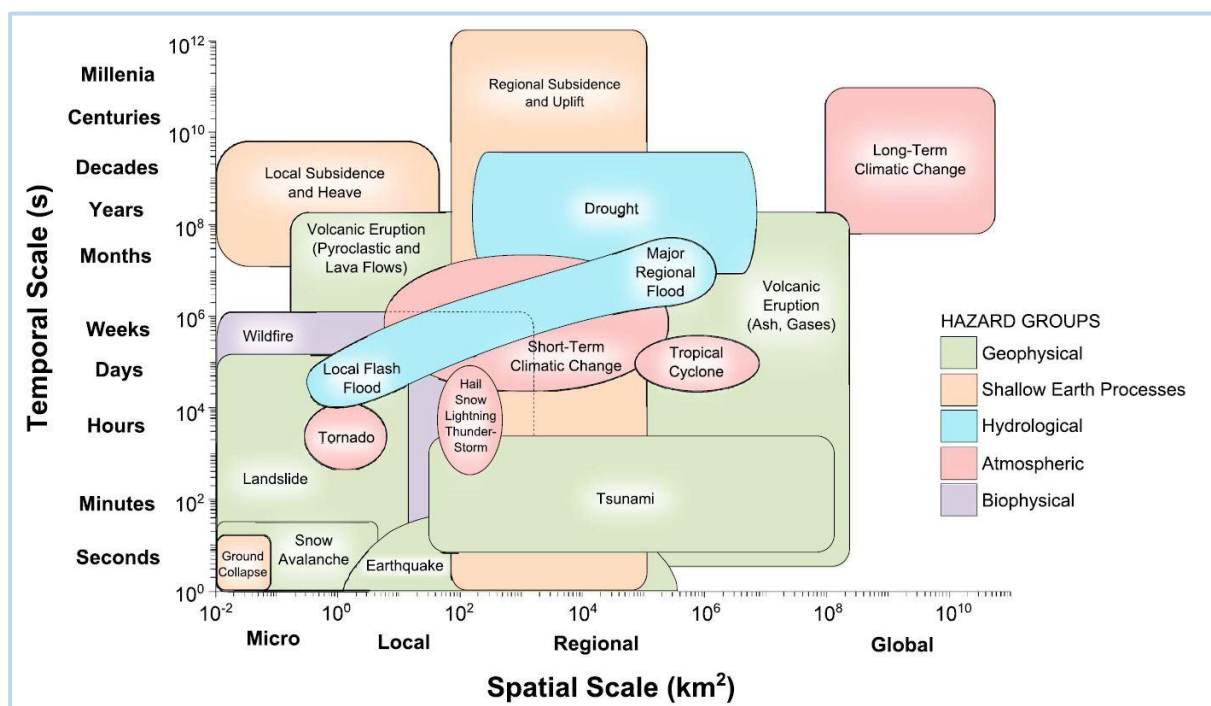


Figure 42 : échelles spatiale et temporelle de 16 aléas naturels sélectionnés. Les axes logarithmiques représentent les échelles spatiales et temporelles sur lesquelles les 16 aléas naturels agissent

Comme précisé dans la définition précédente, les aléas d'origine biologique, devraient également être considérés en complément, les inondations étant susceptibles par exemple de dégrader les conditions sanitaires, notamment par la détérioration des réseaux d'eau potable et d'assainissement.

Les approches d'analyse de risque sur les territoires et sur les réseaux d'infrastructure sont, de toute évidence, complémentaires, et ont vocation à être coordonnées pour disposer d'un point de vue global sur toute la « chaîne de production » du risque.

Que l'on considère plusieurs phénomènes dans une analyse de risque, ou qu'après des investigations préliminaires, on choisisse de se recentrer sur l'un d'eux, il est toujours nécessaire :

- sur le plan spatial, de borner le territoire dans lequel est menée l'étude et au sein de ce territoire, au besoin, de procéder à de nouvelles subdivisions spatiales (notamment si des approches analytiques devaient être envisagées) ;
- sur le plan temporel, d'apprécier à diverses échéances les risques en fonction de l'évolution de la situation.

Ce cadrage ne peut progresser que par itération avec les investigations sur le contexte et sur les phénomènes susceptibles d'intervenir dans la manifestation des risques.

Les méthodes utilisées pour étudier un système urbain (applicables aussi à un espace portuaire) consistent en une double caractérisation de l'aspect structural et de l'aspect fonctionnel. L'aspect structural correspond à l'organisation spatiale du système alors qu'à travers l'analyse fonctionnelle, il est essentiel de caractériser les phénomènes temporels, tels que les flux, les échanges et les rétroactions. La compréhension des risques à l'échelle d'un territoire peut donc être menée en définissant successivement les limites du système, son environnement, ses composantes et finalement en y associant des fonctions (Serre et al., 2018). Dans un système urbain, cette méthode montre l'interdépendance des réseaux et des infrastructures critiques de la zone étudiée et donc les effets domino et les chaînes d'impact (Bourlier et al., 2020). La figure 45 illustre l'application d'une analyse fonctionnelle à l'échelle d'un quartier : y sont représentées en particulier les relations de contact et de flux opérationnels normaux entre les composantes individuelles d'un

quartier et les facteurs de son environnement externe.

Les approches d'évaluation des risques s'appliquant aux infrastructures organisées en réseaux sont de nature hybride : la diversité des types de structure, ainsi que la diversité des environnements dans lesquels ces composants sont placés, obligent à l'adoption d'approches systémiques ; cependant, les objectifs de performance et de rationalisation des ressources employées, contraignent aussi à adopter des approches analytiques, en particulier dans l'objectif d'évaluer leur réaction à diverses sollicitations ou pour déterminer quantitativement les moyens humains, financiers et matériels nécessaires à la gestion et à l'adaptation du système de protection. Le cadrage des approches analytiques par des approches systémiques est un défi permanent pour les gestionnaires des systèmes de protection.

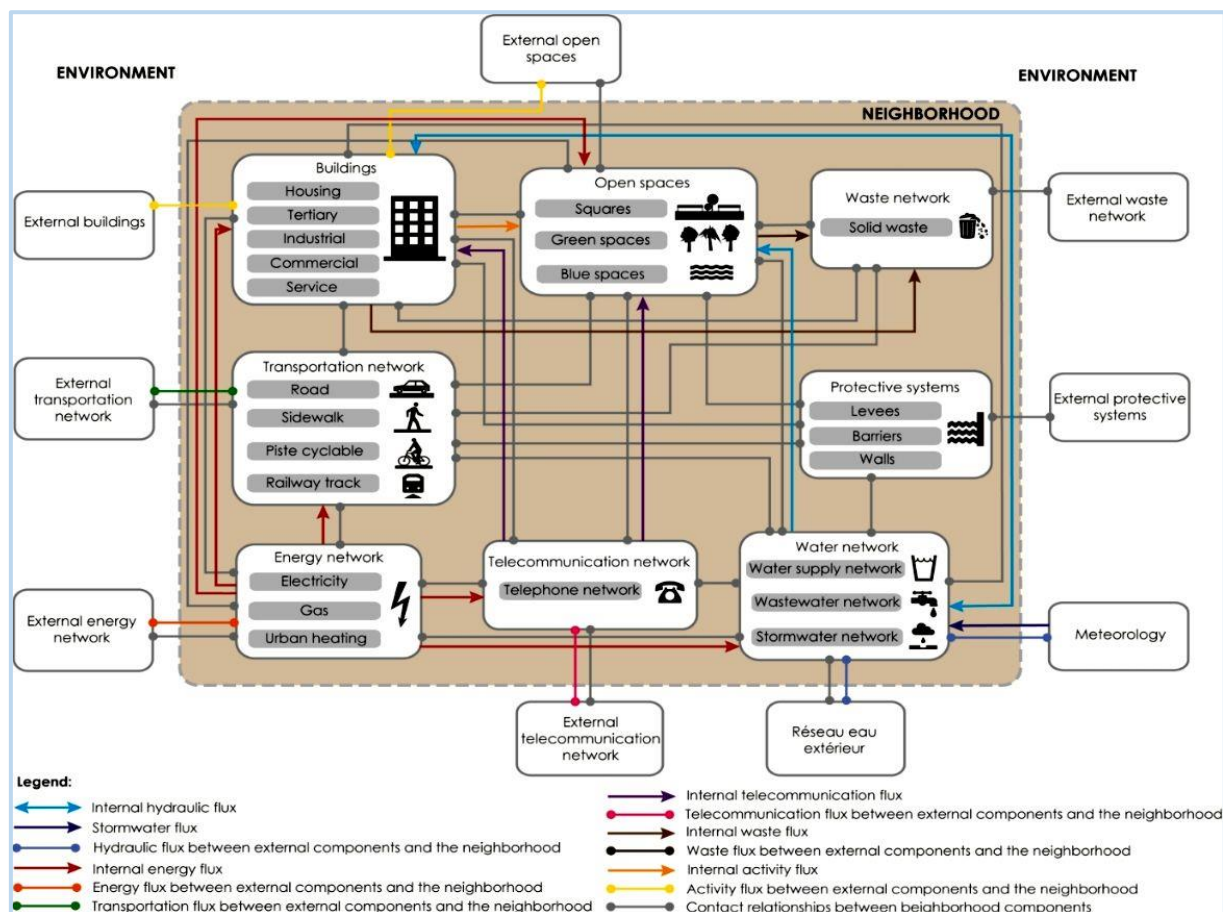


Figure 43 : schéma fonctionnel du système « quartier » (Serre et al., 2018)

5- Méthodes d'adaptation des systèmes

L'élaboration d'une stratégie d'adaptation exige une compréhension suffisante de la nature et de l'ampleur précises des problèmes futurs, des possibilités de les résoudre ou de les réduire en termes d'alternatives stratégiques composées de mesures physiques et d'instruments réglementaires. Ces alternatives stratégiques doivent être évaluées sur des critères de performance, de coûts et d'effets secondaires et d'opportunité (Klijn et al., 2015).

La définition de méthodes en réponse à cet objectif peut s'appuyer sur les concepts de SES et de CAS appliqués aux territoires littoraux et aux réseaux d'infrastructures existant dans ces territoires. À ce titre, la planification de scénarios et le concept récent de Voies de développement de la résilience au changement climatique (en anglais, *Climate-resilient development pathways* (CRDP)) méritent d'être mis en exergue, car ils représentent des méthodes appropriées de gouvernance et de gestion des SES.

La planification de scénarios est une méthode systémique de réflexion créative sur des avenir possibles complexes et incertains. L'idée centrale de la planification de scénarios est d'envisager une variété d'avenir possibles qui comprennent bon nombre d'incertitudes importantes dans le système, plutôt que de se concentrer sur la prédiction exacte d'un seul résultat (Peterson et al., 2003). Les scénarios peuvent aider à surmonter des problèmes fondamentaux relatifs à la transformation en organisant la réflexion de manière cohérente. Avec de multiples changements qui se produisent simultanément, la complexité même de la situation peut devenir un obstacle à la compréhension et à l'action. Les scénarios peuvent organiser l'information sur la transformation d'une manière compréhensible qui facilite la discussion et l'action (Walker et al., 2004). Peterson et al. (2003) ont établi par ailleurs que la planification de scénarios est un processus visant à envisager des transformations plausibles et à les intégrer dans les processus de décision sociale.

La définition des stratégies d'adaptation dépend largement du caractère dynamique des SES, ce qui impose de considérer plusieurs horizons temporels et d'évaluer les incertitudes. L'étude de plusieurs scénarios contribue à atteindre ces deux objectifs. À cette fin, il est possible d'avoir recours à des données générales, bien que leur transposition à l'échelle des territoires demeure bien souvent délicate :

- concernant les scénarios d'évolution du climat, l'exploitation des projections de modèles climatiques correspondant aux RCP (Moss et al., 2008; Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011) est recommandée. Toutefois, plus on avance dans la chaîne des effets, plus les incertitudes sur l'évolution d'un effet sont grandes (Haasnoot, 2013) et parfois même sur la direction de l'évolution. De plus, lorsque les changements climatiques dépassent la plage des changements observés historiquement, des changements imprévus peuvent se produire, ce qui complique la transposition des scénarios climatiques mondiaux au niveau national ou régional (Klijn, 2015) ;
- concernant les trajectoires socio-économiques partagées (en anglais, *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP)) (O'Neill et al., 2017), Klijn et al. (2015) ont indiqué que les développements autonomes dans le sous-système socio-économique sont encore plus incertains que les scénarios de changement climatique en raison des développements économiques se produisant à l'échelle mondiale et de leur dépendance aux changements géopolitiques très dynamiques. Néanmoins, pour les développements démographiques, économiques et d'utilisation des terres, une approche par scénario peut être adoptée.

La définition des scénarios doit obéir à certains principes de robustesse et de flexibilité par rapport aux changements environnementaux, parmi lesquels ceux de Van Rhee (2012), traduit du hollandais par Klijn et al. (2015), qui sont les suivants :

- les décisions à court terme devraient contribuer à la réalisation des objectifs à long terme ;
- la recherche des voies d'adaptation devrait avoir des points de décision successifs dans le temps, plutôt que de viser une situation finale à un moment donné dans le futur (dans le cadre d'un « plan directeur ») pour permettre l'adaptation au fil du temps ;
- la flexibilité des mesures individuelles et des stratégies globales devrait être recherchée et valorisée afin de permettre d'accélérer ou de ralentir et d'éviter les regrets de sous-performance ou de surinvestissement ;
- les synergies devraient être recherchées avec les objectifs et les initiatives de développement d'autres parties publiques et privées (par exemple, les grands acteurs de l'industrie et de la finance), ce qui réduit la probabilité de regret en raison des autres avantages obtenus.

L'utilisation des scénarios peut aussi faire appel à des techniques d'analyse, parmi lesquelles :

- les points de bascule (en anglais, *tipping points*) des politiques (Kwadijk et al. 2010). Un point de bascule est atteint si l'ampleur du changement est telle que la stratégie de gestion actuelle ne peut plus atteindre ses objectifs. Au-delà d'un point de bascule, une autre stratégie adaptative est nécessaire. En appliquant cette approche, on répond aux questions fondamentales suivantes des décideurs : quels sont les premiers problèmes

auxquels nous serons confrontés en raison du changement climatique et quand devrions-nous rencontrer ces problèmes. Dans l'ouest des Pays-Bas, les résultats montrent, par exemple, que le changement climatique et l'élévation du niveau marin sont plus susceptibles de menacer l'approvisionnement en eau douce que les inondations ; et

- les voies d'adaptation (Haasnoot et al., 2013). Cette méthode correspond à une approche analytique pour explorer et séquencer un ensemble d'actions possibles fondées sur d'autres développements externes au fil du temps. Les auteurs ont testé ce concept en élaborant un plan adaptatif pour la gestion à long terme de l'eau du delta du Rhin aux Pays-Bas qui tient compte des incertitudes profondes sur l'avenir découlant des changements sociaux, politiques, technologiques, économiques et climatiques. La figure 46 illustre cette approche.

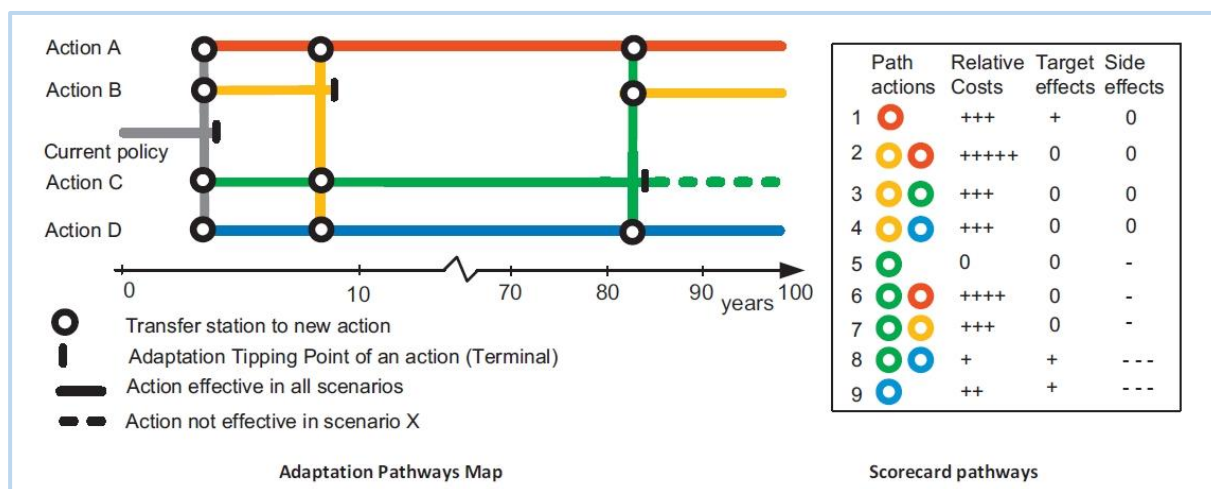


Figure 44 : un exemple de carte des voies d'adaptation (à gauche) et une fiche présentant les coûts et les avantages des neuf voies possibles présentées sur la carte (à droite). Les couleurs sur la fiche correspondent aux actions A (rouge), B (orange), C (vert) et D (bleu) (Haasnoot et al., 2013).

Les commentaires suivants sont utiles pour comprendre la figure 46 :

Sur la carte, à partir de la situation actuelle (ligne grise), les objectifs ne sont plus atteints après quatre ans, et quatre options sont proposées. Les actions A et D (lignes rouges et bleues, respectivement) devraient pouvoir atteindre les objectifs pour les 100 prochaines années dans tous les scénarios climatiques évalués. Si l'action B est choisie, un point de bascule est atteint dans les cinq ans environ ; ensuite, un changement vers l'une des trois autres actions sera alors nécessaire pour atteindre les objectifs (lignes orange). Si l'action C est choisie après les quatre premières années, un passage à l'action A, B ou D sera nécessaire dans le cas du scénario X (suivre les lignes vertes continues). Dans tous les autres scénarios, les objectifs seront atteints pour les 100 prochaines années (suivre la ligne verte pointillée).

Ces deux approches, celle des points de bascule et celle des voies d'adaptation peuvent être intégrées dans les documents de planification et d'aménagement du territoire afin de formaliser des décisions et de permettre leur mise en œuvre effective par les autorités compétentes (IPCC, 2019). Par exemple, elles sont appliquées dans le programme Delta des Pays-Bas, en particulier pour la gestion des risques d'inondation et des ressources en eau douce (Klijn et al., 2015).

Face au défi majeur que représente l'adaptation au changement climatique et pour tenir compte des objectifs de développement durable et d'éradication de la pauvreté, il est également recommandé de s'appuyer sur le concept de CRDP représenté sur la figure 47 (Kainuma et al., 2018; Roy et al., 2018).

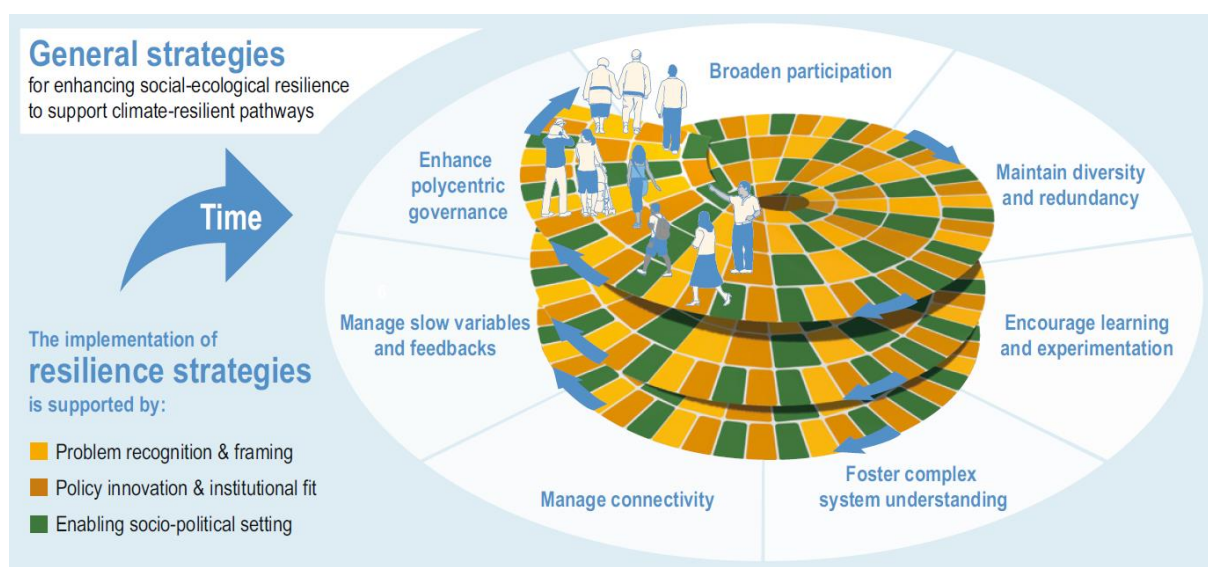


Figure 45 : voie de développement de la résilience au changement climatique. De Hock, R., G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Kääb, S. Kang, S. Kutuzov, Al. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, et H. Steltzer. Dans: IPCC, 2019, figures CB2.2.

Les CRDP sont de plus en plus étudiées comme une approche permettant de combiner les évaluations scientifiques, la participation des intervenants et la planification prospective du développement, reconnaissant que la poursuite d'une CRDP est non seulement un défi technique de la gestion des risques, mais aussi un processus social et politique (Roy et al., 2018). Ceci implique une organisation de la démarche par les institutions en charge de la gouvernance des territoires. Les CRDP visent à établir des récits d'espoir et d'opportunité qui peuvent aller au-delà de la réduction des risques et de l'adaptation – en particulier intégrer la lutte contre le changement climatique (Amundsen et al., 2018) – et sont essentiels pour susciter la motivation, la pensée créative et les changements de comportement en réponse aux changements climatiques (Myers et al., 2012; Prescott et Logan, 2018).

La définition des scénarios doit s'appuyer sur des principes généraux visant à améliorer la résilience socio-écologique. Ces principes, sur lesquels se fondent les CRDP, ont fait l'objet d'une présentation synthétique par Biggs et al. (2012) sur la base d'une revue de la littérature scientifique (voir figure 47). Les principes de gestion de la résilience relèvent de deux niveaux :

- les principes qui se rapportent aux propriétés génériques du SES à gérer : « Maintenir la diversité et la redondance », « Gérer la connectivité » et « Gérer les variables lentes et les rétroactions » peuvent trouver des déclinaisons très variées selon le réseau d'infrastructure ou le service écosystémique considéré ;
- les principes qui se rapportent aux propriétés clés de la gouvernance des SES : « comprendre un SES comme CAS » implique un changement de paradigme. « Apprentissage et expérimentation », « participation » et « polycentricité » sont trois principes souvent regroupés sous le même terme de « cogestion adaptative » depuis les travaux de Ruitenbeek et Cartier (2001).

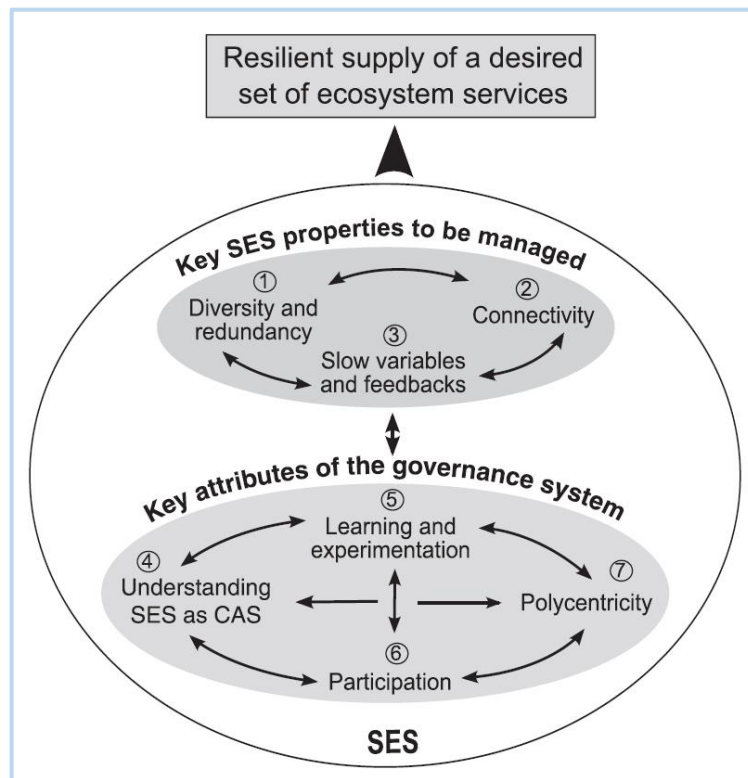


Figure 46 : les sept principes de gestion de la résilience d'un SES (Biggs et al., 2012).

Annexe 3 - Le projet Explore 2 et son calendrier

Explore 2 – Les futurs de l'eau

Le projet Explore 2 s'inscrit dans la suite du projet Explore 2070 et est porté par l'INRAE et l'OiEAU (Office International de l'Eau). Il a pour objectif, d'ici 2024, d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des dernières publications du GIEC et d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau.

L'ensemble des résultats sera également mis à disposition sur un portail de services hydro-climatiques dédié à l'eau, développé sur le même modèle que le portail actuel DRIAS **"Les futurs du climat"** (<http://www.drias-climat.fr/>), qui met actuellement à disposition pour la France des informations climatiques régionalisées. Une première version de cette extension "DRIAS-Eau", créée dans le cadre du projet LIFE Eau&Climat, sera opérationnelle début 2022, avant une version finale en 2024.

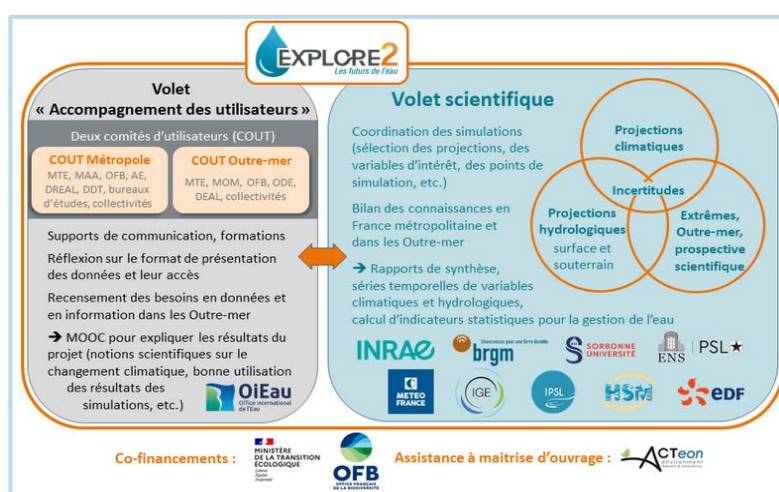


Figure 47 : schéma de présentation du projet Explore 2

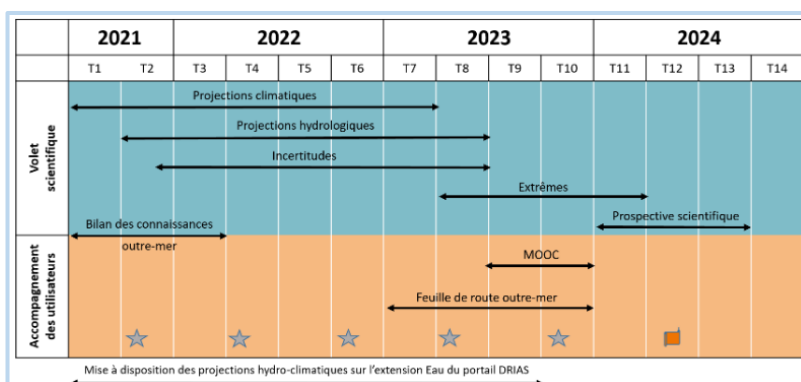


Figure 48 : calendrier prévisionnel du projet Explore 2

Annexe 4 - Contribution de VNF sur les espèces invasives



Gestion des plantes exotiques envahissantes aquatiques : l'urgence de maîtriser leur prolifération sur les voies d'eau

Figure 49 : source VNF

Les Espèces Exotiques envahissantes : origines et ampleur des phénomènes

Les EEE sont souvent des espèces compétitrices et opportunistes qui captent une part trop importante des ressources dont les espèces locales ont besoin pour survivre, viennent modifier les milieux naturels, voire sont prédatrices des espèces indigènes ou leur transmettent des maladies. Ces EEE peuvent être des plantes, des mammifères, des oiseaux, des amphibiens, des reptiles, des insectes, etc. Tous les milieux (terrestres, aquatiques et marins) et tous les territoires sont aujourd'hui impactés par cette présence.

Parmi les EEE, les plantes, originaires de divers continents (Amériques, Asie, etc.), sont généralement importées et utilisées intentionnellement en France, souvent pour des raisons ornementales et esthétiques pour agrémenter et embellir les jardins et les bassins, ou à des fins d'aquariophilie pour décorer et alimenter les aquariums.

Une fois détenues par exemple par des particuliers ou des collectivités, ces plantes peuvent s'échapper dans l'environnement, ou être rejetées volontairement ou de façon fortuite, par exemple dans les eaux usées, et donc être introduites en milieu naturel. Les plantes aquatiques peuvent ensuite être transportées d'un cours d'eau à un autre, par le matériel de pêche ou par l'utilisation de bateaux encrassés par ces plantes, sur différents réseaux hydrographiques.

Les espèces de plantes exotiques envahissantes sur le réseau fluvial

Les espèces exotiques envahissantes en question sont nombreuses : Myriophylle hétérophylle,

Myriophylle du Brésil, Elodées, Jussies, Egérie dense, Hydrocotyle fausse-renoncule, Cabomba, Grand Lagarosiphon, etc.

Chacune d'entre elles dispose de caractéristiques biologiques propres, mais toutes ont généralement en commun :

- une forte capacité de reproduction, notamment par multiplication végétative, c'est-à-dire par du bouturage de fragments de plante ;
- une grande capacité de dispersion, avec ces fragments qui peuvent être propagés sur de longues distances par les cours d'eau ;
- une appropriation des ressources nutritives dont les autres espèces ont besoin, en étant présentes souvent dans des milieux enrichis en nutriments (eutrophisation des eaux) ;
- une croissance rapide et exponentielle, avec le développement de populations souvent denses, larges et mono-spécifiques ;
- une forte adaptation aux perturbations naturelles ou anthropiques.

Les impacts de la prolifération des EEE pour la biodiversité et pour les écosystèmes

L'introduction, l'implantation et la propagation d'EEE sur de nouveaux territoires menacent les espèces indigènes, les habitats naturels ou les écosystèmes, avec parfois des conséquences environnementales, économiques ou sanitaires négatives.

Les espèces exotiques envahissantes sont aujourd'hui reconnues comme l'une des causes majeures de perte de biodiversité dans le monde. Selon les derniers travaux scientifiques publiés dans la revue *Nature* en 2021, les dégâts causés par les espèces envahissantes sont estimés en moyenne à 22,7 milliards d'euros par an sur la période 1970 à 2021. Ce coût a triplé à chaque décennie, pour atteindre 138 milliards d'euros pour la seule année 2017.

En ce qui concerne les plantes, celles-ci entrent en compétition avec les espèces indigènes en accaparant les ressources nutritives et l'espace dans l'eau, prennent leur place, entraînant ainsi un appauvrissement de la diversité végétale à l'échelle locale. De plus, ces tapis denses formés par ces plantes peuvent générer une surmortalité de la faune piscicole, en réduisant la pénétration de la lumière dans l'eau et son oxygénation, mais peuvent aussi diminuer la reproduction des poissons en encombrant les frayères. Par ailleurs, ces phénomènes d'invasions biologiques peuvent constituer un risque d'uniformisation des paysages. Les herbiers végétaux peuvent de plus ralentir ou modifier l'écoulement dans les cours d'eau et conduire à des phénomènes de sédimentation ou d'inondation. La sédimentation des matières organiques peut entraîner par la suite une eutrophisation des eaux et l'envasement du milieu.

À l'heure actuelle, plusieurs dizaines de plantes sont considérées comme exotiques envahissantes en métropole, et parmi celles-ci 36 sont réglementées et interdites de toutes activités (achat, vente, introduction, utilisation, transport, etc.) en France et en Europe.

La réalité du phénomène de prolifération de plantes aquatiques envahissantes sur le réseau fluvial que gère VNF.

Depuis une dizaine d'années maintenant, Voies navigables de France lutte activement contre la prolifération de nombreuses plantes, qui envahissent à la fois le réseau fluvial et les systèmes d'alimentation en eau.

Ce phénomène s'observe de manière générale du mois de mai jusqu'à la fin novembre et est particulièrement marqué sur le réseau à petit gabarit, là où le trafic fluvial est le moins important. Et l'importance de la prolifération de ces espèces est fortement dépendante des conditions climatiques.

Mais des contextes très particuliers peuvent aussi contribuer à amplifier ce phénomène, comme cela a été le cas lors du premier confinement lié au Covid début 2020 avec la reprise tardive de la navigation au 1^{er} juin du fait des mesures sanitaires, ou encore les températures élevées du printemps avaient par exemple contribué à générer une prolifération exceptionnelle.

Les impacts concrets de ce phénomène pour VNF, dans ses missions et, plus largement, pour la collectivité.

Le développement exponentiel de plantes aquatiques envahissantes et en particulier des plantes exotiques impacte directement les rivières et canaux car elles portent durablement atteinte au bon fonctionnement des écosystèmes et des infrastructures fluviales.

Ces plantes viennent par exemple bloquer les portes d'écluses, obstruer les ouvrages d'alimentation en eau des canaux, mais aussi accélérer l'envasement et réduire ainsi les profondeurs de mouillage. Les automates sont également impactés par la prolifération de ces espèces qui engendre des problèmes de mesure du niveau d'eau par les sondes rendant la gestion hydraulique plus complexe.

La navigation s'avère elle aussi directement impactée. La présence massive de ces plantes peut nécessiter de mettre en place des restrictions locales, mais aussi ralentir la navigation (elle peut être abaissée jusqu'à 2 km/h au lieu de 6 km/h en temps normal), augmenter la consommation de carburant jusqu'à 20 % et être source de pannes pour les bateaux à moteur (hélices bloquées par exemple).

Les activités de loisirs ne sont pas non plus épargnées, la pratique de l'aviron, du canoë ou de la pêche pouvant être rendues impossibles dans certaines zones.

Par ailleurs, la présence grandissante de ces plantes vient, de fait, compliquer significativement les conditions de travail des agents. Si les opérations d'arrachage ou de faucardage sont réalisées avec certains moyens mécaniques, la phase de ramassage est, quant à elle, effectuée en partie manuellement, ce qui génère une forte pénibilité.

Les quantités de plus en plus importantes de plantes à gérer, année après année, génèrent une augmentation croissante des coûts de gestion, de par l'ampleur des moyens techniques et humains à y consacrer.

Mais au-delà de VNF, ces proliférations aujourd'hui quasi-impossibles à maîtriser constituent une menace grandissante pour les territoires et notamment pour l'économie du tourisme, en fragilisant l'activité des professionnels et en dégradant durablement l'image de la voie d'eau auprès des vacanciers, et ce alors que le tourisme fluvial contribue fortement à l'attractivité des régions en générant 1,36 milliard d'euros de retombées économiques sur le territoire national par an et 6 100 emplois directs.

Une prolifération qui échappe au contrôle de VNF malgré les moyens mis en œuvre.

Les équipes de VNF sont pleinement mobilisées sur le terrain depuis plusieurs années pour mettre en place des actions afin de gérer les foyers d'espèces envahissantes et garantir la navigation.

Malgré les moyens humains et financiers importants déployés par VNF, cette prolifération de plantes exotiques envahissantes en milieu aquatique apparaît aujourd'hui hors de contrôle.

Les zones touchées par la prolifération de différentes plantes exotiques envahissantes en milieu aquatique sont en constante évolution. VNF a ainsi identifié des plantes exotiques sur 1 450 km de voies d'eau en 2021 et ses équipes sont intervenues sur les secteurs les plus impactés d'un linéaire d'environ 500 km.

D'autre part, comme pour l'ensemble des pays et structures victimes de ce phénomène de prolifération, VNF ne dispose pas aujourd'hui de solution efficace à 100 % à long terme.

Aujourd'hui, la gestion des plantes envahissantes s'effectue essentiellement de façon curative (en été lorsque les conditions de navigation deviennent difficiles) et, sur certains canaux, de façon récurrente.

Les agents de VNF peuvent mettre en place plusieurs types d'interventions sur le terrain, en fonction de l'espèce identifiée et de son envahissement, de la période de l'année, du site concerné et des moyens disponibles localement :

- le faucardage à l'aide d'une embarcation équipée d'une lame immergée ;
- le moissonnage, dans ce cas le faucardeur est équipé d'un tapis roulant pour collecter les débris
- l'arrachage mécanique en eau à l'aide d'une pelle hydraulique équipée d'un godet adapté ;
- l'arrachage manuel sur les sites peu envahis ou sur les talus de protection aménagés (risbermes)
- le ramassage qui peut être mécanique (mini-pelle) ou manuel (fourche).



Figure 50 : crédit VNF

Une volonté de passer des actions curatives à une démarche préventive.

L'éradication totale et définitive d'un foyer étant irréalisable au-delà d'un certain seuil de prolifération, la détection et l'intervention précoces constituent, dans ce contexte sensible, des facteurs clés de réussite.

Dans cette logique, VNF déploie une démarche de prévention. Celle-ci implique de mettre en œuvre une veille active sur l'ensemble du réseau et une expérimentation de méthodes de gestion préventives comme par exemple des interventions à l'automne/hiver dans un objectif d'affaiblir la plante, ou la mise en place de rideaux de bulles afin d'éviter la dispersion des fragments.

Des outils de reconnaissance de certaines plantes comme le *Myriophyllum heterophyllum* ont été mis à disposition des agents et des sensibilisations sont mises en place pour renforcer cette culture de la surveillance et pouvoir identifier tout nouveau développement de foyer.

Un réseau d'experts et de partenaires a également été créé, pour élaborer un protocole de gestion qui définisse les modalités d'intervention adaptées, évaluer l'efficacité des mesures déployées dans un objectif d'amélioration continue.

Ce protocole de gestion se fonde sur différents retours d'expériences, notamment du Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes (co-piloté par l'OFB et le Comité français de l'UICN), et du conseil départemental de la Somme. Il préconise notamment l'intervention immédiate sur tout nouveau foyer identifié.



Figure 51 : carte de présence de Myriophyllum Hétérophylle sur le réseau fluvial exploité par VNF

Une initiative sur le Canal de Bourgogne pour tester l'efficacité du faucardage hivernal.

VNF met actuellement en place pour l'hiver 2021-2022 une opération inédite de faucardage précoce sur le Canal de Bourgogne, afin de tester l'efficacité d'une telle technique, pour limiter la prolifération des plantes exotiques envahissantes au printemps, période où celles-ci atteignent leur pic de croissance. Il y a en effet une urgence à identifier de nouvelles solutions, dans la mesure où les dépenses pour des besoins de faucardage ont augmenté de façon démesurée (+ 450 %) sur l'ensemble du réseau VNF Centre-Bourgogne entre 2018 et 2021.

Ce faucardage préventif se déroule sur une portion de 20 kilomètres, entre les communes de Velars-sur-Ouche et Ouges et concerne les ports de Dijon, Plombières-lès-Dijon et Longvic. Deux bateaux faucardeurs ont été mobilisés sur le canal de Bourgogne pour réaliser cette opération qui s'est terminée à la fin du mois de janvier.

Les équipes de VNF Centre-Bourgogne vont maintenant réaliser un suivi de l'évolution de la croissance des plantes tout au long de l'année, en contrôlant à intervalles réguliers les zones faucardées, pour mesurer si cette expérimentation a permis de retarder la période de repousse printanière des plantes et de freiner leur croissance. Cette opération représente un coût de 130 000€ à l'échelle du canal de Bourgogne pour VNF.



Figure 52 : zone de l'expérimentation

Des expérimentations similaires sont également réalisées sur le canal du Centre et le canal du Nivernais. L'enveloppe totale du montant de ces expérimentations s'élève à 450 000 euros.

L'utilisation de bio-traitement pour lutter contre le Myriophylle hétérophylle dans le port de Saint-Jean-de-Losne

Située en Côte-d'Or, la gare d'eau de Saint-Jean-de-Losne est envahie depuis plusieurs années, dans son intégralité, par une plante aquatique envahissante. Face à cette prolifération grandissante, la Direction territoriale Rhône Saône de VNF a fait réaliser en 2020 une étude « exploratoire » (AQUASCOP), qui a permis d'identifier cette espèce envahissante comme étant le Myriophylle hétérophylle, mais aussi de dresser un état initial du milieu naturel et de définir les moyens de contrôle ou pistes d'expérimentations potentiels.



Figure 53 : vue aérienne de la gare de Saint-Jean-de-Losne

Très peu de techniques curatives se révèlent, pour le moment, efficaces à long terme avec des coûts soutenables pour éradiquer cette présence du Myriophylle hétérophylle, VNF a souhaité aller plus loin en lançant en 2022 une expérimentation autour de l'utilisation de bio-traitement combiné avec trois techniques complémentaires : aération, brassage et colorimétrie. Une technique innovante qui n'a pas encore été testée en France.

La première étape du projet a consisté à identifier le mix de micro-organismes et non dangereux pour l'environnement et la santé. Il permet de priver la plante de nutriments présents dans les sédiments et la colonne d'eau tels que l'azote et le phosphore par exemple. Des tests in vitro sur les échantillons de vase prélevés à Saint-Jean-de-Losne avec différentes micro-organismes ont été réalisés pour évaluer les meilleures souches à utiliser et confirmer les capacités de biodégradation de celles-ci.

En préalable à l'expérimentation, un faucardage approfondi (au plus près du sol) va être réalisé (en février 2022), afin d'affaiblir la plante avant son pic de croissance, de permettre aux micro-organismes d'entrer plus efficacement en compétition avec les plantes pour l'utilisation des nutriments présents dans le milieu et d'améliorer l'efficacité de l'inhibiteur de photosynthèse. Un faucardage sera également effectué tout au long de l'expérimentation pour continuer à affaiblir la plante et pouvoir maintenir les usages courants de la gare d'eau de Saint-Jean-de-Losne.

Une fois l'épandage du bio-traitement (à partir de mars 2022 et une fois par mois jusqu'à octobre), des analyses régulières de sédiments et de l'eau seront réalisées afin d'adapter au mieux les concentrations et la fréquence d'application des micro-organismes.

En parallèle, les techniques complémentaires seront déployées :

- l'installation de rideaux de bulles au sein de la gare d'eau pour empêcher les flux entrants/sortants, pour limiter l'apport de nutriments, contenir les plantes aquatiques et les produits, oxygéner et brasser l'eau ;
- l'intégration d'un inhibiteur de photosynthèse (colorant alimentaire sans risque pour l'environnement, conforme au règlement CE n°1272/2008) qui aura pour objectif de limiter celle-ci de 40% et de recréer des conditions automnales (effet miroir).

En complément, une cartographie de la propagation de la plante en amont et en aval de la gare de Saint-Jean-de-Losne sera consolidée (sur les deux rives, sur 7 km).

D'un coût estimé à près de 200 000 €, cette initiative innovante est portée par VNF et a reçu le soutien financier de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Elle fait l'objet d'un suivi scientifique rigoureux en lien avec le laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux (LIEC) du CNRS de Lorraine. VNF a fédéré de nombreux acteurs sur ce dossier comme les professionnels de la gare d'eau : le Pays Beaunois, la Communauté de Communes Rives de Saône et les mairies de Saint-Jean-de-Losne et de Saint-Usage mais également, la DREAL Bourgogne-Franche Comté, la Région Bourgogne-Franche-Comté et l'EPTB Saône Doubs.

Annexes : les ressources pour en savoir plus

Le site du Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes : especes-exotiques-envahissantes.fr

Le règlement européen sur les EEE:

eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1143&from=FR

Les articles L411-5 à L410 du Code de l'environnement interdisant notamment l'introduction dans le milieu naturel « de tout spécimen d'espèces végétales à la fois non indigènes au territoire d'introduction et non cultivées (...) susceptible de porter préjudice aux milieux naturels, aux usages qui leur sont associés ou à la faune et à la flore sauvages » : www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038846270/

<https://biodiversite.gouv.fr/les-causes-majeures-de-lerosion-de-la-biodiversite>

La stratégie nationale sur EEE:

www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/17039_Strategie-nationale-especes-exotiques-envahissantes.pdf

La présentation du projet de plan d'action sur les EEE:

www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/projet-de-plan-d-action-pour-prevenir-l-a2576.html?id_rubrique=2

Le site de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) : www.ofb.gouv.fr/les-especes-exotiques-envahissantes

Le rapport d'information parlementaire « sur la prolifération des plantes invasives et les moyens pour endiguer cette situation » : www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion-dvp/l15b4391_rapport-information

Le site Nature-France: naturefrance.fr/especes-exotiques-envahissantes

Un rapport sur « les coûts économiques des invasions biologiques en France »:

invacost.fr/wp-content/uploads/2021/08/RapportCoutsFrance.pdf

Des questions-réponses pour en savoir plus sur les plantes invasives sur le réseau fluvial : Tout savoir sur les plantes invasives - VNF

Annexe 5 - Tableau de restitution de l'enquête conduite auprès des gestionnaires de ports : paramètres pris en compte dans les réflexions relatives à l'adaptation au changement climatique

Paramètres	Remontée niveaux marins	Surcote de tempête	Climats de houle	Niveaux marins extrêmes	Connaissance locale des aléas
Bordeaux					
Risques de submersion Sur le sujet de la sédimentation, le GPMB et ses partenaires institutionnels ont lancé un projet de jumeaux numériques du fleuve.	Scénarios GIEC RCP 4.5 et RCP 8.5	Tempête Martin de 1999 avec une surcote au Verdon de +20 cm ou +60 cm. Les valeurs utilisées sont celles issues de travaux réalisés par les services de l'Etat, le Port et les collectivités (PAPI, PPRI, Référentiel Inondation Gironde...).		- pour des installations existantes Tempête 1999 +20 cm de surcote au Verdon - pour des infrastructures ou plateformes nouvelles Tempête 1999 +60 cm de surcote au Verdon	En matière d'augmentation de la température de l'eau de mer, Il y aura un impact sur la biodiversité et notamment sur les zones amont des estuaires, <u>mais également sur les pompages et rejets de la centrale nucléaire du Blayais.</u>
Haropa					
Niveaux d'eau et risques de submersion En termes de sédimentation, à noter que l'estuaire aval a la capacité de s'adapter à la montée du niveau moyens de la mer avec une accréation globale de l'embouchure	Rythme : +3 mm/an – Fourchette d'incertitude 25 cm – Scénario GIEC : + 20 cm long terme et + 60cm horizon centennal – Modifications éventuelles en fonction évolution hauteur d'eau de l'arrêté ministériel du 05 juillet 2019	Estimation extraite du rapport Cerema de décembre 2017 sur les niveaux marins extrêmes. Pour Le Havre, surcote millennale estimée à 2,08 mètres.	RAS	Conjonction marée de vive eau et dépression induisant une surcote marine associée à l'effet du vent et des vagues ainsi que prise en compte de l'élévation du niveau marin pour l'aléa 20100	Echéance 2100 pour le PPRL
La Rochelle					
Définition avec l'étude Cerema		Surcote maximale de tempête : Niveau Xynthia + 60 cm, correspondant au risque long terme du PPRN			
Saint Nazaire					
Températures, pluies, vent, concentration en CO2, et niveaux marins Températures : +1,5°C d'ici 2050 +1,9 à +2,1°C d'ici 2070 épisodes de pluie : De 2 à 11 jours par an en 2030 et De 3 à 13 jours en 2050	De +0,71 à 1,10 m d'ici 2100 par rapport à 1986-2005				

Paramètres	Remontée niveaux marins	Surcote de tempête	Climats de houle	Niveaux marins extrêmes	Connaissance locale des aléas
Dunkerque					
Demande d'étude au Cerema permettant d'apprécier l'influence des évolutions des fonds ainsi que la remontée du niveau des mers sur le niveau de sécurité de certains ouvrages du GPMD. L'impact du changement climatique n'y est considéré que sous l'angle de l'augmentation du niveau des mers.	La méthode développée par le Cerema des cotes d'alerte pour les ouvrages du GPMD permet de prendre en compte un grand nombre de paramètres, l'amplitude de la remontée du niveau de la mer, sa vitesse, la durée sur laquelle considérer la remontée et les incertitudes relative aux caractéristiques de cette remontée. Les études sur les nouveaux ouvrages font référence au rapport de la 12ème session du groupe des experts du GIEC de 2013, réévalué par le rapport spécial de 2019 (scénario RCP8.5 à l'horizon 2100).	Cerema mandaté en 2020 pour préciser le risque de déstabilisation des ouvrages portuaires comme conséquence de l'érosion continue des sédiments, afin de définir les cotes d'alerte du niveau des sédiments en pied d'ouvrage, niveau en deçà duquel la stabilité de la digue serait affectée au droit de ses principales digues et jetées existantes.	Analyse des statistiques de houle pour différentes zones géographiques intéressant les ouvrages portuaires. Exploitation de l'atlas numérique de houle ANEMOC, des valeurs de mesure du réseau CANDHIS au large et des études de DHI.	Cerema mandaté en 2020 pour réaliser la mise à jour des cotes d'alerte au droit des principales digues et jetées existantes. Dans ce cadre, le Cerema a défini une méthodologie de prise en compte des périodes de retour des différents niveaux d'eau. Des calculs itératifs menés dans les conditions les plus défavorables ont abouti à définir une cote d'alerte pour la digue du Break proposée à +3.50 CMG. Pour le Terminal méthanier, ce ne sont pas les niveaux, mais les aléas, leurs occurrences et les conjonctions de phénomènes qui ont été pris en compte : surcote milléniale + onde forte énergie + houle + précipitations de forte intensité + précipitation continue + dégradation d'ouvrage de canalisation des eaux + intumescence + remontée nappe ... C'est cette doctrine qui a mené à retenir un niveau de plateforme à +10 CMG. Pour CAP 2020, le niveau d'eau maximum retenu est de +8.5m CMG pour les quais et +10m CMG pour les terre-pleins et voiries associés.	La méthode développée par le Cerema des cotes d'alerte pour les ouvrages du GPMD permet de prendre en compte un grand nombre de paramètres, l'amplitude de la remontée du niveau de la mer, sa vitesse, la durée sur laquelle considérer la remontée et les incertitudes relative aux caractéristiques de cette remontée. Les études sur les nouveaux ouvrages font référence au rapport de la 12ème session du groupe des experts du GIEC de 2013, réévalué par le rapport spécial de 2019 (scénario RCP8.5 à l'horizon 2100).
Marseille					
Aléas météorologiques (vent/orages) suivis par la capitainerie et ayant entraîné la révision ou création de procédures basées sur la prévision à très court terme et l'anticipation en quasi temps réel Intégration de l'augmentation de la vitesse et de la fréquence des vents extrêmes dans le cadre de la régulation du trafic (procédures opérationnelles et amélioration de l'amarrage des	En 2021 et 2022, des records ont été atteints, aussi bien en valeur positive (+ 2 cm) qu'en valeur négative (- 10 cm)			Lorsque interrogation, fourniture des deux niveaux « record » qui incluent tous les phénomènes impactant	Connaissance partielle pour l'aléa météorologique et l'aspect nautique. Mise en place de nouvelles procédures pour mieux prendre en compte les épisodes cévenols méditerranéens

Paramètres	Remontée niveaux marins	Surcote de tempête	Climats de houle	Niveaux marins extrêmes	Connaissance locale des aléas
navires) Pluviométrie (phénomènes méditerranéens de grande intensité) et risques d'inondations (crues et submersions marines) sont des paramètres dimensionnant dans les projets d'aménagement		pour les projets d'aménagement, niveau d'aléa 2100 (2,1 m NGF) dans le PPRI et le PGRI. Une côte de 2,4 m NGF minimum pour les planchers pour les projets comportant du bâti,		idem surcote de tempête : 2,1 m NGF (2,4 lorsque présence de bâti) Doctrine DDTM 13 de dimensionnement des évacuations pluviales et de détermination des « pluies de projet » contraignante afin d'aggraver les hypothèses de dimensionnement	
Calais					
Pour la conception de nouveaux ouvrages, prise en compte depuis 2012 des éléments suivants : élévation moyenne du niveau de la mer à 100 ans, fréquence et intensité des tempêtes, surcotes et décotes.	Données en lien avec l'extension du port de Calais (AVP de 2012) : impact centennal d'élévation de 1, 20 mètres et scénario GIEC le plus défavorable connu en 2011	+ 60 cm, mais en réflexion	Cela a été fait pour Calais port 2015, et le sera systématiquement pour tout nouvel ouvrage, et sur la base de toutes les études disponibles		Evolutions prévues dans le cadre de l'EDD pour la remise en état du système d'endiguement de Calais
Bayonne					
Montée des eaux, recul du trait de côte, crues, tempêtes, sécheresses, aléas sismiques, modification du climat de houle, changements sociétaux					
Nice Cannes					
Tempêtes et risques de submersion marine	Prise en compte des dernières estimations du GIEC au moment de la définition des travaux et investissements à réaliser	Appel à des bureaux d'étude en cas de besoin	Appel à des bureaux d'étude en cas de besoin	Appel à des bureaux d'étude en cas de besoin	Appel à des bureaux d'étude en cas de besoin

Annexes 6 - Financement de l'adaptation

Programmes financiers	Objet	Principaux éléments du programme	Adéquation du programme à l'adaptation au CC dans les ports
La Facilité pour la Récupération et la Résilience (« Next generation »)	Pièce maîtresse du plan de relance européen, NextGeneration, vise à atténuer l'impact économique et social de la crise du COVID	Les EM sont chargés d'élaborer des plans nationaux de relance, notamment en incluant la nouvelle stratégie de l'UE sur l'adaptation au climat. Le plan de relance FR validé par la Commission.	Lien direct avec l'adaptation. Car il s'agit d'un fonds dédié (entre autres) aux financements des mesures d'adaptation, notamment les infrastructures résilientes.
Programme LIFE	Instrument de financement de l'UE pour l'environnement et l'action climatique.	Sous-programme Atténuation et adaptation au CC	Lien direct avec l'adaptation : économie durable, économe en énergie, basée sur les énergies renouvelables, neutre pour le climat et résiliente.
Horizon Europe	Programme de financement clé de l'UE pour la recherche et l'innovation.	Dédié entre autres au CC	Lien direct avec l'adaptation au CC au regard du programme cadre et des programmes spécifiques.
Les « Missions » d'Horizon Europe	La Commission a lancé le 29/9/2021 5 missions de l'UE pour relever les grands défis en matière de santé, de climat et d'environnement, notamment l'adaptation au changement climatique, la protection des océans.	La mission « Adaptation au CC » se concentre sur les solutions et la préparation à l'impact du changement climatique pour protéger les vies et les biens. La durée de la mission est prévue jusqu'à 2030.	Lien direct avec l'adaptation au CC : 3 objectifs spécifiques assignés : <u>Objectif 1</u> : Préparer et planifier la résilience au CC, <u>Objectif 2</u> : résilience CC Accélérer les transformations : travailler avec au moins <u>150 régions</u> <u>Objectif 3</u> : Résilience CC Démontrer les transformations systémiques <u>75 démonstrations</u> à grande échelle.
<u>La politique de cohésion : les fonds structurels d'investissement (FESI).</u>	Les FESI 2021/2027 axé principalement sur le CC et développement durable. Le financement est assuré par des fonds spécifiques.	Le Fonds européen de développement régional : FEDER (y compris le financement de projets de coopération INTERREG). La lutte contre le changement climatique en est l'un des axes majeurs	Lien direct avec l'adaptation au CC. Instrument financier structurel fondamental en termes d'adaptation et d'atténuation au CC. Axe dédié au climat dans la programmation 2021/2027 ; Régions : autorités de gestion.
<u>Le Fonds européen pour les affaires maritimes, la pêche et l'aquaculture : FEAMPA</u>	La programmation 2021 à 2027 et soutient la politique commune de la pêche de l'UE, la politique maritime de l'UE et l'agenda de l'UE pour la gouvernance internationale des océans.	Il accompagne le développement de projets innovants garantissant une utilisation durable des ressources aquatiques et maritimes.	Lien direct avec l'adaptation au CC, notamment eu égard au financement des mesures de contrôles.
<u>Règlements RTE-T et RTE-E (actuellement en cours de révision).</u>	La principale priorité politique du règlement RTE-E actuel a été d'améliorer la sécurité énergétique et l'inter-connectivité de tous les États membres et régions. L'opportunité est que les investissements massifs réalisés dans le système énergétique devraient permettre d'aborder les aspects de résilience/adaptation au climat dès le début du cycle d'investissements.	Les infrastructures RTE-T: voies navigables ou ports sont soumises à des risques particuliers en période d'événements météorologiques extrêmes (longue sécheresse, inondations...)	Lien direct avec l'adaptation car l'objectif concevoir les infrastructures RTE-T de manière à garantir un niveau élevé de résilience au changement climatique. <u>Le règlement RTE-T a des exigences spécifiques en termes de prise en compte de la vulnérabilité des infrastructures de transport face au changement climatique ainsi qu'aux catastrophes naturelles ou d'origine humaine, en vue de relever ces défis</u>

Programmes financiers	Objet	Principaux éléments du programme	Adéquation du programme à l'adaptation au CC dans les ports
<u>Le Fonds pour une transition juste</u>	Le pilier 1 du Mécanisme pour une transition juste est un outil clé pour accompagner les territoires les plus touchés par la transition vers la neutralité climatique en leur apportant un accompagnement sur mesure.	Il est mis en œuvre en gestion partagée, dans le cadre général de la politique de cohésion, qui est la principale politique de l'UE pour réduire les disparités régionales et faire face aux changements structurels dans l'UE.	Lien direct avec l'adaptation cf supra FEDER/FEAMPA
<u>Le programme dédié InvestEU</u>	Deuxième pilier du mécanisme de transition juste. S'inspire du modèle du plan d'investissement pour l'UE et rassemble le Fonds européen pour les investissements stratégiques et les 13 instruments financiers de l'UE actuellement disponibles.	L'intention est de rendre le financement de l'UE via des garanties budgétaires plus simple et plus efficace grâce à une approche plus cohérente, avec un ensemble de règles et de procédures et un point de contact pour l'assistance technique.	Lien direct avec l'adaptation : évident en ce qu'il est dédié aux investissements lourds, cf. le programme BlueInvest pour une économie bleue (500M€-)
<u>Le mécanisme pour l'interconnexion en Europe (MIE)</u>	Programme de financement qui soutient les réseaux et infrastructures transeuropéens dans les secteurs des transports, des télécommunications et de l'énergie.	Critère d'attribution important. La résilience aux effets néfastes du CC grâce à une évaluation de la vulnérabilité et des risques climatiques, y compris les mesures d'adaptation pertinentes.	Lien direct avec l'adaptation : évident eu égard aux technologies et projets d'infrastructures éligibles
<u>Le fonds pour l'innovation</u>	Au titre du Fonds pour l'innovation, l'Union européenne investit plus de 1,1 milliard d'euros dans 7 projets innovants de grande envergure dans les secteurs de l'hydrogène, du captage, de l'utilisation et du stockage du carbone, et des énergies renouvelables.	Projet sélectionné en Belgique : « réduire les émissions associées à la production d'hydrogène et de produits chimiques ». Ce projet mettra en place une chaîne de valeur complète pour le captage, le transport et le stockage du carbone dans le port d'Anvers.	Lien direct avec l'adaptation : évident eu égard aux technologies et infrastructures éligibles.
<u>Le mécanisme de protection civile de l'Union</u>	Le mécanisme vise à renforcer la coopération entre les États membres de l'UE et 6 États participants en matière de protection civile.	Lorsqu'une situation d'urgence dépasse les capacités de réponse d'un pays en Europe et au-delà, celui-ci peut demander de l'aide via le mécanisme.	1. Lien avec l'adaptation : indirect mais important de l'impliquer dans le processus d'adaptation.
La Banque européenne pour la reconstruction et le développement	Accompagne ses clients dans l'identification des impacts du changement climatique susceptibles d'affecter leurs opérations.	Formulation de stratégies d'adaptation qui augmentent la résilience : investissements dans des mesures et des technologies mieux adaptées	Lien fort avec l'adaptation eu égard à la capacité financière de la BERD en termes de financement des infrastructures résilientes.
La Banque européenne d'investissement	L'un des plus grands investisseurs dans l'action climatique/ durabilité environnementale	La BEI vise à augmenter le volume de son soutien à l'action climatique, y compris la résilience climatique.	Lien fort avec l'adaptation – se veut être la banque du climat
Le programme Digital Europe	Visé à combler le fossé entre la recherche sur les technologies numériques et le déploiement sur le marché.	Investissements ont un double objectif : 'une transition verte et une transformation numérique	Lien direct avec l'adaptation : évident.

Annexe 7 - Synthèse étude Cerema pour le grand port maritime de Bordeaux



Synthèse de l'étude du Cerema

“ Analyse de risque du Grand Port Maritime de Bordeaux dans un contexte de changement climatique et stratégie de résilience ”

BORDEAUX
PORT ATLANTIQUE
une ambition maritime

Cerema SCET

© Port de Bordeaux

L'objet de l'étude

L'adaptation au changement climatique

La lutte contre le changement climatique inclut deux volets : l'**adaptation** et l'**atténuation**.

Alors que l'atténuation (des changements climatiques) est « l'intervention humaine visant à réduire les sources ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre » ; l'adaptation est la « **démarche d'ajustement au climat** actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences »¹.

L'étude menée par le Cerema sur le Port de Bordeaux porte sur ce deuxième volet ; et fait notamment suite à l'engagement pris par le Cerema, dans le cadre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), d'**accompagner les gestionnaires de réseaux dans leur démarche d'adaptation et d'amélioration de leur résilience au changement climatique**.



ATTENUATION

Gestion des causes du changement climatique



ADAPTATION

Gestion des conséquences du changement climatique

Objet de l'étude

¹ Source : GIEC

Périmètre de l'étude

Le Port de Bordeaux



Le port de Bordeaux est un port d'estuaire ancien, installé à un carrefour de routes terrestres, fluviales et maritimes. Situé sur le plus vaste estuaire d'Europe, Bordeaux Port Atlantique bénéficie d'une situation privilégiée, au cœur de la façade atlantique et compte aujourd'hui 7 terminaux spécialisés.

► **L'aire retenue pour l'étude s'étend sur l'ensemble du périmètre du Port** : elle comprend les 7 terminaux et le chenal de navigation.



130 000 hectares

- 124 000 hectares de plans d'eau ;
- 2 500 hectares de terrains dont 1 000 à vocation de « zones naturelles » et 500 disponibles pour des implantations logistiques et industrielles ;
- 7 sites classés Natura 2000 ;
- 1 plan de gestion de 655 hectares d'espaces naturels au Verdon.

Terminal du Verdon

Transport de conteneurs
Logistique de colis lourds
Accueil de navires de croisières
Liaison ferroviaire

Terminal de Pauillac

Trafic pétrolier
Point modal de la logistique Airbus

Terminal de Blaye

Réception de vrac liquides
Exportations céréalières

Terminal d'Ambès

Transit et stockage des hydrocarbures et des produits chimiques (pôle d'hydrocarbures le plus important du Grand Sud-Ouest)

Terminal de Grattequina

Logistique de colis lourds (pales d'éolienne)
Nouveaux aménagements prévus pour des vrac et colis lourds

Terminal de Bassens

Pôle de logistique majeur (trafics de recyclage, céréales, graines oléagineuses, vrac industriels, conteneurs, produits forestiers, colis lourds, etc.)
Liaison ferroviaire

Terminal de Bordeaux

Trafic de passagers
Ecales de croisières

L'étude porte sur les infrastructures et les fonctionnalités du Port.

Analyse de l'évolution du climat

Evolution du climat

© Port de Bordeaux

Les impacts déjà visibles et ressentis



Les impacts du changement climatiques sur le périmètre du Port sont observés et ressentis depuis environ 30 ans.

Hiver



+0,45°C par décennie, soit **+1,35°C depuis 1990**
Hausse des T°C (entre -1 à -2 jours de gel par décennie sur la période 1959 – 2009)
Augmentation progressive des températures minimales de l'eau de la Gironde



Baisse des cumuls de précipitations plus fréquente depuis 2000



Forte **importance du risque inondation** et notamment par **submersion marine**



Une quinzaine de **tempêtes** par an en automne et en hiver générant des **coulées de boues**



Présence plus précoce et plus longue du **bouchon vaseux** en aval de la Garonne

Eté



+0,35°C par décennie, soit **+1,05°C depuis 1990**
Canicules accentuées et prolongées (> 4 à 5 j. chaudes/décennie)



Hausse des sécheresses depuis les années 1980 notamment liée à un déficit de précipitations
Augmentation du nombre d'incendies
Importance du phénomène de retrait-gonflement des argiles



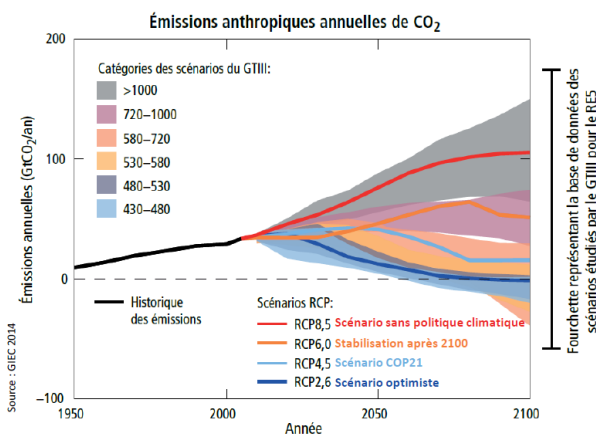
Invasion des eaux marines dans l'estuaire et augmentation de la période de salinisation de la Garonne du fait d'une baisse des étiages
Présence plus précoce et plus longue du bouchon vaseux, en aval de la Garonne, vers Bordeaux



Coulées de boues lors d'inondations estivales

Les projections climatiques

Clé de lecture



Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine (consommations d'énergie, de matériaux, agriculture) sont responsables du changement climatique actuel. Aujourd'hui l'humanité émet 40 milliards de tonnes de CO₂/an.

Pour réaliser des projections climatiques de long terme, le GIEC propose quatre trajectoires dites RCP (*Representative Common Pathway*), qui indiquent quatre directions très différentes. Ces quatre trajectoires correspondent chacune à une concentration atmosphérique en CO₂, qui aura un impact sur l'effet de serre, et donc sur le climat :

- **RCP 8,5** : le scénario *business as usual*, où les émissions annuelles ne baissent pas, l'augmentation de la température globale terrestre pourrait atteindre **+4°C en 2100** par rapport à l'aire préindustrielle.
- **RCP 6** : avec une stabilisation des émissions autour de 2100 ;
- **RCP 4,5** : correspond à un respect des accords de la COP21 ;
- **RCP 2,6** : le scénario optimiste où les émissions deviendraient nulle à horizon 2050, ce qui permettrait de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.



Le Cerema s'est appuyé sur la [base de données DRIAS](#) pour traiter ces projections climatiques, et éventuellement sur d'autres sources de données pour certains événements climatiques en cas d'indisponibilité des données DRIAS (ex : submersions marines).

NB : Les projections climatiques sont des résultats issus de modélisations mathématiques, et comme toute modélisation, elles comportent des incertitudes, liées aux équations utilisés dans les modèles, aux évaluations estimées concentrations en gaz à effet de serre, et à la variabilité naturelle du climat.

Scénarios retenus dans l'étude du Cerema

Les projections climatiques

Synthèse des principales évolutions climatiques attendues



Les principales évolutions climatiques attendues aux différents horizons temporels pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Référence 1976 – 2005	Horizon proche 2021 – 2050	Horizon lointain 2071 – 2100
Températures moyennes 19,7°C en été	Températures moyennes De +1 à +1,1°C en été	Températures moyennes De +1,7 à +4,3°C en été
Jours anormalement chauds en été 11 jours	Jours anormalement chauds en été +6 à +7 jours	Jours anormalement chauds en été +9 à +33 jours
Précipitations (cumul) 267 mm en hiver 157 mm en été	Précipitations (cumul) +17 mm en hiver -3 à -8 mm en été	Précipitations (cumul) +8 à +47 mm en hiver -9 à -50 mm en été
Niveau marin	Niveau marin +0,20 à 0,30 m	Niveau marin +0,43 à +0,84 m



La vulnérabilité physique du Port

Le Cerema a poursuivi son analyse en étudiant plus précisément l'impact des aléas climatiques identifiés sur les différentes infrastructures du Port, pour en déterminer sa sensibilité physique.

13 types d'infrastructures portuaires ont été identifiés pour cette analyse :

INFRASTRUCTURES LINÉAIRES	Terre-pleins et voirie	OUVRAGES	Ouvrages en maçonnerie
	Rails de portiques et rails ferroviaires		Ouvrages avec métal
	Réseaux d'assainissement		Ouvrages avec béton
ÉQUIPEMENTS PORTUAIRES	Ecluses et ponts mobiles		Ouvrages avec béton armé
	Mâts d'éclairage et panneaux		Ouvrages avec enrochement
	Systèmes électriques et électroniques	CHENAL	
	Bâtiments et hangars		

La vulnérabilité physique du Port

Bilan

Description

Pour les infrastructures, les variables climatiques potentiellement les plus impactantes sont les suivants :



La hausse du niveau marin et les inondations par submersion marine, aggravées par la hausse du niveau marin, et les mouvements de terrains.



Viennent ensuite les précipitations intenses, les vents et les températures élevées.

Principales infrastructure impactées

Infrastructures linéaires

Dégradation voire destruction des infrastructures et réseaux du Port

Équipements portuaires

Risque important pour les équipements portuaires et notamment pour les systèmes électriques et électroniques du Port, menacés de dégradation voire de destruction pouvant engendrer un arrêt immédiat de certaines activités

Ouvrages

Dégradations mécaniques sur les ouvrages portuaires pouvant à terme conduire à une destruction de ceux-ci

Chenal

Augmentation des besoins en dragage du chenal du fait d'une baisse d'une baisse des étiages en été et de l'augmentation du bouchon vaseux

10

La vulnérabilité fonctionnelle du Port

Présentation des fonctionnalités du Port

Le Cerema a complété son analyse en étudiant l'impact des aléas climatiques identifiés sur les différentes fonctionnalités du Port, pour en déterminer sa sensibilité fonctionnelle.

14 types de fonctionnalités associées aux activités portuaires ont été identifiés :

MISE À DISPOSITION DU FONCIER	Espaces exploités (agriculture/aquaculture)	TRANSPORT MARITIME	Circulation fluviale et maritime
	Espaces naturels non exploités		Accostage/amarrage
	Espaces portuaires		Embarquement/débarquement passagers
STOCKAGE	Stockage des conteneurs	LOGISTIQUE	Entretien des chenaux - dragage
	Stockage du vrac liquide		Circulation terrestre
	Stockage de vrac sec sur terre-pleins		Chargement/déchargement navires
	Stockage de vrac à l'abri		Travail en intérieur
ENVIRONNEMENT	Mission de protection contre les inondations	TRAVAUX	Travail en extérieur
			Travaux portuaires

La vulnérabilité fonctionnelle du Port

Bilan



Description

Pour les fonctionnalités, les variables climatiques potentiellement les plus impactantes sont les suivants :



La hausse du niveau marin et les inondations par submersion marine, aggravées par la hausse du niveau marin.



Viennent ensuite les précipitations intenses, les vents et les températures élevées.

Principales activités impactées

Mise à disposition du foncier

Impacts négatifs sur le foncier du Port qu'il soit naturel non exploité (perte de surface, perte de biodiversité, dégradation et pollution) ou exploité (perte de rendement, perte de surface, dégradation)

Stockage

Impacts négatifs tant sur les espaces de stockage (dégradation voire destruction) que sur les marchandises stockées

Transport maritime

Forte perturbation de la circulation maritime sur le chenal et des manœuvres d'accostage/amarrage à quai

Travaux

Perturbation du bon déroulé des activités portuaires, que ce soit le travail en intérieur ou en extérieur ou encore les travaux portuaires (coupures électriques, dégradation/destruction de bâtiments menaçant la sécurité, perturbation des déplacements, etc.)

Logistique

Inconfort des agents en charge de la logistique et impacts négatifs sur les infrastructures associées (grues, mâts, et autres ouvrages)

Environnement

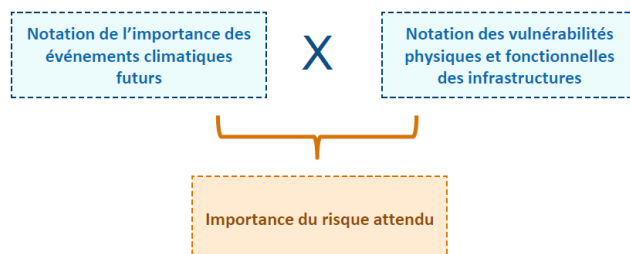
Renforcement nécessaire de la mission de protection contre les inondations

Risques et impacts

Analyse de risques

© Port de Bordeaux

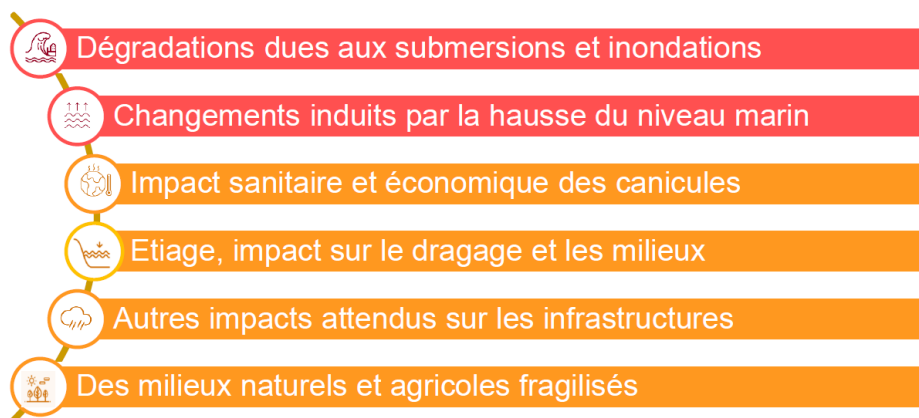
Analyse de risques – principes



L'analyse de risques consiste à croiser les notes attribuées aux événements climatiques futurs avec les notes de vulnérabilités physiques et fonctionnelles des infrastructures du Port.

Cette exercice permet de dégager les risques climatiques prioritaires pour le Grand Port Maritime de Bordeaux identifiés sur le périmètre de cette étude, à savoir les infrastructures et les fonctionnalités. Tous les risques ne sont pas attendus au même horizon de temps, ni avec la même certitude.

Hierarchie des risques liés au changement climatique pour le Port



15

Hierarchie des risques liés au changement climatique pour le Port



Submersions et inondations

- Risque naturel le plus important pour le port depuis les années 1980
- Evénements pouvant entraîner des dommages graves, voir la destruction des infrastructures, du foncier et de la maintenance globale des sites (systèmes électriques, réseaux d'assainissements)
- Evénement pouvant entraîner l'arrêt d'activités économiques : circulation marine et fluviale, stockage
- Risque de pollution

L'intensification des épisodes de submersion est assez certaine dans le futur, c'est donc un risque fort.



Hausse du niveau marin

- Une hausse entre +0,20 et +0,30 m en 2050 et entre +0,40 et +0,80 à 2100
- Un phénomène lent, avec un fort niveau de certitude au niveau mondial mais pas de modélisation précise à ce jour sur le périmètre du Port
- Des bouleversements attendus à long terme, beaucoup négatifs (infrastructures et foncier inutilisable, nécessité de délocaliser des activités) et certains potentiellement positifs (diminution dragage)

Une hausse certaine à l'échelle mondiale à modéliser et à anticiper à l'échelle du Port

16

Hierarchie des risques liés au changement climatique pour le Port



Canicule

- +17 jours très chauds en 2050 et entre +20 et +40 jours en 2100
- Inconfort et risques sanitaires au travail pour les salariés
- Risques de feux de forêt
- Dysfonctionnement possible des systèmes électriques/électroniques et des rails, risque d'interruption des circulations terrestres et dégradation de certains stocks, usure plus rapide des maçonneries
- Risque de modification des profondeurs d'eau dans le chenal

Une hausse certaine des canicules dont les impacts se font déjà sentir.



Etiage, impact sur le dragage et sur les milieux

- Etiage plus long et plus sévère en été et en automne, déficits hydriques qui augmenteront la salinité dans l'estuaire et déplacement du bouchon vaseux vers l'amont
- Risque de modification des besoins en dragage et de complication / impossibilité de la circulation fluviale
- Fragilisation des milieux qui peut gravement impacter les espèces et les continuités écologiques

Les hypothèses actuelles vont vers des étiages plus sévères pouvant impacter fortement la navigation fluviale et les milieux. L'évolution devra cependant être suivie et mise en relation avec la hausse du niveau marin.

17

Hierarchie des risques liés au changement climatique pour le Port



Autres impacts infrastructures

- Précipitations intenses et inondations : l'intensification des précipitations en hiver peut causer des inondations par ruissellement ou crues avec des impacts notamment sur le réseau d'assainissement, mais également des risques d'interruption de la circulation terrestre ou de dégradation des stocks.
- Mouvements de terrain/Maintenance/Bâtiments : Les mouvements de terrain (coulées de boue et retrait gonflement des argiles) peuvent causer de graves dommages, leur évolution est assez incertaine
- Tempêtes/ Circulation fluviale et maritime/Panneaux et toitures : la trajectoire des tempêtes risque d'être poussée vers le Nord, mais de nombreuses incertitudes subsistent à ce sujet

Les autres impacts peuvent provoquer des dégâts importants, mais le degré de fiabilité des prévisions est variable.



Espaces Naturels et Agricoles

- Aquaculture : très sensible à l'augmentation des températures et à l'acidification de l'eau qui impactent la diversité des espèces
- Agriculture : Les productions peuvent être détruites ou rendues impossibles par la sécheresse, la hausse du niveau marin et les submersions. Le foncier peut devenir inutilisable.
- Protection des milieux naturels et continuités : Les zones naturelles et les écosystèmes qu'ils abritent sont extrêmement sensibles à l'ensemble des évolutions climatiques

Les milieux naturels et agricoles sont directement touchés par les évolutions climatiques. Des perturbations sur l'aquaculture, l'agriculture et les milieux naturels sont attendues de manière plutôt certaine.

18

Les risques climatiques

La submersion marine : un phénomène majeur pour le littoral

Les submersions marines se caractérisent par des surfaces inondées et des niveaux d'eau associés et sont la conséquence d'une combinaison de nombreux facteurs difficilement modélisables dans des projections futures :

- niveau marin,
- vagues,
- surcotes,
- vents,
- et houle.

Quelles évolutions futures de ces facteurs ?

- **Hausse du niveau marin** : Les nouvelles projections pour 2100 sont de **+0,43 m** pour le scénario RCP4.5 et **+0,84 m** pour le scénario RCP8.5.
- Des incertitudes sur les phénomènes de vagues, surcotes, vents et houles

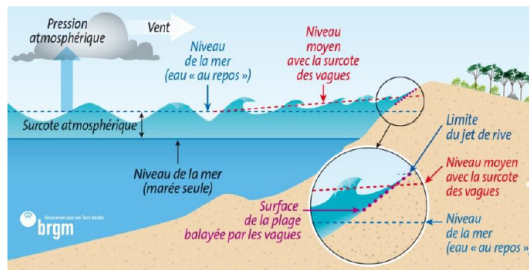


Schéma des différentes contributions au niveau du plan d'eau lors d'une tempête (surcotes) jusqu'au rivage

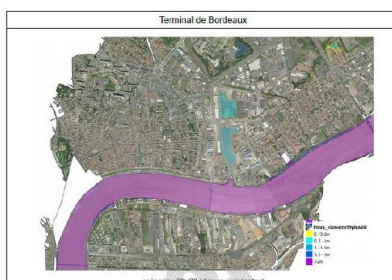
Malgré les incertitudes sur certains paramètres, on observe une forte probabilité d'une augmentation en intensité et en fréquence des phénomènes de submersion marine, et du phénomène d'inondation associé.

Les risques climatiques

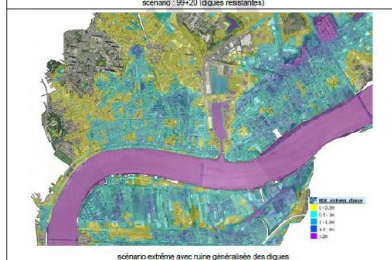
Modélisation des inondations par submersion marine par terminal



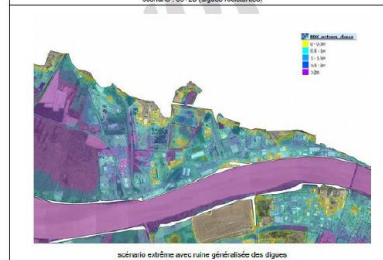
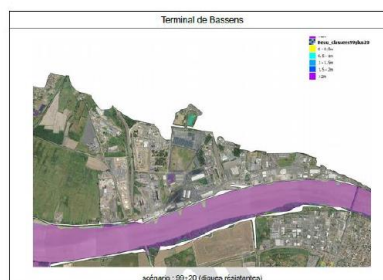
2050
(+20 cm par rapport à 1999)



2100
(niveau extrême du TRI de Bordeaux + ruine généralisée des digues)



Terminal de Bassens

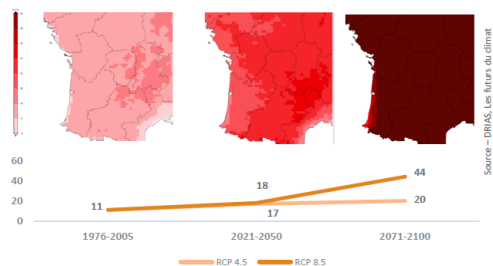


Les risques climatiques

Températures et précipitations

Une forte augmentation des températures

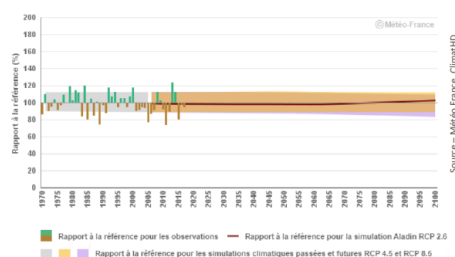
Evolution du nombre de jours anormalement chauds en été à horizon proche et lointain



- Augmentation de 1,3°C à 1,6°C des extrêmes chaud de la **température maximale en été** à horizon proche, et **jusqu'à 5,8°C à horizon lointain** pour le scénario RCP 8,5 ;
- Augmentation de **6 à 7 jours des épisodes de canicules** à horizon proche ;

Les précipitations : entre intensité et manque

Cumul annuel de précipitation en Aquitaine par rapport à la référence 1976 – 2005 pour les scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5



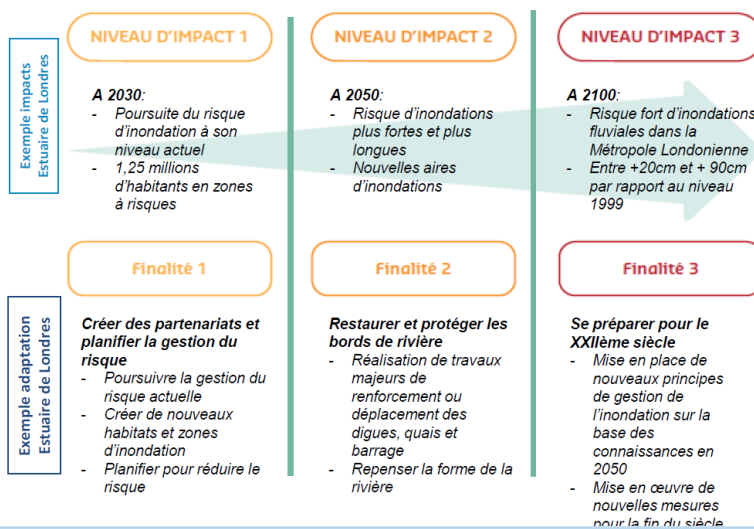
- Les **fortes précipitations** (nombre de jours et % de pluies intenses) seront **en augmentation** par rapport à la situation de référence, hormis pour l'été
- **Amplification des épisodes chauds et secs en été et à l'automne**

Vers une stratégie

Définition d'une stratégie d'adaptation

© Port de Bordeaux

Principes d'une stratégie d'adaptation



Une stratégie d'adaptation a des finalités différentes et progressives en fonction de l'évolution dans le temps des impacts climatiques attendus.

L'objectif global de la stratégie d'adaptation est de préserver en les conciliant au mieux l'environnement, la société et l'économie. L'atteinte des différentes finalités vise à une transition en douceur accompagnant les mutations économiques nécessaires et préservant la qualité de vie des habitants.

Les actions visant à atteindre les différentes finalités peuvent être mises en œuvre de manière simultanée.

Source: ADEME, Outil TACCT et Plan d'adaptation de l'estuaire de Londres à horizon 2100

Principes d'une stratégie d'adaptation

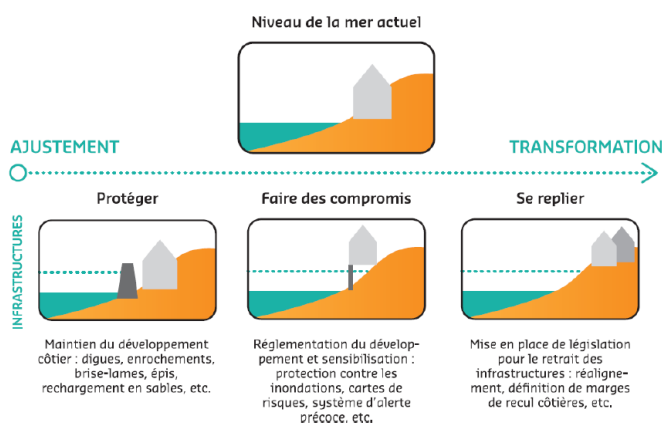


Illustration de différents types de mesures pour des approches d'adaptations par ajustement ou transformation, adapté de « Technologies for Climate Change Adaptation – Coastal Erosion and Flooding, GEF, UNEP ».

Les actions peuvent être de différentes natures :

- Actions d'ajustement pour faire face à des impacts modérés
- Actions de transformation pour faire face à des mutations plus profonde

Les actions d'ajustement peuvent souvent être engagées à court terme, alors que les mesures de transformation nécessitent d'être anticipées pour le moyen-long terme.

24

Méthodologie et propositions du Cerema

- ▶ L'analyse de risques a permis au Cerema de réaliser une **hiérarchisation des vulnérabilités physiques et fonctionnelles** impactant le Grand Port Maritime de Bordeaux.
- ▶ Suite à cette hiérarchisation, **des propositions d'actions ont été formulées pour les vulnérabilités considérées comme prioritaires**. Une série d'actions transversales est également proposée.
- ▶ Ces pistes d'actions doivent être **discutées de manière plus fine avec les acteurs opérationnels** du Port et mises en regard **des actions et partenariats déjà existants**. Il s'agit donc d'une **première base de discussion pour l'élaboration de la Stratégie d'adaptation du Port**.

Synthèse des pistes d'actions proposées



Submersions et inondations

Court terme

- S'appuyer sur les **stratégies de gestion de crise existantes**, notamment les **PPRI et TRI** et les stratégies de gestion de crise des industriels présents sur le Port.
- S'assurer que les infrastructures les plus fragiles soient bien identifiées et fassent l'objet de mesures de protection.

Long terme

- Mettre en place un suivi des REX des submersions et des modélisations de l'impact de la hausse du niveau marin.
- Adapter les process de gestion de crise, délocaliser certaines infrastructures

Les actions opérationnelles doivent être discutées en fonction des enjeux de chaque terminal / chaîne logistique / risque industriel.



Hausse du niveau marin

Court terme

- L'augmentation de la salinité et de l'acidité à laquelle seront exposés les ouvrages (métal) peut déjà être prise en compte dans les travaux d'entretien.

Long terme

- La délocalisation d'infrastructures et/ou d'activité devra se faire en concertation avec les partenaires économiques du Port et les collectivités.

La modélisation locale de la hausse du niveau marin et son suivi dans le temps sont des prérequis indispensables.



Canicule

Court terme

- Mesures de confort pour les salariés en extérieur et en intérieur
- Mesures de protections pour les locaux techniques les plus sensibles (système électronique) .

Long terme

- Le suivi des impacts des canicules doit être réalisé afin de décider de l'opportunité de rendre certaines infrastructures plus résilientes (rail).

Le principal enjeu économique est la logistique terrestre, des scénarios de gestion de crise (routes alternatives) peuvent être discutés.

26

Synthèse des pistes d'actions proposées



Etiage, impact sur le dragage et sur les milieux

Court terme

- Surveiller les périodes d'étiage pour anticiper les besoins et les lieux de dragage
- Veiller à la préservation des milieux aquatiques fragilisés par les faibles débits, la hausse de la salinité et les modifications de dynamiques sédimentaires.

Long terme

- Le suivi des périodes d'étiage doit être mis en relation avec les travaux de modélisation de la hausse du niveau marin afin d'adapter la gestion du dragage dans l'estuaire.



Autres impacts infrastructures

Court terme

- Poursuivre les plans de prévention existants (PPRI, TRI, PPRN, Plan Seveso) et s'assurer de la résilience globale des équipements (bon état). Un état des lieux du réseau d'assainissement et des mesures de protection vis-à-vis des inondations et des mouvements de terrain participerait à la résilience globale du Port.

Long terme

- Le suivi des ces événements est nécessaire pour mieux s'y préparer dans le futur.



Espaces Naturels et Agricoles

Court terme

- La poursuite et le renforcement de ces actions sont nécessaires. Des partenariats doivent être entretenus avec les filières professionnelles concernées.

Long terme

- L'impact de la hausse du niveau marin est à anticiper, notamment en identifiant les terrains qui ne pourront plus avoir d'usage agricole.

Plusieurs actions sont déjà mises en œuvre par le Port et ses partenaires (SMIDDEST, Agence de l'Eau...), notamment dans le Plan de gestion du Marais du Conseiller.

27

Conclusion

- ▶ Depuis trente ans déjà, on observe les effets du changement climatique à l'échelle du Port de Bordeaux (ex : augmentation des températures, inondations et submersions marines, etc.).
- ▶ Dans un futur plus ou moins proche, les principaux enjeux qui vont affecter le Port sont les suivants :
 - ▶ Intensification des épisodes de submersion marine et d'inondations associées pouvant générer des dommages importants ;
 - ▶ Hausse lente mais certaine du niveau marin pouvant générer des bouleversements à long terme;
 - ▶ Augmentation des périodes chaudes et sèches pouvant générer des impacts sanitaires (salariés), technique (dragage) et économiques (dysfonctionnement des réseaux électriques/électroniques et de circulation) ;
 - ▶ Dégradation attendue des espaces naturels et agricoles/aquacoles.
- ▶ Pour renforcer l'adaptation du territoire, améliorer son attractivité, son cadre de vie, protéger son économie et assurer la sécurité des personnes le Port de Bordeaux travaille actuellement à son Plan d'adaptation au changement climatique.

28

Acteurs clés et documents existants

Submersions et inondations

- Services opérationnels et sites portuaires
- Collectivités et services de l'Etat, pour les PPRI et TRI
- Industriels installés sur le Port (notamment site Seveso)
- Partenaires engagés dans la logistique maritime et terrestre
- Programme ECCLIPSE

Hausse du niveau marin

- Sites portuaires
- MAGEST
- SMIDDEST
- Programme Gironde XL 3D
- Programme ECCLIPSE

Canicule

- Service Sécurité et Santé au travail
- Entreprises de logistiques
- Entreprises installées sur le Port
- Programme ECCLIPSE

Autres Impacts infrastructures

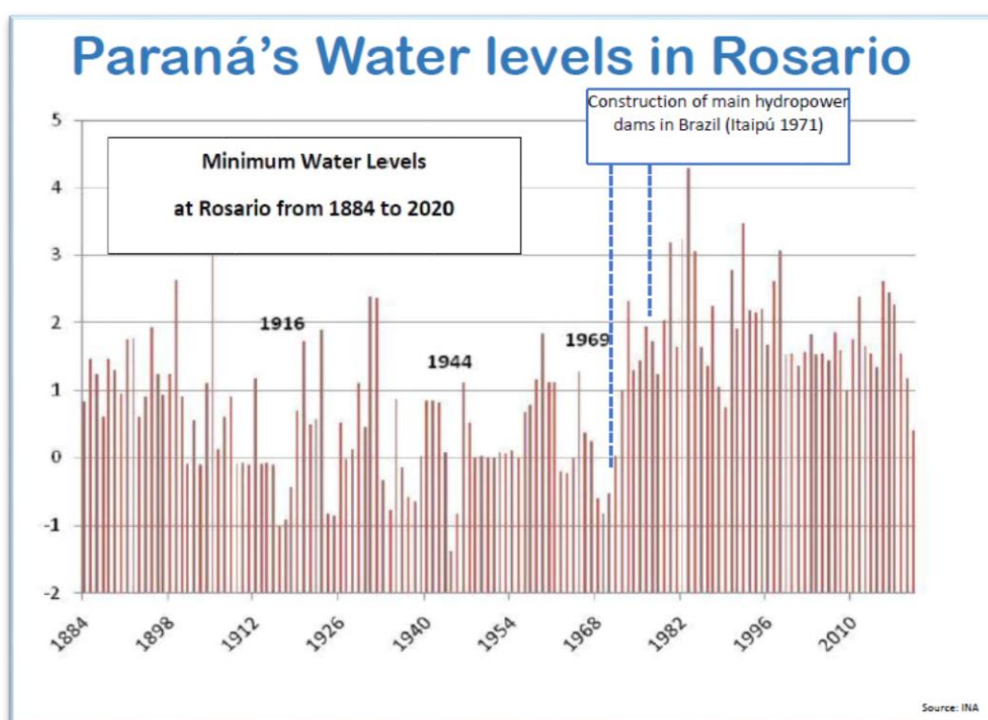
- PPRI et TRI
- PPRN
- Plan de gestion Seveso
- Gironde XL 3 D
- MAGEST

Espaces Naturels et Agricoles

- SMIDDEST
- CPIE Médoc
- Chambre d'Agriculture et associations agricoles
- Agriculteurs
- Filière piscicole
- Agence de l'Eau
- Plan de gestion Marais du Conseiller

29

Annexe 8 - Chronique des hauteurs d'eau du Parana à Rosario



Source : présentation de Gerardo Bessone du port de Bahia Bianca lors de la COP 26

[Site internet IGEDD : « Les derniers rapports »](#)