



Document préparatoire à la réunion du 24 janvier 2026 à Lorient sur le thème
Quel climat pour la Bretagne ?

La protection du littoral

Yves Mervin

Version 0.1 (version exploratoire).

2026-01-24

Cercle Pierre Landais

Association pour le développement local et régional

Institutions et politiques publiques

Site internet : united-citizens.eu (en cours de redéveloppement)

Contact : adlr56@free.fr



L'Union est fondée sur les valeurs de respect de la dignité humaine, de liberté, de démocratie, d'égalité, de l'État de droit, ainsi que de respect des droits de l'homme, y compris des droits des personnes appartenant à des minorités. Ces valeurs sont communes aux États membres dans une société caractérisée par le pluralisme, la non-discrimination, la tolérance, la justice, la solidarité et l'égalité entre les femmes et les hommes.

Article 2 du traité de l'Union européenne (valeurs de l'Union)

L'auteur a utilisé ChatGPT (modèle GPT-5, OpenAI) pour explorer et structurer certaines idées. Les réponses de l'IA ont été adaptées et intégrées à la réflexion personnelle. Certaines réponses et évaluations restent à vérifier.

Illustration de la page de couverture de Eddy_Blondey sur Pixabay (<https://pixabay.com/fr/photos/france-saint-malo-bretagne-plage-4593968/>). Saint-Malo

Sommaire

Sommaire	3
Présentation	3
La démarche	3
Les schémas d'évolution	4
Les segments de littoral.....	11
Le génie maritime.....	16
Les axes d'innovation supplémentaires.....	26
L'action publique	29
Le financement.....	36
L'impact sur les activités littorales.....	40
Sigles et abréviation	43
Annexes.....	43
Sommaire long	58

Présentation

Document préparatoire à la réunion du samedi 24 janvier 2026 à la Maison des associations Jean Le Coutaller à Lorient (située 5 Place Bonneaud) de 10 à 17 heures, salle 105. Nous traiterons de la question :

Quel climat pour la Bretagne ?

qui sera illustrée par deux concepts :

- Une politique climatique régionale
- La protection du littoral

Le présent document porte sur le deuxième sujet.

La démarche

Le dérèglement climatique a un impact majeur sur le littoral breton du fait de la montée du niveau de la mer et de l'érosion de la côte. Il a aussi un impact sur les écosystèmes côtiers du fait de l'acidification, de la désoxygénation et du réchauffement de l'océan avec des conséquences marquée sur le littoral : ce qui est partiellement abordé dans le document

préparatoire sur la politique publique du climat en Bretagne et pourra être ultérieurement affiné.

La démarche adoptée pour le littoral appréhendé en tant qu'environnement naturel construit ou non se décline par :

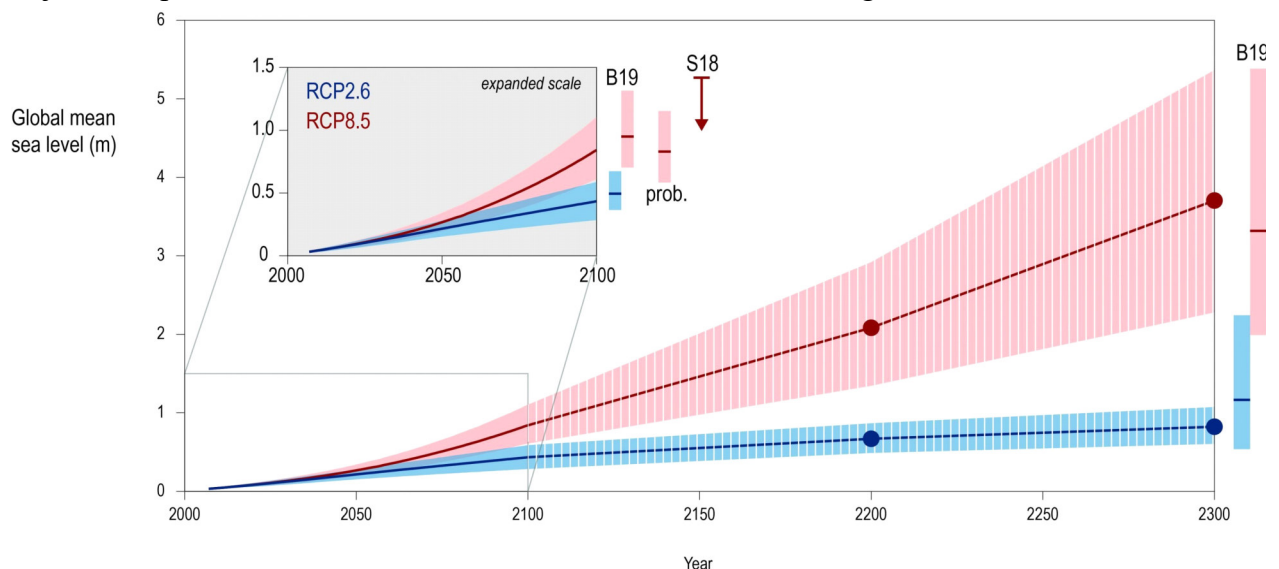
- Des scénarios de référence d'évolution du climat qui conduiront selon deux termes lointains (2100 et 2300) à des élévations différentes selon les émissions de gaz à effet de serre qui se poursuivront
- La catégorisation de la géographie du littoral qui conduira à des solutions de prévention et d'adaptation correspondantes (estuaires, côte rocheuse ou côte plate terreuse entre estuaires...)
- La distinction en zones construite et non construite
- Les options de prévention et d'adaptation dont les principales sont : abandonner (laisser l'eau revenir), protéger (terrain / bâtiments), déplacer en arrière (repli planifié)

Les schémas d'évolution

Les schémas d'évolution

Les scénarios du GIEC

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) établit plusieurs trajectoires possibles selon l'évolution mondiale des émissions de gaz à effet de serre.



Dans ce document, nous retenons trois scénarios :

- Scénario A – RCP 2.6 : celui correspondant aux objectifs de l'Accord de Paris (neutralité carbone autour de 2050). L'état actuel des émissions mondiales montre que ce scénario n'est pas en voie d'être atteint.
- Scénario B – RCP 8.5 : scénario tendanciel d'émissions élevées. Il peut être considéré comme pessimiste, mais il demeure plausible en l'absence d'efforts coordonnés.

- Scénario C – Scénario de réparation du climat : trajectoire non définie par le GIEC, mais techniquement envisageable, fondée sur une réduction massive des émissions combinée à un retrait actif de CO₂ atmosphérique. Ce scénario correspondrait à un forçage radiatif proche de 1 W/m² à long terme.

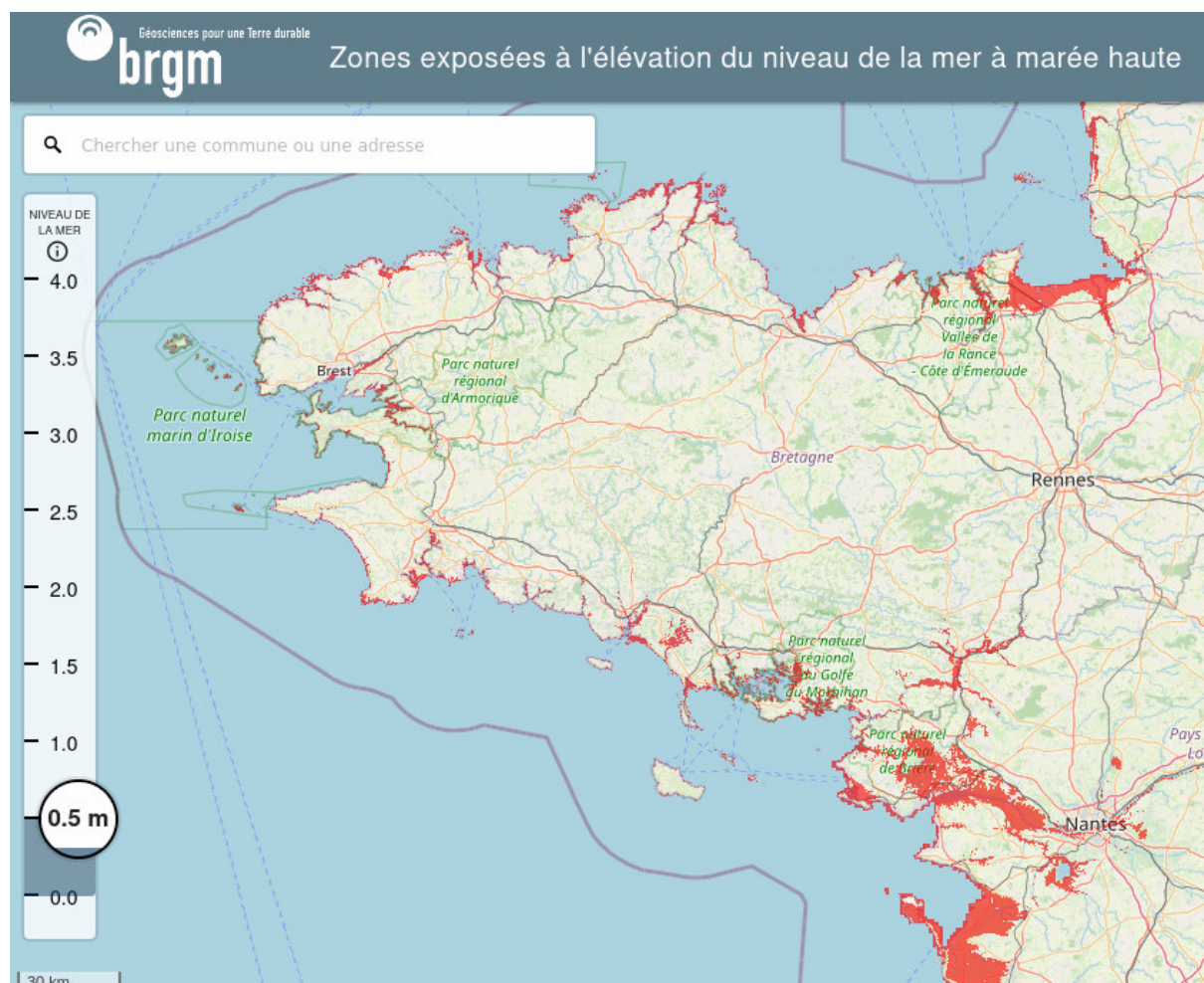
La Bretagne peut jouer un rôle pionnier dans l’exploration et la démonstration de ce scénario.

Horizon	A – Accord de Paris	B – Échec global	C – Réparation du climat
2100	+0,5 m	+1,1 m	+0,5 m
2300	+1,5 m	+4,0 m	+0,0 m

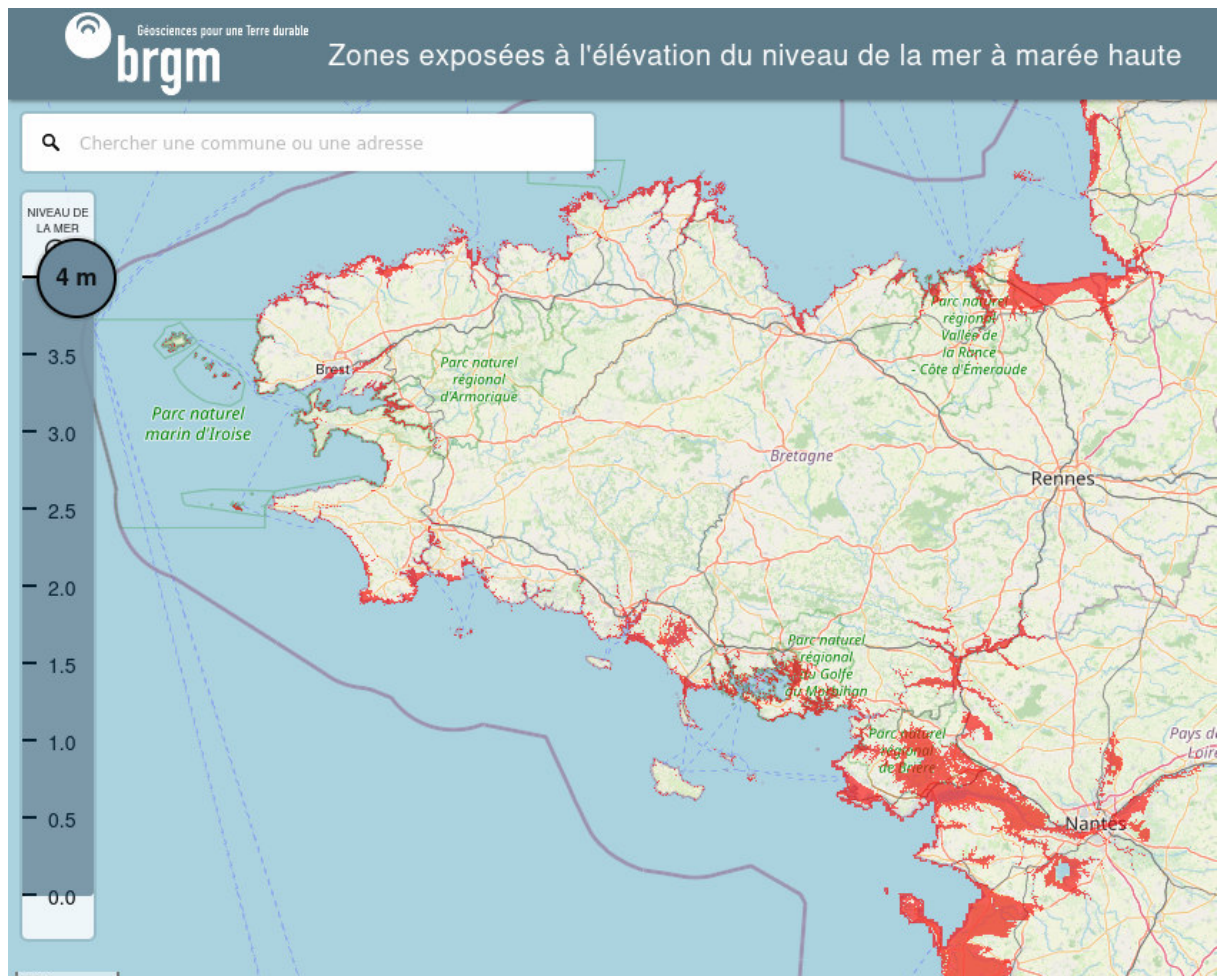
Une précision de 0,5 m est suffisante pour différencier les politiques publiques à envisager.

Dans tous les cas, la mer s’élèvera au cours du XXI^e siècle d’au minimum quelques dizaines de centimètres.

La cartographie de l’élévation



BRGM - Elévation de 0,5 mètre



BRGM - élévation de 4 mètres.

Plusieurs outils de cartographie permettent de visualiser les zones exposées à différents niveaux de montée des eaux. Le site du BRGM propose notamment une visualisation simple par pas de 0,5 m, jusqu'à +4 m.

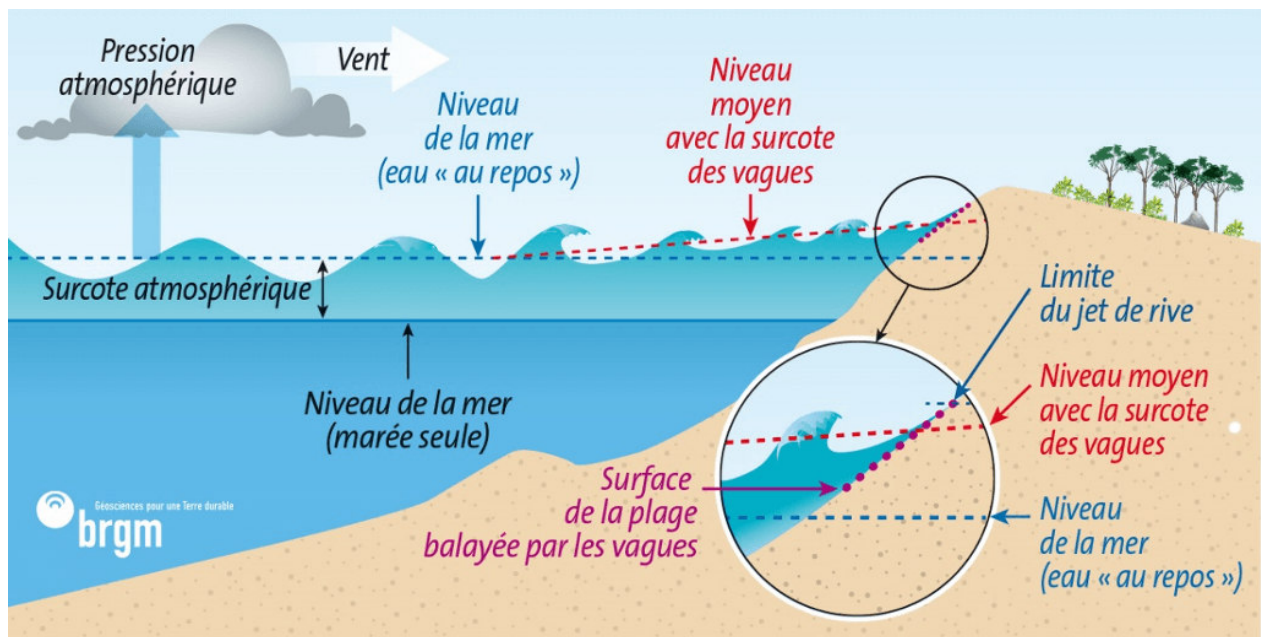
Selon les cartes ci-dessous, on distingue immédiatement :

- les côtes abruptes, peu sensibles à l'élévation du niveau marin,
- les côtes basses et estuaires, vulnérables même à une élévation modérée.

Les cartes montrent également que, pour certaines plaines littorales, l'extension des zones submersibles varie relativement peu entre +0,5 m et +5 m, en raison du relief intérieur limitant la pénétration marine.

Ces cartes représentent une image hydrostatique : elles ne prennent pas en compte les vagues et les tempêtes, qui aggravent fortement la submersion réelle.

L'érosion du littoral et les variations du niveau du sol



L'élévation du niveau marin n'est pas un phénomène uniforme ni uniquement hydrostatique.

Aux marées s'ajoutent :

- l'impact croissant des tempêtes,
- l'érosion progressive des falaises et des plages,
- les variations locales du niveau du sol liées à des phénomènes tectoniques, sédimentaires ou anthropiques.

En Bretagne, les marnages importants — jusqu'à 12 mètres en baie du Mont-Saint-Michel — amplifient l'énergie des vagues et donc l'érosion du trait de côte.

Certaines zones, comme le golfe du Morbihan, montrent déjà des déformations locales du sol.

Le socle hercynien breton limite toutefois l'ampleur de ces phénomènes.

Le scénario A : l'Accord de Paris est réalisé

(2 °C max, et idéalement 1,5 °C maintenu sur le long terme)

Les objectifs climatiques :

- Pic des émissions avant 2030, baisse très rapide après.
- Neutralité carbone vers 2050–2070 selon régions.
- Stabilisation climatique autour de +1,7 à +2,0 °C en 2100.

Les conséquences physiques globales :

- Montée de la mer limitée (AR6 IPCC) :
 - 2100 : + 0,25 à + 0,60 m
 - 2150 : + 0,5 à + 1 m
 - 2300 : < 1,5 m dans les scénarios « Paris aligné »
- Fonte de l'Antarctique fortement freinée.
- Tempêtes atlantiques : intensité faiblement accrue, mais pas de basculement radical.

Important : même en respectant Paris, la mer continue de monter *pendant plusieurs siècles*, mais beaucoup plus lentement.

Les conséquences pour le littoral breton :

1. Les estuaires restent gérables sans basculement brutal

- Les estuaires comme la Vilaine, la Rance, le Blavet gagnent du temps : la marée remonte un peu plus en amont, mais les ouvrages existants restent adaptables (rehausse modérée).
- Les systèmes anti-submersion deviennent plus efficaces, car la montée reste progressive.

2. Les côtes plates terreuses peuvent être poldérisées raisonnablement

- Polders écologiques, marais restaurés, digues rehaussées dans la limite de +1 m.
- La Bretagne conserve ses zones basses avec une stratégie mixte : renforcement de dunes, bassins tampon, digues légères, rehausse sélective.

3. Repli stratégique limité

- Campings littoraux, routes vulnérables, zones déjà instables.
- Pas besoin d'un repli massif des villages.

4. Urbanisme : adaptation lente

- SRADDET, SCoT, PLU peuvent planifier des rehausses progressives (50–100 cm).
- La contrainte sur la construction reste forte, mais pas existentielle.

En résumé : un littoral breton transformé, plus protégé, mais encore largement habité. La politique d'adaptation est graduelle et maîtrisable.

Le scénario B – l'Accord de Paris est un échec

Le dérèglement

Les émissions stagnantes ou faiblement réduites ; trajectoire AR6 type SSP3/7.0 ou SSP5/8.5.
Les objectifs climatiques ne sont pas tenus :

- Pas de pic avant 2040–2050.
- Réchauffement mondial 2100 : +3 °C à +4,5 °C.
- Fonte accélérée du Groenland ; instabilité possible de l'Antarctique de l'Ouest.

Les conséquences physiques globales :

- Montée de la mer rapide et prolongée :
 - 2100 : +0,60 à +1,10 m, voire plus selon instabilités polaires
 - 2150 : +1 à +2,50 m
 - 2300 : +2 à +5 m ou plus
- Tempêtes plus intenses, niveau de la mer plus haut en tempête = surcotes extrêmes.

C'est un changement de monde.

Les conséquences pour le littoral breton

Les estuaires entrent dans une zone de transition irréversible : même les grands ouvrages deviennent insuffisants sans pompage massif. Pour la Vilaine, la Rance, le Blavet, l'Aulne :

- rehausse obligatoire des digues,
- Arzal doit devenir une digue-polder (voir Annexe 4),
- pompes > 10–100 m³/s pour déprimer le bief amont,
- nécessité de digues latérales autour de Redon ou Rieux.

Beaucoup d'estuaires deviennent des quasi-polders permanents.

Les côtes terreuses plates deviennent difficilement défendables

- Les marais littoraux, estrans, arrière-dunes sont submergés régulièrement.
- Les polders existants deviennent très coûteux à maintenir.
- Grande partie des terres basses du Morbihan, du Léon, de la baie de Saint-Brieuc pourraient devenir périodiquement sous eaux.

Rehausser devient trop cher à grande échelle, trop instable (sols meubles) et dépendant d'un pompage permanent. Soit un large repli stratégique sur plusieurs décennies.

Pour les côtes rocheuses, de la vulnérabilité accrue à l'érosion :

- La mer plus haute, les tempêtes plus fortes → pieds de falaise attaqués.
- Routes littorales sur corniche condamnées sauf repli.
- Mais les villes hautes (Brest, Saint-Malo intra-muros, Douarnenez haute) restent résilientes.

L'urbanisme nécessite une fixation stricte. Les PLU et SCoT doivent :

- Interdire toute construction neuve < +4 m NGF (selon secteur).
- Planifier des quartiers d'accueil pour relocalisations.
- Intégrer des zones de sacrificialité contrôlée (zones à laisser reprendre par la mer).
- Préparer rehausse des infrastructures vitales (stations d'épuration, réseaux).

La planification devient une politique de gestion de crise à long terme.

Comparaison synthétique entre les deux scénarios

Deux futurs littoraux bretons selon le succès ou l'échec de l'Accord de Paris.

Dimension	Accord de Paris tenu	Accord de Paris non tenu
Niveau de la mer 2100	+0,3–0,6 m	+0,6–1,1 m
Niveau de la mer 2300	< +1,5 m	+2–5 m (voire plus)
Estuaires bretons	Adaptables	Poldérisation massive, pompage permanent
Côtes terreuses	Défendables	Très vulnérables → repli large
Côtes rocheuses	Stables	Erosion forte, repli localisé
Urbanisme littoral	Gestion maîtrisée	Restrictions massives
Repli stratégique	Local, limité	Massif, planifié sur 100 ans
Coûts d'adaptation	Élevés mais supportables	Très élevés et permanents
Habitabilité littorale	Majoritairement maintenue	En recul important

Le scénario A correspond à une transformation contrôlée et le scénario B a une reconfiguration territoriale majeure. Ce qui implique pour la Bretagne, deux doctrines d'anticipation :

- Dans le scénario A, une Bretagne résiliente avec : polderisation sélective, rehausse inférieure à +1 m, repli ciblé, ZAN (Zone artificielle nette) et renaturation, SRADDET cohérent avec trajectoire climatique maîtrisée.
- Dans le scénario B, une Bretagne recomposée avec : repli stratégique de secteurs entiers, polderisation lourde d'estuaires, urbanisation interdite sur zones basses, redéfinition du réseau routier littoral, investissements publics beaucoup plus massifs et durables.

Les deux scénarios conduisent à deux politiques littorales radicalement différentes. Les options abandon/rehausse/repli selon milieux doivent permettre de gérer les deux futurs possibles dans un même cadre stratégique.

Un scénario extrême

Dans la mesure où l'épuisement des ressources fossiles se poursuit durablement plus rapidement que sa conséquence, le dérèglement climatique, alors l'élévation du niveau de la mer peut atteindre des valeurs très importantes avec des conséquences catastrophiques. En particulier avec la fonte quasi totale des pôles : l'élévation peut potentiellement atteindre des dizaines de mètres. De tels scénarios restent modélisables, mais avec davantage d'hypothèses et plus d'incertitudes sur la combinaison des effets du dérèglement climatique (« boucle de réaction positive »).

Le média France 3 Bretagne a repris cette carte établie par un internaute qui a fait le buzz sur un réseau social (Reddit) et vu par de nombreux abonnés.



<https://france3-regions.franceinfo.fr/bretagne/ille-et-vilaine/rennes/montee-des-eaux-que-se-passerait-il-en-bretagne-si-tous-les-glaciers-fondaient-2729166.html>

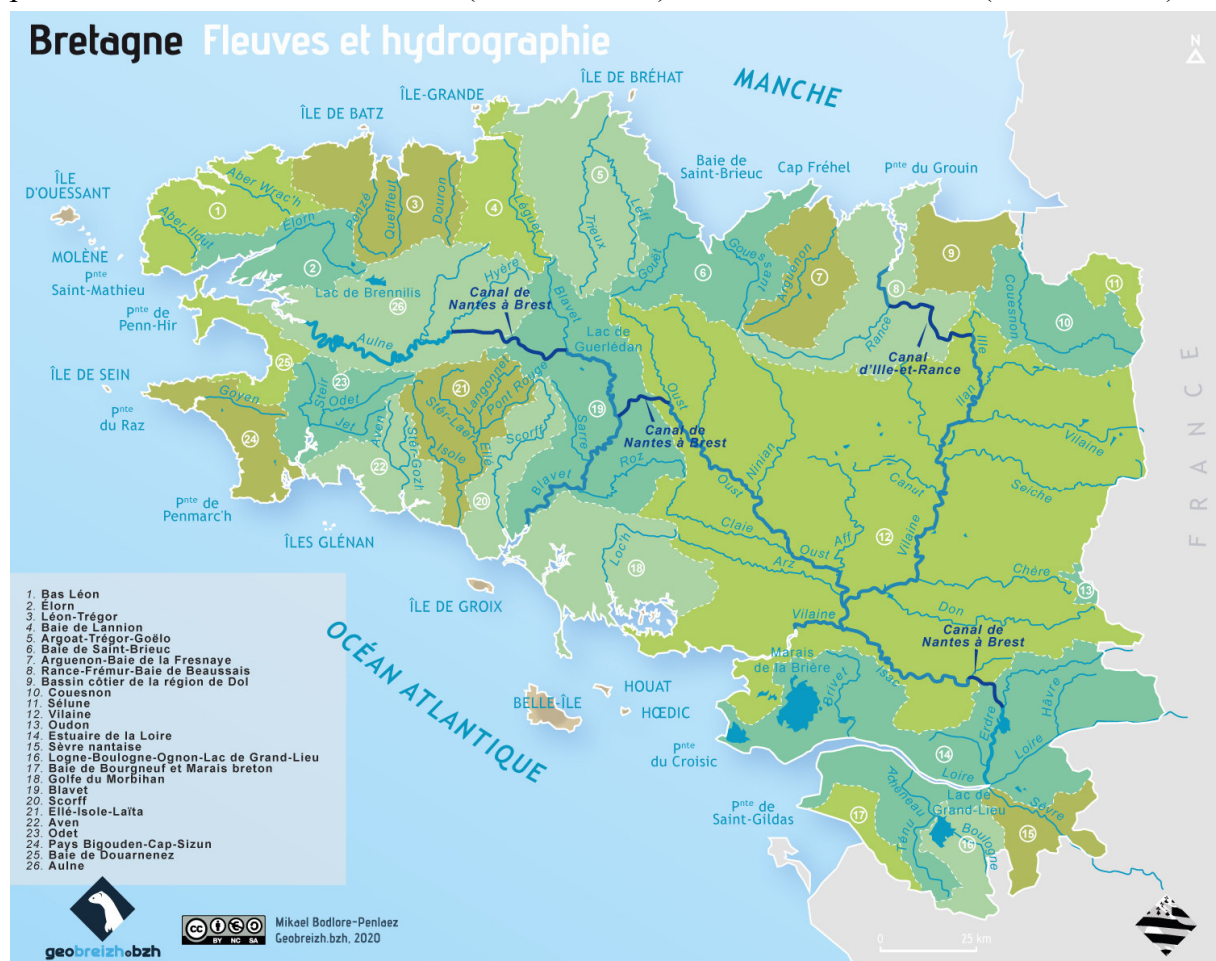
Une telle projection met en évidence que le scénario C tendant à réparer le climat doit être mis en œuvre pour éradiquer les risques d'une destruction de la planète.

Les segments de littoral

L'examen systématique de la côte bretonne met en évidence des catégories de segments : estuaires et rias et entre ces estuaires, des côtes rocheuses abruptes et des côtes plateïformes à accumulation. Selon qu'ils sont naturels ou construits (ou urbanisés), ces segments auront, un panel de possibilités de protection et d'adaptation comparables selon les deux scénarios climatiques comparables.

Les estuaires et les rias

Le territoire est une juxtaposition de bassins versant avec une rivière ou un fleuve qui se jette dans l'océan par un estuaire. Ces estuaires représentent des zones exposées à l'érosion et à l'élévation du niveau de la mer (26 identifiés dans la carte ci-dessous). Deux estuaires particulier : l'estuaire de la Vilaine (voir annexe 3) et l'estuaire de la Loire (voir annexe 4).



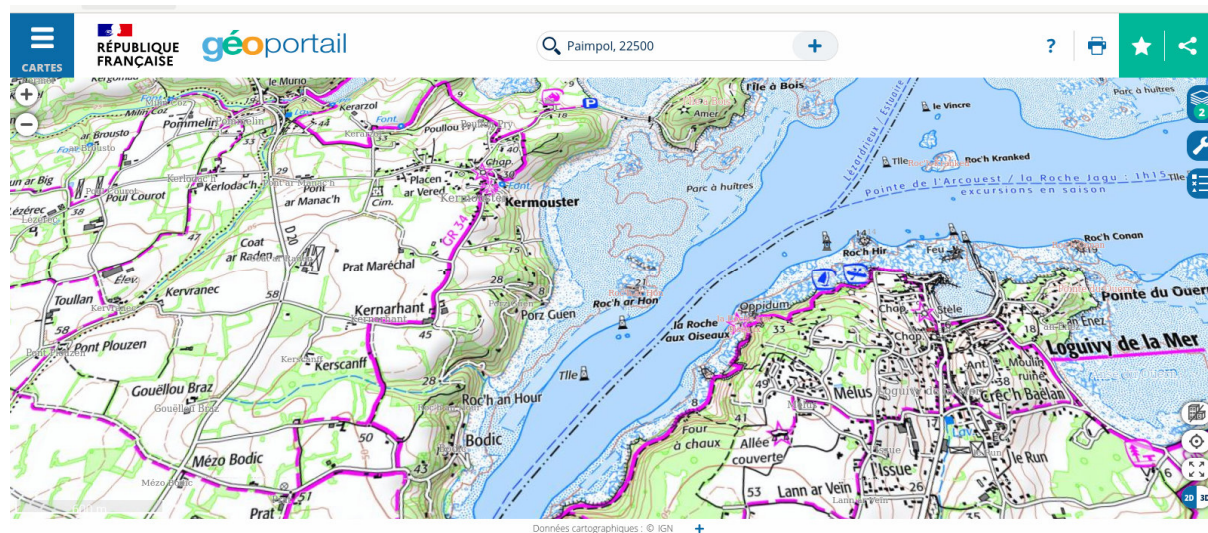
Atlas de Bretagne / Atlas Breizh, Mikael Bodlore-Penlaez & Divi Kervella, Coop Breizh, 2011 (<https://www.geobreizh.bzh/hydrographie/>)

Entre une ria et l'estuaire de la Loire, il y a une différence de dimension : certains parmi les plus grands estuaires nécessitent, tout en reprenant les principes identifiés ci-après une approche spécifique (voire annexes 2 à 4 pour les estuaires de la Rance, de la Vilaine et de la Loire).

Les zones non construites

Objectif général : protéger le fonctionnement hydraulique, éviter l'exposition future.

Situation	Recommandation
Zones basses d'expansion de crue / marais	Protéger comme zones naturelles, restaurer marais, zéro construction
Terrains utiles à la gestion hydraulique	Réserver comme emplacements stratégiques GEMAPI
Secteurs agricoles en cuvette salinisable	Adaptation agroécologique (prairies humides, cultures salines), pas d'urbanisation



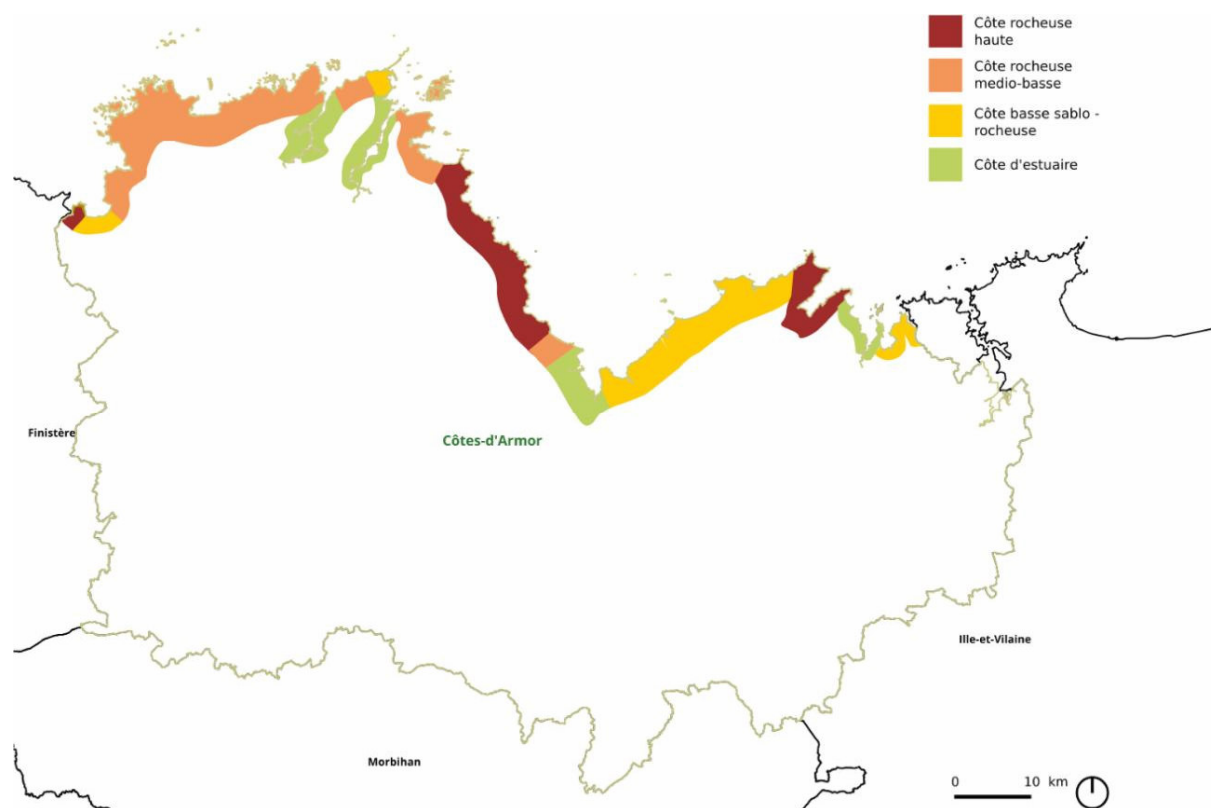
Les zones construites

C'est le milieu le plus complexe. On applique la logique : Polderiser ? Protéger localement ? Reculer ?

Contexte	Option dominante	Justification
Centre urbain dense (Redon, Pontivy pour le Blavet, Châteaulin pour l'Aulne)	Rehausser + digues urbaines + pompage	Valeur économique/sociale forte → on protège
Petits villages bas	Déplacer en arrière si petite surface / polder léger si agricole	Le coût de rehausse est souvent disproportionné
Habitat diffus dans zone très basse	Abandonner / repli	Trop coûteux à défendre, dynamique d'écoulement à préserver
Activités portuaires	Protections localisées + rehausse des quais	Continuité économique

Règle structurante pour les estuaires : Plus la montée de la mer avance, plus la solution bascule vers : Protection urbaine → Polderisation → Repli.

La côte rocheuse à falaise entre estuaires



La segmentation du littoral en Côtes-d'Armor (<https://paysages.cotesdarmor.fr/connaitre-et-comprendre/fondements/fondements-naturels/les-espaces-naturels-et-les-paysages>)

Les zones non construites

Situation	Recommandation
Falaises / plateaux	Ne rien faire, surveiller l'érosion
Petites criques	Usage léger (sentiers), pas d'aménagement dur



Vers le cap Fréhel (<https://www.cotesdarmor.com/sites-incontournables/cap-frehel-cap-derquy/>)

Les zones construites

Contexte	Option dominante	Justification
Maisons en haut de falaise	Évaluer recul / risque érosion, possible déplacement à long terme	Risque principal = instabilité, pas submersion
Routes littorales sur corniche	Déplacer en arrière si érosion active	Les défenses artificielles aggravent l'érosion
Ports naturels encaissés	Rehausser les quais	Submersion lors de tempêtes

Règle structurante :

- Ici, la montée de la mer n'est pas le risque majeur → c'est l'érosion.
- Les ouvrages durs aggravent la situation → priorité au repli plutôt qu'à la rehausse de digues.

La côte plate d'accumulation entre estuaires

Galets, sables, marais, cordons sableux, polders existants, arrière-dunes...

Les zones non construites

Situation	Recommandation
Plaines basses < +2 m NGF	Réserver pour marais / zones humides
Dunes basses et arrières-dunes	Renforcer les dunes (végétalisation)

Terres agricoles littorales	Ouvrir la possibilité de polders écolos
-----------------------------	---

Les zones construites

C'est là que le triptyque est le plus utile.

Contexte	Option dominante	Justification
Quartiers en dessous de +2 m NGF (2100)	Rehausser le terrain ou les bâtiments si faible surface ; Repli si ensemble bâti important	Protéger ≈ coûteux sauf zones très localisées
Campings, parkings, zones touristiques	Abandonner ou replier	Les défendre serait absurde à long terme
Villages littoraux densément construits	Polderisation + pompage OU Repli progressif selon coût-bénéfice	Exemple type : marais littoraux du Morbihan
Routes stratégiques littorales	Rehausser ou déplacer en arrière	Maintenir la continuité territoriale

Règle structurante :

- Sur les côtes plates : la montée de la mer crée un aléa de submersion certain → les protections doivent être soit massives (polder), soit on replie.
- Entre 2100 et 2300, les deux stratégies sont viables mais doivent être cartographiées.

Synthèse

Pour planification SRADDET / SCoT / PLU)

Voici la matrice finale, utilisable dans une note règlementaire :

Milieu	Zones non construites	Zones construites : Abandon	Rehausse	Repli
Estuaire	Préserver marais, expansion crue	Oui si habitat diffus	Oui pour centres urbains	Oui pour secteurs isolés
Côte rocheuse	Ne rien faire	Rarement utile	Très limité	Oui si risque érosion
Côte plate terreuse	Réserver / marais / dunes	Fréquent (campings, parking)	Localisé (infrastructures)	Oui pour villages bas

Comment l'utiliser ? Cette matrice sert à :

- écrire les articles de PLU (zones inconstructibles, prescriptions de rehausse) ;
- paramétrer les OAP résilience dans les SCoT ;
- définir la doctrine régionale d'un SRADDET face à la montée des eaux ;
- expliciter la politique d'aménagement sur 2100–2300 (trajectoires).

Le génie maritime

Le génie maritime traditionnel — digues, brise-lames, jetées, épis, quais — apporte à l'ingénierie climatique littorale une expérience séculaire de gestion de la houle, des sédiments, des courants et des ouvrages soumis à des efforts extrêmes.

Cette expertise est précieuse pour concevoir des protections littorales robustes, absorber l'énergie des tempêtes, recharger les plages, restaurer les dynamiques sédimentaires, gérer les zones basses et sécuriser les estuaires.

Toutefois, elle doit être adaptée : les ouvrages portuaires sont conçus pour des espaces clos, tandis que les systèmes littoraux sont ouverts et interactifs. L'ingénierie climatique doit donc s'inspirer du génie maritime sans le transposer mécaniquement, afin d'éviter de rigidifier ou d'aggraver les dynamiques naturelles du trait de côte.

Le génie maritime traditionnel

Le génie maritime traditionnel (ports, quais, jetées, digues, moles, perrés, brise-lames...) constitue un trésor technique souvent sous-estimé dans les débats actuels sur l'adaptation au changement climatique. Or, il peut apporter beaucoup à l'ingénierie climatique littorale en évoluant dans son objectif : passer de la protection de zones portuaires localisées à la résilience de l'ensemble du littoral face à la montée des eaux, à l'érosion et aux tempêtes.

Le génie maritime traditionnel représente une expérience de plusieurs siècles. Depuis l'Antiquité, les sociétés littorales maîtrisent trois grands domaines :

- 1) Résister aux vagues : digues massives, musoirs, enrochements, murs pare-houle.
- 2) Canaliser les flux d'eau : épis, jetées, chenaux stabilisés, dragages.
- 3) Créer des espaces protégés : bassins portuaires, môles, terre-pleins, zones abritées.

Ce corpus technique repose sur l'observation de la mer, de la houle, des tempêtes, des courants : une science accumulée empiriquement pendant 2 000 ans. Ce savoir-faire peut être réorienté pour répondre aux défis du climat.

Le génie maritime peut apporter à l'ingénierie climatique littorale :

A. Une connaissance très fine de l'interaction houle / ouvrage. Les ingénieurs maritimes savent déjà :

- comment dissiper l'énergie d'une vague,
- comment éviter la réflexion destructrice (côte rocheuse artificialisée),
- comment orienter un ouvrage pour protéger une zone précise,
- comment créer des structures résilientes (pieds larges, talus, parements filtrants).

Cela permet d'imaginer des ouvrages anti-submersion mieux adaptés aux scénarios A–B–C. Par exemple :

- digues obliques absorbant la houle,
- brise-lames détachés pour casser l'énergie avant la côte,
- revêtements perméables (revetments) inspirés du génie portuaire.

B. Une gestion historique du sable et des sédiments. Les ports ont toujours lutté contre : l'ensablement des chenaux, les dépôts dans les bassins, la dérive littorale avec les outils traditionnels : épis, brise-lames, curage, by-pass sédimentaires. Ces compétences sont précieuses pour lutter contre l'érosion actuelle, qui est un problème d'énergie mais aussi de sédiments. Les applications directes :

- rechargements de plage calibrés,
- reconstitution de cordons sableux,
- nourrissage littoral basé sur les granulométries maîtrisées.

C. Une capacité à créer des « zones d'eau contrôlée ». Les ports fonctionnent comme de petits estuaires artificiels. On sait y gérer : niveaux d'eau, courants, clapets, vannes, écluses, systèmes de pompage. Ce savoir-faire devient central pour les petits estuaires, les rias, les zones basses. Les applications :

- clapets anti-retour améliorés,
- écluses anti-tempête,
- bassins tampons ouverts/fermés selon les marées,
- gestion du drainage littoral.

D. Une expertise unique en ouvrages soumis à des charges extrêmes. Le génie maritime a déjà résolu : les houles centennales, les tempêtes extrêmes, les surcôtes cycloniques (pour les DOM). L'ingénierie climatique peut réutiliser ces méthodes pour :

- protéger des segments essentiels du littoral,
- sécuriser les zones urbaines,
- rehausser des digues existantes en conditions optimales.

E. La réutilisation de matériaux et formes traditionnelles. Les ouvrages anciens montrent que : formes arrondies, murets inclinés, blocs cyclopéens, structures cellulaires... résistent étonnamment bien à la mer. Ces configurations peuvent inspirer des ouvrages : moins « brutaux », plus intégrés dans le paysage, plus durables, plus faciles à entretenir.

Ce que le génie maritime peut « corriger » dans l'ingénierie climatique : il peut apporter de la prudence, ce qui manque parfois aux projets climatiques futuristes. Le génie maritime sait bien que :

- chaque ouvrage modifie la dynamique littorale,
- protéger un point peut aggraver un autre point,
- les sédiments sont vivants, mobiles, variables,
- la nature reprend toujours ses droits.

Il peut donc éviter les erreurs de sur-technicisation comme : DIKWE mal placé, ouvrages offshore mal alignés, digues verticales inadéquates, solutions gadgets (digues énergétiques, ouvrages « intelligents »).

Ce qu'il faut éviter : transférer « tel quel » le génie portuaire au littoral. Le génie maritime traditionnel est extrêmement efficace sur des sites portuaires circonscrits, mais :

- un port est fermé → un littoral est étendu.

- un port est artificiel → un estuaire est vivant.
- un port évolue lentement → une plage évolue chaque hiver.

Il faut donc adapter, pas transposer.

Le génie maritime traditionnel apporte donc : des méthodes éprouvées, une connaissance fine de la mer, une maîtrise unique des forces extrêmes, une compréhension du sable et des sédiments, des techniques de contrôle hydraulique. Il doit devenir l'un des piliers de l'ingénierie climatique littorale, mais intégré dans une vision écologique et stratégique à long terme, et non appliqué « au kilomètre » comme dans les ports.

Le génie maritime climatique

A partir du génie maritime traditionnel et en associant davantage d'approches fondées sur la nature, développer dans une vision d'ensemble une doctrine d'ingénierie littorale complète pour le XXI^e-XXIII^e siècle :

Approche	Génie maritime naturel	Génie maritime technique	Génie maritime traditionnel adapté climat
Littoral	Naturel	Naturel	Construit
Objectif	Restaurer les milieux et stocker du carbone	Protéger localement contre l'érosion et la submersion	Adapter, rehausser, reconfigurer ou replier
Moyens	Sol, sédiment et végétal	Minéral et mécanismes passifs / actifs	Minéral, mécanismes et constructions / bâtiments + renforts et paysager végétal
Solutions	Polders naturels Digues végétalisées Elévation du terrain Dunes végétalisées Cordons sableux Banquettes de zostères ou posidonies Tourbières littorales Marais littoraux et zones humides Forêts littorales Haies anti-submersion Dunes artificielles Living Seawalls Chenaux naturels restaurés ...	Digues Enrochements Epis Clapets Ecluses Canaux de dérivation Pompages Réservoirs ...	Structures rehaussables Structures déplaceables Structures flottantes Déconstruction maîtrisée Reconstruction adaptée (« Build Back better »)
Scénario	A ou B	A + C	A → B

Le génie maritime pour le littoral naturel

La démarche

Le génie maritime climatique pour le littoral naturel désigne l'ensemble des stratégies, aménagements et restaurations fondés sur la dynamique naturelle des milieux côtiers (végétaux, sédiments, sols, hydrologie, microfaune), dont l'objectif est :

1. d'atténuer la montée du niveau de la mer et l'érosion,
2. de renforcer la résilience écologique du littoral,
3. de séquestrer durablement du carbone,
4. de restaurer des écosystèmes protecteurs,
5. de contribuer à la réparation du climat.

Il s'agit d'abord d'un **génie biogéologique**, utilisant la nature comme moteur et non comme simple décor, et opérant dans le temps long. Ce génie naturel n'imité pas la nature : il lui redonne de l'espace, du volume, des sédiments et du vivant pour qu'elle redevienne protectrice. Ces approches pourront être complétées par des constructions de soutien (enrochement, mur, minéralisation...) et aussi intégrer des mécanismes hydrauliques (digues, clapets, écluses, barrières, pompes...).

Le génie littoral climatique environnemental naturel regroupe l'ensemble des interventions qui restaurent, amplifient ou accompagnent les processus naturels du littoral — dunes, marais, roselières, polders climatiques, bassins tampons, cordons sableux — pour protéger le territoire contre la montée de la mer, atténuer l'énergie des tempêtes, favoriser la résilience écologique et séquestrer du carbone.

Il constitue le pendant « vivant » du génie maritime côtier environnemental : là où celui-ci construit des ouvrages minéraux et mécaniques, le génie littoral climatique s'appuie sur la dynamique des végétaux, des sols et des sédiments pour créer des protections évolutives, auto-réparantes, et compatibles avec la réparation du climat.

Les solutions sont variées. Elles doivent permettre à la fois de protéger le littoral contre la montée des océans et de contribuer à la captation / stockage du carbone. Certaines solutions sont même doublement positives : elles protègent et elles stockent du carbone de manière durable.

Les polders et les terres gagnées sur la mer

À distinguer des polders « agricoles » traditionnels. Ce sont des zones gagnées sur la mer ou protégées « non pour être cultivées », mais pour élever progressivement le niveau du sol grâce à la sédimentation naturelle, à la végétalisation (roselières, phragmites), et au dépôt contrôlé de matériaux fins. Le sol devient un puits de carbone (matière organique enfouie + sédiments piégés). Très adapté aux rias bretonnes (Vilaine, Rance, Aulne...).

Une solution historique, faisable mais pas la plus « carbone » sauf si on modifie le concept. Le potentiel de protection par création de digues et assèchement de zones littorales, est très efficace aux Pays-Bas, mais coûteux à maintenir. Il demande un système de pompage permanent. Le potentiel carbone est faible en soi, mais on peut l'augmenter fortement si :

- les sols sont enrichis en biochar,
- les terres gagnées accueillent des cultures à forte captation (chanvre, lin, miscanthus),

- ou sont transformées en zones humides restaurées (puits carbone naturels).

Les polders permettent donc une protection correcte, mais le stockage de carbone est faible sans stratégie intégrée.

L'élévation du terrain (rehaussement contrôlé)

Par un remplissage sédimentaire contrôlé avec transport puis dépôt de sédiments propres dans une zone basse pour : surélever le terrain, restaurer un marais, recréer une plaine littorale tampon. Pour contribuer à la compensation de la montée du niveau marin.

Une solution montante : utilisée aux États-Unis, au Royaume-Uni, aux Pays-Bas. Il s'agit de remblayer des zones côtières vulnérables pour les rehausser. Elle est adaptée aux zones urbaines littorales, elle permet de gagner 1 à 3 mètres et elle est compatible avec des infrastructures nouvelles (zones d'activités, parcs, habitats).

Le potentiel carbone dépend de ce qu'on utilise pour remblayer :

- Option 1 — Remblai classique : → faible intérêt carbone.
- Option 2 — Remblai biosourcé / carboné, mélanges terre + biochar,
 - granulats minéralisés (CO₂ solidifié sous forme de carbonates),
 - résidus agricoles (chanvre, lin) mélangés à de la chaux → béton végétal compacté,
 - coques de coquillages carbonatés.

Cela permet un énorme stockage de carbone sur plusieurs siècles. Le rehaussement présente donc une très haute valeur carbone si on utilise des matériaux carbonés (biochar, minéralisation, béton végétal compacté).

Les dunes végétalisées

Par des oyats, des plantes psammophiles, des mousses pour la fixation du sable et un piégeage naturel du carbone. Ces dunes assurent une protection contre la houle grâce à la forme douce et absorbante. Les dunes sont les digues naturelles du climat.

Les cordons sableux

Restaurés par un rechargement léger, avec replantation. Et avec gestion de la fréquentation. Ils assurent une protection dynamique contre les tempêtes.

Les banquettes de zostères ou posidonies

Bien que rares en Bretagne, les zostères : piègent les sédiments, réduisent la houle, stockent énormément de carbone (Blue Carbon).

Les tourbières littorales

Rares mais précieuses elles sont de puissants puits de carbone à préserver ou à restaurer.

Les marais littoraux et les zones humides côtières

Ou encore les systèmes humides (marais, roselières, vasières, tourbières littorales). Les marais littoraux restaurés sont les plus grands puits de carbone du littoral. Ils jouent trois rôles :

- tampon hydraulique : absorbent les crues, amortissent les tempêtes
- séquestration : piègent du carbone dans les sols anoxiques
- biodiversité : nurseries naturelles (poissons, oiseaux)

Les roselières, scirpaies, saulaies humides :

- Captent et piègent les matières en suspension.
- Édifient de la tourbe littorale → stockage carbone millénaire.
- Très adaptées à la remontée lente de la mer.

De loin l'un des meilleurs couples protection et captation carbone. Ce sont des zones tampons contre les tempêtes qui absorbent des ondes de submersion et stabilisent des sols. Les marais salés stockent 3 à 5 fois plus de carbone que les forêts, dans les sols saturés en vase pendant des millénaires. C'est ce qu'on appelle le « blue carbon ». Soit l'un des meilleurs investissements climat & littoral.

Les forêts littorales et les haies anti-submersion (barrières végétales)

Une protection naturelle compatible avec une production de biomasse. Ces barrières stabilisent des dunes, diminuent l'érosion éolienne et contiennent l'onde de tempête (comme les tamaris au Maroc).

Les forêts littorales stockent 20 à 40 t CO₂/ha/an avec la possibilité d'ajouter du biochar au sol. On peut aussi utiliser des essences pour biomasse : du chanvre sur dunes stabilisées et du biochar dans le sol.

Soit une bonne synergie protection et enfouissement de carbone, mais avec une protection limitée (du fait d'une efficacité modérée face à une montée rapide).

Le « projet de Lessunus » à Plozévet est un projet de renaturation et de protection littorale sur le marais et l'étang de Lessunus, en baie d'Audierne, visant à rétablir un fonctionnement plus naturel du cordon de galets tout en gérant le risque d'inondation et de submersion.

https://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/aap_sfn_2019_livret_ploze_vet.pdf

Les dunes artificielles « carbonées »

Soit des dunes reconstituées avec matériaux stockant du CO₂ pour la reconstitution de cordons dunaires disparus, l'absorption des vagues et la réduction de l'énergie de submersion.

Pour le stockage du carbone, on peut créer la dune avec : du sable avec du biochar, des matériaux minéralisés (CO₂ solidifié) et des résidus agricoles biosourcés compactés (chanvre/lin). La durée de vie du carbone est de 50 à 500 ans selon matériaux.

Soit un très fort potentiel, y compris pour la Bretagne.

Les systèmes de circulation contrôlée

Des bassins, chenaux, zones de rétention... Les bassins tampons naturels comme les zones d'eau douce ou saumâtre permettant de d'amortir les marées hautes, de ralentir les crues et de protéger des zones urbanisées sont des « amortisseurs hydrauliques » naturels.

Les chenaux naturels restaurés

Plutôt que de barrer systématiquement (clapets...), on peut :

- reconnecter des chenaux,
- élargir certaines passes,
- restaurer des marais tidaux.

Les « Living Seawalls » (digues végétalisées captatrices de carbone)

Elles peuvent se combiner avec polders ou digues classiques. Elles consistent à créer des digues biomimétiques et végétalisables qui favorisent l'installation d'algues et d'herbiers marins qui captent du carbone. Les macro-algues sont d'excellents puits de CO₂ (3 à 5 fois plus que les plantes terrestres) et certaines algues et zostères stockent dans les sédiments sur des centaines d'années. Ces digues sont donc un excellent couplage protection et puits carbone biologique.

Synthèse

Les 3 meilleures solutions combinant protection ET stockage carbone

- **Restauration des marais littoraux** (blue carbon) : protection naturelle exceptionnelle, stockage sur plusieurs millénaires, capacité énorme
- **Minéralisation et matériaux carbonés pour remblayage et rehaussement** : protection directe (rehaussement, digues, polders), stockage durable (décennies à millénaires), compatible avec les industries locales
- **Dunes artificielles et « living seawalls »** : protection douce, stockage biologique et matériaux carbonés et haute résilience

Conclusion stratégique (Bretagne, Vendée, Normandie, Pays Basque), la stratégie optimale serait un mix :

1. **Marais littoraux restaurés**, stockage massif et tampon naturel
2. **Rehaussement contrôlé carboné** (biochar, minéralisés), sécurité des zones urbanisées
3. **Dunes artificielles et digues végétalisées**, protection douce écologique
4. **Cultures biosourcées sur les terres protégées** (lin, chanvre, miscanthus), captation annuelle et économie locale
5. **Biochar des résidus agricoles**, stockage millénaire dans les sols littoraux

C'est une stratégie résiliente ET climatiquement positive, bien supérieure aux polders « classiques ».

Quand on ne peut pas défendre, on recule... mais intelligemment. Par la création de parcs littoraux absorbants, la mise en place de zones humides et des plantations littorales. Ces zones deviennent un amortisseur naturel des vagues et un puits à carbone massif. Soit souvent la solution la plus durable à long terme.

Conclusion stratégique : ce second concept permet de :

- légitimer les solutions fondées sur la nature,
- articuler adaptation et séquestration carbone,
- donner un cadre à des projets dunes, marais, polders écologiques,
- équilibrer l'approche « génie maritime » avec une vision plus écologique, souple et évolutive,
- positionner la Bretagne comme territoire pionnier du génie littoral climatique.

Le génie maritime technique

Le génie maritime technique regroupe des solutions basées sur des mécanismes passifs ou actifs d'hydraulique littorale.

Les ouvrages à vocation énergétique — moulins de marée, usines marémotrices ou digues énergétiques de type Dikwe — ne semblent pas, en tant que tels, contribuer directement à la protection ou à l'adaptation du territoire face au dérèglement climatique.

Les digues, jetées et épis

Les digues et jetées protègent la terre contre les assauts de la mer lors des marées ou des tempêtes. Dans le contexte du changement climatique, ces ouvrages passifs nécessiteront un renforcement progressif (élévation, élargissement, intégration de solutions végétalisées ou hybrides).

Les épis, eux, ont pour fonction principale de modifier localement les courants et la dynamique sédimentaire afin de limiter l'érosion. Leur efficacité varie selon la configuration du littoral et peut diminuer avec l'augmentation des tempêtes et de la montée du niveau marin.

Les enrochements

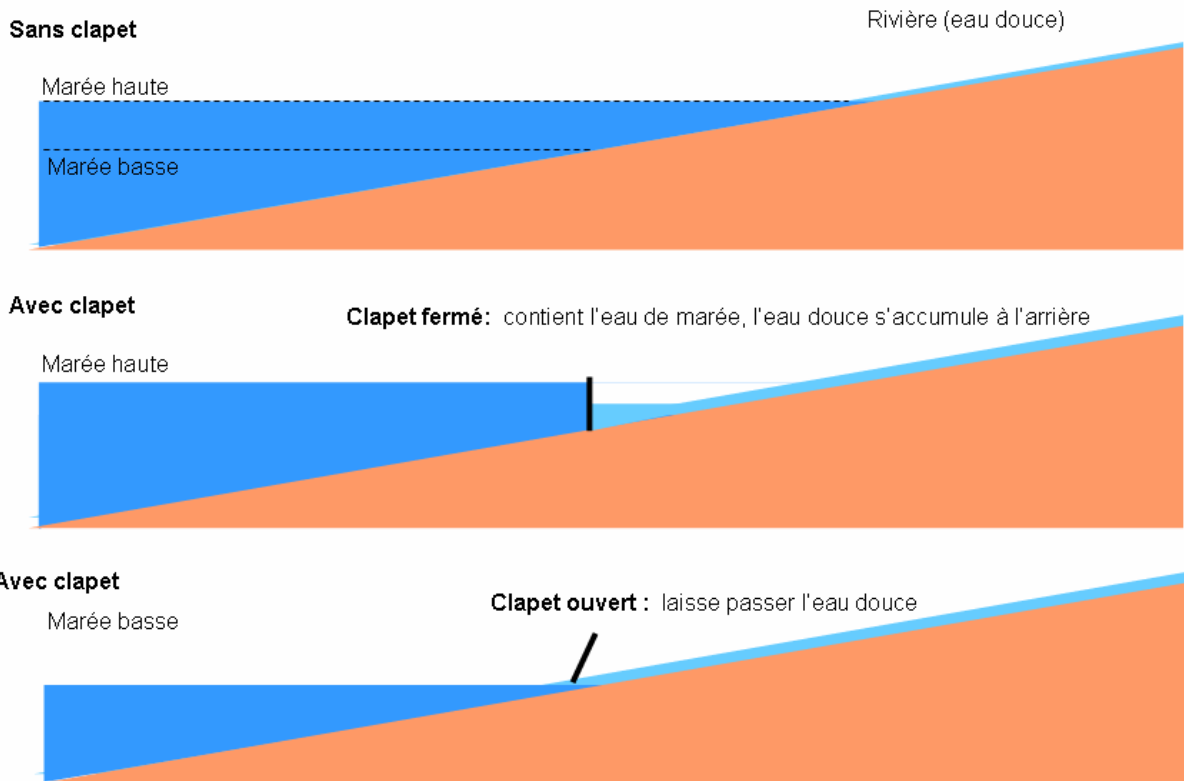
Les enrochements visent à protéger — ou tenter de protéger — certaines portions du littoral.

Cependant :

- ils sont tôt ou tard dépassés par le recul du trait de côte,
- ils peuvent provoquer des effets négatifs sur les plages voisines (érosion accrue, affouillement),
- leur efficacité s'avère souvent limitée ou temporaire.

Ces solutions restent possibles mais doivent être envisagées comme des mesures transitoires, éventuellement améliorées ou hybrides, plutôt que comme des protections durables.

Les mécanismes de marée



Les clapets anti-retour installés dans les estuaires empêchent les remontées d'eau (marées, tempêtes, crues) vers l'amont, réduisant ainsi le risque d'inondation lié à la montée du niveau marin.

Ils s'ouvrent sous la pression de l'eau venant de l'amont et se ferment automatiquement lorsque la pression aval devient supérieure.

Ces dispositifs doivent cependant être :

- dimensionnés pour faire face à des pressions accrues,
- entretenus régulièrement,
- adaptés à des estuaires exposés à des phénomènes de marée et de crue plus fréquents ou plus intenses.

Les vannes gravitaires remplissent un rôle similaire : faciliter l'évacuation des eaux vers la mer tout en limitant les remontées d'eau salée dans les terres basses, agissant ainsi comme des barrières hydrauliques passives.

Les écluses

Une écluse est un sas hydraulique équipé de portes aval et amont permettant de faire passer des navires d'un niveau d'eau à un autre. Elle est adaptée à :

- la navigation fluviale organisée en paliers,
- l'accès aux bassins portuaires (construction, réparation).

En revanche, dans un contexte de montée du niveau marin, l'écluse n'est pas une solution de protection du littoral. Elle peut nécessiter une adaptation technique, voire un repli fonctionnel (scénario B). Son rôle reste essentiellement opérationnel, non protecteur.

Les canaux

En domaine littoral, les canaux sont aujourd'hui peu utilisés comme liaison entre la côte et l'arrière-pays. Dans un contexte de dérèglement climatique, leur rôle en matière de protection ou d'adaptation apparaît très limité. Ils sont donc mentionnés pour mémoire, sans positionnement stratégique.

Les systèmes de pompage

Les systèmes de pompage peuvent s'intégrer dans diverses installations hydrauliques. Toutefois, dès que cela est possible, les écoulements naturels (gravité, vidange gravitaire, exutoire direct) doivent être privilégiés, car ils offrent une meilleure robustesse face aux inondations et submersions marines et ne dépendent pas de l'alimentation énergétique.

Le génie maritime climatique pour le littoral construit

Ce troisième pilier manque aujourd'hui dans les politiques publiques.

Pourquoi parler de « génie maritime climatique pour le littoral construit » ? Parce que :

- On ne peut plus se limiter au génie maritime classique. Celui-ci est conçu pour protéger un port, une jetée, un quai — pas une ville entière face à un océan en mouvement pendant des siècles.
- Le climat impose une nouvelle logique d'étagement. Ce n'est plus « tenir partout », mais « tenir là où c'est possible, se replier là où c'est nécessaire ».
- C'est un génie qui articule les trois dimensions : construction, déconstruction, renaturation.
- Il s'intègre aux deux autres génies : il prolonge le génie maritime pour les zones bâties, Il rend possible le génie littoral naturel... en laissant de l'espace à la nature.

Définition stratégique : le génie maritime climatique est la discipline qui vise à adapter, transformer ou relocaliser les infrastructures humaines installées au bord de la mer (ports, stations balnéaires, villes, digues urbaines, zones industrielles), en fonction :

- des scénarios climatiques,
- de la montée progressive du niveau marin,
- de l'érosion accrue,
- des besoins de protection des populations.

Il intervient exclusivement dans les zones construites, contrairement aux deux premiers génies qui s'appliquent à la partie « naturelle » du littoral.

Les étapes

Ce génie comprend deux grandes étapes, parfaitement alignées aux scénarios A et B :

Étape A — Le maintien sur place

Adapté au scénario A, avec une élévation ≤ 1 m). L'objectif est de « tenir la ligne » là où c'est possible et pertinent. Il s'agit d'adapter le littoral construit pour qu'il reste utilisable dans un monde à +0,5 m \rightarrow +1 m en 2100.

Les outils du génie maritime climatique en étape A :

- Rehausse des digues urbaines (ex. Sillon de Saint-Malo).
- Épaississement des ouvrages existants (talutage, enrochement, renforcement).

- Systèmes actifs anti-submersion : portes anti-tempête, clapets urbains, vannes anti-retour.
- Rehausse progressive du bâti (sur pilotis, surélévations, socles urbains).
- Protection des réseaux (électricité, assainissement, routes littorales).
- Adaptation des zones portuaires : quais rehaussés, cales adaptées, digues semi-mobiles.

C'est un génie maritime augmenté, optimisé pour la résilience. Cette étape est compatible avec un monde où l'élévation reste limitée grâce à une action climatique mondiale.

Étape B — Le repli stratégique

Pour le scénario B avec une élévation à partir de 1,5 m → 3–4 m. L'objectif est un abandon contrôlé, une reconquête naturelle et un relocalisation des usages, lorsque les ouvrages deviennent : trop coûteux à rehausser, trop vulnérables, trop souvent submergés ou géographiquement incohérents, alors l'ingénierie climatique doit passer à l'étape B : le repli planifié.

Les outils du génie maritime climatique en étape B :

1. Déconstruction sélective
 - Démolition d'ouvrages inutiles ou dangereux (digues basses, routes littorales).
 - Déplacement de campings, parkings, front de mer.
2. Repli du bâti
 - Relocalisation à l'arrière des zones urbanisées.
 - Reconstruction sur des coteaux, plateaux, zones sécurisées.
 - Création de nouveaux centres urbains rehaussés.
3. Transformation de l'ancien littoral construit en zones naturelles
 - Retour à des marais littoraux, dunes, zones humides.
 - Création de zones tampon pour absorber les tempêtes.
 - Intégration au génie littoral climatique naturel (votre 2^e approche).
4. Création de nouvelles digues internes : ligne de défense en retrait (setback line), plus facile à maintenir.

La gestion de la sédimentation consiste à accueillir volontairement : les vases, les sables, les mouvements du littoral. Le littoral construit devient une zone climatique active, pilotée pour accompagner la mer plutôt que la combattre.

Les axes d'innovation supplémentaires

Au-delà de la protection et de l'adaptation au changement climatique, le littoral peut devenir un acteur direct de la réparation climatique, en intégrant deux axes d'innovation complémentaires :

- la captation et le traitement océanique du carbone,
- l'enrichissement des sols et ouvrages littoraux en carbone durable (biochar, granulats carbonés).

Ces leviers ne remplacent pas l'ingénierie littorale climatique ; ils la renforcent et contribuent à inscrire le littoral dans une stratégie continentale de climat négatif / réparation du climat.

La captation océanique du CO₂ et le rejet côtier d'eau désacidifiée et oxygénée

L'océan est le principal puits naturel de carbone. Des technologies émergentes permettent désormais de :

- pomper et capter le CO₂ dissous dans l'eau de mer,
- réinjecter localement une eau désacidifiée,
- augmenter la concentration en oxygène,
- éventuellement produire des minéraux carbonatés stables.

Les installations de captation peuvent être :

- offshore (bouées, barges, fermes océaniques),
- intégrées à des infrastructures littorales : digues, jetées, écluses, polders techniques.

Pourquoi l'intégrer dans l'ingénierie littorale ? Parce que le littoral pourrait devenir un réacteur climatique :

- l'eau captée et traitée offshore pourrait être rejetée dans les milieux littoraux restaurés (marais, lagunes, polders climatiques),
- ces milieux amplifieraient la captation naturelle : végétation humide, sédiments carbonatés, bioproduction,
- l'eau légèrement désacidifiée favoriserait :
 - la résilience des écosystèmes sensibles (herbiers, bivalves, microfaune),
 - la croissance des coquillages (mytiliculture, ostréiculture),
 - la reconstitution naturelle du carbonate de calcium.

Intégration dans les projets littoraux. Dans un littoral aménagé :

- les marais, polders et zones humides peuvent devenir des réacteurs biogéochimiques ;
- les ouvrages (digues, vannes, clapets) peuvent intégrer des modules :
 - de captation de CO₂,
 - de traitement de l'eau,
 - de distribution vers les zones humides.

Le littoral devient un système semi-naturel de désacidification régionale.

Ajout de biochar et de granulats enrichis en carbone dans les ouvrages littoraux

Le concept général : le biochar (issu de la pyrolyse de végétaux comme lin, chanvre, miscanthus, roseaux...) et les granulats minéraux contenant du carbone minéralisé sont des matériaux :

- stables sur des décennies à des siècles,
- compatibles avec les ouvrages de génie civil,

- pouvant être intégrés dans : digues, remblais, dunes renforcées, substrats de marais, sols de polders climatiques, rehausse des terrains en retrait stratégique.

L'intérêt pour l'ingénierie littorale :

1. Stabilisation et drainage amélioré. Le biochar :
 - améliore la rétention d'eau,
 - stabilise les sols humides,
 - augmente la résilience des dunes végétalisées,
 - améliore la croissance des plantes fixatrices de sable.
2. Les granulats carbonés :
 - allègent les remblais,
 - offrent une grande durabilité,
 - peuvent remplacer des granulats classiques dont l'extraction devient coûteuse et problématique.
3. Stockage de carbone dans les ouvrages littoraux : un km de dune renforcée contenant du biochar peut stocker plusieurs centaines de tonnes de CO₂ équivalent. Un km de digue en composites carbonés peut stocker des milliers de tonnes.
4. Valorisation de filières agricoles locales : lin et chanvre bretons : un biochar « régional », traçable, faiblement émissif, circulaire. Cela ancre l'ingénierie littorale dans une économie locale du carbone.

Une convergence stratégique : protéger + restaurer + réparer le climat

En intégrant la captation océanique et les matériaux carbonés, le littoral devient un triple outil :

Fonction	Outils	Résultat
Protéger	génie littoral naturel, polders, dunes, marais, digues climatiques	sécurité des populations
Restaurer	renaturation, hydrodynamique douce	résilience écologique
Réparer	captation océanique + biochar + granulats carbonés	contribution active à la réduction du CO ₂

Ce modèle pourrait être qualifié de : « Ingénierie littorale climatique augmentée », ou « Littoral « climato-fonctionnel » », ou encore « Littoral réparateur ».

Pourquoi intégrer ces « plus » dès aujourd'hui ?

1. Pour ne pas reconstruire des ouvrages obsolètes (sans fonction climatique).
2. Pour préparer un scénario C (réparation mondiale du climat) .
3. Pour créer une filière économique littorale basée sur le carbone local : chanvre, lin, roseaux, biochar régional, granulats carbonés, modules de désacidification marine.
4. Pour attirer des financements européens et internationaux, car ces approches sont pionnières.
5. Pour donner à la Bretagne un rôle d'avant-garde mondiale, un exemple, un leadership.

L'action publique

Le droit et la réglementation

Il est non seulement possible, mais pertinent et urgent de faire un topo structuré sur le droit du littoral en France, en particulier la loi Littoral de 1986, en l'articulant avec :

- les enjeux contemporains de montée du niveau marin,
- les concepts que nous avons définis (génie littoral naturel, génie maritime climatique, scénario A/B),
- la nécessité d'une évolution du cadre juridique pour gérer le repli stratégique et l'aménagement du littoral à 2100–2300.

Le droit du littoral, ses limites et les évolutions nécessaires (2025)

1. La loi Littoral de 1986 : un cadre fondateur

La loi n°86-2 du 3 janvier 1986, dite « loi Littoral », constitue encore aujourd'hui le socle de la protection juridique des côtes françaises. Elle poursuit trois objectifs majeurs :

1.1. Préserver les équilibres écologiques

- protection des espaces remarquables,
- continuité des milieux (dunes, marais, zones humides),
- maîtrise de l'urbanisation diffuse.

1.2. Garantir l'accès au public

- libre accès aux rivages et chemins littoraux.

1.3. Encadrer l'urbanisation

- règle de la continuité : urbanisation limitée à la continuité des bourgs existants,
- bande des 100 m inconstructible,
- protection des espaces proches du rivage (EPR).

Utilité principale de la loi Littoral

- Elle a évité une bétonisation massive comparable à celle observée en Espagne ou en Italie (même si elle a été et est encore contournée),
- Elle a préservé des espaces naturels tampons dont nous avons aujourd'hui un besoin crucial.
- Elle a contenu l'urbanisation anarchique qui aurait rendu tout repli stratégique impossible.

La loi Littoral est donc un succès environnemental important.

2. Les limites de la loi Littoral face à la montée du niveau marin

La loi Littoral a été écrite avant le changement climatique, avant les projections du GIEC, et avant que les notions de :

- repli stratégique,
- abandon programmé,
- zones à submersion récurrente,

- génie littoral naturel,
- génie maritime climatique,

soient conceptualisées. Elle n'est donc pas du tout adaptée aux enjeux 2050–2100–2300.

2.1. Une loi pensée pour éviter la construction, pas pour gérer la destruction

La loi Littoral :

- empêche de construire,
- mais ne dit rien sur comment détruire, déclasser ou déconstruire ce qui existe déjà.

Elle n'offre aucun cadre pour :

- les zones vouées à être submergées,
- la relocalisation des habitations,
- l'indemnisation partielle ou non,
- le reclassement des terrains,
- la renaturation obligatoire.

C'est aujourd'hui un vide juridique majeur.

2.2. La loi Littoral ignore les scénarios A / B

Elle ne distingue pas :

- les zones où l'on peut tenir la ligne (scénario A),
- et les zones où il faudra reculer, renaturer ou polderiser (scénario B).

Elle ne fournit aucune base juridique pour :

- classer les zones selon leur futur climatique,
- appliquer une stratégie différenciée,
- adapter dynamiquement les règles selon l'évolution de la mer.

2.3. Elle repose sur des frontières statiques

La loi Littoral raisonne en :

- bande de 100 m,
- espaces proches du rivage,
- continuité urbaine.

Mais le rivage se déplace !

- Une bande de 100 m « mobile » n'est pas prévue.
- Le trait de côte « n'a pas de reconnaissance juridique comme frontière dynamique ».

2.4. Elle ne prend pas en compte les ouvrages de protection

- Ni les ouvrages naturels (dunes, marais),
- ni les ouvrages artificiels (digues, polders),
- ni les dispositifs hybrides (génie maritime climatique).

Car en 1986 :

- on ne parlait ni d'érosion généralisée,

- ni de rechargement en sable massif,
- ni de polderisation écologique.

Les communes sont aujourd'hui contraintes d'interpréter la loi pour des cas qu'elle n'avait jamais envisagés.

2.5. Elle ne traite pas de la question assurantielle

La loi Littoral ne dit rien sur :

- la responsabilité publique,
- la responsabilité privée,
- les zones devenues inassurables.

Or le monde actuel à +1,5 ou +2 °C rend l'assurance privée insuffisante.

3. Pourquoi la réglementation actuelle ne suffit plus

On peut résumer les limites actuelles en trois phrases :

1. La loi Littoral protège le littoral d'hier, pas celui de demain.
2. Elle empêche mal les constructions dangereuses, et n'offre aucune solution pour les déconstructions nécessaires.
3. Elle ignore la montée du niveau de la mer, l'érosion accélérée et la nécessité du repli stratégique.

Ces trois constats rendent indispensable une réforme profonde du droit littoral.

Voici les évolutions majeures nécessaires pour rendre le droit littoral compatible avec la stratégie à long terme.

4.1. Reconnaître juridiquement les scénarios climatiques A et B

Il faudrait intégrer dans la loi :

- des zones de maintien (A),
- des zones d'adaptation forte,
- des zones de repli stratégique (B),
- des zones de renaturation obligatoire.

Cela permettrait de donner un fondement légal à la cartographie du risque futur.

4.2. Reconnaître le trait de côte comme frontière dynamique

Le droit doit permettre :

- des limites administratives mouvantes,
- des zones tampon adaptatives,
- des bandes de protection modulées selon la montée des eaux.

Inspirations existantes :

- Pays-Bas (Delta Act)
- Royaume-Uni (Shoreline Management Plans)

4.3. Un cadre juridique pour le repli stratégique

Aujourd'hui inexistant. Il faut inclure :

- procédures de déclassement,
- zones inconstructibles progressives,
- modalités de départ programmées,
- règles de non-reconstruction après sinistre,
- démolition programmée des infrastructures.

4.4. Clarification des responsabilités financières (État / assurances / propriétaires)

Les trois piliers :

1. L'assurance privée : couverte sauf pour les risques climatiques structurels.
2. L'État / Région : financement partiel du repli et des protections.
3. Le propriétaire : participation obligatoire, liée à la taxe littorale climatique.

Cela exige un cadre clair pour éviter les contentieux.

4.5. Reconnaître le génie littoral naturel et le génie maritime climatique

La loi devrait formaliser :

- la création de dunes artificielles,
- la restauration des marais,
- la polderisation climatique,
- les ouvrages hybrides (digues évolutives, clapets naturels),
- les zones de dissipation des vagues.

En 1986, cela n'existait pas. En 2025–2030, cela doit devenir la norme.

4.6. Intégrer la planification à 2100–2300

Aujourd'hui, la planification s'arrête à 2050 ou 2070. Il faut :

- un plan littoral 2100–2300 obligatoire,
- intégré dans SRADDET / SCoT / PLU.

Ce temps long est indispensable car les décisions sur le littoral mettent 50 ans à produire leurs effets.

5. Conclusion : une loi Littoral 2.0 est indispensable

La loi Littoral de 1986 a sauvé les côtes françaises.

Mais elle est aujourd'hui :

- dépassée scientifiquement,
- inadaptée juridiquement,
- muette sur le repli stratégique,
- insuffisante face au changement climatique,
- en contradiction avec les projections du GIEC.

Pour entrer dans une ère d'ingénierie littorale climatique, il faut :

Un nouveau droit du littoral, fondé sur :

- la dynamique du trait de côte,
- la distinction scénarios A/B,
- le droit du repli,
- le financement,
- et la reconnaissance des trois génies littoraux.

Une articulation claire entre État – Région – Communes – Propriétaires – Assureurs.

L'action en cours

Depuis plusieurs décennies, les acteurs publics — État, Régions, Départements, intercommunalités, communes — ainsi que de nombreuses associations (comme Eaux et Rivières de Bretagne, le Conservatoire du Littoral, ou l'Observatoire de l'Environnement en Bretagne) se mobilisent pour protéger le littoral.

Ces efforts ont permis de mieux comprendre les dynamiques côtières, d'éviter des constructions irréversibles, et de tester un large éventail de solutions techniques.

Les protections traditionnelles : acquis, limites et enseignements

Les ouvrages classiques — digues, enrochements, remblais, épis, rechargements de plage — ont longtemps constitué la réponse privilégiée face à l'érosion et aux tempêtes.

Ils ont parfois permis de gagner du temps, de protéger des enjeux humains, et de maintenir des usages essentiels.

Cependant, l'expérience bretonne récente montre que ces approches, efficaces dans les conditions climatiques du XX^e siècle, atteignent aujourd'hui leurs limites face :

- à l'accélération de l'érosion,
- à la multiplication des tempêtes extrêmes,
- à l'élévation du niveau de la mer,
- à la complexité croissante des dynamiques sédimentaires.

Exemples éclairants. Ces exemples ne sont pas des « échecs », mais des retours d'expérience précieux :

- Treffiagat (Finistère, Léhan) : Malgré digues, enrochements et rechargements de sable sur près de vingt ans (plus de 100 000 € investis), le cordon dunaire a reculé d'environ 8 mètres depuis 2021. En 2023, une vingtaine d'habitations ont dû être évacuées à titre préventif. La décision de 2025 d'aller vers un repli stratégique (acquisition et démolition de 7 à 15 habitations) illustre une évolution vers des solutions moins défensives et plus durables.
- Baie d'Audierne, Plozévet, Penhors : Certains ouvrages anciens ont perturbé les dynamiques naturelles, contribuant parfois à la concentration de l'érosion ou à l'aggravation des inondations.

Les projets actuels privilégient désormais la renaturation, la reconstitution des dunes ou la dissipation naturelle de l'énergie marine plutôt que le renforcement systématique des ouvrages.

Ces situations montrent que les protections construites entre les années 1980 et 2000 — souvent pensées pour un climat stable — ne sont plus adaptées au contexte climatique actuel ni futur.

Les nouvelles expérimentations

Les collectivités bretonnes, les services de l'État et leurs partenaires ont engagé de nombreuses expérimentations innovantes, parmi lesquelles :

- Baie de Lancieux (Côtes-d'Armor) : restauration dunaire, gestion dynamique des accès, rechargements contrôlés.
- Golfe du Morbihan : démarches de repli anticipé, requalification d'ouvrages anciens, protection douce des marais littoraux.
- Baie du Mont-Saint-Michel : gestion sédimentaire et renaturation à large échelle, modèle d'ingénierie littorale naturelle.
- Audierne–Pointe de la Torche : expérimentation de solutions fondées sur la nature pour la stabilisation des cordons dunaires.

Ces démarches illustrent une transition vers un nouveau paradigme : passer d'une logique de protection rigide à une logique adaptative, fondée sur les dynamiques naturelles, les scénarios climatiques et la co-construction avec les territoires.

La planification spatiale et temporelle

Le SRADDET Bretagne (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires) reconnaît la nécessité de mieux intégrer les enjeux littoraux, notamment l'érosion, les risques de submersion et l'élévation du niveau marin. Cependant, comme dans la plupart des régions françaises, son action reste limitée par deux contraintes structurelles :

1. Les outils actuels de planification (SRADDET, SCoT, PLU) fonctionnent dans des horizons temporels courts (10 à 15 ans), incompatibles avec les trajectoires climatiques à l'horizon 2100–2300.
2. Le droit en vigueur (notamment la loi Littoral de 1986) ne prévoit pas encore de cadre clair pour :
 - le repli stratégique,
 - la reclassification des terrains,
 - l'adaptation progressive des zones urbanisées,
 - la planification multi-scénarios (scénario A : maintien, scénario B : repli).

Ainsi, malgré des progrès importants et une mobilisation notable des acteurs bretons, il manque encore une vision intégrée à long terme, structurée autour de la montée du niveau de la mer et des transformations profondes des paysages littoraux.

L'action et la planification

L'action s'inscrit dans le temps long.

Cette temporalité permet d'éviter les décisions prises dans l'urgence ou la précipitation, mais oblige en retour à anticiper dès aujourd'hui, sans report ni procrastination. La montée du niveau de la mer étant un phénomène certain, l'inaction serait en elle-même une forme d'imprudence.

L'action se décline en deux grandes phases complémentaires :

1. Les études, analyses et débats publics : une phase pouvant durer de quelques années à une décennie, destinée à établir un diagnostic partagé, à évaluer les options possibles et à construire un consensus territorial.

2. La mise en œuvre de l'action concertée : déploiement progressif des solutions retenues, avec des révisions possibles en fonction des deux horizons climatiques envisagés et de leur enchaînement probable.

La mise en œuvre doit rester flexible, pour pouvoir ajuster les choix au fur et à mesure que les connaissances et les conditions évoluent.

La planification repose sur une proposition stratégique générale, telle que définie ici, puis déclinée localement, jusqu'à l'échelle des communes.

Cette proposition générale consiste à analyser finement chaque mètre, ou chaque kilomètre, de littoral, segment par segment, et à déterminer les mesures adaptées selon les deux horizons temporels :

- protection et adaptation à court / moyen terme,
- rehausse, renaturation ou repli à long terme.

La concertation

L'étude et la proposition de mesures d'adaptation littorale constituent une démarche exigeante pour les personnes et les entreprises concernées. Elles impliquent parfois de renoncer à des aménagements existants, parfois anciens, souvent affectivement importants. Dans ce contexte, des réactions de déni, d'incrédulité ou de fatalisme peuvent apparaître. Elles doivent être entendues et accompagnées.

Cependant, la montée de la mer est un phénomène inexorable. Les décisions doivent être prises collectivement, en tenant compte de l'intérêt général et de la sécurité à long terme des territoires.

Il faut également reconnaître que les finances publiques, même mobilisées, ne permettront pas toujours de compenser intégralement les conséquences individuelles des décisions d'adaptation. Cela rend la concertation d'autant plus essentielle :

- pour expliquer les enjeux,
- pour examiner les alternatives,
- pour rechercher le consensus,
- et, lorsque le consensus est impossible, pour décider selon les règles démocratiques (majorité qualifiée, décision publique assumée).

Certaines parties prenantes devront ainsi accepter des décisions qu'elles n'auraient pas choisies.

C'est la condition d'une adaptation collective dans un contexte de risque croissant.

La désurbanisation du littoral

L'adaptation littorale implique parfois une désurbanisation progressive des secteurs où l'urbanisation passée a été mal maîtrisée ou où les risques futurs sont désormais trop élevés.

Cette désurbanisation peut consister à :

- restaurer des espaces naturels aujourd'hui bâtis ;
- supprimer des servitudes obsolètes (chemins, réseaux, parkings) ;
- réorganiser les usages du sol en zones humides tampons, en espaces de mobilité du trait de côte ou en zones d'expansion des marées ;

- réorienter l'habitat vers des secteurs sécurisés, en particulier lorsqu'il s'agit de résidences secondaires, plus faciles à relocaliser que des zones de résidence permanente.

Il s'agit d'un processus de long terme, gradué, fondé sur l'intérêt général, mais aussi sur la volonté de corriger les erreurs du passé et de préparer un littoral plus résilient pour les générations futures.

Le financement

L'assurance

Un monde à +2 °C n'est plus assurable.

Lorsque des zones littorales sont classées en repli stratégique, aucune assurance ne peut couvrir les dommages directement liés au dérèglement climatique. Les polices d'assurance ne resteraient pertinentes que pour les sinistres non climatiques.

Ces dernières années, lors de destructions de constructions proches du littoral, les pouvoirs publics se sont substitués aux assurances privées pour indemniser des propriétaires.

Cette pratique n'est plus soutenable :

- l'ampleur des travaux de protection et d'adaptation du littoral,
- la fréquence croissante des événements climatiques,
- et la montée du niveau de la mer,

ne permettent pas d'imaginer une prise en charge publique systématique, même étalée dans le temps.

Même lorsque des permis de construire ont été délivrés par l'État ou les collectivités, ces autorités ne peuvent être tenues indéfiniment responsables et solvables pour les dommages futurs.

Cette règle doit être annoncée clairement aux propriétaires de biens exposés.

Une contribution publique pourra subsister dans certains cas, mais :

- elle ne pourra pas correspondre à un dédommagement intégral ;
- la destruction des bâtiments abandonnés restera, dans certains cas, à la charge des finances publiques ;
- des facilités ou des priorités de relocalisation pourront être proposées aux ménages concernés.

La fiscalité

La fiscalité littorale climatique est une fiscalité régionale destinée à financer l'action publique de protection et d'adaptation du littoral face au dérèglement climatique.

Elle repose sur une taxe littorale climatique, qui finance l'allocation littorale climatique, dédiée aux travaux et opérations d'adaptation.

La taxe littorale climatique

Les contributeurs

Chaque habitant bénéficie, directement ou indirectement, d'un littoral protégé et fonctionnel. Chacun est donc appelé à contribuer.

Toutefois, certains propriétaires sont directement concernés par les actions de prévention ou d'adaptation :

- modification de leur parcelle,
- expropriation,
- relocalisation,
- requalification du sol.

Les autres habitants sont concernés indirectement, car la protection du littoral constitue un bien public régional.

Il est donc pertinent de distinguer deux zones fiscales :

1. Une zone intérieure (ensemble du territoire non littoral)
2. Une zone littorale (communes côtières et groupements de communes incluant la côte et les villes portuaires)

Le principe de calcul

La taxe est proportionnelle à la surface de la parcelle privée, avec :

- un taux de base en zone intérieure,
- un taux plus élevé en zone littorale, reflétant un intérêt accru à la protection du littoral.

L'allocation littorale climatique

L'allocation littorale climatique finance :

- les travaux de protection,
- les opérations de repli,
- les aménagements dans le cadre du génie littoral naturel ou du génie maritime climatique.

Elle constitue le principal instrument de financement régional de l'adaptation littorale.

Le coût des travaux

Il est concevable d'établir un ordre de grandeur des coûts pour les principales catégories du génie littoral naturel (polder climatique, dunes, marais), en gardant à l'esprit :

- Ce sont des estimations larges, dépendant de la topographie, de la largeur du front à aménager, des matériaux locaux, de la main-d'œuvre, des besoins fonciers, etc.
- L'objectif n'est pas d'obtenir un devis, mais une échelle comparative utile à une planification régionale.

Voici un tableau d'ordres de grandeur plausibles issus de retours d'expérience génériques (France, Europe du Nord) et de ratios couramment utilisés dans les évaluations socio-économiques littorales.

Les chiffres suivants s'expriment en €/km de littoral réaménagé avec un ordre de prix pour 1 km selon type de génie littoral A considérer avec prudence : ce ne sont que des valeurs indicatives pour réflexion stratégique.

Le polder climatique naturel

(endiguement + terrassement + aménagement hydraulique + gestion sédimentaire)

Ordre de grandeur : 5 à 20 M€ / km. Ce qui coûte cher :

- construction ou renforcement de digues périmétriques,
- terrassement massif,
- évacuation ou redistribution des matériaux,
- systèmes de vannes, clapets, chenaux.

Ce qui réduit les coûts :

- faible hauteur d'endigue (≤ 2 m),
- utilisation de remblais locaux,
- polders destinés à la sédimentation naturelle (moins d'ingénierie mécanique).

Idée générale : un polder écologique, sans pompage intensif, coûte bien moins cher qu'un polder agricole ou urbanisé type Pays-Bas — mais reste l'ouvrage naturel le plus coûteux du trio.

Les dunes littorales restaurées ou créées

(rechargement sableux + végétalisation + génie écologique)

Ordre de grandeur : 1 à 5 M€ / km

Ce qui coûte cher :

- importation de sable (si ressources lointaines),
- travaux avec engins en zone sensible,
- pose d'épis ou ganivelles,
- protection contre piétinement / aménagements d'accès.

Ce qui réduit les coûts :

- sédiments déjà présents localement,
- dunes simplement renforcées, pas créées ex nihilo,
- interventions sur une largeur réduite.

Les dunes sont le dispositif de protection le moins coûteux par km, surtout sur les côtes sableuses.

Les marais littoraux et les zones humides restaurées

(remouillage, excavation légère, chenaux, plantation, rehausse sédimentaire douce). Ordre de grandeur : 0,5 à 3 M€ / km (ou 20 000 à 100 000 €/ha selon la profondeur et la complexité).

Ce qui coûte cher :

- excavation ou reprofilage de vasières,
- gestion hydraulique (vannes, petits ouvrages),

- achat ou libération du foncier agricole,
- gestion d'espèces invasives.

Ce qui réduit les coûts :

- projets fondés sur la sédimentation naturelle ;
- surfaces déjà humides, nécessitant peu d'intervention ;
- restauration passive sur des terrains publics.

Le marais est le plus économique des trois, et souvent le plus rentable écologiquement (carbone + biodiversité + tampon de crues).

Tableau comparatif synthétique

Solution	Coût approximatif / km	Investissement	Entretien	Bénéfices climatiques	Adapté à...
Polder climatique	5–20 M€	Élevé	Moyen	Moyen (sédiments)	Zones basses / rias
Dune littorale	1–5 M€	Modéré	Faible	Moyen (fixation sable + végétation)	Côtes sableuses
Marais / zones humides	0,5–3 M€	Faible	Très faible	Très élevé (carbone, tampon)	Estuaires / arrière-côtes

Ordres de grandeur utiles à retenir dans la planification

- Une digue urbaine en dur dépasse très souvent 40–80 M€ / km → les solutions naturelles sont de 10 à 100 fois moins coûteuses.
- Le marais est de loin la solution la moins chère, et la plus efficace pour la submersion en scénario B.
- Le polder climatique est la solution “naturelle” la plus chère, mais reste 5 à 10 fois moins coûteuse que les polders agricoles intégralement artificialisés.
- Les dunes ont un rapport coût / efficacité exceptionnel, si le contexte géomorphologique le permet.

Conclusion : il est tout à fait concevable de travailler avec des ordres de grandeur pour 1 km d'aménagement littoral.

Les trois catégories de génie littoral naturel possèdent des échelles de coûts assez distinctes pour permettre :

- des arbitrages régionaux,
- des cartes de priorisation,
- des modèles économiques A/B,
- et des projections financières à long terme.

Cela ouvre la voie à une programmation budgétaire réaliste pour 2100–2300.

L'impact sur les activités littorales

Il est possible d'estimer l'impact des travaux d'ingénierie littorale (génie maritime, génie littoral naturel, génie maritime climatique) sur les activités littorales. Et il est même nécessaire de le faire pour une stratégie 2100–2300, car les conséquences socio-économiques sont aussi importantes que les conséquences physiques. Il est possible de fournir une estimation qualitative, structurée et rigoureuse, sans nécessairement traduire chaque impact en euros. Ce qui suit constitue un cadre d'analyse complet et peut être transformé en fiche, matrice d'impacts ou annexe stratégique.

Logement (résidences principales et secondaires)

Effets positifs

- Sécurisation des zones habitées en scénario A (digues, dunes renforcées, polders protégés).
- Stabilisation du marché immobilier dans les zones où le maintien sur place est viable.
- Nouvelles opportunités urbaines dans les zones de repli planifié (nouveaux quartiers rehaussés, reconstruction durable).

Effets négatifs / contraintes

- Gel ou retrait du droit à construire sur des zones devenues inconstructibles.
- Perte de valeur immobilière dans les secteurs à abandon programmé (scénario B).
- Déplacements forcés de certains logements secondaires ou campings.
- Conflits d'usage lors des travaux (nuisances, accès limité, bruit, engins lourds).

Impact global : très fort, car le logement est directement concerné par les décisions de maintien / repli. Le repli planifié permet d'éviter des destructions brutales, mais implique une recomposition urbaine significative.

Tourisme (plages, stations balnéaires, activités nautiques)

Effets positifs

- Dunes restaurées = attractivité paysagère renforcée.
- Plages préservées (nourrissement, recul contrôlé) = maintien de l'offre touristique.
- Sécurisation des infrastructures touristiques (digues urbaines, zones tampon).
- Développement d'un tourisme écologique autour des marais, estuaires restaurés, sentiers sur pilotis.

Effets négatifs

- Perte temporaire d'attractivité pendant les travaux.
- Disparition de certaines plages trop érodées malgré les interventions.
- Fermeture ou repli des campings et zones de loisirs en zone submersible.
- Réduction de capacités d'accueil dans certaines stations (scénario B).

Impact global : très fort mais modulable. Une politique anticipée permet de transformer la contrainte en repositionnement touristique (nature, paysages, résilience).

Cultures marines (ostréiculture, mytiliculture)

Effets positifs

- Amortissement de la houle grâce aux marais, polders naturels, dunes = meilleure protection des parcs.
- Réduction de la turbidité dans certains estuaires restaurés.
- Création de zones de nurserie améliorées dans des marais renaturés.

Effets négatifs

- Élévation de la salinité dans des zones protégées artificiellement (si le barrage ou clapet cesse de jouer son rôle, ex. Vilaine).
- Incertitudes sur les courants si les ouvrages modifient trop la circulation marine.
- Déplacement nécessaire des concessions vers des zones plus stables.
- Conflits d'usage temporaires durant les travaux (accès, dragage, engins flottants).

Impact global : modéré à fort, selon la proximité des parcs à la zone d'intervention.

Les cultures marines sont très sensibles à la qualité d'eau et aux courants.

Pêche professionnelle

Effets positifs :

- Restauration des habitats littoraux (marais, vasières, roselières) = augmentation des nurseries naturelles.
- Stabilisation des plages et estuaires = meilleure survie des juvéniles.
- Réduction des pollutions côtières via désurbanisation / renaturation.

Effets négatifs :

- Perturbation temporaire des zones de pêche (dragage, pose d'ouvrages, chantiers).
- Modification de la dynamique des espèces (arrivée ou disparition d'espèces opportunistes).
- Accès restreint à certains chenaux / estuaires lors des travaux.

Impact global : modéré, mais avec effets durables. Les pêcheurs peuvent être gagnants à long terme (plus de biomasse), mais perdants à court terme (zones temporaires fermées).

Agriculture littorale

Effets positifs

- Protection contre l'intrusion saline en scénario A.
- Possibilité de créer des polders climatiques agricoles extensifs (prairies humides).
- Maintien de surfaces productives dans les zones endiguées.

Effets négatifs

- Salinisation progressive des sols en scénario B.
- Perte de terres agricoles dans les zones renaturées.
- Transformation de fermes littorales en zones humides.
- Déplacements logistiques (chemins, réseaux, irrigation).

Impact global : fort en scénario B, faible à modéré en scénario A. L'agriculture doit être intégrée dans la stratégie de repli.

Port, industrie, logistique

Effets positifs

- Sécurisation stratégique (digues, rehausse, ouvrages anti-tempête).
- Adaptation des infrastructures = continuité des chaînes logistiques.
- Possibilité de créer des plateformes industrielles rehaussées.

Effets négatifs

- Coûts industriels importants (relocalisation, rehausse).
- Perturbations pendant les travaux.
- Réduction possible de l'offre foncière en zone portuaire.

Impact global : très fort : ce secteur est un enjeu critique, notamment sur la Loire.

Matrice synthétique des impacts (A et B)

Secteur	Scénario A	Scénario B
Logement	Maintien possible	Repli massif, désurbanisation
Tourisme	Adaptation, maintien	Recomposition, perte d'infrastructures
Cultures marines	Ajustements	Déplacements, incertitude hydrologique
Pêche	Amélioration possible	Perturbations fortes
Agriculture	Protection limitée	Perte de surfaces, salinisation
Industrie/ports	Protection techniquement possible	Repli ciblé, réorganisation profonde

Conclusion générale : il est tout à fait possible — et essentiel — de fournir une estimation qualitative structurée de l'impact des travaux sur :

- le logement,
- le tourisme,
- la conchyliculture,
- la pêche,
- l'agriculture,
- l'industrie et les ports.

Cette approche peut ensuite être :

- convertie en grille d'aide à la décision,
- intégrée dans la base de segmentation du littoral,
- ou associée à un scoring territorial (impact faible / modéré / fort).

Sigles et abréviation

NGF : Nivellement général de la France

OAP : Orientation d'aménagement et de programmation

PLU : Plan local d'urbanisme

SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

Annexes

Annexe 1 – Les sites expérimentaux

La baie de Lancieux

Sources :

- projet Adapto (<https://lifeadaptoplus.eu/sites/baie-de-lancieux>)
- Baie de Lancieux : <https://bretagne-environnement.fr/article/conservatoire-littoral-mer-baie-lancieux>



<https://lifeadaptoplus.eu/sites/baie-de-lancieux/#image>



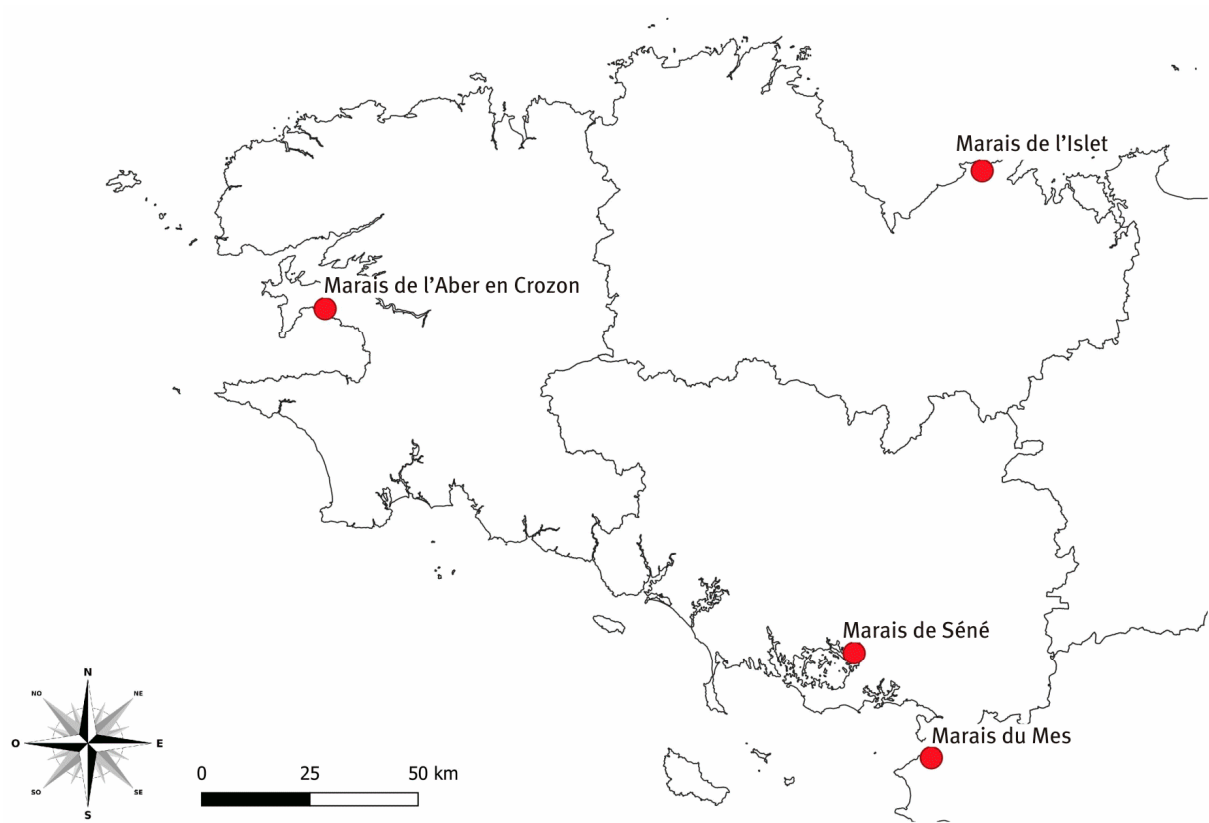
<https://lareleveetlapeste.fr/wp-content/uploads/2024/03/la-releve-et-la- peste-edition-media-independent-littoral-lancieux.jpg>

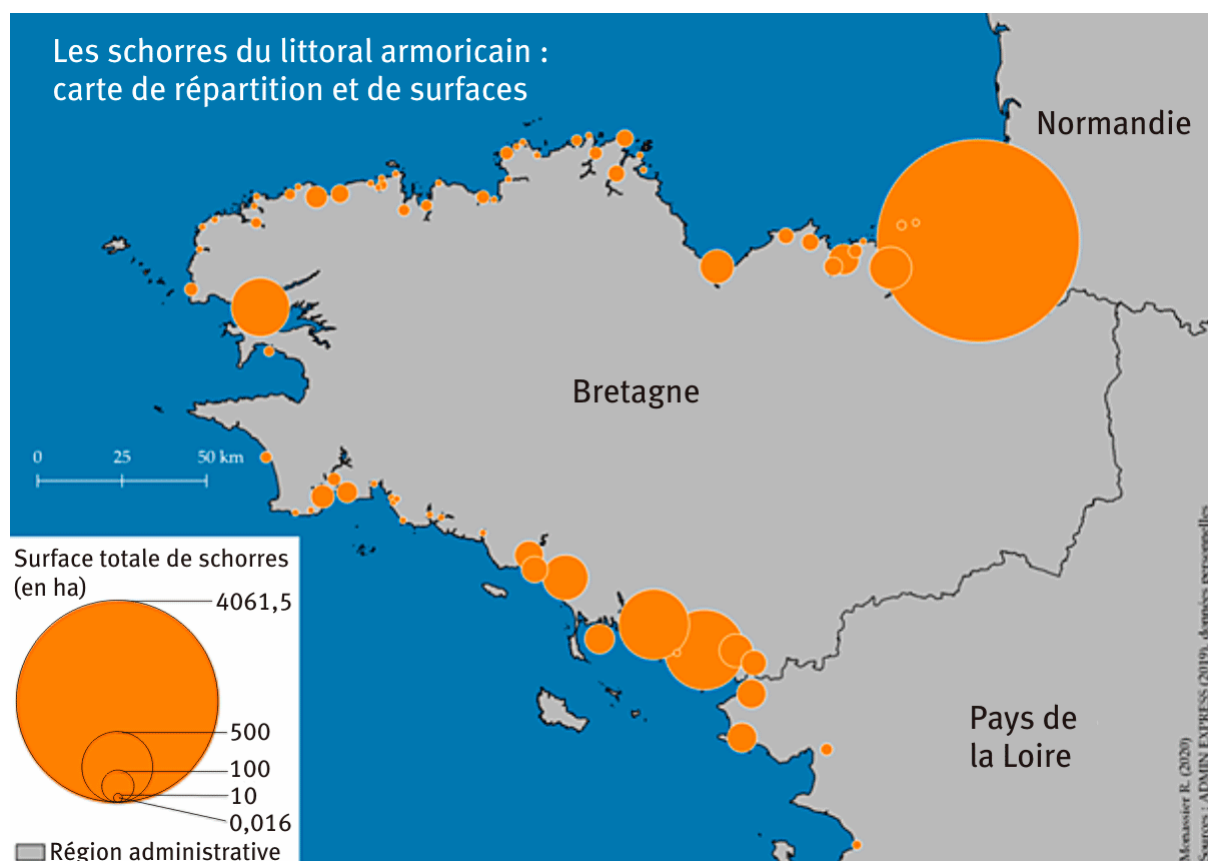
Baie de Lancieux (Côtes-d'Armor, projet Life ADAPTO – Conservatoire du littoral) : le principe est d'accompagner le recul du trait de côte en laissant revenir la mer sur d'anciens espaces endigués, afin de recréer un marais maritime de prés salés qui dissipe l'énergie des vagues et offre une zone d'expansion pour les submersions futures.

Dans ce secteur, la stratégie retenue par les acteurs locaux est de « s'adapter » plutôt que de renforcer systématiquement les digues, en recomposant l'occupation du sol à l'horizon 2050 et en utilisant les marais comme zone tampon naturelle.

Les marais littoraux

Restauration et reconnexion des marais littoraux, une solution d'adaptation aux changements climatiques ? Synthèse d'un colloque (<https://revue-set.fr/article/view/7434>)





Répartition des marais sur le littoral Manche-Armorique (<https://revue-set.fr/article/view/7433>).

La baie de Saint-Brieuc

Source : <https://www.reservebaiedesaintbrieuc.com/decouvrir/les-habitats/les-pres-sales/le-schorre>

Annexe 2 – L'estuaire de la Rance

L'usine marémotrice de la Rance, pionnière mondiale, a démontré à la fois la faisabilité de l'énergie marémotrice et les effets profonds sur un estuaire (envasement, modification des milieux). À l'horizon 2100–2300 et avec la montée du niveau marin, plusieurs options devront être évaluées : maintien de la fonction énergétique avec optimisation écologique, évolution vers un barrage principalement dédié à la gestion des niveaux d'eau, voire, à très long terme, scénarios de semi-ouverture ou de démantèlement partiel. Dans tous les cas, la priorité doit être la résilience du système estuarien et littoral, la production d'énergie n'étant qu'un critère secondaire.

La Rance est déjà un « prototype grandeur nature » de ce qui attend beaucoup d'estuaires barrés avec la montée des eaux.

Examinons 4 grandes familles d'options, en les regardant à travers le prisme :

- montée du niveau de la mer / scénarios A–B–C
- érosion / sédiments
- énergie / usages (route, navigation, paysage)
- faisabilité politique / technique.

Rappel rapide : ce que fait le barrage de la Rance aujourd’hui

- Il contrôle la marée dans tout l’estuaire.
- Il produit de l’électricité (puissance installée \approx 240 MW, production annuelle \approx une petite centrale nucléaire mais très variable).
- Il sert de pont routier entre Saint-Malo et Dinard.
- Il a transformé l’estuaire : envasement, modification des habitats, dynamique sédimentaire, etc.

C’est donc à la fois :

- un ouvrage énergétique,
- un ouvrage de franchissement,
- un barrage de régulation du plan d’eau.

1. Option 1 — Maintien comme usine marémotrice (scénario “status quo aménagé”)

Ce que ça veut dire :

- On garde la logique actuelle : turbines + vannes + fonctionnement marémoteur.
- On adapte à la marge (sécurité, normes, environnement).

Avantages

- Pas de coût colossal de transformation ou démantèlement.
- On conserve la production d’énergie (utile, même si pas décisive).
- On maintient le pont, les usages actuels.

Inconvénients / risques à long terme

- Montée du niveau marin : la différence de niveau entre mer et bassin pourrait évoluer → nécessité d’adapter la gestion pour éviter surcotes côté bassin.
- Envasement continu : sédimentation qui se poursuit, nécessitant plus de dragage ou acceptation d’un estuaire très envasé.
- Rigidité : on se bloque dans un schéma de régulation qui n’est pas forcément optimal pour l’adaptation 2100–2300.

C’est l’option « on continue, on ajuste ». Elle est logique à court/moyen terme (20–40 ans), mais pas forcément optimale à l’échelle 2100–2300.

2. Option 2 — Abandon de la fonction énergie, enlèvement des turbines (barrage hydraulique simple)

Ce que ça veut dire :

- On supprime ou neutralise les turbines.
- On garde le barrage comme ouvrage de contrôle de niveau + pont + écluse.
- Les passes d’eau deviennent de simples vannes.

Avantages

- Moins de contraintes de fonctionnement liées au productible énergétique : on peut optimiser davantage la gestion pour l'écologie, la sédimentation et la sécurité.
- On peut augmenter les périodes d'ouverture pour améliorer le renouvellement d'eau et limiter l'envasement.
- Simplification technique à terme (moins de maintenance lourde sur les turbines).

Inconvénients

- Perte d'une production d'électricité renouvelable symbolique.
- Coût de transformation (dépose, sécurisation des ouvrages).
- Risque politique : « on renonce à un pionnier énergétique historique ».

Intérêt climatique / littoral

- Permettrait de redonner plus de marée dans l'estuaire si on le décide (en ouvrant plus souvent).
- Ou, au contraire, de mieux maîtriser des montées extrêmes si l'on privilégie la protection.

C'est une option intéressante dans une logique scénario B (où la protection/gestion des estuaires passe avant la production d'énergie) tout en gardant le barrage.

3. Option 3 — Démantèlement (retour à un estuaire "ouvert")

Ce que ça veut dire

- On détruit totalement ou en grande partie le barrage.
- L'estuaire redevient un estuaire à marée libre (avec éventuellement un nouveau pont séparé).

Avantages

- On rétablit la dynamique naturelle : marées complètes, sédiments en transit, continuité écologique.
- À long terme, on réduit l'envasement lié au barrage (même si le système ne redeviendra pas immédiatement "comme avant").
- On supprime un grand point dur d'inertie dans l'adaptation à la montée des eaux.

Inconvénients majeurs

- Coût colossal (démolition + gestion des sédiments remobilisés).
- Perte du pont existant → nécessité de reconstruire un franchissement.
- Risques hydrauliques lors de la phase de transition (remise en mouvement de masses d'eau et de sédiments).
- Perte totale de la production électrique.

Littoral / montée des eaux

- Avec la montée de la mer, un estuaire ouvert remonte plus loin et plus fort : plus de submersion potentielle en amont, mais un comportement naturel plus résilient à long terme.

C'est l'option la plus radicale, la plus « écologique » sur le papier, mais aussi la plus lourde techniquement, socialement et financièrement.

Elle serait envisageable seulement dans un horizon lointain (fin XXI^e–XXII^e siècle) avec un projet global d'aménagement de la Rance.

4. Option 4 — Scénarios intermédiaires / réversibles (« semi-ouverture »)

Entre « maintien intégral » et « démantèlement », il existe tout un éventail de scénarios hybrides, probablement les plus intéressants :

4.1. Fonctionnement plus « ouvert »

Même avec turbines, on peut choisir une conduite plus écologique :

- ouvrir davantage les vannes,
- réduire les asymétries marémotrices,
- chercher un compromis entre production et renouvellement d'eau.

Objectif : limiter l'envasement, améliorer la qualité écologique.

4.2. Transformation partielle du barrage

- Garder une partie en barrage/route,
- « Percer » ou élargir certains passages d'eau,
- Ajouter des dispositifs de by-pass sédimentaire ou des passes à poissons améliorées.

4.3. Barrage « anti-tempête »

- Faire évoluer la gestion vers un mode « ouvert la plupart du temps, fermé en événement extrême »,
- Un peu comme les barrières de la Tamise ou du delta néerlandais.
- On ne l'utilise plus pour une marémotrice quotidienne, mais pour la sécurité en cas de surcote exceptionnelle.

Ces options intermédiaires permettent de garder la structure tout en adaptant la fonction aux priorités futures :

- moins d'énergie,
- plus de résilience écologique et de protection.

5. Comment articuler ces options avec tes scénarios A / B / C

Scénario A – Accord de Paris (hausse modérée, $\leq +1,5$ m à 2300)

L'usine peut continuer globalement comme aujourd'hui, avec : optimisation écologique, maintien de la production, ajustements techniques. Option dominante : 1 + un peu de 4.1.

Scénario B – Échec global, montée de la mer +2 à +4 m

La priorité devient : protection et gestion des estuaires, pas l'énergie. L'option 2 (abandon de la fonction marémotrice) + 4.2 / 4.3 prend du sens :

- on garde le barrage comme outil de gestion (niveaux, crues, surcotes),
- on soulage l'estuaire en ouvrant plus,
- on gère les sédiments.

Le démantèlement total (3) pourrait être étudié, mais c'est un choix de civilisation, pas seulement technique.

Scénario C – Réparation du climat (pointe $\sim +0,5$ m, stabilisation)

- Le barrage peut rester une vitrine historique de l'énergie marémotrice,
- avec une gestion plus douce pour limiter l'envasement.
- Option : 1 avec forte amélioration écologique (4.1), pas besoin de transformation radicale.

Annexe 3 – L'estuaire de la Vilaine et le barrage d'Arzal

Pour l'estuaire de la Vilaine et le barrage d'Arzal, en intégrant clairement les trois approches :

- Génie maritime adapté au littoral naturel,
- Génie littoral climatique environnemental naturel,
- Génie maritime climatique pour les zones construites (A : maintien, B : repli),

et fondée sur les scénarios A et B de montée du niveau de la mer.

1. Situation générale

L'estuaire de la Vilaine est un système artificialisé par la mise en service du barrage d'Arzal (1970), dont les fonctions actuelles sont :

- maîtrise des marées,
- production d'eau douce (retenue),
- gestion des crues de la Vilaine,
- navigation fluviale,
- usage agricole et alimentation en eau,
- barrière contre la salinisation.

Le barrage a transformé l'estuaire, qui est aujourd'hui une ria régulée, associant :

- zones basses sédimentaires,
- marais littoraux,
- coteaux urbanisés (La Roche-Bernard, Arzal),
- vallée douce en amont.

L'estuaire est sensible à la montée du niveau marin :

- → risque de submersion en aval,
- → risque de pression accrue sur le barrage,
- → risques de refoulement hydraulique en amont,
- → enjeux agricoles et urbains en arrière.

2. Problématiques identifiées

2.1. Pression hydraulique croissante sur le barrage d'Arzal

Montée du niveau marin = diminution du différentiel entre amont et aval → augmentation des contraintes structurelles et de gestion.

2.2. Envasement / sédimentation

Dynamique comparable (en plus modéré) à ce qu'on observe à la Rance : reflux de marée supprimé, courant descendant ralenti, → tendance à la dépôt de sédiments dans les zones basses et chenaux.

2.3. Zones basses menacées

Marais de Vilaine, terres agricoles, zones d'habitat dispersées → sensibles aux submersions si la mer dépasse +1,5 m en scénario B.

2.4. Continuité écologique altérée

Le barrage crée une rupture dans :

- la chaîne sédimentaire,
- la migration piscicole,
- l'équilibre marin/estuarien.

Analyse par les trois génies

3.1. Génie maritime adapté au littoral naturel

(sécurisation du système estuarien et de l'embouchure)

Objectifs

- protéger les coteaux et les zones hautes,
- renforcer les protections existantes,
- gérer les niveaux d'eau.

Actions possibles

- renforcement ponctuel des berges vulnérables,
- stabilisation des rives par enrochements ou talus sur les points critiques,
- gestion fine des clapets secondaires,
- optimisation des vannes du barrage (hydraulique contrôlée).

Ces actions conviennent aux scénarios A et B, mais doivent rester réversibles pour laisser la place au génie naturel en cas de repli.

3.2. Génie littoral climatique environnemental naturel

(restauration des marais, stockage carbone, zones tampons)

Objectifs

- amortir les crues et les tempêtes,
- créer des zones de dissipation,
- augmenter le stockage sédimentaire et carbone,
- accompagner la montée des eaux.

Actions possibles

- restauration des marais arrière-estuariens,
- création de polders climatiques naturels (zones à sédimentation contrôlée),
- rehausse naturelle des sols par piégeage sédimentaire,
- renaturation des berges,

- gestion douce des chenaux.

Ces solutions accompagnent la montée progressive du niveau marin et préparent un scénario B de manière paisible et écologique.

3.3. Génie maritime climatique pour le littoral construit

(Arzal, La Roche-Bernard, infrastructures, hameaux littoraux)

Décliné selon les deux scénarios :

Scénario A ($\leq +1$ m) — Maintien sur place

Objectifs

- sécuriser les infrastructures,
- prolonger la fonction du barrage,
- garantir la navigabilité et les usages actuels.

Actions recommandées

1. Modernisation du barrage d'Arzal :

- renforcement structurel,
- automatisation intelligente des vannes,
- optimisation du débit pour limiter l'envasement,
- adaptation aux niveaux marins plus hauts.

2. Protection de La Roche-Bernard et Arzal

- renforcement de quais / ouvrages portuaires,
- protections ponctuelles anti-submersion,
- rehausse des réseaux sensibles.

3. Gestion des zones basses

- maintenir des talus,
- surveillance accrue des marais bas.

Dans ce scénario, on « tient la ligne », avec une modernisation du barrage.

Scénario B (1,5 m \rightarrow 3 m) — Repli stratégique et transformation

À ce stade, la mer menace l'intégrité structurelle de la digue-barrage, les marais deviennent submersibles plus souvent, et maintenir une frontière stricte eau douce / eau salée devient extrêmement coûteux.

Objectifs

- sécuriser les populations,
- réduire les ouvrages voués à être submergés,
- préparer une transition vers un estuaire plus naturel,
- relocaliser certains usages.

Actions envisageables

1. Requalification du barrage d'Arzal

- passage partiel ou total à une fonction de barrage anti-tempête,
- ouverture plus fréquente pour éviter la surpression,

- voire neutralisation progressive de la fonction eau douce si compromis trop coûteux.
2. Déplacement des zones d'habitat les plus basses
- repli des campings, zones de loisirs, habitations isolées en cuvette.
 - non reconstruction dans les zones destinées à la submersion future.
3. Renaturation massive de l'estuaire
- conversion d'anciens terrains agricoles en zones tampons (marais climatiques),
 - retour à des chenaux plus libres.
4. Planification d'une nouvelle ligne de défense intérieure
- digues arrière sur les coteaux,
 - protection des zones urbaines.

Dans ce scénario, le barrage reste utile comme ouvrage ponctuel, mais cesse d'être un outil permanent de séparation eau douce / eau salée.

4. Synthèse stratégique A / B

Thème	Scénario A ($\leq +1$ m)	Scénario B ($\geq 1,5$ m)
Barrage d'Arzal	Renforcé + modernisé	Fonction réduite ou transformation anti-tempête
Gestion eaux	Eau douce maintenue	Acceptation progressive de la salinité en aval
Marais	Restauration douce	Extension + zones tampons + polders climatiques
Zones basses	Protection ponctuelle	Repli stratégique
Littoral construit	Tenue sur place	Relocalisation + renaturation
Génie dominant	Maritime + Naturel	Maritime climatique + Naturel

5. Positionnement long terme (2100–2300)

Si le scénario A se stabilise → Le barrage reste, modernisé, et l'estuaire reste séparé mer/eau douce, avec des marais plus vastes mais contrôlés.

Si le scénario B prévaudra (probable si action mondiale insuffisante) → l'estuaire devra progressivement devenir un « estuaire atténué », où le barrage :

- fonctionne moins,
- se transforme,
- ou finit par ne jouer qu'un rôle de protection en tempête.

Quel que soit le scénario :

- Les marais et zones tampons deviendront indispensables.
- Le génie maritime climatique deviendra l'outil principal dans les zones construites (Arzal, La Roche-Bernard).
- Le génie littoral naturel devra reprendre une place structurante en aval.

6. Conclusion

L'estuaire de la Vilaine et le barrage d'Arzal forment un système hybride, fragile et stratégique. La montée du niveau de la mer impose :

- une distinction claire entre scénarios A et B,
- une transition graduelle du génie maritime classique vers un génie maritime climatique,
- une montée en puissance du génie littoral naturel (marais, zones tampons, sédiments),

- une prospective très longue : 2100–2300.

Annexe 4 – L’estuaire de la Loire (Saint-Nazaire – Nantes)

L’estuaire de la Loire est un système beaucoup plus vaste et complexe que celui de la Vilaine :

- il concerne directement Nantes, Saint-Nazaire, Donges, Paimbœuf,
- il inclut un port industriel majeur,
- il contient de nombreuses zones basses menacées par une élévation de +1,5 m à +3 m,
- et il est déjà artificialisé (dragages, chenal, cordons dunaires, digues, marais aménagés).

1. Situation générale

L’estuaire de la Loire est un des plus grands systèmes estuariens français. Il se caractérise par :

- une embouchure soumise à la houle et au vent,
- un chenal fortement aménagé pour permettre l’accès aux docks des Chantiers de l’Atlantique et du terminal méthanier,
- de vastes marais aménagés (Brière, marais de Donges, marais de Loire),
- des zones industrielles stratégiques (Saint-Nazaire, Donges),
- une métropole en fond d’estuaire (Nantes),
- des zones naturelles (réserves, îles, roselières).

Cet estuaire est déjà artificialisé, mais reste très dynamique, avec des mouvements sédimentaires intenses. Il est exposé à :

- l’élévation du niveau de la mer,
- la salinisation progressive,
- la submersion des zones basses,
- des surcotes de tempête de plus en plus fréquentes.

2. Problématiques majeures

2.1. Submersion des zones basses

Du Pellerin à Saint-Nazaire, une grande partie des terres sont à des altitudes < +2 m.

2.2. Risques industriels

Zones pétrochimiques (Donges), ports, chantiers navals :

- → besoin de protection renforcée en scénario A,
- → réflexion sur le repli en scénario B.

2.3. Navigation et dragage

Le maintien d'un chenal profond implique :

- dragages réguliers,
- perturbations sédimentaires,
- coûts croissants avec la montée du niveau marin.

2.4. Dépendance aux digues historiques

Les marais sont un système semi-artificiel nécessitant : pompage, digues, évacuation.

3. Les trois génies appliqués à l'estuaire de la Loire

3.1. Génie maritime adapté au littoral naturel

(embouchure, façade Saint-Brévin / Le Croisic, falaises, plages sableuses)

Actions possibles

- renforcement des digues maritimes existantes,
- brise-lames pour casser la houle à l'embouchure,
- stabilisation de l'estuaire aval,
- confortement des plages occidentales.

Ce génie s'applique à l'embouchure et aux côtes sableuses ou rocheuses proches.

3.2. Génie littoral climatique environnemental naturel

(zones humides, Brière, marais de Loire)

Actions possibles

- extension des marais littoraux restaurés,
- rehausse naturelle par sédimentation,
- création de polders climatiques absorbant les crues,
- renaturation d'anciennes zones agricoles basses,
- augmentation des zones tampons naturelles.

Les marais deviennent un actif climatique majeur :

- stockage carbone,
- absorption des crues,
- dissipation de l'énergie des tempêtes.

3.3. Génie maritime climatique (zones construites : Saint-Nazaire, Donges, Nantes aval)

Décliné selon scénario A (maintien) et scénario B (repli).

Scénario A ($\leq +1$ m) — Maintien des fonctions essentielles

Objectifs

- protéger les zones industrielles critiques,
- maintenir les activités portuaires,
- contenir les submersions modérées.

Actions recommandées

1. Rehausse et renforcement des digues industrielles : zones Donges, Montoir, terminaux portuaires.
2. Modernisation du système de pompage dans les marais : évacuation en cas de marée haute surélevée.
3. Optimisation du chenal de navigation : dragage intelligent, réduction de la turbidité.
4. Protections anti-submersion pour Saint-Nazaire : ouvrages mobiles, rehausse progressive des quais.
5. Trajectoire « tenir la ligne » à Nantes : surélévation des quais, protection ponctuelle.

Dans A, le système reste gérable avec des investissements importants mais réalistes.

Scénario B (1,5 m → 3–4 m) — Repli stratégique et reconfiguration de l'estuaire

À partir de +1,5 m, beaucoup de zones basses deviennent difficilement protégeables.

Objectifs

- transférer les zones les plus vulnérables,
- sécuriser les populations,
- réduire la dépendance aux digues,
- anticiper la transformation du fonctionnement estuarien.

Actions envisageables

1. Relocalisation progressive des zones industrielles les plus basses (Donges en priorité).
2. Transformation de la Brière et des marais en zones tampon étendues
 - accepter les submersions plus fréquentes,
 - laisser évoluer la salinité.
3. Recul de certaines routes littorales (notamment sur la rive sud).
4. Réorganisation du port de Saint-Nazaire : nouvelles digues internes, possible déplacement partiel d'activités.
5. Repli partiel de certains quartiers de Nantes aval : îles, zones industrielles basses.
6. Abandon progressif de certaines digues anciennes (laisser l'estuaire respirer).

Dans B, le génie maritime climatique devient un outil de transformation, pas de résistance.

4. Synthèse stratégique

Thème	Scénario A	Scénario B
Industrie / Ports	Maintien + protection	Relocalisation partielle
Brière / Marais	Gestion + restauration	Zones tampons majeures
Nantes	Protection maîtrisée	Repli sélectif
Chenal	Maintenu	Réévalué selon coûts
Digues	Renforcées	Certaines abandonnées
Stratégie dominante	Tenir là où c'est vital	Reconfigurer l'estuaire

5. Vision 2100–2300

Si scénario A (rare mais souhaitable) :

- l'estuaire reste navigable,
- Saint-Nazaire reste un grand port,
- les marais sont restaurés mais contrôlés.

Si scénario B (probable sans action mondiale forte) :

- transformation profonde du système estuarien,
- zones basses deviennent maritimo-estuariennes,
- industrie et urbanisme migrent vers des coteaux,
- la Brière prend un rôle structurel comme zone climatique tampon,
- la Loire redevient un grand estuaire « ouvert ».

6. Conclusion

L'estuaire de la Loire devra, plus encore que celui de la Vilaine :

- combiner les trois génies (maritime adapté, littoral naturel, maritime climatique),
- sécuriser l'industrie (court terme),
- anticiper la relocalisation (long terme),
- mobiliser la nature comme alliée (marais, Brière),
- préparer la transformation profonde du territoire sur 150 à 200 ans.

La Loire est un test majeur de la capacité de la Bretagne élargie à devenir une région pionnière de l'adaptation climatique et, au-delà, de la réparation du climat.

Sommaire long

Sommaire	3
Présentation	3
La démarche	3
Les schémas d'évolution	4
Les schémas d'évolution	4
Les scénarios du GIEC	4
La cartographie de l'élévation	5
L'érosion du littoral et les variations du niveau du sol.....	7
Le scénario A : l'Accord de Paris est réalisé.....	7
Le scénario B – l'Accord de Paris est un échec.....	8
Le dérèglement.....	8
Les conséquences pour le littoral breton	9
Comparaison synthétique entre les deux scénarios.....	9
Un scénario extrême.....	10
Les segments de littoral.....	11
Les estuaires et les rias.....	11

Les zones non construites	12
Les zones construites	12
La côte rocheuse à falaise entre estuaires	13
Les zones non construites	13
Les zones construites	14
La côte plate d'accumulation entre estuaires	14
Les zones non construites	14
Les zones construites	15
Synthèse.....	15
Le génie maritime.....	16
Le génie maritime traditionnel.....	16
Le génie maritime climatique	18
Le génie maritime pour le littoral naturel	19
La démarche	19
Les polders et les terres gagnées sur la mer.....	19
L'élévation du terrain (rehaussement contrôlé).....	20
Les dunes végétalisées.....	20
Les cordons sableux.....	20
Les banquettes de zostères ou posidonies.....	20
Les tourbières littorales	20
Les marais littoraux et les zones humides côtières.....	20
Les forêts littorales et les haies anti-submersion (barrières végétales).....	21
Les dunes artificielles « carbonées »	21
Les systèmes de circulation contrôlée	21
Les chenaux naturels restaurés	21
Les « Living Seawalls » (digues végétalisées captatrices de carbone).....	22
Synthèse.....	22
Le génie maritime technique.....	23
Les digues, jetées et épis.....	23
Les enrochements	23
Les mécanismes de marée	24
Les écluses.....	24
Les canaux	25
Les systèmes de pompage.....	25
Le génie maritime climatique pour le littoral construit.....	25
Les étapes	25
Étape A — Le maintien sur place	25
Étape B — Le repli stratégique	26
Les axes d'innovation supplémentaires.....	26
La captation océanique du CO2 et le rejet côtier d'eau désacidifiée et oxygénée	27
Ajout de biochar et de granulats enrichis en carbone dans les ouvrages littoraux	27
Une convergence stratégique : protéger + restaurer + réparer le climat	28
L'action publique	29
Le droit et la réglementation	29
Le droit du littoral, ses limites et les évolutions nécessaires (2025).....	29
L'action en cours.....	33
Les protections traditionnelles : acquis, limites et enseignements	33
Les nouvelles expérimentations.....	34
La planification spatiale et temporelle.....	34
L'action et la planification	34
La concertation.....	35

La désurbanisation du littoral.....	35
Le financement.....	36
L'assurance.....	36
La fiscalité.....	36
La taxe littorale climatique.....	37
Les contributeurs.....	37
Le principe de calcul.....	37
L'allocation littorale climatique.....	37
Le coût des travaux.....	37
Le polder climatique naturel.....	38
Les dunes littorales restaurées ou créées.....	38
Les marais littoraux et les zones humides restaurées.....	38
L'impact sur les activités littorales.....	40
Logement (résidences principales et secondaires).....	40
Tourisme (plages, stations balnéaires, activités nautiques).....	40
Cultures marines (ostréiculture, mytiliculture).....	41
Pêche professionnelle.....	41
Agriculture littorale.....	41
Port, industrie, logistique.....	42
Matrice synthétique des impacts (A et B).....	42
Sigles et abréviation.....	43
Annexes.....	43
Annexe 1 – Les sites expérimentaux.....	43
La baie de Lancieux.....	43
Les marais littoraux.....	45
La baie de Saint-Brieuc.....	47
Annexe 2 – L'estuaire de la Rance.....	47
Annexe 3 – L'estuaire de la Vilaine et le barrage d'Arzal.....	51
Annexe 4 – L'estuaire de la Loire (Saint-Nazaire – Nantes).....	55
Sommaire long.....	58