



Programme d'accompagnement pour l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte



Webinaire – Mardi 13 décembre 2022

Programme d'accompagnement



Développement méthodologique et outils

- Document de recommandation pour la réalisation des cartes locales  **Publié**
- Trame de cahier des charges  **A venir**

Séances d'information

- Webinaires nationaux  **En cours**
- Webinaires en région  **A venir**

Mise en réseau et communication

- Plateforme collaborative  **A venir**
- GT experts et articles  **A venir**

Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte

Donner aux collectivités des **repères méthodologiques** concernant l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte :

- les **principales questions** à se poser,
- les **tâches à réaliser** successivement afin d'aboutir à une cartographie des zones exposées au recul du trait de côte.

Les recommandations du document n'ont **pas de valeur prescriptive**.

⇒ **Publication le 21 octobre 2022 sur Géolittoral**

<https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/recommandations-pour-l-elaboration-des-cartes-a1274.html>



Trame pour la rédaction des cahiers des charges

Objectif : Faciliter et contribuer à homogénéiser la production des cartes locales

Déclinaison du document de « **Recommandations pour l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte** », qui propose un déroulé d'étude et des approches pour élaborer des cartes locales.

Trame de cahier des charges destinée à aider les collectivités dans l'élaboration des pièces techniques des appels d'offres qui seront lancés pour les études cartographiques



Livrable attendu pour début 2023

Séances d'information



Webinaires nationaux :

- Webinaire à destination des élus le 14 novembre 2022
- Webinaire à destination des services techniques des collectivités : aujourd'hui !

Séances d'information en région :

- Prioritairement pour les communes listées
- Avec les services déconcentrés de l'Etat



Séances à partir du 20 février 2023

Mise en réseau et communication

Objectifs à terme : Structurer une communauté d'acteurs sur l'élaboration et la mise en application des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte

Constituer, puis animer, des communautés d'acteurs locaux sur la plateforme [Expertises.Territoires](#). Echanges d'informations techniques, partage des bonnes pratiques,

Constitution d'un groupe de travail scientifique, constitués d'experts et de référents techniques faire émerger des projets structurants et des solutions innovantes.

Rédaction d'articles techniques sur la thématique des cartes locales



Programme d'accompagnement

Publication d'un document de recommandations pour l'élaboration de cartes locales
d'exposition au recul du trait de côte aux horizons 30 ans et 30-100 ans sur le site geolittoral

Webinaire national pour les élus

Mise à disposition d'une trame de cahier des charges pour faciliter le recrutement des bureaux d'études par les collectivités

Mise à jour des recommandations au vu du retour d'expérience

Octobre 2022

Novembre

Décembre

2023

Webinaire national pour présenter aux services techniques des collectivités concernées les recommandations pour l'élaboration de la carte locale

Séances d'information des services techniques des collectivités par région, en lien avec les services déconcentrés chargés de la planification territoriale et avec la participation des opérateurs (CEREMA / BRGM)



Question / Réponse sur la carte locale

- Aspects réglementaires

- Conséquences de la carte locale

- Financement

- Actions d'accompagnement

⇒ Séquence suivante, plus technique, sur les recommandations pour élaborer les cartes locales d'exposition au recul du trait de côte



Recommandations pour l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte

Webinaire – Mardi 13 décembre 2022

Présentation du document

Structuration du document

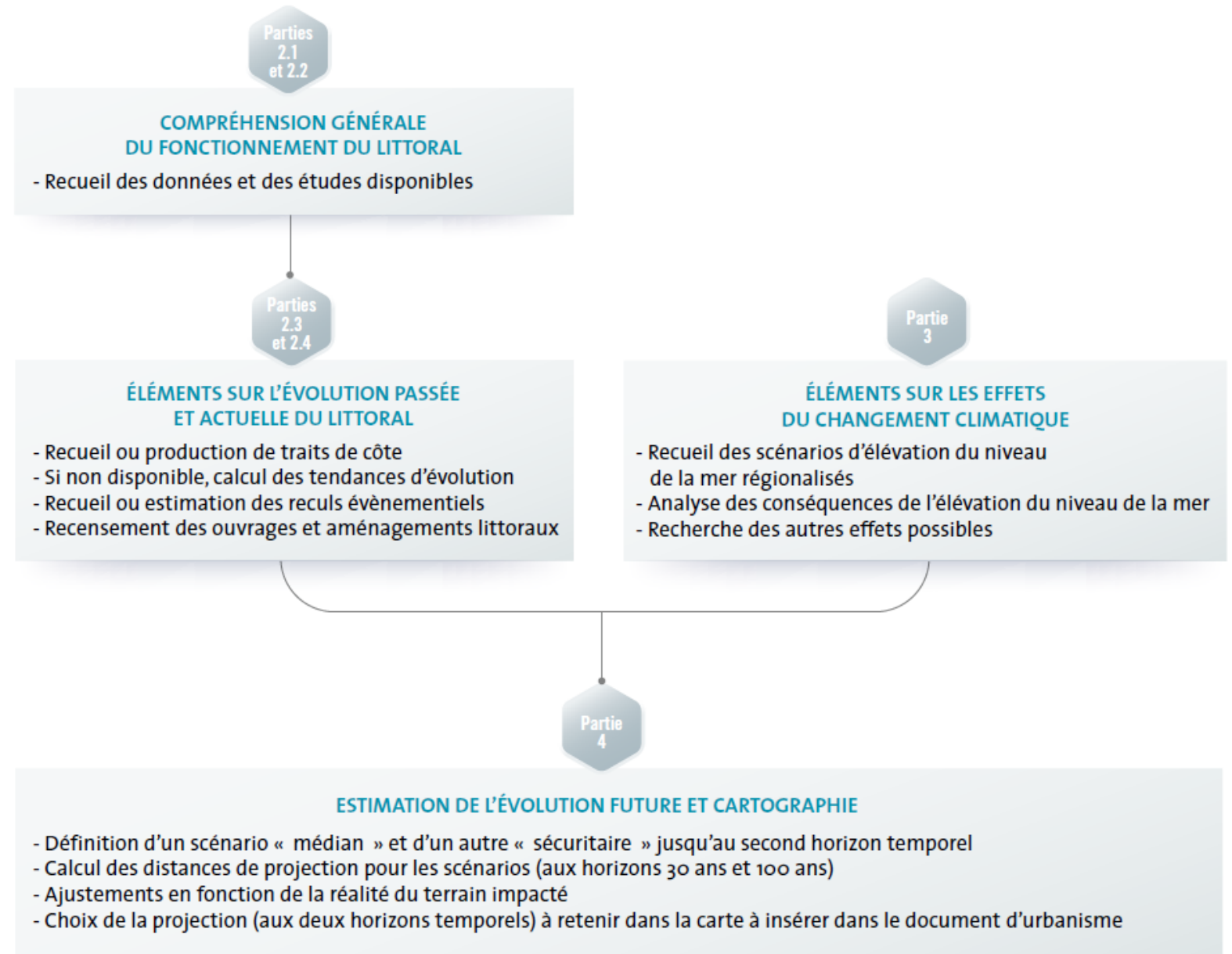
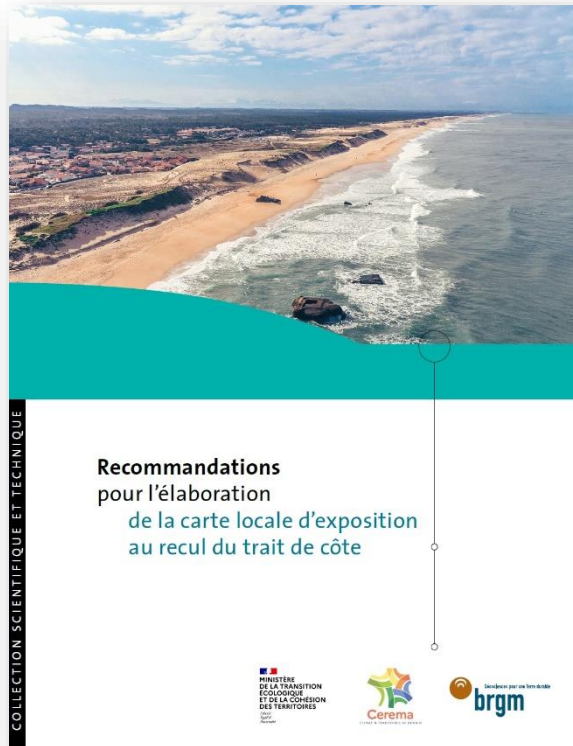
- 1 Éléments introductifs
- 2 Connaissance de la mobilité du littoral
- 3 Influence du changement climatique
- 4 Méthodologie pour la cartographie de la projection du trait de côte
- 5 Usages et limites de la cartographie
- 6 Modalités pratiques

Pour aller plus loin, développement des approches méthodologiques (fiches techniques)

Glossaire



Démarche



Apports majeurs du document

Prise en compte des données existantes dans la méthodologie

Prise en compte du changement climatique

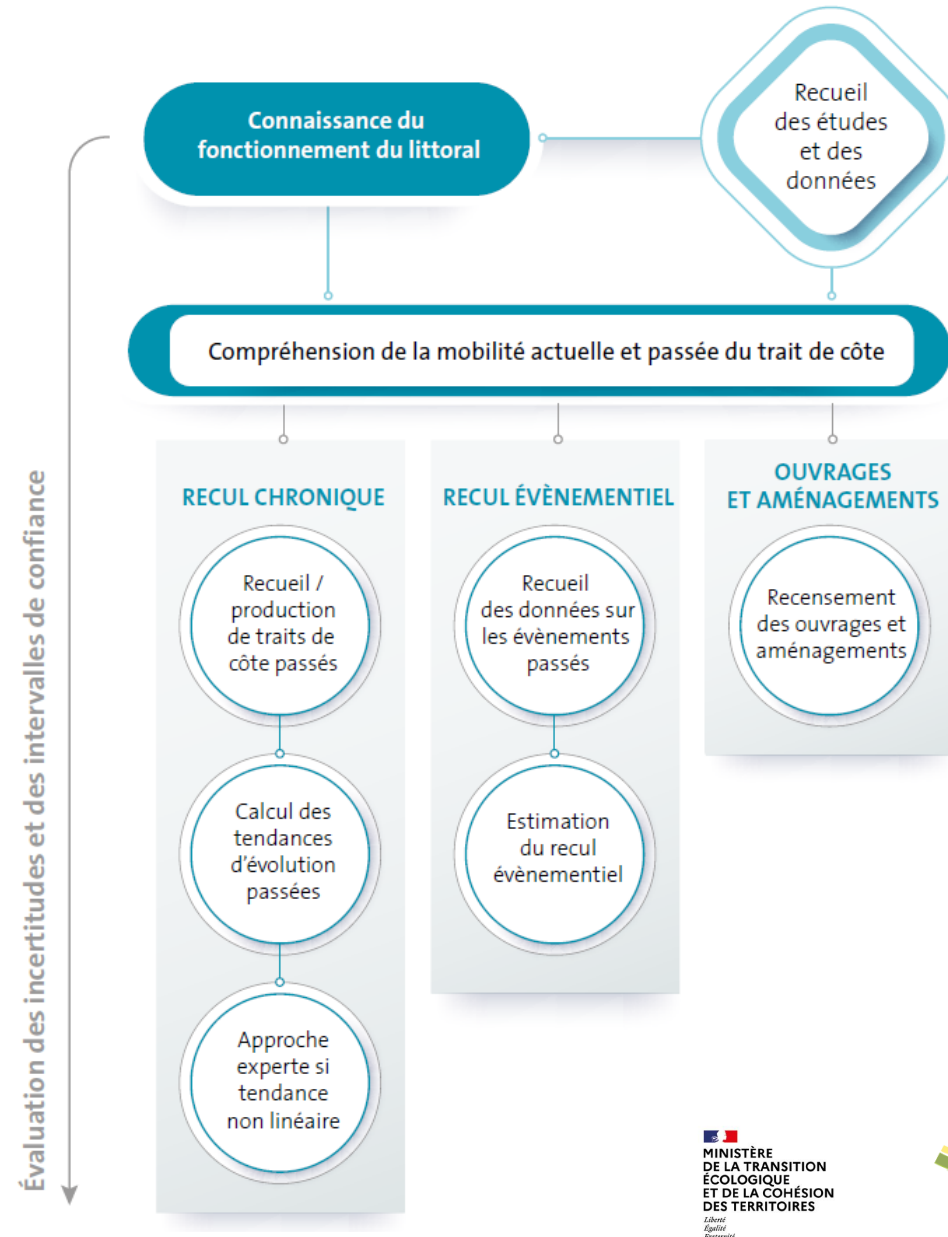
Intégration du recul progressif lié à l'élévation du niveau de la mer

Si nécessaire, prise en compte des évolutions non linéaires du trait de côte

Réflexions sur des scénarios (hypothèses de recul, ouvrages, élévation du niveau de la mer, zones basses)

➡ **Ce document se veut dynamique et sera enrichi par les retours d'expérience**

Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral



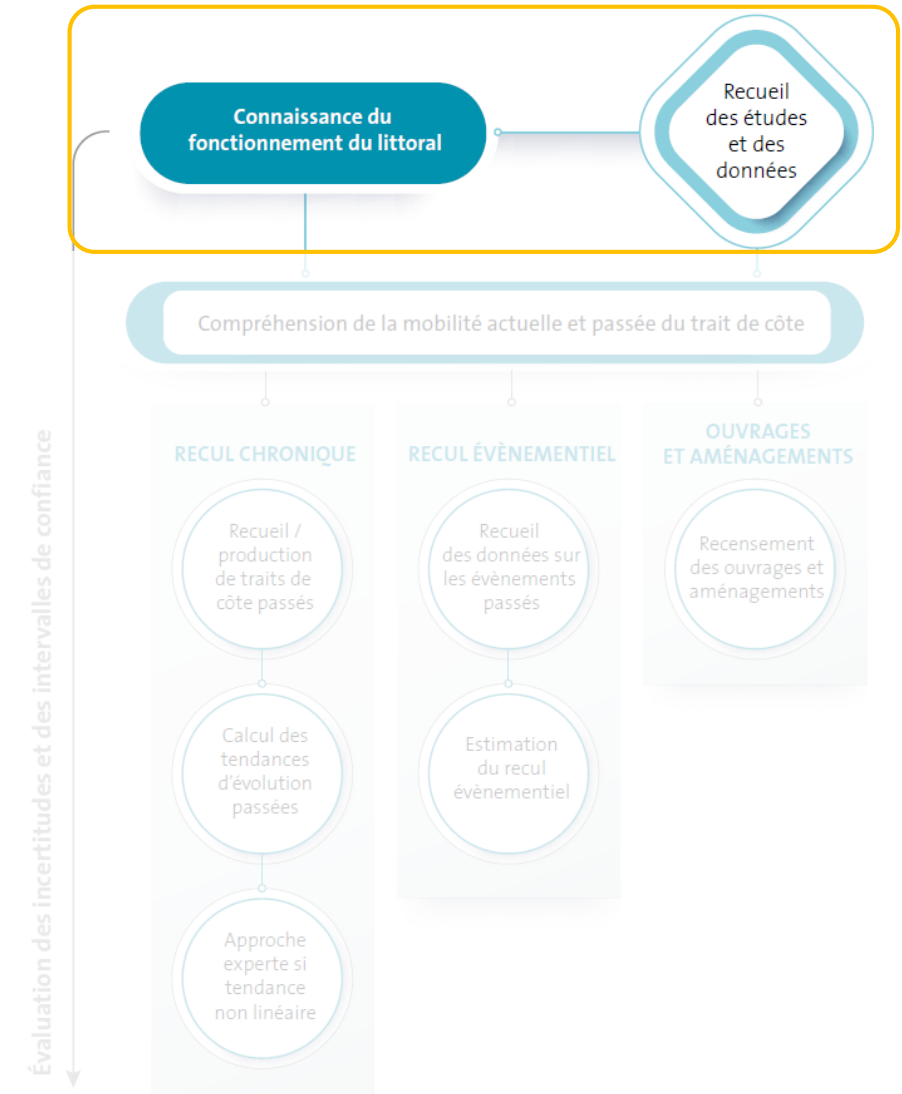
Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Prendre en compte le fonctionnement général du littoral

- **Se focaliser uniquement sur les données trait de côte est insuffisant pour comprendre**
 - Procéder à une analyse à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires ou à une échelle pertinente pour décrire le fonctionnement local

Prendre en compte l'ensemble des données existantes

- **Rôle central des observatoires**
- **Inventaire exhaustif des études locales**
 - Données, études et connaissances générales sont nécessaires pour justifier localement les approches méthodologiques et les choix cartographiques
 - Production de rapport de synthèses des connaissances et schémas de fonctionnement
 - Expertise et acquisition de données ou études en cas de manques cruciaux



Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Prendre en compte le fonctionnement général du littoral

- Se focaliser uniquement sur les données trait de côte est insuffisant pour comprendre
 - Procéder à une analyse à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires ou à une échelle pertinente pour décrire le fonctionnement local
 - Production de synthèses des connaissances et schémas de fonctionnement

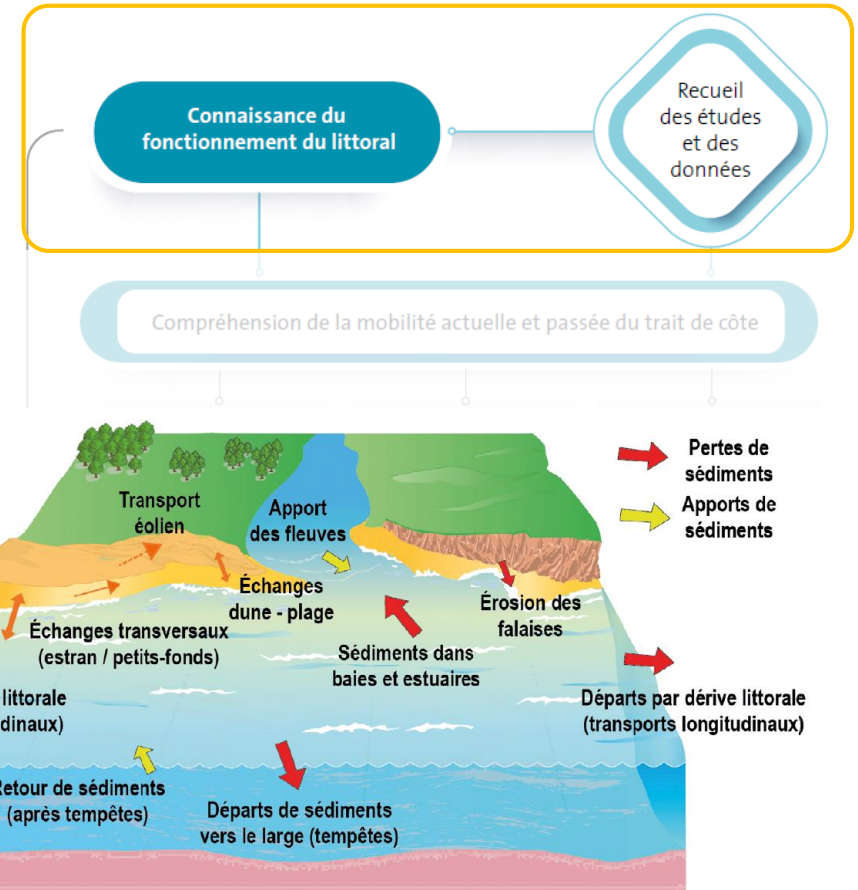
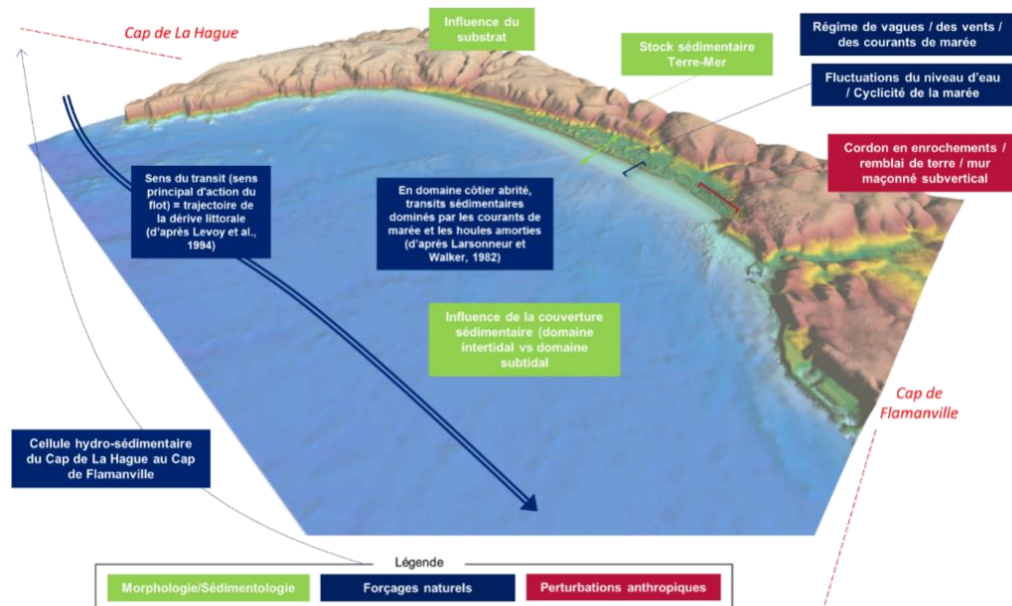


Figure 6 : Schématisation des transits sédimentaires sur le système littoral. BRGM, fond adapté de Cazenave et Le Cozannet, 2014

Exemple de l'Anse de Vauville

➤ Source : Desmazes et al. (2019) BRGM/RP-68626-FR

Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Prendre en compte l'ensemble des données préexistantes

- Rôle central des jeux de données nationaux et des Observatoires littoraux
 - Inventaire exhaustif des études locales
 - Expertise / Acquisition de données / Etudes spécifiques, en cas de manques cruciaux

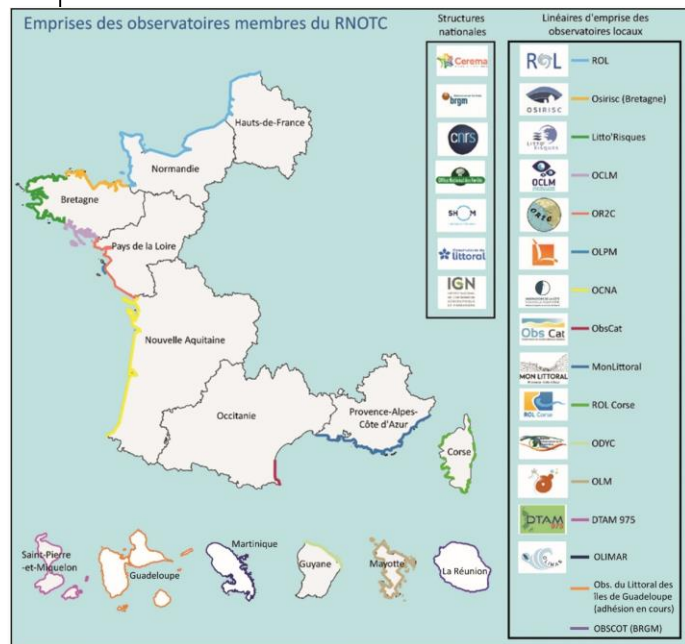


Figure 10 : Emprises des observatoires du trait de côte du RNOTC en avril 2022. BRGM et Cerema

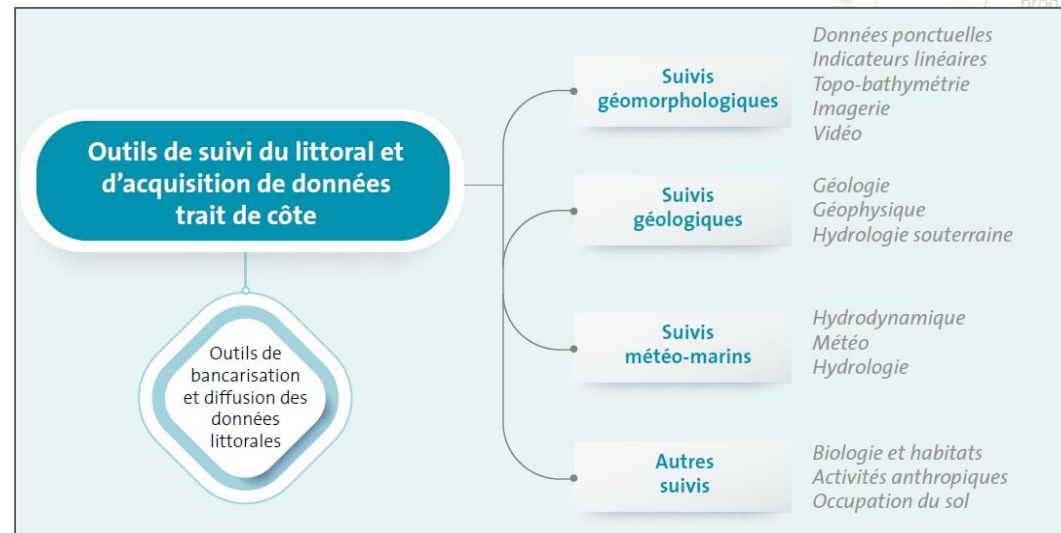


Figure 11 : Les différents types de suivi du littoral. BRGM



Compréhension

RECUL CHRONIQUE

Recueil / production de données

Voir **Fiches techniques** pour la partie "Connaissance de la mobilité du littoral"

➤ **Liens internet utiles vers les portails de données nationales**

Fiches techniques pour la partie "Connaissance de la mobilité du littoral"

Liens utiles

- Site internet du RNOTC (Réseau national des observatoires du trait de côte) : observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/
- Portail Géolittoral : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/
- Espace de téléchargement de données de Géolittoral : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/tout-le-terrain-en-ligne-donnees-geolittoral-8847.html
- Portail du Zhov : zhoval.developpement-durable.gouv.fr/
- Portail Géovigilance : www.geovigilance.gouv.fr/
- Portail du BRGM : www.brgm.fr/
- Plateforme documentaire du BRGM : www.brgm.fr/qualite-donnees-references-publications-brgm
- Portail le FIGC : www.ign.fr/carto
- Portail - Gestion du Trait de Côte - du Cerema : www.cerema.fr/fr/actuelles/mee-littoral/gestion-du-littoral-mee/gestion-du-trait-de-cote
- Plateforme documentaire du Cerema : doc.cerema.fr/
- Guide PPS Littoral (MNT, 2014) : www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/GuidePPS2014.pdf
- Indicateur national de l'érosion côtière (Géolittoral) : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-472.html
- Cartographie nationale des ouvrages et aménagements (Géolittoral) : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/cartographie-nationale-des-ouvrages-et-amenagements-4502.html
- Dynamiques et évolution du littoral - synthèse des connaissances des côtes françaises (Géolittoral) : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/dynamiques-et-evolution-du-littoral-synthese-des-4642.html
- Téléchargement du logiciel MableTC : github.com/CEREMA/thermed-MableTC
- Accès aux millimètres de l'Ortholittoral : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/orthophotographie-du-littoral-4583.html

Fiche 2.1.1 Méthodes d'observation et de suivi du trait de côte

Le logigramme principal propose une vision synthétique des approches permettant l'acquisition de données de trait de côte à partir de outils de suivi et d'observation du milieu littoral.

Trois types de méthodes sont distinguées et détaillées dans la suite du logigramme :

- méthodes basées sur des données linéaires (traverses, profils de plages, suivi de marqueurs). Les données de terrain sont obtenues grâce au positionnement GPS d'indicateurs permanents observables par un opérateur ;
- méthodes basées sur la télédétection et les orthophotographies. Ces données de télédétection sont obtenues grâce à différents porteurs modulaires (satellites, avion, hélicoptère, drone) ou sont fixes (vidéo). Elle nécessite un travail de post-traitement pour analyser les images et positionner précisément les indicateurs de suivi ;
- méthodes basées sur les MNT. Les mesures sont acquises par des moyens de télédétection (relevés par lidar, photogrammétrie) ou des campagnes de terrain grâce à des moyens topo-bathymétriques.

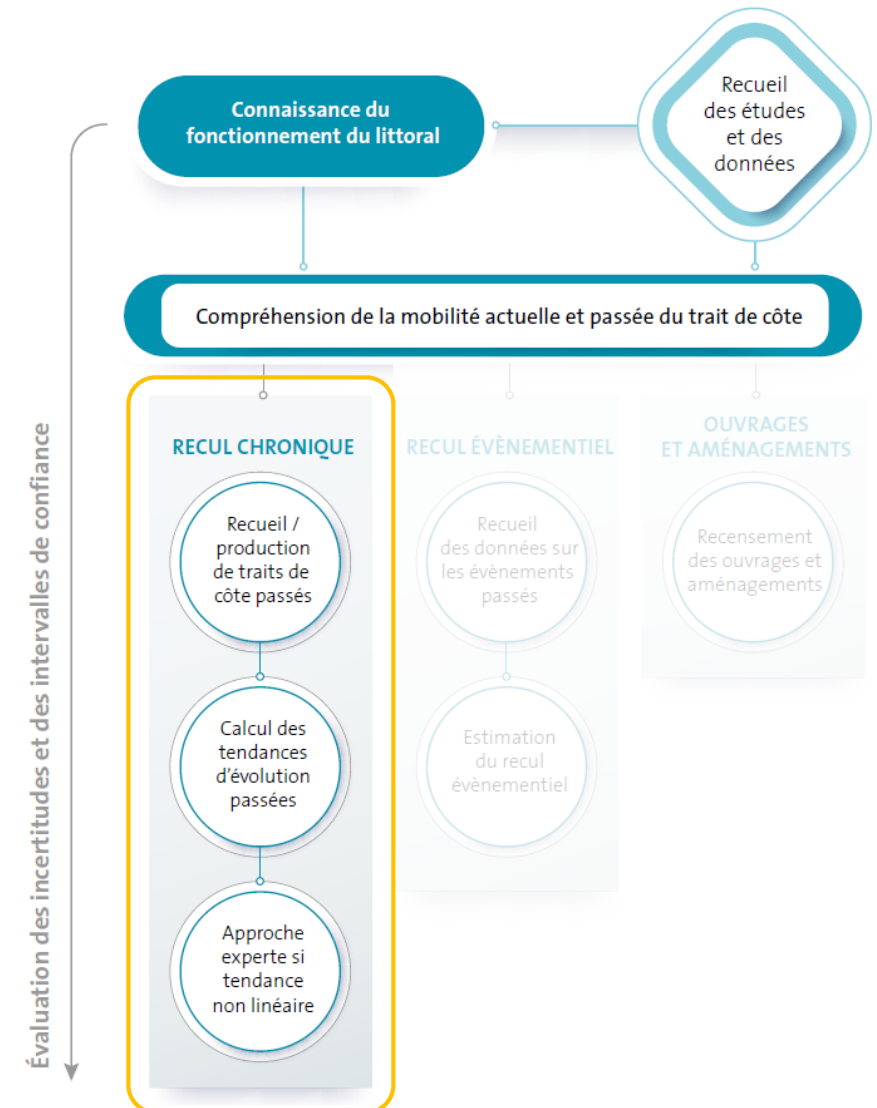
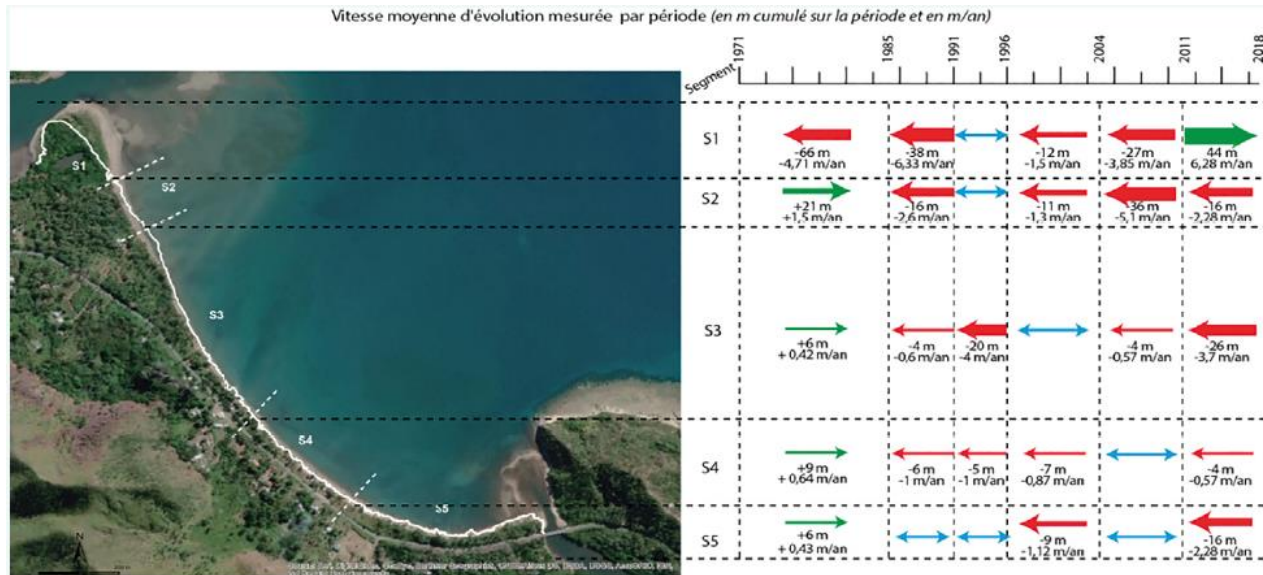
Recommandations pour l'utilisation de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte

Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Analyser la mobilité du trait de côte

○ Evolution chronique du trait de côte

- Analyse linéaire possible ou approche "experte" en cas de côte complexe et /ou d'évolutions temporelles non-linéaires.
- Des éléments concrets sont proposés pour cadrer l'approche "experte"



Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Analyser la mobilité du trait de côte

○ Recul majeurs évènementiels

- Favoriser les **données d'observation** et la **quantification des phénomènes et forçages**
- **Axe de développement et d'études**



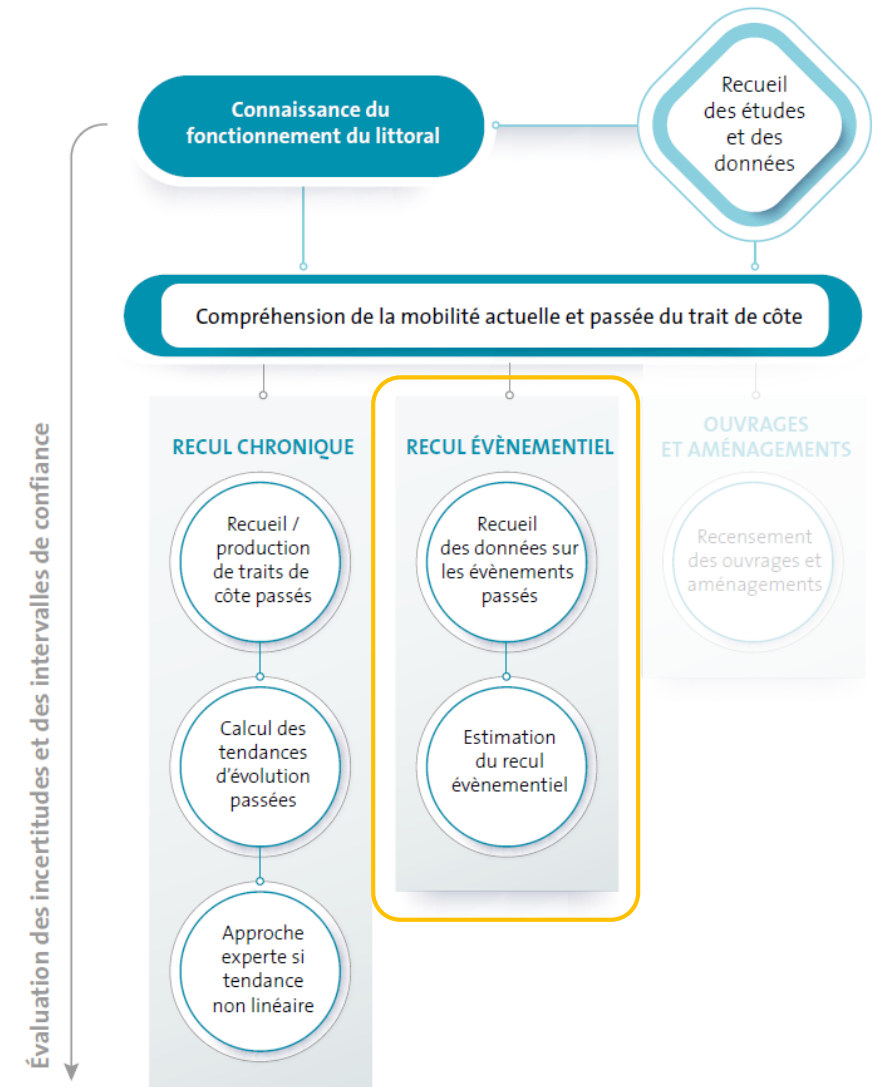
Crédit photo : BRGM, F. Desmazes

Recul du trait de côte sous l'effet d'évènements majeurs
Soulac-sur-Mer durant l'hiver 2013-2014

Approche Lmax : effet direct d'un évènement sur le recul à l'horizon temporel

- *Méthode employée dans les PPRL depuis 2014*
- *Intervient lorsque le recul chronique du trait de côte à l'échéance voulue est établi*
- *Consiste à cartographier un recul supplémentaire, lié à un évènement d'ampleur exceptionnel*
- *S'inscrit dans une démarche sécuritaire, de prise en compte des incertitudes liées aux phénomènes extrêmes.*

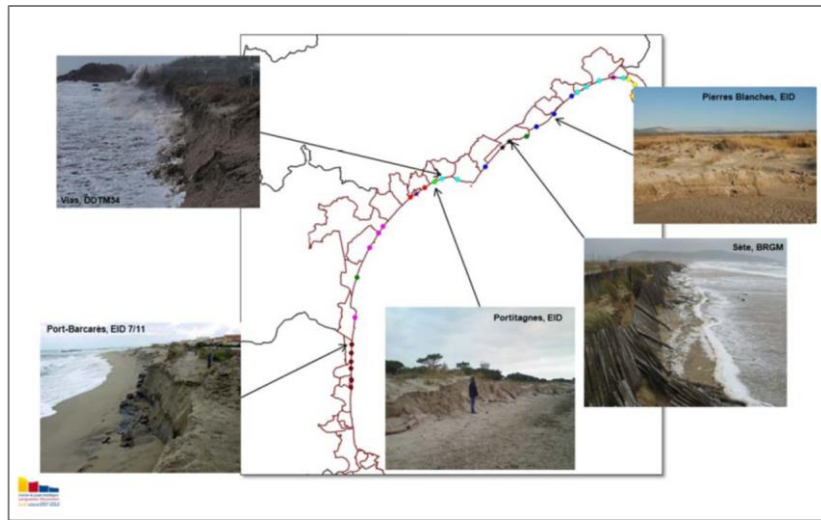
Analyse des effets indirects recommandée : impact sur le fonctionnement général du littoral



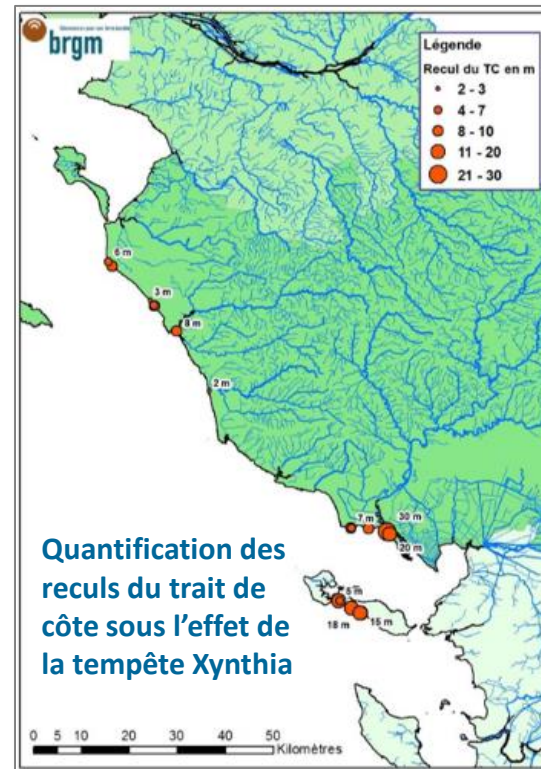
Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Analyser la mobilité du trait de côte

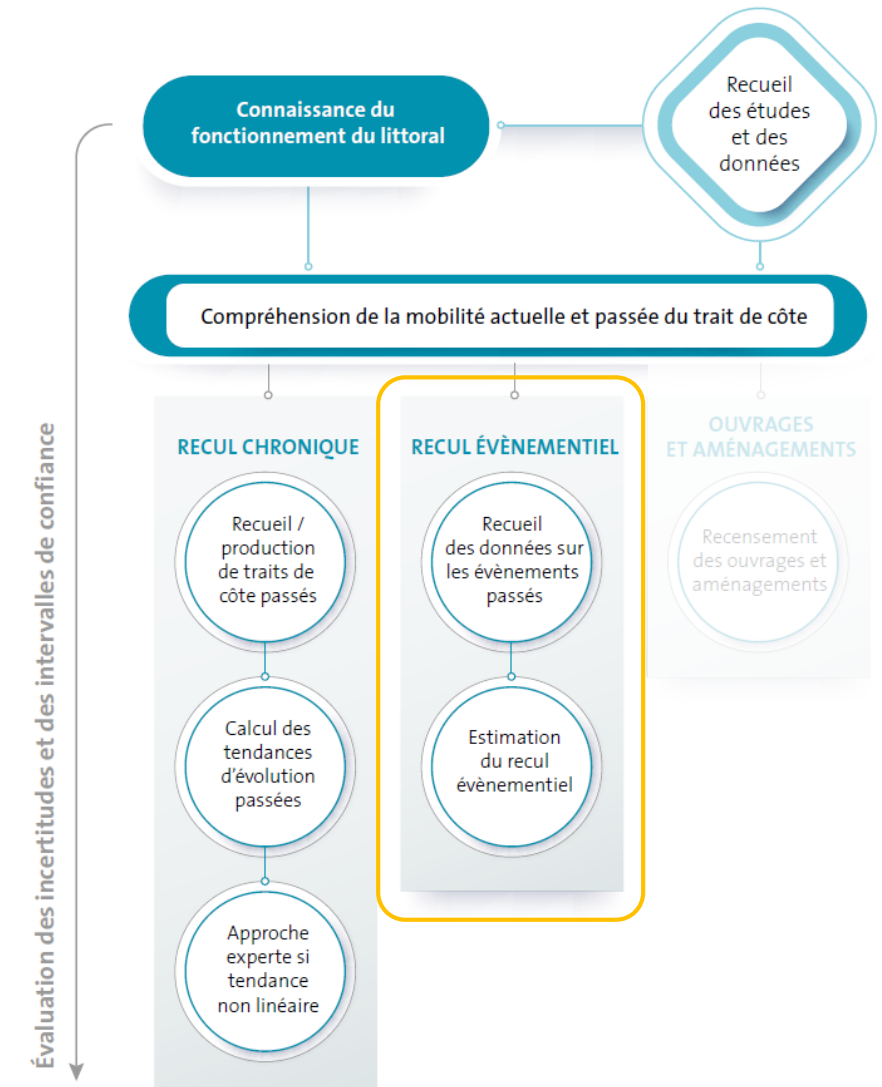
○ Recul majeurs évènementiels



Observation d'érosion par le réseau
Tempête Occitanie (octobre 2011)



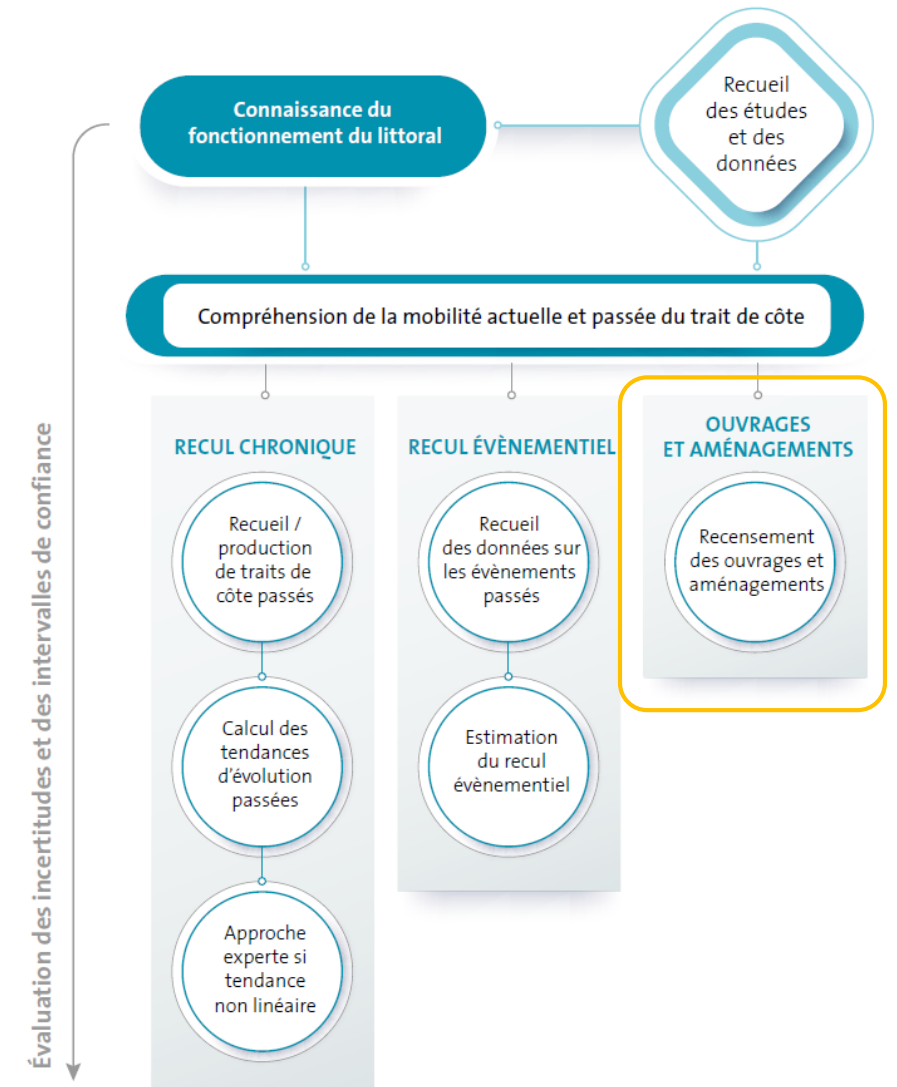
Quantification des
reculs du trait de
côte sous l'effet de
la tempête Xynthia



Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Analyser la mobilité du trait de côte

- **Ouvrages**
 - Recensement des ouvrages littoraux (position, type, année de construction)
- **Modes de gestion**
 - Recensement, si possible, des modes de gestion (rechargement en sable, aménagement des accès aux plages, mise en place de ganivelles, etc.)



Partie 2 – Connaissance de la mobilité du littoral

Fiches techniques

Fiche 2.1 : Méthodes d'observation et de suivi du trait de côte

Fiche 2.2 : Relevé de traits de côte supplémentaires

Fiche 2.3 : Le calcul du Tx

Fiche 2.4 : Segmentation du littoral et évolutions temporelles

Fiche 2.5 : Analyse des évolutions temporelles non-linéaires

Fiche 2.6 : Reculs majeurs - prise en compte des séquences d'évolutions morphologiques et approche à long terme

Fiche 2.7 : Approches mobilisables pour la gestion des incertitudes

Fiches techniques pour la partie "Connaissance de la mobilité du littoral"

Liens utiles

- Site internet du RNOTC (Réseau national des observatoires du trait de côte) : observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/
- Portail GéoLittoral : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/
- Espace de téléchargement de données de GéoLittoral : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/telechargement-en-ligne-donnees-geoLittoral-a802.html
- Portail du SHom : data.shom.fr/
- Portail GéoRivages : www.geoRivages.gouv.fr/
- Portail du BRGM : infobase.brgm.fr/
- Plateforme documentaire du BRGM : www.brgm.fr/fr/resultats-donnees-references-publications-brgm
- Portail le FIGN : www.ign.fr/carto
- Portail « Gestion du trait de côte » du Cerema : www.cerema.fr/fr/activites/mer-littoral/gestion-du-littoral-mer/gestion-du-trait-cote
- Plateforme documentaire du Cerema : doc.cerema.fr/
- Guide PPR Littoral (MTE, 2014) : www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20PPR%20-%20version%20finale%20mai%202014.pdf
- Indicateur national de l'érosion côtière (GéoLittoral) : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-1473.html
- Cartographie nationale des ouvrages et aménagements (GéoLittoral) : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/cartographie-nationale-des-ouvrages-et-502.html
- Dynamiques et évolution du littoral - synthèse des connaissances des côtes françaises (GéoLittoral) : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/dynamiques-et-evolution-du-littoral-synthese-des-1462.html
- Téléchargement du logiciel MobITC : github.com/CEREMA/dtermed.MobITC
- Accès aux millésimes de l'OrthoLittoral : www.geoLittoral.developpement-durable.gouv.fr/orthophotographie-du-littoral-181.html

Fiche 2.1 : Méthodes d'observation et de suivi du trait de côte

Le logigramme principal propose une vision synthétique des approches permettant l'acquisition de données de traits de côte à partir des outils de suivi et d'observation du milieu littoral.

Trois types de méthodes sont distinguées et détaillées dans la suite du logigramme :

- méthodes basées sur des données linéaires (transsects, profils de plages, suivi de marqueurs). Les données de terrain sont obtenues grâce au positionnement GPS d'indicateurs paysagers, observables par un opérateur ;
- méthodes basées sur la télé-détection et les orthophotographies. Ces données de télé-détection sont obtenues grâce à différents porteurs mobiles (satellites, avion, hélicoptère, drones) ou sont fixes (vidéo). Elle nécessite un travail de post-traitement pour analyser les images et positionner précisément les indicateurs de suivi ;
- méthodes basées sur les MNT. Les mesures sont acquises par des moyens de télé-détection (relevés par Lidar, photogrammétrie) ou des campagnes de terrain grâce à des moyens topo-bathymétriques.

Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte

Ressources & détails sur les approches présentées

Fiche 2.7 : Approches mobilisables pour la gestion des incertitudes

Trois cas théoriques sont proposés comme cadre de gestion des incertitudes.

■ Cas 1 : Évaluation des intervalles d'incertitude

Ce premier cadre se base sur des calculs d'intervalles définis à partir d'informations du type bornes min/max ou des scénarios optimistes/pessimistes. Le résultat prend alors la forme d'un intervalle (voir Figure 36, gauche) dont la largeur peut être utilisée pour définir des marges d'erreur. L'intérêt de ce cadre est sa facilité de mise en œuvre lorsque peu d'informations sont disponibles mais il présente l'inconvénient de donner des marges pouvant être très larges et donc difficilement exploitables pour la réalisation de cartes.

Si les incertitudes estimées pour les projections de trait de côte sont susceptibles de nuire à la réalisation des cartes, il est recommandé de mettre en œuvre des analyses complémentaires permettant de restreindre la marge d'incertitude ou de recourir au dire d'expert, impliquant notamment une réflexion sur la véracité locale du terrain ou encore l'expérience d'analogues connus.

■ Cas 2 : Approche probabiliste

Ce cadre est approprié quand il existe un nombre et une qualité de données et de connaissances suffisantes pour bien représenter la variabilité des paramètres sous la forme de fonction de probabilités (voir Figure 36, milieu).

Pour la réalisation des projections de recul du trait de côte, il est recommandé de mettre en œuvre une approche probabiliste, basée sur la représentation des incertitudes des paramètres par des fonctions de probabilités. Ce cadre permet de prendre en compte les incertitudes sur l'ensemble de la chaîne de traitement de projection du trait de côte si les données disponibles permettent l'ajustement des lois de probabilités.

■ Approche experte, cas 3 : Approche extra-probabiliste

Les critères de quantité, qualité et pertinence des données disponibles ne permettent pas toujours de représenter les différents processus par des fonctions de probabilité. En l'absence de telles informations, il est envisageable de privilégier un cadre de description des incertitudes élargi (dit « extra-probabiliste »), combinant lois de probabilités (pour les sources d'incertitudes dont on dispose de suffisamment d'informations/données) et calculs d'intervalles/calculs d'erreurs (pour les sources d'incertitudes dont les informations/données sont plus parcellaires).

Le résultat d'un tel cadre permet d'évaluer une incertitude sur le résultat de l'approche probabiliste comme illustré sur la Figure 36 (droite). Les projections réalisées dans ce cadre doivent être analysées avec prudence, et interprétées par des experts.

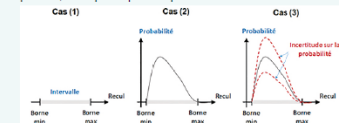


Figure 36. Représentation schématisée du résultat possible d'une propagation d'incertitudes selon le cadre utilisé.
Cas 1 : Intervalle donnant la borne min/max du recul ;
Cas 2 : loi de probabilité donnant la vraisemblance de chaque valeur de recul au sein de l'intervalle ;
Cas 3 : incertitude sur la loi de probabilité du recul résultant de la combinaison d'intervalles et de lois de probabilités. BRGM

Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte



Question / Réponse sur connaissance de la mobilité du littoral

Le fonctionnement général du littoral

Les connaissances et données existantes

Evolution chronique du trait de côte

Reculs majeurs évènementiels

Ouvrages

➡ **A suivre ...**

- **La prise en compte du changement climatique**
- **La construction de la carte locale**

Partie 3 – Influence du changement climatique

Prendre en compte le changement climatique

Pourquoi ?

- Influence durablement le fonctionnement du littoral
- Modifie la dynamique du phénomène d'érosion du fait de la montée du niveau marin
- L'élévation du niveau de la mer, affecte directement et durablement le trait de cote : accroissement probable du phénomène de recul tel que l'on connaît aujourd'hui, ainsi que de l'envahissement par la mer des zones basses du littoral
- Il existe une forte variabilité régionale dans l'élévation du niveau de la mer
- Des approches existent pour prendre en compte l'élévation du niveau de la mer dans l'estimation de la position future du trait de cote et des incertitudes associées

Comment ?

Utilisation de scénarios climatiques de niveau de la mer à jour et régionalisés :

- pour s'adapter plus finement aux territoires et façades maritimes
- permettre une meilleure prise en compte des variabilités existant entre littoraux métropolitains et ultramarins

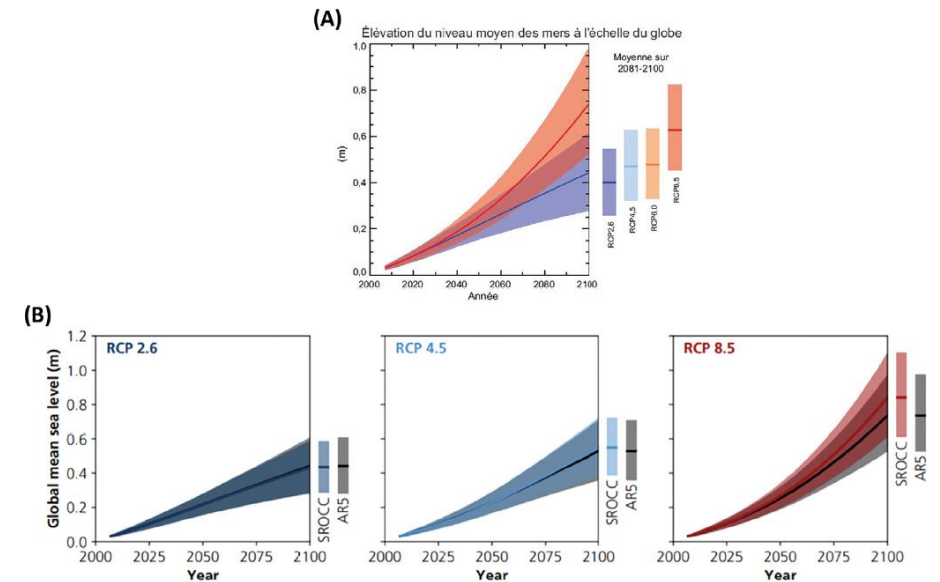


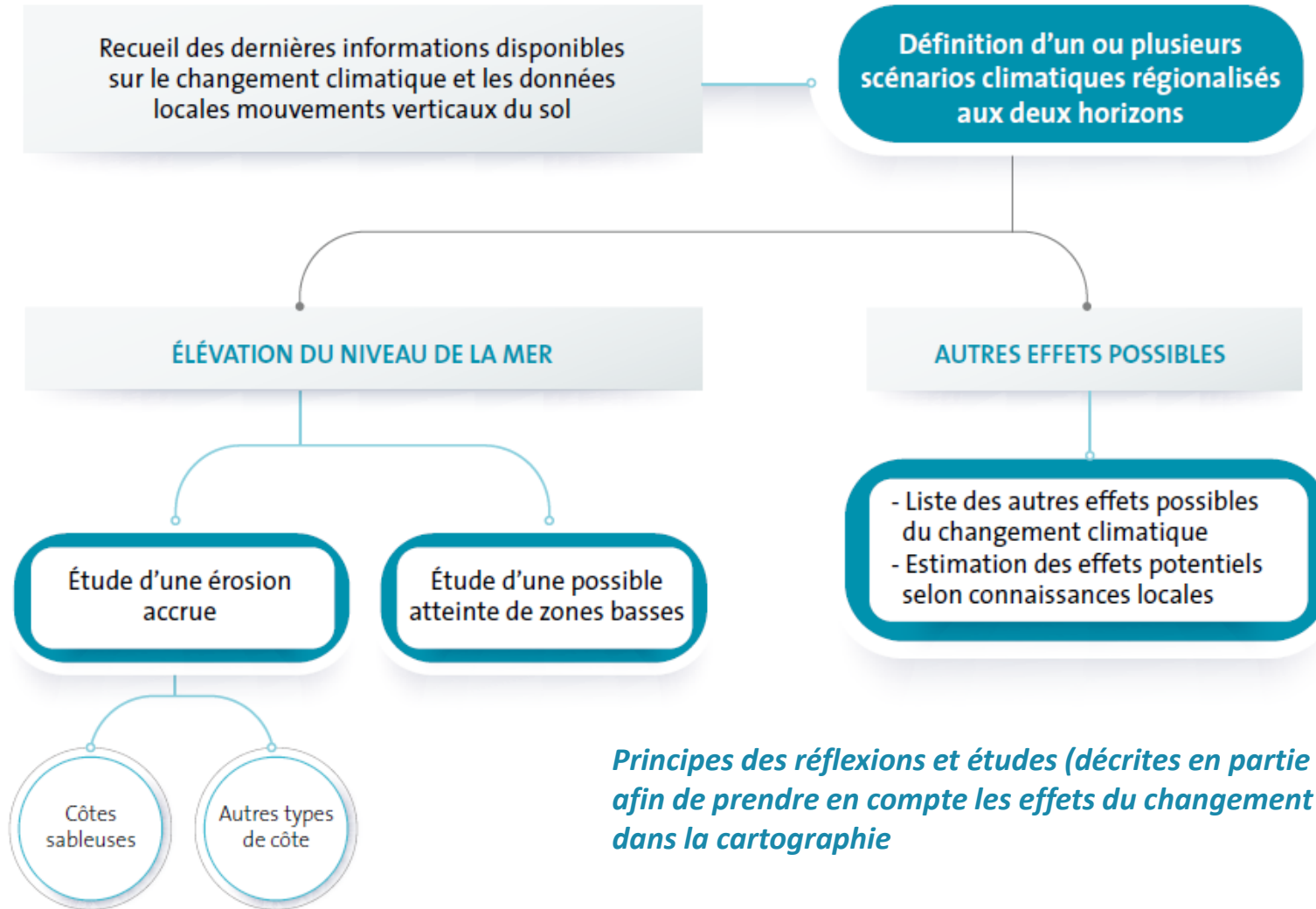
Figure 37 : Projections de l'élévation du niveau de la mer fournies dans (A) le 5^e rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) (AR5; Church et al. 2013); et (B) le rapport spécial du GIEC publié en 2019. SROCC / IPCC, 2019

	2100	2150
SSP1-2.6 (= accords de Paris)	0,44 m [0,33 – 0,61]	0,69 m [0,46 – 1,00]
SSP2-4.5	0,56 m [0,44 – 0,76]	0,93 m [0,67 – 1,33]
SSP5-8.5	0,77 m [0,63 – 1,02]	1,35 m [1,02 – 1,89]

Figure 19 : Valeurs médianes et intervalles pour l'élévation du niveau de la mer en 2100 et 2150 issu du rapport du Groupe de travail I de 2021, premier volet du 6^e rapport d'évaluation du GIEC.

Les scénarios climatiques en colonne de gauche correspondent à des scénarios d'émission de gaz à effet de serre. SSP1-2.6 correspond à un scénario de faibles émissions tandis que SSP5-8.5 correspond à un scénario de fortes émissions.

Partie 3 – Influence du changement climatique



*Principes des réflexions et études (décrites en partie 3)
afin de prendre en compte les effets du changement climatique
dans la cartographie*

Partie 3 – Influence du changement climatique

Prise en compte de l'élévation du niveau marin

Approches mobilisables

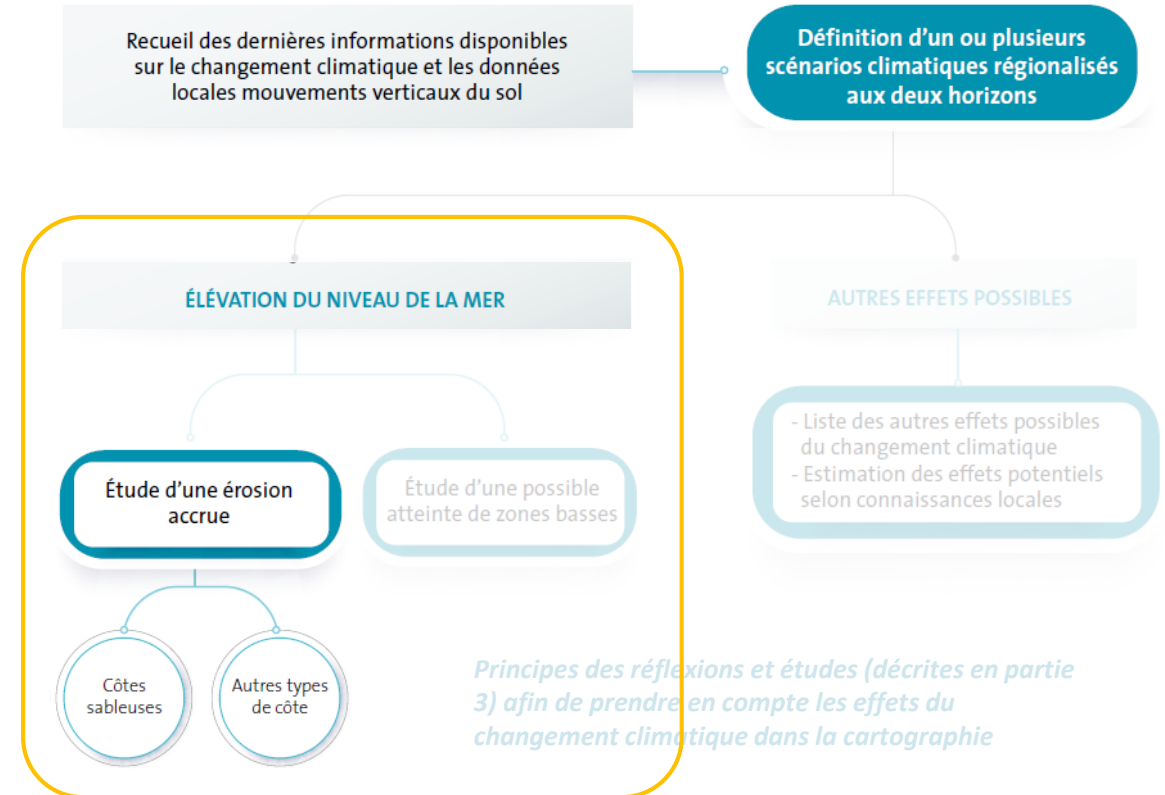
Pour les côtes sableuses / côtes sédimentaires meubles

- Erosion accrue du littoral
- Particulièrement sensibles à l'élévation du niveau de la mer

Approche probabiliste basée sur la loi de Bruun (1962) : formule empirique, modèle d'évolution du trait de côte basé sur un concept de profil de plage à l'équilibre



Crédits photos : BRGM, A Maspataud



(Points de vigilance : options choisies, méthodes d'estimation des pentes, choix des limites au large, limites d'utilisation de l'approche simplifiée par rapport aux processus dynamiques du territoire et aux stocks sédimentaires en présence)

Partie 3 – Influence du changement climatique

Prise en compte de l'élévation du niveau marin

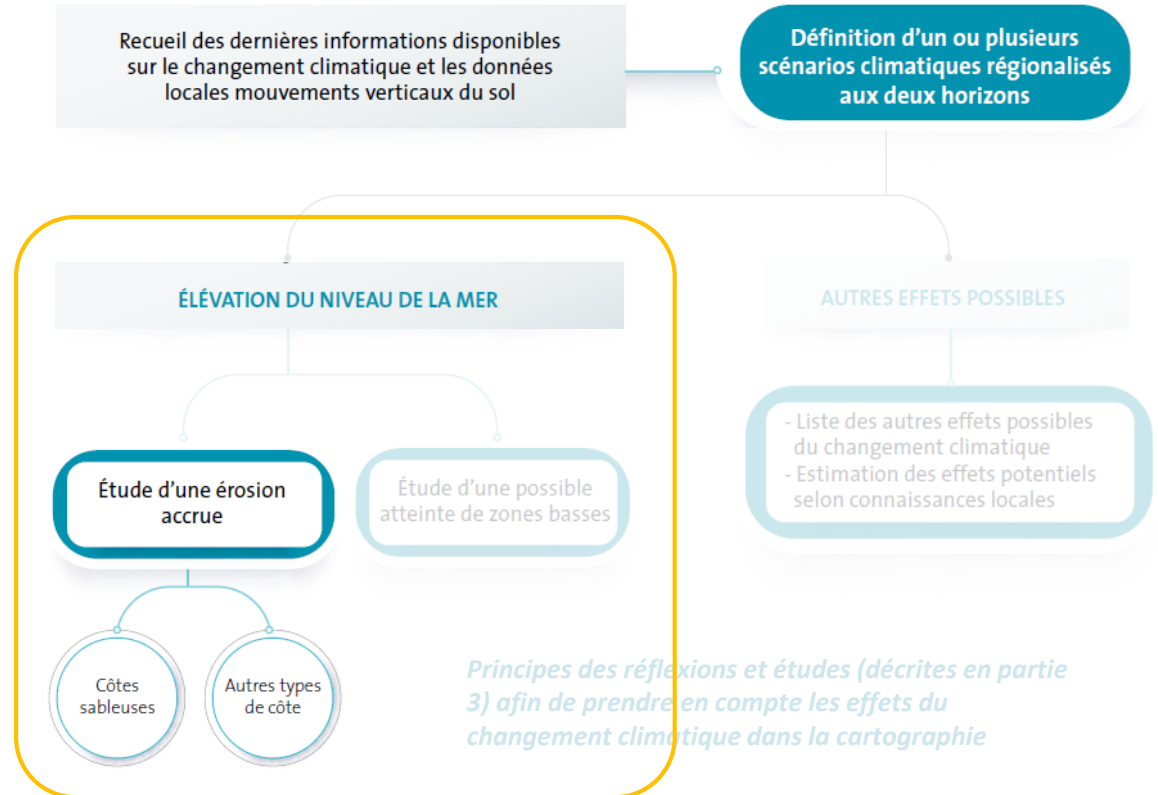
○ Approche générique

Pour les autres types de côtes

- Différents environnements : **falaises rocheuses, littoraux mixtes (roche et sédiments), littoraux biogéniques (récifs coralliens, herbiers), etc.**
- Relations entre les **forçages** agissant sur le milieu côtier et les **effets** sur la morphologie littorale et le trait de côte



Crédits photos : BRGM, A Maspataud



Modèle opérationnel : modèle de fonctionnement local, si existant (conceptuel, empirique, numérique ou combiné), calibré et validé : tester l'évolution des forçages selon le cadre d'élévation du niveau de la mer défini pour l'étude

Phase d'expertise / dire d'expert : pondérer les vitesses d'évolution en fonction de l'évolution possible des forçages influencés par le niveau de la mer

Partie 3 – Influence du changement climatique

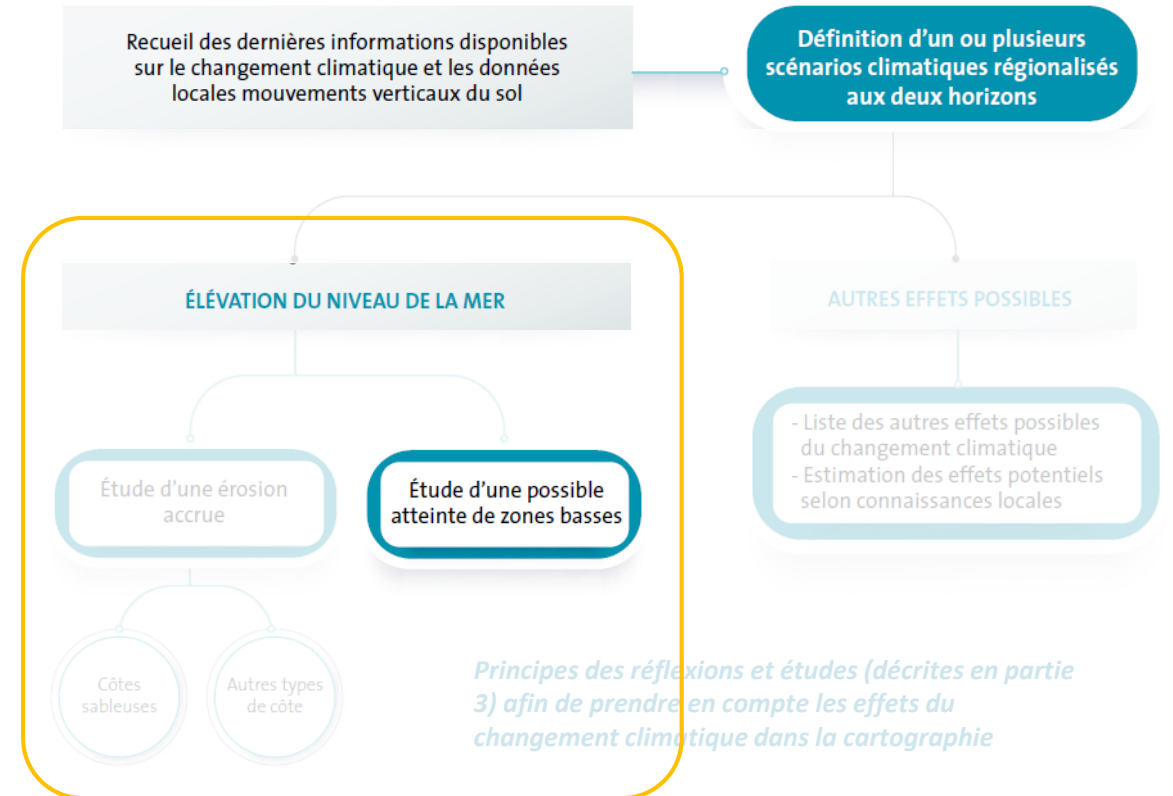
Prise en compte de l'élévation du niveau marin

○ Envahissement par la mer de zones basses

- Différents types : **zones basses meubles protégées de l'action érosive de la mer** (fond de baie, lagunes et étangs côtiers) ; **zones dépourvues d'ouvrage de défense** ; **zones basses rocheuses** (platiers, etc.)
- **Envahissement chronique puis permanent par la mer de zones basses en arrière littoral** sous l'effet de la montée progressive du niveau moyen de la mer
- Un **déplacement du trait de côte**, sans érosion (au sens de « perte de sédiment ») ni évolution de la topographie.



Figure 20 : Illustration de l'envahissement « régulier » à marée haute par la mer d'une zone basse, après rupture d'un cordon/digue. Réserve naturelle nationale de la Belle Henriette (Vendée), Wikimedia Commons



Cartographier les terrains possiblement atteints, en identifiant :

- 1) les terrains les plus bas, ouverts sur la mer
- 2) les terrains qui pourraient s'ouvrir sur la mer (rupture, brèche, évènements extrêmes)
- 3) les terrains sans contact direct avec le plan d'eau, une lagune ou la mer (remontée de nappes)

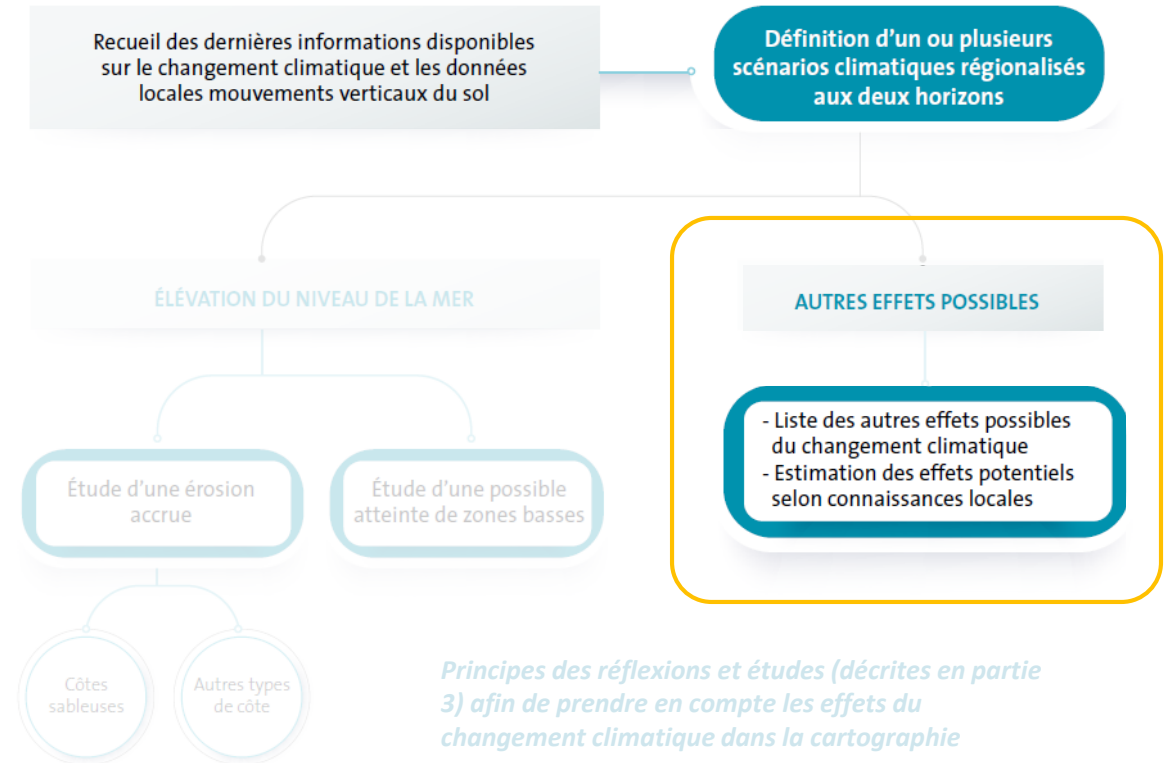
Partie 3 – Influence du changement climatique

Prise en compte de l'évolution et des impacts des autres processus météo-marins

- L'élévation du niveau de la mer n'est pas la seule conséquence du changement climatique
- D'autres phénomènes affecteront potentiellement le recul du trait de côte (changement de la direction moyenne des houles, intensité et fréquence des événements intenses, niveaux d'eau, amplitude des marées/courants/vagues, climats ultramarins, etc.)

Modèle de fonctionnement local (conceptuel, empirique, numérique ou combiné) ou données d'études disponibles : tester l'évolution des forçages et processus identifiés sur la morphologie et la position du trait de côte.

Phase d'expertise / dire d'expert : associer un expert local dans le comité technique pour évaluer la possibilité d'estimer les effets de ces changements sur le trait de cote.



Partie 3 – Influence du changement climatique

Fiches techniques

Fiche 3.1 : Scénarios de changement climatique : de quoi s'agit-il ?

Fiche 3.2 : Projections régionalisées et prise en compte des mouvements verticaux du sol

Fiche 3.3 : Outils disponibles pour la visualisation et la mise à disposition de projections de l'élévation du niveau de la mer

Fiche 3.4 : Modèles d'impact du niveau de la mer sur le trait de côte : recommandations pour l'utilisation de la règle d'érosion de Bruun

Fiche 3.5 : Mise en œuvre de la règle de Bruun pour la réalisation de projections probabilistes d'évolution du trait de côte

Fiche 3.6 : Développement des outils de modélisation pour améliorer la réalisation de projections d'évolution du trait de côte à long terme

Fiche 3.7 : Présentation du modèle PCR (*Probabilistic Coastline Recession*)

Fiche 3.8 : Évolution et impacts des autres processus météo-marins

Fiches techniques pour la partie "Influence du changement climatique"

Liens utiles

- Page internet du MTEC « Impacts du changement climatique - Littoral et Milieu marin » : www.mtec.fr/impacts-du-changement-climatique/littoral-et-milieu-marin
- Page internet du MTEC « Comprendre le GIEC » : www.mtec.fr/comprendre-le-giec
- Page internet du MTEC « Observation national sur les effets du réchauffement climatique » : www.mtec.fr/observation-national-sur-les-effets-du-rechauffement-climatique
- Rapport de synthèse du GIEC 2014 (AR5) : www.ipcc.ch/reports/2014/04/20140401-syn/
- Rapport du rapport spécial GIEC 2019 (SR15) : www.ipcc.ch/reports/2019/04/20190401-sr15/
- Rapport du GIEC 2022 (AR6) : www.ipcc.ch/reports/2022/04/20220401-ar6/
- Scénarios régionaux d'évolution du niveau de la mer (SRN) : www.mtec.fr/scenarios-regionaux-d-evolution-du-niveau-de-la-mer
- Outil de projections du niveau de la mer produit par la BRGM : www.brgm.fr/produit

Fiche 3.1 : Scénarios de changement climatique et de quoi s'agit-il ?

Pour chaque scénario considéré, les projections dépendent de la mise en œuvre de modèles qui intègrent des connaissances certes toujours plus solides, mais en partie incertaines des différents processus physiques en jeu dans la hausse du niveau marin.

Pour rappel, trois scénarios de référence du RCP (Representative Concentration Pathway), ont été couramment utilisés jusqu'en 2022.

Défini par le GIEC, le représentant globalisé (profil de l'évolution possible des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ou GES), et sont eux-mêmes associés à des scénarios de développement socio-économique et d'émission d'énergie d'adaptation des activités humaines et d'érosion.

Le scénario RCP 2.6, considéré que l'impact du climat sur le réchauffement global à l'horizon 2100 par rapport à la période préindustrielle serait suffisamment atténué, il implique de fortes réductions d'émission de GES par la communauté internationale et un réchauffement climatique compatible avec l'accord de Paris.

Le scénario RCP 4.5 correspond également à une atténuation d'émission de GES, mais les États ne sont engagés dans l'accord de Paris. Ce scénario ne permettrait pas d'atteindre l'objectif de 2 °C, mais il suppose qu'une réduction des GES sera importante.

Le scénario RCP 8.5 est le plus pessimiste, car il correspond à la poursuite des émissions actuelles qui pourrait conduire à une hausse des températures proches de 4 °C.

À partir de 2022, deux nouveaux scénarios ont été proposés par le GIEC, basés sur des trajectoires socio-économiques de référence, dits SSP pour « Shared Socioeconomic Pathway ».

Basés sur les scénarios RCP ou SSP, les projections du niveau de la mer sont associées à des scénarios de type et d'ampleur différents. Tout d'abord, les projections sont conditionnées par des scénarios de changement climatique eux-mêmes, et tout ce qui est possible d'associer un degré de probabilité.

Ressources & détails sur les approches présentées

L'analyse par rétrodiffusion radar satellitaire, qui permet de cartographier et de quantifier des mouvements verticaux dans un grand nombre de zones d'intérêt, est utilisée pour les zones littorales. Cette technique, dont l'usage est croissant, s'appuie sur les données de la zone de rétrodiffusion, et est conditionnée à l'existence d'une certaine « réflectivité ».

L'analyse de points nevaux marins par géométrie 3D est une source d'information utile en termes d'augmentation de données, le traitement de GPS permanents et l'analyse de données lidar (topographie des données) sont notamment utilisés pour l'analyse de données de points nevaux marins.

Localisation et longue des observations sont disponibles (notamment issues des GPS permanents) des projections peuvent être effectuées en extrapolant les données marines sur la période considérée. Cette extrapolation ne se passe pas toujours, tout particulièrement dans le cas de mouvements d'origine technique, tels que les pontons, ou les données de Brues dans le cas où il est difficile d'être efficace avec précision.

Fiche 3.3 : Outils disponibles pour la visualisation et la mise à disposition de projections de l'élévation du niveau de la mer

Outil développé dans le cadre du projet BRUNNIN au sein du consortium de services climatiques, cet outil permet de visualiser les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Ce développement permet d'analyser et de visualiser différents scénarios de contributions à l'élévation du niveau de la mer global, en combinant les contributions de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer, et de les comparer avec les données de l'élévation du niveau de la mer.

Question / Réponse sur l'influence du changement climatique

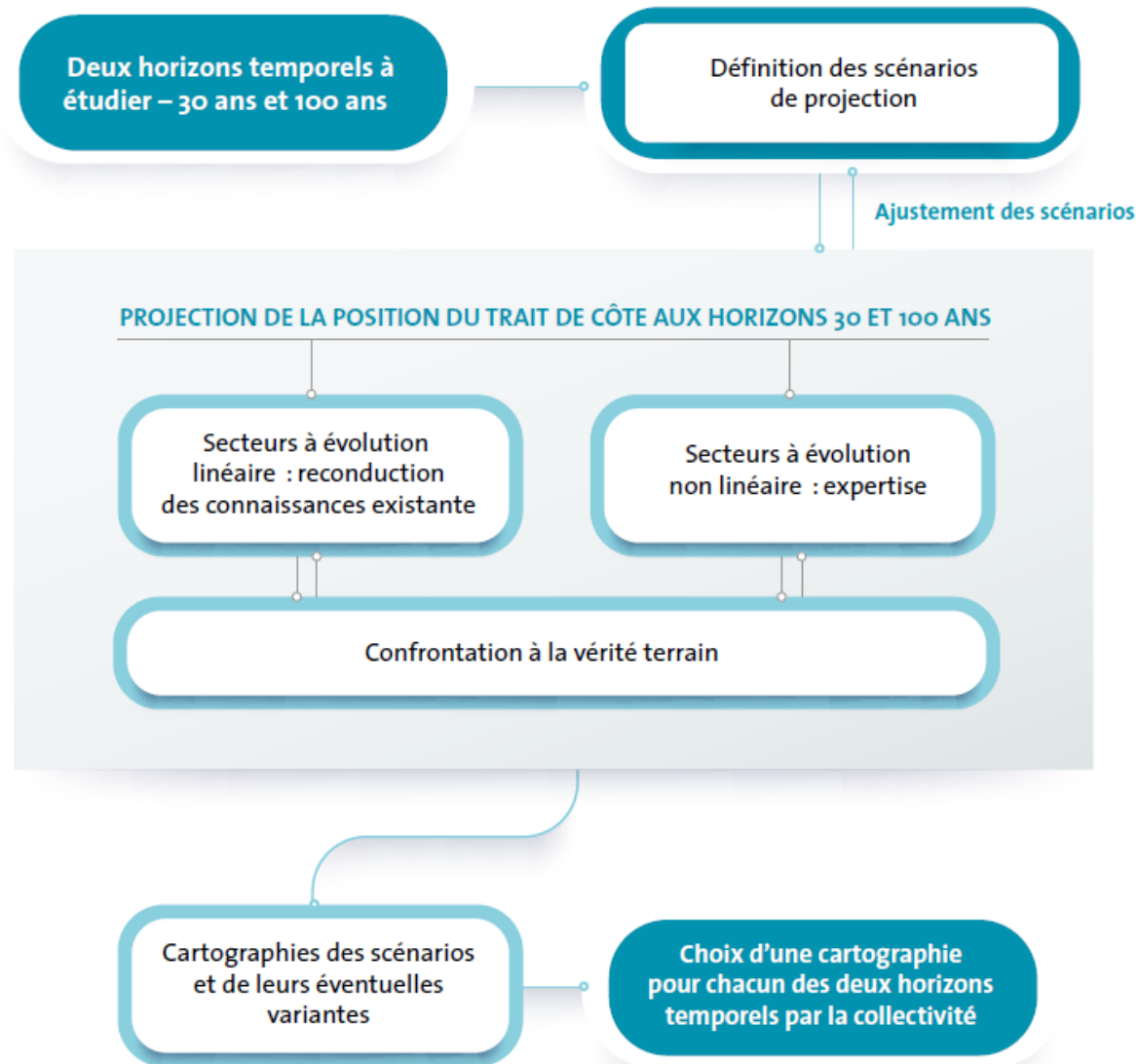


Prise en compte de l'influence du changement climatique sur le recul du trait de côte

⇒ A suivre ...

- La construction de la carte locale

Partie 4 – Méthodologie pour la cartographie



Fiche technique

Fiche 4.1 : Approche experte, prise en compte de tendances d'évolutions non-linéaires d'une côte complexe

Fiche technique pour la partie "Méthodologie pour la cartographie de la projection du trait de côte"

Fiche 4.1 : Approche experte, prise en compte de tendances d'évolutions non-linéaires d'une côte complexe

A titre d'exemple, plusieurs cas théoriques sont proposés pour illustrer des côtes complexes, nécessitant de formuler des scénarios d'évolution à dire d'expert, pour réaliser des projections de trait de côte.

■ **Cas 1** (côte à plage de poche, petite embouchure sur un segment côtier, rechargement ponctuel moyen terme)
- les phénomènes à l'origine des évolutions non-linéaires du littoral sont connus et durables à l'échelle des échéances étudiées ;
- l'emprise géographique de ces phénomènes est stable à l'échelle spatiale des segments du territoire.

Recommandation : Les scénarios formulés par segments prennent en compte des taux d'évolutions variables en fonction du temps. Les taux d'évolutions proviennent des observations et connaissances élaborées par segment. La durée et les modalités de chaque séquence des scénarios sont élaborées à dire d'expert et justifiées par la connaissance préalable de la dynamique du milieu.

■ **Cas 2** (migration de banc, de chenaux, rechargement massif)
- les phénomènes à l'origine des évolutions non-linéaires du littoral sont connus et durables à l'échelle des échéances étudiées ;
- l'emprise géographique de ces phénomènes varie entre les segments, à l'échelle spatiale du territoire ou des cellules hydro-sédimentaires.

Recommandation : Les scénarios formulés à l'échelle adaptée (segment, cellules hydro-sédimentaires ou territoire) prennent en compte des taux d'évolutions variables en fonction du temps. Les taux d'évolutions proviennent des observations et connaissances à l'échelle du territoire affecté par le processus, plus précisément, les observations réalisées sur les segments affectés par les phénomènes sont utilisées pour justifier des choix de taux d'évolution du trait de côte. La durée et les modalités de chaque séquence des scénarios, le choix des taux d'évolutions et leur emprise spatiale sont élaborés à dire d'expert et justifiés par la connaissance préalable de la dynamique du milieu.

■ **Cas 3** (secteur avec rupture de fonctionnement, changement de nature, travaux d'aménagement ou de gestion nouvelle, etc.)
- les phénomènes à l'origine des évolutions non-linéaires du littoral sont mal connus et évolutifs pour les échéances étudiées ;
- l'emprise géographique de ces phénomènes varie entre les segments, à l'échelle spatiale du territoire ou des cellules hydro-sédimentaires ;
- des hypothèses d'évolutions et des choix de taux d'évolution, qui n'ont pas été observés localement, sont envisageables.

Recommandation : Les scénarios formulés à l'échelle adaptée (segment, cellules hydro-sédimentaires ou territoire) prennent en compte des taux d'évolutions variables en fonction du temps. Les taux d'évolutions proviennent des observations et connaissances acquises à l'échelle du territoire affecté par le processus et de taux modifiés par des hypothèses proposées à dire d'expert.

90° Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte

Carte locale : Scénarios

Horizons temporels et échelles spatiales

- À l'horizon 30 ans => Poursuite des trajectoires d'évolution
- À l'horizon 100 ans => Exercice plus prospectif
- Carte locale à réaliser sur l'ensemble du linéaire côtier

Scénarios de projection du trait de côte

- Combinaison de nombreux paramètres qui influencent le recul du trait de côte

Recommandation de définir des scénarios fixant les approches et les paramètres :

- Scénario « médian » : Traitement des données considéré comme « classique »
- Scénario « sécuritaire » : Explorer l'effet d'hypothèses et d'approches qui maximisent le recul du trait de côte (effet de seuil)



Carte locale : La construction des scénarios

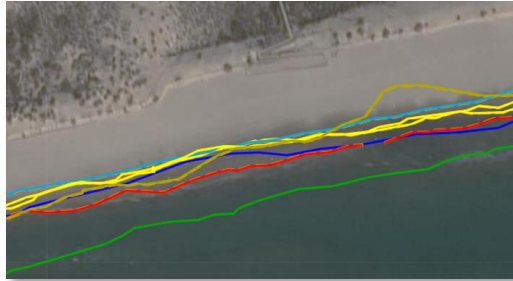
Projection : principaux éléments	Méthodes	Principaux paramètres	Scénario médian	Scénario sécuritaire
1) Évolution chronique	- Analyse diachronique - Approche experte	Taux de recul Tx (m/an)	Tx médian	Tx (marge haute)
2) Reculs majeurs évènementiels	- Approche Lmax - Approche paroxysmale	Recul Lmax (m)	Recul Lmax (m)	Recul Lmax (m)
3) Ouvrages	- Evaluation de pérennité - Projets d'ouvrages	Pérennité	Au cas par cas	Non pérenne
4) Élévation du niveau de la mer	- Approche côte sableuse - Approche générique - Envahissement par la mer de zones basses	Niveau de la mer	Valeurs minimales : 30 ans : + 20 cm 100 ans : + 60 cm ou projections locales basées sur GIEC SSP2-4.5	Valeurs minimales : 30 ans : + 20 cm 100 ans : + 100 cm ou projections locales basées sur GIEC SSP5-8.5
5) Incertitudes sur les résultats	- Intervalles de confiance - Approche probabiliste	Marges d'erreur	Valeurs médianes	Marges hautes

Principaux éléments à prendre en compte pour bâtir des scénarios de projection du trait de côte.

Carte locale : Approche « classique »

Evolution chronique

- Choix impactant sur la période d'observation passée
- Application des taux de recul pour les 2 horizons temporels



Recul évènementiel

- Inclure la possibilité d'un recul évènementiel
- Evénement pouvant être différent pour les horizons 30 ans et 100 ans



Carte locale : Approche « classique »

Ouvrages et aménagements littoraux

- Choix impactant sur le maintien ou non des ouvrages aux 2 horizons temporels
 - Rôle des ouvrages et leur défaillance éventuelle à questionner
 - Recommandation d'étudier des variantes avec et sans ouvrages
 - Ouvrage pouvant être maintenu dans la définition des scénarios de recul, sous réserve :
 - Qu'un gestionnaire soit bien identifié
 - Qu'ils soient surveillés et entretenus



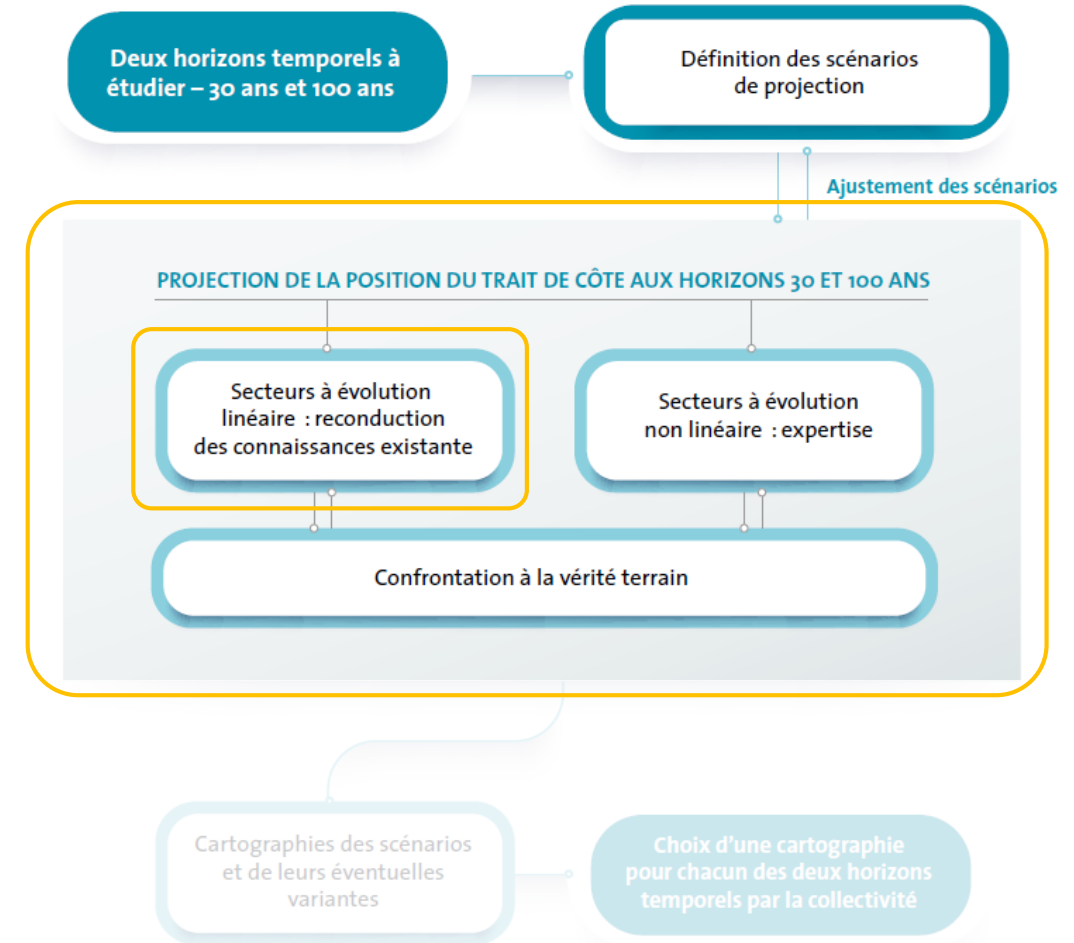
Carte locale : Approche « classique »

Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer

- À l'horizon 30 ans : à minima +20 cm
- À l'horizon 100 ans :
 - à minima + 60 cm pour le scénario « médian »
 - à minima + 1 m pour le scénario « sécuritaire »

➡ Possibilité de majorer ces valeurs sur la base des données de projections régionales basées sur les scénarios du GIEC, si elles existent.

- Etude de l'érosion accrue et de l'envahissement progressif des zones basses



Carte locale : Approche « experte »

Fonctionnement de certaines portions des territoires littoraux parfois particulièrement complexe - Evolutions non-linéaires du littoral

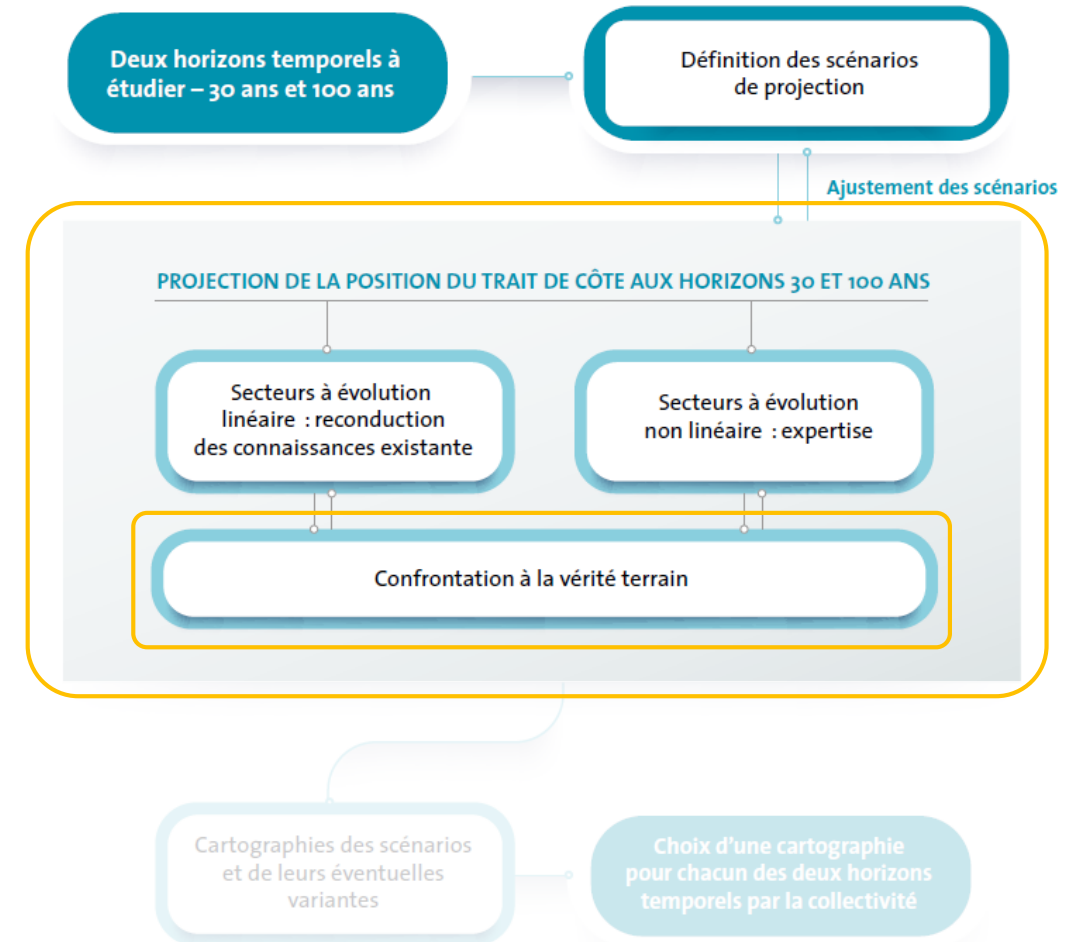
- **Etudes à partir de l'approche « classique »**
- **Approche experte, basée sur des analyses complémentaires des données**
- **Intégration du dire d'expert => Explications et justifications indispensables**



Carte locale : Projection et cartographie

Confrontation des distances de recul calculées avec la réalité du terrain

- **Nature des terrains affectée par les projections**
(nature différentes des terrains, rencontre d'une falaise morte, etc.)
- **Atteinte de zones basses du littoral**
- **Vigilance particulière sur les marqueurs du trait de côte utilisés** : Recul d'un système littoral, pas uniquement d'une ligne...



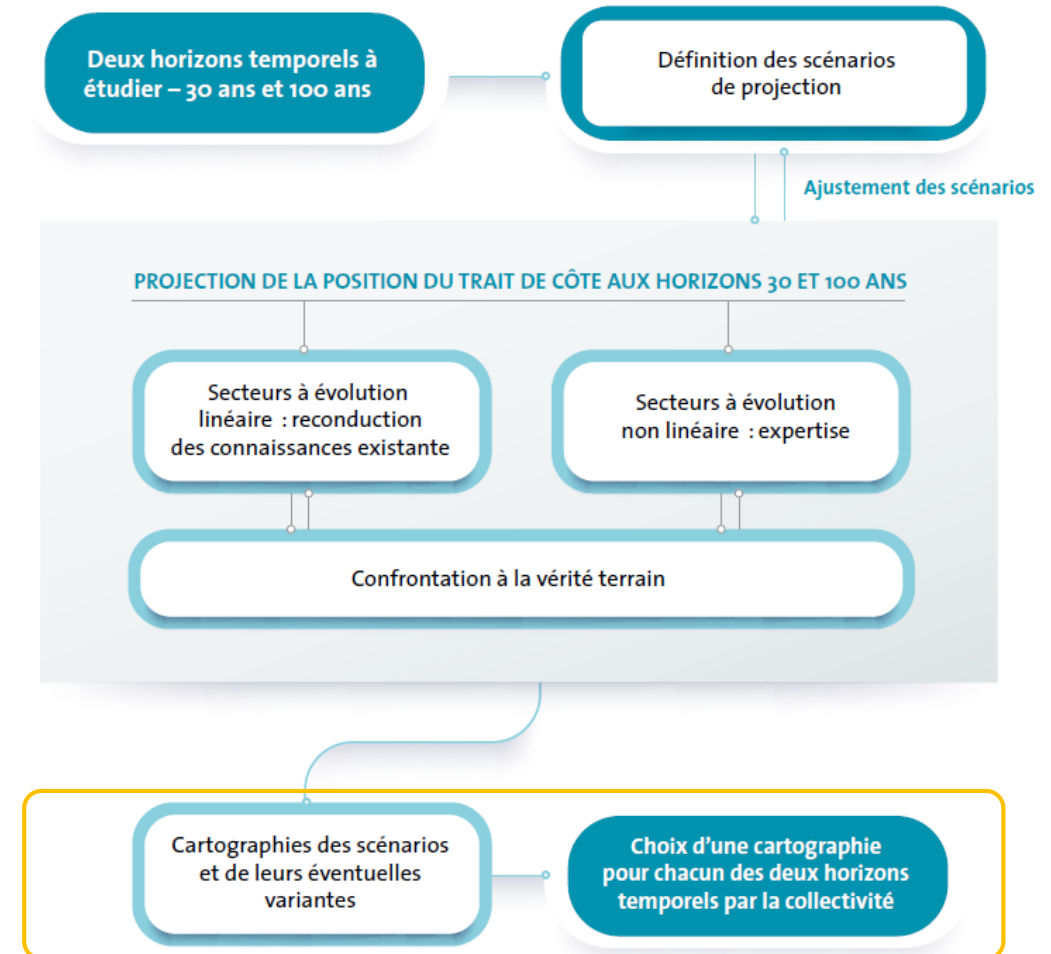
Carte locale : Choix des scénarios

Construction itératives des scénarios

Choix du scénario final à retenir pour la carte locale :

- Discussion entre l'équipe technique et les décideurs publics
- Conséquences en matière d'aménagement dans le cadre de l'exercice des compétences en matière d'urbanisme des collectivités

➡ Intéressant de conserver les scénarios non retenus pour les éventuelles stratégies locales



Carte locale : Modalités pratiques

Conseils pour la commande des études

- 1^{er} éléments dans le document de recommandations
- Détails à venir dans la trame de cahier des charges

Conseils pour le suivi des études

- Prévoir les instances de pilotage et de suivi : Validation des approches et des scénarios

Communiquer la cartographie

- Sensibiliser la population lors de la phase étude
- Eléments dans le document de recommandations pour la représentation de la carte locale
- Carte locale associée à un résumé du rapport d'étude



Question / Réponse sur la construction de la carte locale

- **Scénarios « médian » / « sécuritaire »**
- **Approche classique / Approche experte**
- **Prise en compte du changement climatique**
- **Confrontation des projections à la réalité du terrain**