

Caractérisation de l'aléa érosion de la façade interne du Cap Ferret

Étude complémentaire dans le cadre de la révision du PPRL de Lège-Cap-Ferret

Baptiste LE MAUFF – DHI

balm@dhigroup.com

CoCoAs #9 – 29/01/2026



Sommaire

- Présentation de DHI
- Cadrage de l'étude
- Diagnostic des ouvrages
- Variabilité des sollicitations hydrodynamiques
- Approche empirique pour le calcul des T_x
- *Ecc* : effet du changement climatique
- *Lmax* : recul événementiel
- Résultats cartographiques

Présentation de DHI



Notre activité dans le monde

1,100+

Employees

Two out of three hold a master or PhD degree

Activités dans
114 pays

● Bureau DHI
● Représentation DHI (agent)

1964

60 years of
experience and
know-how

1 fondation DHI

possède 26 filiales
locales à travers le
monde

147

Revenue in € million
in 2024

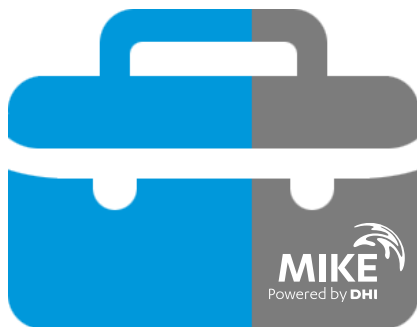
15.4

EUR million investments in
**research, development &
innovation** in 2024



Nos activités

**Conseil
et étude**



80%

20%

MIKE

Les outils de modélisation de l'eau les plus avancés
& outils d'aide à la décision personnalisés

THE ACADEMY

Formation et partage de connaissances

Nous accompagnons nos clients dans différents segments et secteurs d'activité



Des solutions fondées sur la nature pour protéger la biodiversité marine et soutenir le développement durable des zones côtières :

- Infrastructures marines
- Adaptation au changement climatique et aménagement du littoral
- Gestion de l'environnement
- Ports et terminaux



Développement durable des énergies renouvelables et gestion intégrée des ressources en eau :

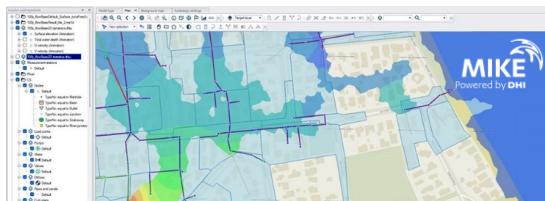
- Éolien offshore
- Secteur de l'énergie et de l'électricité
- Développement international
- Ressources en eau
- Exploitation minière et eaux souterraines



Solutions permettant l'accès à l'eau potable, le traitement des eaux usées et la résilience face aux impacts climatiques :

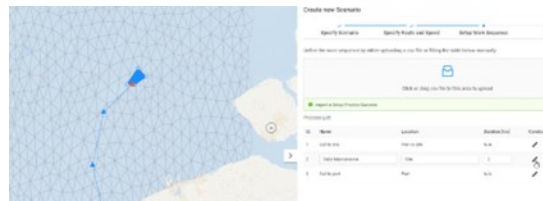
- Approvisionnement en eau
- Traitement des eaux usées
- Assainissement urbain
- Secteur industriel

Des services de conseil renforcés par des technologies de pointe



**Logiciel de simulation
et de modélisation de l'eau**

- MIKE Powered by DHI - une suite logicielle de renommée mondiale
- Simule l'écoulement de l'eau, les marées, les vagues, la qualité de l'eau, les inondations, etc.
- Utilisé par les professionnels de différents secteurs :
700 000 simulations effectuées chaque mois



Solutions numériques

- Outils opérationnels pour la prévision, la planification et la prise de décision en temps réel
- Automatisation des tâches, tableaux de bord et jumeaux numériques personnalisés
- Pour les secteurs tels que l'énergie éolienne en mer, l'eau en milieu urbain, la production d'énergie



Portails de données

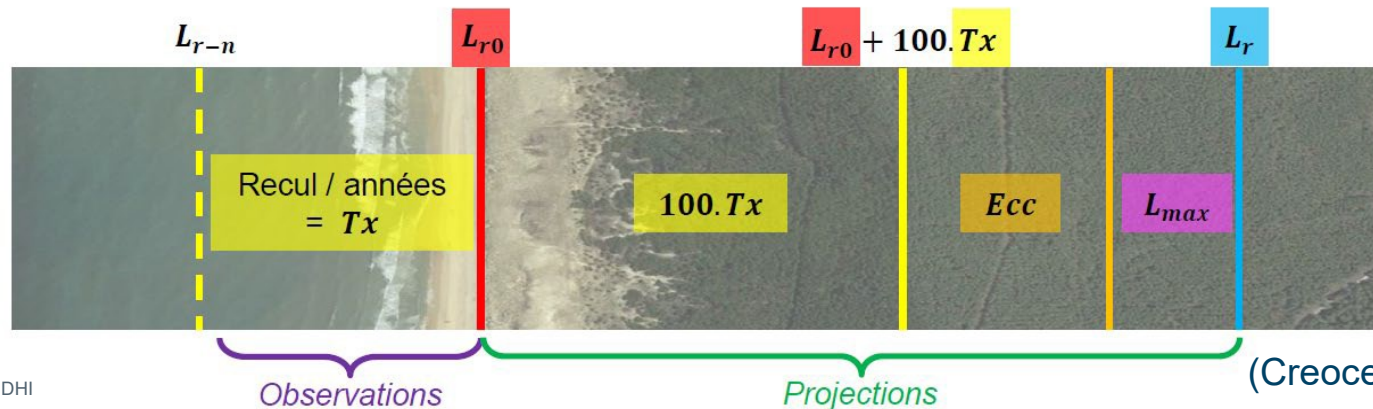
- Intégration aux outils de modélisation et aux systèmes de prévision
- Pour nos clients : prise de décisions plus éclairées, plus pertinentes et plus rapides

Cadrage de l'étude

Principe PPRL érosion : construction d'une bande d'aléa

Objectif : caractériser l'aléa "recul du trait de côte" à l'horizon 100 ans (ici 2120) à partir d'indicateurs réglementaires. (MEDDE, 2014)

- **T_x** : recul chronique → approche rétrospective (observations)
- **Ecc** : recul lié à l'élévation du niveau marin → son accélération est une réalité
- **L_{max}** : recul événementiel → observation/modélisation d'un événement de ref.



Application à la façade interne ?

Un littoral peu adapté à une approche rétrospective :

- **Stabilité artificielle** : rivage fortement aménagé (ouvrages, remblais, villages ostréicoles)
 - **Maintenance permanente** : rechargements et redistributions modifient les évolutions et masquent les tendances
 - **Recul difficile à objectiver** : peu de séries exploitables (pré/post tempête ou long terme)
- **Conséquence** : la rétrospective sous-estime ou homogénéise le signal d'érosion



<https://remonterletemps.ign.fr/>

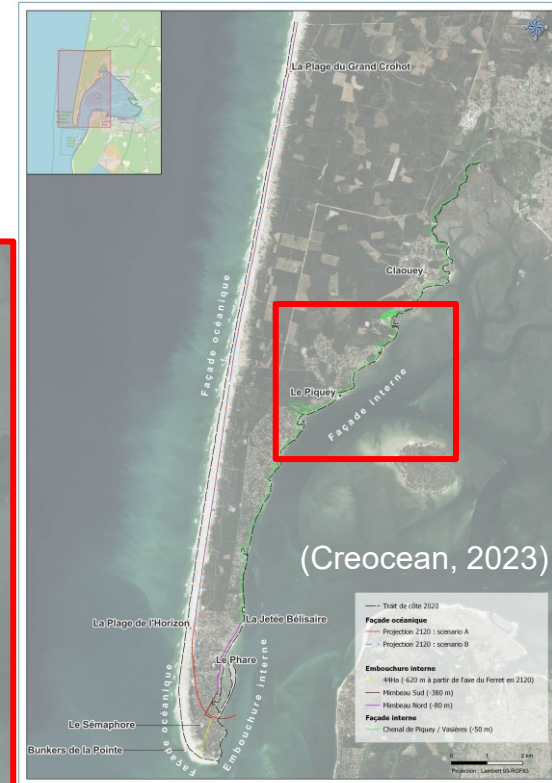
Hypothèses actuelles du PPRL en révision

- Proposition homogène sur tout le linéaire
- Absence d'observation → « dire d'expert »

✓ $T_x = -0,5 \text{ m/an}$
soit 50 m en 2120

✓ $L_{max} = 10 \text{ m}$

✓ E_{cc} : Intégration
des zones basses



Objectifs de l'étude complémentaire

- **Objectiver** les mécanismes et gradients de forçage le long de la façade interne (Bélisaire à la limite nord)
→ les mécanismes *d'érosion ne sont pas homogènes*
- **Spatialiser** les indicateurs réglementaires à partir d'une approche orientée processus ($\neq$ approche rétrospective)
→ *Sectorisation des résultats*
- Rester **compatible PPRL** : produire T_x , E_{cc} , L_{max} et une bande d'aléa mobilisable dans le zonage final
- **Réduire le « dire d'expert »** au maximum

Contraintes contractuelles et modalités de réalisation

Concertation étroite tout le long du projet

- Maître d'ouvrage : Commune de Lège-Cap-Ferret
- Contrôle technique : CEREMA
- Cohérence avec les attentes de la révision : DDTM

Challenge → budget et délais serrés

- Budget < 40 k€
- Délai ~ 2 mois

Diagnostic des ouvrages et du rivage

Héritage : moins d'apport sableux, plus de maintenance

- XVIIIe–XIXe siècles : **fixation progressive des dunes** puis boisement, ce qui réduit les transferts éoliens de sable vers la façade interne et le Bassin.
 - Depuis les années 1860 : développement des villages ostréicoles sur le DPM, puis urbanisation. **Le rivage devient durablement “construit”**.
 - XVIIIe siècle → aujourd’hui : poldérisation et endiguements anciens, puis **multiplication d’ouvrages de défense face à la mer**.
- **Un stock sableux contraint et un rivage de plus en plus dépendant de la maintenance**



Carte de Masse de 1708 représentant le Bassin d'Arcachon aux prémices de l'occupation humaine

Objet du diagnostic

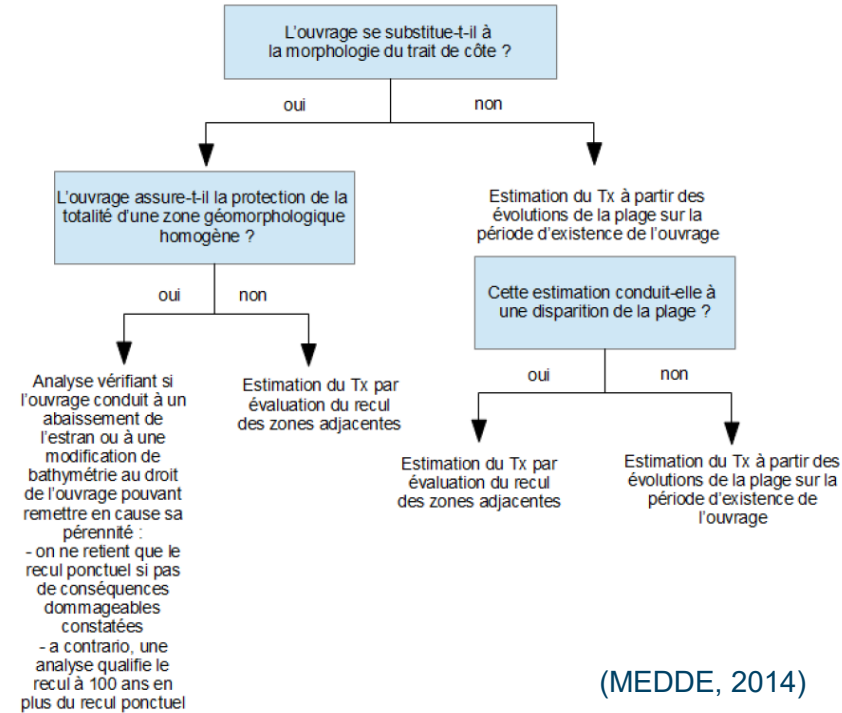
- **Objectif** : poser un diagnostic opérationnel pour alimenter la doctrine PPRL sur la prise en compte ou non des ouvrages à l'horizon 2120
 - **Cadrage** : diagnostic ciblé, pas d'inventaire exhaustif ni d'audit structurel ouvrage par ouvrage
 - **Résultat attendu** : éléments factuels sur l'état, la durabilité, la maintenance et la gouvernance → constats qualitatifs
- Existe-t-il des tronçons où un ouvrage peut être considéré comme pérenne à 100 ans ?

La pérennité des ouvrages dans la méthodologie PPRL

Ouvrage pris en compte si :

- Se substitue au trait de côte et protège une unité homogène (cohérence sur un linéaire).
- Durabilité plausible à 100 ans (état, robustesse).
- Maintenance et gouvernance identifiées (capacité à maintenir l'ouvrage dans le temps).
- Pas d'effet défavorable sur le profil pouvant compromettre sa pérennité :
 - abaissement du niveau de sable au pied,
 - affouillement ou fosses,
 - contournement ou report de l'érosion.

Sinon : ouvrage transparent dans les projections de recul.



(MEDDE, 2014)

Diversité des ouvrages longitudinaux

→ se substituent au trait de côte



Les ouvrages longitudinaux (désordres)



Les ouvrages longitudinaux (« réparations »)



Les ouvrages longitudinaux (structure et terrain)



Les ouvrages longitudinaux (lien avec la submersion)



Les ouvrages longitudinaux



Hétérogénéité :

État → majorité mauvais état

Structure → pas de continuité

Entretien → à la parcelle



Terrain en arrière :

Majorité : Sable

Village : Mélange sable et débris coquillés

Remblais routiers

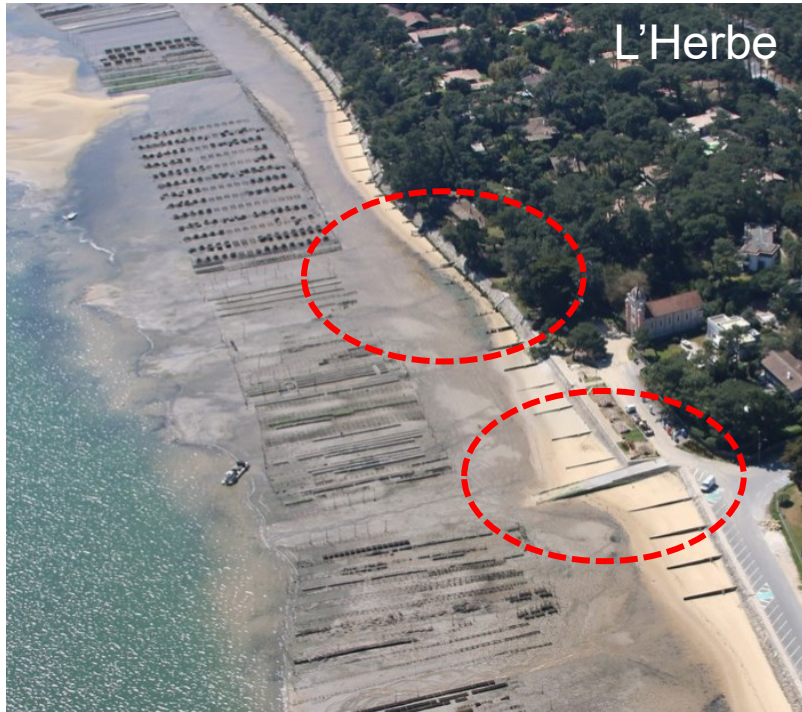


Le niveau de sable est déterminant

Cycle de réfection 40 ans max

Diversité des ouvrages transversaux

→ Efficacité variable pour contrôler la largeur de la plage





Les ouvrages transversaux

- Davantage utilisés dans le passé par les ostréiculteurs
- Durée de vie des épis en bois = 5 ans (source : ostréiculteur)
- Efficacité très variable selon :
 - ✓ Longueur
 - ✓ État / entretien
 - ✓ Stock sédimentaire

Les villages ostréicoles



L'Herbe



Pirailan



Le Grand Coin

Les villages ostréicoles



Autres structures



Constats qualitatifs de l'état actuel

- **Typologies variées** : ouvrages longitudinaux et épis, conçus pour fixer localement le rivage et maintenir une plage.
 - **Mosaïque et discontinuités** : protections hétérogènes à l'échelle parcellaire, raccordements sensibles, continuité rarement assurée sur un linéaire homogène.
 - **Fragilités récurrentes** : déchaussements, brèches, dislocations, affouillements en pied.
 - **Durées de vie contrastées et fortement dépendantes de l'entretien.**
- **Présence d'ouvrages $\neq$ protection durable** : La capacité à tenir dans le temps dépend du linéaire, de la maintenance, et du niveau de sable au pied.

Bélisaire (dune franque)



L'Herbe



Collection Ferretdavant.com



Le Canon



Collection Ferretdavant.com



Le Canon



Collection Ferretdavant.com



Le Grand Piquey



Le Grand Coin

1930 ?



Phototypie Marcel Delbô, Bordeaux
4. - PIQUEY (Bassin d'Arcachon). — Les Chalets de la Plage du Grand-Coin M. D.

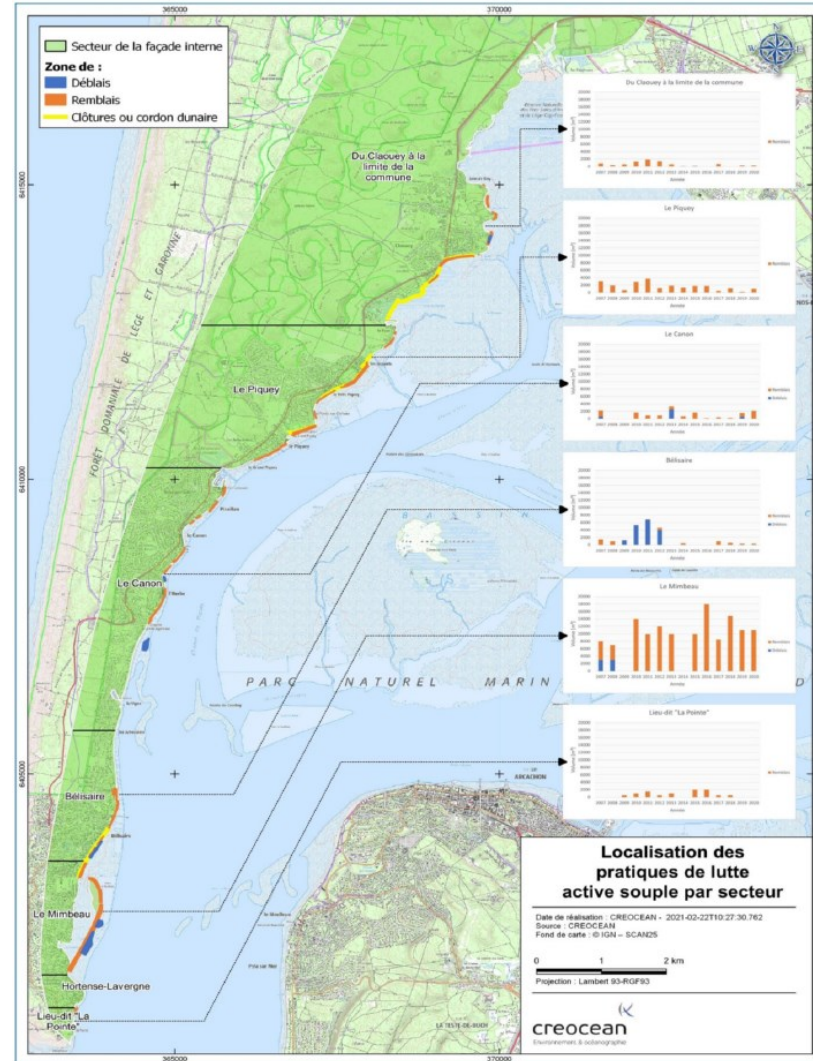


Constats qualitatifs : évolution long terme

- Disparition ou forte réduction de plage sur les secteurs en bordure de chenal.
- Abaissement généralisé des niveaux sableux.
- Exhaussement / rehaussements successifs + « endurcissement » des ouvrages comme réponse adaptative à l'augmentation des niveaux d'eau et à la perte de tampon sableux.
- Stabilité relative dans certaines anses ou secteurs abrités, parfois au prix d'une gestion sédimentaire (rechargements).

Maintenance : rechargements SIBA et maintien du niveau de sable

- Objectifs des rechargements :
 - maintenir une plage utile,
 - une zone tampon et limiter l'exposition des pieds d'ouvrages aux clapots et courants.
- Pilotage : programmation récurrente basée sur :
 - diagnostic de terrain et levés topographiques annuels pour prioriser les secteurs
 - demandes usagers / habitants
- Contraintes d'accès sur certains secteurs

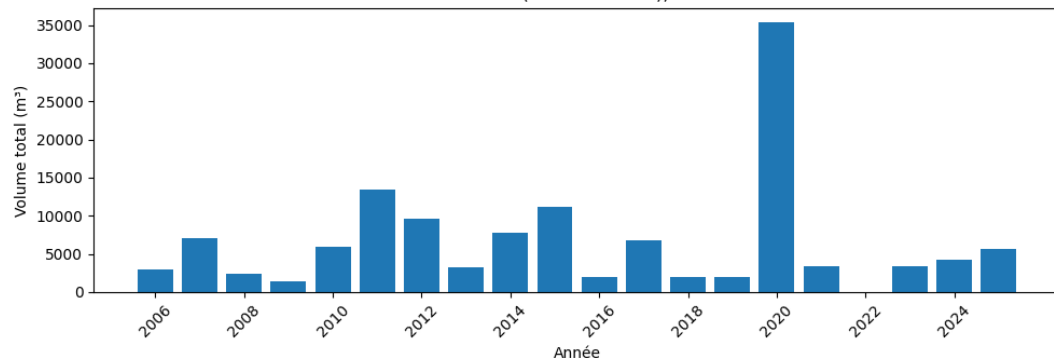


Maintenance : rechargements SIBA et maintien du niveau de sable

- Ordres de grandeur : 129 740 m³ rechargés sur le secteur d'étude (hors Mimbeau) entre 2006 et 2025
- Dont : Américains 29 200 m³, La Vigne 26 000 m³
- Stratégie / besoin très variable selon les secteurs
- Variabilité temporelle forte



Réensablements SIBA - volumes annuels totaux
Secteur d'étude (hors Mimbeau), source SIBA



Conclusion sur la prise en compte des ouvrages

- **Décision : Les ouvrages de protection ne sont pas pris en compte dans les hypothèses générales de projection de l'aléa érosion à 100 ans sur la façade interne**
- Pourquoi :
 - Hétérogénéité et discontinuités,
 - état variable,
 - dépendance à une maintenance locale non garantie à l'horizon 2120.
- Recommandation : Réaliser un inventaire exhaustif des ouvrages (typologie, état, continuité, maîtrise d'ouvrage, modalités et garanties d'entretien), car l'analyse présentée repose sur une démarche principalement qualitative

Exception : Port de La Vigne

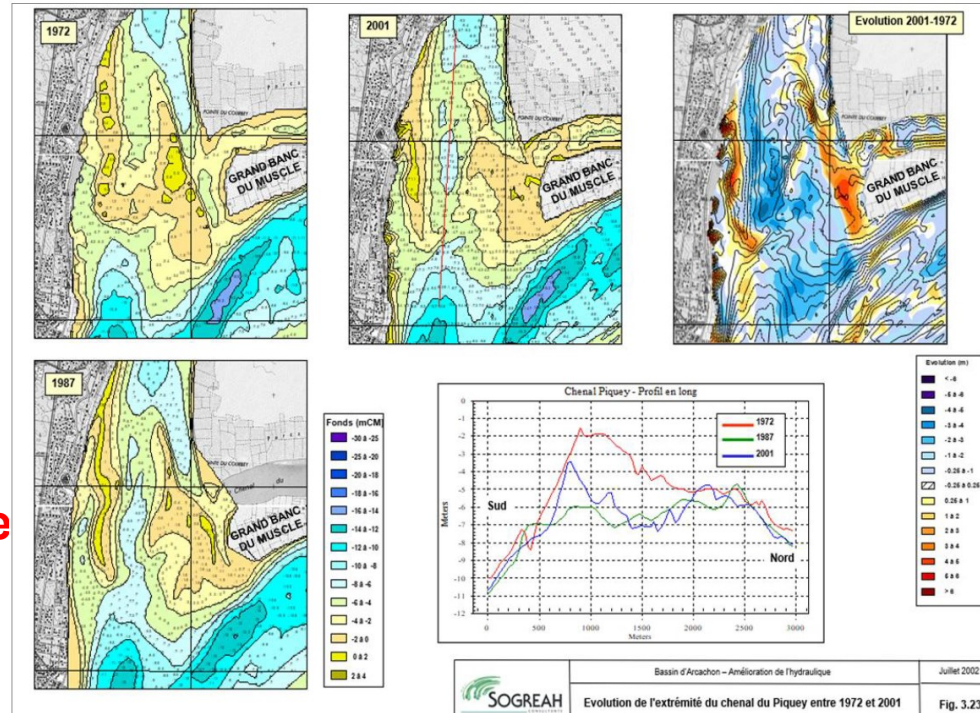
- Gouvernance identifiée (concession) et gestion structurée.
- Stratégie long terme d'entretien avec suivi
- Ouvrages extérieurs côté chenal (enrochements d'entrée) gérés par la commune.



Exception : Port de La Vigne

- Indices hydro-morphologiques : absence de fosse d'affouillement marquée au pied des protections côté chenal, tendance à la sédimentation à proximité.
- **Tronçon du port de la Vigne pris en compte dans la construction de l'aléa, avec interruption locale de la bande d'aléa**

→ Hypothèse de continuité de l'engagement publique



Variabilité des sollicitations hydrodynamiques

Mise en place d'un modèle hydrodynamique à l'échelle du bassin

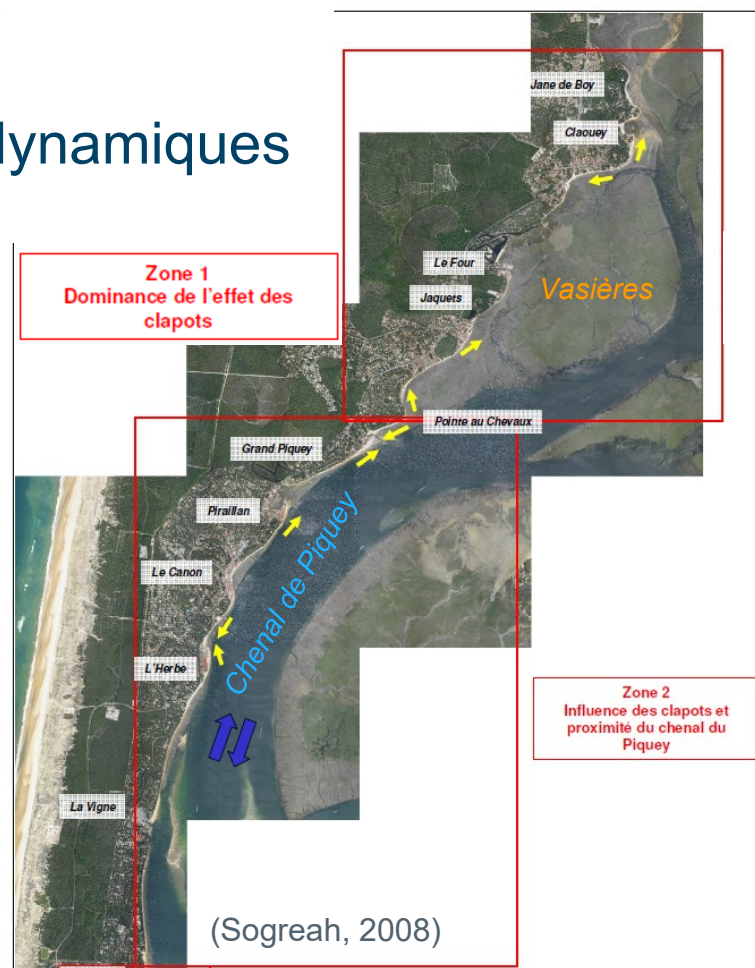


Facteurs contrôlant les gradients hydrodynamiques

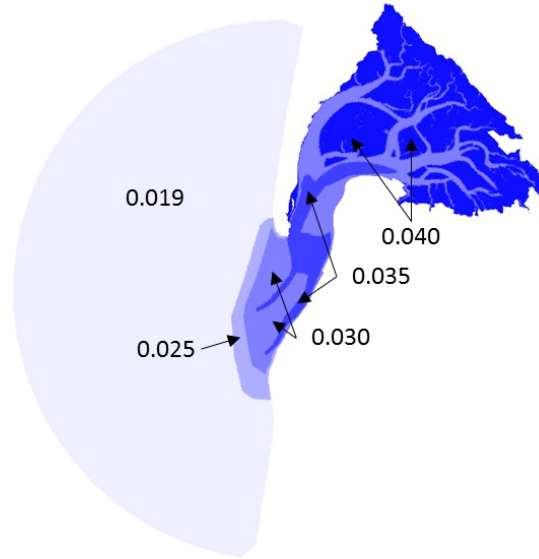
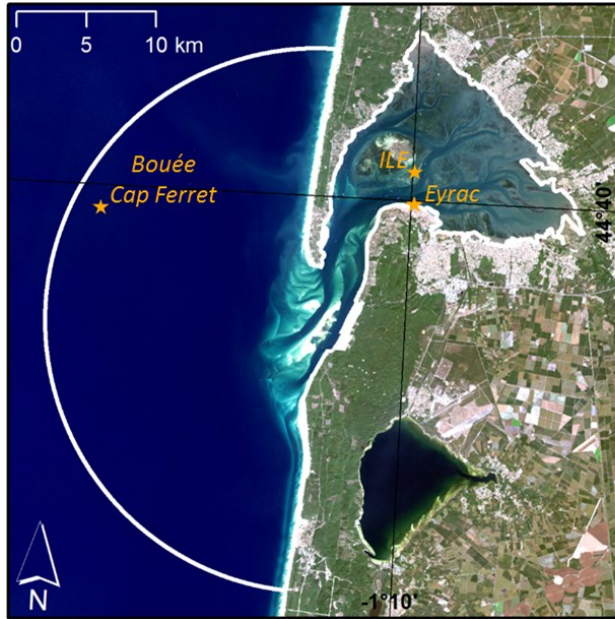
Deux contextes, deux niveaux d'exposition :

- **Secteur « chenal »** : sollicitations fortes (courants, clapot), gradients marqués
- **Secteur « vasières »** : sollicitation atténuée par l'estran intertidal

→ Largeur d'estran et distance au chenal module l'intensité potentielle de l'érosion

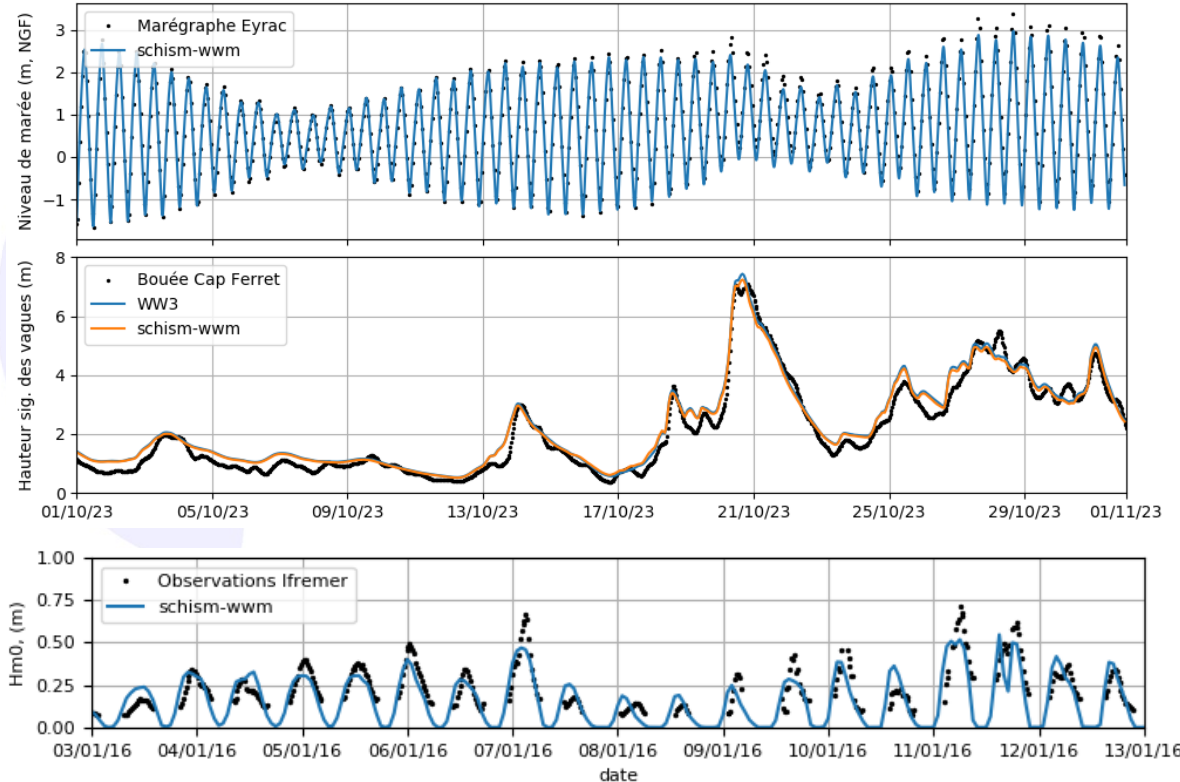
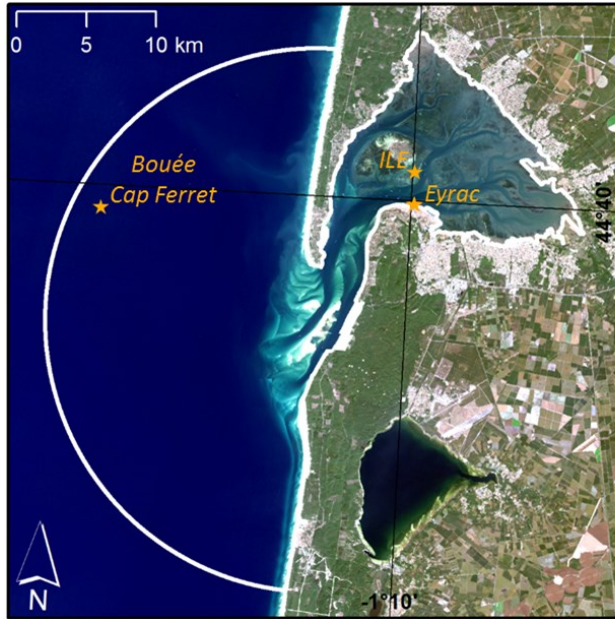


Utilisation d'un modèle 2D hydrodynamique « bassin »



- En collaboration avec le laboratoire de génie civil de Lisbonne (LNEC)
- **Objectif** : extraire le long du rivage les forçages hydrodynamiques nécessaire aux composantes de l'aléa
- Représentation fine des replat intertidaux et des chenaux

Calibration et validation du modèle (niveau + vague)



Approche empirique pour le calcul des T_x

Recul chronique à long terme sous l'effet des sollicitations hydrodynamiques

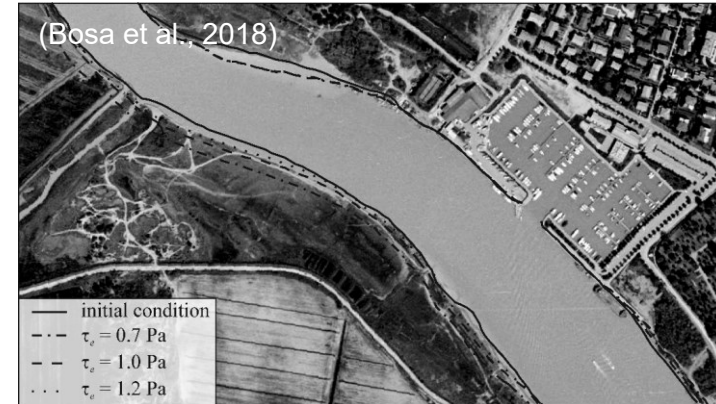
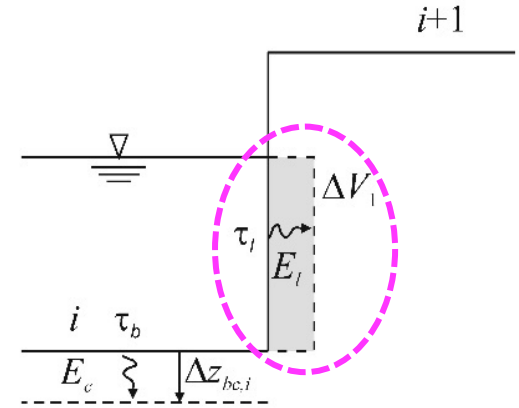


Taux d'érosion instantané (excess shear stress)

Loi de type Partheniades

$$E(t) = M[\tau(t) - \tau_{cr}]^+$$

- $E(t)$: taux d'érosion (m/s)
- M : coefficient d'érodibilité (m/s/Pa)
→ *terme de calibration = vitesse d'érosion*
- $\tau(t)$: contrainte de cisaillement (Pa)
→ *force exercée par le courant sur le fond*
→ *extraction du modèle « bassin »*
- τ_{cr} : contrainte critique d'érosion (Pa)
→ *seuil de mise en mouvement / d'érosion*



Principe du seuil critique

$$\tau(t) < \tau_{cr}$$

- ✓ La contrainte appliquée est inférieure au seuil
- ✓ Pas d'érosion :

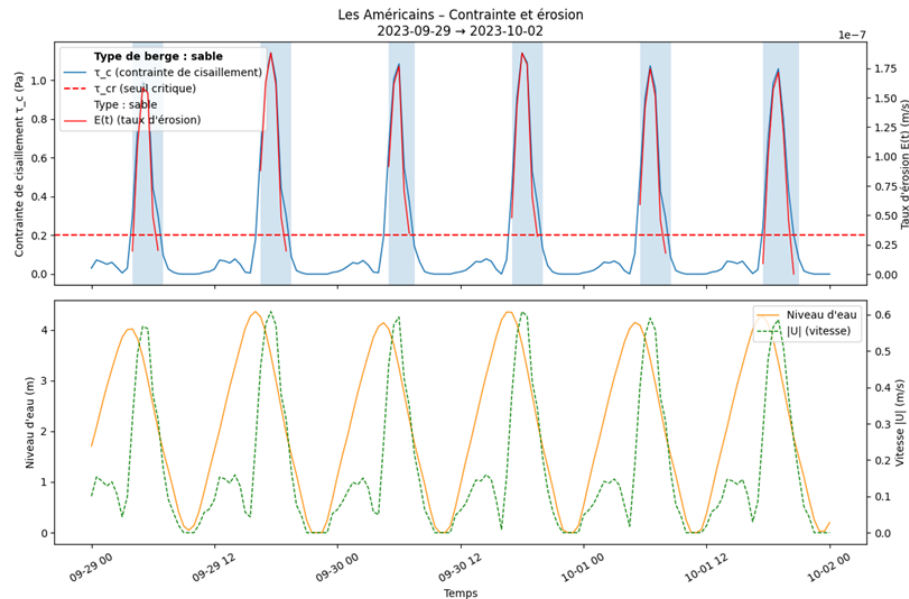
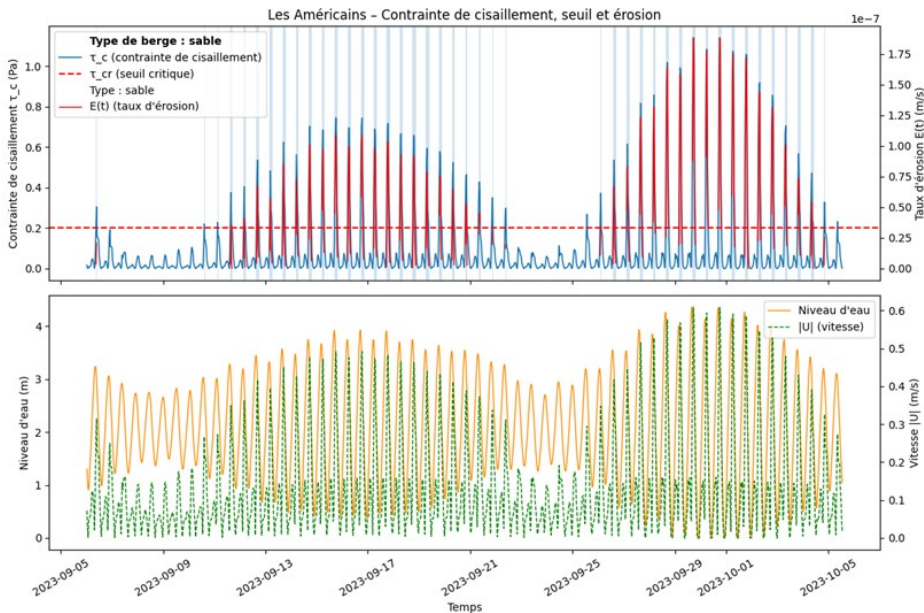
$$E(t) = 0$$

$$\tau(t) > \tau_{cr}$$

- ✓ La contrainte appliquée dépasse la résistance du matériau
- ✓ Il y a érosion, avec une intensité proportionnelle à l'**excès de contrainte** :

$$E(t) = M[\tau(t) - \tau_{cr}]^+$$

Exemple du dépassement de seuil



Application de la loi d'érosion au PPRL

Activation ponctuelle :

Uniquement pendant les pics de courant (seuil dépassé), sinon 0.

Érosion instantanée → perte cumulée :

On cumule les pics sur une période représentative
Période simulée = 1 cycle de marées ~29 jours.

Perte cumulée → recul équivalent :

Conversion en mètres de recul moyen de berge (zone mouillée prise en compte).

Extrapolation à 100 ans :

On annualise puis $\times 100$ ans : recul réglementaire à l'horizon 2120.

Calibration des paramètres de la loi d'érosion

$$E(t) = M[\tau(t) - \tau_{cr}]^+$$

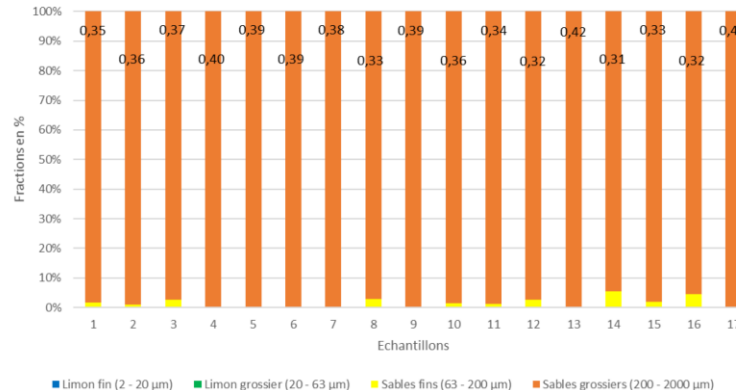
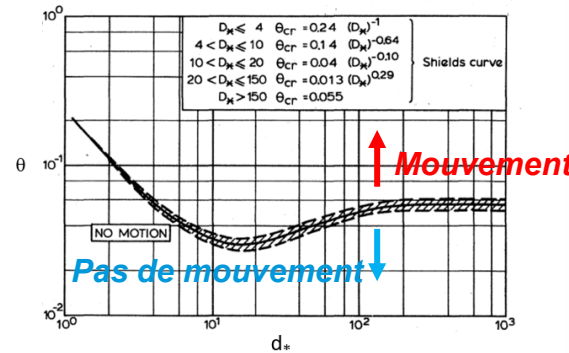
- Limiter le « dire d'expert » en s'appuyant sur :
 - ✓ τ_{cr} (Pa) : les prélèvements granulométriques pour fixer le seuil critique de mise en mouvement
 - ✓ M (m/s/Pa) : les séries topo / LiDAR sur 20 ans pour caler le coefficient d'érodibilité
- Utiliser ensuite ces paramètres calibrés pour projeter le recul sur l'ensemble du linéaire côtier.

Seuil critique de mise en mouvement (sable)

- Granulométrie médiane :
D50 = 0.36 mm

- Diagramme de Shields en s'appuyant sur le D50 (Van Rijn, 1984)

- $\tau_{cr} = 0.2 \text{ Pa}$



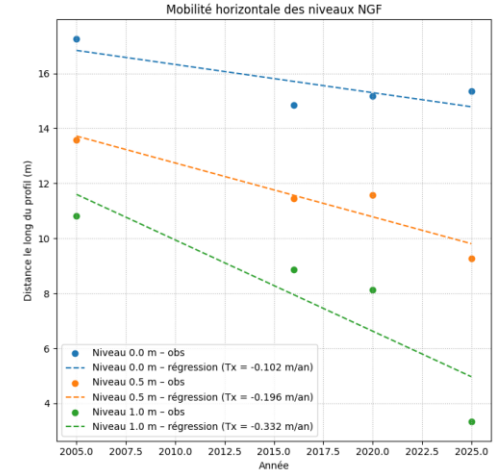
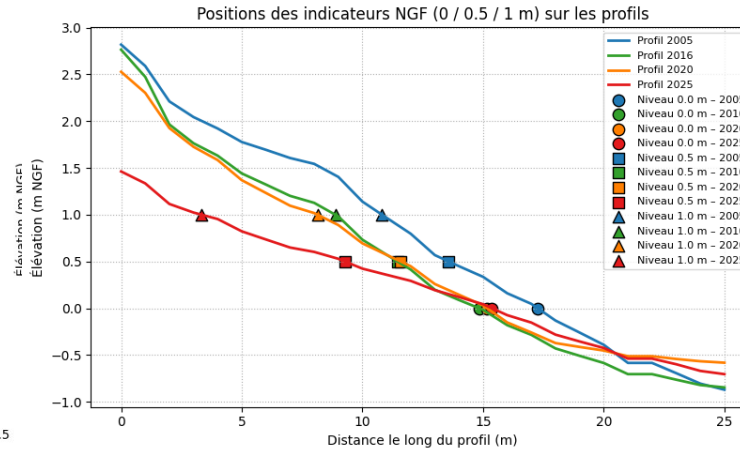
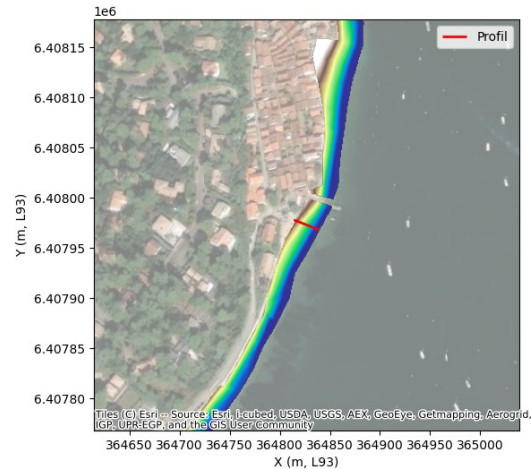
(Casagec, 2021)

Calibration du coefficient d'érodibilité

- Données utilisées :
 - ✓ MNT LiDAR (2005, 2016, 2020)
 - ✓ relevé topo 2025 du SIBA
- Le profil de l'Herbe sud est choisi comme profil de référence car il montre une tendance d'érosion claire et continue malgré les rechargements.
- Deux taux de recul sont déterminés à partir de l'évolution des positions de niveaux (0, 0.5, 1 m NGF) :
 - ✓ Tx « observé » avec rechargements
 - ✓ Tx « corrigé » en retirant l'effet volumique de l'historique des rechargements (surépaisseur calculée à partir des volumes / surface).
- Le coefficient d'érodibilité **M** est ajusté pour que la loi d'érosion reproduise ce Tx corrigé.
- **$M = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s/Pa}$**

Calcul du Tx corrigé à l'Herbe Sud

Zones remblai	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	TOTAL
Herbe Sud (PK 9.85-10.5)					800	900	300	500	300	800		400	250	500	1500	500		700	1000	2000	10 450



Indicateur 1 m NGF :

- Tx observé (avec rechargements) = -0.332 m/an
- Tx corrigé (sans rechargements) = -0.587 m/an

Synthèse des paramètres de la loi d'érosion par type de berge

- **Berges sableuses**

- ✓ $\tau_{cr} = 0.20 \text{ Pa}$ → déterminé à partir des échantillons granulométriques

- ✓ $M = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s/Pa}$ → calibré sur le profil de référence

- **Villages ostréicoles / remblais sable + coquilles**

- ✓ $\tau_{cr} = 0.40 \text{ Pa}$ plus élevé pour traduire une berge plus résistante

- ✓ $M = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s/Pa}$ (même comportement d'érodibilité une fois mobilisé à défaut de calibration)

- **Marais salés**

- ✓ Les tests de sensibilité montrent que les contraintes de courant ne dépassent jamais le seuil critique associé à ce type de berge dans les zones concernées (même un seuil « sableux » n'est pas dépassé)

- ✓ La dynamique est dominée par l'élévation du niveau marin et la topographie basse.

Application à tout le linéaire côtier

1. Extraction hydrodynamique

- Courants et niveaux d'eau extraits du modèle bassin à 60 m du rivage (première maille du modèle) et tous les 100 m le long de la côte.
- Pour chaque point, calcul de la contrainte de cisaillement des courants et de la hauteur de berge attaquée au cours d'un cycle lunaire.

2. Calcul du recul à 100 ans

- Application de la loi d'érosion calibrée (τ_{cr} , M) pour chaque point et chaque type de berge.
- Obtention d'un recul à 100 ans pour chaque point (application d'une moyenne glissante pour limiter les valeurs aberrantes).

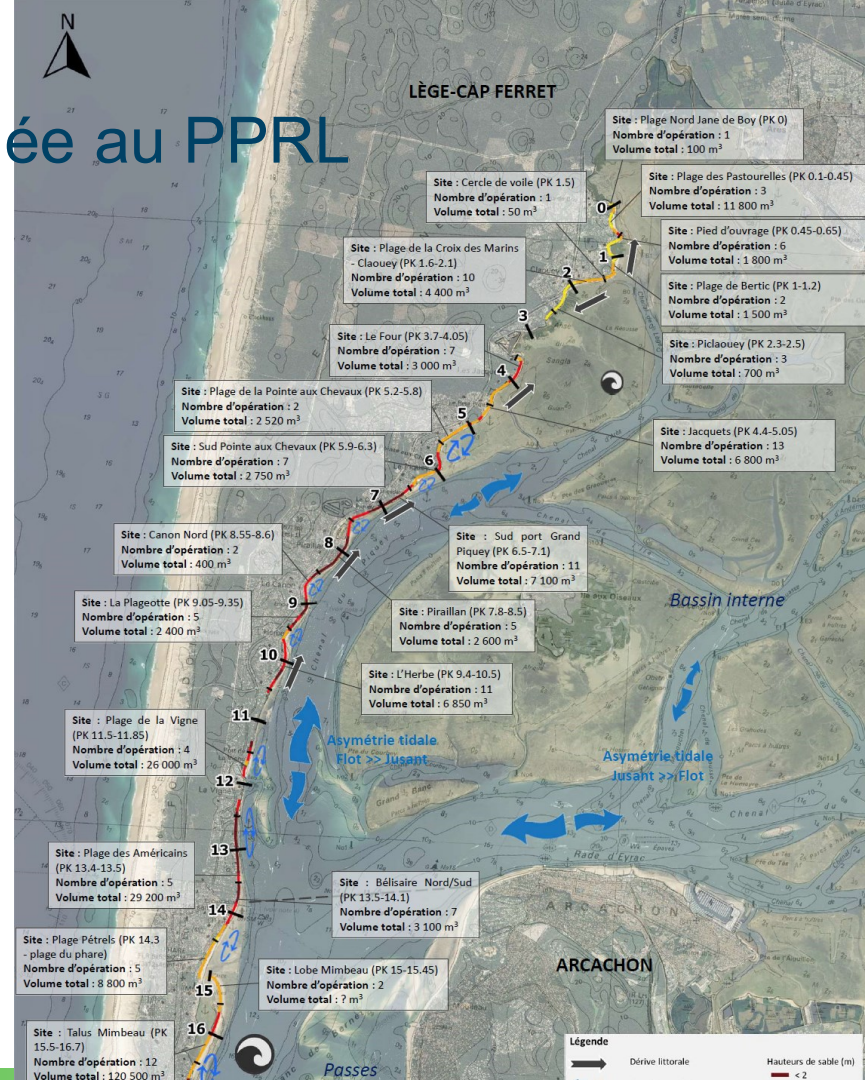
3. Projection sur le trait de côte

- Pour chaque point en mer, recherche du point le plus proche sur le trait de côte de référence.
- Projection du recul le long de l'axe qui relie le point en mer au trait de côte.
- Interpolation entre deux points projetés avec une résolution de 5 m pour obtenir un recul respectant la géométrie du rivage.
- Construction d'un nouveau trait de côte reculé à 100 ans.

Limites de la loi d'érosion appliquée au PPRL

- L'approche manque de données de calibration le long du linéaire
- T_x = potentiel d'érosion en 1D
→ ne prends pas en compte la continuité sédimentaire entre les points ou d'une cellule sédimentaire à l'autre
- Approche empirique faisant l'hypothèse d'une linéarité des dynamiques

→ Un indicateur du potentiel d'érosion par les courants sur un point donné



***Ecc* : effet du changement climatique**

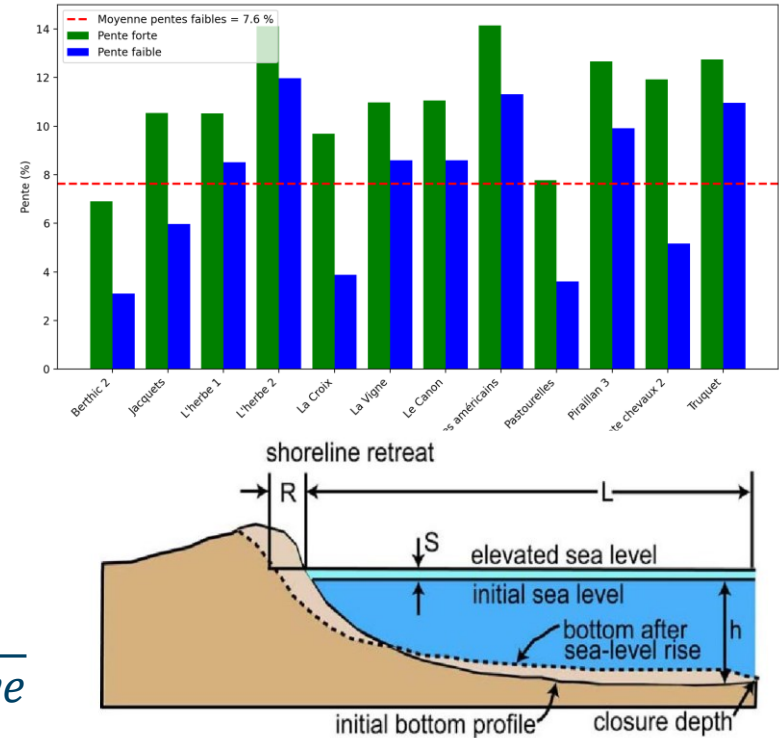
Recul lié à l'élévation du niveau de la mer



Intégration de la montée du niveau de la mer

- Analyse des pentes de plage à partir de multiples profils et années :
 - ✓ fortes variations spatiales et temporelles
 - ✓ choix d'une pente moyenne de 7.6 % pour l'ensemble du linéaire (moyenne des pentes les plus faibles).
- Hypothèse d'élévation du niveau marin à 100 ans : +0.86 m (scénario SSP5-8.5).
- Application de la règle de Bruun avec pente 7.6 %
→ **recul d'environ 11 m** sur l'ensemble du linéaire.

$$R = \frac{\Delta h_{eq,slr}}{\text{pente active}}$$



***Lmax* : recul événementiel**

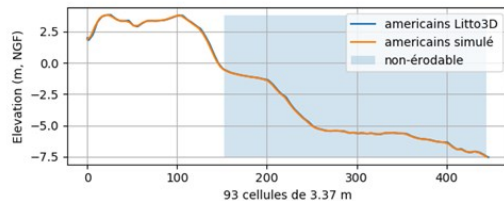
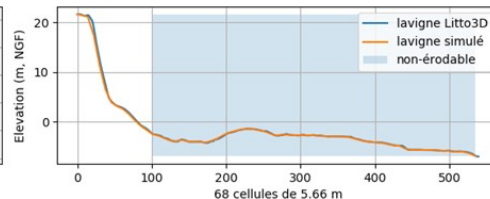
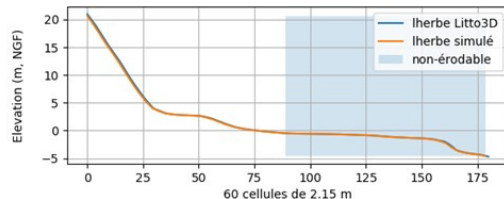
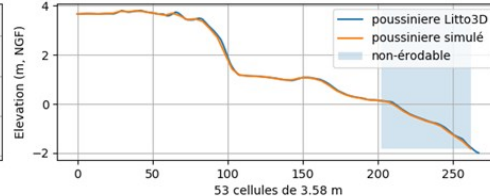
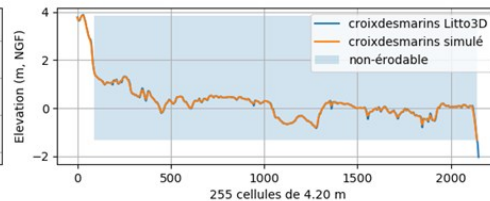
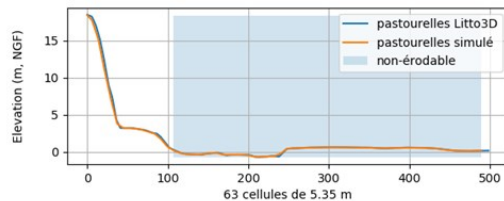
Application du modèle Xbeach sur 7 profils représentatifs



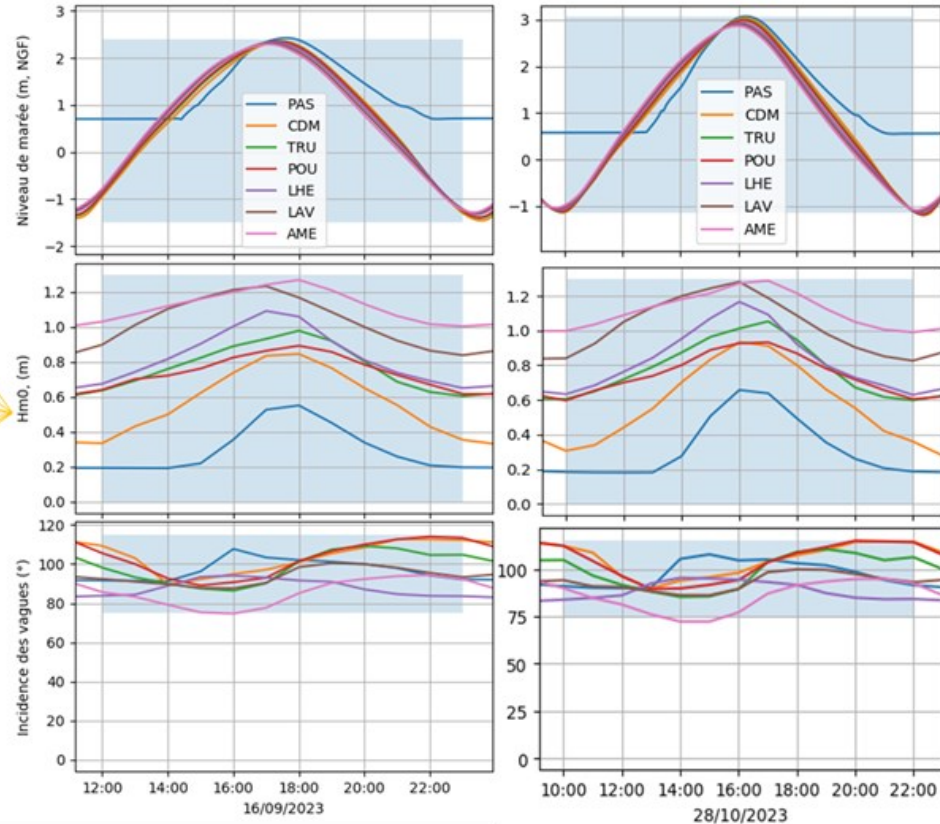
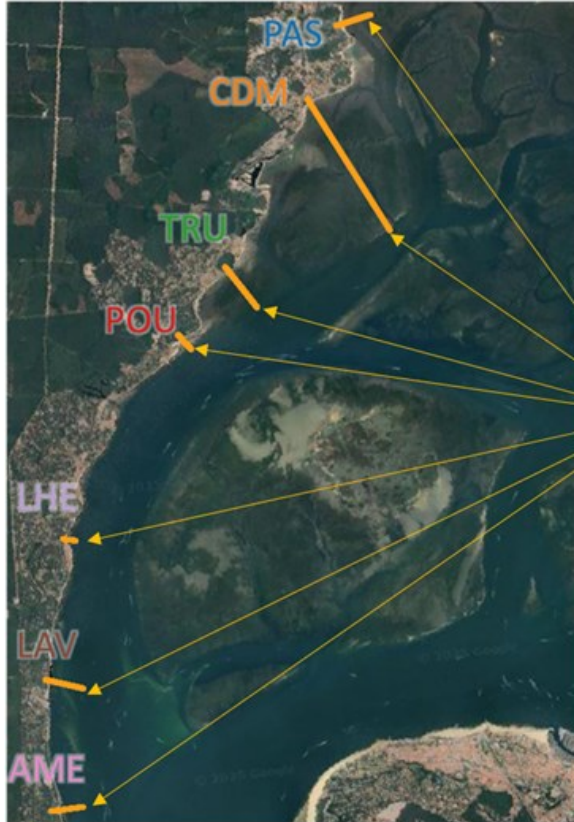
Présentation du modèle utilisé

- **XBeach :**
 - Modèle open source développé par Deltares.
 - Modèle morphodynamique évènementiel, adapté à l'estimation d'impacts de tempête sur un profil de plage (ici approche 1D)
- **Données d'entrée :**
 - Profils topo-bathymétriques extraits du MNT Litto3D,
 - Sable défini érodable sur la partie “plage sableuse”, avec $D_{50} = 0,36$ mm.
 - Forçages issus du modèle bassin : niveaux d'eau et conditions de vagues extraits à l'extrémité des profils.

Les 7 profils représentatifs



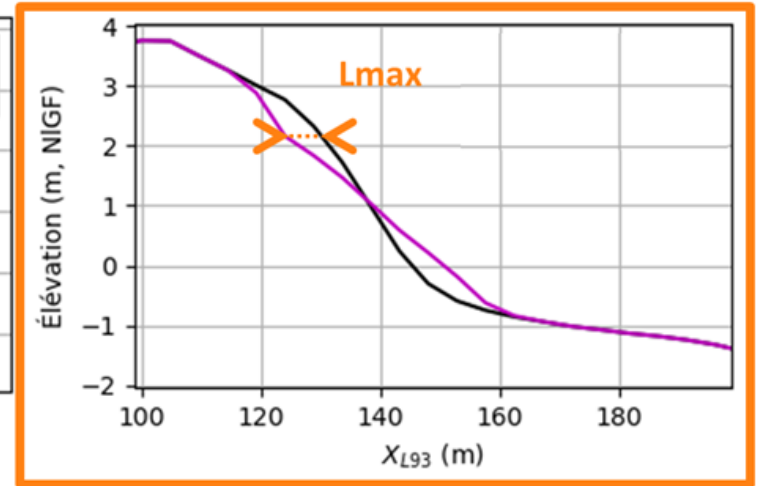
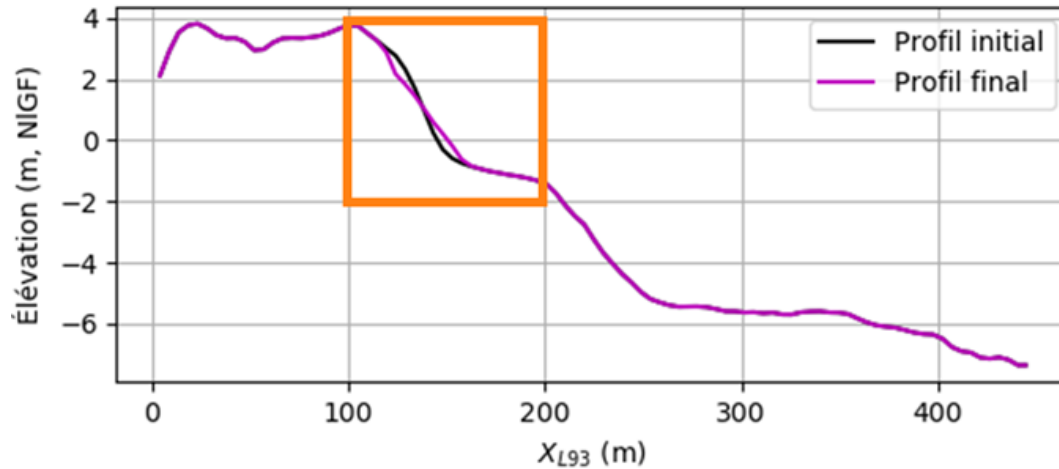
Variabilité des conditions en entrée du modèle



Méthode d'estimation du *L_{max}*

- **Scénarios simulés** (logique “événement”) :
 - Simulations sur une durée d'un cycle de marée.
 - Deux conditions de référence : vive-eau moyenne (coefficient 87) et vive-eau associée à tempête Celine (octobre 2023 - coefficient 103).
 - Conditions d'agitation issues d'une simulation conservatrice avec vent d'est constant de 20 m/s (Casagec, 2021).
- **Comment L_{max} est mesuré ?**
 - L_{max} = déplacement horizontal maximal observé entre profil initial et final, mesuré sur la zone active du profil.

Exemple de résultat (Celine – Les Américains)



Valeurs conservatives par secteur

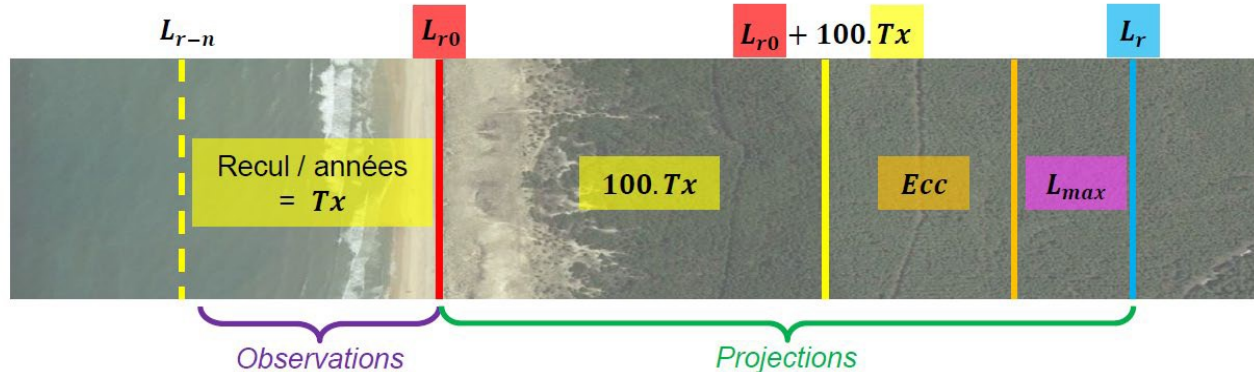
- **Principe** : Pour chaque grand secteur, on retient la valeur de recul la plus défavorable issue des profils XBeach représentatifs.
- **Pourquoi** : Assurer une hypothèse prudente et lisible à l'échelle PPRL (borne supérieure plausible par secteur, pas une moyenne).
- **Application** : Un L_{max} unique est ensuite appliqué à l'ensemble du linéaire de chaque secteur pour la cartographie réglementaire.

Profils	L_{max} (m) vive-eau moyenne	L_{max} (m) Tempête Cécile
Secteur « vasière »		
Les Pastourelles	0,6	0,9
La Croix des marins	0,8	1,2
La Truquette	0,9	0,9
La Poussinière	1,5	3,0
Secteur « chenal »		
L'Herbe	4,0	5,0
La Vigne	2,1	4,3
Les Américains	4,7	6,0

Synthèse méthodologique

Application de la méthodologie PPRL sur cette façade

- Tx = indicateur du potentiel d'érosion des courants spatialisé le long du linéaire
- Ecc = recul homogène de 11 m attribué à l'élévation du niveau de la mer (règle de Bruun avec une pente faible moyenne)
- L_{max} = recul événementiel modélisé (Xbeach) par secteur : 6 m en secteur chenal et 3 m en secteur vasière



(Creocean, 2023)

Intégration des zones basses

- Une cartographie des **zones basses** est croisée avec le recul total
- Zone basse (Z_b) < [PHMA + élévation attendue du niveau de la mer]

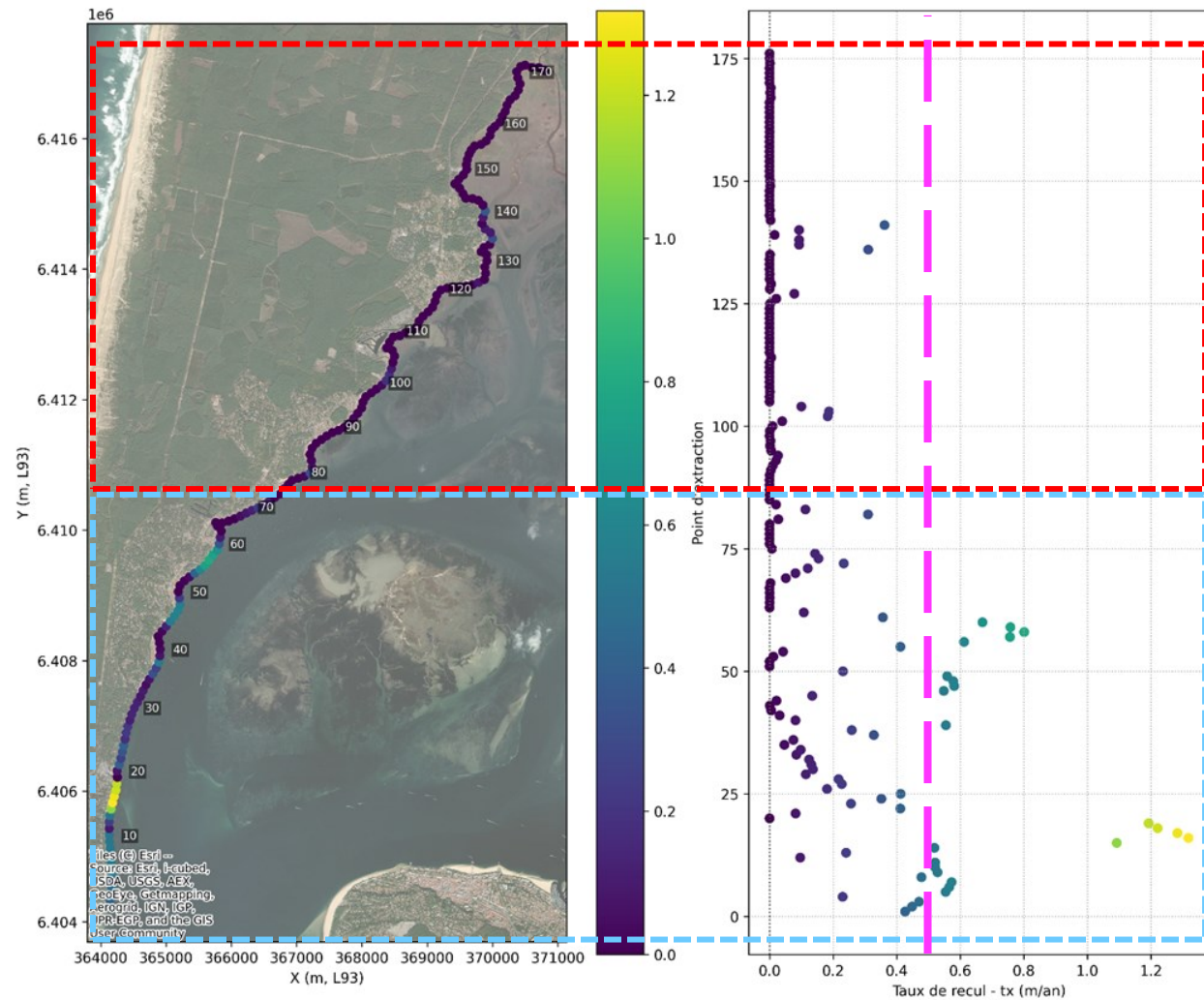
$$Z_b < [2.669 + 0.86] \approx 3.5 \text{ m NGF}$$

- Lorsque les **zones basses s'étendent au-delà** du recul total, elles étendent la zone d'aléa

Résultats cartographiques

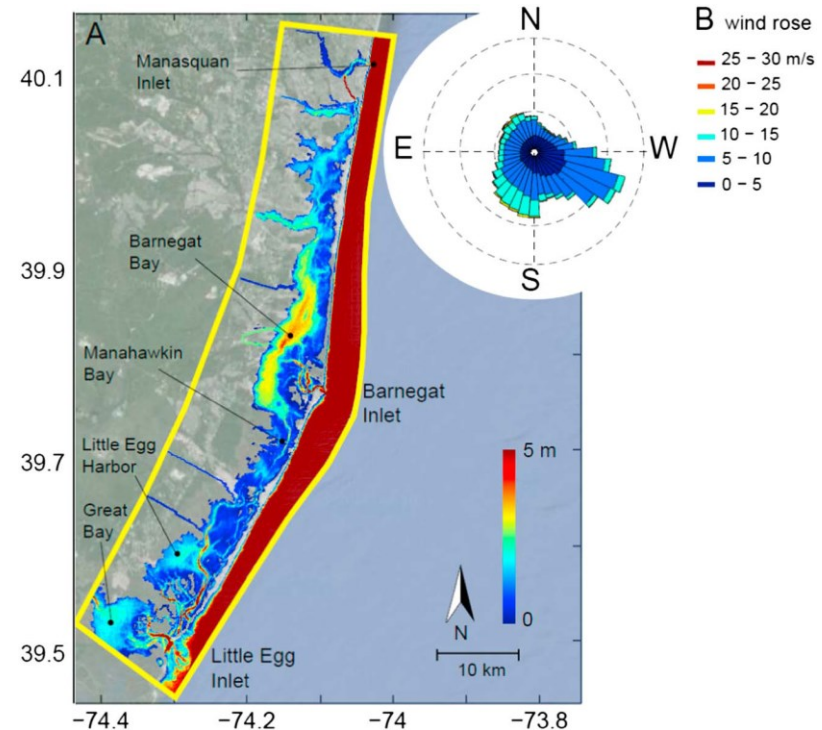
Tx (m/an)

- Contraste secteur chenal / vasière
- Tx majoritairement faible
- Les sollicitations hydrodynamiques sont accentuées sur :
 - les avancées (villages ostréicoles)
 - Tronçons resserrés du chenal (La Vigne)



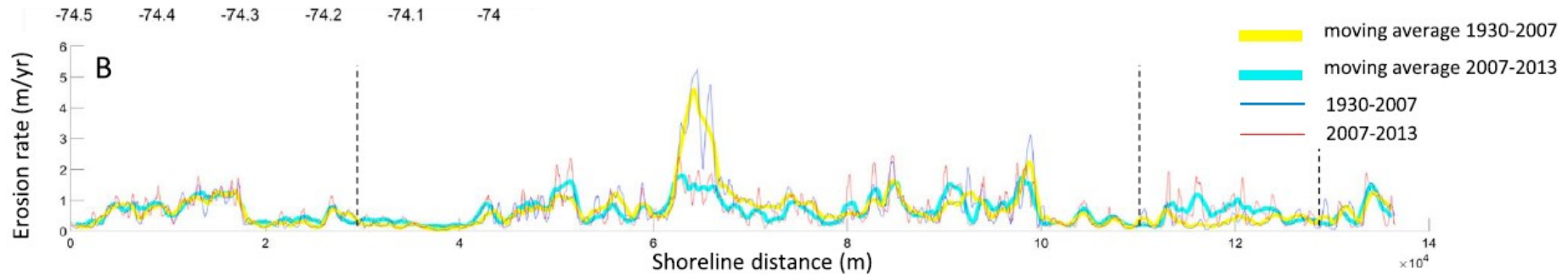
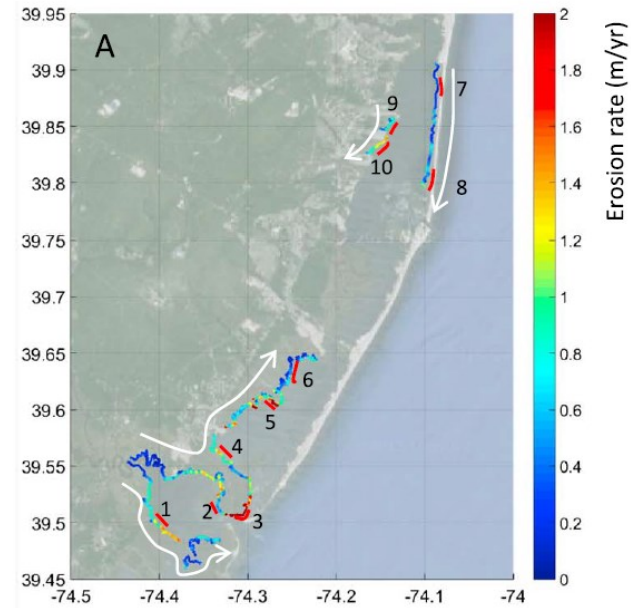
Example de T_x dans un contexte similaire au New Jersey

(Leonardi et al., 2016)

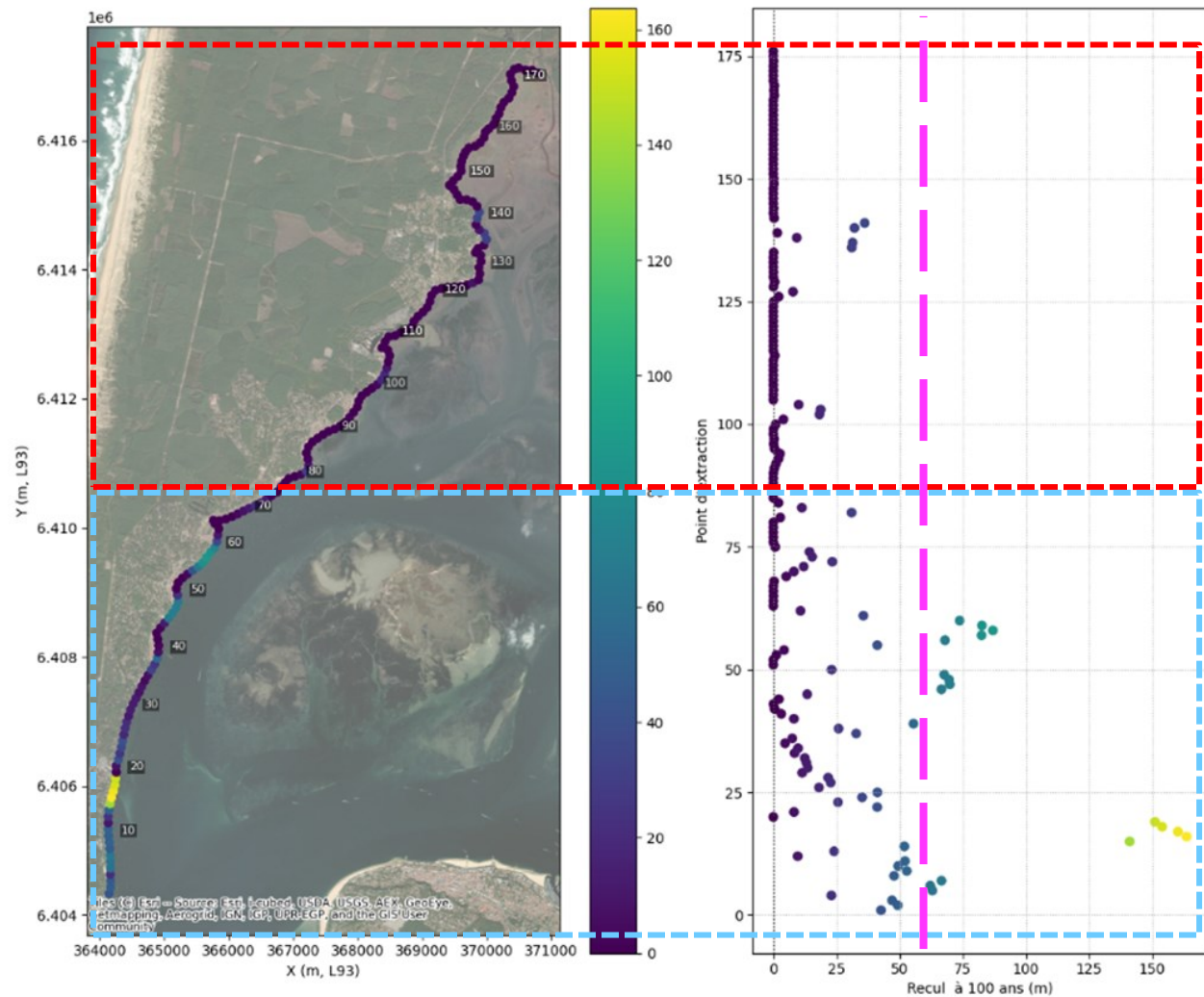


Exemple de T_x dans un contexte similaire au New Jersey

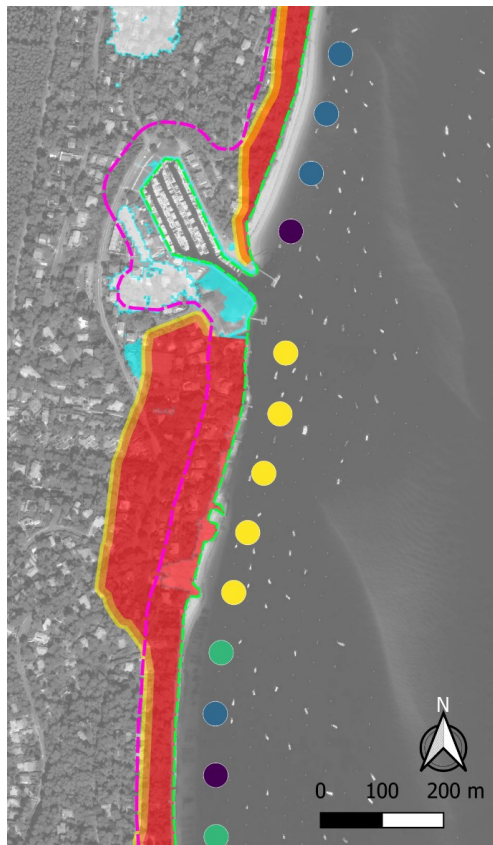
(Leonardi et al., 2016)



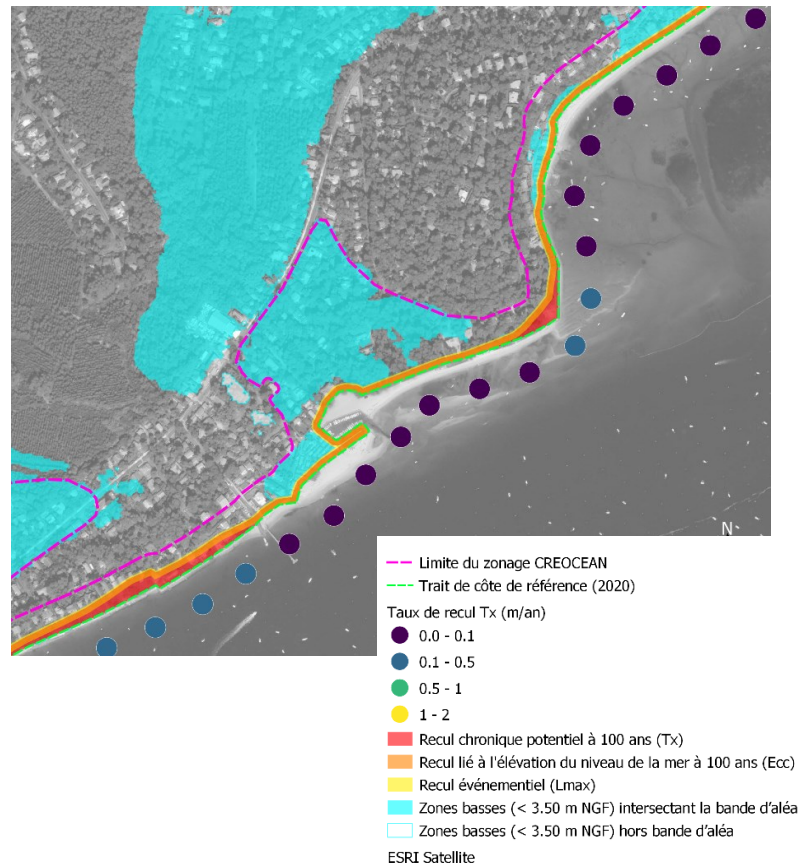
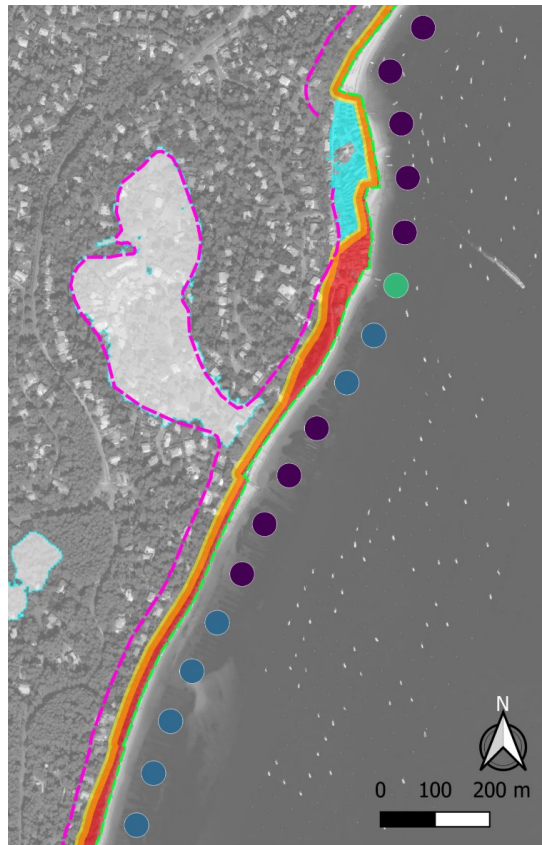
Recul chronique à 100 ans ($Tx.100$)



Exemple de résultats en comparaison avec Creoceen



© DHI



Limites

- **Approche par composantes** : pas de morphodynamique intégrée (Tx , Ecc , $Lmax$ assemblés).
- **Tx local (1D)** : pas de continuité sédimentaire / transport longitudinal explicite.
- **Calage partiel** : un profil de référence puis généralisation par classes.
- **Linéarité 100 ans** : extrapolation d'une période représentative.
- **Anthropisation/maintenance** : rechargements et travaux modulent les signaux.

Conclusion

- **Compatible PPRL** : production $Tx + Ecc + Lmax$ puis bande d'aléa.
 - **Spatialisation objectivée** : contraste chenal vs vasières + localisation de tronçons sensibles.
 - **Réduction de « dire d'expert »** : modèle bassin + calage local + transposition.
- **Redistribution de l'aléa selon un gradient physique.**

Thank you