

Stratégie long-terme de protection du territoire Somme-Authie face au risque de submersion marine



GHESQUIERE Guillaume, SIGWALD Robin,
LEDOUX Sébastien - ARTELIA



DU 22 AU 24
JUN 2022

1^{ères}

Rencontres de **L'INGÉNIERIE MARITIME**

CAEN

INTRODUCTION – CONTEXTE - 1



Tempête Xynthia 1^{er} novembre 2010 :

- 47 morts en Charente-Maritime et en Vendée
- 1,5 milliards d'euros de dommages en France (vent + submersion)
- Dont 71,5 millions d'euros de pertes pour les agriculteurs en Charente-Maritime et Vendée

L'Etat demande aux collectivités d'élaborer un Plan d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) pour le territoire Bresle-Somme-Authie, qui sera validé le 5 novembre 2015



Objectif :

Protection pour près de 20 000 personnes contre une tempête centennale actuelle, ou décennale en 2065 sous l'effet du changement climatique.

Axe 1 : l'amélioration de la connaissance et de la conscience du risque

Axe 2 : la surveillance, la prévision des crues et des inondations

Axe 3 : l'alerte et la gestion de crise

Axe 4 : la prise en compte du risque inondation dans l'urbanisme

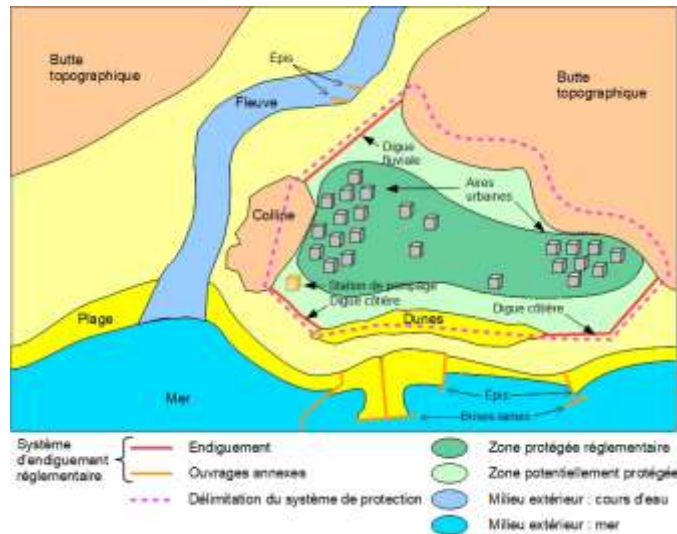
Axe 5 : les actions de réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens

Axe 6 : le ralentissement des écoulements

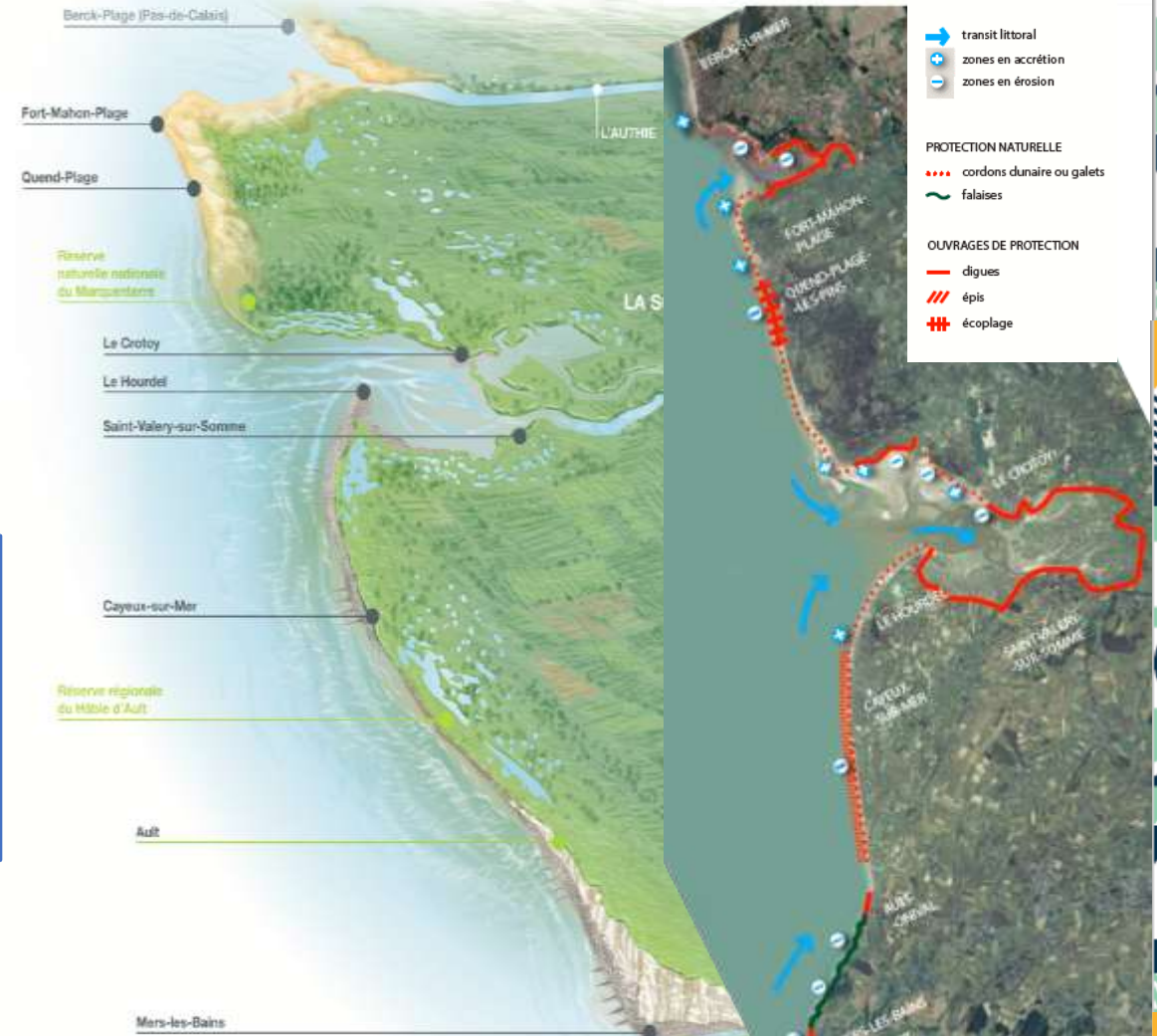
Axe 7 : la gestion des ouvrages de protection hydrauliques

INTRODUCTION – CONTEXTE - 2

- Le PAPI BSA a défini des orientations quant à la nature des ouvrages, leur localisation, et les niveaux de protections recherchés.
- Ces orientations n'ont pas de valeur réglementaire et doivent refaire l'objet d'une analyse détaillée et multicritères lors des études de maîtrise d'œuvre et des démarches d'autorisations → **Démarche Eviter Réduire Compenser (ERC)**.
- Intérêts majeurs du projet :**
 - Territoire exposé à de nombreuses manières différentes aux aléas du fait de ses morphologies variées (baies, littoraux exposés, estuaires...),
 - Contexte environnemental et paysager riche et sensible,
 - DONC des scénarios d'aménagements proposés très variés pour permettre la fermeture des deux systèmes d'endiguement.



- Le système d'endiguement s'appuie sur les points hauts naturels du terrain pour fermer une zone protégée.
- Cette « fermeture » est valable jusqu'à un certain niveau marin atteint en tempête = Niveau de protection



SOMMAIRE

La présentation détaille les différents principes méthodologiques mis en place afin d'accompagner cette réflexion pluridisciplinaire :

- ✦ **Une concertation et co-construction avec les habitants et acteurs**, notamment la profession agricole.
- ✦ Une démarche qui s'appuie sur une **modélisation numérique d'une ampleur exceptionnelle** pour assurer la qualité technique.
- ✦ **La variété des aménagements de protection contre le risque de submersion marine** et les esquisses permettant une adaptation des ouvrages dans le futur face à l'élévation du niveau de la mer, si la collectivité poursuit sa stratégie de protection.
- ✦ La construction en parallèle tout au long de la démarche **d'une analyse multicritères**, au fur et à mesure de l'avancement des réflexions et de la collecte de données.

DU 22 AU 24
JUN 2022

1^{ères} Rencontres de **L'INGÉNIERIE MARITIME**

CAEN

3 SYSTÈMES D'ENDIGUEMENT

3 Systèmes d'endiguement (SE) :

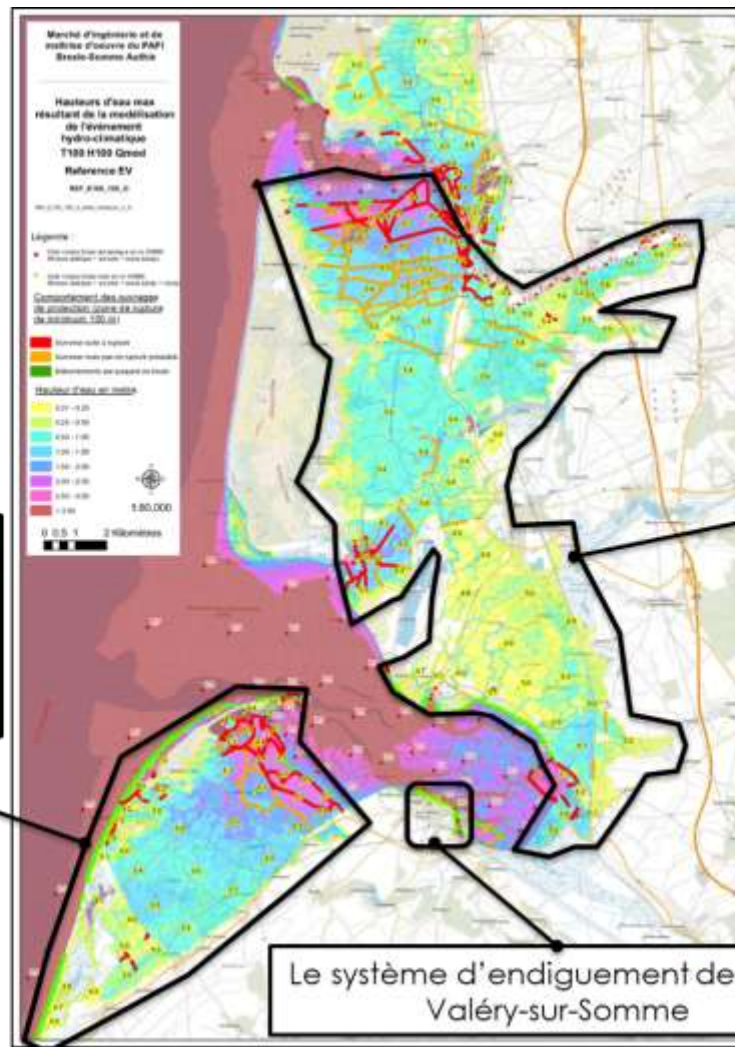
- ▶ Bas-Champs
- ▶ Saint-Valéry-sur-Somme
- ▶ Somme-Authie

20 actions / projets

**Lot 1 – Système d'endiguement (SE)
Bas-Champs**

- 7 actions
- Travaux sur la période 2023-2030
- 6 500 personnes à protéger

Le système d'endiguement
des Bas-Champs



**Lot 2 – Système d'endiguement (SE)
Somme-Authie**

- 13 actions
- Travaux sur la période 2023-2030
- 12 300 personnes à protéger

Le système d'endiguement
Somme-Authie



Fig.5. 3 000 hectares sous les eaux en 1990.

Le système d'endiguement de Saint-
Valéry-sur-Somme

CONCERTATION ET CO-CONSTRUCTION AVEC LES ACTEURS

Objectif :

Valoriser l'expertise des acteurs et référents locaux, faire exprimer les jeux d'acteurs et assainir les frustrations anciennes associées aux concertations passées

✦ 5 ateliers de concertation et 2 réunions publiques

✦ + de 30 entretiens individuels ou groupés avec les différents acteurs du territoire ont également été menés afin de préparer ces temps de concertation.



Bilan / Points positifs :

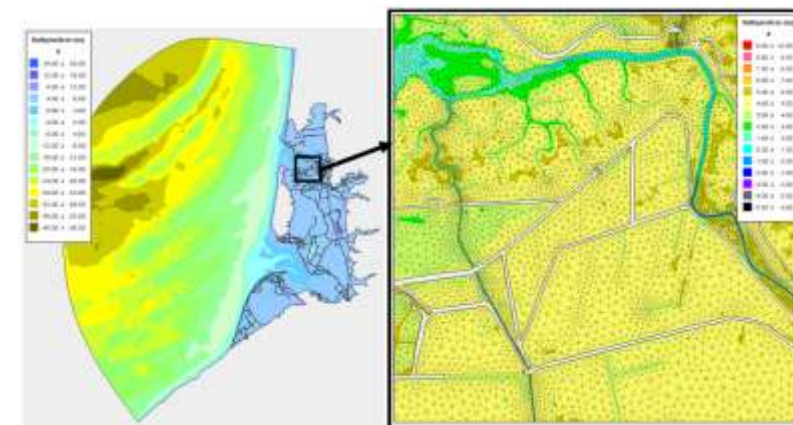
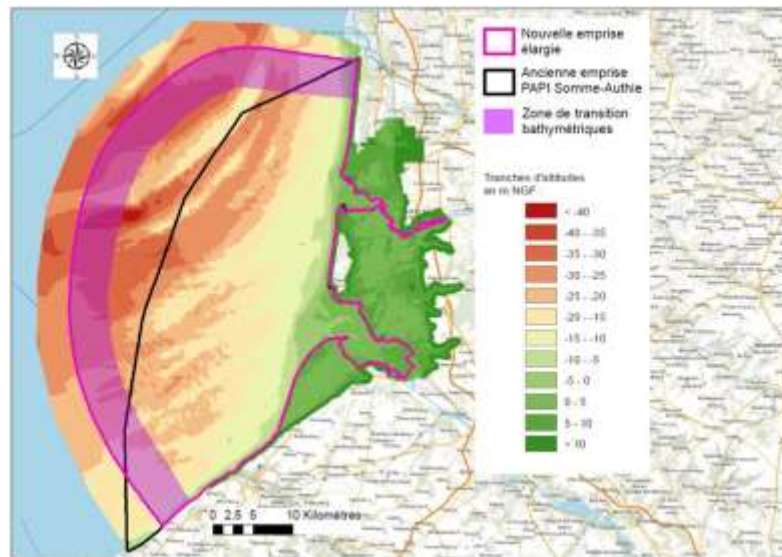
- ✦ participation et implication du public,
- ✦ écoute des attentes locales, jeu de questions/réponses intéressant et nécessaire,
- ✦ avancée et validation des scénarios d'aménagement auprès du public.

- ✦ Atelier 1 : **Regard critique en situation extrême** en termes de sentiment de sécurité ou d'insécurité sur les biens et les personnes, et de conséquences sur le territoire.
- ✦ Atelier 2 : **Présentation des actions pour chaque SE avec un fuseau sur l'emprise des futurs ouvrages.** Travail sur des calques à partir des tracés du PAPI et fuseaux d'étude. Proposition argumentée de différents tracés pour les nouveaux ouvrages en abordant les aspects sociaux, économiques, environnementaux et techniques.
- ✦ Atelier 3 : **Travail et discussion sur les types d'ouvrages, emprises, aspects, usages.** Travail sur la question de la co-construction de la vision stratégique globale sur le long terme (période après 2065).
- ✦ Atelier 4 : **Travail sur la gestion des marais.** Proposition argumentée de différents modèles de gestion coordonnée des marais en tenant compte des aspects sociaux, économiques, environnementaux et techniques.
- ✦ Réunion publique n°1 : Présentation des tracés et caractérisation des ouvrages retenus, et présentation du plan de gestion hydraulique avant le démarrage de la phase AVP.
- ✦ Atelier 5 : Travail en AVP pour recueillir des propositions du public afin de finaliser les caractéristiques des aménagements et ouvrages (besoins et attentes en termes d'usages).
- ✦ Réunion publique n°2 : Restitution de l'étude en fin de phase AVP et du bilan de la concertation.

MODÉLISATION NUMÉRIQUE HYDRAULIQUE COMPLEXE - 1

Complexité hydraulique :

- ✦ Façades exposées aux houles, avec de forts enjeux associés aux franchissements.
- ✦ Dans les baies, effets de surcote dues aux dépressions, au vent, ou au déferlement des houles (set-up).
- ✦ Les SE couvrent plusieurs façades, exposées différemment à ces différents agents dynamiques.
- ✦ La Somme et l'Authie peuvent générer des crues qui doivent être prises en compte pour ne pas générer de sur-risque d'inondation avec les futurs aménagements.



Modèle TELEMAC 2D / TOMAWAC
Emprise du modèle = 70 km
200 000 nœuds et 375 000 éléments

Forçage du modèle :

- ✦ Marée : extraite du modèle Manche développé par Artelia et est appliquée à la limite du modèle, $\Delta t = 10$ min.
- ✦ Pression atmosphérique : extraite du modèle ERA5 et est appliquée à l'ensemble du modèle, $\Delta t = 3$ heures.
- ✦ Champ de vent : extrait du modèle HOMERE et est appliqué à l'ensemble du modèle, $\Delta t = 1$ heures
- ✦ Houle : extraite du modèle HOMERE et est appliquée à la limite du modèle, $\Delta t = 1$ heure.

Représentation du niveau d'eau total
(incluant la surcote météorologique et le
wave setup)

MODÉLISATION NUMÉRIQUE HYDRAULIQUE COMPLEXE - 2

Détermination en chaque point proche du rivage des houles extrêmes et estimation d'une période de retour des événements (couple houle, niveau) océano-météorologiques propre à chaque secteur :

- ✦ **Au large** : Analyse statistique du climat de houle et analyse des houles extrêmes tous secteurs confondus et par secteur différencié.
- ✦ **Propagation des houles du large à la côte** avec le modèle TOMAWAC pour les 25 ans de données.
- ✦ **A la côte** : Analyse statistique du climat de houle et analyse des houles extrêmes tous secteurs confondus et par secteur différencié ; Corrélation houles/niveaux d'eaux pour estimation de la période de retour de l'évènement océano-météorologique.

Difficultés rencontrées pour la réalisation du modèle = représentation des digues

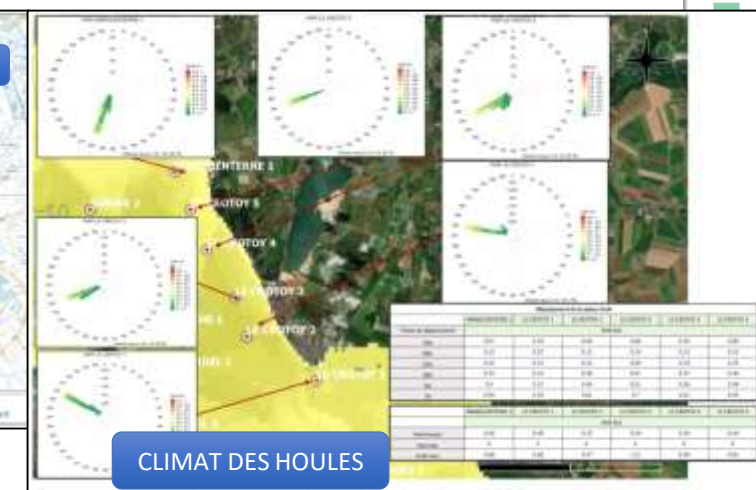
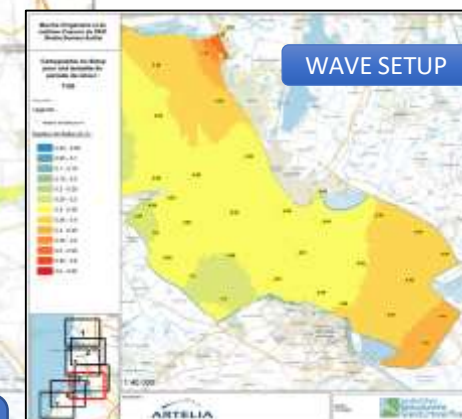
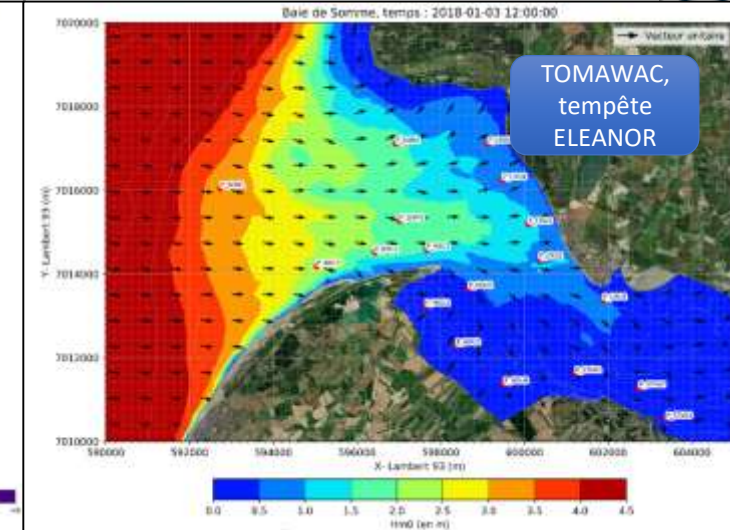
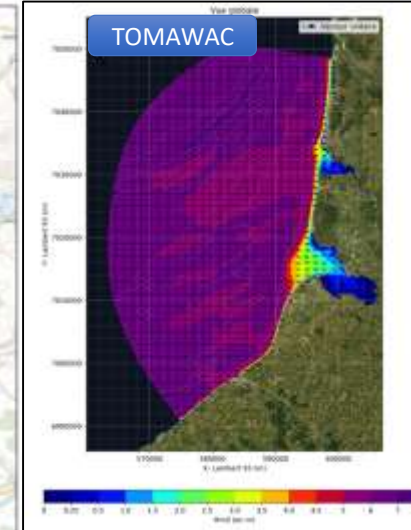
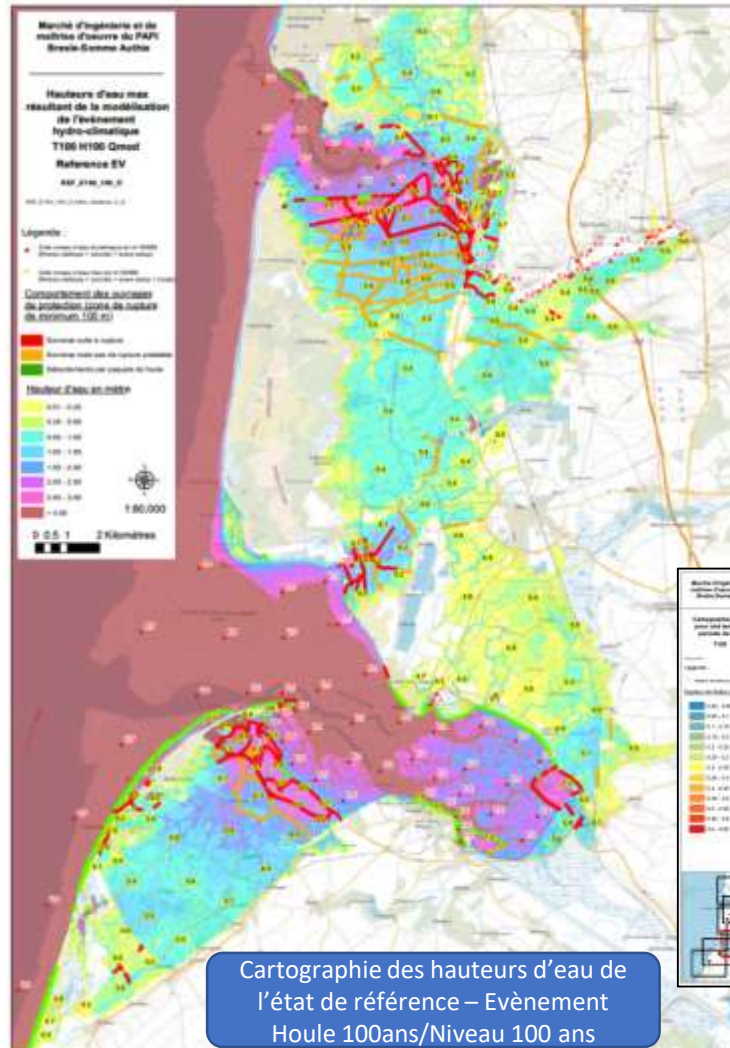
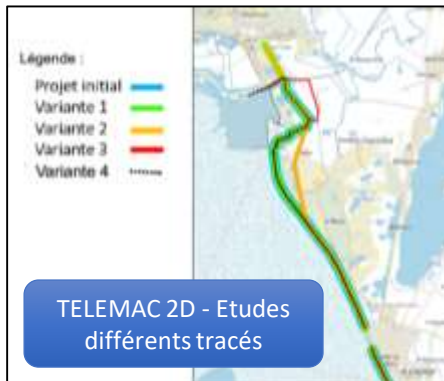
- ✦ 424 tronçons de digues sont représentés avec les options :
 - ✦ Indice d'Etat mécanique
 - ✦ type d'ouvrage
 - ✦ possibilité de rupture
 - ✦ Houle
 - ✦ possibilité de surverse
- ✦ 163 buses avec les options :
 - ✦ Clapets
 - ✦ possibilité de rupture.
- ✦ Une dizaine de canaux de ressuyage et 2 affluents majeurs sont intégrés au modèle.

MODÉLISATION NUMÉRIQUE HYDRAULIQUE COMPLEXE - 3

Le modèle fournit les résultats pour l'état de référence et pour les configurations aménagées proposées.

L'analyse des différents scénarios modélisés permet de comprendre la dynamique des débordements selon les événements. Les résultats suivants sont analysés :

- ✦ hauteurs d'eau maximums ;
- ✦ niveau d'eau dynamique (niveau d'eau statique + surcote liée au vent + wave setup) ;
- ✦ niveau d'eau dynamique + crête de houle ;
- ✦ vitesses.



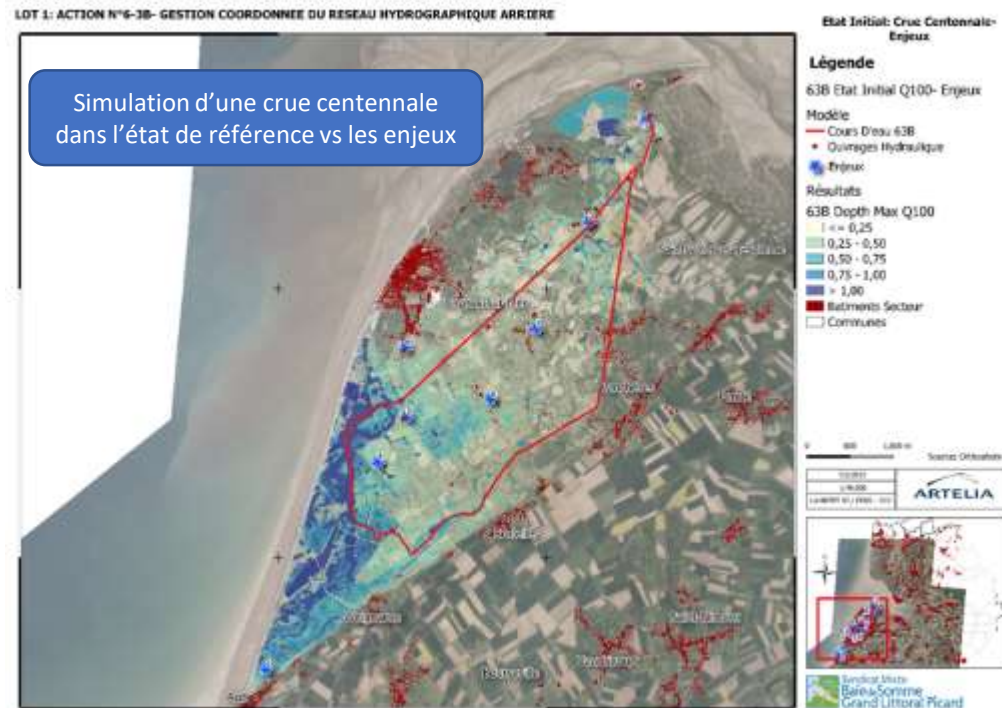
MODÉLISATION NUMÉRIQUE HYDRAULIQUE COMPLEXE - 4

Les volumes franchissants par submersion marine se propagent à l'intérieur des systèmes d'endiguement.

L'étude réside également en la gestion coordonnée du réseau hydrographique arrière.

Un second modèle hydraulique avec le logiciel HEC-RAS développé par l'US Army Corps of Engineers a été mis en œuvre couplant :

- ✦ Les débits franchissants par paquets de mer calculés par le premier modèle et injectés dans le second au niveau des canaux pour simuler les débordements associés,
- ✦ Les crues des cours d'eau pour différentes périodes de retour.



Bilan :

Ces études de modélisations permettent donc à la fois de travailler sur les capacités d'absorption et d'évacuation des volumes d'eaux sur le territoire, tout en fournissant un outil de dimensionnement des ouvrages littoraux permettant de réduire ces entrées d'eaux.

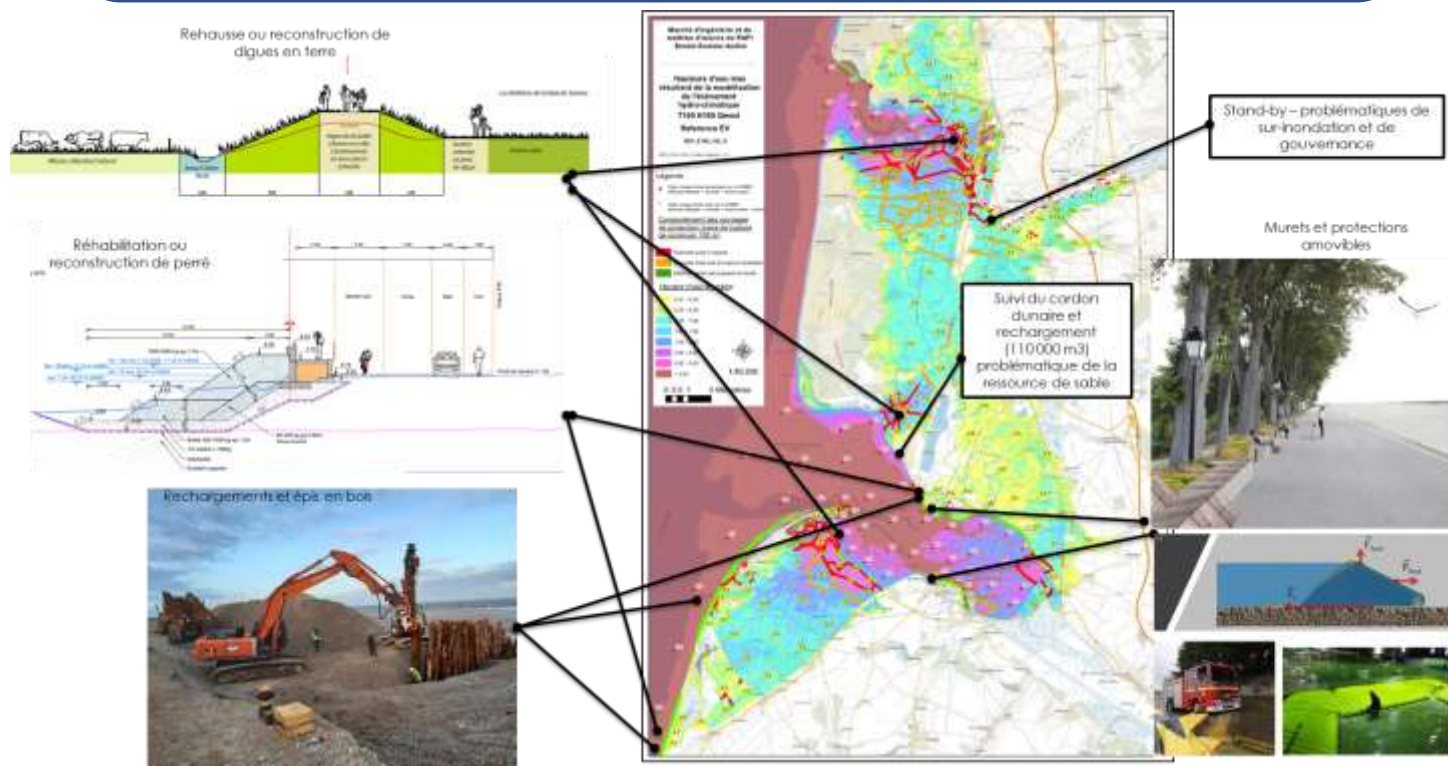
EXEMPLE DE CONCEPTION D'OUVRAGES ADAPTABLES À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER - 1

Une grande variété de scénarios d'aménagements a été proposée pour permettre la fermeture des deux systèmes d'endiguement :

- Rehausse ou reconstruction de digues en terre.
- Réhabilitation ou reconstruction de perré de front de mer.
- Rechargement en sédiments sableux et mise en place d'épis en pieux-bois.
- Système de murets anti-submersion ainsi que des protections amovibles.
- Renforcement de cordon dunaire avec des propositions douces.
- Portes à flot, curages de cours d'eau, doublement de clapets.
- Continuité écologique avec des raidisseurs aux portes à flot.

Selon les objectifs du PAPI du MOA, ces aménagements doivent trouver un juste équilibre entre:

- leur performance (niveau de protection),
- leur impact environnemental,
- leur résilience au changement climatique (ouvrages franchissables et/ou rehaussables)
- leur coût



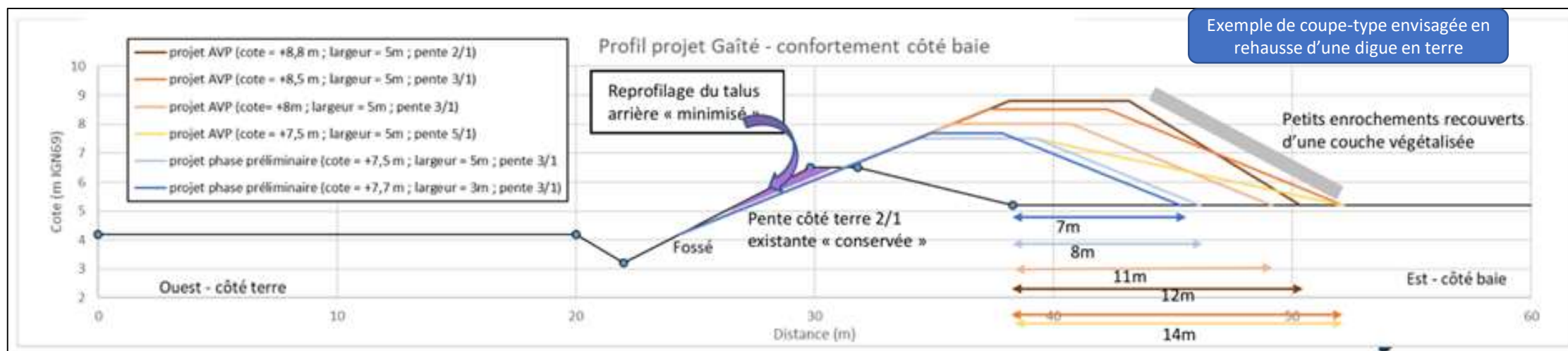
EXEMPLE DE CONCEPTION D'OUVRAGES ADAPTABLES À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER - 2

Exemple secteur de la Gaiété (Bas Champs) :

- ✦ Ouvrage large = pentes douces, arase moins élevée, permet le développement de nouveaux usages, facilite les accès, et permet de minimiser les protections externes type enrochements.

En terme de trajectoire, permet à terme d'avoir l'option de le rehausser en raidissant les pentes et prévoyant une carapace ainsi rendue nécessaire.

- ✦ Ouvrage étroit = pente raide, arase plus haute, carapace en enrochements, ouvrage potentiellement moins résilient → En fonction des enjeux de la disponibilité du foncier, de l'occupation du DPM, et des impacts environnementaux surfaciques.

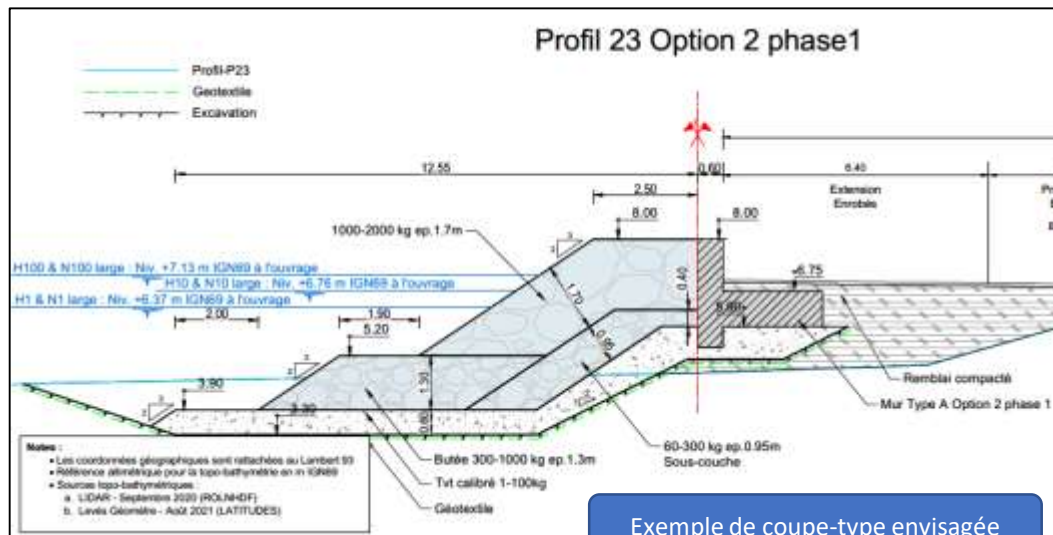


EXEMPLE DE CONCEPTION D'OUVRAGES ADAPTABLES À L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER - 2

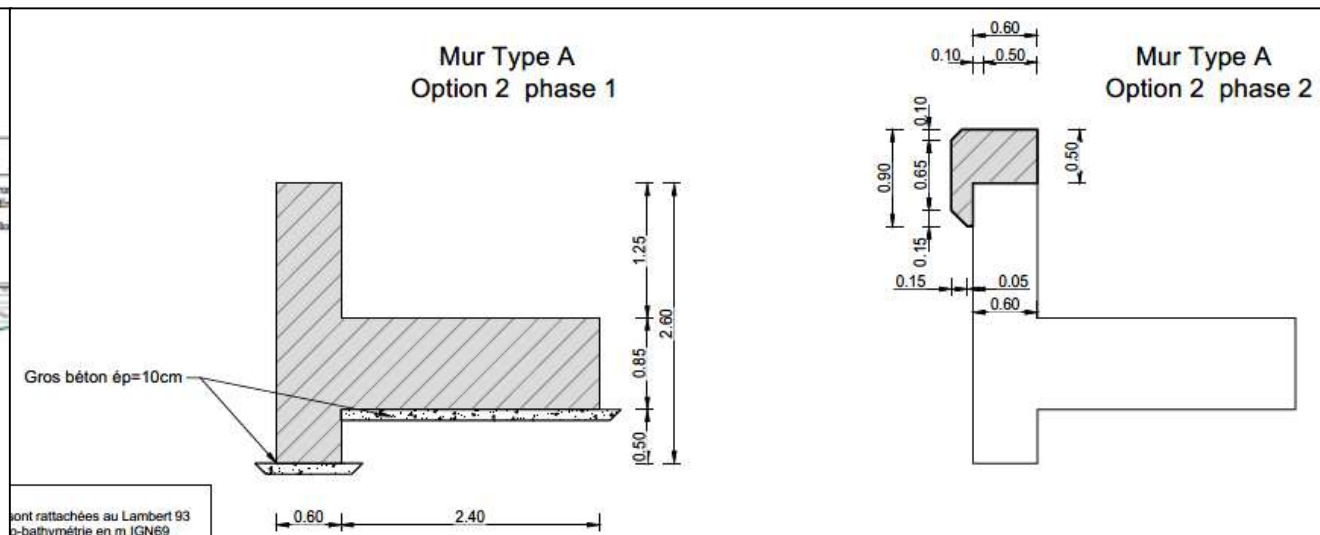
Exemple du perré Jules Noiret sur le front de mer du Crotoy :

- ✦ le perré Jules Noiret au Crotoy doit être reconstruit du fait de sa conception ancienne (perré béton de forte pente).
- ✦ L'ouvrage est optimisé d'un point de vue altimétrique pour limiter l'impact paysager, au moyen de la mise en place d'un système de ressuyage à l'arrière de l'ouvrage pour les franchissements pouvant survenir.
- ✦ Le mur chasse-mer coiffant le futur perré en enrochements est dimensionné de manière à permettre une rehausse de celui-ci tout en respectant à l'avenir ses conditions de stabilité et les objectifs de réduction de franchissement du fait de l'élévation du niveau de la mer.

Prise en compte d'une rehausse future du muret pour cet ouvrage résilient et adaptable à l'élévation future du niveau de la mer



Exemple de coupe-type envisagée



CONSTRUCTION D'UNE ANALYSE MULTICRITÈRES

L'analyse multicritères est un outil crucial dans la conception du projet.

Elle est utilisée à chaque phase d'étude (faisabilité, AVP...) pour mettre en œuvre la démarche d'éco-conception et de validation des meilleurs choix techniques au fur et à mesure qu'ils se sont posés : des choix les plus globaux (tracés d'ouvrages) aux plus précis (coupe-types, matériaux, ...).

Cette analyse repose en particulier sur une évaluation surfacique des enjeux impactés par les travaux, notamment agricoles, ainsi que sur une expertise paysagère dans un contexte de projet en site à forte valeur paysagère (Grand Site).

PAC1 Impacts sur la biodiversité	Grille notation								
	Coefficient	Note attribuée				Note attribuée			
		Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
Habitat N2000 ou à enjeux	1.25	3	2	2	2	3	2	2	2
Zone humide	1.25	2	2	2	2	2	2	2	2
Continuité écologique	0.5	1	2	2	2	2	2	2	2
Flore	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Faune	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Note pondérée	1.4	1.8	2.1	2.7				

	Méthodologie attribution note			Commentaire
	1	2	3	
Habitat N2000 ou à enjeux	Surface >L,Sha	Surface <L,Sha	Pas de surface impactée	Attention territoire « marin »
Zone Humide	Surface >L,Sha	Surface <L,Sha	Pas de surface impactée	
Continuité écologique	Obstacle à la continuité		Pas de création d'obstacle à la continuité	Attention territoire « marin »
Flore	Présence de nombreux pieds de flore protégées dans emprise W	Présence de flore protégée dans emprise W	Absence de flore protégée dans emprise W	Attention territoire « marin »
Faune	Présence d'espèces protégées dans la zone d'étude - zone à enjeux forts (cf. case commentaire)	Présence d'espèces protégées dans la zone d'étude - zone à enjeux moyen (cf case commentaire)	Présence d'espèces communes dans la zone d'étude	Attention territoire « marin » Pour estimer l'enjeu, se baser sur le risque de : - Déplacement temporaire ou permanent - Destructions individuelles - Destruction zones de chasse ou de refuge

Critères	Coefficient actions en milieu urbain	Coefficient actions en milieu nature/agricole	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D	
P1 Assurer la défense contre la mer	3	3	3.0	3.0	3.4	3.9	
P1C1 Efficacité hydraulique (à enfoncement, courbes) au regard de l'objectif PAPI de protection des personnes	2	2					
P1C2 Résistance au risque de brèche ou d'infiltration au regard de l'objectif PAPI de protection des personnes	2	2					
P1C3 Positionnement de l'ouvrage adapté au regard de l'objectif PAPI de protection des personnes	2	2					
P1C4 Robustesse / durabilité du système de protection	2	3					
P1C5 Système de protection réversible et adaptable (aménagement climatique)	2	1					
P1C6 Résistance à l'érosion en tempête ou à long terme	2	3					
P1C7 Compatibilité avec la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée de la Bande Côtière et cohérence avec le programme PAPI validé en DM	2	3					
P2 Opérationnalité du scénario	3	3	3.8	3.8	3.8	3.3	
P2C1 Incertitudes / prises de risques liées à la solution	2	2					
P2C2 Facilité de mise en œuvre / maîtrise technique	2	2					
P2C3 Surte, accessibilité du chantier et nuisances	2	2					
P2C4 Nécessité d'appui extérieur (selon volumes nécessaires et matériaux utilisés sur place)	2	2					
P2C5 Fréquence des opérations d'entretien	2	2					
P2C6 Difficulté de réalisation des entretiens	2	2					
P3 Coût du scénario	3	3	5.5	3.8	3.5	3.0	
P3C1 Coût des travaux initiaux	2	2					
P3C2 Coût d'entretien et suivi	2	2					
P3C3 Coût des compensations foncières et d'exploitation	2	2					
P3C4 Coût des compensations environnementales	2	2					
P3C5 Coût pour adaptation future du système de protection	2	2					
P4 Synthèse des impacts du scénario et faisabilité réglementaire	3	3	3.5	3.8	3.3	3.7	
P4C1 Impacts sur la biodiversité	2	2					
P4C2 Impacts sur les activités humaines	2	2					
P4C3 Impact sur la morphologie et le dynamique hydro-sédimentaire	2	2					
P4C4 Défrichement / espaces boisés	2	2					
P4C5 Intégration paysagère (selon impact sur la vue) / bâtiments patrimoniaux	2	2					
P4C6 Demande réglementaire particulière à mettre en œuvre	2	2					
P5 Volet foncier	3	3	5.1	3.7	3.5	3.5	
P5C1 Matière foncière	2	2					
P5C2 Consommation d'espace agricole	2	2					
P5C3 Consommation d'espace sur le DPM	2	2					
P5C4 Consommation d'espace urbain	2	2					
P5C5 Mises de chasses / gâbles	2	2					
			Total points	96	88	89	85
			Maximum pts	120	120	120	120

Lignes vertes = critères en lien avec l'Environnement et font chacun l'objet d'une grille d'analyse plus détaillée permettant de valider les grandes étapes de la démarche ERC à chaque phase du projet, en complément des approches d'écoconceptions mises en œuvre.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

PLACE AUX QUESTIONS

Remerciements à l'équipe de Maîtrise d'Ouvrage du Syndicat Mixte Baie de Somme Grand Littoral Picard dirigée par M. Bouthors et M. Bizet.

Remerciements à l'implication des près de 50 collaborateurs ARTELIA pour ce beau projet ainsi que nos partenaires COMMUN ACCORD, GEODUNES, CHOREME et CETIAC

DU 22 AU 24
JUN 2022

1^{ères} Rencontres de **L'INGÉNIERIE MARITIME**

CAEN