

# Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations

*Phase 2 - Modélisation des scénarios*

.....5 j f] 202&

Ce projet est cofinancé par le fonds européen de développement régional et par :



## Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations

Phase 2 – Tâche 3 – Modélisation des scénarios

GIPSA

RAPPORT

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
4	Version définitive	P.CLOTEAU	F.GANDILHON	A.MASSON	11/04/2022
3	Prise en compte des remarques du Comité de Pilotage	P.CLOTEAU	F.GANDILHON	A.MASSON	22/12/2021
2	Prise en compte des remarques du GIPSA	P.CLOTEAU	F.GANDILHON	A.MASSON	03/11/2021
1	Première émission du document	P.CLOTEAU	F.GANDILHON	A.MASSON	18/10/2021

ARTELIA  
6 rue de Lorraine – 38130 ECHIROLLES – FRANCE

**RAPPORT**

MODELISATION DES INONDATIONS EN ESTUAIRE DE LA SEINE : DYNAMIQUE ET EMPRISE DES INONDATIONS

# SOMMAIRE

CONTEXTE .....	7
OBJECTIFS DE L'ÉTUDE ET OBJET DU DOCUMENT .....	8
OBJECTIFS DU MODÈLE .....	9
<b>1. PRÉSENTATION DES SCÉNARIOS .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Synthèse des scénarios modélisés .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Définition des caractéristiques des scénarios .....</b>	<b>11</b>
1.2.1. Scénarios réalistes.....	11
1.2.1.1. Crue « type janvier 1910 » .....	11
1.2.1.2. Tempête de décembre 1999.....	13
1.2.2. Scénarios théoriques .....	13
<b>1.3. Périodes de retour associées aux forçages.....</b>	<b>16</b>
1.3.1. Débit de la Seine à Poses .....	16
1.3.2. Vent au cap de la Hève .....	17
1.3.3. Pression atmosphérique au cap de la Hève .....	17
1.3.4. Surcote océanique au Havre .....	18
<b>2. EXPLOITATION DES SCÉNARIOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Outils d'exploitation du modèle .....</b>	<b>19</b>
2.1.1. Niveaux d'eau le long de l'estuaire .....	19
2.1.2. Atlas cartographiques en lit majeur .....	19
2.1.3. Représentations cartographiques sous forme d'animations .....	22
<b>2.2. Scénarios réalistes.....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Crue « type janvier 1910 » – Scénario n°1 .....	23
2.2.2. Tempête de décembre 1999 – Scénario n°2 .....	27
<b>2.3. Scénarios théoriques .....</b>	<b>31</b>
2.3.1. T30 sur le secteur fluvial – Scénario n°3 .....	31
2.3.2. T100 sur le secteur fluvial – Scénario n°4 .....	35
2.3.3. T30 sur le secteur fluvio-maritime amont – Scénario n°5.....	39
2.3.4. T100 sur le secteur fluvio-maritime amont – Scénario n°6.....	43
2.3.5. T30 sur le secteur fluvio-maritime aval – Scénario n°7.....	47
2.3.6. T100 sur le secteur fluvio-maritime aval – Scénario n°8.....	51
2.3.7. T30 sur le secteur maritime – Scénario n°9.....	55

2.3.8. T100 sur le secteur maritime – Scénario n°10 .....	59
<b>3. SYNTHÈSE SUR L'EXPLOITATION DU MODÈLE .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>67</b>
Annexe 1 – Chroniques de forçages pour les scénarios d'exploitation du modèle .....	68
Annexe 2 – Résultats des scénarios d'exploitation du modèle en lit mineur .....	69
Annexe 3 – Cartographies des scénarios d'exploitation du modèle en lit majeur .....	70

## FIGURES

Figure 1- Temps de propagation de l'onde de crue de la Seine et des cours d'eau attenants par rapport à Rouen (source [1]) .....	11
Figure 2- Lignes d'eau maximales observées le long de l'estuaire pour la crue de 1910 et pour les épisodes récents de débordement de la Seine .....	12
Figure 3- Lignes d'eau maximales observées le long de l'estuaire pour les épisodes récents de débordement de la Seine et lignes d'eau de périodes de retour 30 ans et 100 ans .....	15
Figure 4- Graphe de Gumbel des débits de la Seine à Poses avant et après la création des Grands Lacs (source [4]).....	16
Figure 5- Graphe de Gumbel de l'amplitude du vent au cap de la Hève rapporté à une altitude de 10 m (source [4]) .....	17
Figure 6- Graphe de Gumbel de la variation négative de pression atmosphérique (dépression) au cap de la Hève par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa (source [4]).....	18
Figure 7- Localisation des marégraphes tout au long de l'estuaire de la Seine.....	19
Figure 8- Localisation des murets anti-inondations identifiés (source GIP Seine-Aval, 2021).....	20
Figure 9- Carte générale du dallage de l'atlas cartographique couvrant l'ensemble de l'estuaire de la Seine .....	21
Figure 10- Exemple d'image tirée d'une animation – Zoom sur le secteur amont de l'estuaire pour le scénario 6A .....	22
Figure 11- Exemple d'image tirée d'une animation - Zoom sur le secteur aval de l'estuaire pour le scénario 6A .....	22
Figure 12- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario réaliste 1 - Crue « type janvier 1910 ».....	23
Figure 13- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario réaliste 1 - Crue « type janvier 1910 ».....	23
Figure 14- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 1A et 1B .....	25
Figure 15- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Duclair et Berville-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 1A et 1B .....	26
Figure 16- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario réaliste 2 – Tempête de décembre 1999.....	27
Figure 17- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario réaliste 2 – Tempête de décembre 1999.....	27
Figure 18- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 2A et 2B .....	29
Figure 19- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Port-Jérôme-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 2A et 2B .....	30

Figure 20- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 3 - T30 sur le secteur fluvial.....	31
Figure 21- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 3 - T30 sur le secteur fluvial.....	31
Figure 22- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 3A et 3B .....	33
Figure 23- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Jumièges - Comparaison entre les scénarios 3A et 3B.....	34
Figure 24- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 4 – T100 sur le secteur fluvial.....	35
Figure 25- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 4 – T100 sur le secteur fluvial.....	35
Figure 26- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 4A et 4B .....	37
Figure 27- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur d'Oissel - Comparaison entre les scénarios 4A et 4B .....	38
Figure 28- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 5 - T30 sur le secteur fluvio-maritime amont.....	39
Figure 29- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 5 - T30 sur le secteur fluvio-maritime amont.....	39
Figure 30- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 5A et 5B .....	41
Figure 31- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Jumièges - Comparaison entre les scénarios 5A et 5B.....	42
Figure 32- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 6 – T100 sur le secteur fluvio-maritime amont.....	43
Figure 33- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 6 – T100 sur le secteur fluvio-maritime amont.....	43
Figure 34- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 6A et 6B .....	45
Figure 35- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Rouen - Comparaison entre les scénarios 6A et 6B .....	46
Figure 36- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 7 - T30 sur le secteur fluvio-maritime aval .....	47
Figure 37- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 7 - T30 sur le secteur fluvio-maritime aval .....	47
Figure 38- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 7A et 7B .....	49
Figure 39- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Saint-Nicolas-de-Bliquetuit - Comparaison entre les scénarios 7A et 7B.....	50
Figure 40- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 8 – T100 sur le secteur fluvio-maritime aval .....	51
Figure 41- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 8 – T100 sur le secteur fluvio-maritime aval .....	51
Figure 42- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 8A et 8B .....	53
Figure 43- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Port-Jérôme-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 8A et 8B .....	54
Figure 44- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 9 - T30 sur le secteur maritime .....	55

Figure 45- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 9 - T30 sur le secteur maritime .....	55
Figure 46- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 9A et 9B .....	57
Figure 47- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Vatteville - Comparaison entre les scénarios 9A et 9B.....	58
Figure 48- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 10 – T100 sur le secteur maritime .....	59
Figure 49- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 10 – T100 sur le secteur maritime.....	59
Figure 50- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 10A et 10B.....	61
Figure 51- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Honfleur - Comparaison entre les scénarios 10A et 10B.....	62

## TABLEAUX

Tableau 1- Synthèse des 20 scénarios d'exploitation.....	10
Tableau 2- Définition des marégraphes de référence par secteur et des cotes de périodes de retour 30 ans et 100 ans .....	14
Tableau 3- Synthèse des forçages et correctifs appliqués aux scénarios d'exploitation théoriques	15
Tableau 4- Périodes de retour des débits moyens journaliers de la Seine à Poses (source [4]) .....	16
Tableau 5- Périodes de retour de l'intensité du vent moyen au cap de la Hève (source [4]).....	17
Tableau 6- Périodes de retour de la variation négative de pression atmosphérique (dépression) au cap de la Hève par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa (source [4]).....	17
Tableau 7- Périodes de retour de la surcote océanique de pleine mer au Havre (sources [12] et [13]) .....	18
Tableau 8- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 1 .....	24
Tableau 9- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 2 .....	28
Tableau 10- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 3 .....	32
Tableau 11- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 4 .....	36
Tableau 12- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 5 .....	40
Tableau 13- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 6 .....	44
Tableau 14- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 7 .....	48
Tableau 15- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 8 .....	52
Tableau 16- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 9 .....	56
Tableau 17- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 10.....	60
Tableau 18- Synthèse des principales caractéristiques des scénarios modélisés et cotes maximales atteintes en quatre secteurs de l'estuaire.....	65

## CONTEXTE

Les débordements de la Seine font partie de l'histoire du fleuve. Les archives dénombrent ainsi une soixantaine de crues majeures depuis le VI<sup>ème</sup> siècle. Le territoire d'étude du GIPSA, constitué de l'estuaire de la Seine du barrage de Poses à la mer, est fréquemment soumis à ces phénomènes de débordement qui sont mal appréhendés.

En effet, selon le type d'inondation et le secteur géographique considéré, les facteurs mis en œuvre sont différents : crues de la Seine et de ses affluents, marées astronomiques, événements météorologiques. Le risque inondation dans l'estuaire de la Seine doit donc être appréhendé à l'échelle globale de l'estuaire. Or la plupart des connaissances ne couvrent que certains secteurs de l'estuaire (PPRI locaux, TRI Rouen-Louviers-Austreberthe) et s'appuient sur des analyses historiques ou des données topo-bathymétriques anciennes n'intégrant pas l'évolution de l'estuaire tant dans sa dynamique que dans son évolution morphologique.

Une étude lancée par le GIPSA en 2013 a consisté à définir des scénarios et modélisations de niveaux d'eau dans le lit mineur pour la gestion du risque inondation. Cette étude, menée par ARTELIA, ne traitait précisément que des niveaux dans le lit mineur et non dans le lit majeur. Ainsi, les débordements n'étaient évalués que du point de vue de leur impact sur l'hydrodynamique et les niveaux d'eau dans le lit mineur. Le modèle de l'estuaire de la Seine développé pour cette étude couvrait un linéaire d'environ 175 km et une superficie de 1000 km<sup>2</sup> depuis l'île du Héron (Saint-Pierre du Vauvray) en amont jusqu'à 15 km au large du Havre dans la baie de Seine à l'aval et l'ensemble de la plaine potentiellement inondable pour les événements extrêmes en lit majeur. Ce modèle, en l'état, n'est pas conçu pour cartographier les zones inondables du lit majeur et ne peut pas répondre directement aux objectifs de la présente mission.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, la GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) est une compétence obligatoire pour les 10 EPCI-FP Normands riverains du fleuve. Ceci implique le rattachement de la gestion des digues et des zones humides à cette nouvelle compétence et de nouveaux besoins et questionnements émergent : vulnérabilité du territoire au risque inondation par débordement, fonctionnement hydraulique et hydrodynamique de l'estuaire, inondabilité des zones humides, rôle et importance du système d'endiguement...

Ainsi les membres du GIP Seine Aval et la DREAL Haute-Normandie ont initié en 2018 un programme d'études complémentaires à celle de 2013 dont les objectifs sont les suivants :

- Progresser dans la caractérisation et la compréhension des inondations à l'échelle de l'estuaire ;
- Disposer de connaissances et d'éléments méthodologiques pour définir de manière cohérente les hypothèses pour les études à plus petite échelle type études de dangers et cartographies de l'aléa sur le TRI Rouen-Louviers-Austreberthe.

Une première étude menée par ARTELIA en 2019 a permis de mettre à jour l'analyse statistique des niveaux d'eau associés aux différents forçages hydro-météorologiques réalisée en 2013. Une des conclusions de cette étude, en lien avec les conclusions de celle menée en 2013, est que les niveaux d'eau de période de retour centennale semblent inatteignables via la modélisation avec des forçages fluviaux et marins centennaux.

C'est dans ce contexte et à ce stade de connaissances sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine aval, que le GIP Seine Aval a choisi ARTELIA pour la réalisation d'une étude de modélisation des inondations en estuaire de la Seine.

## OBJECTIFS DE L'ETUDE ET OBJET DU DOCUMENT

Le premier objectif de la présente étude est **d'améliorer la caractérisation et la compréhension des phénomènes de débordement dans l'estuaire de la Seine**, notamment pour les périodes extrêmes via la mise en place d'un modèle numérique de l'estuaire.

Le second objectif est le **développement d'un modèle numérique re-mobilisable ultérieurement** pour d'autres études selon les besoins (Aide à la réalisation d'études plus locales type études règlementaires, Restauration écologique, Recherche des zones d'expansion de crue et impact sur le niveau de la Seine).

La présente mission s'articule autour de 3 tâches :

- Phase 1 : Elaboration du modèle
- Phase 2 – Tâche 2 : Formation et transfert du modèle
- Phase 2 – Tâche 3 : Simulation de 20 scénarios d'exploitation

**Le présent document constitue le rapport associé à la tâche 3 de la mission. Cette tâche porte sur l'exploitation de 20 scénarios à l'aide du modèle de l'estuaire de la Seine développé et validé au cours de la phase 1. Les principales caractéristiques du modèle ainsi que ses limites sont détaillées dans le rapport cité en référence [5].**

**La présente note technique décrit tout d'abord l'approche méthodologique suivie pour définir les hypothèses de construction des scénarios d'exploitation (réalistes et théoriques) puis présente les résultats obtenus pour chacune des simulations.**



## OBJECTIFS DU MODELE

ARTELIA a développé en 2013 un modèle hydraulique de la Seine aval depuis l'amont du barrage de Poses jusqu'à l'embouchure de la Seine à l'aval. Ce modèle représente le lit mineur de la Seine et le lit majeur sur l'ensemble de la plaine potentiellement inondable pour les événements extrêmes (c'est-à-dire jusqu'aux pieds des versants marqués et identifiés sur les cartes topographiques IGN au 1/25000<sup>e</sup>) ce qui représente un linéaire d'environ 175 km et une superficie de 1000 km<sup>2</sup>. L'objectif de ce modèle était de représenter les niveaux d'eau liés à des événements extrêmes dans le lit mineur à l'aval de Poses et les échanges débit/vitesse avec le lit majeur. Il n'était pas conçu pour étudier finement les inondations dans le lit majeur.

Ce modèle existant est aujourd'hui mis à jour pour prendre en compte les nouvelles sources de données disponibles (données topo-bathymétriques et données de forçages) et les nouveaux objectifs de l'étude. Un Retour d'Expérience (REX) a également été réalisé suite à l'étude de 2013 et a conduit à apporter des modifications détaillées dans le rapport de phase 1 (référence [5]).

Le développement de ce nouveau modèle constitue la première étape d'un vaste programme d'étude. Ce modèle doit pouvoir représenter correctement le fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire de la Seine pour tout un ensemble de scénarios hydro-météorologiques. En particulier, il est recherché une bonne caractérisation des niveaux d'eau dans le lit mineur de la Seine, des échanges en débit et en volume entre le lit mineur et le lit majeur, et enfin des écoulements dans les zones inondées du lit majeur à l'échelle globale de l'estuaire.

Ce modèle n'a pas pour vocation à être utilisé en l'état pour des études locales (études règlementaires, études de dangers, études de restauration écologique, ...). En effet, compte tenu de son emprise très étendue, l'objectif de représenter les écoulements à une échelle locale ne permettrait pas de préserver le caractère opérationnel de l'outil. Comme pour toute création de modèle numérique, il a donc été fait un certain nombre d'hypothèses explicitées dans le rapport de phase 1 (référence [5]), au regard des objectifs de l'étude et en lien avec les fonctionnalités du logiciel de modélisation. Ces choix permettent de représenter au mieux la réalité du terrain sur la base des données fournies.

En revanche, le modèle est développé dans une optique de transmission au GIPSA et à ses partenaires afin de leur permettre de réaliser des adaptations en fonction de leurs besoins futurs à échelle locale.

# 1. PRESENTATION DES SCENARIOS

## 1.1. SYNTHESE DES SCENARIOS MODELISES

Les 20 scénarios à modéliser durant la phase d'exploitation, récapitulés dans le Tableau 1, se distinguent en deux catégories :

- Des scénarios dits « réalistes » visant à reproduire des événements réels historiques (crue « type janvier 1910 » et tempête de décembre 1999) dans la configuration actuelle de morphologie de l'estuaire.

Chacun de ces scénarios est ensuite décliné en prenant en compte une élévation de 1 mètre du niveau marin liée aux effets du changement climatique. L'impact de cette augmentation sur les niveaux de pleine mer dans l'estuaire avait déjà été analysé avec le précédent modèle hydrodynamique élaboré en 2013 (cf. référence [14]). Il convient de rappeler que le modèle développé pour la présente étude considère que le fond du lit du fleuve est fixe, donc ne tient pas compte des évolutions morpho-sédimentaires de l'estuaire à moyen et long terme. Ces problématiques de modélisation sont traitées spécifiquement dans le cadre du projet MORPHOSEINE (référence [15]).

- Des scénarios dits « théoriques » dont l'objectif est d'atteindre des cotes de périodes de retour 30 ans et 100 ans sur quatre secteurs de l'estuaire qualifiés de fluvial, fluvio-maritime aval, fluvio-maritime amont et maritime. Ils permettent d'appréhender la vulnérabilité du territoire estuarien pour des combinaisons de forçages jamais observées mais néanmoins plausibles.

Les scénarios visant à atteindre un niveau de période de retour 30 ans sont ensuite simulés avec les mêmes conditions de forçages mais sans prendre en compte les murets anti-inondations. Les scénarios ciblant un niveau de période de retour 100 ans sont quant à eux déclinés avec une hypothèse d'élévation du niveau marin (+1 mètre).

Tableau 1- Synthèse des 20 scénarios d'exploitation

Typologie du scénario	Niveau d'eau cible	n°	Prise en compte de l'élévation du niveau marin	Absence des murets anti-inondations
Réaliste	Crue « type janvier 1910 »	1A		
		1B	X	
Réaliste	Tempête de décembre 1999	2A		
		2B	X	
Théorique	T30 sur le secteur fluvial	3A		
		3B		X
Théorique	T100 sur le secteur fluvial	4A		
		4B	X	
Théorique	T30 sur le secteur fluvio-maritime amont	5A		
		5B		X
Théorique	T100 sur le secteur fluvio-maritime amont	6A		
		6B	X	
Théorique	T30 sur le secteur fluvio-maritime aval	7A		
		7B		X
Théorique	T100 sur le secteur fluvio-maritime aval	8A		
		8B	X	
Théorique	T30 sur le secteur maritime	9A		
		9B		X
Théorique	T100 sur le secteur maritime	10A		
		10B	X	

## 1.2. DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DES SCENARIOS

Pour chaque scénario, les chroniques utilisées comme données de forçages du modèle sont reportées en Annexe 1 : débit de la Seine en amont de Poses, intensité et direction du vent à l'embouchure, niveau de marée et surcote/décote marine au large de la baie de Seine (extraits en un point représentatif au centre de la frontière maritime du modèle).

### 1.2.1. Scénarios réalistes

Les scénarios dits réalistes consistent à rejouer les événements historiques de 1910 et 1999 dans la configuration actuelle de l'estuaire, en se basant sur les chroniques réelles mais parfois incomplètes des conditions de forçages météorologiques, maritimes et fluviales.

#### 1.2.1.1. Crue « type janvier 1910 »

La crue majeure de 1910, consécutive à des précipitations abondantes sur l'ensemble du bassin versant de la Seine, a fortement marqué les esprits de la population et constitue aujourd'hui encore un événement hydrologique de référence pour la gestion du risque inondation par débordement du fleuve.

Bien que très étudiée, l'estimation de la valeur du débit de la Seine pour cette crue reste discutée aujourd'hui. Par souci de cohérence avec les hypothèses validées dans le cadre du PPRI de la Seine dans le département de l'Eure, le débit de pointe associé à cet événement historique est pris égal à 3 000 m<sup>3</sup>/s à Vernon. Il s'agit du débit estimé pour la crue de 1910 sans influence des Grands Lacs.

L'hydrogramme de crue de la Seine à l'entrée du modèle est établi sur la base de l'hydrogramme reconstitué à l'échelle hydrométrique située au niveau du pont d'Austerlitz à Paris (code H5920011 sur la Banque Hydro), et en tenant compte d'un temps de propagation de l'onde de crue de l'ordre de 2 jours entre Paris et Vernon. Ce temps moyen de propagation est estimé à partir de la Figure 1 ci-après, extraite d'un document du GIP Seine-Aval cité en référence [1].

Les hydrogrammes associées aux crues de l'Eure à Louviers et de la Risle à Pont-Authou sont ensuite déduits de celui établi sur la Seine à Vernon, par pondération des surfaces de bassins versants.



Figure 1- Temps de propagation de l'onde de crue de la Seine et des cours d'eau attenants par rapport à Rouen (source [1])

En ce qui concerne les niveaux d'eau engendrés par la marée, l'exploitation du modèle Manche (ARTELIA) sur l'année 1910 fournit les chroniques temporelles de marée à imposer sur la frontière maritime du modèle de l'estuaire de la Seine.

Les modèles MARS-2D/MANGA et ERA5, respectivement utilisés pour l'imposition des surcotes marines et des conditions atmosphériques (vent et pression), ne sont en revanche pas disponibles pour cet évènement historique de 1910.

Néanmoins il semble important de prendre en compte des conditions météo-océaniques réalistes pour la simulation de cet évènement, en se basant sur un autre épisode de crue pour lequel les données de forçages sont disponibles. Cette approche se différencie donc de la précédente étude de modélisation menée en 2013 (référence [3]) qui ne considérait aucun forçage météo-océanique défavorable (conditions de vent et de surcote nulles tout au long du calcul).

Sur la base d'une analyse sommaire des évènements recensés après 2006, date de début de disponibilité du modèle MARS-2D/MANGA, il est proposé de retenir les forçages associés à l'épisode de caractère fluvial survenu en juin 2016. Ce choix repose sur de fortes similarités entre les crues de 1910 et 2016 en termes de ligne d'eau de pleine mer observée le long de l'estuaire (cf. Figure 2) et de forme de l'hydrogramme de crue.

Comme représenté en Annexe 1 sur les chroniques de forçages utilisées pour ce scénario, le phasage des conditions météo-océaniques est ajusté de telle façon que le pic de crue de 2016 soit concomitant avec celui de la crue de 1910.

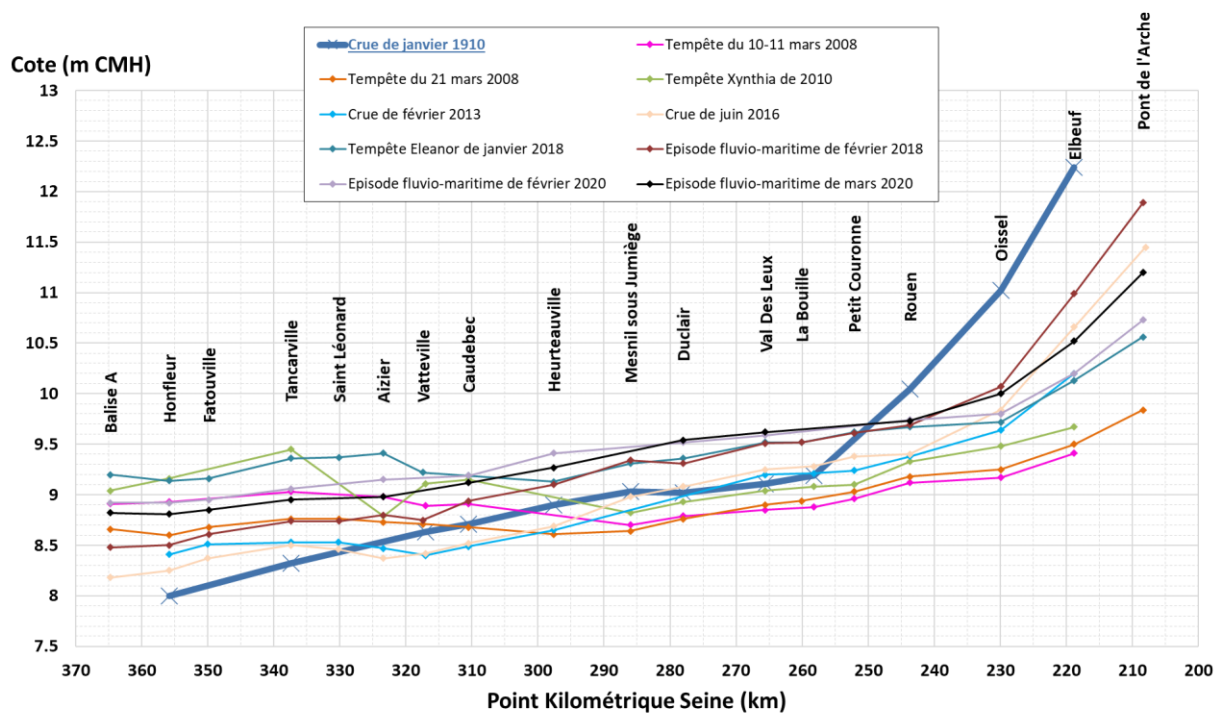


Figure 2- Lignes d'eau maximales observées le long de l'estuaire pour la crue de 1910 et pour les épisodes récents de débordement de la Seine

### 1.2.1.2. Tempête de décembre 1999

L'épisode de tempête survenu fin décembre 1999 sur une grande partie de la France fait partie des épisodes récents ayant généré les inondations les plus marquantes sur l'ensemble du territoire estuarien. La reconstitution des chroniques réelles associées à cet événement repose sur les données suivantes :

- Les débits journaliers de la Seine et ses principaux affluents, directement extraits du site de la Banque Hydro aux stations hydrométriques correspondantes ;
- Les niveaux d'eau engendrés par la marée au large de la baie de Seine, déterminés à partir du modèle Manche (ARTELIA) exploité sur l'année 1999 ;
- Les conditions atmosphériques sous la forme d'un champ variable de vent et de pression atmosphérique, issues du modèle de prévision ERA5.

En revanche, la reconstitution des chroniques de surcotes marines doit faire face à l'indisponibilité du modèle MARS-2D/MANGA, puisque les résultats issus de ce modèle de grande emprise développé par l'IFREMER ne peuvent être extraits qu'à partir de l'année 2006.

En conséquence, une approche similaire à celle développée lors de la précédente étude en 2013 est retenue pour déterminer ce terme de surcote marine (référence [2]). A partir d'une première simulation menée sans surcote imposée sur la frontière maritime du modèle, la méthode consiste à évaluer la différence de niveau d'eau entre les mesures réalisées au marégraphe de Honfleur et les valeurs calculées par le modèle en ce même point. Une moyenne glissante sur 6 heures est ensuite appliquée à cette série temporelle afin d'en lisser les variations trop importantes.

La chronique temporelle obtenue, qualifiée de « résidu maritime », correspond à la partie du signal qui ne dépend pas de la marée mais des autres phénomènes atmosphériques (vent et pression) susceptibles de générer des surcotes à l'échelle de la Manche.

Pour les simulations associées aux scénarios réalistes 2A et 2B, ce terme de résidu variable dans le temps est alors ajouté en chaque point de calcul sur la frontière maritime du modèle, en plus des niveaux d'eau issus du modèle de marée développé par ARTELIA à l'échelle de la Manche.

#### Remarques :

- Le marégraphe sélectionné à l'embouchure pour établir ce terme de résidu est le marégraphe de Honfleur, où le phénomène d'agitation est réputé moindre par rapport aux marégraphes du Havre et Balise A ;
- Le choix d'une moyenne glissante sur 6 heures a été déterminé sur la base de plusieurs tests de sensibilité menés pour des durées comprises entre 2 heures et 12 heures. Une durée de 6 heures conduit à une meilleure concordance du modèle vis-à-vis des niveaux d'eau maximaux mesurés le long de l'estuaire au cours de cet épisode de tempête.

### 1.2.2. Scénarios théoriques

Cette section décrit la méthodologie mise en place pour la simulation des scénarios théoriques dont l'objectif est de reproduire, par le biais d'une combinaison plausible de forçages, des cotes de périodes de retour 30 ans et 100 ans en quatre secteurs de l'estuaire qualifiés de fluvial, fluvio-maritime aval, fluvio-maritime amont et maritime. Selon la portion considérée dans l'estuaire, le risque inondation dépend principalement des forçages fluviaux, de l'interaction de facteurs fluviaux et marins ou de forçages maritimes.

Cette méthodologie concerne la construction des scénarios sans prise en compte de l'élévation future du niveau marin et en tenant compte de la présence des murets anti-inondations. Chacun des scénarios ciblant un niveau de période de retour 30 ans (scénarios 3A, 5A, 7A et 9A) sera ensuite reproduit avec les mêmes conditions de forçages mais sans prendre en compte les murets anti-inondations (scénarios 3B, 5B, 7B et 9B). Les scénarios visant un niveau de période de retour 100 ans (scénarios 4A, 6A, 8A et 10A) seront quant à eux déclinés avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (scénarios 4B, 6B, 8B et 10B).

Les cotes de pleine mer associées à différentes périodes de retour ont été déterminées en 2013 (référence [2]) à partir d'une analyse statistique des observations menée en plusieurs marégraphes de l'estuaire. Cette étude a ensuite été complétée en 2019 (référence [4]) en prenant en compte les enregistrements récents et en intégrant un jeu élargi de

RAPPORT

MODELISATION DES INONDATIONS EN ESTUAIRE DE LA SEINE : DYNAMIQUE ET EMPRISE DES INONDATIONS

marégraphes. Les niveaux d'eau associés aux périodes de retour élevées doivent cependant être considérés avec précaution du fait de l'incertitude liée aux durées des échantillons de données.

Il est important de rappeler que l'évaluation des périodes de retour s'est concentrée uniquement sur les cotes de pleine mer observées en chaque marégraphe, et non sur une analyse couplée entre les cotes de pleine mer et les durées de tenue de plein. Cette notion de durée constitue néanmoins un facteur déterminant pour caractériser un évènement, comme en témoignent les variations de durée de pleine mer constatées pour des évènements à dominante maritime ou fluvio-maritime : à titre d'exemple, cette durée a été plus longue au cours de l'épisode de février 2020 ce qui a conduit à augmenter les volumes entrants dans l'estuaire (cf. note descriptive citée en référence [9]).

**La première étape consiste à définir un marégraphe représentatif de chaque secteur de l'estuaire.** Le tableau suivant résume le choix des marégraphes de référence ainsi que les niveaux d'eau cibles de périodes de retour 30 ans (T30) et 100 ans (T100) à atteindre. Il convient de rappeler que ces niveaux, tirés de l'étude statistique citée en référence [4], correspondent aux valeurs médianes de la gamme d'incertitude.

A titre indicatif, ce tableau précise également les cotes des premiers débordements et des enjeux significatifs touchés au niveau de ces quatre secteurs de l'estuaire. On pourra aussi se reporter au "règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues (RIC)" établi par la DREAL Normandie (Service Ressources Naturelles) qui définit les différents niveaux de vigilance selon le tronçon considéré (référence [16]).

*Tableau 2- Définition des marégraphes de référence par secteur et des cotes de périodes de retour 30 ans et 100 ans*

Secteur de l'estuaire	Marégraphe de référence	Niveau d'eau cible (m CMH)		Cote des premiers débordements (m CMH)	Cote des enjeux significatifs touchés (m CMH)
		T30	T100		
Fluvial	Elbeuf	11.18	11.67	9.60	10.80
Fluvio-maritime amont	Rouen	10.02	10.26	9.30	9.70
Fluvio-maritime aval	Heurteauville	9.36	9.58	9.10	9.40
Maritime	Tancarville	9.56	9.80	9.50	9.75

**La seconde étape consiste à définir une combinaison réaliste de forçages (parmi de multiples combinaisons possibles) permettant de reproduire les niveaux recherchés pour chaque scénario modélisé. Ces conditions de forçages météorologiques, maritimes et fluviales sont construites sur la base de chroniques observées pour un évènement réel, puis leur intensité est ajustée de façon itérative dans le but de reproduire le niveau ciblé au marégraphe. Cette démarche permet de disposer d'exemples quantifiés des conditions de forçages pouvant générer ces niveaux théoriques en plusieurs secteurs de l'estuaire.**

Le choix des évènements fournissant les conditions de forçages « de base » pour chaque scénario repose sur une analyse comparative entre les lignes d'eau associées aux périodes de retour 30 ans et 100 ans et les lignes d'eau de pleine mer observées tout au long de l'estuaire pour les épisodes récents de débordement de la Seine.

Cette analyse présentée sur la Figure 3 se concentre sur les évènements postérieurs à 2006 compte tenu de l'indisponibilité avant cette date du modèle MARS-2D/MANGA (IFREMER) fournissant une estimation des surcotes marines générées à l'échelle de la Manche.

Sur la base de cette analyse et en concertation avec le GIP Seine-Aval :

- L'épisode de début février 2018, qui correspond au plus fort évènement récent en amont de Rouen, est choisi pour construire les chroniques de forçages des scénarios à simuler sur le secteur fluvial (marégraphe d'Elbeuf) ;
- Pour les scénarios rattachés aux secteurs fluvio-maritime et maritime (marégraphes de Rouen, Heurteauville et Tancarville), les chroniques de forçages sont élaborées à partir des conditions de l'épisode tempétueux de début janvier 2018 dont le profil présente de fortes similarités avec les lignes d'eau associées aux périodes de retour 30 ans et 100 ans.

Ces deux épisodes de débordement ont fait l'objet d'une note établie par le GIP Seine Aval décrivant les conditions hydro-météorologiques, les hauteurs d'eau atteintes et une comparaison avec les principaux évènements historiques observés dans l'estuaire de la Seine. Ces analyses sont consignées dans les documents cités en références [7] et [8].

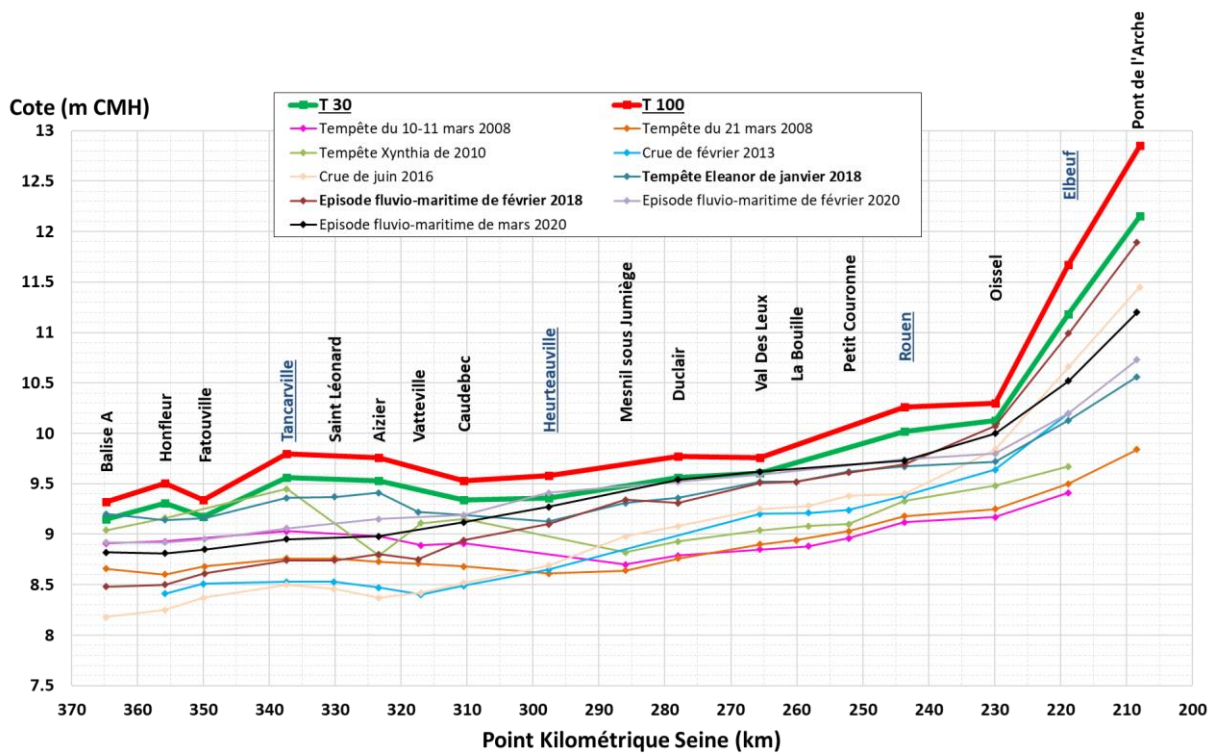


Figure 3- Lignes d'eau maximales observées le long de l'estuaire pour les épisodes récents de débordement de la Seine et lignes d'eau de périodes de retour 30 ans et 100 ans

Les conditions de forçages peuvent être regroupées en deux catégories, ajustables si nécessaire via l'application d'un coefficient multiplicatif distinct pour l'obtention du niveau ciblé au marégraphe :

- Forçages relatifs au débit de la Seine et au débit de ses principaux affluents (Eure et Risle) ;
- Forçages liés aux paramètres météo-océaniques (chroniques de vent, pression atmosphérique et surcote marine).

La méthodologie mise en œuvre prévoit que la pondération entre les correctifs appliqués à ces deux catégories de forçages soit adaptée en fonction de la portion étudiée dans l'estuaire. En effet les niveaux d'eau sont principalement gouvernés par le débit de la Seine sur le secteur qualifié de fluvial, alors qu'ils sont plutôt impactés par des facteurs météo-océaniques défavorables en partie aval de l'estuaire.

Le Tableau 3 ci-dessous synthétise le choix des chroniques de forçages et les correctifs appliqués pour la modélisation des scénarios théoriques.

Tableau 3- Synthèse des forçages et correctifs appliqués aux scénarios d'exploitation théoriques

Scénario n°	Secteur de l'estuaire et marégraphe de référence	Evènement de base pour les chroniques de forçages	Niveau d'eau cible	Correctifs appliqués	
				Débits	Conditions météo-océaniques
3A - 3B	Fluvial	Episode fluvio-maritime de février 2018 Débit de pointe = 2 120 m³/s	T30	+3%	-
4A - 4B	Elbeuf		T100	+21%	-
5A - 5B	Fluvio-maritime amont	Tempête Eleanor de janvier 2018 Débit de pointe = 1 540 m³/s	T30	+50%	+40%
6A - 6B	Rouen		T100	+80%	+70%
7A - 7B	Fluvio-maritime aval		T30	+20%	+30%
8A - 8B	Heurteauville		T100	+40%	+70%
9A - 9B	Maritime		T30	-	+55%
10A - 10B	Tancarville		T100	-	+90%

### 1.3. PERIODES DE RETOUR ASSOCIEES AUX FORÇAGES

La méthodologie exposée précédemment pour la construction des scénarios théoriques repose sur l'application de correctifs par rapport à des conditions réalistes de forçages hydro-météorologiques, tout en veillant à simuler des combinaisons plausibles au sens statistique. Dans ce cadre, et à titre purement indicatif, la présente section vise à rappeler les périodes de retour associées aux principaux facteurs influents pour les débordements dans l'estuaire de la Seine.

Les éléments synthétisés ci-après sont directement issus des analyses statistiques réalisées en 2013 (référence [2]) et actualisées en 2019 (référence [4]). Les valeurs affichées pour les périodes de retour les plus élevées sont à considérer avec précaution du fait de l'incertitude liée à la durée des séries de données utilisées.

De plus, il est important de souligner que cette caractérisation des périodes de retour n'a été réalisée que sur les valeurs maximales des différents paramètres. Cette approche présente donc des limites pour appréhender les évolutions temporelles des variables caractéristiques. A titre d'exemple, une même valeur de débit de pointe peut correspondre indistinctement à un pic de crue court ou étalé sur plusieurs jours.

#### 1.3.1. Débit de la Seine à Poses

Un ajustement statistique à une loi de Gumbel a été appliqué aux débits maximaux annuels de la Seine à Poses/Vernon, assimilée à une station unique du fait de l'absence d'apports significatifs à la Seine entre ces deux sites. Ce calcul a été réalisé pour les périodes antérieure et postérieure à la construction des Grands Lacs de Seine.

Tableau 4- Périodes de retour des débits moyens journaliers de la Seine à Poses (source [4])

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans	500 ans
Débit moyen journalier de la Seine à Poses (m <sup>3</sup> /s) avant la création des Grands Lacs	1650	2200	2376	2544	2640	2760	2924	3300
Débit moyen journalier de la Seine à Poses (m <sup>3</sup> /s) après la création des Grands Lacs	1640	2125	2264	2397	2474	2570	2700	3000

Analyse statistique sur la période 1975-2018 (source [4])

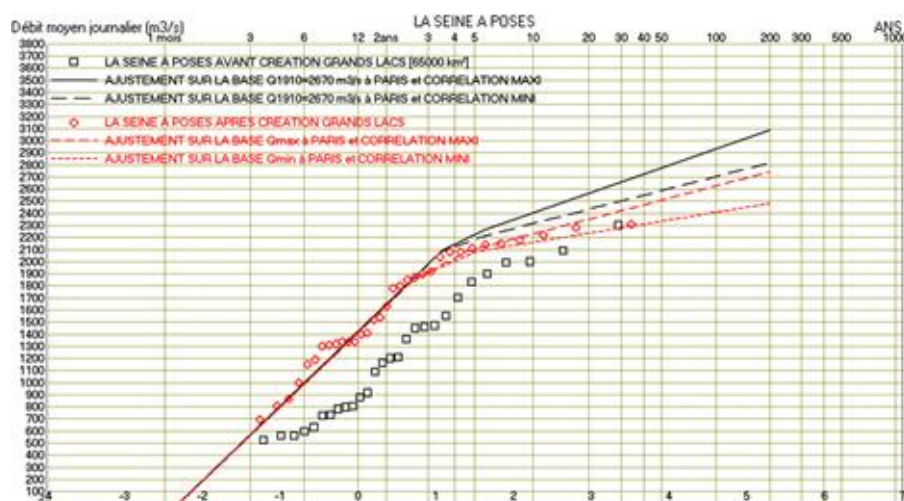


Figure 4- Graphe de Gumbel des débits de la Seine à Poses avant et après la création des Grands Lacs (source [4])



### 1.3.2. Vent au cap de la Hève

Un ajustement statistique à une loi de Gumbel a été appliqué sur les données de vent recueillies entre 1986 et 2018 au cap de la Hève (Le Havre) afin de déterminer les périodes de retour reportées dans le Tableau 5. Ce sont les vents de secteur ouest, poussant les masses d'eau vers l'intérieur de l'estuaire, qui sont prépondérants dans la génération des surcotes à l'embouchure. Les données disponibles à la station, localisée à environ 100 m d'altitude, ont été préalablement ramenées à 10 m d'altitude.

Tableau 5- Périodes de retour de l'intensité du vent moyen au cap de la Hève (source [4])

Période de retour	1 an	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans
Vent moyen sur 3 h au cap de la Hève (m/s) rapporté à 10 m d'altitude	13.7	16.9	18.4	19.9	21.9	23.4	26.7

Analyse statistique sur la période 1986-2018 (source [4])

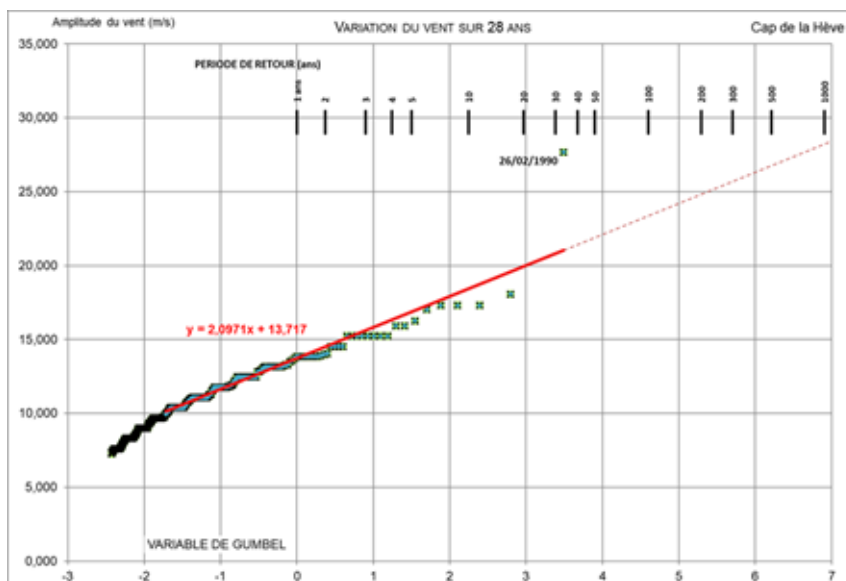


Figure 5- Graphe de Gumbel de l'amplitude du vent au cap de la Hève rapporté à une altitude de 10 m (source [4])

### 1.3.3. Pression atmosphérique au cap de la Hève

De façon similaire aux traitements réalisés sur les données de vent, un ajustement statistique à une loi de Gumbel a été appliqué sur les données de pression atmosphérique disponibles au cap de la Hève (Le Havre) entre 1986 et 2018. Cette analyse s'est focalisée sur les valeurs négatives de la variation de pression atmosphérique (dépressions) par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa, qui constituent un facteur influent dans la formation des surcotes à l'embouchure.

Tableau 6- Périodes de retour de la variation négative de pression atmosphérique (dépression) au cap de la Hève par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa (source [4])

Période de retour	1 an	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans
Variation négative de pression atmosphérique au cap de la Hève (hPa) par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa	26.7	37.6	43.1	48.4	55.2	60.3	72.1

Analyse statistique sur la période 1986-2018 (source [4])

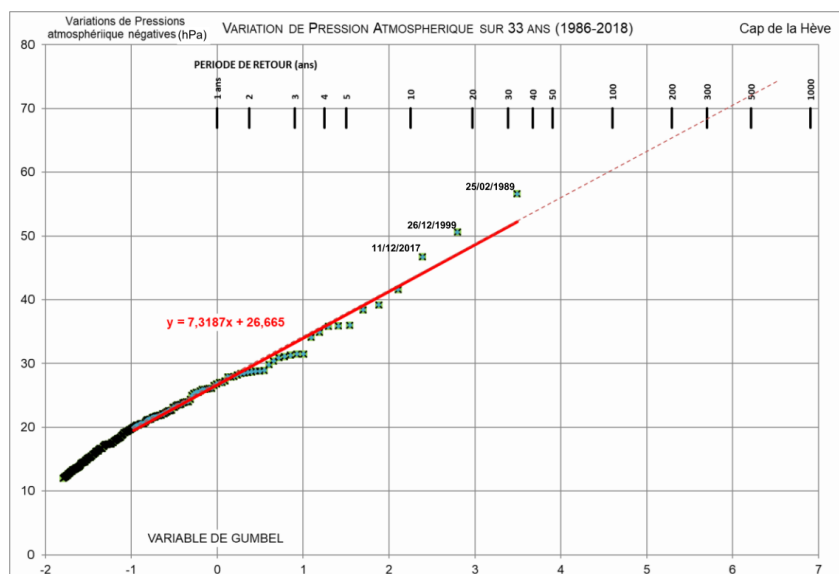


Figure 6- Graphe de Gumbel de la variation négative de pression atmosphérique (dépression) au cap de la Hève par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa (source [4])

### 1.3.4. Surcote océanique au Havre

Le SHOM et le CETMEF ont publié respectivement en 2012 et 2013 une analyse statistique des surcotes extrêmes le long des côtes, générées par des conditions météo-océaniques défavorables en Manche. Ces études reposent sur des ajustements statistiques des surcotes, définies par les écarts entre les hauteurs de pleine mer observées aux différents ports et les hauteurs issues de prédictions (marée astronomique).

Compte tenu de la faible variabilité spatiale des surcotes extrêmes entre les ports du Havre et de Dieppe, mise en évidence par les travaux du SHOM et du CETMEF (références [12] et [13]), seule l'analyse statistique au Havre est mentionnée dans le Tableau 7 ci-dessous et dans la suite du rapport. En retenant les estimations issues de la loi GPD recommandées dans l'étude du CETMEF, les écarts entre les surcotes au Havre et à Dieppe restent en effet inférieurs à 5 cm pour toutes les périodes de retour inférieures à 100 ans.

Tableau 7- Périodes de retour de la surcote océanique de pleine mer au Havre (sources [12] et [13])

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1 000 ans
<b>Surcote océanique au Havre (cm)</b> Loi de Gumbel (SHOM, 2012)	-	104	112	125	132	-
<b>Surcote océanique au Havre (cm)</b> Loi exponentielle (CETMEF, 2013)	91	103	115	130	142	181
<b>Surcote océanique au Havre (cm)</b> Loi GPD (CETMEF, 2013)	90	104	120	147	172	291

Dans le but de caractériser en période de retour les surcotes imposées sur la frontière du modèle pour chaque scénario d'exploitation et en lien avec la disponibilité des analyses statistiques au Havre et à Dieppe, les valeurs indiquées dans le Tableau 18 en synthèse du présent rapport sont extraites en un point proche de la côte de Seine-Maritime (au droit de Saint-Valéry-en-Caux), non loin du port de Dieppe qui n'est pas inclus dans le modèle.

## 2. EXPLOITATION DES SCENARIOS

### 2.1. OUTILS D'EXPLOITATION DU MODELE

#### 2.1.1. Niveaux d'eau le long de l'estuaire

Pour chacun des 20 scénarios étudiés en phase d'exploitation du modèle, les résultats en termes de niveaux d'eau le long de l'estuaire sont présentés sous plusieurs formes :

- Une ligne d'eau représentant les niveaux d'eau maximaux atteints le long de l'estuaire durant la période simulée ;
- Pour chaque marégraphe localisé sur la Figure 7, un graphique représentant l'évolution temporelle du niveau d'eau calculé par le modèle (au pas de temps de 5 minutes) sur une fenêtre de 6 à 8 jours encadrant le cycle de marée central de l'évènement. Seuls les graphiques associés aux quatre marégraphes représentatifs des différents secteurs de l'estuaire figurent dans les sections suivantes du rapport (§ 2.1.3. et § 2.3) : Tancarville (secteur maritime), Heurteauville (secteur fluvio-maritime aval), Rouen (secteur fluvio-maritime amont) et Elbeuf (secteur fluvial). Pour une meilleure lisibilité, les résultats complets sont reportés en Annexe 2.

Si celles-ci sont disponibles, les valeurs observées pour les scénarios dits réalistes (crue « type 1910 » et tempête de 1999) sont également indiquées à titre informatif sur les graphiques. Pour les scénarios théoriques, ces graphiques font également apparaître les niveaux d'eau de période de retour 30 ans ou 100 ans, déterminés en plusieurs marégraphes de l'estuaire à partir d'une analyse statistique menée en 2013 (référence [2]) et complétée en 2019 (référence [4]).

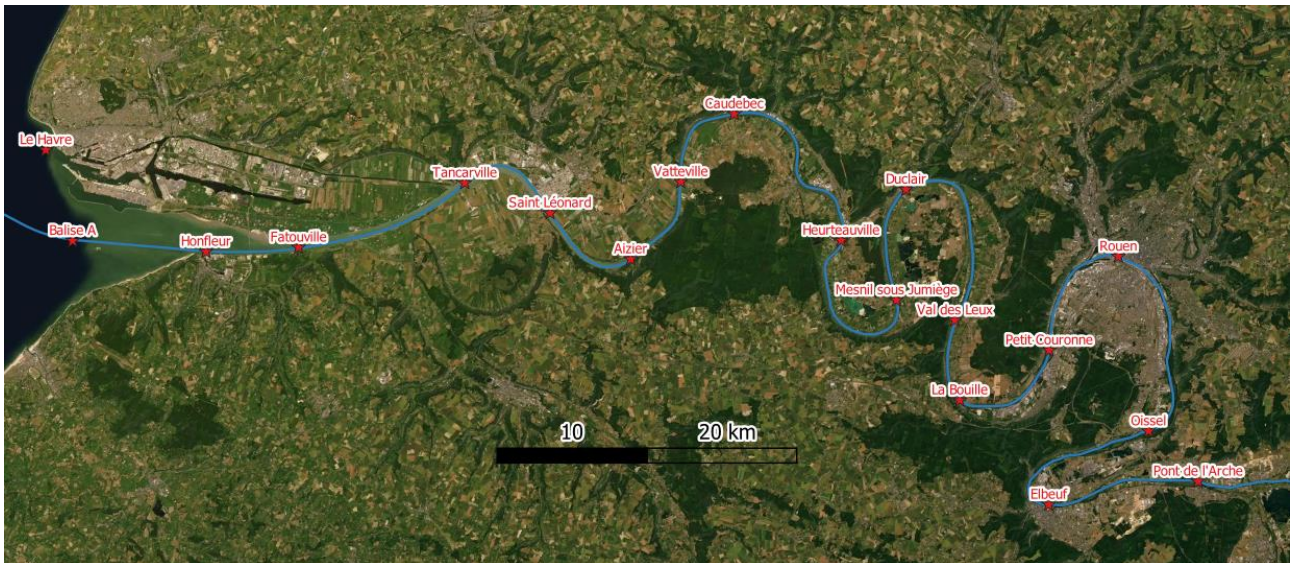


Figure 7- Localisation des marégraphes tout au long de l'estuaire de la Seine

#### 2.1.2. Atlas cartographiques en lit majeur

En cohérence avec les rendus produits à l'issue de la phase 1 de la présente étude, les résultats du modèle pour chaque scénario simulé sont exploités afin d'établir des cartographies détaillées permettant de caractériser les inondations sur l'ensemble de l'estuaire. Pour une meilleure lisibilité, toutes les cartographies sont reportées en Annexe 3. Les variables cartographiées sont listées ci-après :

- Les hauteurs d'eau maximales en chaque point, calculées sur la totalité de l'évènement simulé ;
- Les vitesses d'écoulement maximales en chaque point, calculées sur la totalité de l'évènement simulé ;

- La durée de l'inondation en chaque point du lit majeur, calculée sur trois périodes distinctes :
  - Sur le cycle de la plus forte marée de l'évènement,
  - Sur deux cycles de marée consécutifs, intégrant le cycle de la plus forte marée de l'évènement,
  - Sur trois cycles de marée consécutifs, intégrant les deux plus forts cycles de marée de l'évènement.
- Les vitesses maximales de montée des eaux en chaque point du lit majeur, calculées sur la totalité de l'évènement simulé, et déterminées par différence de hauteur d'eau entre deux pas de temps de calcul consécutifs (espacés de 5 minutes). Sur les cartographies, les valeurs de vitesses de montée des eaux sont affichées en centimètres par minute.

Il est important de souligner que ces représentations ne renseignent pas sur la notion de temporalité des inondations, dans la mesure où celles-ci se rapportent aux valeurs maximales calculées en tout point sur une certaine période et non à un instant donné. Par ailleurs, ces cartes sont à analyser avec précaution compte tenu des limitations du modèle sur la représentation du ressuyage des terrains inondés en lit majeur entre deux cycles de marée : en l'absence d'une représentation des ouvrages au sein des digues de protection (munis pour certains de clapets anti-retour), les volumes débordants lors d'une période de pleine mer se cumulent à ceux déjà présents lors de la pleine mer précédente. De plus, comme explicité au chapitre C 8 du rapport de phase 1 (référence [5]), le modèle ne permet pas de simuler les échanges avec la nappe ou encore le phénomène de ruissellement lié à des évènements pluvieux intenses.

Après consultation du Comité de Pilotage en juin 2021, le choix s'est porté vers l'échelle du 1/15 000<sup>e</sup> pour l'ensemble des cartographies (au format d'impression A3). Chaque variable est présentée sous forme d'un atlas cartographique composé de 47 planches couvrant l'estuaire de la Seine entre Honfleur et Poses. A noter que ces cartographies ne couvrent pas le Havre et sa zone industrialo portuaire puisque ce secteur fait déjà l'objet d'une étude avec une modélisation dédiée dans le cadre du PPRL Plaine Alluviale Nord de l'Estuaire de la Seine (PANES).

Une carte de situation générale avec le dallage complet de l'atlas est représentée en page suivante sur la Figure 9.

En complément à ces atlas cartographiques, livrés en Annexe 3 et permettant de visualiser localement les résultats en lit majeur, une cartographie de l'emprise maximale des zones inondées à l'échelle globale de l'estuaire est reportée dans les chapitres suivants pour chacun des scénarios étudiés.

A noter que les murets anti-inondations sont représentés à titre informatif sur l'ensemble des cartographies, hormis pour les scénarios théoriques supposant l'absence de ces ouvrages de protection (scénarios 3B, 5B, 7B et 9B). La localisation de ces murets sur l'ensemble du secteur d'étude est rappelée sur la Figure 8. Les sources de données mobilisées et les hypothèses de modélisation de ces ouvrages sont décrites dans le rapport d'élaboration du modèle (phase 1 de la mission, cf. référence [5]). En particulier, la localisation et l'altimétrie des murets sont représentées sur la base des travaux de recensement et d'analyse menés par le GIP Seine-Aval en 2013 et actualisés en 2021 (cf. notes de travail référencées [6] et [7]).

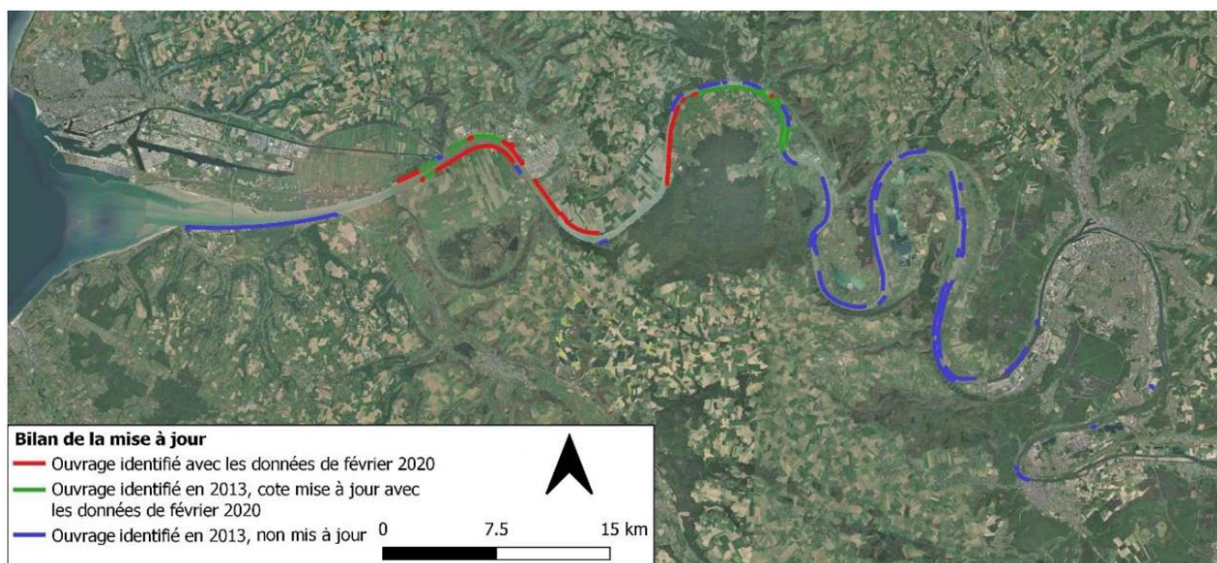


Figure 8- Localisation des murets anti-inondations identifiés (source GIP Seine-Aval, 2021)

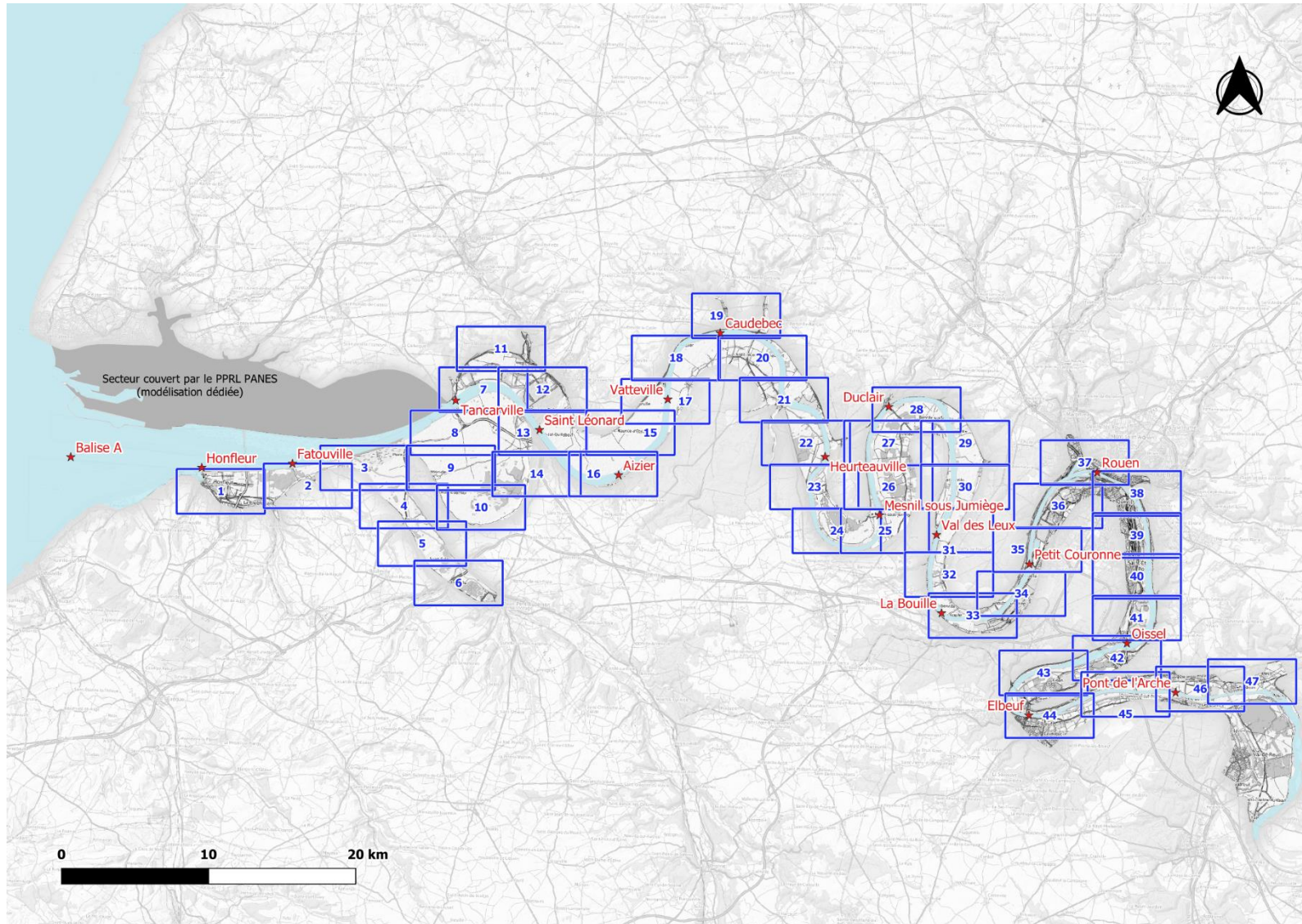


Figure 9- Carte générale du dallage de l'atlas cartographique couvrant l'ensemble de l'estuaire de la Seine

### 2.1.3. Représentations cartographiques sous forme d'animations

Pour chaque scénario simulé, trois animations permettant de mieux appréhender la dynamique des submersions sont également fournies au format vidéo en accompagnement du rapport : ces trois animations représentant l'évolution temporelle des zones inondées couvrent respectivement l'ensemble de l'estuaire, le secteur amont et le secteur aval. A noter que ces vidéos sont assemblées à partir d'une séquence d'images en fixant un pas de temps de 20 minutes entre chaque sortie graphique.

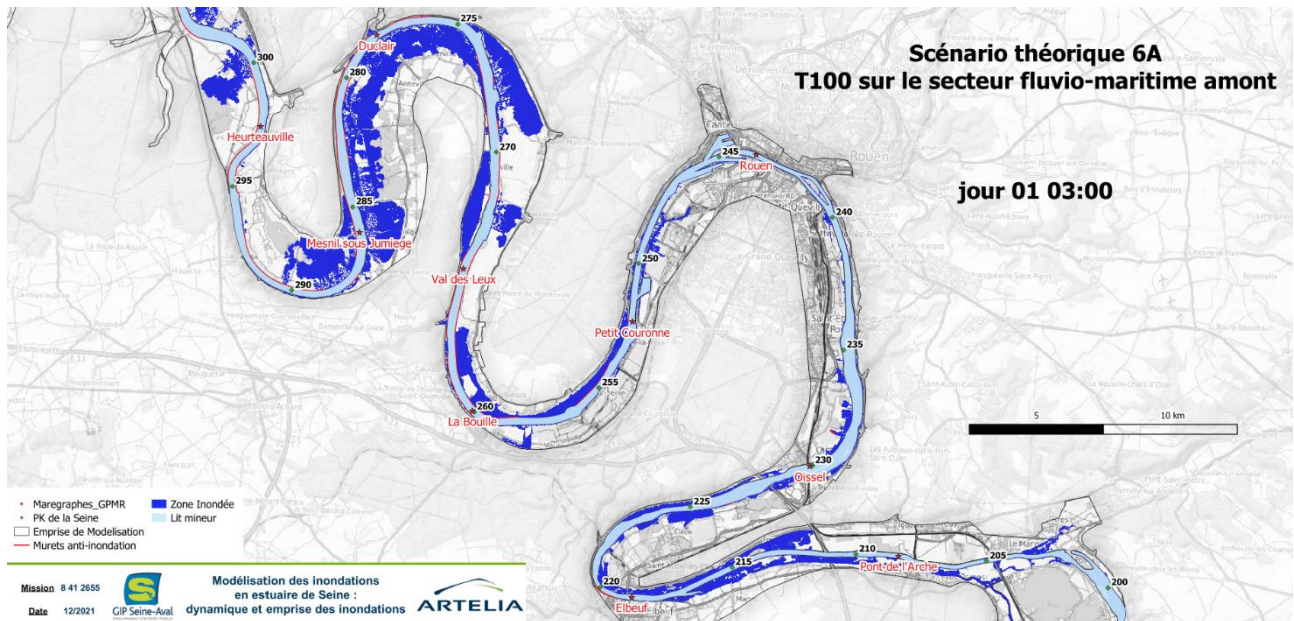


Figure 10- Exemple d'image tirée d'une animation – Zoom sur le secteur amont de l'estuaire pour le scénario 6A

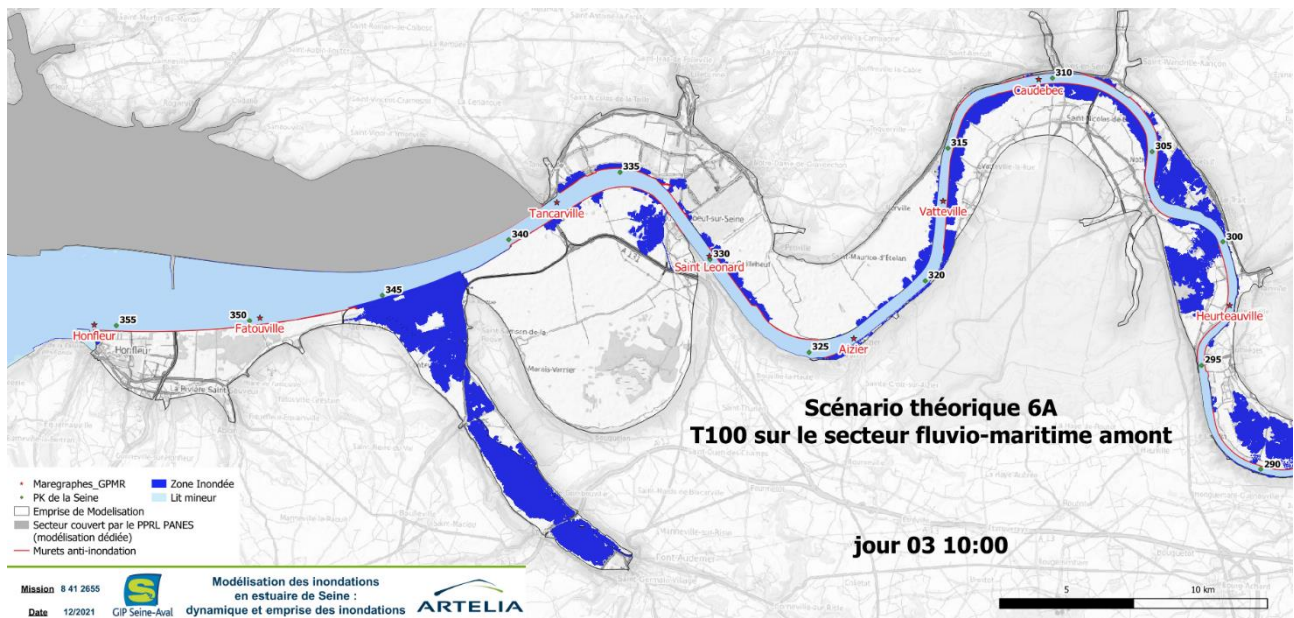


Figure 11- Exemple d'image tirée d'une animation - Zoom sur le secteur aval de l'estuaire pour le scénario 6A

## 2.2. SCENARIOS REALISTES

### 2.2.1. Crue « type janvier 1910 » – Scénario n°1

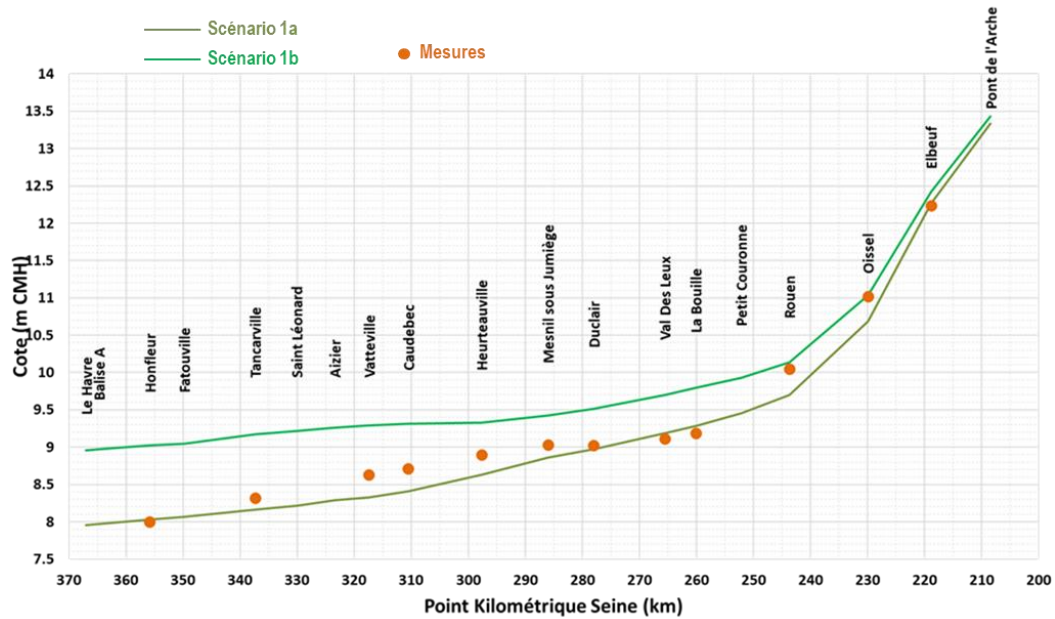


Figure 12- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario réaliste 1 - Crue « type janvier 1910 »



Figure 13- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario réaliste 1 - Crue « type janvier 1910 »

Le **scénario réaliste 1A** reprend une partie des forçages associés à la crue historique de janvier 1910 (débit de la Seine, signal de marée dans la Manche) mais utilise également les conditions météo-océaniques (surcote marine, vent et pression atmosphérique) relatives à la crue de juin 2016 en raison de l'indisponibilité de ces données de forçages pour l'évènement de 1910. **Les hypothèses d'entrée se rapprochent donc d'un évènement « type janvier 1910 » mais ne représentent pas les conditions qui se sont réellement produites.**

Comme présenté en Annexe 1 sur les chroniques de forçages utilisées pour ce scénario, le pic de débit de la Seine (3 000 m<sup>3</sup>/s) intervient environ 3 jours après le cycle correspondant à la plus forte marée de l'évènement. En conséquence, l'atteinte des niveaux les plus élevés survient plus tardivement sur le secteur amont de l'estuaire (30-31 janvier) par rapport au secteur situé à proximité de l'embouchure (27-28 janvier).

La Figure 12 présente le profil en long des niveaux d'eau maximaux modélisés pour ce scénario ainsi que les cotes maximales mesurées en plusieurs points de l'estuaire, bien que les enregistrements complets aux marégraphes ne soient pas encore disponibles à cette date. Le profil en long présente une allure caractéristique d'un évènement de type fluvial, avec une décroissance continue des niveaux de l'amont vers l'aval (sans point d'inflexion en milieu d'estuaire) et une pente très marquée en amont de Rouen.

Les écarts constatés par rapport aux observations sont relativement limités si l'on tient compte de l'incertitude associée à la reconstitution de l'hydrogramme de crue de la Seine ou encore de l'imposition de forçages météo-océaniques ne correspondant pas à l'évènement réel. Ces écarts vis-à-vis des niveaux observés peuvent aussi s'expliquer par l'évolution morphologique de l'estuaire au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, avec des aménagements qui ont permis de faciliter les écoulements de l'amont vers l'aval.

Ce scénario ne génère pas de niveaux particulièrement importants en aval de l'estuaire mais constitue un épisode exceptionnel sur le secteur amont. Les niveaux théoriques centennaux sont même dépassés au droit des marégraphes d'Oissel, Elbeuf et Pont de l'Arche ce qui induit d'importantes zones de débordement sur ce tronçon en rive droite et en rive gauche. Les inondations touchent aussi les abords de la Seine dans l'agglomération de Rouen, la boucle de Sahurs en rive droite ou encore le secteur de Bardouville en rive gauche. Le reste de l'estuaire est en revanche peu exposé aux inondations par débordement comme le montre la vue générale de la Figure 14.

Le **scénario réaliste 1B** reprend les conditions de forçages du scénario 1A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 8 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 12.

L'augmentation future du niveau marin se répercute directement par une rehausse d'environ 1 mètre des niveaux depuis l'embouchure jusqu'aux marégraphes de Vatteville et Aizier, puis cet effet tend à s'atténuer progressivement en remontant vers l'amont de l'estuaire puisque la propagation de l'onde de marée doit faire face aux contraintes générées par les débits conséquents de la Seine. L'impact est alors de 17 cm seulement au droit du marégraphe d'Elbeuf.

La prise en compte du changement climatique associée à ce scénario « type janvier 1910 » provoque des débordements sur la majeure partie du linéaire de la Seine estuarienne, à la fois en rive droite et en rive gauche. La Figure 15 illustre les impacts sur l'extension des zones inondées dans le secteur de Duclair et Berville-sur-Seine. Les seuls secteurs totalement épargnés par les inondations sont situés autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier en rive gauche, et dans la longue boucle de Port-Jérôme-sur-Seine en rive droite.

*Tableau 8- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 1*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 1A	8.17 (<T1)	8.63 (<T1)	9.70 (T6)	12.26 (T470)
Scénario 1B	9.17 (T4)	9.33 (T25)	10.14 (T55)	12.43 (T700)
Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin	+100 cm	+70 cm	+44 cm	+17 cm



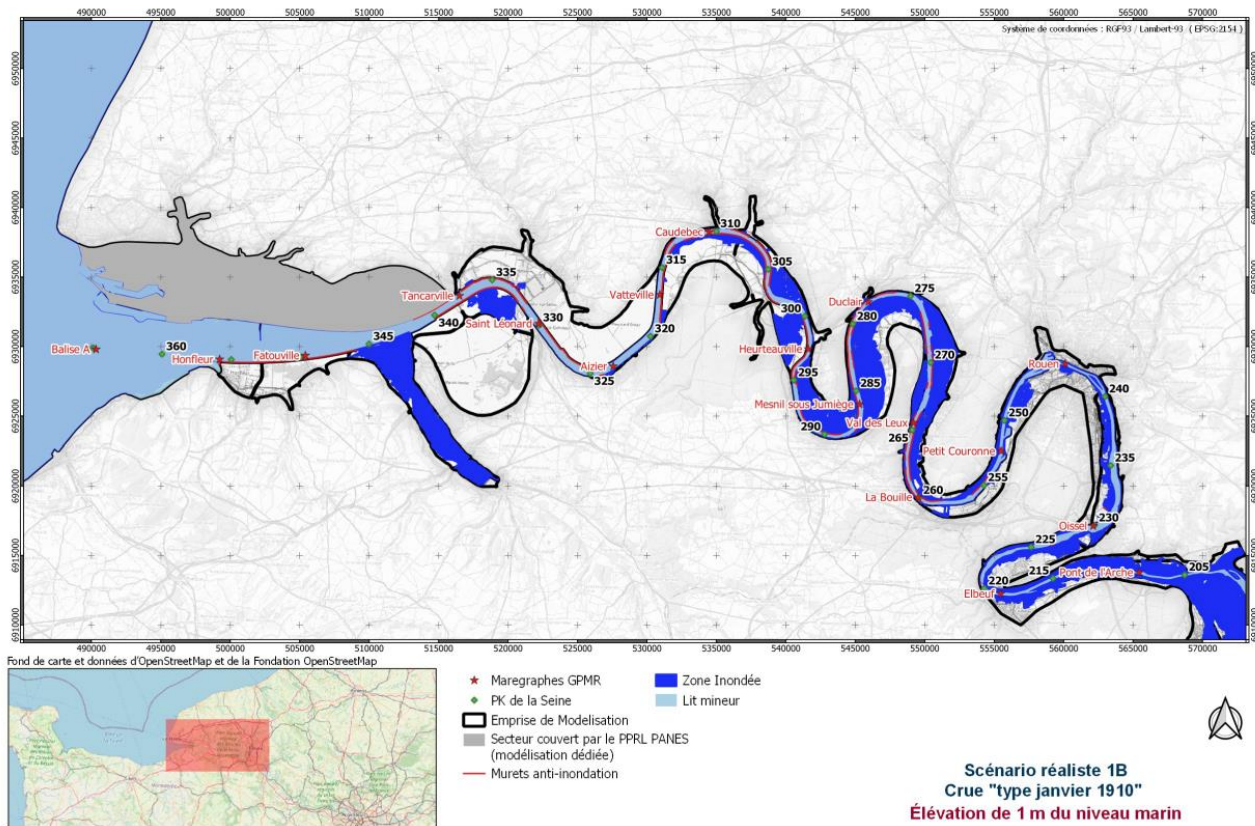
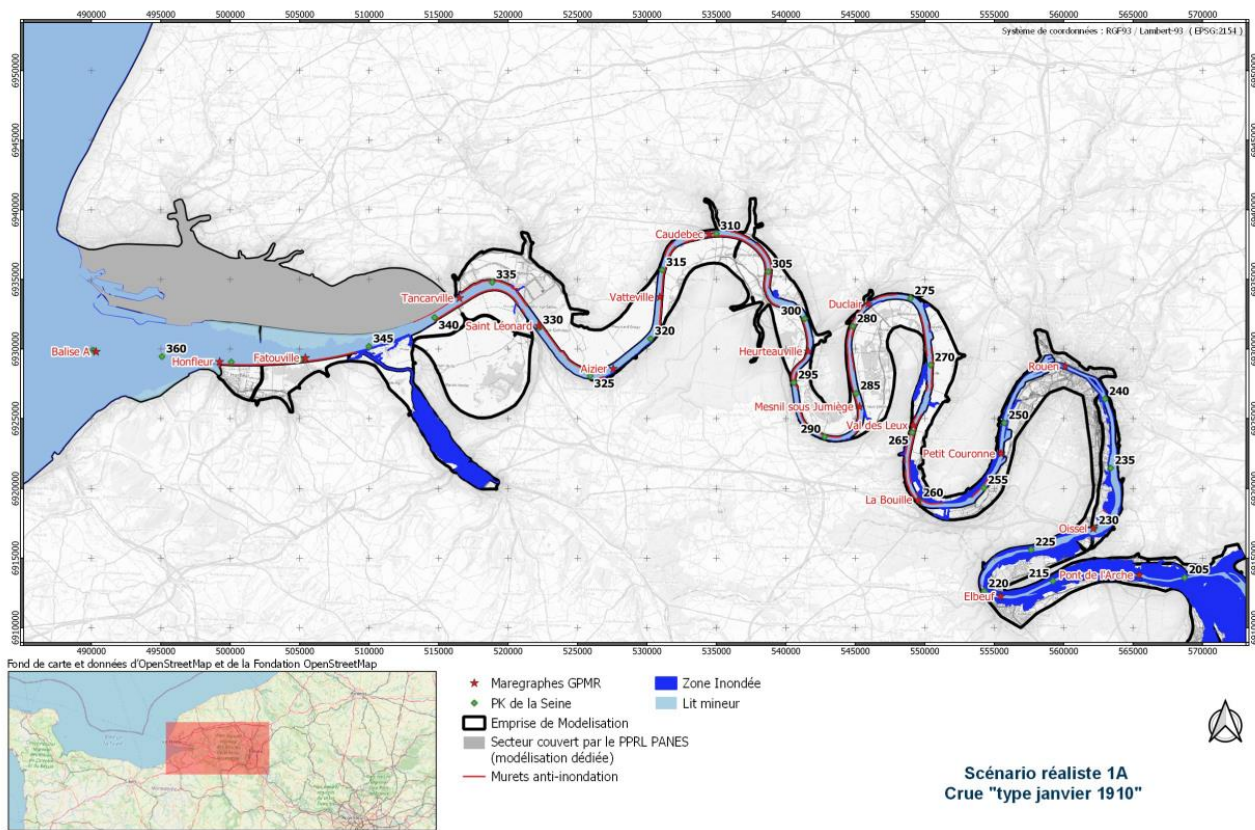


Figure 14- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 1A et 1B

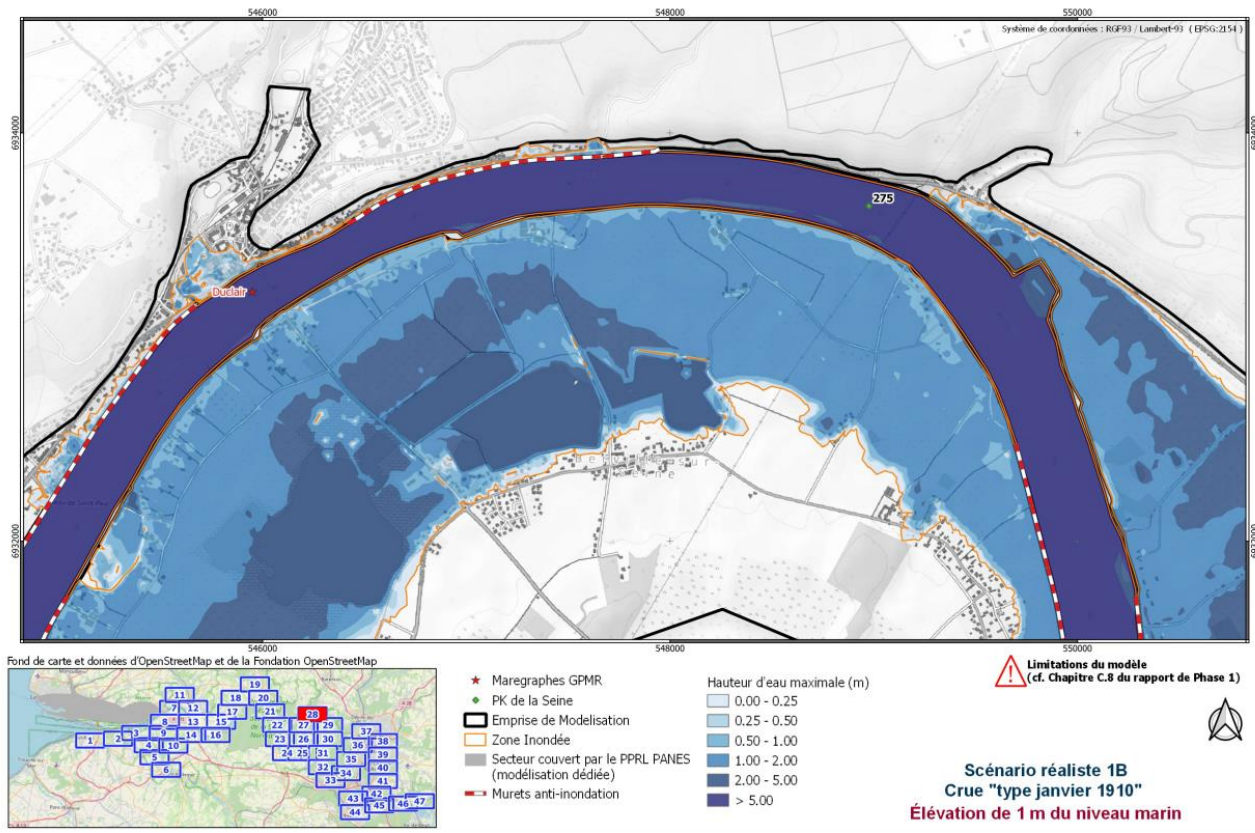
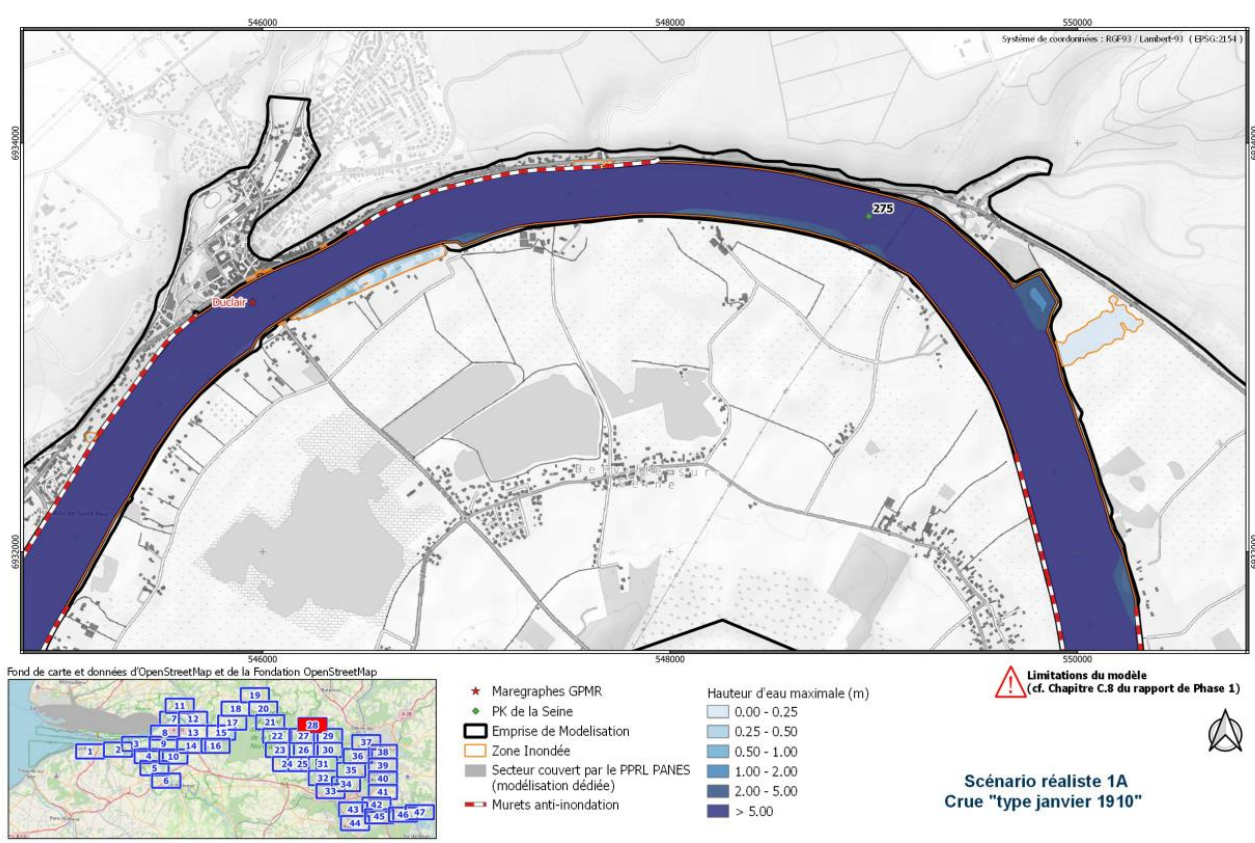


Figure 15- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Duclair et Berville-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 1A et 1B

## 2.2.2. Tempête de décembre 1999 – Scénario n°2

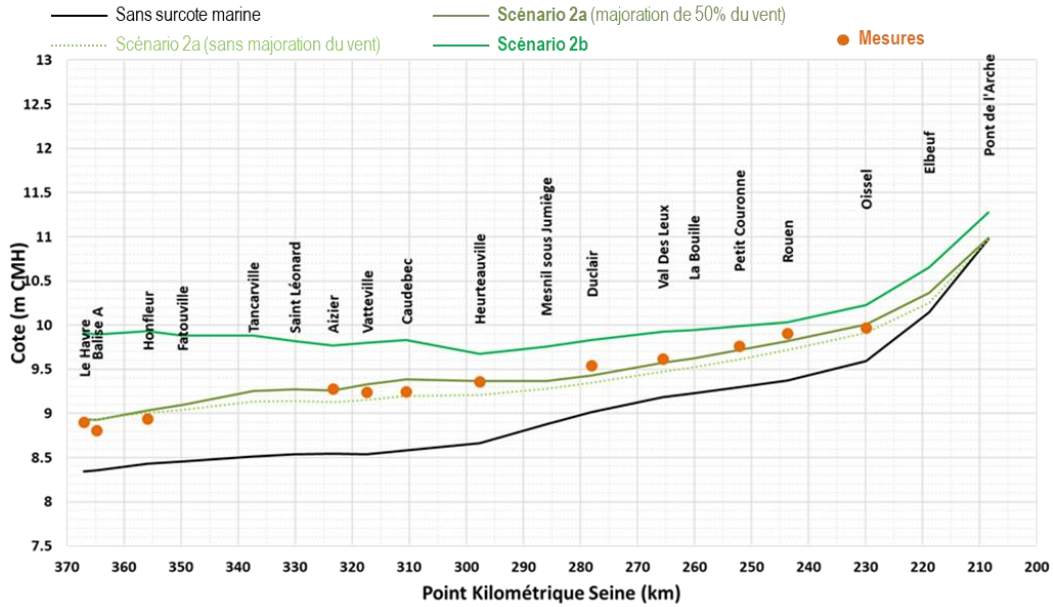


Figure 16- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario réaliste 2 – Tempête de décembre 1999

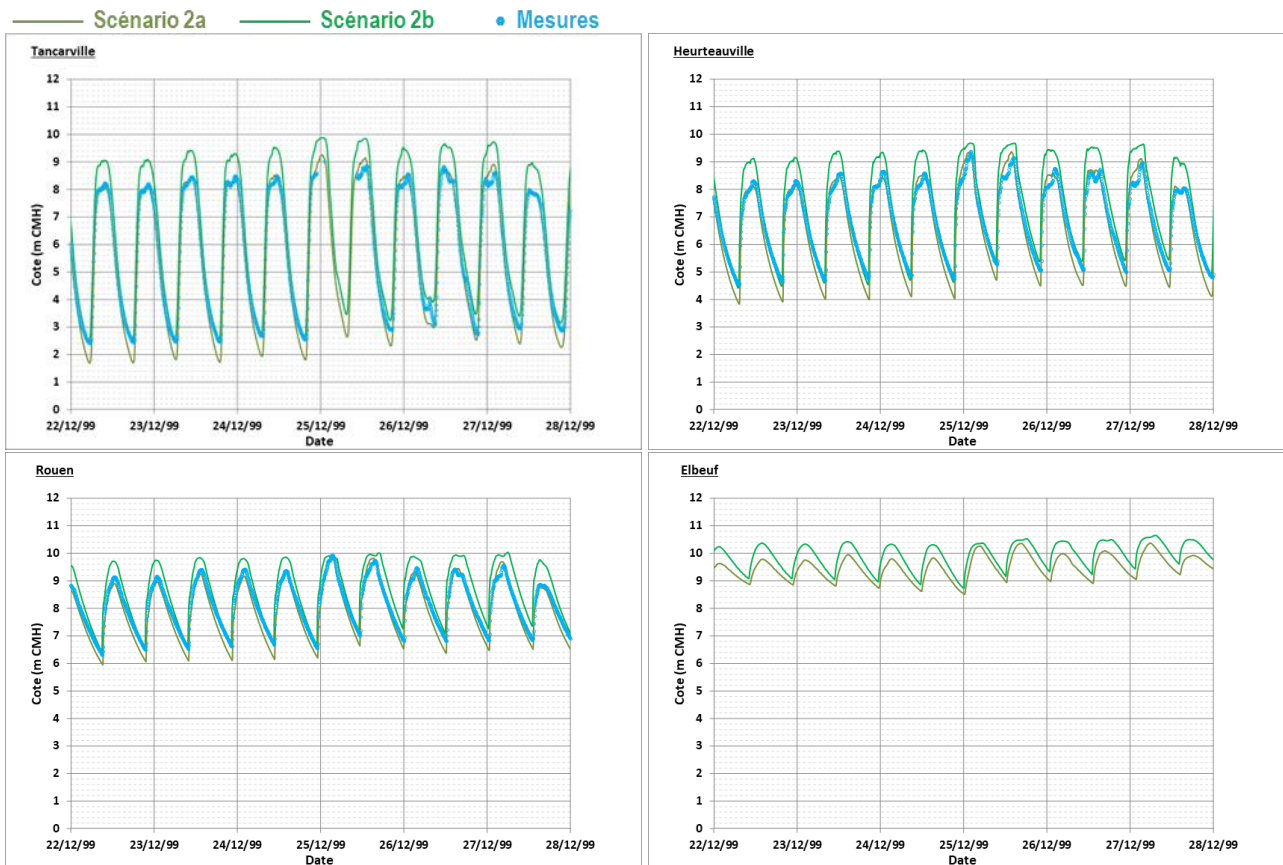


Figure 17- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario réaliste 2 – Tempête de décembre 1999

Le **scénario réaliste 2A** consiste à rejouer l'épisode de tempête ayant touché l'estuaire de la Seine en décembre 1999, en se basant sur les chroniques réelles associées à cet évènement. Comme expliqué au chapitre 1.2.1.2. du rapport, un terme variable de « résidu maritime » par rapport au marégraphe de Honfleur est imposé sur la frontière maritime, en raison de l'indisponibilité du modèle MARS-2D/MANGA pour la reconstitution des chroniques de surcotes marines.

Comme expliqué dans le rapport de phase 1 de la mission (référence [5]), l'étape de validation du modèle a permis de mettre en évidence un défaut de représentation des potentielles rafales par le modèle de prévision horaire ERA5, pouvant conduire à une sous-estimation des niveaux de pleine mer modélisés dans l'estuaire. En lien avec ces limites associées aux données de forçages, une simulation complémentaire est effectuée en majorant de 50% l'intensité du vent sur l'ensemble du domaine modélisé.

Cet ajustement des conditions de forçages permet d'améliorer la représentation des niveaux de pleine mer enregistrés au cours de cet évènement, comme le montre le profil en long sur la Figure 16. L'objectif principal de cette phase d'exploitation du modèle étant de caractériser les débordements de la Seine en représentant au mieux les conditions de l'épisode de tempête de 1999, il est décidé en concertation avec le GIP Seine-Aval de retenir cette simulation avec majoration du vent pour la construction du scénario 2A.

Les cotes maximales sont atteintes le 25 décembre sur la majeure partie de l'estuaire, au cours d'un cycle de marée de vive-eau concomitant à des conditions météorologiques défavorables (comme présenté en Annexe 1 sur les chroniques de forçages utilisées pour ce scénario). Ces conditions associent un « résidu maritime » de l'ordre de 70 cm au large de la baie de Seine et un vent de secteur ouest / sud-ouest dont l'intensité moyenne sur 3 heures à l'embouchure est d'environ 23 m/s (après majoration de 50%), ce qui correspond à un vent de période de retour 100 ans au cap de la Hève d'après l'analyse statistique citée en référence [4].

La pente de la ligne d'eau des niveaux maximaux décroît faiblement de l'amont vers l'aval, sans inflexion marquée en amont de Rouen du fait d'un débit de la Seine relativement modéré tout au long de l'épisode (de l'ordre de 1 500 m<sup>3</sup>/s).

Les zones les plus affectées par les débordements se situent entre Petit-Couronne et Caudebec (boucles de Sahurs, Jumièges, Bardouville, Anneville-Ambourville, Heurteauville). Les cotes maximales atteintes dans le lit mineur sur cette portion sont comprises entre 9.40 m CMH et 9.70 m CMH. Le lit majeur en amont de Rouen est nettement moins touché par les inondations comparativement au scénario réaliste 1A (crue « type janvier 1910 »), ce qui s'explique par un débit de la Seine diminué et par l'influence plus limitée des conditions météo-océaniques en partie amont de l'estuaire.

Le **scénario réaliste 2B** reprend les conditions de forçages du scénario 2A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 9 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 16.

Alors que l'impact sur la ligne d'eau est de l'ordre de 1 m à l'embouchure (marégraphe de Balise A), celui-ci est seulement de 62 cm au marégraphe de Tancarville par effet d'écêtement lié à des débordements importants vers le lit majeur en partie aval de l'estuaire. En remontant vers l'amont, cela se traduit par une rehausse des niveaux de pleine mer variant entre 20 cm et 40 cm dans le lit mineur entre Heurteauville et Pont de l'Arche.

Plusieurs zones du lit majeur situées en partie aval de l'estuaire, quasiment épargnées dans les conditions du scénario réaliste 2A, sont largement inondées en prenant en compte cette hypothèse d'augmentation future du niveau marin. Il s'agit en particulier des boucles de Quillebeuf-sur-Seine et Saint-Nicolas-de-Bliquetuit en rive gauche, et aussi de la boucle de Port-Jérôme-sur-Seine en rive droite (cf. Figure 19). Les seuls secteurs restant protégés se trouvent en rive gauche autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier.

*Tableau 9- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 2*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
<b>Marégraphe de référence</b>	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
<b>Scénario 2A</b>	9.26 (T6)	9.36 (T30)	9.82 (T12)	10.36 (T4)
<b>Scénario 2B</b>	9.88 (T155)	9.68 (T170)	10.03 (T30)	10.65 (T8)
<b>Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin</b>	+62 cm	+32 cm	+21 cm	+29 cm

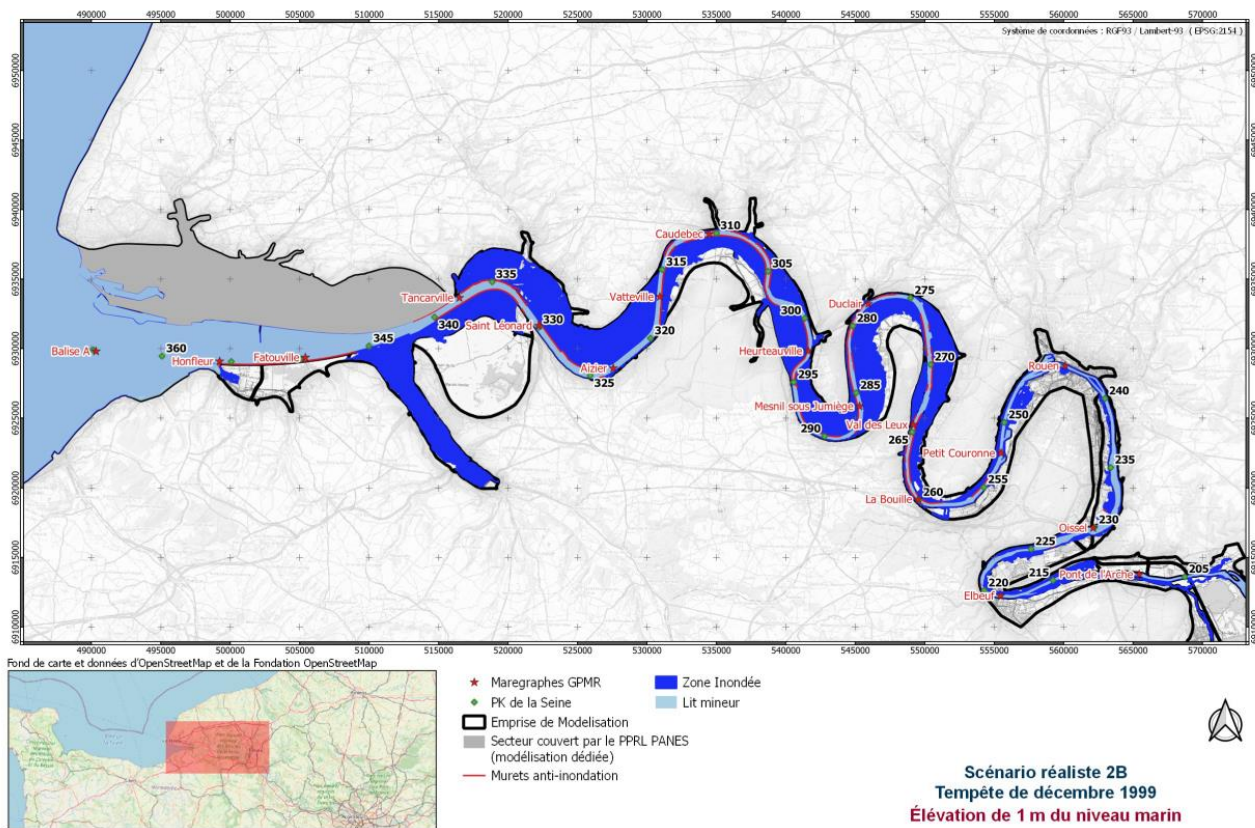
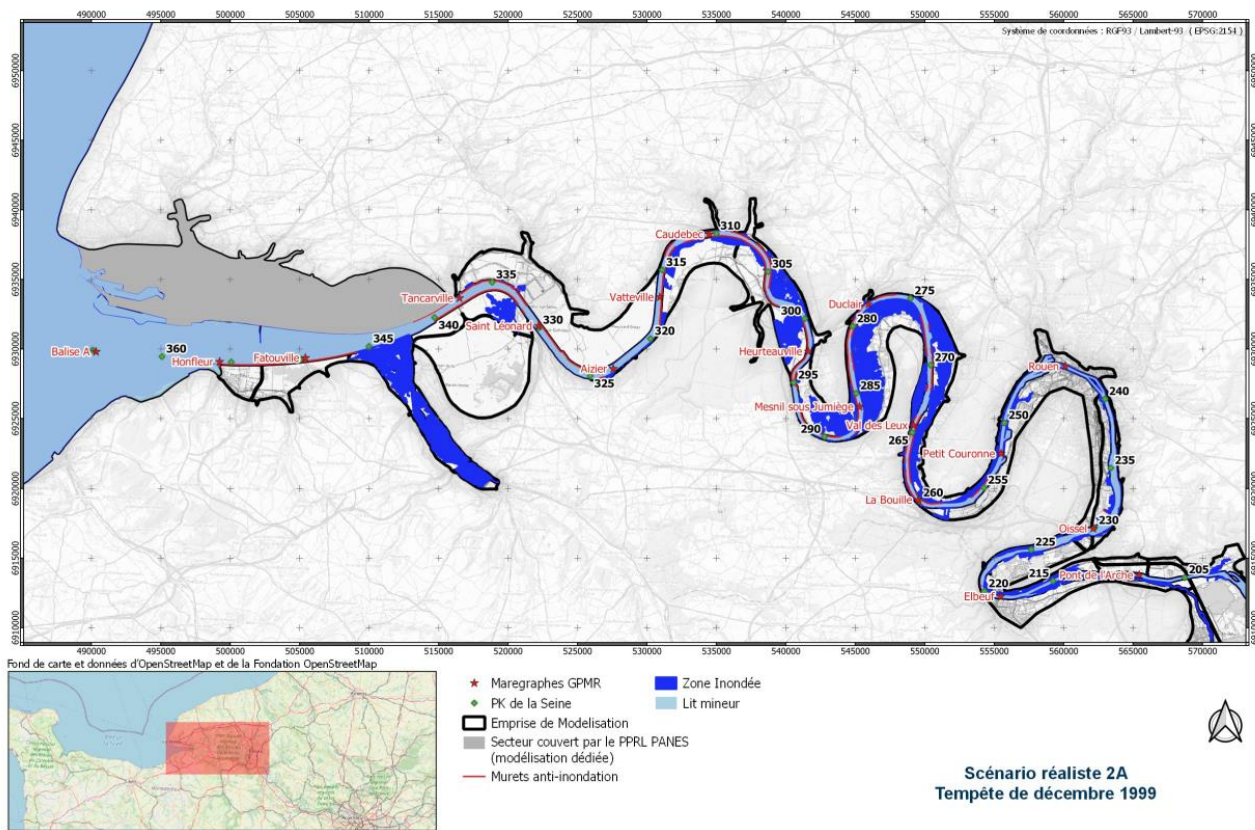


Figure 18- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 2A et 2B

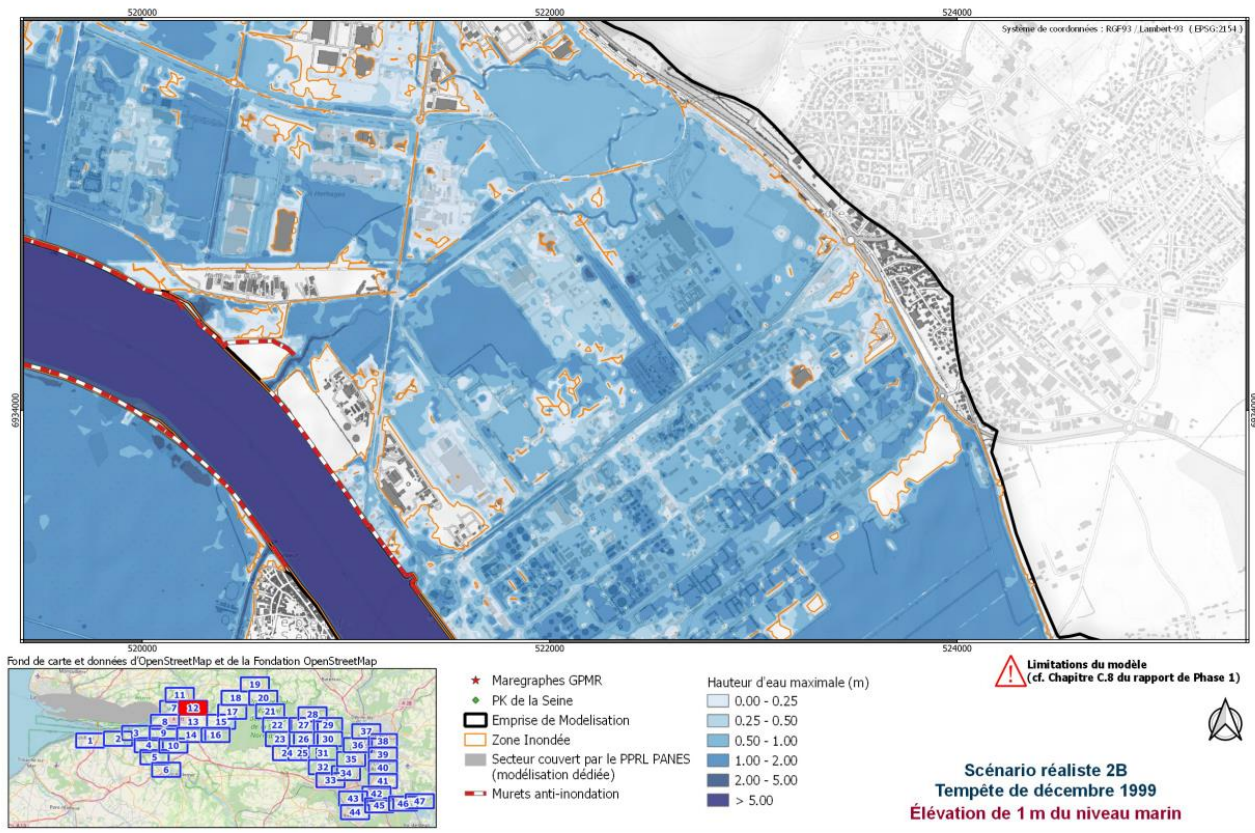
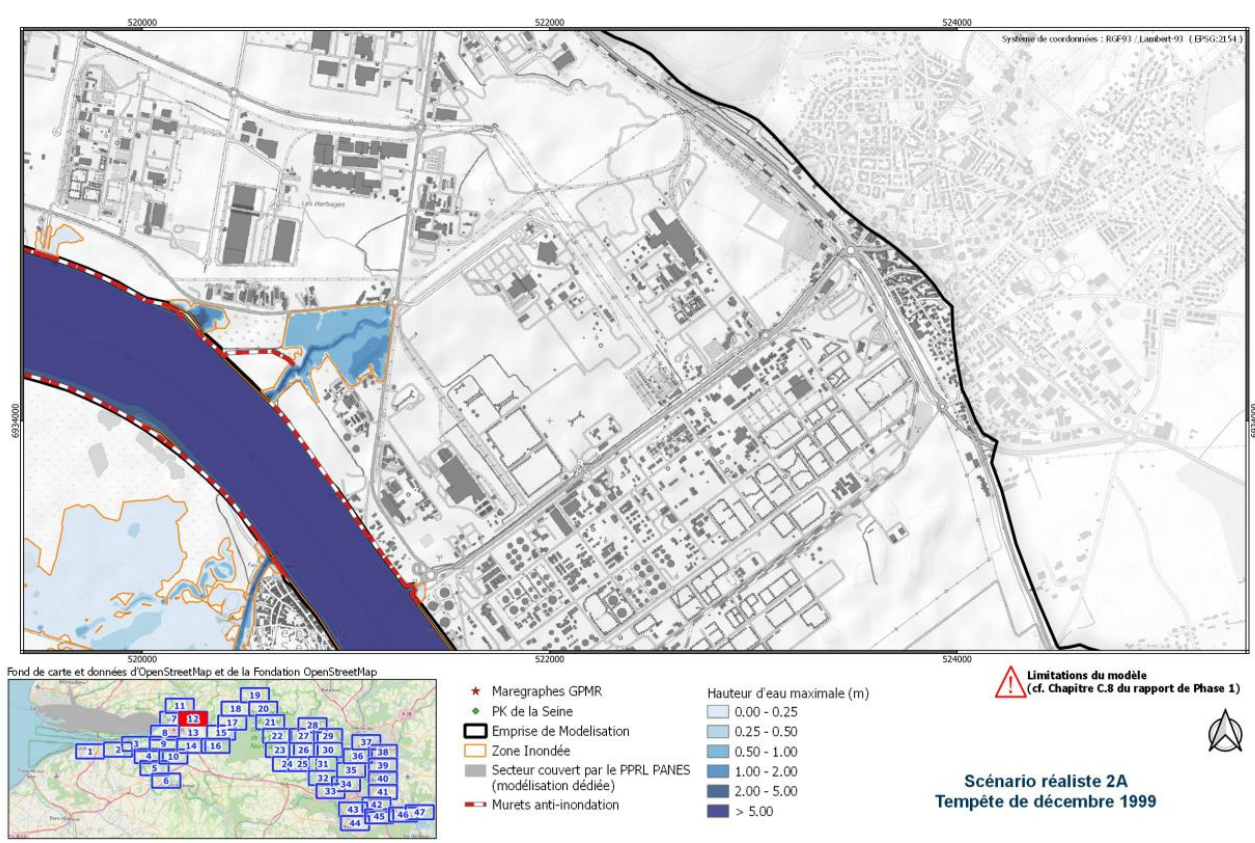


Figure 19- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Port-Jérôme-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 2A et 2B

## 2.3. SCENARIOS THEORIQUES

### 2.3.1. T30 sur le secteur fluvial – Scénario n°3

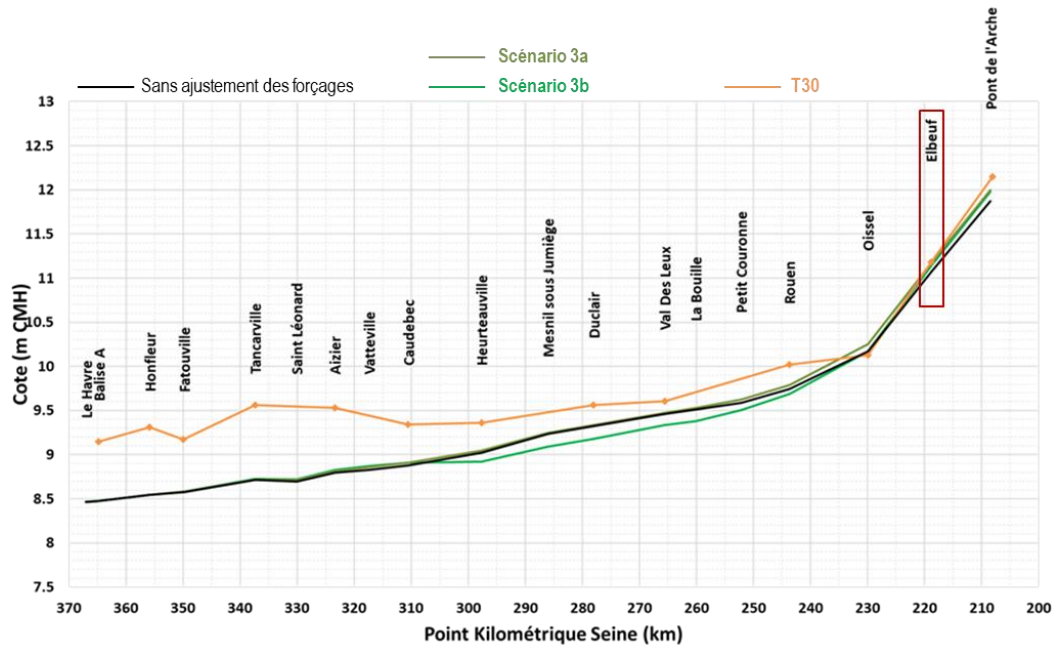


Figure 20- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 3 - T30 sur le secteur fluvial

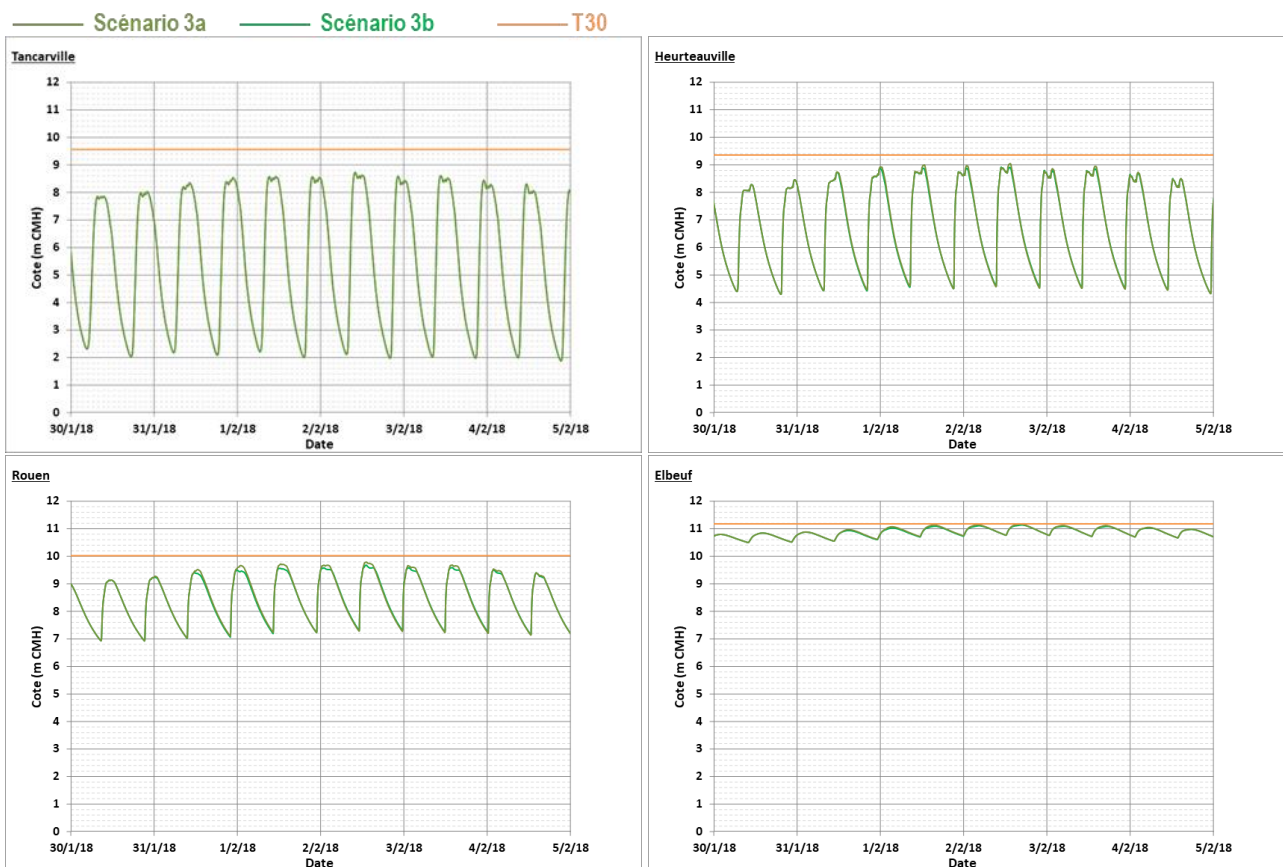


Figure 21- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 3 - T30 sur le secteur fluvial

Le **scénario théorique 3A** vise à reproduire la cote associée à une période de retour 30 ans (T30) au marégraphe d'Elbeuf soit 11.18 m CMH. A titre de rappel (cf. Tableau 2 au chapitre 1.2), les premiers débordements à Elbeuf se produisent lorsque le niveau mesuré au marégraphe dépasse 9.60 m CMH et les premiers enjeux sont impactés si celui-ci excède 10.80 m CMH. Sur ce secteur de l'estuaire à dominante fluviale, les cotes de pleine mer atteintes sont principalement déterminées par le débit du fleuve.

Les conditions de forçages sont élaborées à partir des chroniques observées lors de l'épisode fluvio-maritime de début février 2018. Le niveau cible à Elbeuf est obtenu durant le cycle de marée du 2 février en appliquant une majoration de 3% du débit de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon s'élève alors à 2 150 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour légèrement supérieure à 5 ans.

En raison d'un plus faible marnage sur ce secteur fluvial, les durées de débordements sont plus significatives que pour les scénarios affectant plutôt le secteur proche de l'embouchure. Le marégramme représenté sur la Figure 21 montre que le niveau de pleine mer à Elbeuf dépasse la cote 10.80 m CMH durant près de 15 marées consécutives entre le 30 janvier et le 6 février de cet événement théorique, en lien avec un débit de la Seine se maintenant durablement au-delà de 2 100 m<sup>3</sup>/s.

Le profil en long des niveaux d'eau maximaux modélisés pour ce scénario (cf. Figure 20) présente une allure typique d'un événement fluvial, avec une décroissance continue des niveaux de l'amont vers l'aval et une pente plus marquée en amont de Rouen. Les cotes maximales s'approchent ainsi des niveaux théoriques trentennaux aux marégraphe de Pont de l'Arche, Elbeuf et Oissel mais restent nettement inférieures sur le reste de l'estuaire. Avec une intensité du vent horaire à l'embouchure inférieure à 10 m/s tout au long de l'épisode, les conditions météorologiques n'ont pas particulièrement favorisé la formation de surcotes dans l'estuaire (cf. note descriptive de l'évènement de février 2018 référencée [8]).

Comme le montrent la Figure 22 et les cartographies de détail fournies en Annexe 3, de nombreuses zones de l'estuaire subissent les débordements de la Seine pour ce scénario d'occurrence trentennale sur le secteur fluvial : citons notamment les boucles de Criquebeuf-sur-Seine, Oissel, Beaulieu-Bardouville et Anneville-Ambourville en rive gauche ainsi que les boucles de Igoville, Saint-Aubin-lès-Elbeuf et Sahurs en rive droite.

Le **scénario théorique 3B** suppose un arasement des murets anti-inondations au niveau du terrain naturel, dans les mêmes conditions de forçages que le scénario 3A.

Cette hypothèse d'absence des murets conduit à accentuer les débordements vers le lit majeur entre Petit-Couronne et Heurteauville : plus précisément, les secteurs impactés concernent surtout la boucle de Sahurs en rive droite et la boucle d'Anneville-Ambourville en rive gauche. La boucle de Jumièges, peu exposée aux débordements de la Seine dans la configuration actuelle de l'estuaire (scénario 3A avec murets), est aussi plus largement touchée par les inondations suite au retrait de ces ouvrages de protection considéré dans le scénario 3B (cf. Figure 24).

Comme mentionné dans le Tableau 10 et sur le profil en long de la Figure 20, ces conséquences en termes d'étalement des inondations en lit majeur s'accompagnent par une diminution des cotes maximales atteintes dans le lit mineur de la Seine, en particulier entre Heurteauville et Oissel avec un abaissement de l'ordre de 10 cm à 15 cm.

*Tableau 10- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 3*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 3A	8.72 (<T1)	9.05 (T6)	9.79 (T10)	11.17 (T30)
Scénario 3B	8.73 (<T1)	8.92 (T3)	9.68 (T6)	11.14 (T25)
Impact de l'absence des murets anti-inondations	+1 cm	-13 cm	-9 cm	-3 cm



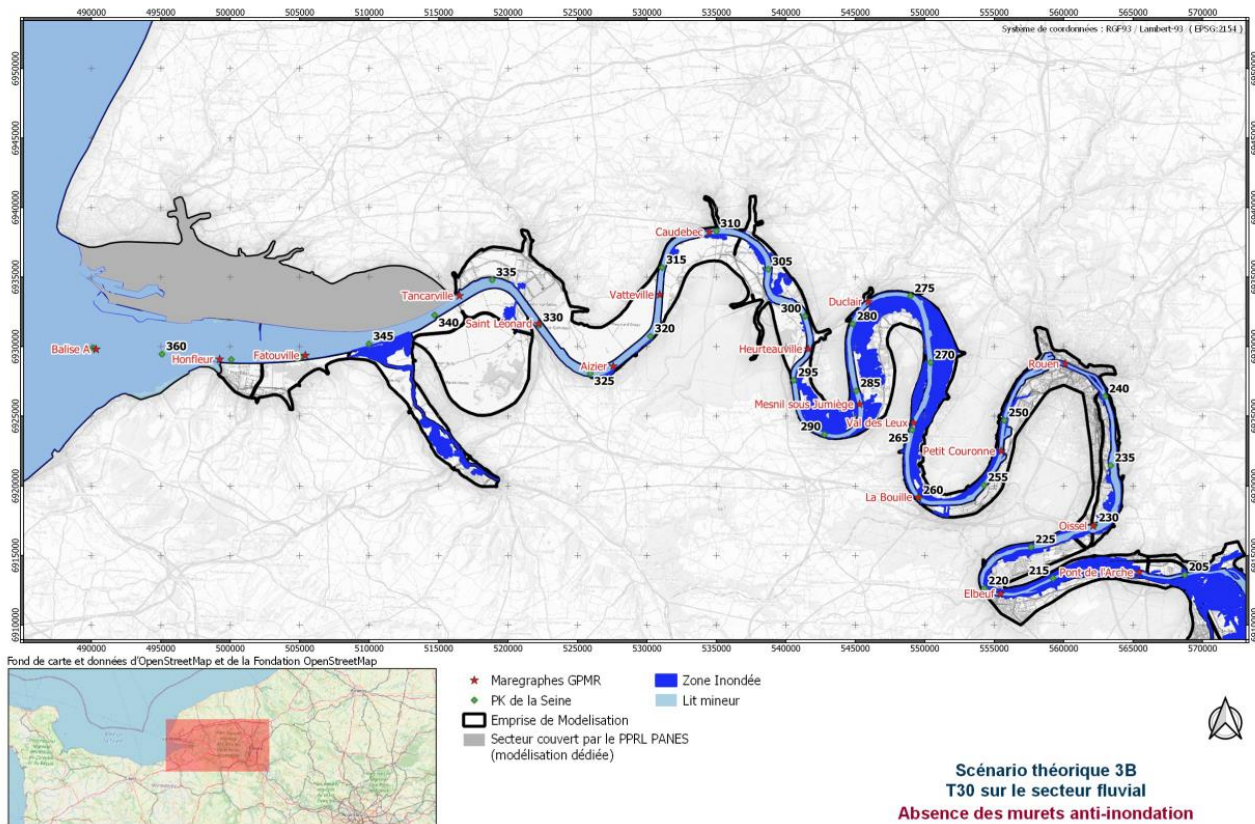
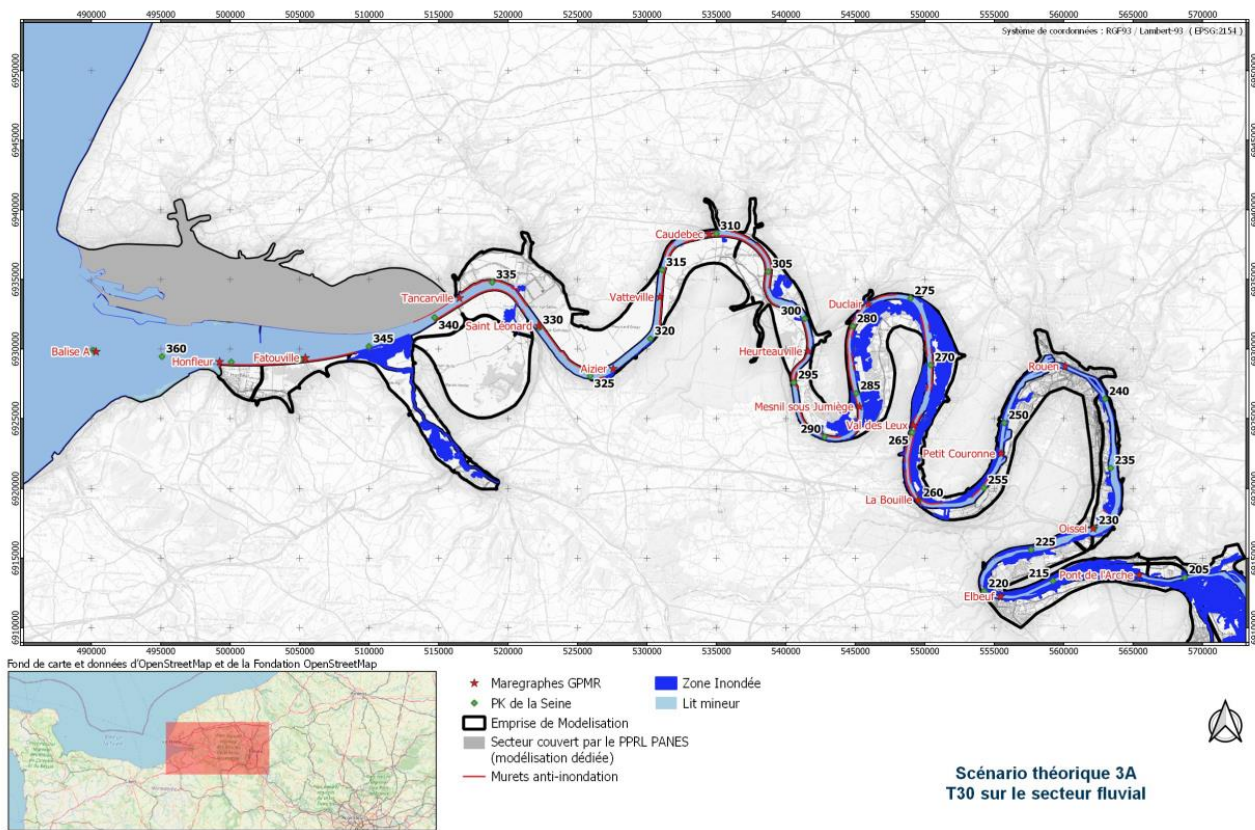


Figure 22- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 3A et 3B

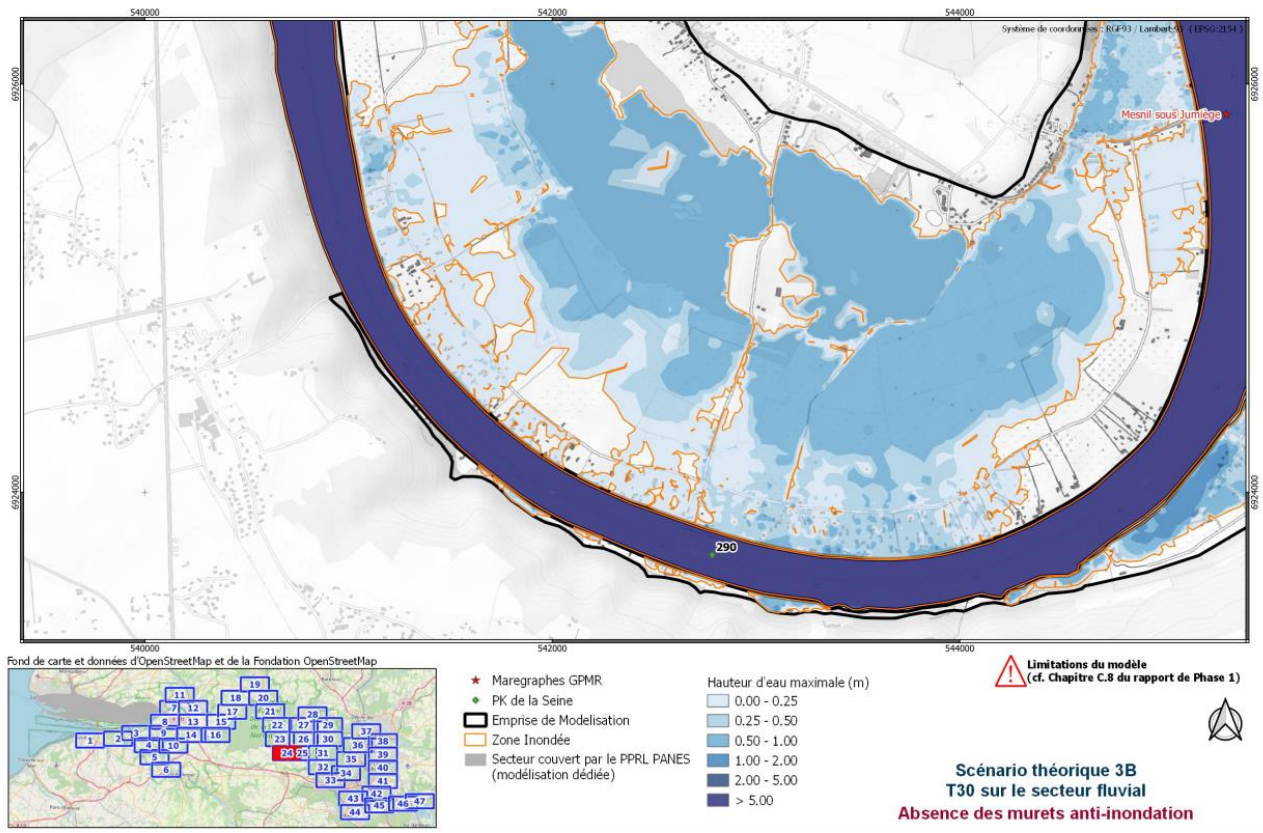
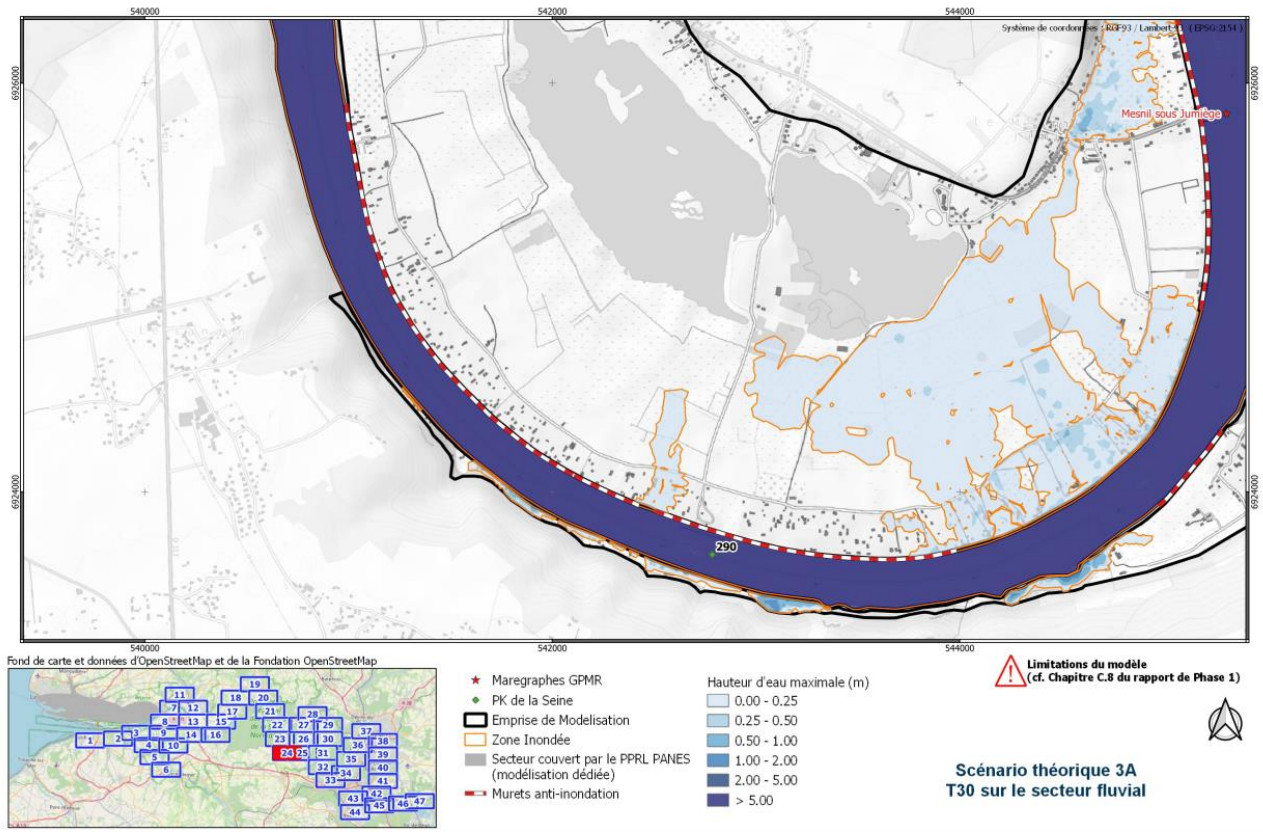


Figure 23- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Jumièges - Comparaison entre les scénarios 3A et 3B

### 2.3.2. T100 sur le secteur fluvial – Scénario n°4

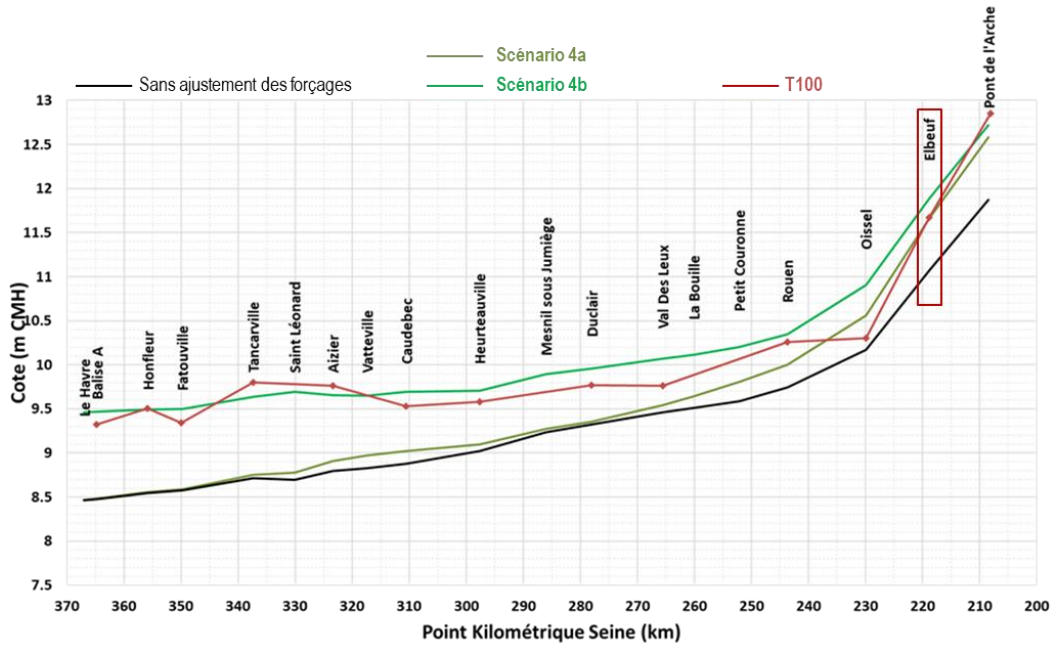


Figure 24- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 4 – T100 sur le secteur fluvial

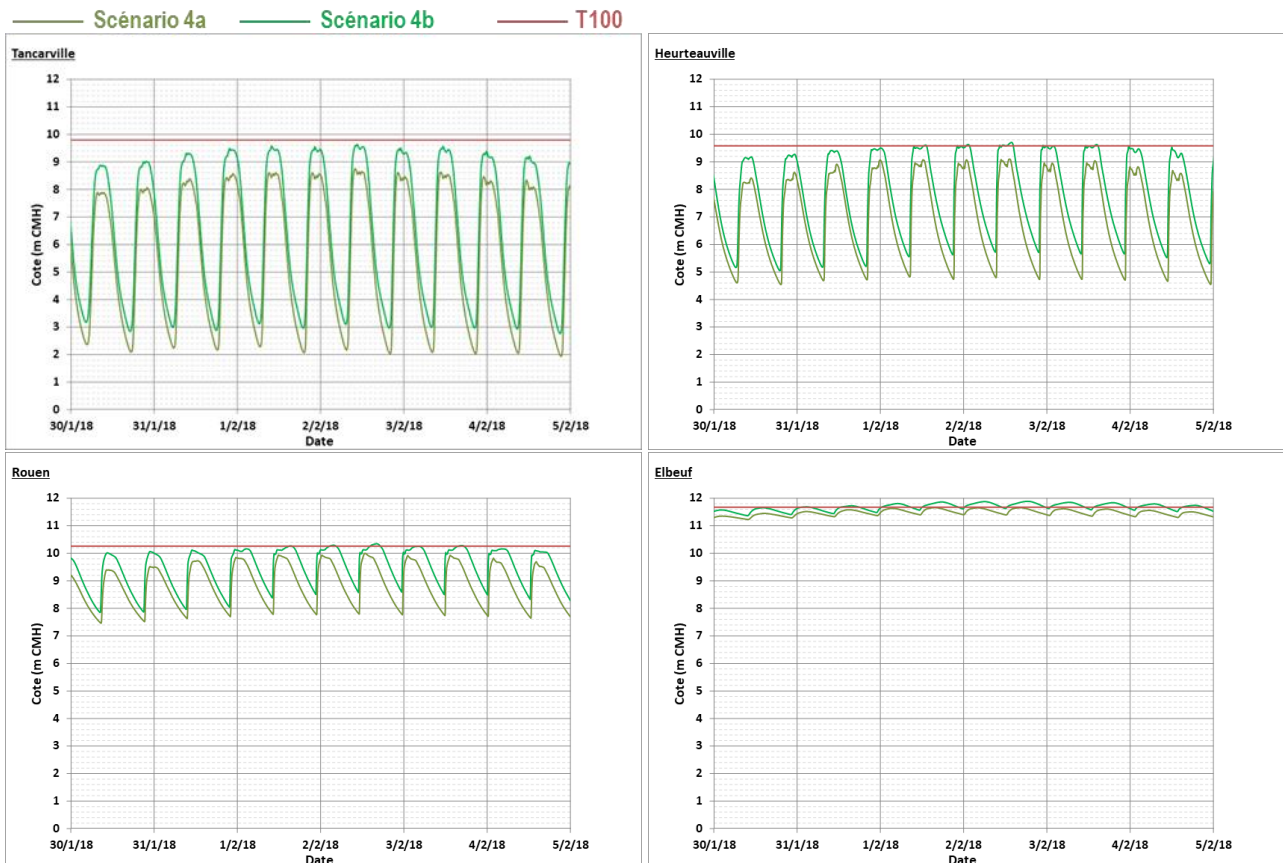


Figure 25- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 4 – T100 sur le secteur fluvial

Le scénario théorique 4A consiste à atteindre la cote associée à une période de retour 100 ans (T100) au marégraphe d'Elbeuf soit 11.67 m CMH. Ce niveau cible dans le secteur de l'estuaire à dominante fluviale est atteint durant les cycles de marée du 1<sup>er</sup> et du 2 février en majorant de 21% les débits observés de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon est alors compris entre 2 530 m<sup>3</sup>/s et 2 560 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour proche de 50 ans.

L'hydrogramme de crue de la Seine se maintient au-delà de 2 500 m<sup>3</sup>/s durant 5 jours entre le 29 janvier et le 2 février. En revanche, les conditions météorologiques n'ont pas particulièrement favorisé la formation de surcotes dans l'estuaire comme le montrent les chroniques de forçages reportées en Annexe 1.

Les marégrammes reportés sur la Figure 25 et en Annexe 2 soulignent la faible variation temporelle du niveau d'eau dans le secteur fluvial de l'estuaire, engendrant des inondations pouvant durer dans le temps sous l'effet d'un débit de la Seine soutenu. Les débordements se produisent par exemple durant près de 15 marées consécutives à Rouen, en considérant un débordement de la Seine lorsque la hauteur d'eau mesurée au marégraphe dépasse 9.30 m CMH.

Ce scénario d'occurrence centennale sur le secteur fluvial se traduit par des débordements généralisés à la fois en rive gauche et en rive droite dans la partie amont de l'estuaire, comme le montrent la Figure 26 et les cartographies de détail fournies en Annexe 3. Les débordements affectent les mêmes secteurs que pour le scénario d'occurrence trentennale avec des hauteurs d'eau accrues et s'étendent également dans les environs d'Alizay ou encore Tourville-la-Rivière. Comme pour le scénario 3A, la partie estuarienne en aval de Caudebec reste peu exposée aux débordements de la Seine.

Le scénario théorique 4B reprend les conditions de forçages du scénario 4A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 11 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 24.

L'augmentation future du niveau marin est ressentie sur l'ensemble de l'estuaire, bien que son effet tende à s'estomper progressivement en remontant vers l'amont compte tenu des contraintes liées aux débits importants de la Seine pour ce scénario de typologie fluviale. L'impact sur les niveaux de pleine mer est d'environ 35 cm entre Rouen et Oissel.

La prise en compte du changement climatique associée à ce scénario conduit à dépasser les niveaux théoriques centennaux sur la quasi-totalité de l'estuaire, ce qui engendre des débordements généralisés sur tout le linéaire de la Seine estuarienne en rive droite et en rive gauche. Parmi l'ensemble des scénarios théoriques modélisés, il s'agit du scénario aboutissant aux niveaux d'eau les plus élevés sur le secteur fluvial (11.89 m CMH au marégraphe d'Elbeuf). Les seuls secteurs épargnés par les inondations se trouvent en rive gauche autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier.

Cette simulation met aussi en évidence la déformation progressive de la courbe de marée en remontant vers l'amont de l'estuaire, sous l'effet d'importants débordements qui modifient la dynamique des écoulements dans l'estuaire et sous l'effet d'une phase de jusant moins rapide du fait de l'augmentation du niveau marin. Au droit des marégraphes de Rouen ou d'Elbeuf, l'atteinte des niveaux de pleine mer pour le scénario 4B est retardée d'environ 3 heures comparativement au scénario 4A. La Figure 25 ainsi que tous les marégrammes reportés en Annexe 2 illustrent ce phénomène de déformation constatée tout au long de l'estuaire.

*Tableau 11- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 4*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 4A	8.75 (<T1)	9.10 (T7)	10.00 (T30)	11.66 (T100)
Scénario 4B	9.64 (T45)	9.71 (T200)	10.36 (T170)	11.89 (T180)
Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin	+89 cm	+61 cm	+36 cm	+23 cm

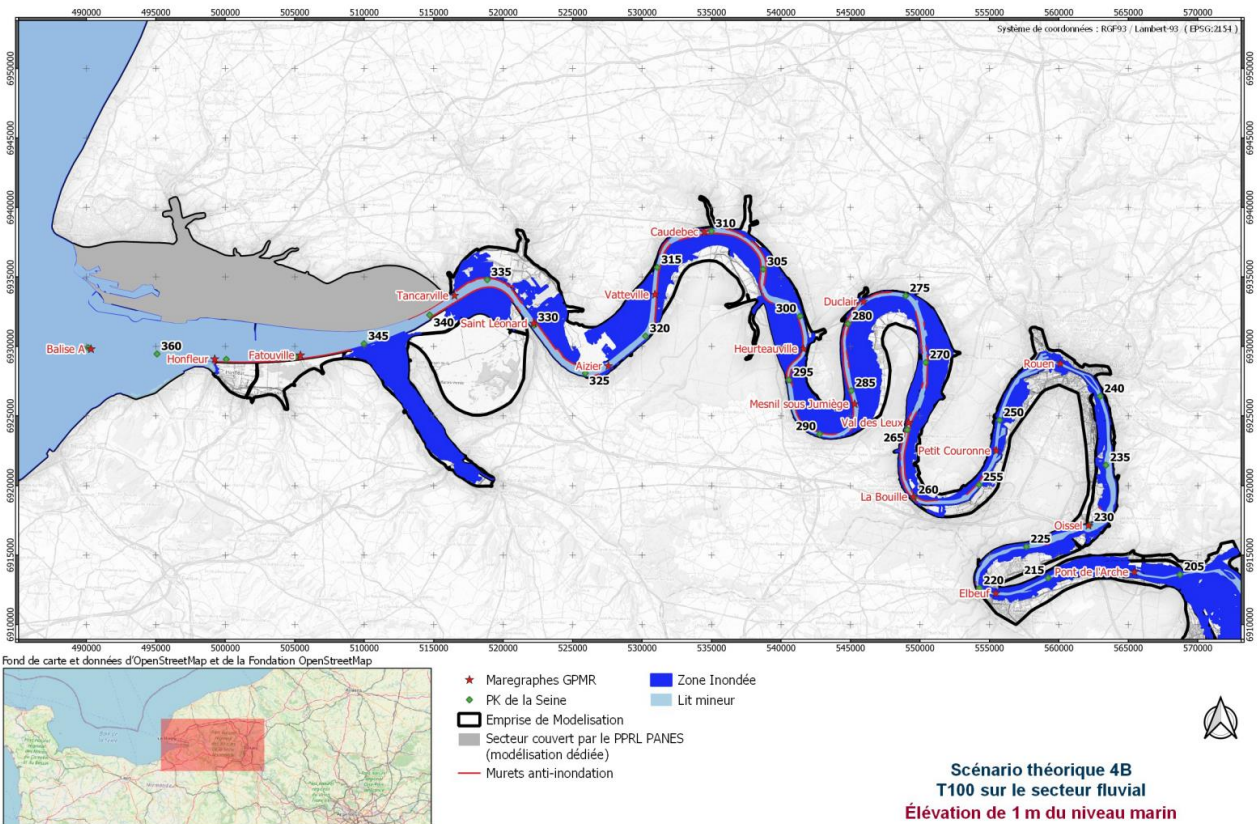
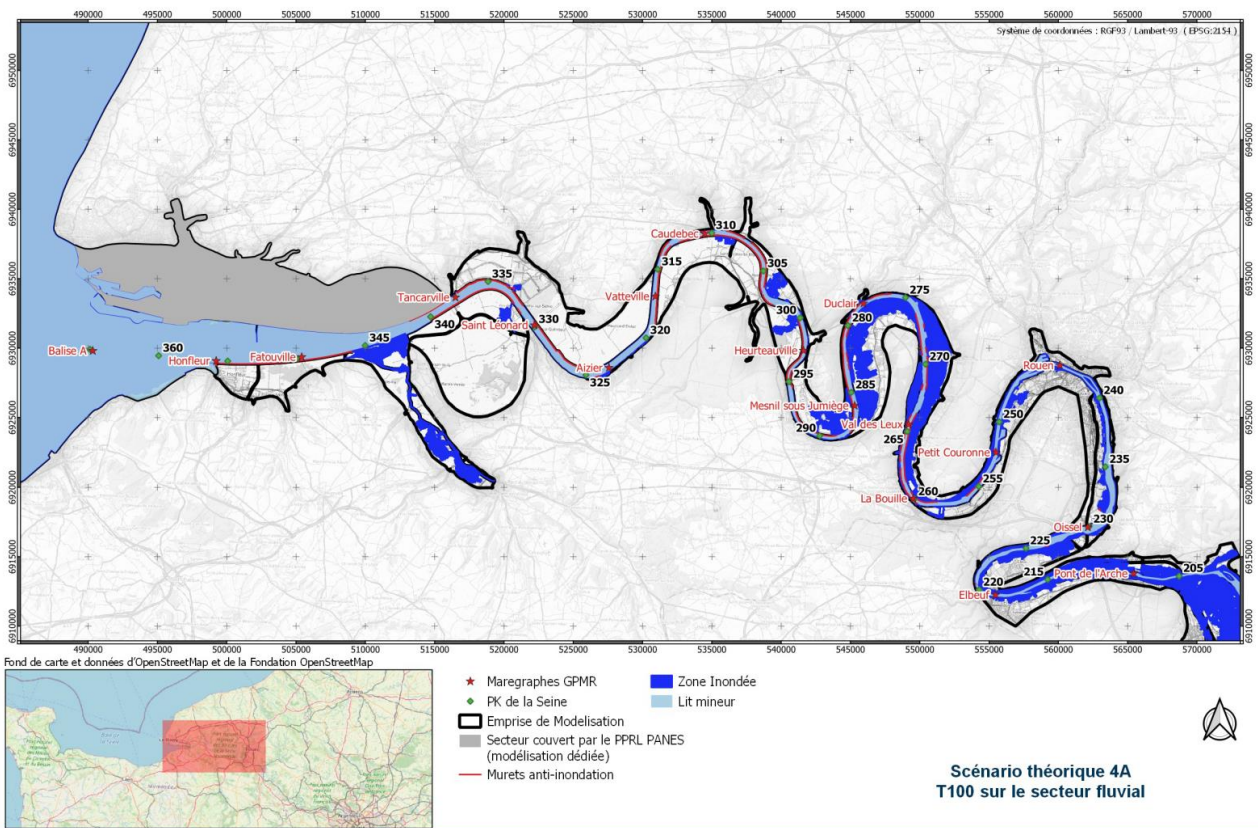
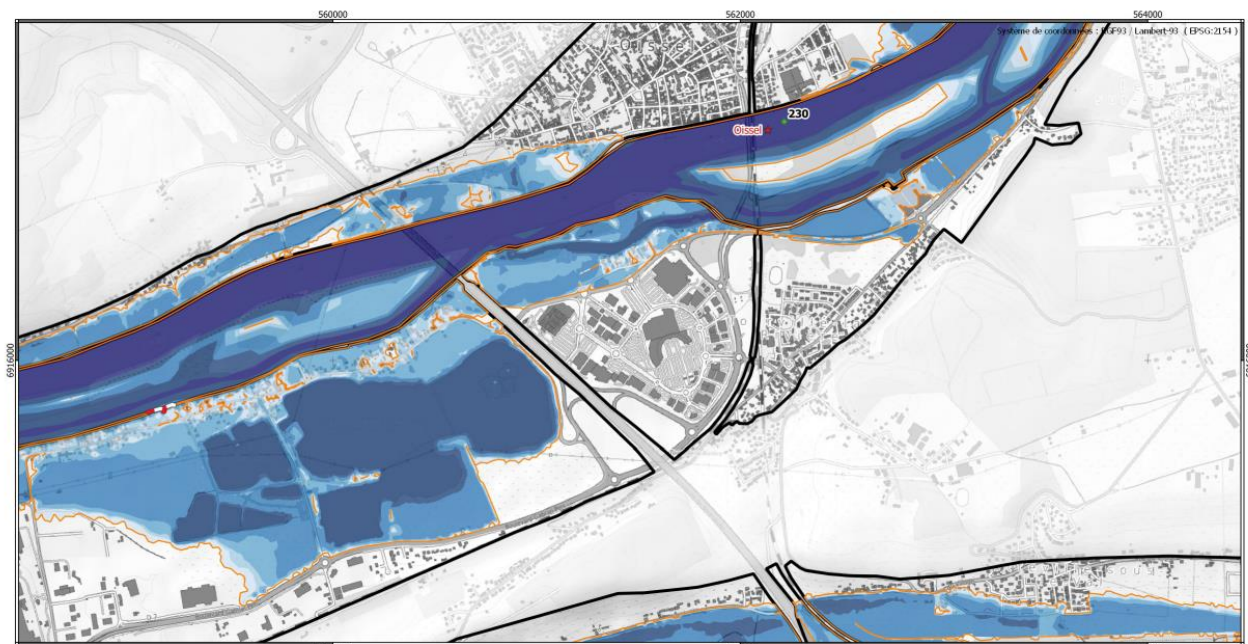


Figure 26- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 4A et 4B



Fond de carte et données d'OpenStreetMap et de la Fondation OpenStreetMap

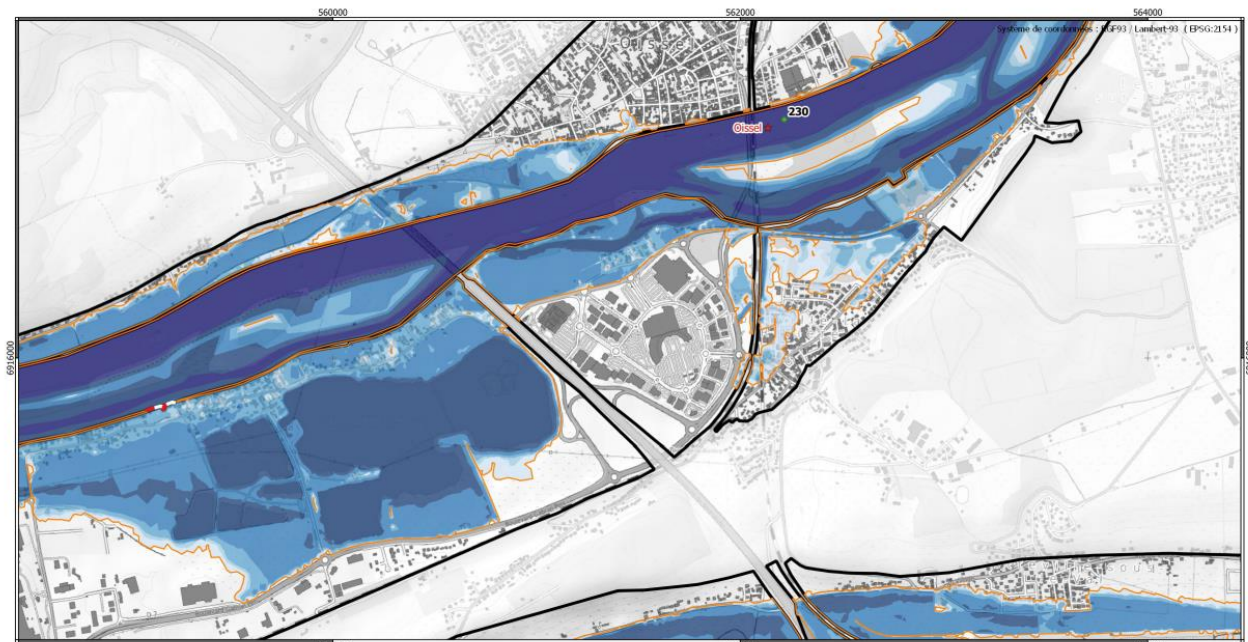


- ★ Maregraphes GPMR
  - PK de la Seine
  - ▭ Emprise de Modélisation
  - ▭ Zone Inondée
  - ▭ Secteur couvert par le PPRL PANES (modélisation dédiée)
  - ▭ Murets anti-inondation
- | Hauteur d'eau maximale (m) |  |
|----------------------------|--|
| 0.00 - 0.25                |  |
| 0.25 - 0.50                |  |
| 0.50 - 1.00                |  |
| 1.00 - 2.00                |  |
| 2.00 - 5.00                |  |
| > 5.00                     |  |

⚠ Limitations du modèle (cf. Chapitre C.8 du rapport de Phase 1)



**Scénario théorique 4A**  
T100 sur le secteur fluvial



Fond de carte et données d'OpenStreetMap et de la Fondation OpenStreetMap



- ★ Maregraphes GPMR
  - PK de la Seine
  - ▭ Emprise de Modélisation
  - ▭ Zone Inondée
  - ▭ Secteur couvert par le PPRL PANES (modélisation dédiée)
  - ▭ Murets anti-inondation
- | Hauteur d'eau maximale (m) |  |
|----------------------------|--|
| 0.00 - 0.25                |  |
| 0.25 - 0.50                |  |
| 0.50 - 1.00                |  |
| 1.00 - 2.00                |  |
| 2.00 - 5.00                |  |
| > 5.00                     |  |

⚠ Limitations du modèle (cf. Chapitre C.8 du rapport de Phase 1)



**Scénario théorique 4B**  
T100 sur le secteur fluvial  
Élévation de 1 m du niveau marin

Figure 27- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur d'Oissel - Comparaison entre les scénarios 4A et 4B

### 2.3.3. T30 sur le secteur fluvi-maritime amont – Scénario n°5

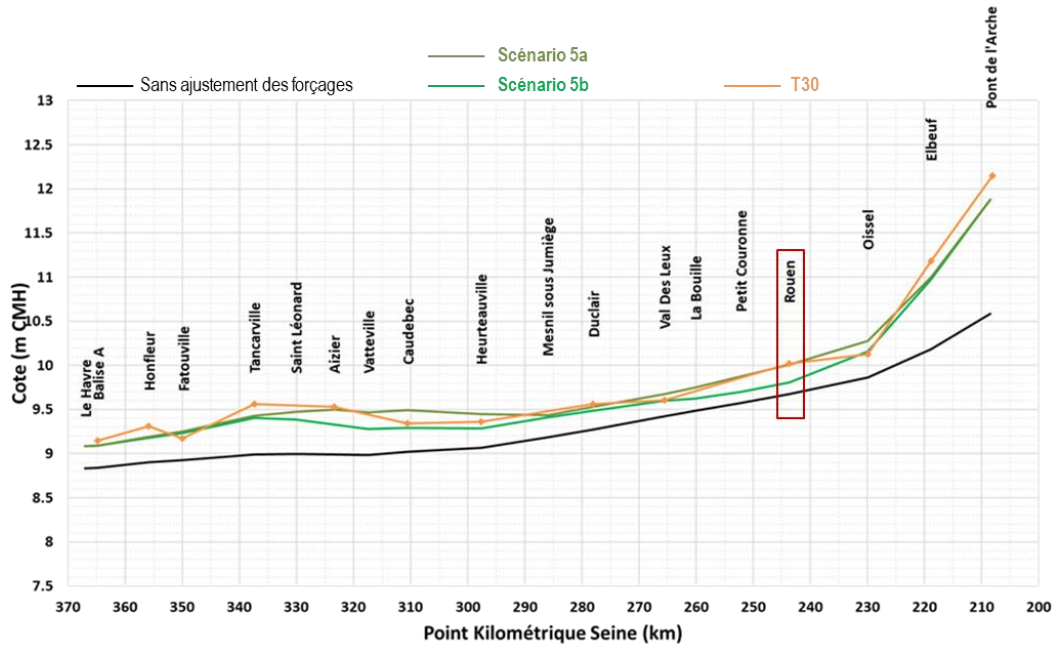


Figure 28- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 5 - T30 sur le secteur fluvi-maritime amont

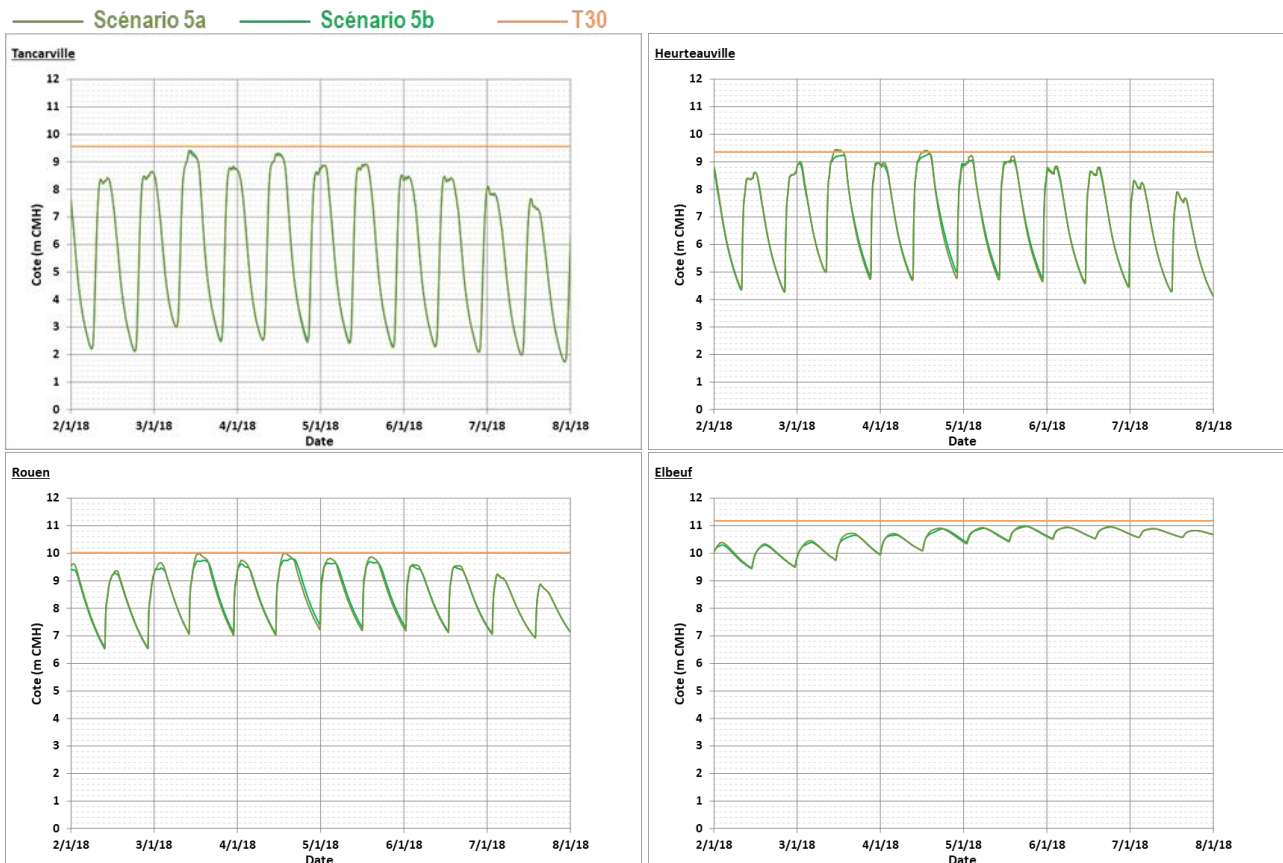


Figure 29- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 5 - T30 sur le secteur fluvi-maritime amont

Le scénario théorique 5A vise à reproduire la cote associée à une période de retour 30 ans (T30) au marégraphe de Rouen soit 10.02 m CMH. A titre de rappel (cf. Tableau 2 au chapitre 1.2), les débordements sur les quais de Rouen se produisent lorsque le niveau mesuré au marégraphe dépasse 9.30 m CMH et les premiers enjeux sont impactés si celui-ci excède 9.70 m CMH. Sur ce secteur de l'estuaire qualifié de fluvio-maritime amont, les cotes de pleine mer atteintes sont déterminées par une conjonction défavorable des conditions fluviales, marines et météorologiques.

Les conditions de forçages sont élaborées à partir des chroniques observées lors de l'épisode de début janvier 2018 (tempête Eleanor), dont une description est fournie dans la note référencée [7]. Le niveau cible à Rouen est obtenu durant les cycles de marée du 3 et du 4 janvier en appliquant les correctifs suivants :

- Majoration de 50% du débit de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon est alors compris entre 1 650 m<sup>3</sup>/s et 1 850 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour comprise entre 2 ans et 3 ans ;
- Majoration de 40% des conditions météo-océaniques : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue autour de 18 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes atteint environ 1.5 m.

Au droit des marégraphes de Pont de l'Arche et Elbeuf, l'atteinte des niveaux d'eau les plus élevés intervient plus tardivement (5-8 janvier) du fait de l'augmentation progressive du débit au cours de l'épisode. La ligne d'eau dans ce tronçon situé à l'extrémité amont de l'estuaire dépend en effet principalement du débit du fleuve et peu des conditions marines et météorologiques.

La Figure 28 permet de mettre en évidence que le profil en long des cotes maximales, déterminé spécifiquement pour ce scénario d'occurrence trentennale sur le secteur fluvio-maritime amont, présente une allure similaire au profil en long des niveaux théoriques de période de retour trentennale en tout point de l'estuaire.

Les débordements de la Seine touchent une majeure partie de l'estuaire pour ce scénario, comme le montre l'emprise maximale des zones inondées sur la Figure 31. Les zones les plus impactées concernent notamment les boucles de Saint-Nicolas-de-Bliquetuit, Heurteauville, Anneville-Ambourville, Bardouville en rive gauche et les boucles du Trait, Jumièges et Sahurs en rive droite.

Le scénario théorique 5B suppose un arasement des murets anti-inondations au niveau du terrain naturel, dans les mêmes conditions de forçages que le scénario 5A.

Cette hypothèse d'absence des murets de protection facilite naturellement les débordements vers le lit majeur, ce qui se traduit par une diminution des cotes atteintes dans le lit mineur de la Seine. Comme mentionné dans le Tableau 12 et sur le profil en long de la Figure 28, le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur n'évolue pas linéairement à mesure que l'on remonte dans l'estuaire. Les impacts les plus importants sont relevés sur les tronçons Aizier-Heurteauville et Petit-Couronne-Rouen, avec un abaissement des niveaux compris entre 17 cm et 21 cm.

A titre d'illustration de l'influence de ces ouvrages de protection, la Figure 31 présente une comparaison des hauteurs d'eau maximales calculées pour les scénarios 5A et 5B dans la boucle de Jumièges. Les résultats de la simulation sans les murets montrent une nette augmentation de l'étendue des inondations et des hauteurs d'eau dans ce secteur. Ce constat est également valable dans les boucles de Saint-Nicolas-de-Bliquetuit, le Trait, Heurteauville ou encore Sahurs, comme représenté sur les cartographies de détail fournies en Annexe 3.

En lien avec cette aggravation des inondations dans certaines zones du lit majeur, l'absence des murets a aussi pour effet de réduire légèrement l'ampleur des inondations dans d'autres secteurs de l'estuaire. Cela concerne notamment la boucle d'Anneville-Ambourville et plus globalement la portion de l'estuaire en amont de Petit-Couronne.

*Tableau 12- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 5*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 5A	9.43 (T15)	9.45 (T50)	10.01 (T30)	11.00 (T19)
Scénario 5B	9.40 (T13)	9.28 (T20)	9.80 (T11)	10.97 (T17)
Impact de l'absence des murets anti-inondations	-3 cm	-17 cm	-21 cm	-3 cm



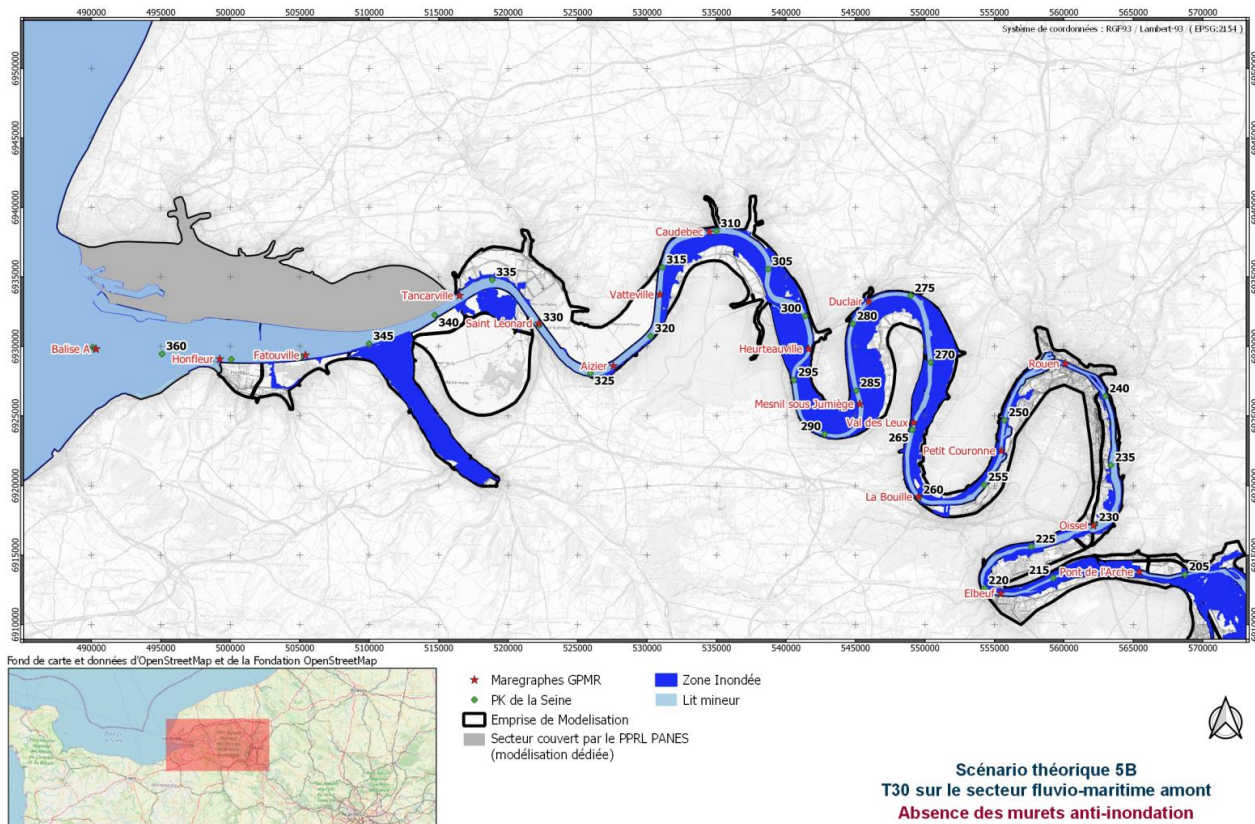
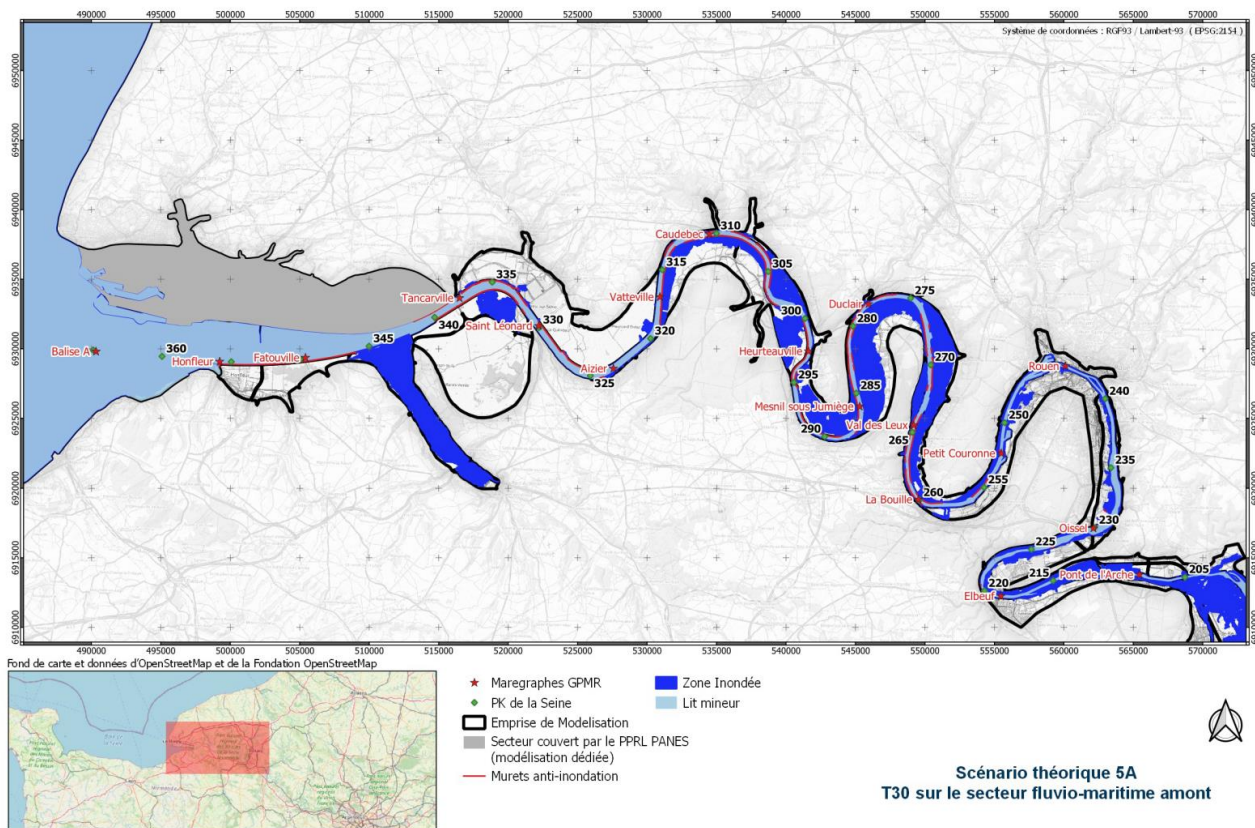


Figure 30- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 5A et 5B

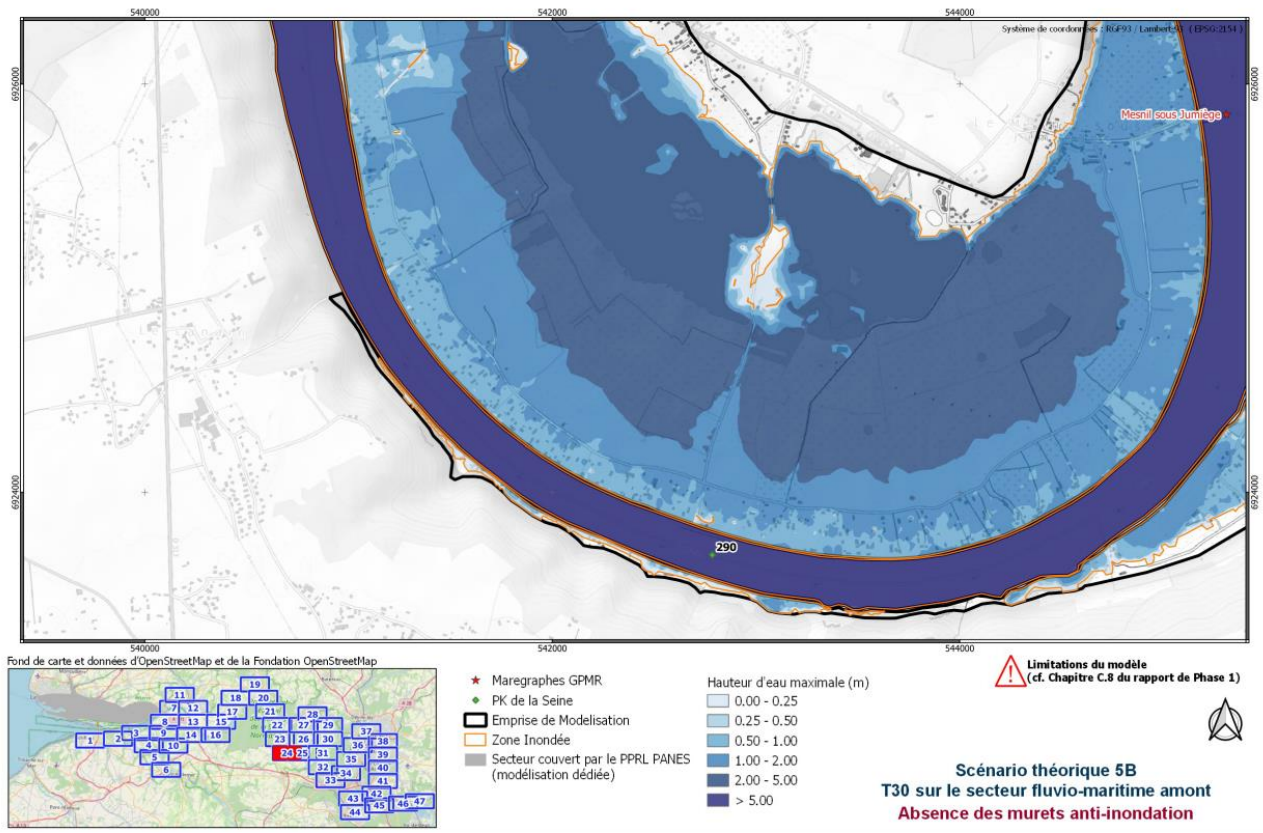
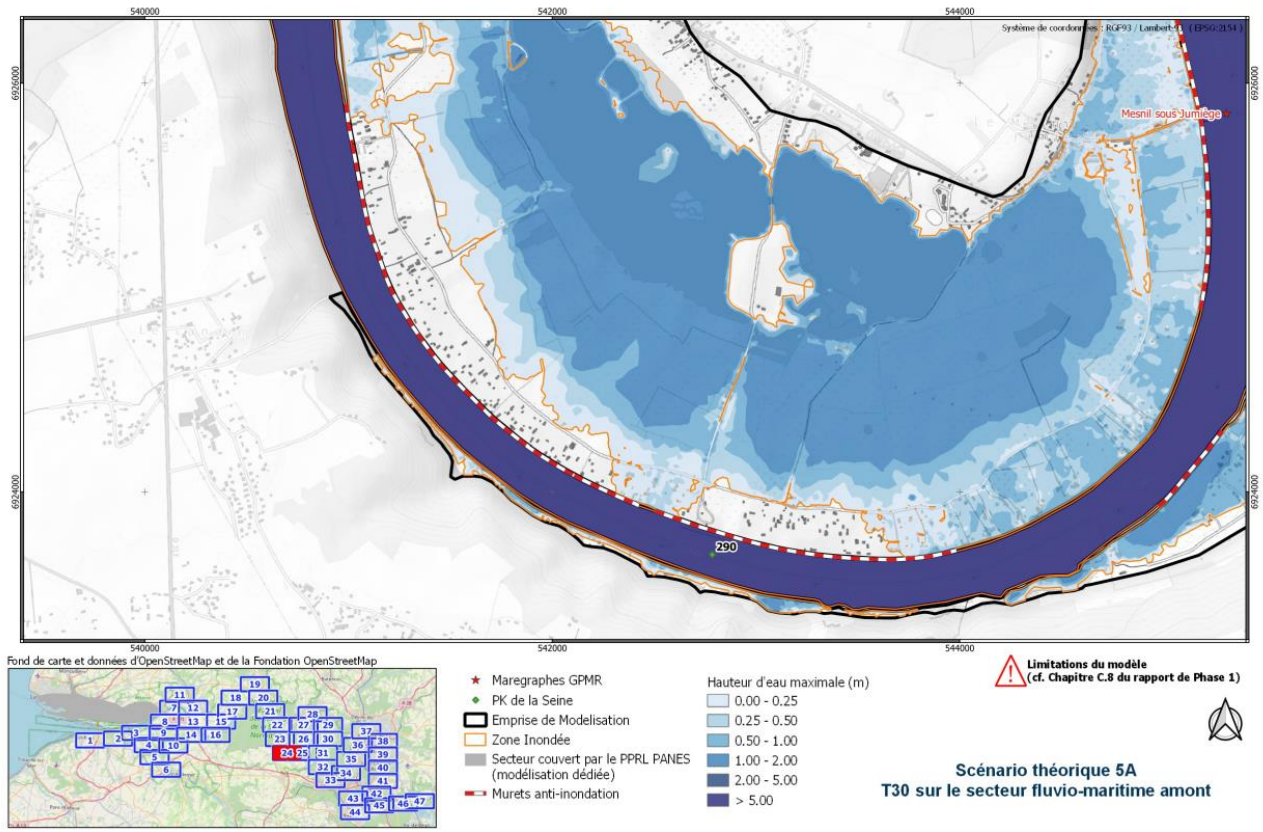


Figure 31- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Jumièges - Comparaison entre les scénarios 5A et 5B

### 2.3.4. T100 sur le secteur fluvio-maritime amont – Scénario n°6

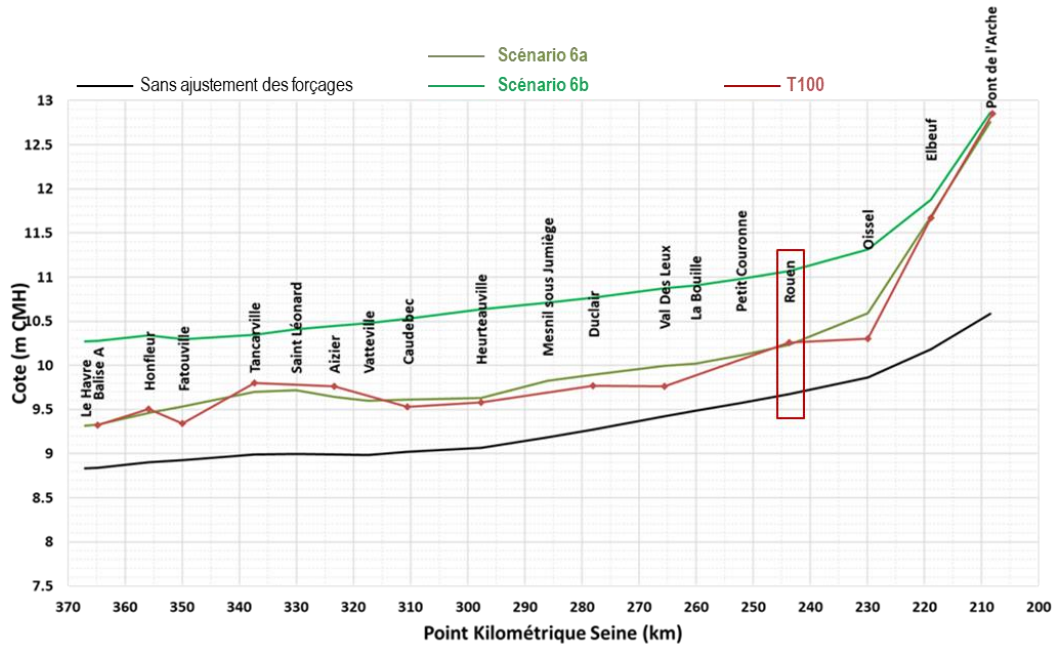


Figure 32- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 6 – T100 sur le secteur fluvio-maritime amont

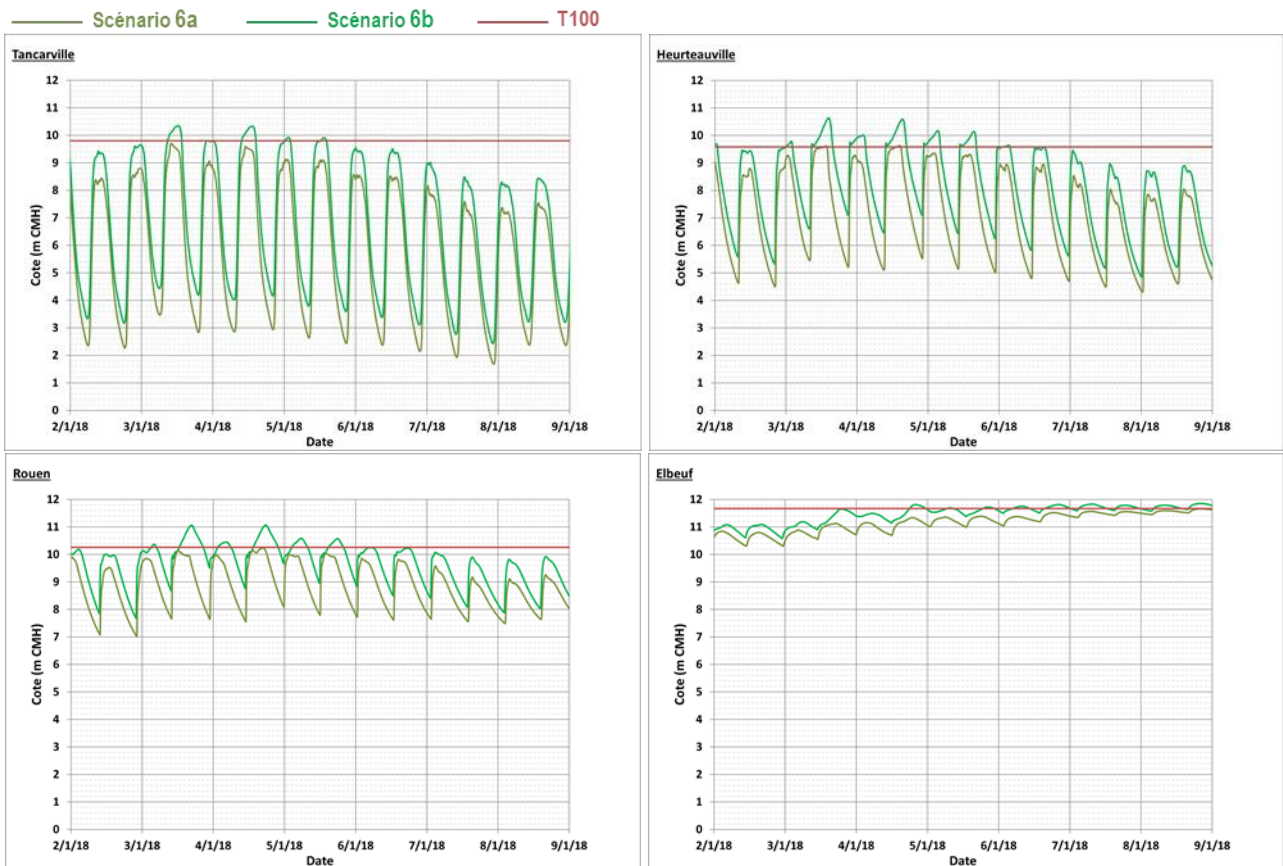


Figure 33- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 6 – T100 sur le secteur fluvio-maritime amont

Le scénario théorique 6A consiste à atteindre la cote associée à une période de retour 100 ans (T100) au marégraphe de Rouen soit 10.26 m CMH. Ce niveau cible dans le secteur fluvio-maritime amont est atteint durant le cycle de marée du 4 janvier en appliquant les correctifs suivants :

- Majoration de 80% du débit de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon est alors de 2 210 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour comprise entre 5 ans et 10 ans ;
- Majoration de 70% des conditions météo-océaniques : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue autour de 19 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes de Seine-Maritime atteint ponctuellement 1.8 m.

De façon analogue au scénario 5A, il apparaît sur la Figure 32 que le profil en long déterminé spécifiquement pour ce scénario d'occurrence centennale sur le secteur fluvio-maritime amont, présente une allure similaire au profil en long des niveaux théoriques de période de retour centennale en tout point de l'estuaire.

Comme le montrent la Figure 34 et les cartographies de détail fournies en Annexe 3, ce scénario se traduit par des débordements généralisés à la fois en rive gauche et en rive droite sur une majeure partie de l'estuaire. Les seuls secteurs épargnés par les inondations se trouvent en rive gauche autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier.

Le scénario théorique 6B reprend les conditions de forçages du scénario 6A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 13 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 32. Cette hypothèse d'élévation future du niveau marin conduit à dépasser largement les niveaux théoriques centennaux en tout point de l'estuaire. L'augmentation est ressentie sur l'ensemble de l'estuaire mais n'évolue pas linéairement en remontant vers l'amont. L'impact maximal est relevé au droit du marégraphe de Heurteauville avec un exhaussement de 1 mètre par rapport à la situation actuelle.

L'impact est en revanche un peu plus limité au niveau du marégraphe de Tancarville (+ 65 cm). Ce constat est également valable pour les scénarios théoriques 8B et 10B présentés dans la suite du rapport. Les niveaux de pleine mer étant déjà relativement élevés sur ce secteur pour les scénarios 6A-8A-10A (entre 9.70 m CMH et 9.80 m CMH), l'augmentation du niveau marin entraîne une expansion significative des inondations vers le lit majeur (cf. Figure 34) notamment dans le méandre de Marais-Vernier qui constitue une zone de stockage influençant la dynamique des inondations.

Parmi l'ensemble des scénarios théoriques modélisés, il s'agit du scénario aboutissant aux niveaux d'eau les plus élevés sur le secteur fluvio-maritime amont (11.08 m CMH au marégraphe de Rouen). A titre de comparaison, la valeur maximale enregistrée en ce point est de 10.05 m CMH durant la crue de janvier 1910, et plus récemment une hauteur d'eau de 9.91 m CMH a été atteinte lors de la tempête de décembre 1999.

La Figure 33 ainsi que tous les marégrammes reportés en Annexe 2 illustrent la modification de la dynamique des écoulements dans l'estuaire sous l'effet de l'élévation du niveau marin, qui se traduit par une déformation de la courbe de marée à mesure que celle-ci se propage de l'aval vers l'amont. Les hauteurs d'eau se maintiennent durablement à un niveau élevé à proximité de l'embouchure, ce qui a pour conséquence de freiner l'évacuation des eaux vers l'aval à l'échelle de plusieurs cycles de marée.

Les seuls secteurs épargnés dans les conditions du scénario précédent (scénario 6A), à savoir les environs de Honfleur et Marais-Vernier, sont cette fois inondés en prenant en compte le changement climatique pour le scénario 6B. Les aléas d'inondations sont par ailleurs augmentés dans les zones déjà touchées précédemment, comme illustré à titre d'exemple sur la Figure 35 pour le secteur de Rouen.

*Tableau 13- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 6*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 6A	9.70 (T60)	9.63 (T130)	10.24 (T100)	11.69 (T110)
Scénario 6B	10.35 (>T1000)	10.63 (>T1000)	11.08 (>T1000)	11.88 (T180)
Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin	+65 cm	+100 cm	+84 cm	+19 cm

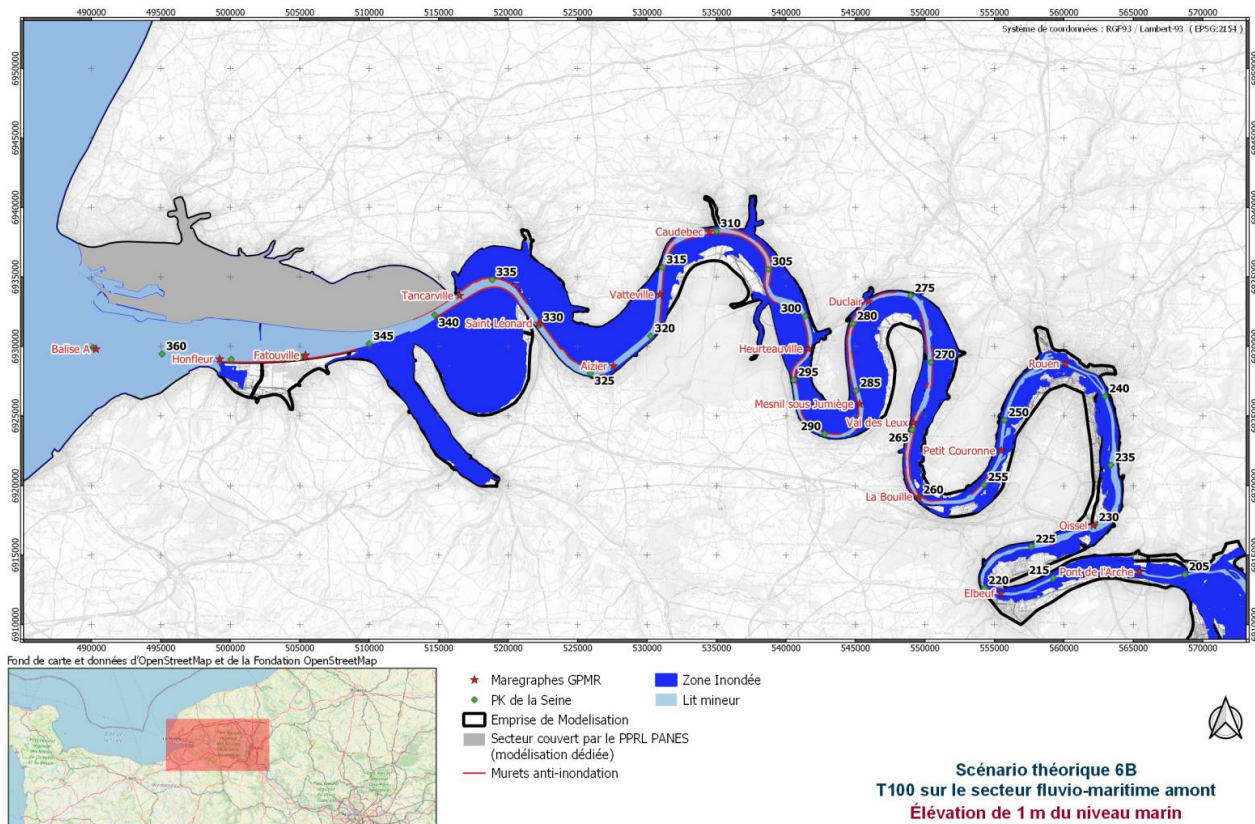
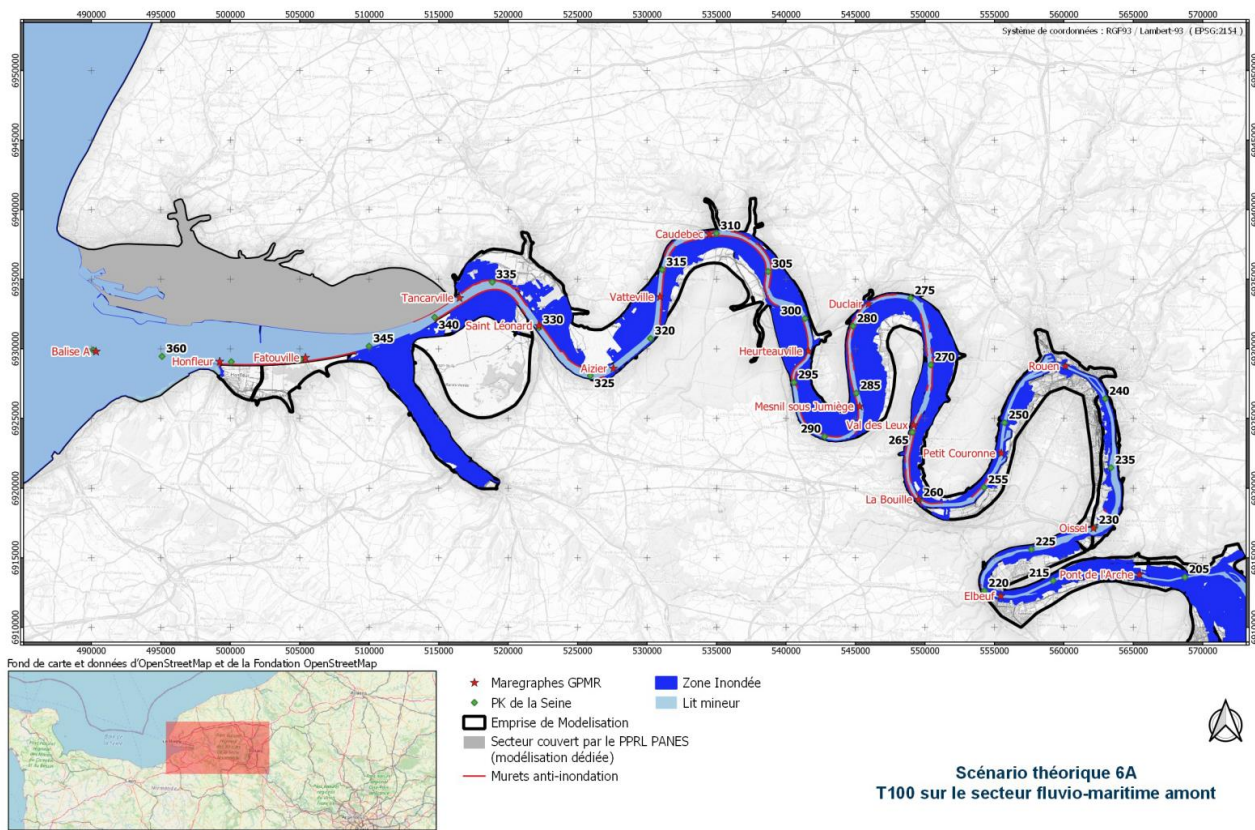


Figure 34- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 6A et 6B

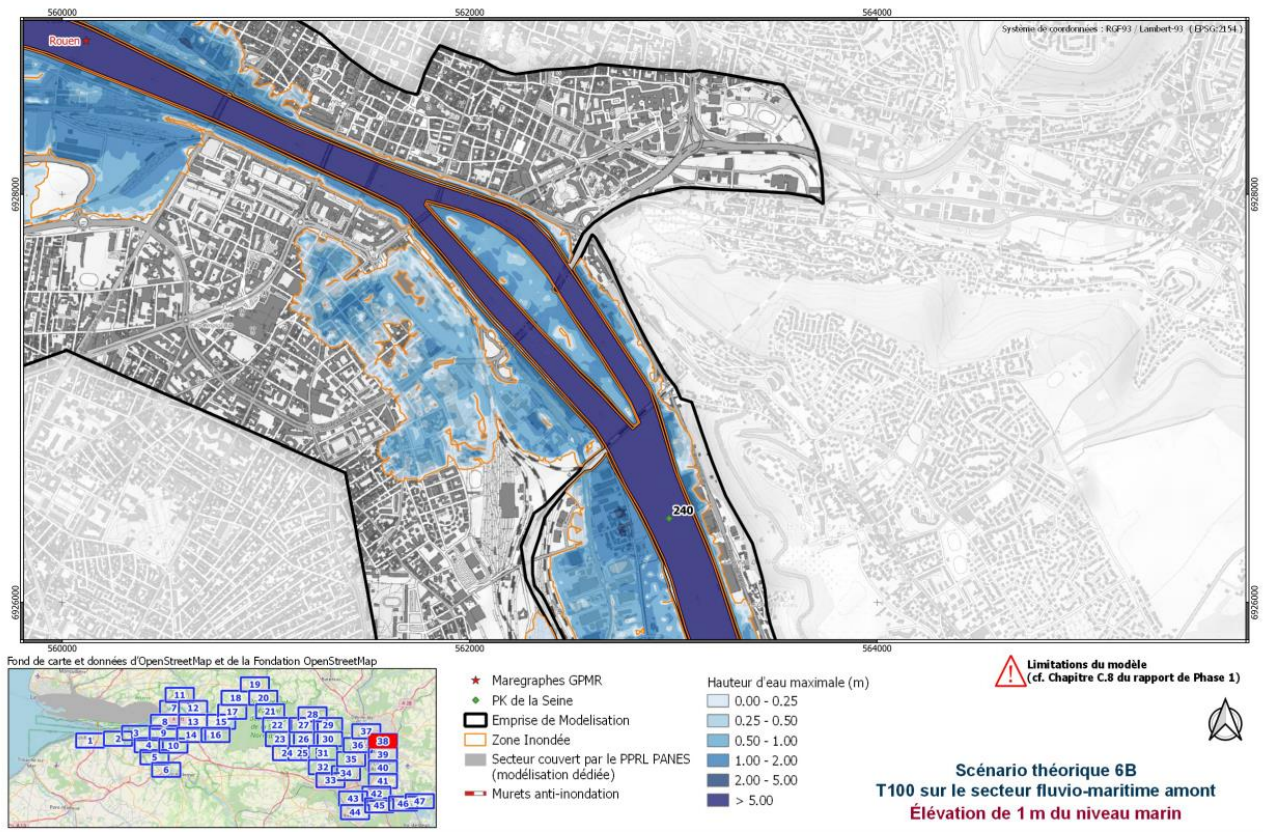
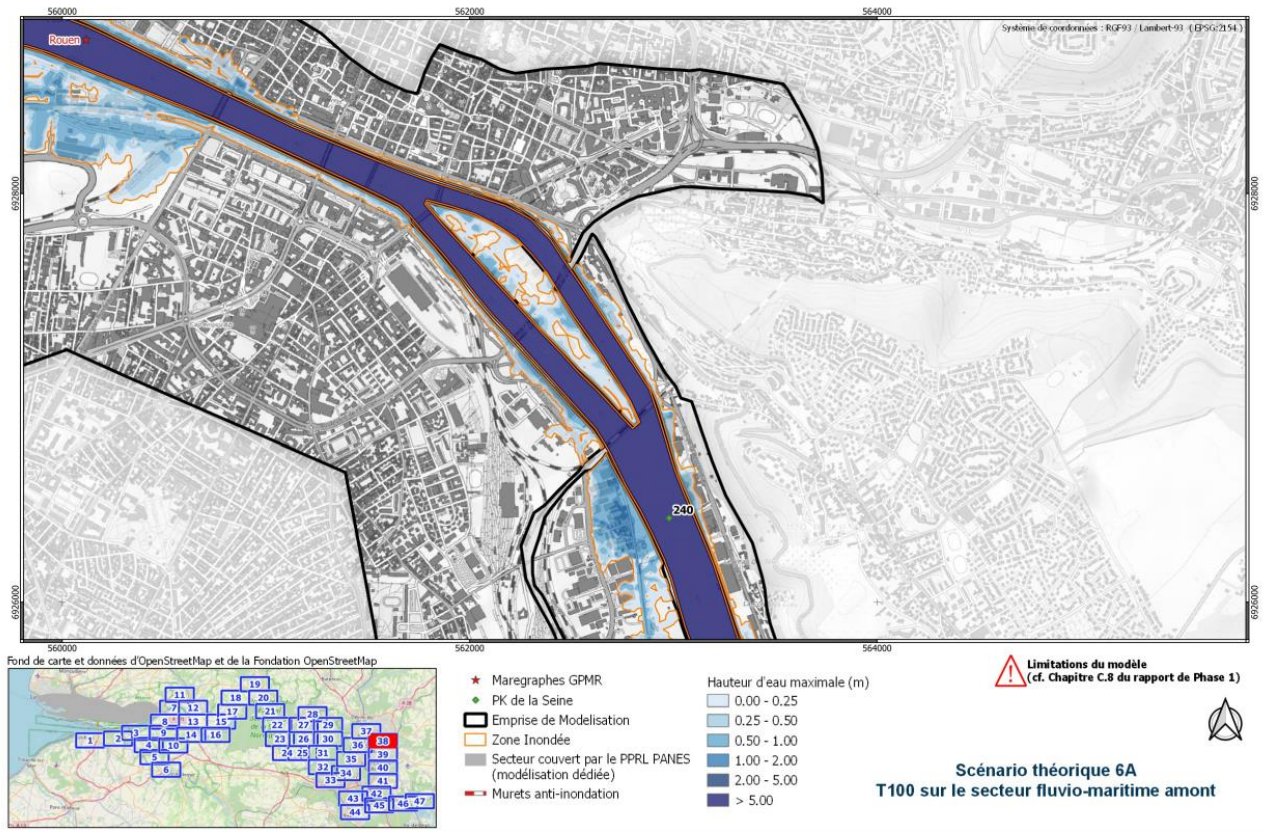


Figure 35- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Rouen - Comparaison entre les scénarios 6A et 6B

### 2.3.5. T30 sur le secteur fluvo-maritime aval – Scénario n°7

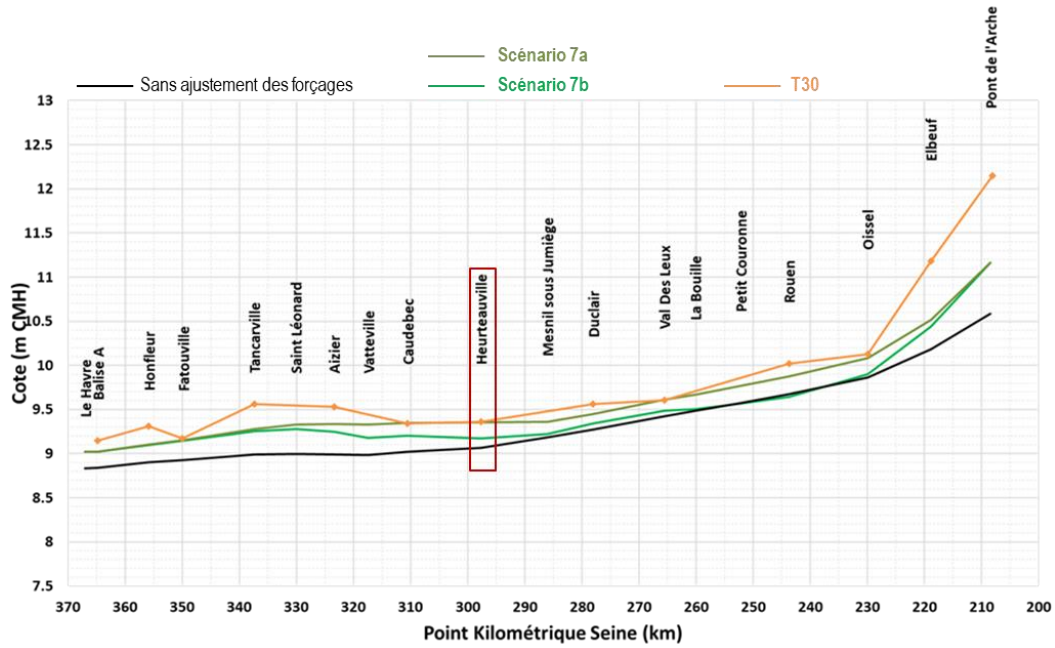


Figure 36- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 7 - T30 sur le secteur fluvo-maritime aval

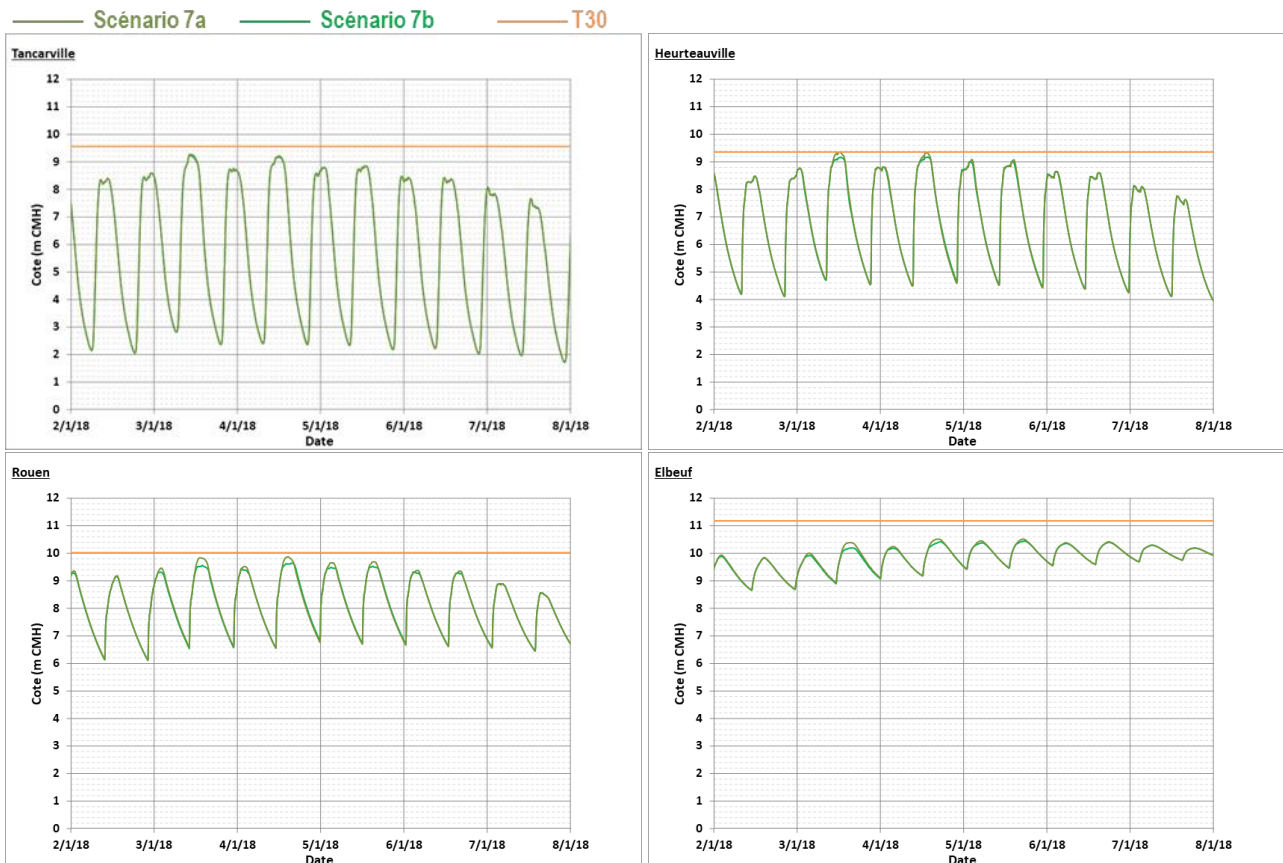


Figure 37- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 7 - T30 sur le secteur fluvo-maritime aval

Le scénario théorique 7A vise à reproduire la cote associée à une période de retour 30 ans (T30) au marégraphe de Heurteauville soit 9.36 m CMH. A titre de rappel (cf. Tableau 2 au chapitre 1.2), les premiers débordements à Heurteauville se produisent lorsque le niveau mesuré au marégraphe dépasse 9.10 m CMH et les premiers enjeux sont impactés si celui-ci excède 9.40 m CMH. Sur ce secteur de l'estuaire qualifié de fluvio-maritime aval, les cotes de pleine mer atteintes sont déterminées par une conjonction défavorable des conditions fluviales, marines et météorologiques.

Les conditions de forçages sont élaborées à partir des chroniques observées lors de l'épisode de début janvier 2018 (tempête Eleanor), dont une description est fournie dans la note référencée [7]. Le niveau cible à Heurteauville est obtenu au cours de deux marées de vive-eau (3-4 janvier) concomitantes avec des conditions météo-océaniques défavorables. Les correctifs suivants sont appliqués :

- Majoration de 20% du débit de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon est alors compris entre 1 320 m<sup>3</sup>/s et 1 480 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour inférieure à 2 ans ;
- Majoration de 30% des conditions météo-océaniques : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue autour de 17 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes de Seine-Maritime atteint environ 1.4 m.

La ligne d'eau obtenue pour ce scénario d'occurrence trentennale sur le secteur fluvio-maritime aval s'établit légèrement en-dessous de celle associée aux niveaux théoriques de période de retour 30 ans sur le reste de l'estuaire.

Les débordements affectent globalement les mêmes secteurs que pour le scénario d'occurrence trentennale sur le secteur fluvio-maritime amont (scénario 5A) mais avec des hauteurs d'eau légèrement réduites du fait de conditions de forçages moins défavorables pour atteindre le niveau d'eau cible à Heurteauville. L'emprise maximale des zones exposées aux inondations est représentée à l'échelle de l'estuaire sur la Figure 38.

Le scénario théorique 7B suppose un arasement des murets anti-inondations au niveau du terrain naturel, dans les mêmes conditions de forçages que le scénario 7A.

Cette hypothèse d'absence des murets de protection accroît logiquement les débordements vers le lit majeur, ce qui s'accompagne par une diminution des cotes atteintes dans le lit mineur de la Seine entre Aizier et Elbeuf. Comme mentionné dans le Tableau 14 et sur le profil en long de la Figure 36, le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur est maximal dans le secteur de Rouen avec un abaissement des niveaux estimé à 22 cm.

La Figure 39 illustre l'aggravation des inondations à proximité de Saint-Nicolas-de-Bliquetuit en cas d'arasement de ces ouvrages de protection. Ce constat est également partagé dans les secteurs de Port-Jérôme-sur-Seine, Heurteauville, Jumièges ou encore Saint-Pierre-de-Manneville. En amont de Petit-Couronne, l'absence des murets considérée dans le scénario 7B a pour effet inverse une légère réduction de l'ampleur des inondations par rapport au scénario 7A.

*Tableau 14- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 7*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 7A	9.28 (T7)	9.35 (T30)	9.87 (T15)	10.52 (T5)
Scénario 7B	9.25 (T6)	9.17 (T11)	9.65 (T5)	10.44 (T4)
Impact de l'absence des murets anti-inondations	-3 cm	-18 cm	-22 cm	-8 cm



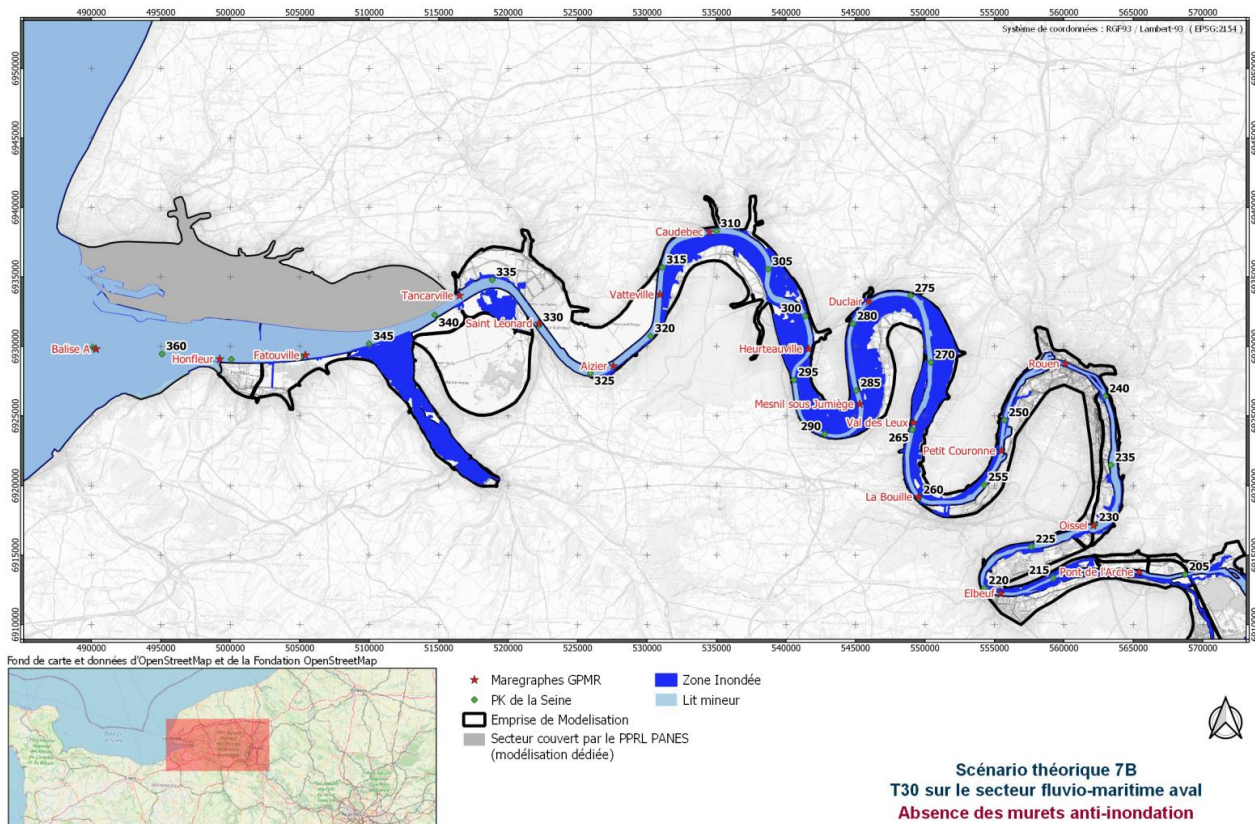
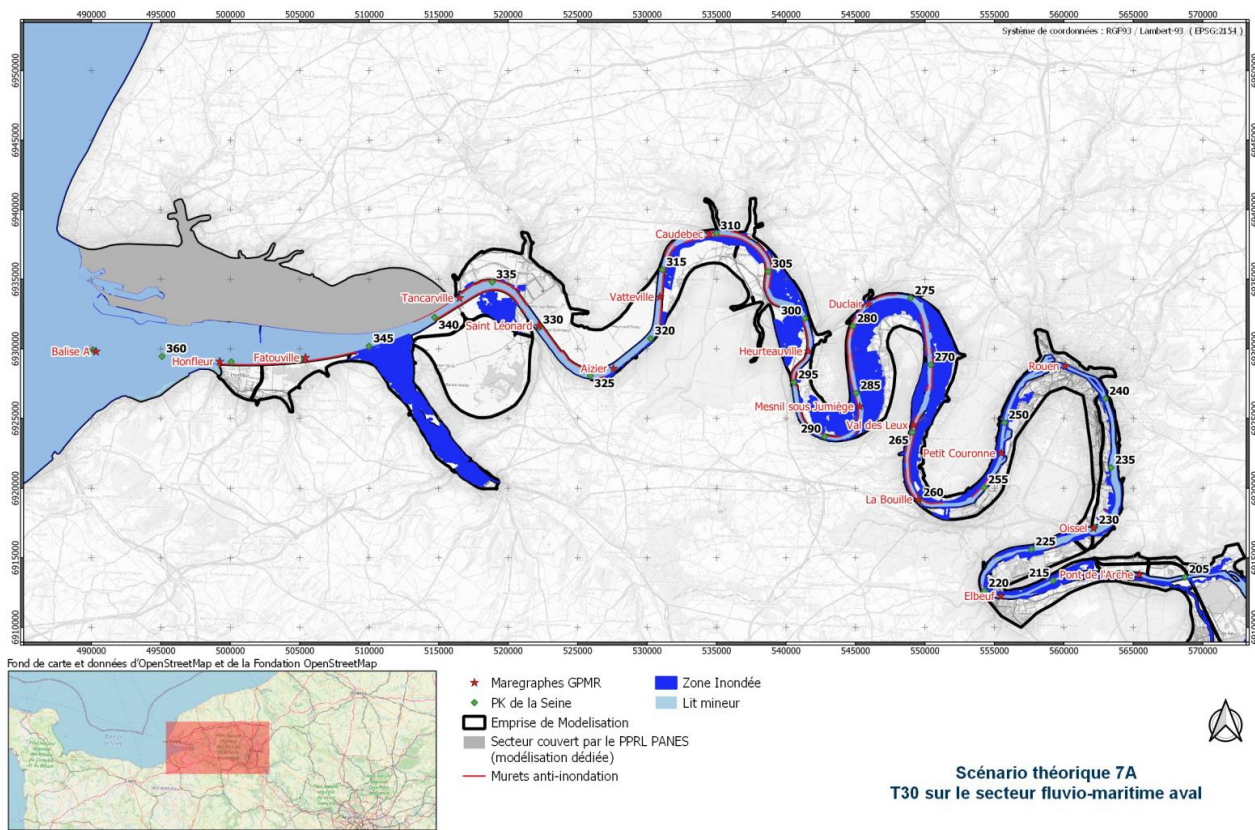
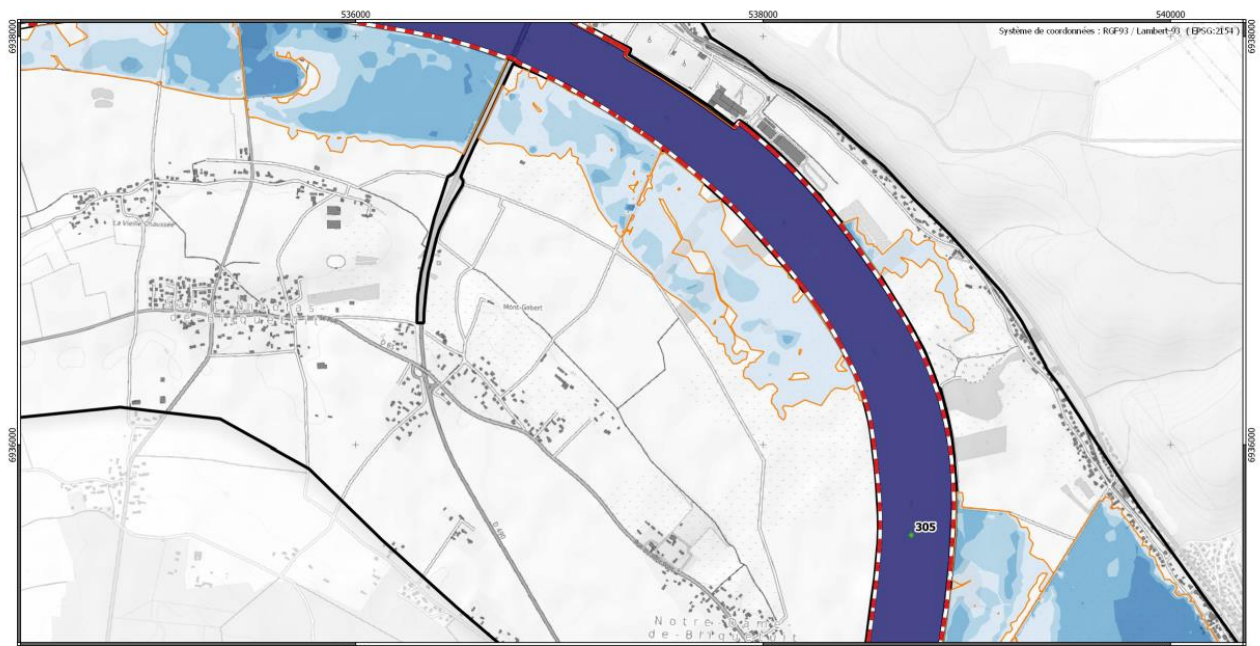


Figure 38- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 7A et 7B



Fond de carte et données d'OpenStreetMap et de la Fondation OpenStreetMap

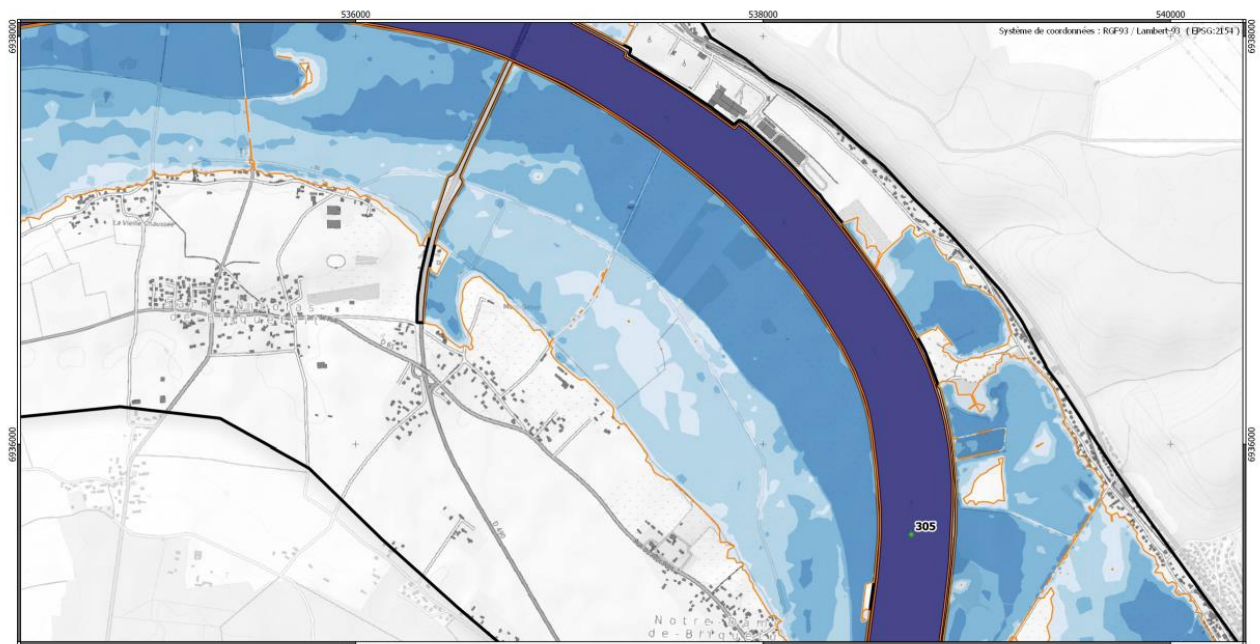


- ★ Maregraphes GPMR
  - PK de la Seine
  - ▭ Emprise de Modélisation
  - ▭ Zone Inondée
  - ▭ Secteur couvert par le PPRL PANES (modélisation dédiée)
  - Murets anti-inondation
- | Hauteur d'eau maximale (m) |  |
|----------------------------|--|
| 0.00 - 0.25                |  |
| 0.25 - 0.50                |  |
| 0.50 - 1.00                |  |
| 1.00 - 2.00                |  |
| 2.00 - 5.00                |  |
| > 5.00                     |  |

⚠ Limitations du modèle (cf. Chapitre C.8 du rapport de Phase 1)



**Scénario théorique 7A**  
T30 sur le secteur fluvio-maritime aval



Fond de carte et données d'OpenStreetMap et de la Fondation OpenStreetMap



- ★ Maregraphes GPMR
  - PK de la Seine
  - ▭ Emprise de Modélisation
  - ▭ Zone Inondée
  - ▭ Secteur couvert par le PPRL PANES (modélisation dédiée)
- | Hauteur d'eau maximale (m) |  |
|----------------------------|--|
| 0.00 - 0.25                |  |
| 0.25 - 0.50                |  |
| 0.50 - 1.00                |  |
| 1.00 - 2.00                |  |
| 2.00 - 5.00                |  |
| > 5.00                     |  |

⚠ Limitations du modèle (cf. Chapitre C.8 du rapport de Phase 1)



**Scénario théorique 7B**  
T30 sur le secteur fluvio-maritime aval  
**Absence des murets anti-inondation**

Figure 39- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Saint-Nicolas-de-Bliquetuit - Comparaison entre les scénarios 7A et 7B

### 2.3.6. T100 sur le secteur fluvio-maritime aval – Scénario n°8

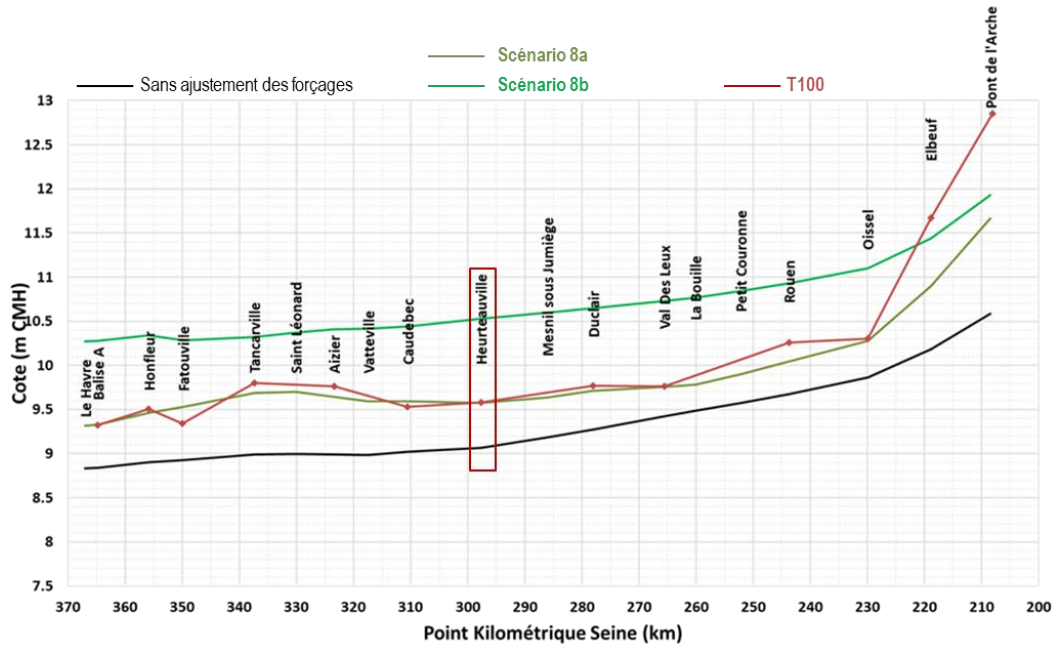


Figure 40- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 8 – T100 sur le secteur fluvio-maritime aval

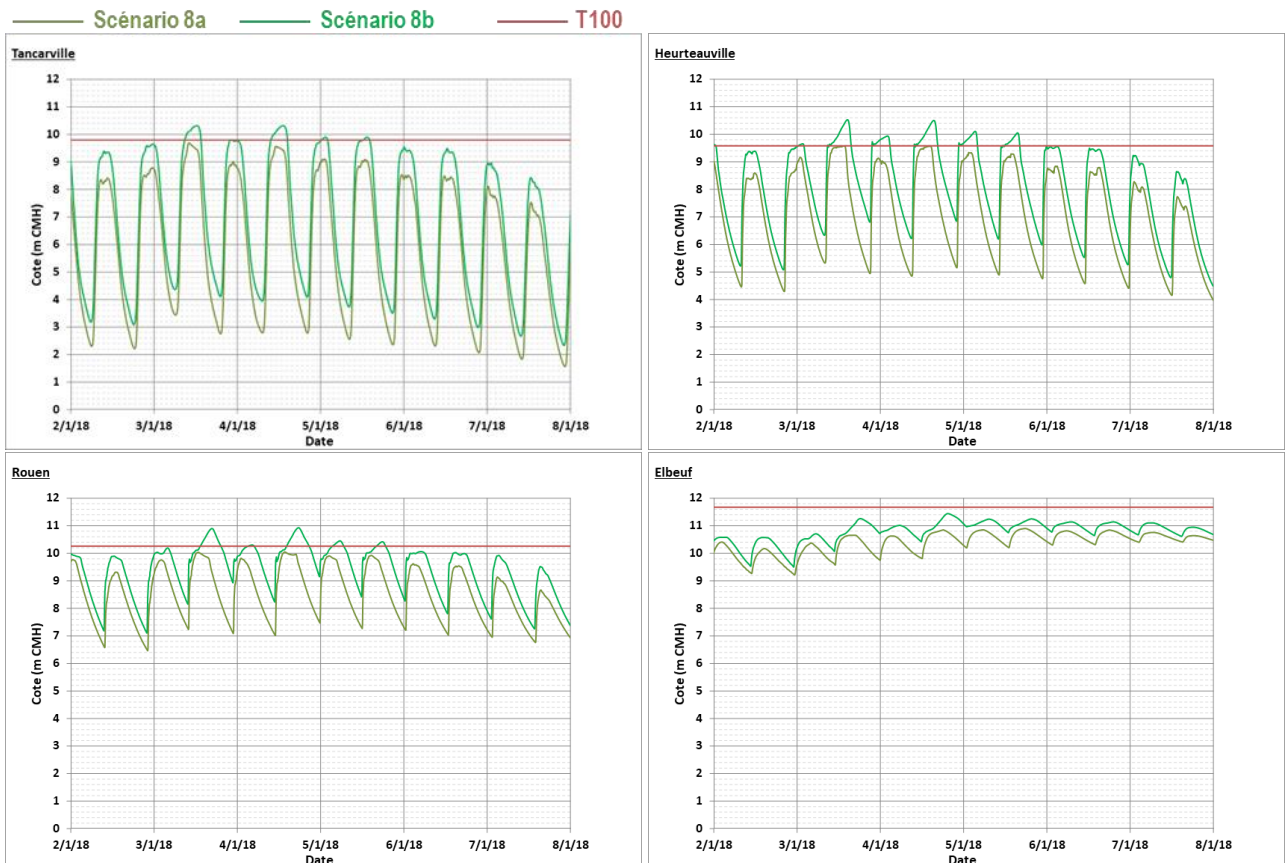


Figure 41- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 8 – T100 sur le secteur fluvio-maritime aval

Le scénario théorique 8A consiste à atteindre la cote associée à une période de retour 100 ans (T100) au marégraphe de Heurteauville soit 9.58 m CMH. Ce niveau cible dans le secteur fluvio-maritime aval est atteint durant les cycles de marée du 3 et du 4 janvier en appliquant les correctifs suivants :

- Majoration de 40% du débit de la Seine et ses affluents : le débit moyen journalier à Vernon est alors compris entre 1 540 m<sup>3</sup>/s et 1 720 m<sup>3</sup>/s soit un débit de période de retour de l'ordre de 2 ans ;
- Majoration de 70% des conditions météo-océaniques : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue autour de 22 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes de Seine-Maritime atteint ponctuellement 1.8 m.

La ligne d'eau des niveaux d'eau maximaux modélisés pour ce scénario fluctue autour du profil en long des niveaux théoriques de période de retour centennale en tout point de l'estuaire, à l'exception du secteur en amont d'Oissel.

Les débordements de la Seine sont généralisés à l'ensemble de l'estuaire pour ce scénario d'occurrence centennale sur le secteur fluvio-maritime aval, comme le montrent la Figure 42 et les cartographies de détail fournies en Annexe 3. Les seuls secteurs épargnés se trouvent en rive gauche autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier. Les résultats de ce scénario en termes d'inondations sont relativement semblables à ceux obtenus pour le scénario 6A, en dehors du tronçon le plus en amont de l'estuaire où les débordements sont moindres.

Le scénario théorique 8B reprend les conditions de forçages du scénario 8A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 15 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 40.

Cette hypothèse d'élévation future du niveau marin conduit à dépasser largement les niveaux théoriques centennaux sur la majeure partie de l'estuaire, à l'exception du secteur en amont d'Elbeuf. La rehausse des niveaux d'eau est répercutée sur l'ensemble de l'estuaire mais n'évolue pas linéairement en remontant vers l'amont. L'impact maximal est relevé sur le tronçon compris entre Heurteauville et Petit-Couronne avec un exhaussement de l'ordre de 95 cm par rapport à la situation actuelle.

De nombreux secteurs du lit majeur deviennent exposés au risque d'inondation suite à cette augmentation du niveau marin, compte tenu de la configuration topographique relativement peu encaissée de la vallée de la Seine. A proximité de Port-Jérôme-sur-Seine, les zones touchées s'étendent alors jusqu'au pied du coteau comme illustré sur la Figure 43. La cote représentative des premiers enjeux touchés sur le secteur d'Heurteauville (9.40 m CMH) est dépassée durant 8 marées consécutives entre le 3 et le 6 janvier, comme représenté sur le marégramme de la Figure 41.

Un phénomène de déformation progressive du signal de marée, visible sur les marégrammes de la Figure 41 et en Annexe 2, est constaté comme pour les autres scénarios théoriques avec prise en compte des effets du changement climatique. Sur une période de plusieurs cycles de marée, l'élévation du niveau à proximité de l'embouchure constitue un frein pour l'évacuation des eaux vers l'aval ce qui modifie la dynamique des écoulements dans l'estuaire. Ce phénomène est cependant à relativiser puisque le modèle numérique développé pour la présente étude ne prend pas compte les évolutions morfo-sédimentaires de l'estuaire à moyen et long terme, étudiées spécifiquement dans le cadre du projet MORPHOSEINE (référence [15]).

*Tableau 15- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 8*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 8A	9.69 (T60)	9.58 (T100)	10.04 (T35)	10.90 (T14)
Scénario 8B	10.32 (>T1000)	10.53 (>T1000)	10.94 (>T1000)	11.45 (T60)
Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin	+63 cm	+95 cm	+88 cm	+55 cm

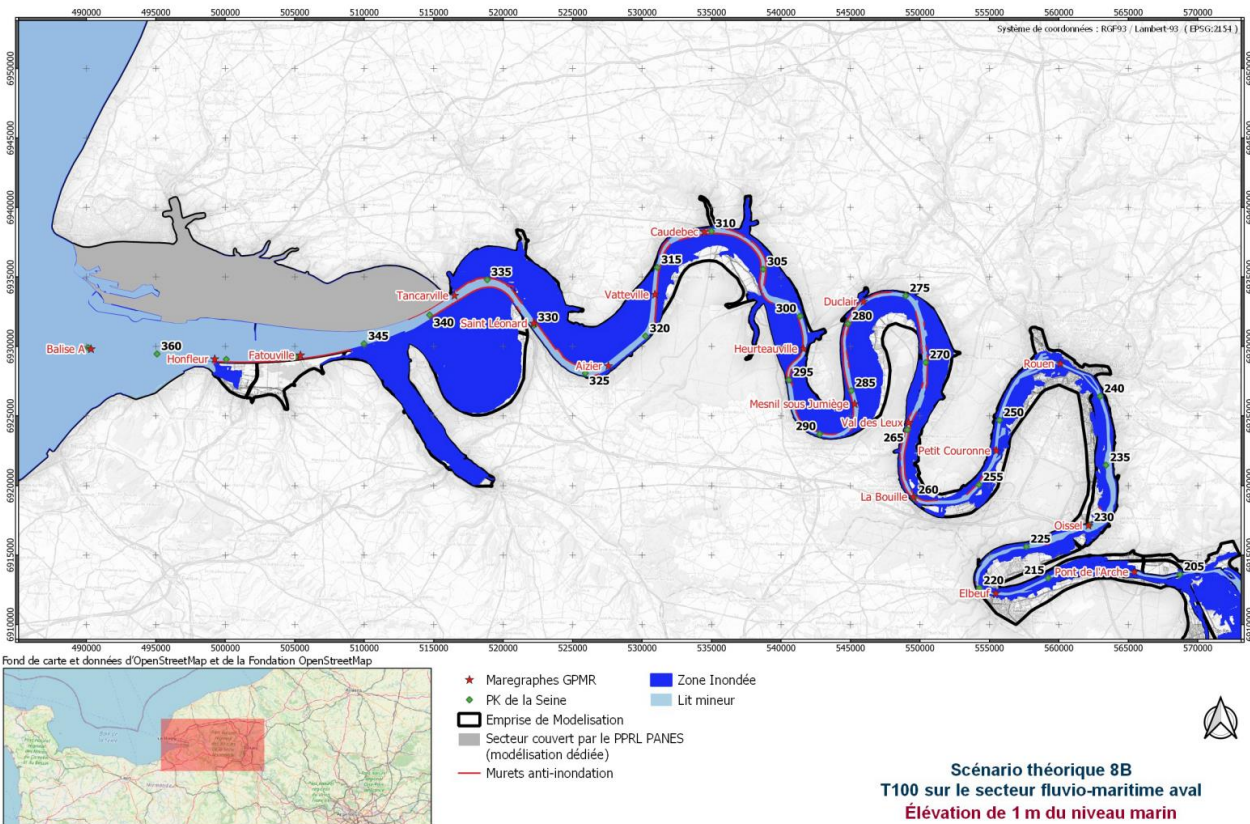
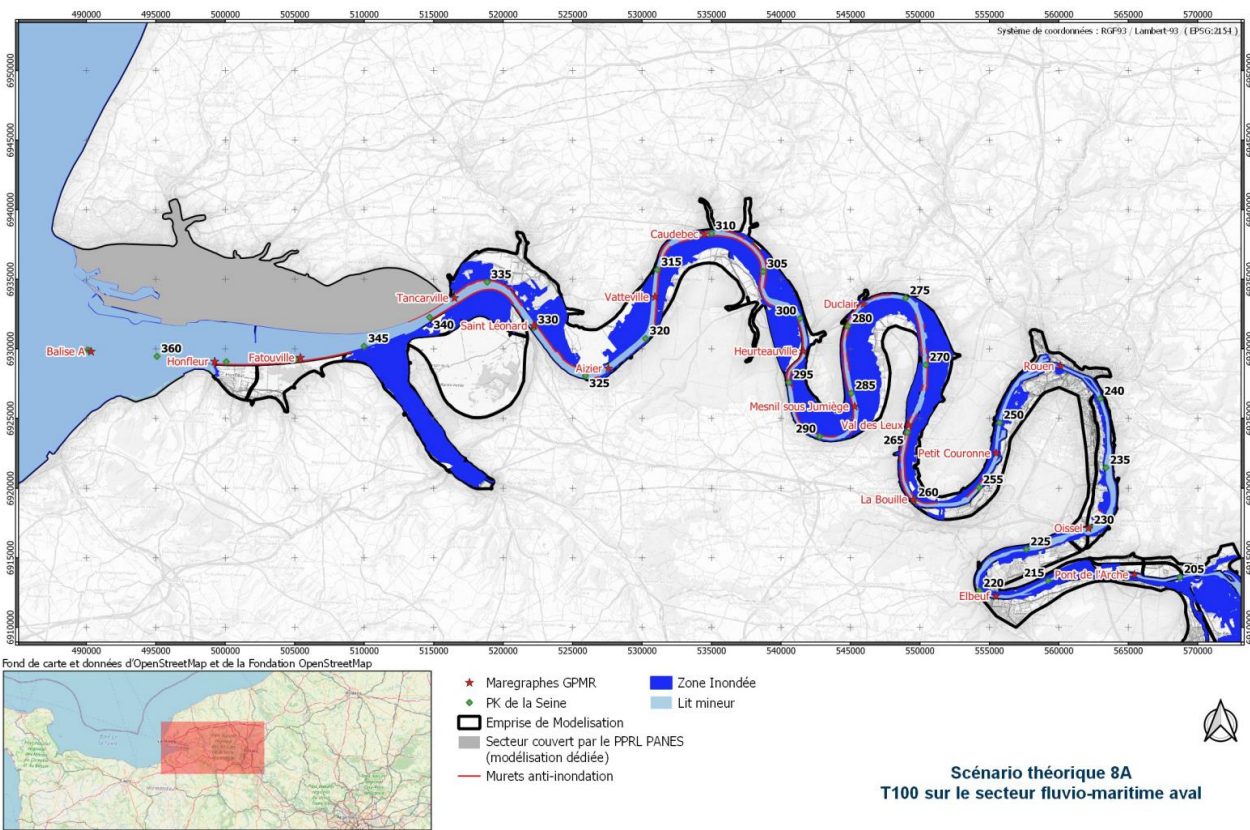


Figure 42- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 8A et 8B

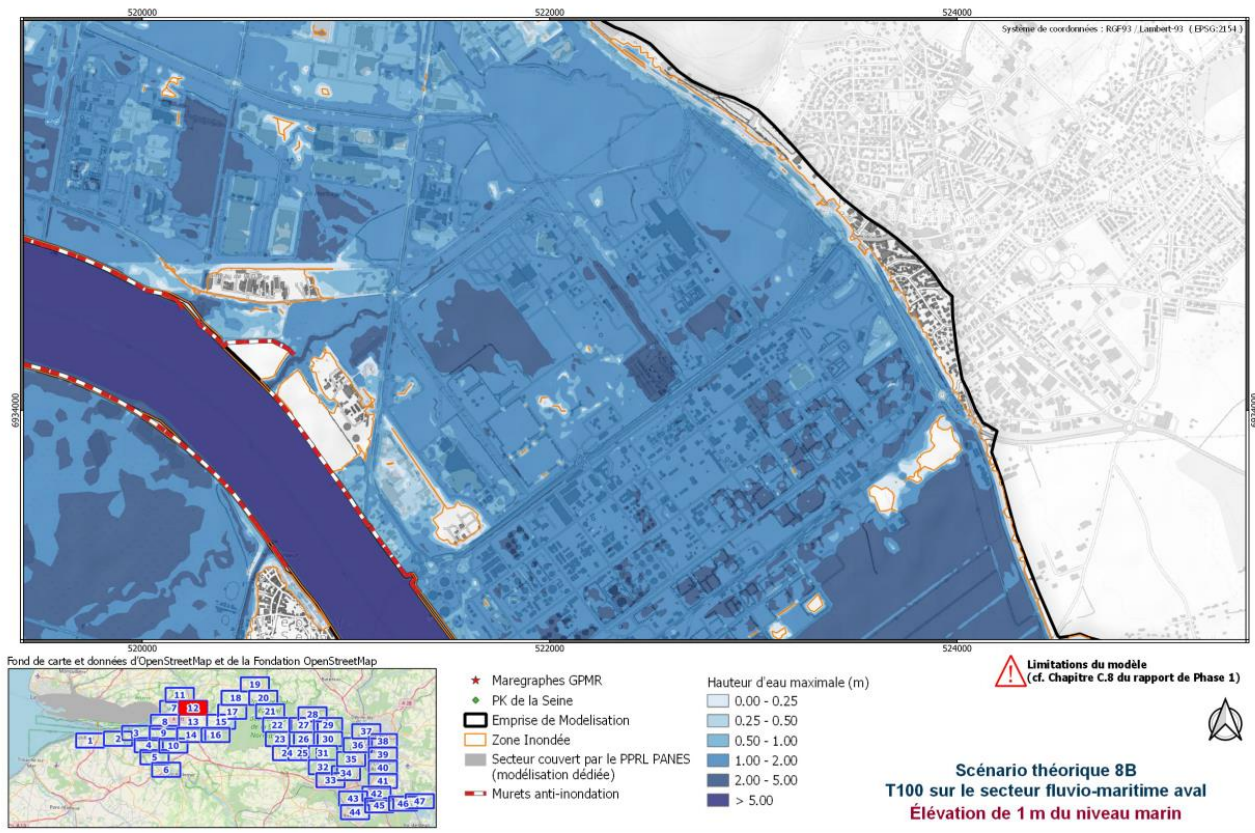
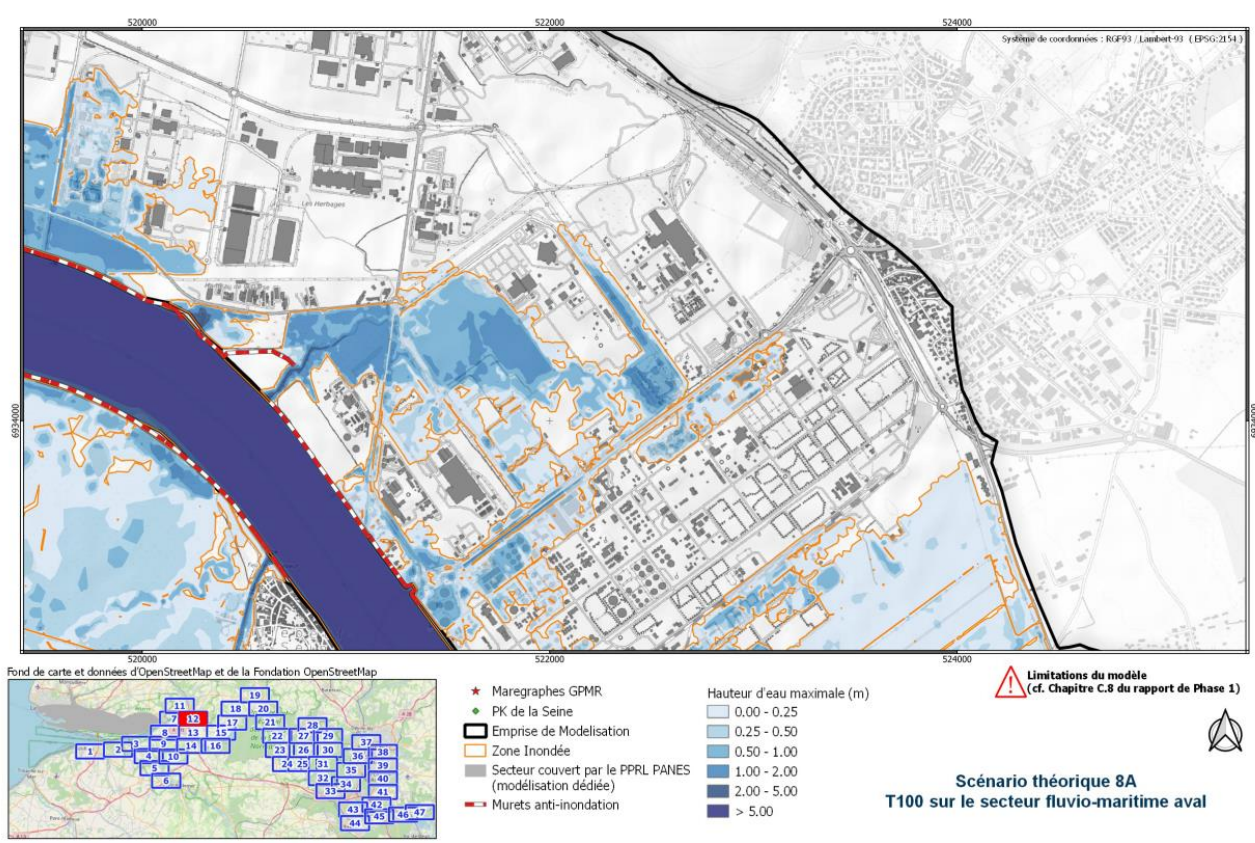


Figure 43- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Port-Jérôme-sur-Seine - Comparaison entre les scénarios 8A et 8B

### 2.3.7. T30 sur le secteur maritime – Scénario n°9

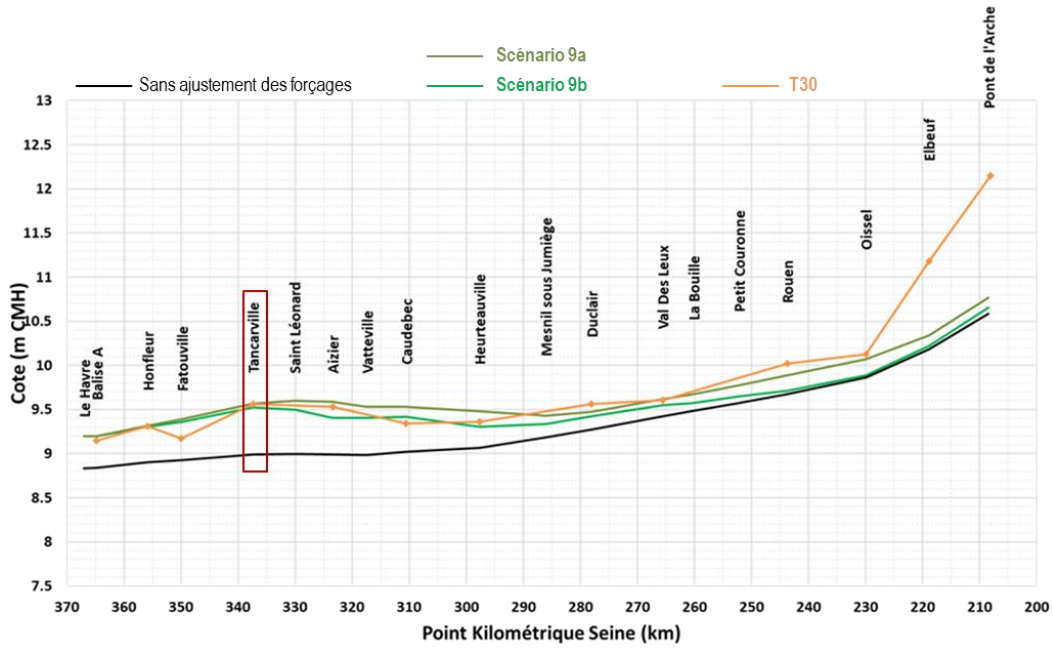


Figure 44- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 9 - T30 sur le secteur maritime

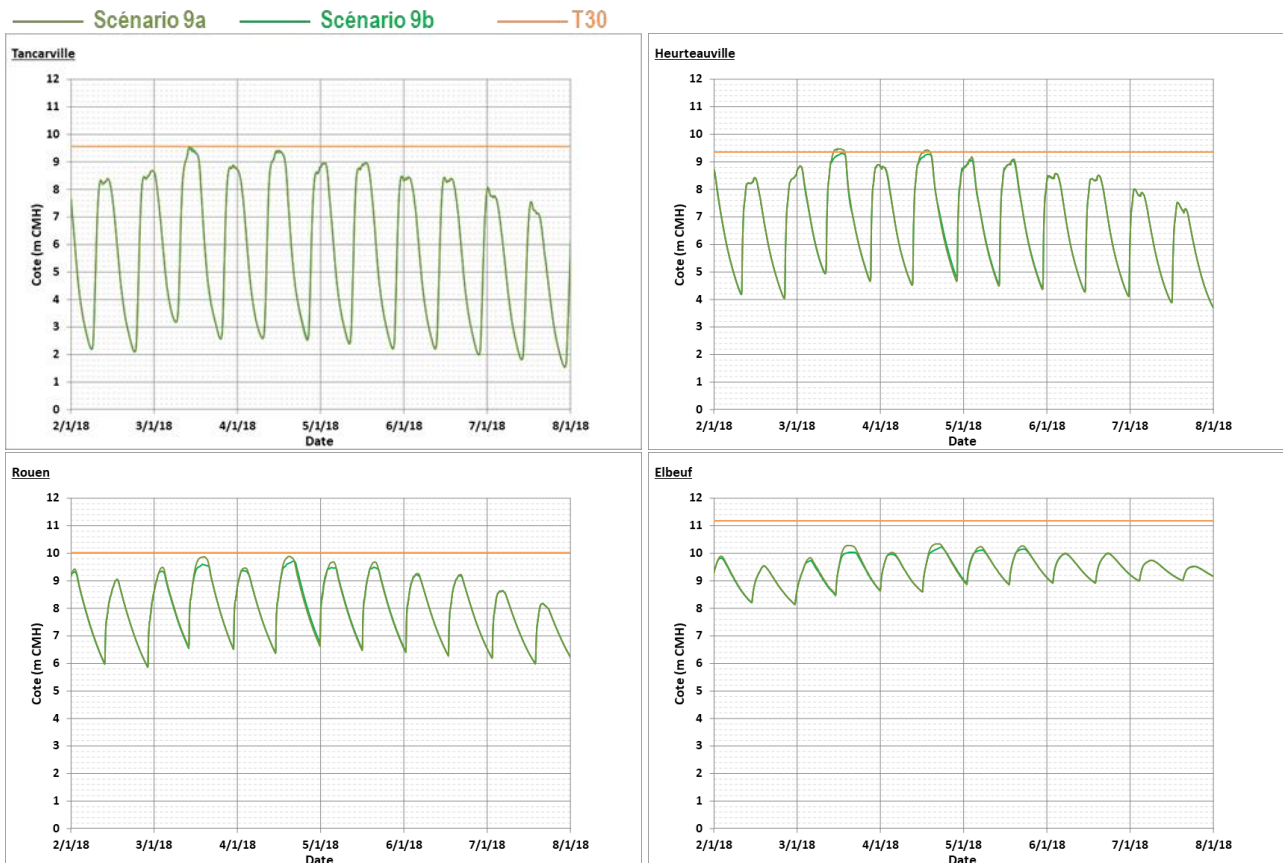


Figure 45- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 9 - T30 sur le secteur maritime

Le scénario théorique 9A vise à reproduire la cote associée à une période de retour 30 ans (T30) au marégraphe de Tancarville soit 9.56 m CMH. A titre de rappel (cf. Tableau 2 au chapitre 1.2), les premiers débordements à Tancarville se produisent lorsque le niveau mesuré au marégraphe dépasse 9.50 m CMH et les premiers enjeux sont impactés si celui-ci excède 9.75 m CMH. Sur ce secteur de l'estuaire à dominante maritime, les cotes de pleine mer atteintes sont principalement déterminées par l'ampleur de la marée et des phénomènes météorologiques.

Les conditions de forçages sont élaborées à partir des chroniques observées lors de l'épisode de début janvier 2018 (tempête Eleanor), dont une description est fournie dans la note référencée [7]. Le niveau cible à Tancarville est obtenu durant le cycle de marée du 3 janvier en appliquant une majoration de 55% des conditions météo-océaniques : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue alors autour de 20 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes de Seine-Maritime atteint environ 1.65 m. Les débits de la Seine et ses affluents restent en revanche inchangés par rapport à l'épisode observé.

Comme représentée en Annexe 1 sur les chroniques de forçages utilisées pour ce scénario, l'atteinte des niveaux les plus élevés tout au long de l'estuaire intervient au cours d'une marée de vive-eau concomitante avec des conditions météo-océaniques défavorables. Comparativement aux scénarios impactant plutôt le secteur fluvial, les débordements observés pour ce scénario en partie aval de l'estuaire sont plus brefs dans la durée et davantage liés à la durée de tenue de plein.

Le profil en long des niveaux d'eau maximaux modélisés pour ce scénario (cf. Figure 44) présente une allure typique d'un évènement à caractère maritime, avec un point d'inflexion aux alentours de Mesnil-sous-Jumièges et un gonflement de la ligne d'eau autour de Tancarville. La ligne d'eau obtenue fluctue autour de celle associée aux niveaux théoriques de période de retour 30 ans sur la majeure partie de l'estuaire, sauf sur le secteur amont (Elbeuf, Pont de l'Arche) où elle s'établit nettement en-dessous.

Les débordements de la Seine touchent une majeure partie de l'estuaire pour ce scénario d'occurrence trentennale sur le secteur maritime. Les zones les plus exposées se situent entre Petit-Couronne et Aizier (boucles de Sahurs, Jumièges, le Trait, Bardouville, Anneville-Ambourville, Heurteauville, Saint-Nicolas-de-Bliquetuit). Les inondations constatées dans les alentours de Port-Jérôme-sur-Seine ou encore Quillebeuf-sur-Seine restent relativement modérées.

Le scénario théorique 9B suppose un arasement des murets anti-inondations au niveau du terrain naturel, dans les mêmes conditions de forçages que le scénario 9A.

Cette hypothèse d'absence des murets accentue naturellement les débordements vers le lit majeur, notamment dans les boucles de Sahurs, Jumièges, Heurteauville et Saint-Nicolas-de-Bliquetuit. Cette augmentation des débordements se traduit par une diminution des cotes de pleine mer dans le lit mineur de la Seine, comme mentionné dans le Tableau 16 et sur le profil en long de la Figure 44. Cet abaissement des niveaux variable entre 10 cm et 20 cm environ est ressenti sur tout le linéaire de la Seine en amont de Tancarville, y compris sur le secteur fluvial (en amont de Rouen) qui est pourtant quasiment dépourvu de murets anti-inondations.

La Figure 46 présente une comparaison entre les scénarios 9A et 9B de l'emprise maximale des zones inondées à l'échelle globale de l'estuaire. Celle-ci vient compléter les atlas cartographiques établis à l'échelle 1/15 000<sup>e</sup> permettant de visualiser plus localement les hauteurs d'eau maximales calculées ou encore les durées de l'inondation en lit majeur. Sur la Figure 47 centrée sur le secteur de Vatteville, le retrait des murets de protection présents en rive gauche a pour effet d'aggraver les débordements vers les zones urbanisées en rive gauche tout en supprimant ceux vers la plaine agricole en rive droite.

*Tableau 16- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'absence des murets anti-inondations – Scénario 9*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Scénario 9A	9.57 (T30)	9.48 (T60)	9.89 (T16)	10.34 (T3)
Scénario 9B	9.52 (T25)	9.30 (T20)	9.72 (T7)	10.22 (T2)
Impact de l'absence des murets anti-inondations	-5 cm	-18 cm	-17 cm	-12 cm



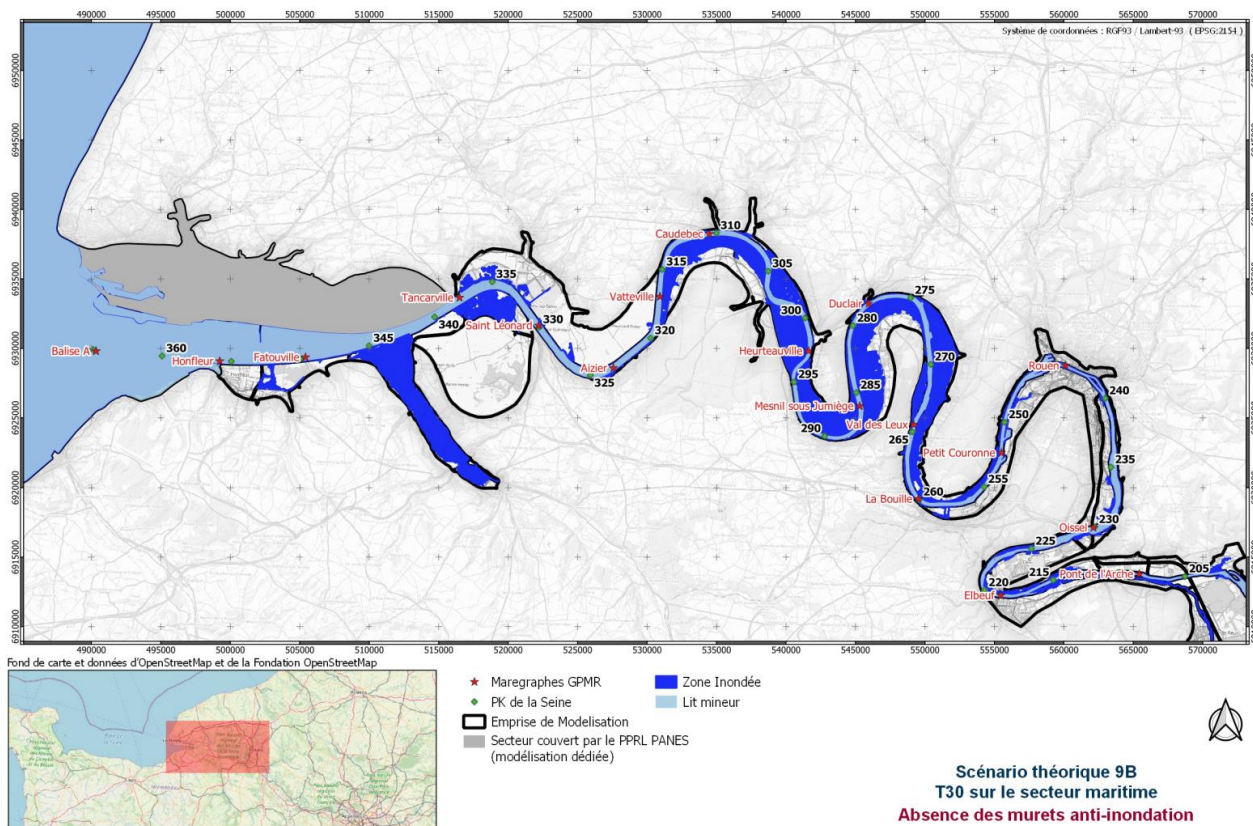
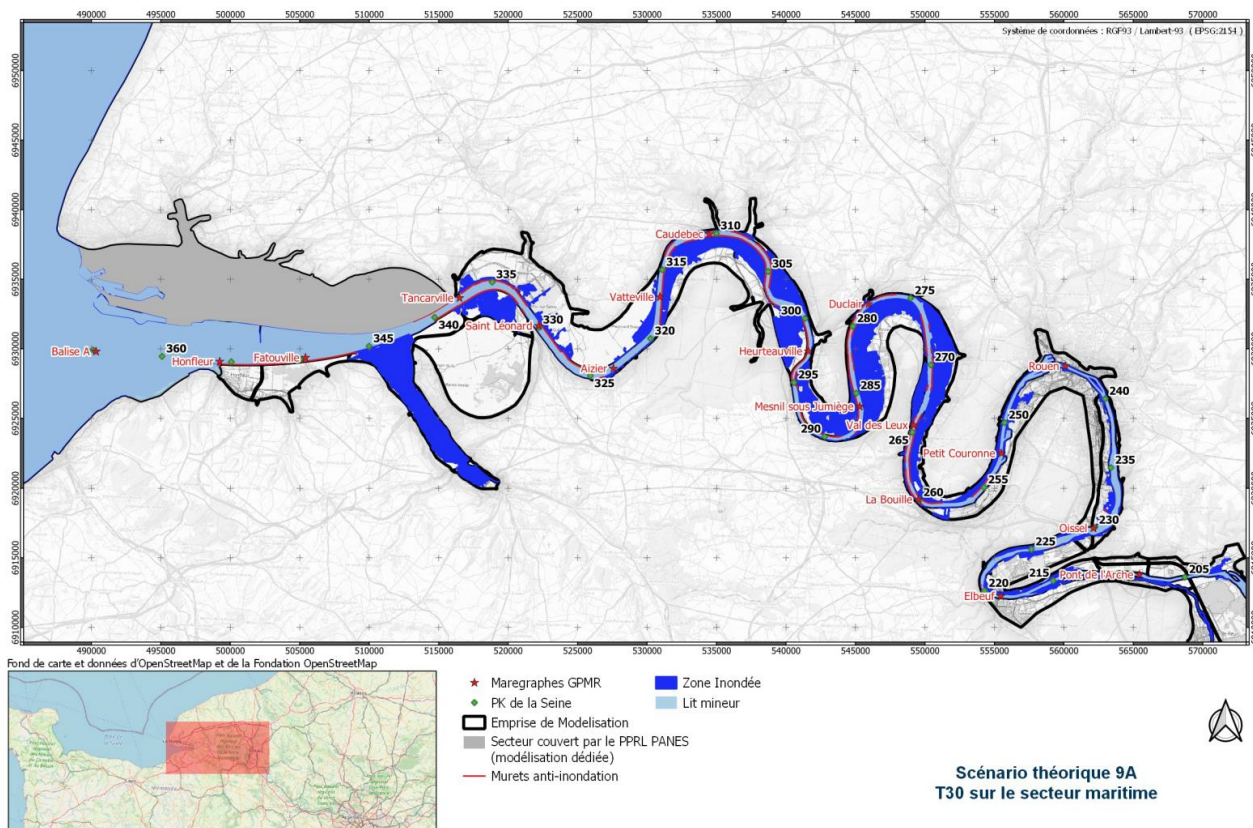


Figure 46- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 9A et 9B

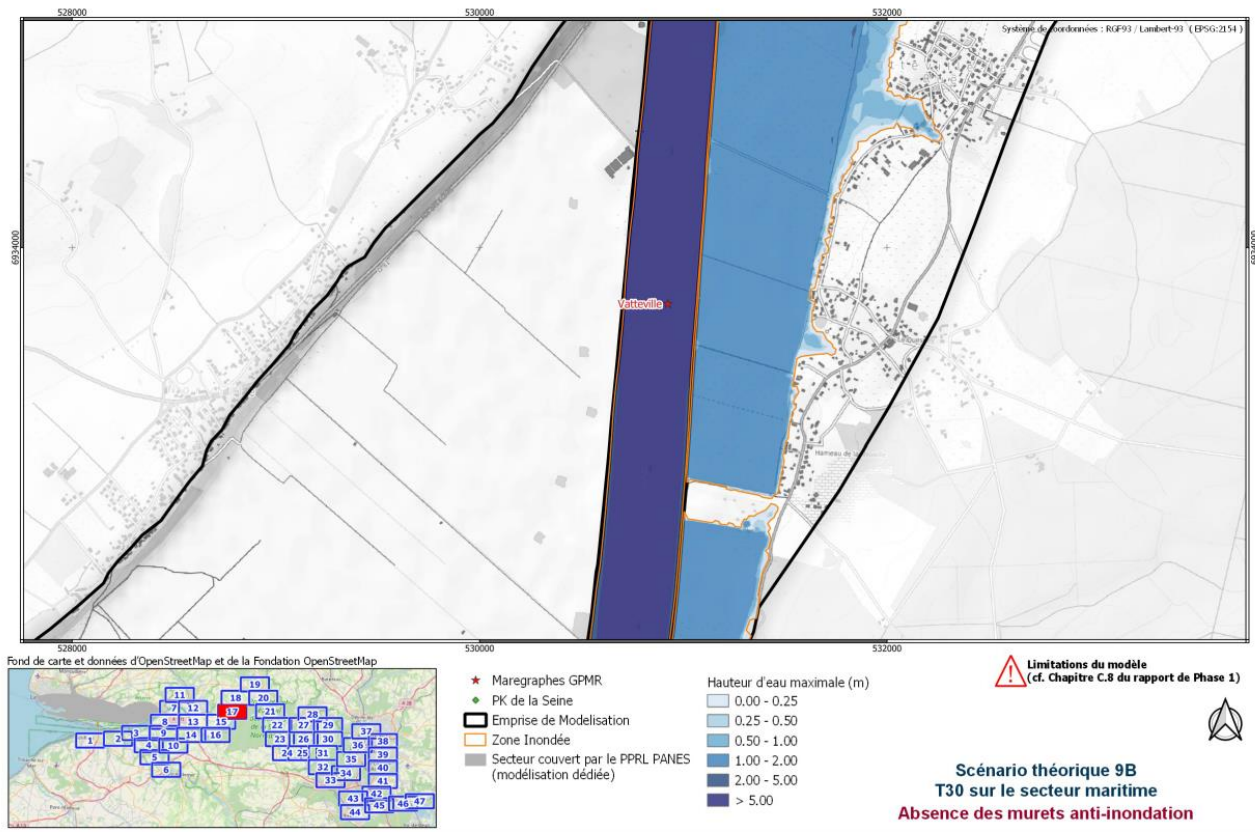
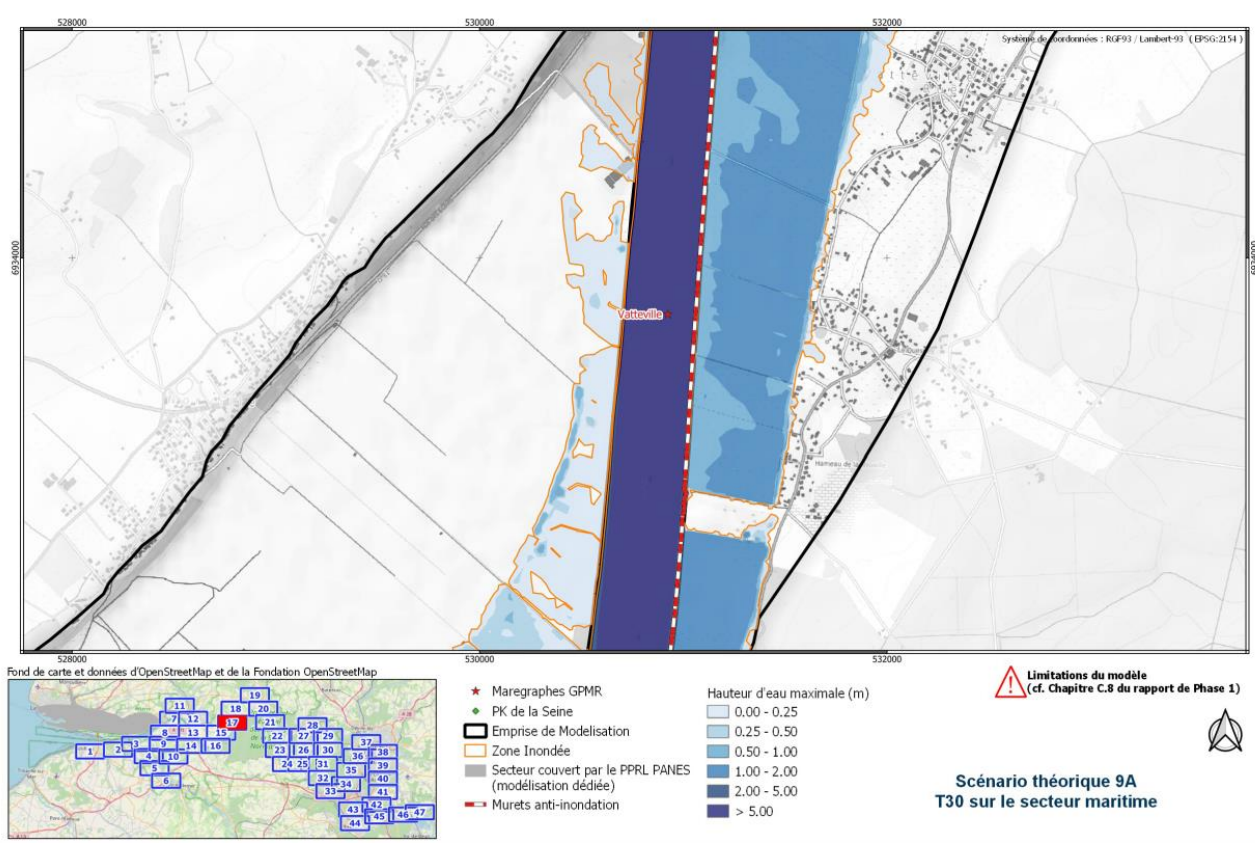


Figure 47- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Vatteville - Comparaison entre les scénarios 9A et 9B

### 2.3.8. T100 sur le secteur maritime – Scénario n°10

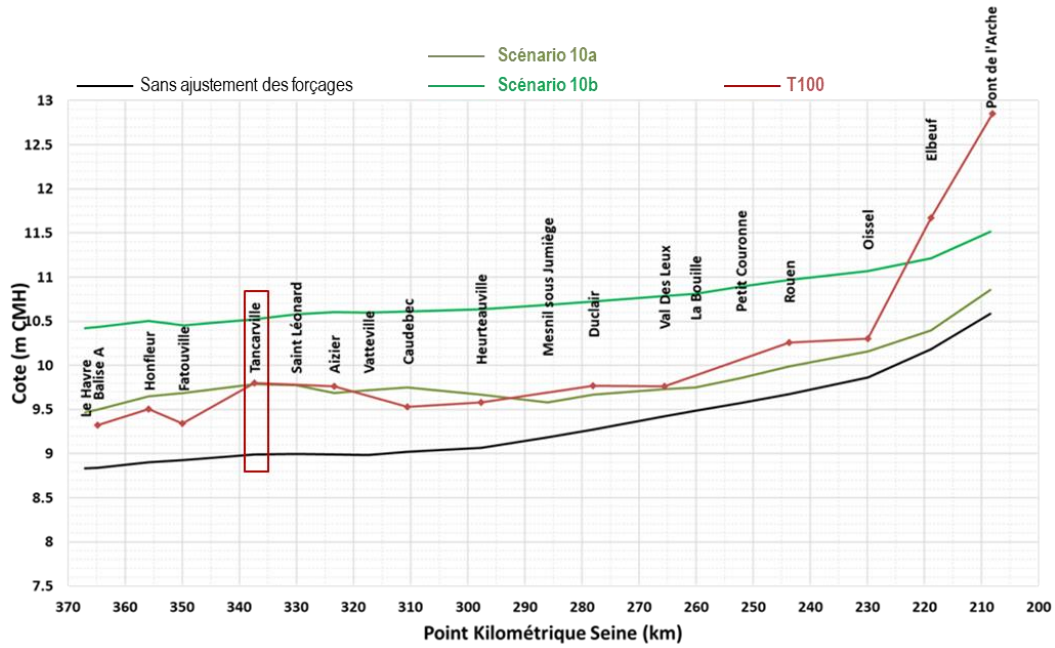


Figure 48- Lignes d'eau maximales le long de l'estuaire pour le scénario théorique 10 – T100 sur le secteur maritime

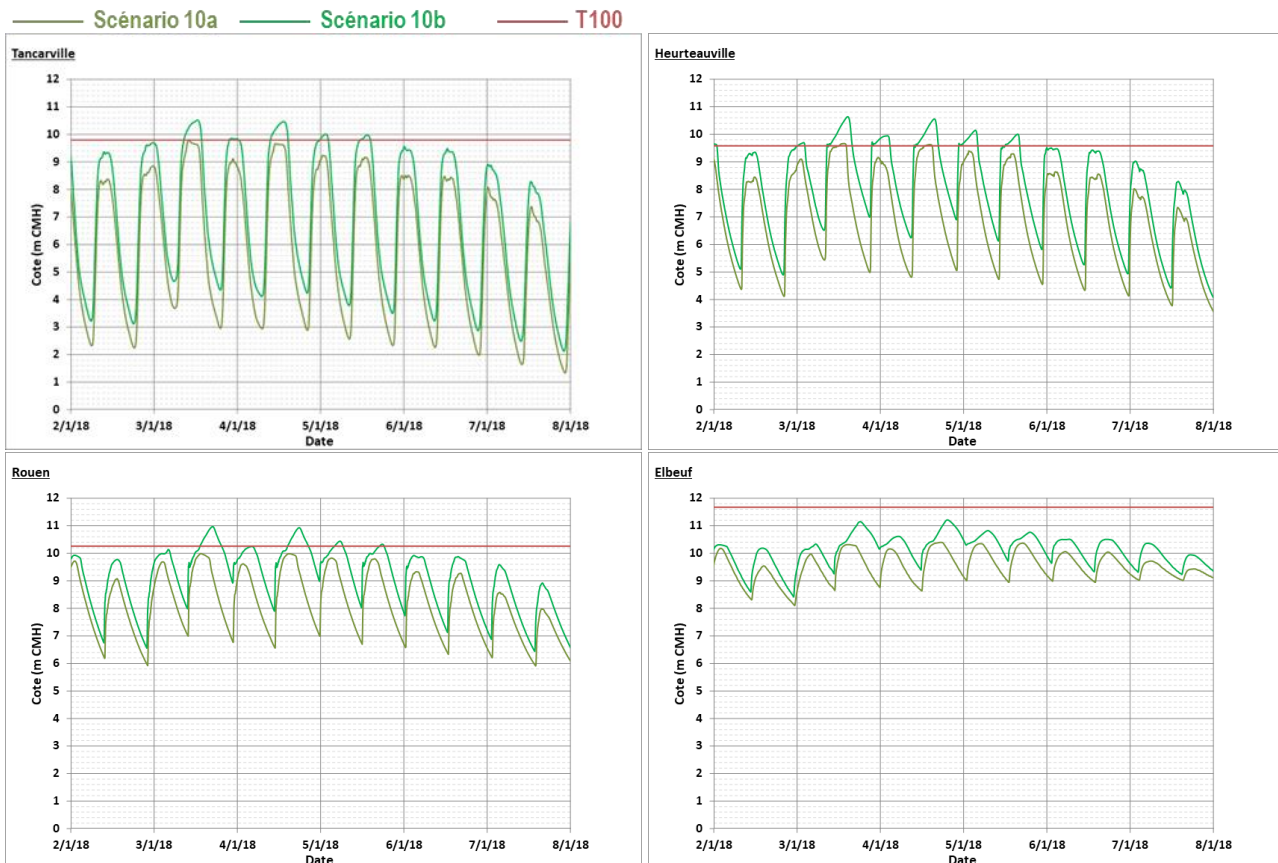


Figure 49- Marégrammes en quatre secteurs de l'estuaire pour le scénario théorique 10 – T100 sur le secteur maritime

Le scénario théorique 10A consiste à atteindre la cote associée à une période de retour 100 ans (T100) au marégraphe de Tancarville soit 9.80 m CMH. Ce niveau cible dans le secteur de l'estuaire à dominante maritime est atteint durant le cycle de marée du 3 janvier en majorant l'ampleur des conditions météo-océaniques observées de 90% : l'intensité du vent de secteur ouest à l'embouchure fluctue alors autour de 25 m/s durant une demi-journée et l'amplitude de la surcote marine près des côtes de Seine-Maritime excède ponctuellement 2.0 m.

En dehors du secteur de l'estuaire à dominante fluviale, la ligne d'eau obtenue pour ce scénario théorique 10A fluctue autour de celle associée aux niveaux théoriques de période de retour centennale.

Ce scénario d'occurrence centennale sur le secteur maritime se traduit par des débordements généralisés en rive gauche et en rive droite sur la majeure partie de l'estuaire, comme le montrent la Figure 50 et les cartographies de détail fournies en Annexe 3. Les seules zones du lit majeur épargnées par les inondations se trouvent autour de Honfleur ou encore Marais-Vernier en rive gauche, mais également à l'extrémité amont de l'estuaire entre Elbeuf et le barrage de Poses.

Le scénario théorique 10B reprend les conditions de forçages du scénario 10A avec une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau marin (en lien avec les effets du changement climatique). Le différentiel entre les deux lignes d'eau dans le lit mineur de la Seine est présenté dans le Tableau 17 et sous forme d'un profil en long sur la Figure 48.

Cette hypothèse d'élévation future du niveau marin conduit à dépasser largement les niveaux théoriques centennaux sur la majeure partie de l'estuaire, à l'exception du tronçon en amont d'Elbeuf. Parmi l'ensemble des scénarios théoriques modélisés, il s'agit du scénario aboutissant aux niveaux d'eau les plus élevés à la fois sur le secteur maritime (10.52 m CMH à Tancarville) et sur le secteur fluvio-maritime aval (10.64 m CMH à Heurteville). Comme représenté sur le marégramme de la Figure 49, la cote caractéristique des premiers enjeux touchés sur le secteur de Tancarville est atteinte au cours de 5 marées consécutives entre le 3 et le 5 janvier.

Les environs de Honfleur et de Marais-Vernier, hors d'eau pour le scénario précédent (scénario 10A) sont cette fois impactés par les inondations de la Seine dans les conditions du scénario 10B (cf. Figure 51). Les hauteurs d'eau et les durées de submersion en lit majeur sont par ailleurs considérablement augmentées comme cela est représenté sur les cartographies détaillées à l'échelle 1/15 000<sup>e</sup>.

L'augmentation du niveau marin est retranscrite de façon sensible sur l'ensemble de l'estuaire, y compris dans le secteur fluvial où l'impact reste supérieur à 80 cm au droit du marégraphe d'Elbeuf. L'impact maximal est relevé au droit du marégraphe de Mesnil-sous-Jumièges avec un exhaussement de l'ordre de 1.10 m par rapport à la situation actuelle.

Comme pour les autres scénarios théoriques avec prise en compte des effets du changement climatique, les marégrammes reportés sur la Figure 49 et en Annexe 2 illustrent la déformation du signal de marée à mesure que celle-ci se propage de l'aval vers l'amont. L'augmentation permanente du niveau marin à proximité de l'embouchure tend à perturber l'évacuation des eaux vers l'aval de l'estuaire durant les phases de jusant, ce qui modifie sensiblement la dynamique des écoulements dans l'estuaire.

*Tableau 17- Cotes maximales le long de l'estuaire (m CMH), périodes de retour associées (années) et impact de l'élévation du niveau marin – Scénario 10*

Secteur de l'estuaire	Maritime	Fluvio-maritime aval	Fluvio-maritime amont	Fluvial
Marégraphe de référence	Tancarville	Heurteville	Rouen	Elbeuf
Scénario 10A	9.79 (T100)	9.67 (T160)	9.99 (T25)	10.40 (T4)
Scénario 10B	10.52 (>T1000)	10.64 (>T1000)	10.98 (>T1000)	11.22 (T30)
Impact de l'élévation de 1 m du niveau marin	+73 cm	+97 cm	+99 cm	+82 cm

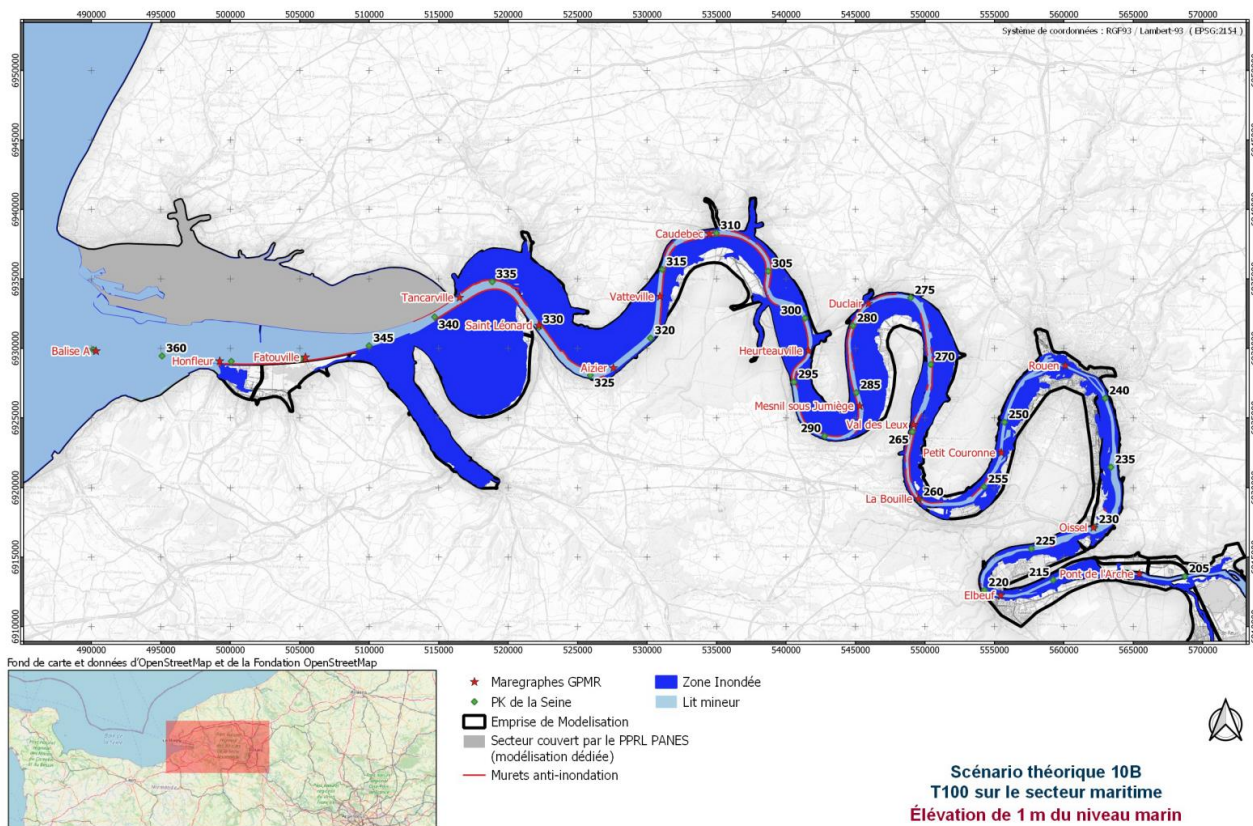
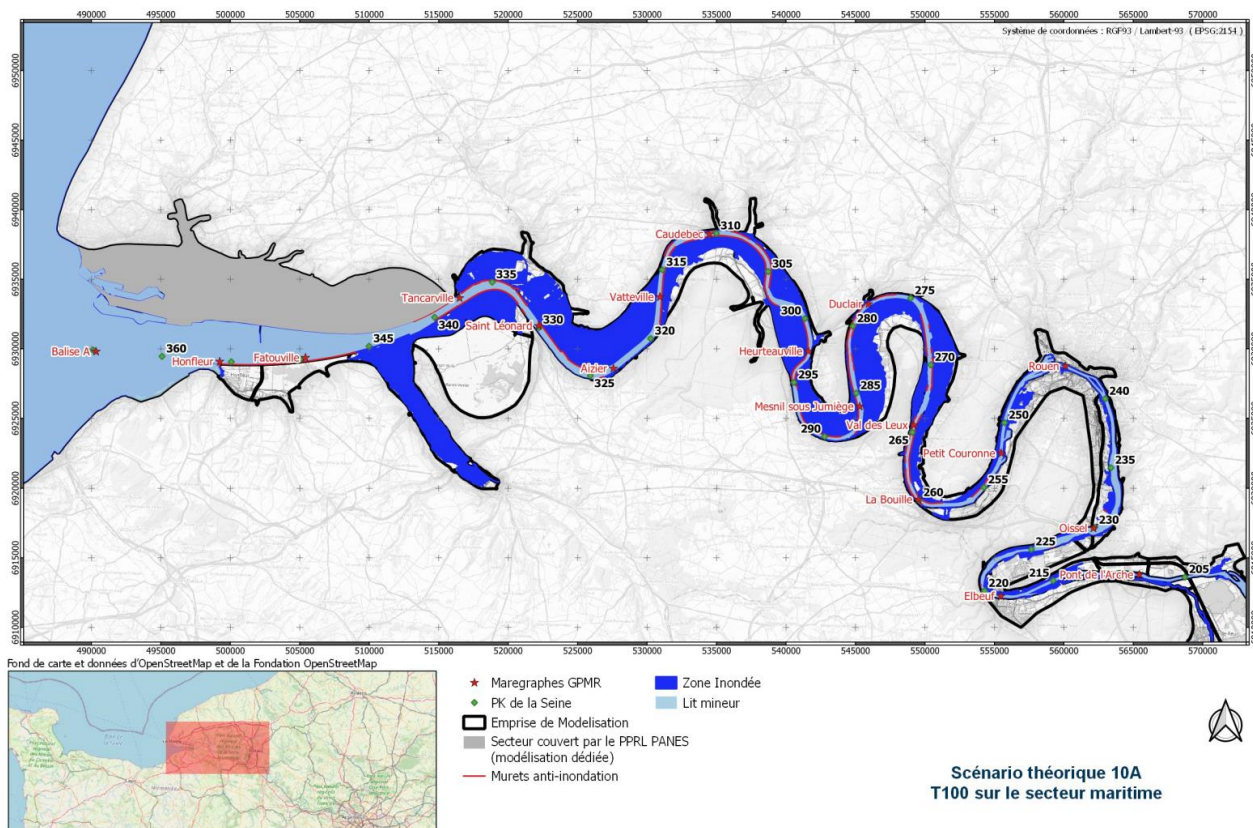


Figure 50- Extension maximale des zones inondées sur l'ensemble de l'estuaire - Comparaison entre les scénarios 10A et 10B

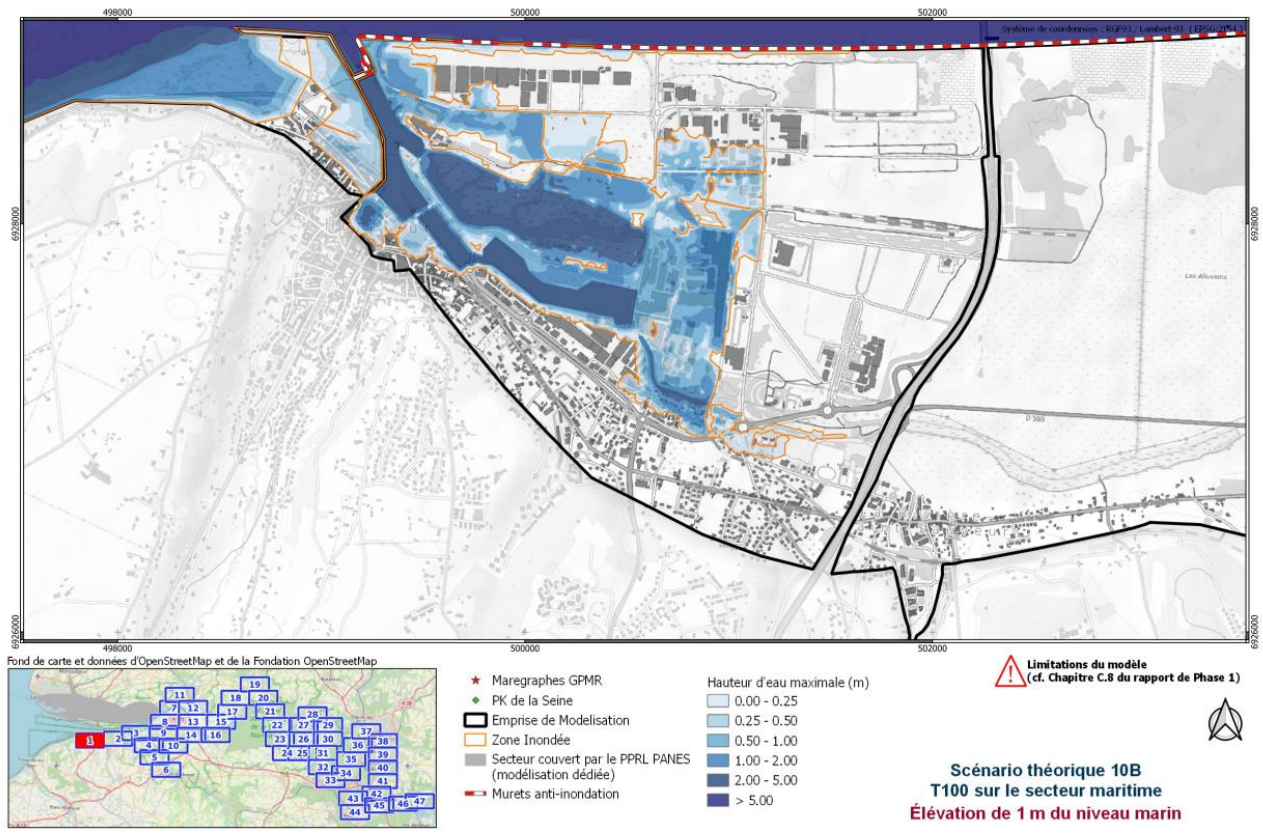
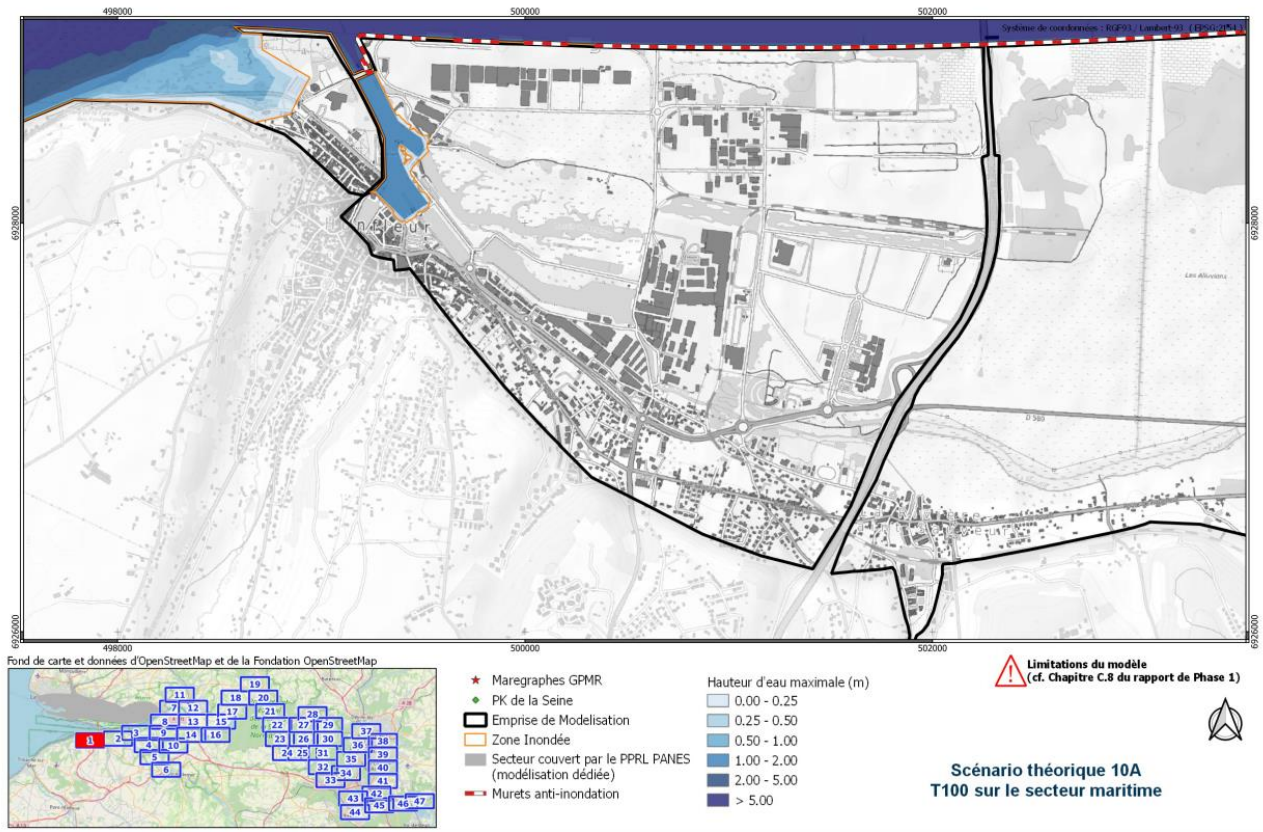


Figure 51- Hauteurs d'eau maximales et extension des zones inondées dans le secteur de Honfleur - Comparaison entre les scénarios 10A et 10B

### 3. SYNTHÈSE SUR L'EXPLOITATION DU MODÈLE

Un modèle hydrodynamique bidimensionnel de l'estuaire de la Seine, développé et validé au cours de la phase 1 de la mission, est mobilisé pour représenter un ensemble de scénarios hydro-météorologiques dans le but d'améliorer la compréhension des phénomènes de débordement dans le territoire estuarien. Le modèle intègre le lit mineur de la Seine entre Saint-Pierre-du-Vauvray et l'embouchure, l'ensemble de la baie de Seine et les zones du lit majeur potentiellement inondables pour un événement de période de retour millénaire. Les principales caractéristiques du modèle ainsi que ses limites sont détaillées dans le rapport cité en référence [5].

Une première part des scénarios d'exploitation concerne des scénarios dits « réalistes » visant à rejouer la crue historique « type janvier 1910 » et la tempête de décembre 1999 dans la configuration actuelle de l'estuaire, en se basant sur les chroniques réelles mais parfois incomplètes des conditions de forçages météorologiques, maritimes et fluviales.

La seconde part des scénarios d'exploitation porte sur des scénarios dits « théoriques » dont l'objectif est d'atteindre, par le biais d'une combinaison plausible de forçages, des cotes de périodes de retour 30 ans et 100 ans sur quatre secteurs de l'estuaire qualifiés de fluvial (marégraphe d'Elbeuf), fluvio-maritime amont (marégraphe de Rouen), fluvio-maritime aval (marégraphe de Heurteauville) et maritime (marégraphe de Tancarville).

L'approche suivie pour construire ces scénarios théoriques consiste à définir une combinaison de forçages basée sur des chroniques observées durant les événements de janvier et février 2018, puis à ajuster leur intensité de façon à reproduire le niveau théorique ciblé au marégraphe. En fonction de la portion de l'estuaire étudiée, les ajustements sont appliqués préférentiellement aux débits de la Seine et ses principaux affluents, et/ou aux forçages météoro-océaniques (vent, pression atmosphérique, surcote marine).

Pour chacun des scénarios étudiés, les résultats en termes de niveaux d'eau tout au long de l'estuaire sont présentés sous forme de marégrammes et de lignes d'eau des cotes maximales atteintes en lit mineur. Les résultats sont également exploités afin d'établir des cartographies à l'échelle 1/15 000<sup>e</sup> permettant de détailler les zones exposées aux inondations sur l'ensemble de l'estuaire. Chaque variable est présentée sous forme d'un atlas cartographique composé de 47 planches couvrant l'estuaire de la Seine entre Honfleur et Poses. Enfin, pour chaque scénario simulé, trois animations permettant de mieux appréhender la dynamique des submersions sont également fournies au format vidéo en accompagnement du rapport.

Le Tableau 18 reporté en page suivante synthétise les principales caractéristiques des scénarios modélisés et les cotes maximales obtenues au droit des quatre marégraphes représentatifs des différentes portions de l'estuaire. Il est important de souligner que les valeurs des différentes conditions de forçages mentionnées dans ce tableau correspondent aux valeurs maximales sur la période simulée, sans notion de temporalité et indépendamment de la notion de concomitance entre ces forçages. De même l'évaluation des périodes de retour pour les niveaux en chaque marégraphe est associée uniquement aux cotes de pleine mer, sans prendre en compte la durée de tenue de plein qui peut néanmoins constituer un facteur important pour caractériser un événement (cf. épisode fluvio-maritime de février 2020).

La modélisation de l'ensemble de ces scénarios permet de caractériser les phénomènes de débordement en fonction de l'intensité des différents facteurs déclenchants (météorologiques, maritimes et fluviaux), et en fonction du secteur de l'estuaire considéré puisque le degré d'influence de chaque facteur varie spatialement.

Les durées de débordement varient également selon les forçages en jeu et le secteur de l'estuaire considéré : celles-ci sont généralement plus brèves et liées à la durée de tenue de plein sur le secteur aval, et au contraire plus longues sur le secteur amont en raison d'un plus faible marnage sous l'effet d'un débit de la Seine soutenu.

Les quatre scénarios théoriques visant à reproduire un niveau d'eau trentennal aux marégraphes sont ensuite déclinés avec les mêmes conditions de forçages mais sans prendre en compte les murets anti-inondations, ce qui permet d'évaluer l'influence de ces aménagements sur les niveaux d'eau et les débordements dans l'estuaire de la Seine.

Cette hypothèse accentue naturellement la fréquence des débordements vers le lit majeur : en fonction du scénario hydro-météorologique considéré, les secteurs les plus impactés couvrent notamment les boucles de Sahurs, Anneville-

Ambourville, Jumièges, Heurteauville, le Trait ou encore Saint-Nicolas-de-Bliquetuit. Ces conséquences en termes d'étalement des inondations en lit majeur s'accompagnent aussi par une légère diminution des cotes de pleine mer dans le lit mineur de la Seine.

Les effets liés aux changements climatiques sur les débordements de la Seine sont quant à eux examinés pour les deux scénarios réalistes et pour les quatre scénarios théoriques ciblant un niveau d'eau centennal aux marégraphes. Cette analyse est effectuée en retenant une hypothèse d'élévation de 1 mètre du niveau de la mer par rapport à son niveau actuel. Il convient de rappeler que le modèle numérique considère que le fond du lit du fleuve est fixe, donc ne tient pas compte des évolutions morpho-sédimentaires de l'estuaire à moyen et long terme.

De nombreux secteurs du territoire en lit majeur, compte tenu de leur configuration topographique, sont impactés par cette hypothèse ce qui révèle l'augmentation de leur vulnérabilité face au risque d'inondations par débordement. Les résultats des simulations montrent que cette augmentation du niveau marin se répercute sur les niveaux de pleine mer dans l'ensemble de l'estuaire, avec une tendance à l'amortissement de ces impacts vers l'amont pour les scénarios avec des débits élevés (événement de typologie à dominante fluviale).

De plus, ces scénarios mettent en évidence un phénomène de déformation progressive de la courbe de marée à mesure que celle-ci se propage vers l'amont de l'estuaire : l'augmentation du niveau à proximité de l'embouchure tend à freiner l'évacuation des eaux vers l'aval durant les phases de jusant, ce qui peut sensiblement modifier la dynamique des écoulements à l'intérieur de l'estuaire.



Tableau 18- Synthèse des principales caractéristiques des scénarios modélisés et cotes maximales atteintes en quatre secteurs de l'estuaire

Définition du scénario <sup>(1)</sup>		Principales caractéristiques du scénario							Cote maximale atteinte (m CMH)			
		Prise en compte de l'élévation du niveau marin	Absence des murets anti-inondations	Valeurs maximales sur la période, sans notion de concomitance					Secteur maritime	Secteur fluvio-maritime aval	Secteur fluvio-maritime amont	Secteur fluvial
				Débit de la Seine (m <sup>3</sup> /s)	Vent moyen sur 3 heures (m/s)	Variation négative de pression <sup>(2)</sup> (hPa)	Coefficient de marée (-)	Surcote marine <sup>(3)</sup> (cm)				
									Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
Crue « type janvier 1910 »	Réaliste 1A			3 000 (T500)	9.1 <sup>(4)</sup> (<T1)	3.9 <sup>(4)</sup> (<T1)	78	20 <sup>(4)</sup> (<T1)	8.17 (<T1)	8.63 (<T1)	9.70 (T6)	12.26 (T470)
	Réaliste 1B	X							9.17 (T4)	9.33 (T25)	10.14 (T55)	12.43 (T700)
Tempête de décembre 1999	Réaliste 2A			1 760 (T2)	23.2 <sup>(5)</sup> (T90)	52.7 (T35)	104	73 (T2)	9.26 (T6)	9.36 (T30)	9.82 (T12)	10.36 (T4)
	Réaliste 2B	X							9.88 (T155)	9.68 (T170)	10.03 (T30)	10.65 (T8)
T30 sur le secteur fluvial	Théorique 3A			2 184 (T7)	9.4 (<T1)	10.4 (<T1)	109	37 (<T1)	8.72 (<T1)	9.05 (T6)	9.79 (T10)	11.17 (T30)
	Théorique 3B		X						8.73 (<T1)	8.92 (T3)	9.68 (T6)	11.14 (T25)
T100 sur le secteur fluvial	Théorique 4A			2 565 (T50)	9.4 (<T1)	10.4 (<T1)	109	37 (<T1)	8.75 (<T1)	9.10 (T7)	10.00 (T30)	11.66 (T100)
	Théorique 4B	X							9.64 (T45)	9.71 (T200)	10.36 (T170)	11.89 (T180)
T30 sur le secteur fluvio-maritime amont	Théorique 5A			2 310 (T13)	18.8 (T12)	27.4 (T2)	107	150 (T55)	9.43 (T15)	9.45 (T50)	10.01 (T30)	11.00 (T19)
	Théorique 5B		X						9.40 (T13)	9.28 (T20)	9.80 (T10)	10.97 (T17)
T100 sur le secteur fluvio-maritime amont	Théorique 6A			2 772 (T150)	22.8 (T75)	33.3 (T3)	107	182 (T130)	9.70 (T60)	9.63 (T130)	10.24 (T100)	11.69 (T110)
	Théorique 6B	X							10.35 (>T1000)	10.63 (>T1000)	11.08 (>T1000)	11.88 (T180)
T30 sur le secteur fluvio-maritime aval	Théorique 7A			1 848 (T3)	17.5 (T7)	25.4 (T1)	107	139 (T40)	9.28 (T7)	9.35 (T30)	9.87 (T15)	10.52 (T5)
	Théorique 7B		X						9.25 (T6)	9.17 (T11)	9.65 (T5)	10.44 (T4)
T100 sur le secteur fluvio-maritime aval	Théorique 8A			2 156 (T6)	22.8 (T75)	33.3 (T3)	107	182 (T130)	9.69 (T60)	9.58 (T100)	10.04 (T35)	10.90 (T14)
	Théorique 8B	X							10.32 (>T1000)	10.53 (>T1000)	10.94 (>T1000)	11.45 (T60)
T30 sur le secteur maritime	Théorique 9A			1 540 (T2)	20.8 (T30)	30.3 (T2)	107	166 (T85)	9.57 (T30)	9.48 (T60)	9.89 (T16)	10.34 (T3)
	Théorique 9B		X						9.52 (T25)	9.30 (T20)	9.72 (T7)	10.22 (T2)
T100 sur le secteur maritime	Théorique 10A			1 540 (T2)	25.5 (T280)	37.2 (T5)	107	204 (T210)	9.79 (T100)	9.67 (T160)	9.99 (T25)	10.40 (T4)
	Théorique 10B	X							10.52 (>T1000)	10.64 (>T1000)	10.98 (>T1000)	11.22 (T30)

<sup>(1)</sup> : évènements de base pour les chroniques de forçages : épisode fluvio-maritime de février 2018 pour les scénarios 3 et 4, tempête Eleanor de janvier 2018 pour les scénarios 5 à 10 (cf. chapitre 1.2)

<sup>(2)</sup> : variation négative de la pression atmosphérique (dépression) à l'embouchure par rapport à la valeur moyenne de 1 013 hPa (cf. chapitre 1.3)

<sup>(3)</sup> : surcote imposée sur la frontière maritime du modèle au droit de Saint-Valéry-en-Caux, et caractérisée en période de retour par rapport à l'analyse statistique disponible au Havre (cf. chapitre 1.3)

<sup>(4)</sup> : conditions météo-océaniques relatives à la crue de juin 2016

<sup>(5)</sup> : majoration de 50% de l'intensité du vent issu du modèle ERA5

## REFERENCES

- [1] *Le risque inondation : conditions de déclenchement et perspectives*. GIP Seine-Aval, 2010.
- [2] *Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Objectif A : Définition des périodes de retour des événements jouant un rôle dans les inondations*. ARTELIA - GIP Seine-Aval, Juillet 2013.
- [3] *Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Objectif D : Modélisation de la ligne d'eau pour différents scénarios*. ARTELIA - GIP Seine-Aval, Janvier 2014.
- [4] *Définition des périodes de retour des forçages et des niveaux de pleine mer en estuaire de Seine pour la gestion du risque inondation*. ARTELIA - GIP Seine-Aval - DREAL Normandie, 2019.
- [5] *Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations. Phase 1 - Elaboration du modèle*. ARTELIA - GIP Seine-Aval, Septembre 2021.
- [6] *Localisation et altimétrie des murets anti-inondations le long de l'estuaire de la Seine*. GIP Seine Aval, Septembre 2013.
- [7] *Débordement de l'estuaire de la Seine : épisode du 3-4-5 janvier 2018*. GIP Seine-Aval & DREAL-SPC, Février 2018.
- [8] *Débordement de l'estuaire de la Seine : épisode de fin janvier - début février 2018*. GIP Seine-Aval & DREAL-SPC, Mars 2018.
- [9] *Débordement de l'estuaire de la Seine : épisodes de février 2020*. GIP Seine-Aval & DREAL-SPC, Juillet 2020.
- [10] *Débordement de l'estuaire de la Seine : épisode de mars 2020*. GIP Seine-Aval & DREAL-SPC, Juillet 2020.
- [11] *Mise à jour de la couche des ouvrages anti-inondations en intégrant les données des levés topographiques de février 2020 de HAROPA - Port de Rouen*. GIP Seine Aval, Mars 2021.
- [12] *Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique)*. SHOM, 2012.
- [13] *Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines*. CETMEF, 2013.
- [14] *Analyse par modélisation de l'impact de l'élévation du niveau marin sur les niveaux de pleine mer dans l'estuaire de la Seine*. GIP Seine-Aval, 2015.
- [15] *Projet MORPHOSEINE - Modélisation de l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine*. GIP Seine-Aval, 2021.
- [16] *RIC - Règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues du Service de Prévision des Crues – Seine aval et Côtiers Normands*. DREAL Normandie, Octobre 2019.



# ANNEXES



# ANNEXE 1 – Chroniques de forçages pour les scénarios d’exploitation du modèle



## ANNEXE 2 – Résultats des scénarios d'exploitation du modèle en lit mineur



## ANNEXE 3 – Cartographies des scénarios d’exploitation du modèle en lit majeur

 POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE GIP SEINE-AVAL

[www.seine-aval.fr](http://www.seine-aval.fr)

#### CONTACT

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

Hangar C – Espace des Marégraphes

CS 41174

76176 ROUEN Cedex 1

**Tél : 02 35 08 37 64**

[gipsa@seine-aval.fr](mailto:gipsa@seine-aval.fr)

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il devra être cité sous la forme suivante :

**ARTELIA, 2021. Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations. Phase 2 : Modélisation des scénarios.** Rapport réalisé pour le GIP Seine-Aval. 70 pp.

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable d'évènements pouvant résulter de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

Pour tout renseignement, veuillez contacter le GIP Seine-Aval.

Les membres financeurs du GIP Seine-Aval sont :

