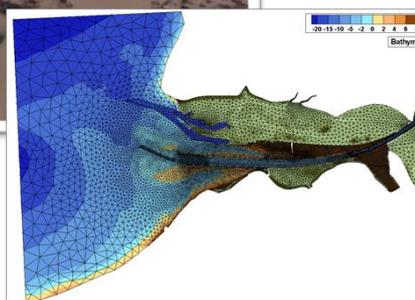
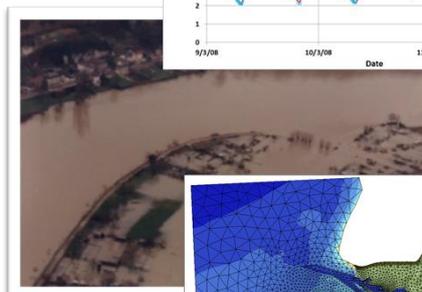
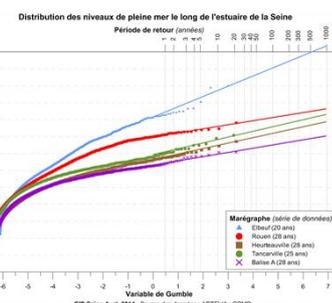
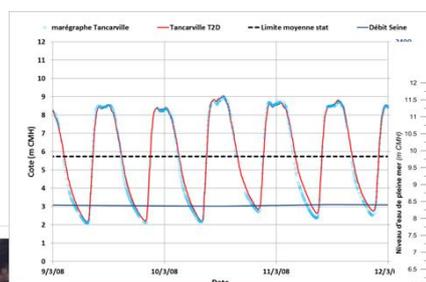


# Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation en estuaire de Seine

- Synthèse -



Cédric FISSON,  
Jean-Philippe LEMOINE,  
Florence GANDILHON

Février 2014



**Seine-Aval**  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC



GIP Seine-Aval  
Pôle Régional des Savoirs  
115 boulevard de l'Europe  
76100 Rouen

tel : 02 35 08 37 64  
fax : 02 35 98 03 93  
mail : [gipsa@seine-aval.fr](mailto:gipsa@seine-aval.fr)  
web : <http://www.seine-aval.fr>

# Sommaire

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>TABLES DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>3</b>
LISTE DES FIGURES .....	3
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>I. ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES</b> .....	<b>6</b>
A. CRUES DE SEINE .....	6
B. CRUES DES AFFLUENTS INTRA-ESTUARIENS .....	6
C. EVENEMENTS MARITIMES .....	6
D. INONDATIONS DANS L'ESTUAIRE DE LA SEINE .....	7
<b>II. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES</b> .....	<b>9</b>
A. DISTRIBUTION PROBABILISTE DES NIVEAUX D'EAU .....	9
B. LOI DE PROBABILITE DES FORÇAGES .....	11
1. Débits fluviaux .....	11
2. Coefficients de marée et niveau marin .....	12
3. Surcotes océaniques .....	12
4. Pression atmosphérique .....	13
5. Vent .....	13
C. ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX D'EAU .....	14
1. Relation Marée / Débit : Niveau de base .....	14
2. Pression atmosphérique et Vents : Surcotes .....	15
3. Combinaisons des forçages .....	17
<b>III. IDENTIFICATION DES ENJEUX SOUMIS AU RISQUE INONDATION</b> .....	<b>19</b>
<b>IV. MODELE HYDRAULIQUE</b> .....	<b>20</b>
<b>V. DEFINITION DES SCENARIOS</b> .....	<b>23</b>
<b>VI. EXPLOITATION DU MODELE</b> .....	<b>25</b>
A. DONNEES D'ENTREE .....	25
B. RESULTATS PRODUITS .....	26
C. COMPARAISON DES SCENARIOS .....	26
<b>PERSPECTIVES</b> .....	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>31</b>

# Tables des illustrations

## Liste des figures

Figure 1 : Principales crues de Seine référencées à l'échelle du pont d'Austerlitz (1872-2001).	6
Figure 2 : Niveau d'eau atteint à Rouen et au Havre pour les principaux évènements maritimes.	7
Figure 3 : Typologie des évènements historiques.	8
Figure 4 : Distribution probabiliste des niveaux d'eau sur la base des observations.	10
Figure 5 : Ligne d'eau théorique et période de retour associée.	10
Figure 6 : Ajustement des débits de la Seine à Poses.	11
Figure 7 : Répartition statistique des coefficients de marée.	12
Figure 8 : Profils en long des amplitudes des vents moyens (m/s).	13
Figure 9: Relation entre la surcote à Elbeuf et l'écart à la pression atmosphérique moyenne.	15
Figure 10 : A) Relation entre surcote (moins la part liée à la pression atmosphérique) et le vent au cap de la Hève ; B) Influence de la direction du vent sur le gonflement de l'estuaire (par modélisation).	15
Figure 11 : Combinaisons centennales (pression atmosphérique x vent x résidu) définissant une surcote.	17
Figure 12 : Localisation et altimétrie des murets anti-inondation.	20
Figure 13 : Bathy-topographie et maillage du modèle à l'embouchure de la Seine.	21
Figure 14 : Exemple de calage pour la crue de février 2013.	22
Figure 15 : Exemple de calage pour la tempête du 10 mars 2008.	22
Figure 16 : Chroniques d'entrée du modèle pour le scénario 1.	25
Figure 17 : Emprise du modèle et sorties des résultats.	26
Figure 18 : Ligne d'eau maximale pour les scénarios SC1, SC2 et SC3.	27
Figure 19 : Ligne d'eau maximale pour les scénarios SC4, SC5 et SC6.	27
Figure 20 : Ligne d'eau maximale et niveau des berges.	28
Figure 21 : Localisation des principales zones de débordement.	29
Figure 22 : Exemples de marégrammes modélisés et comparaison à la ligne d'eau décennale et centennale.	29

## Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques des principales inondations historiques dans l'estuaire de la Seine.	7
Tableau II : Données mobilisées pour l'analyse statistique.	9
Tableau III : Périodes de retour des niveaux d'eau observés.	9
Tableau IV : Périodes de retour associées au débit de la Seine et de ses affluents (m <sup>3</sup> /s).	11
Tableau V : Niveau de marée théorique au Havre.	12
Tableau VI : Périodes de retour de la surcote océanique de pleine mer au Havre.	12
Tableau VII : Période de retour des variations de pression atmosphérique autour de la moyenne.	13
Tableau VIII : Période de retour du vent moyen (sur 3h et ramené à 10m) à l'embouchure de la Seine.	13
Tableau IX: Fréquence des niveaux observés à Rouen Z(M,Q) selon le débit et le coefficient de marée.	14
Tableau X : Niveaux d'eau établis par analyse statistique des facteurs primaires (cm CMH).	16
Tableau XI : Exposition des enjeux en bord de Seine à la ligne d'eau centennale.	19
Tableau XII : Données mobilisées pour la construction du modèle.	20
Tableau XIII : Caractéristiques des évènements de calage.	21
Tableau XIV : Scénarios retenus suite au processus de concertation.	24
Tableau XV : Niveaux d'eau maximums (m CMH) associés aux scénarios.	28

## Introduction

Le **risque inondation** correspond à la rencontre, sur un même espace, d'un aléa (i.e. ensemble de scénarios - ou de situations - qui correspond à un événement ou à une conjonction d'événements engendrant une inondation) et d'une vulnérabilité (l'existence d'enjeux sur la zone inondée). Dans l'estuaire de la Seine, ce risque inondation regroupe divers phénomènes aux causalités variées et répondant à une temporalité plus ou moins rapide : montée lente des eaux avec des inondations par débordement du cours d'eau suite à une crue ou par remontée de nappe ; montée rapide des eaux avec des inondations par submersion marine liée à de violentes tempêtes ou par ruissellement lié à de très forts orages ; ... De nombreuses communes riveraines de l'estuaire de la Seine sont soumises au risque inondation et l'histoire témoigne de leur récurrence [El Abida *et al.*, 2010 ; GIPSA, 2010].

Les **niveaux d'eau de l'estuaire de la Seine** (i.e. portion de la Seine soumise à la marée, couvrant 160 km entre le barrage de Poses en amont et la partie orientale de la baie de Seine à l'aval) sont sous l'influence de différents facteurs naturels : *i*) l'hydrologie, avec le débit de la Seine et de ses affluents et le niveau des nappes ; *ii*) l'astronomie, avec la marée et sa propagation ; *iii*) les surcotes liées à des phénomènes météorologiques (vent, pression atmosphérique). L'importance de chaque facteur dans la survenue d'une inondation sera plus ou moins forte selon son intensité et le secteur de l'estuaire considéré. Leur combinaison déterminera la typologie des inondations qui présentent une dynamique mixte marine/continentale [El Abida *et al.*, 2010]. Cette problématique des niveaux d'eau doit être considérée sur une échelle de temps longue, que ce soit pour *i*) la connaissance des événements extrêmes passés et leur période de retour ; *ii*) la prise en compte des évolutions du fonctionnement hydraulique induites par les modifications morphologiques naturelles et anthropiques de la Seine (évolution morphologique du lit mineur, modification de l'occupation du sol, construction et gestion des lacs-réservoirs, construction des digues et des murets de protection,...) ; *iii*) la prise en compte du changement climatique et de ses effets sur les apports en eau douce, le niveau marin et l'occurrence d'événements météorologiques extrêmes.

La problématique inondation est aujourd'hui au cœur de nombreux **dispositifs réglementaires** dont l'application relève des autorités compétentes.

L'État est en charge de la mise en œuvre de la **Directive Inondation** (2007/60/CE), avec trois étapes principales aux échéances propres : une évaluation préliminaire des risques (décembre 2011) ; une cartographie des inondations pour les territoires à risques d'inondation importants (décembre 2013) ; la définition de plans de gestion des risques d'inondation pour les territoires à risques d'inondation importants (décembre 2015).

La mise en œuvre des **Plans de Prévention des Risques Inondations** (loi 95-101 du 02/02/95) par les services de l'État nécessite notamment la délimitation des zones susceptibles d'être inondées (qualification des aléas), sur la base d'événements de référence.

L'arrêté du 12 juin 2008, définissant le plan de l'**étude de dangers des barrages et des digues** et précisant le contenu que doit apporter le propriétaire de l'ouvrage, comporte différentes rubriques traitant du risque inondation. Les aléas naturels (notamment les crues) doivent ainsi être caractérisés par une étude hydrologique et leur probabilité d'occurrence estimée.

La réalisation d'une étude hydraulique dans le cadre de la constitution d'un **dossier 'loi sur l'eau'** pour les projets d'aménagement touchant le milieu aquatique, peut nécessiter une connaissance fine de l'occurrence des niveaux d'eau extrêmes de la Seine et de la temporalité des inondations.

Pour apporter une cohérence d'ensemble à ces travaux et intégrer au mieux les spécificités estuariennes dans la gestion du risque inondation, le GIP Seine-Aval a piloté une étude (maîtrise d'œuvre : ARTELIA) visant à **définir l'occurrence et les niveaux d'eau à prendre en compte pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine**. Les résultats de cette étude visent à fédérer les différents acteurs autour de références communes et non pas à répondre aux obligations réglementaires ou aux modalités de gestion relevant des compétences des partenaires du GIP Seine-Aval ou de l'appui technique de bureaux d'études. Pour autant, les résultats issus de cette étude pourront être déclinés à ces fins par les instances intéressées.

Les principales inondations enregistrées sur l'estuaire de la Seine ont dans un premier temps été analysées afin d'en déterminer une typologie. Un traitement statistique des données de forçage disponibles et des observations des hauteurs d'eau a ensuite permis d'établir des lois de probabilité associées à ces paramètres et de définir des niveaux d'eau théoriques de période de retour donnée. Cette analyse statistique a alors servi de base pour définir un ensemble de scénarios partagés par les acteurs en charge des inondations sur l'estuaire de la Seine. En parallèle, un modèle hydrodynamique de l'estuaire a été développé et utilisé pour simuler les scénarios précédemment définis, permettant d'obtenir l'évolution du niveau d'eau dans le lit mineur (et la hauteur maximale atteinte) et les zones de débordement potentielles vers le lit majeur (et les volumes mis en jeu). Ce modèle a été déployé au GIP Seine-Aval pour une exploitation ultérieure.

Le présent rapport présente les principaux résultats de cette étude, dont le contenu complet est disponible dans les rapports associés à chaque objectif :

- Objectif A : Définir les périodes de retour des événements jouant un rôle dans les inondations (crue, marée, surcote) [ARTELIA & GIPSA, 2013a] ;
- Objectif B : Élaborer des scénarios pouvant déclencher des inondations, en combinant différents événements selon leur occurrence [ARTELIA & GIPSA, 2013b] ;
- Objectif C : Développer et transférer un modèle hydraulique à l'échelle de l'estuaire de la Seine [ARTELIA & GIPSA, 2013c] ;
- Objectif D : Modéliser la ligne d'eau pour différents scénarios [ARTELIA & GIPSA, 2014].

# I. Analyse des événements historiques

Ce chapitre reprend les principaux résultats de l'inventaire des événements historiques recensés. Les résultats complets sont présentés dans le rapport d'objectif A [ARTELIA & GIPSA, 2013a].

## A. Crues de Seine

Les crues de la Seine sont mentionnées dans les archives à partir du XII<sup>ème</sup> et surtout du XIII<sup>ème</sup> siècle. Ces archives montrent que les crues ne sont pas des événements exceptionnels, d'autant que les chroniques anciennes retiennent essentiellement les événements marquants, alors même que la boucle de Poses était peu urbanisée. Pour Paris, ville pour laquelle les archives sont particulièrement bien renseignées, les historiens ont dénombré une soixantaine de crues exceptionnelles depuis le VI<sup>ème</sup> siècle, soit une tous les 23 ans en moyenne.

A partir de 1870 et de la mise en place du suivi de la hauteur d'eau de la Seine à Paris, la documentation des crues est plus complète. Trois crues exceptionnelles de la Seine sont ainsi recensées au XX<sup>ème</sup> siècle (1910, 1924 et 1955) et plusieurs crues majeures sont à noter [Figure 1].

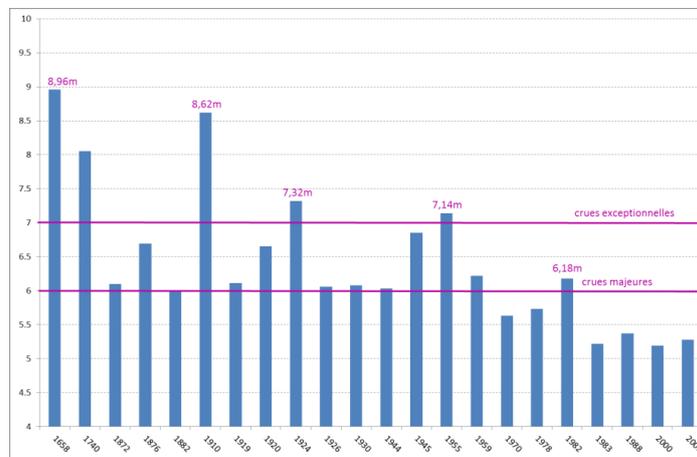


Figure 1 : Principales crues de Seine référencées à l'échelle du pont d'Austerlitz (1872-2001).

## B. Crues des affluents intra-estuariens

Les crues de l'Eure sont généralement liées à des périodes prolongées de fortes précipitations (pluie ou neige) sur l'ensemble de son bassin versant, ce qui entraîne le gonflement des eaux de la rivière, éventuellement aggravées par des remontées de nappes, qui peut atteindre alors des débits exceptionnels, comme lors des dernières crues de 1995, 1999 et 2001. Il s'agit en général de crues à montée dite lente. Les autres crues importantes sont celles de 1966 (débit estimé à 129 m<sup>3</sup>/s), de 1979 (102 m<sup>3</sup>/s), celle de 1995 (117 m<sup>3</sup>/s), de 2000 (108 m<sup>3</sup>/s) et enfin celle de mars 2001 (133 m<sup>3</sup>/s).

Deux crues ont fortement marqué les esprits dans la vallée de la Risle : il s'agit des crues de mars 2001 et de novembre 1966.

## C. Évènements maritimes

Plusieurs tempêtes historiques sont documentées montrant la récurrence de ces événements et leurs caractéristiques. 75 coups de vents égaux ou supérieurs à 8 sur l'échelle de Beaufort sont ainsi répertoriés entre 1750 et 1938, avec des tempêtes parfois extrêmement violentes (force 11 ou 12), comme en novembre 1810, décembre 1810, fin février/début mars 1869, septembre 1869, mars 1876, janvier 1899, octobre 1924, décembre 1929 ou janvier 1938. L'étude saisonnière des coups de vent montre une récurrence automnale et hivernale, liée au système dépressionnaire particulièrement actif entre septembre et mars sur le

nord de l'Atlantique et l'Europe de l'ouest. La provenance des directions des forts vents est essentiellement comprise entre les secteurs sud et ouest, amplifiant leur impact dans l'estuaire (surcotes) [Gras & Garnier, 2013].

Selon le coefficient et le moment de la marée, les coups de vents engendrent des niveaux d'eau plus ou moins importants dans l'estuaire. L'inventaire réalisé reprend les événements maritimes majeurs ayant engendrés des inondations [Figure 2].

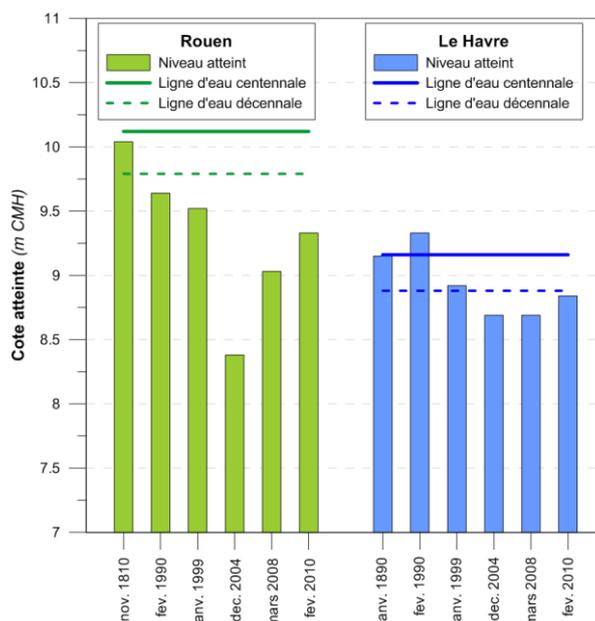


Figure 2 : Niveau d'eau atteint à Rouen et au Havre pour les principaux événements maritimes.

## D. Inondations dans l'estuaire de la Seine

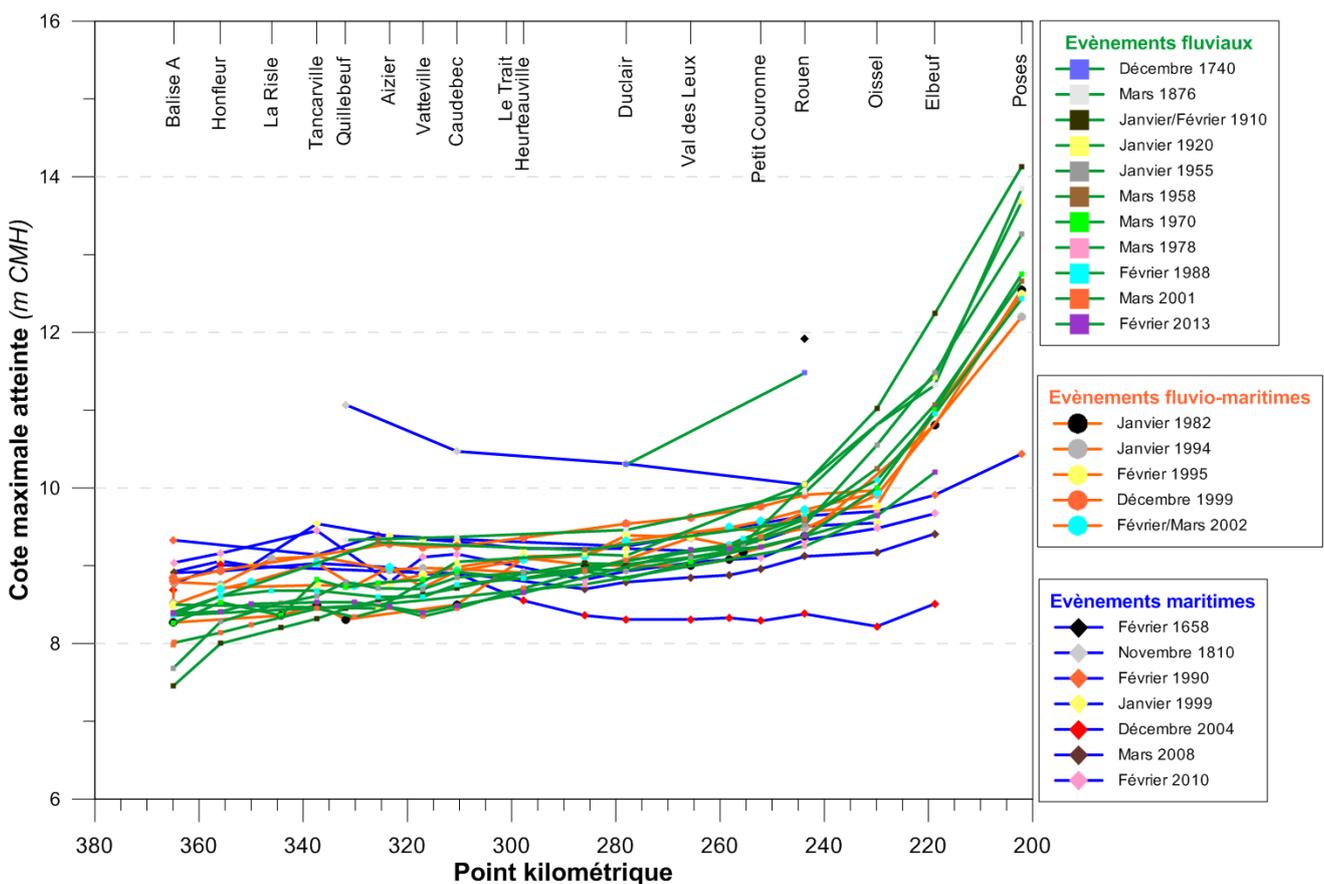
Les **principales inondations historiques** dans l'estuaire de la Seine ont été documentées, à travers une **description de l'évènement** (phénomènes générateurs des hauts niveaux d'eau observés, temps de retour associé à l'évènement), ses **caractéristiques hydrométéorologiques** (débits de la Seine, de l'Eure et de la Risle ; coefficient de marée ; vitesse et direction du vent ; surcote) et les **niveaux d'eau atteints** le long de l'estuaire [Tableau I].

Tableau I : Caractéristiques des principales inondations historiques dans l'estuaire de la Seine.

Évènement	Date du maximum de la crue à Rouen	Coefficient de marée	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Vent (km/h)	Pression atmosphérique (hPa)	Cote atteinte à Rouen (m CMH)	Cote atteinte au Havre (m CMH)	Surcote à l'embouchure (m)
Février 1658	xx/02/1658					11,92		
Décembre 1740	xx/12/1740					11,48		
Novembre 1810	10-11/11/1810			S-SW		10,04		
Février 1850	xx/02/1850					9,885		
Mars 1876	xx/03/1876					9,94		
Janvier 1883	xx/01/1883					9,695		
Janvier 1890	23/01/1890			W			9,15	
Jan/Fév 1910	29/01/1910	78	2600		1003	10,045	7,45	
Janvier 1920	09/01/1920	98	2280			10,05	8,5	
Janvier 1930	12/01/1930							
Janvier 1955	27/01/1955	92	2250			9,53	7,68	
Mars 1958	07/03/1958	117	1940			9,58	8,4	
Mars 1970	09/03/1970	114	2038			9,38	8,26	
Mars 1978	26/03/1978	101	1540			9,25	8,36	
Mars 1979	29/03/1979	113	1280			9,33	8,49	
Mars 1980	18/03/1980	118	790			9,16	8,43	
Décembre 1981	14/12/1981	99	1170			9,41	8,96	
Janvier 1982	11/01/1982	100	1760			9,38	8,27	
Janvier 1983	30/01/1983	105	680			9,3	9,05	
Novembre 1984	24/11/1984	100	760			9,55	9,25	1,4
Février 1988	19/02/1988	112	1712	NE - 25	1028	9,63	8,36	
Février 1990	27/02/1990	106	641	SO - 79 (pointes-130)	1004	9,64	9,33	
Janvier 1994	27-28/01/1994	99	1372			9,48	8,52	
Février 1995	01-02/02/1995	104	2080	SO - 47	1015	9,69	8,5	
Janvier 1999	03/01/1999	100	626	108		9,51	8,92	
Décembre 1999	25/12/1999	104	1379	SO - 79	993	9,91	8,84	
Mars 2001	28/03/2001	89	2280	S - 29	996	9,6	7,98	
Fév/mars 2002	28/02/2002	111	1563	SO - 43	1004	9,72		
Décembre 2004	17/12/2004	71	300	140	990	8,38	8,69	1,37
Mars 2008	10-11/03/2008	106	579		975	9,12	8,8	
Février 2010	28/02/2010	102	800	O - 100		9,33		0,87
Février 2013	11/02/2013	106	1600		995	9,38	8,39	

Cette analyse des évènements historiques fait apparaître une typologie des évènements susceptibles d'engendrer des phénomènes d'inondation ou de débordement :

- Les évènements de **type fluvial** qui sont engendrés plutôt par une crue de la Seine et qui impactent plutôt les niveaux d'eau à l'amont de l'estuaire, entre Poses et Val-des-Leux/Duclair (1740, 1876, 1910, 1920, 1955, 1958, 1970, 1978, 1988, 2001, 2013) ;
- Les évènements de **type maritime** assimilés à des tempêtes et engendrés par des phénomènes météorologiques (vent, pression atmosphérique) et un fort coefficient de marée ; ces derniers ont un impact plutôt sur les niveaux d'eau à l'aval de Heurteville (1658, 1990, janv. 1999, 2004, 2008, 2010) ;
- Les évènements **fluvio-maritime** qui sont liés à la fois à un débit important de la Seine et une tempête. Ils impactent tout l'estuaire de la Seine cependant les niveaux d'eau sont moins élevés à l'amont de Rouen que lors d'un évènement de type fluvial et à l'aval de Heurteville que lors des évènements de type maritime (1982, 1994, 1995, déc. 1999, 2002).



GIP Seine-Aval, 2014 - Source des données : CODAH, DREAL-HN, GIP SEINE-AVAL, GPMH, GPMR, ORMES, SHOM

Figure 3 : Typologie des évènements historiques.

## II. Analyse statistique des données

Ce chapitre reprend les principaux résultats des analyses statistiques réalisées sur les données de hauteurs d'eau et sur les paramètres forçant. Les données mobilisées [Tableau II], la méthodologie complète et les résultats détaillés sont présentés dans le rapport d'objectif A [ARTELIA & GIPSA, 2013a].

Tableau II : Données mobilisées pour l'analyse statistique.

Paramètre	Lieu	Période	Fréquence	Source
Pression atmosphérique	Cap de la Hève	1986 – 2013 (périodes de hautes- eaux)	Horaire	Météo-France
	Le Havre	2005-2012	Horaire	Air-Normand
Vent	Cap de la Hève, Octeville, Rouen-Boos	1986 – 2013 (périodes de hautes- eaux)	Horaire	Météo-France
	Sandouville, Lillebonne, Grand-Quevilly	2005-2012	Horaire	Air-Normand
	Embouchure Seine	1992-2011	Modélisation	ARTELIA & GLOBOCEAN
Débit	Seine à Poses, Vernon et pont d'Austerlitz	1941 - 2012	Journalier	Banque Hydro
	Eure à Louviers		Journalier	Banque Hydro
	Risle à Pont-Authou		Journalier	Banque Hydro
	Andelle à Rouvray-Catillon		Journalier	Banque Hydro
	Cailly à ND de Bondeville		Journalier	Banque Hydro
	Austreberthe à Duclair		Journalier	Banque Hydro
Signal de marée	19 marégraphes	2010		GPMR
Niveau d'eau > niveau moyen	19 marégraphes	... - 2013		GPMR
Coefficients de marée	Le Havre	1985 - 2012	Marée	SHOM
Niveau de pleine mer	Le Havre	1985 – 2012	Marée	SHOM, Refmar
Niveau Piézométrique	8 piézomètres (vallée de l'Eure, de la Risle et du Cailly)	... - 2013		ADES

### A. Distribution probabiliste des niveaux d'eau

Une analyse statistique des niveaux de pleine mer observés ces trente dernières années a été réalisée en 5 points le long de l'estuaire : Elbeuf, Rouen, Heurteauville, Tancarville et Balise A. Une loi de Gumbel a été appliquée aux enregistrements marégraphiques et permet d'obtenir une distribution probabiliste des niveaux de pleines mers [Tableau III ; Figure 4].

Tableau III : Périodes de retour des niveaux d'eau observés.

Période de retour (années)	Niveau d'eau (cm CMH)				
	Le Havre	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
1	864	886	890	948	1018
2	872	893	896	953	1028
5	883	917	916	969	1060
10	888	933	929	979	1081
20	903	948	942	989	1102
50	912	967	958	1002	1128
100	916	982	970	1012	1146
200	927	996	982	1021	1167
500	937	1015	998	1034	1193
1000	946	1030	1010	1044	1213

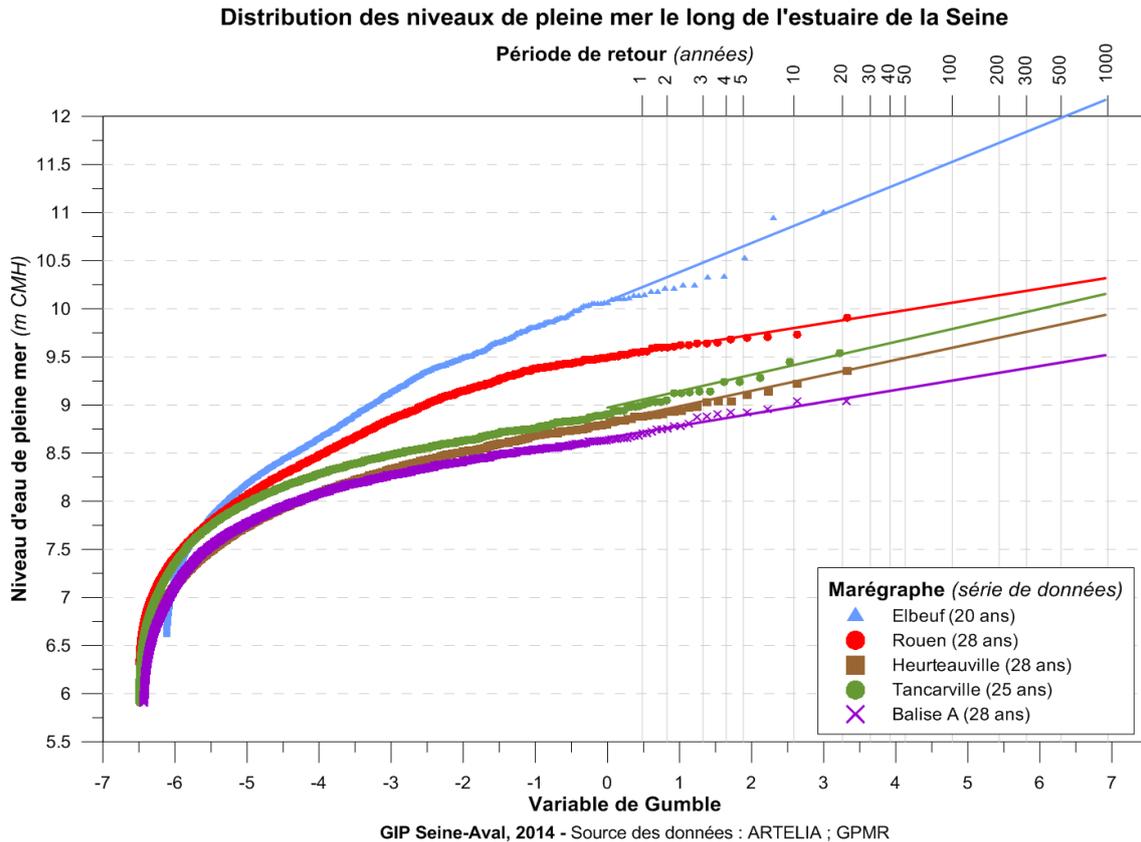


Figure 4 : Distribution probabiliste des niveaux d'eau sur la base des observations.

L'application des lois de Gumbel ainsi établies permet de définir une ligne d'eau théorique de période de retour donnée, issue de différentes combinaisons de forçages selon les secteurs de l'estuaire [Figure 5]. Une décroissance du niveau d'eau est observée de l'amont vers l'aval, avec cependant un gonflement à Tancarville lié à l'opposition entre la propagation de la marée et les débits.

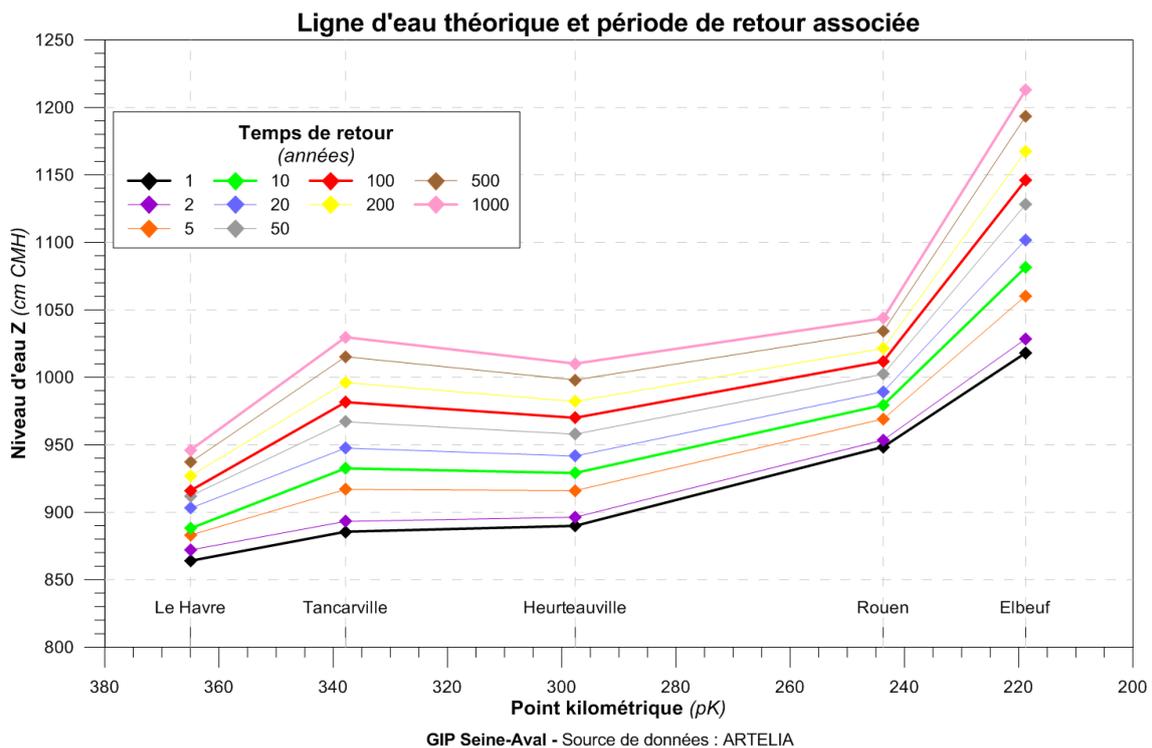


Figure 5 : Ligne d'eau théorique et période de retour associée.

## B. Loi de probabilité des forçages

Des analyses statistiques ont été menées sur les principaux paramètres forçant les niveaux d'eau dans l'estuaire de la Seine (débits fluviaux, coefficient de marée, pression atmosphérique, vent, surcotes océaniques), afin d'en estimer les périodes de retour.

### 1. Débits fluviaux

Une loi de Gumbel a été appliquée aux débits maximaux annuels des principales stations hydrométriques de la Seine et de ses affluents et permet d'estimer les périodes de retour pour ce paramètre [Tableau IV]. A noter que pour le débit de la Seine, deux relations ont été établies : avant et après la création des Grands Lacs à l'amont du bassin de la Seine. L'effet de ces aménagements se ferait sentir à partir d'une crue de période de retour 3 ans [Figure 6]. A noter que les événements historiques de 1658 et 1740 n'ont pas été ajoutés pour l'analyse, du fait des profondes modifications morphologiques de l'estuaire rendant caduques les niveaux atteints lors de ces événements.

Tableau IV : Périodes de retour associées au débit de la Seine et de ses affluents ( $m^3/s$ ).

Temps de retour (années)	Seine avant les grands lacs	Seine après les grands lacs	Seine avant les grands lacs	Seine après les grands lacs	Eure	Risle	Andelle	Cailly	Austreberthe
	à Austerlitz ( $m^3/s$ )		à Poses ( $m^3/s$ )						
<b>1</b>				1450					
<b>2</b>	1094	1091	1650	1640	58	36	18	6.5	6
<b>5</b>	1576	1385	2225	2105	77	64	23	8.5	7.5
<b>10</b>	1831	1526	2400	2230	99	83	29	12	11
<b>20</b>	2037	1662	2565	2350	120	102	39	17	15
<b>30</b>	2155	1740	2660	2420	132	113	46	20	18
<b>50</b>	2300	1837	2775	2510	147	127	53	23	21
<b>100</b>	2500	1969	2930	2625	167	145	63	27	25
<b>500</b>	2962	2273	3290	2900	215	188	87	38	34

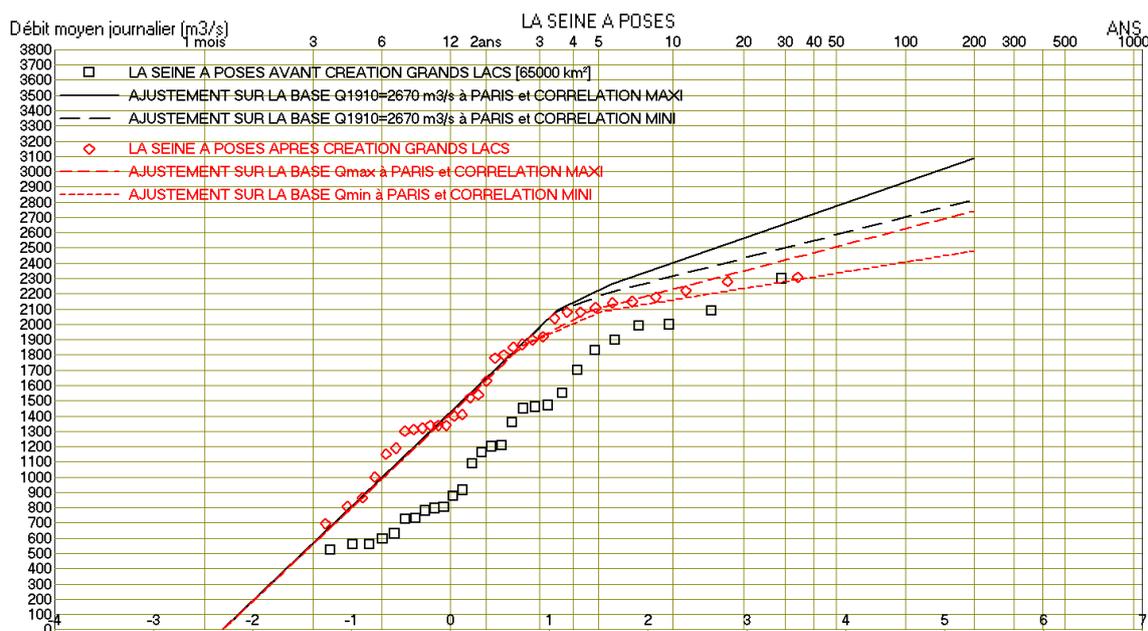


Figure 6 : Ajustement des débits de la Seine à Poses.

## 2. Coefficients de marée et niveau marin

La répartition statistique des coefficients de marée est reprise d'une étude de Gougenheim (1953) basée sur l'analyse des marées sur 17 années consécutives [Figure 7]. Les niveaux marins atteints au Havre pour quelques coefficients de marée sont repris de l'annuaire des marées du Grand Port Maritime de Rouen [Tableau V].

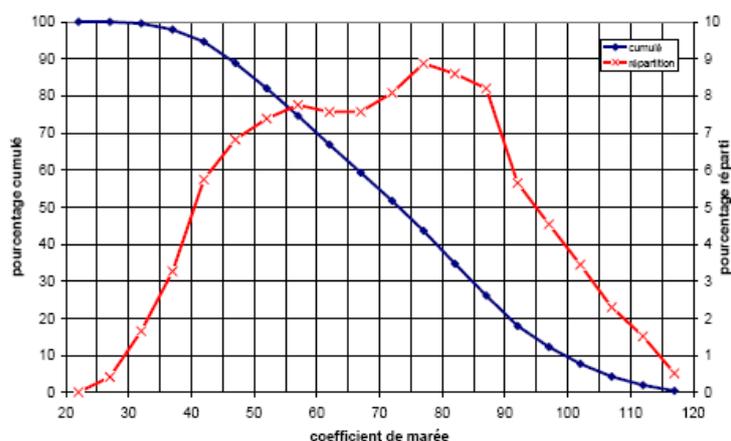


Figure 7 : Répartition statistique des coefficients de marée.

Tableau V : Niveau de marée théorique au Havre.

Coefficient de marée	Niveau marin au Havre (cm CMH)
35	618
45	653
65	707
80	747
95	784
115	825

## 3. Surcotes océaniques

Plusieurs études récentes ont proposées des périodes de retour pour la surcote océanique au Havre, après dépouillement statistique des niveaux marins observés et identifications des surcotes de pleine mer [Tableau VI]. Dans le cadre de cette étude, les valeurs proposées par le SHOM (2012) ont été utilisées, car la mise à jour réalisée par le CETMEF (2013) a été publiée postérieurement aux premiers traitements statistiques réalisés. De plus et bien que plus faibles, ces valeurs restent cohérentes avec celles proposées par le CETMEF (2013) et incluses dans les intervalles de confiance (IC) à 70%.

Tableau VI : Périodes de retour de la surcote océanique de pleine mer au Havre.

Temps de retour (années)	Surcote (m CMH) [SHOM, 2012]	Surcote et IC à 70% (m CMH) - loi exponentielle - [CETMEF, 2013]	Surcote et IC à 70% (m CMH) - loi GPD - [CETMEF, 2013]
1	75		
5	95		
10	104	103 (96-110)	104 (94-113)
20	112	115 (106-123)	120 (105-136)
50	125	130 (119-141)	147 (118-176)
100	132	142 (129-155)	172 (127-216)
1000	161	181 (162-200)	291 (143-439)

## 4. Pression atmosphérique

Une loi de comportement statistique a été établie à partir de 28 ans de données au cap de la Hève pour la variation de la pression atmosphérique autour de la pression atmosphérique moyenne de 1013 mb. Les événements de basse et de haute pression ont été considérés de manière indépendante [Tableau VII].

Tableau VII : Période de retour des variations de pression atmosphérique autour de la moyenne (1013mb).

Temps de retour (années)	Dépression (mb)	Surpression (mb)
<b>1</b>	34.22	25.85
<b>5</b>	43.43	28.62
<b>10</b>	48.03	30.01
<b>20</b>	52.45	31.34
<b>50</b>	58.17	33.06
<b>100</b>	62.45	34.35
<b>500</b>	72.36	37.32

## 5. Vent

L'analyse des amplitudes des vents moyens des 30 événements les plus importants observés sur la série de données montre une décroissance de ce paramètre de l'embouchure de la Seine vers l'amont de l'estuaire [Figure 8]. Cet amortissement des coups de vent d'ouest lors de leur entrée dans les terres peut être traduit par une loi de puissance décroissante d'ouest en est ( $Y=19.5X^{-0.12}$   $r^2=0.99$ ). Concernant les directions des vents, l'analyse sur les mêmes données montre une bonne cohérence entre les stations, avec une prépondérance des vents de secteur sud à ouest.

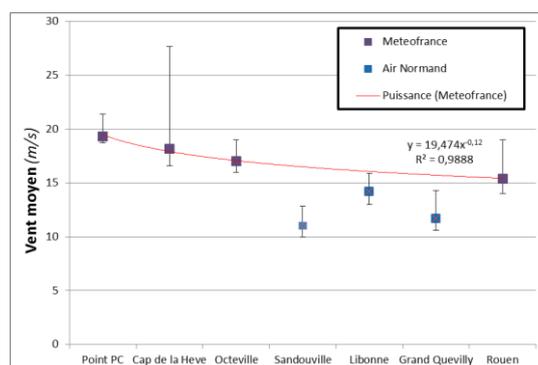


Figure 8 : Profils en long des amplitudes des vents moyens (m/s).

Une loi de comportement a été réalisée sur les 27 ans de données de vent recueillies au Cap de la Hève (ramenées à 10m), auxquelles ont été ajoutés les vents historiques recueillis par analyse de la bibliographie [Tableau VIII].

Tableau VIII : Période de retour du vent moyen (sur 3h et ramené à 10m) à l'embouchure de la Seine.

Temps de retour (années)	Vent moyen sur 3h à 10m (m/s)
<b>1</b>	11.9
<b>2</b>	14
<b>5</b>	16.7
<b>10</b>	18.8
<b>20</b>	20.8
<b>50</b>	23.6
<b>100</b>	25.6
<b>200</b>	27.6
<b>500</b>	30.4
<b>1000</b>	32.4

## C. Analyse statistique des niveaux d'eau

Une fois l'ensemble des forçages gouvernant l'hydrodynamisme de l'estuaire caractérisé, les hauteurs d'eau ont été analysées afin de déterminer la contribution moyenne de chacun des forçages aux hauteurs d'eau mesurées. Cette analyse a été effectuée sur les sites d'Elbeuf, Rouen, Heurteauville et Tancarville.

*Remarque* : La même approche a été testée sur les hauteurs d'eau du Havre mais ces dernières étant régies par des phénomènes se produisant à l'échelle du système Manche/Baie de Seine ; il n'a pas été possible de les caractériser en fonction des facteurs "locaux". Les résultats du SHOM (2012) ont donc été considérés dans la suite de l'étude.

La méthodologie retenue pour cette analyse repose sur le lien entre la marée et le débit pour expliquer les niveaux de base et sur une hypothèse d'indépendance entre les facteurs primaires générant les surcotes (pression atmosphérique, amplitude et direction du vent au cap de la Hève).

*Remarque* : Les interactions entre le niveau des nappes et les niveaux d'eau en Seine ont été étudiées à partir des données du réseau piézométrique ADES pour la vallée de l'Eure et le bassin de la Risle et du Cailly. Cette étude n'a pas permis de caractériser assez finement les apports souterrains en période de hautes eaux pour les considérer dans la suite du travail.

### 1. Relation Marée / Débit : Niveau de base

L'hydrodynamisme d'un estuaire étant principalement régi par les marées et les débits du fleuve, les données de hauteurs d'eau ont dans un premier temps été analysées en fonction de ces deux facteurs. Ces interactions n'étant pas linéaire et les événements extrêmes rares, il a été décidé d'utiliser les données observées pour mettre en place des abaques donnant la hauteur d'eau  $Z(M,Q)$  en fonction du débit et du coefficient de marée [Tableau IX].

Tableau IX: Fréquence des niveaux observés à Rouen  $Z(M,Q)$  selon le débit et le coefficient de marée.

		3m		6m				1		2		3		5		10		P(Q)
		15	82.5	225	375	525	675	825	975	1125	1275	1425	1575	1725	1875	2116	2281	Q Poses
25	623	634	636	646	657	670	683	698	704	712	720	736	747	753	766	780	793	
35	632	639	640	650	661	673	686	700	706	714	721	736	747	753	765	778	791	Code
45	650	652	653	664	676	690	704	719	727	736	744	760	771	779	792	807	821	Couleur
50	670	668	669	680	693	706	721	735	744	753	761	778	788	797	809	824	839	P
55	690	683	685	696	709	723	738	753	763	772	781	797	807	818	829	844	861	1
60	710	698	699	711	724	738	753	768	778	788	796	812	822	833	844	859	876	2
65	730	710	712	724	737	752	769	784	795	805	814	831	840	853	863	880	898	5
70	750	725	727	738	752	767	784	798	810	820	828	845	854	868	877	893	912	10
80	770	738	740	752	767	782	800	815	827	839	847	864	873	889	897	914	935	20
90	790	753	754	767	782	797	815	830	843	854	862	879	887	904	912	929	950	50
100	810	767	769	782	797	812	831	846	860	871	879	896	904	922	929	946	968	100
110	830	780	782	795	810	826	845	860	875	886	894	912	919	938	944	962	985	200
115	850	798	799	811	826	841	860	874	888	900	906	923	929	949	953	970	993	500
120	894	827	828	842	859	875	896	911	928	941	948	966	973	996	1000	1018	1044	1000
Coef	Z																	
Marée	Marée																	

Cet abaque permet d'obtenir les hauteurs d'eau moyennes observées pour différentes conditions de marées et de débits et leurs associer une période de retour :

- Un débit de fréquence 5 ans se produisant au moment d'un coefficient de marée 90 (vive eau moyenne) ou inférieur conduit à des niveaux à Rouen qui seront inférieurs à un niveau de probabilité un an.
- Une marée exceptionnelle (coefficient 115) conduit à des niveaux inférieurs à ceux de fréquence 2 ans si elle arrive au moment d'une crue annuelle.
- La concomitance d'une marée exceptionnelle (coefficient 115) et d'une crue de fréquence 10 ans ne conduit pas à des niveaux plus rares que la fréquence de la crue elle-même. Ceci signifie que d'autres combinaisons débit-marée permettent d'obtenir le même type de niveau.

Les abaques des sites d'Elbeuf, Heurteauville et Tancarville sont disponibles dans le rapport d'objectif A [ARTELIA & GIPSA, 2013a].

## 2. Pression atmosphérique et Vents : Surcotes

Les niveaux d'eau extrêmes sont souvent issus de la combinaison d'un niveau de base élevé et d'une surcote. Afin de caractériser ces surcotes en fonction des facteurs qui les génèrent, ces dernières ont été calculées en soustrayant aux niveaux de pleine mer mesurés les niveaux de bases précédemment calculés, puis analysées en fonction des forçages. Ce travail repose sur une hypothèse d'indépendance entre les paramètres 'pression atmosphérique' et 'vent'. Cette hypothèse peut paraître quelque peu réductrice, néanmoins à l'échelle de cette étude il n'a pas été possible d'établir une relation qualitative entre ces deux paramètres. L'analyse effectuée sur ces deux paramètres et leurs variations temporelles à partir des données "locales" permet seulement de dire que les vents les plus forts se produisent généralement en période de dépression au sens large. Le vent et la pression présentent des variations temporelles différentes, non corrélables à l'échelle de l'estuaire et aux échelles de temps considérées pour les inondations. Le détail de cette démonstration figure dans le rapport d'objectif A [ARTELIA & GIPSA, 2013a].

L'analyse des surcotes a dans un premier temps montré l'existence d'une relation affine entre la surcote et l'écart entre la pression atmosphérique moyenne (1013hPa) et la pression au moment de la surcote [Figure 9].

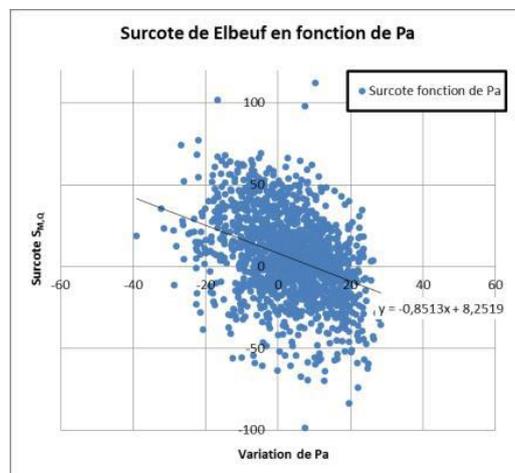


Figure 9: Relation entre la surcote à Elbeuf et l'écart à la pression atmosphérique moyenne.

Les variations de la pression atmosphérique n'expliquant qu'une partie de la surcote, la part restante de cette dernière a ensuite été analysée au regard des chroniques de vent. La relation entre cette surcote restante (surcote – part due à la pression atmosphérique) et le vent est de type polynomiale [Figure 10A]. Ces calculs statistiques ont été confirmés par l'utilisation du modèle développé dans l'objectif C de l'étude. L'objectif initial de ces simulations était d'étudier l'influence de la direction du vent sur les surcotes. Il en ressort qu'elles sont maximales pour les vents d'ouest et que l'influence du vent est la plus forte à Rouen [Figure 10B].

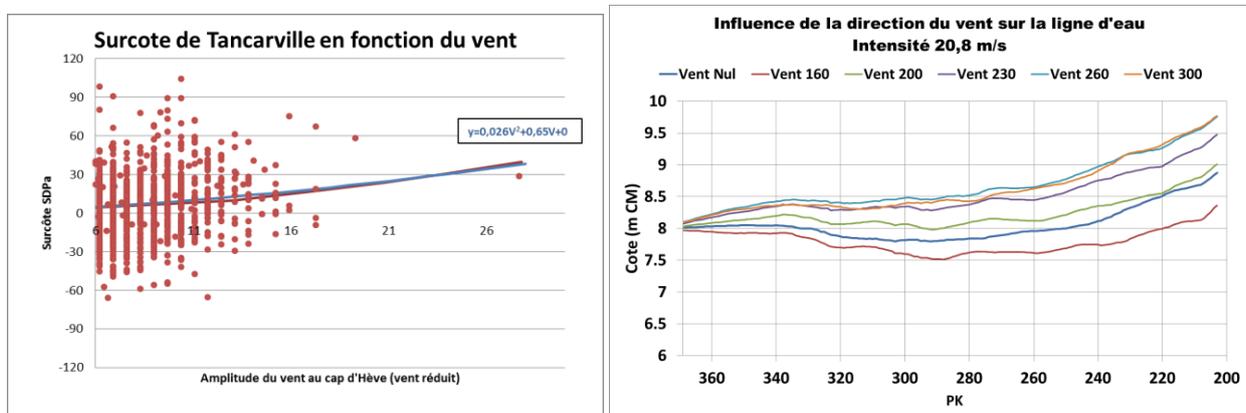


Figure 10 : A) Relation entre surcote (moins la part liée à la pression atmosphérique) et le vent au cap de la Hève ; B) Influence de la direction du vent sur le gonflement de l'estuaire (par modélisation).

Pour le site de Tancarville, cette décomposition à partir des facteurs primaires locaux n'était pas satisfaisante et il s'est avéré nécessaire de considérer un terme supplémentaire représentant l'impact d'une surcote générée à l'échelle de la Manche sur la hauteur d'eau [Figure 10]. Ce terme correspondant à une fonction affine de la surcote observée au Havre, il permet de prendre en compte l'impact d'une surcote de la baie de Seine sur les hauteurs d'eau à Tancarville.

À l'issue de ces calculs, il reste une partie de la surcote qui n'a pas été expliquée par ces décompositions statistiques, ce terme est appelé résidu. Le résidu correspond donc à des phénomènes ou à des interactions entre les forçages estuariens non pris en compte dans le cadre de cette étude. Il suit une loi normale, centrée en zéro, et peut donc être interprété comme l'incertitude liée à la démarche statistique.

L'analyse statistique des niveaux d'eau et les résultats de modélisation du vent ont ainsi permis d'établir des lois donnant la hauteur d'eau en fonction de la marée, du débit, de la pression atmosphérique et du vent. Ces relations ont été calculées en 5 points de l'estuaire: Elbeuf, Rouen, Heurteauville, Tancarville, Balise A :

<b>Elbeuf</b> : $Z = Z_{M,Q} + Z_{Pa} + Z_V + Res$
- $Z_{M,Q}$ : fourni par une analyse des valeurs moyennes par tronçon
- $Z_{Pa} : -0.8513\delta Pa + 8.2519$
- $Z_V = 0.08Va^2 + 0.20Va + 0$ (relation issue de la modélisation du vent)
<b>Rouen</b> : $Z = Z_{M,Q} + Z_{Pa} + Z_V + Res$
- $Z_{M,Q}$ : fourni par une analyse des valeurs moyennes par tronçon
- $Z_{Pa} : -0.8547\delta Pa + 8.71854$
- $Z_V = 0.118Va^2 + 0.34Va + 0$ (relation issue de la mesure du vent)
<b>Heurteauville</b> : $Z = Z_{M,Q} + Z_{Pa} + Z_V + Res$
- $Z_{M,Q}$ : fourni par une analyse des valeurs moyennes par tronçon
- $Z_{Pa} : -1.06\delta Pa + 5.028$
- $Z_V = 0.062Va^2 + 0.9Va + 0$ (relation issue de la mesure du vent)
<b>Tancarville</b> : $Z = Z_{M,Q} + Z_{maritime} + Z_V^{estuarien} + Res$
- $Z_{M,Q}$ : fourni par une analyse des valeurs moyennes par tronçon
- $Z_{maritime} = 1.05Z_{Havre} + 12$
- $Z_V^{estuarien} = 0.026Va^2 + 0.654Va + 0$

L'ensemble de ces calculs statistiques sont développés dans rapport d'objectif A [ARTELIA & GIPSA, 2013a].

L'application de ces lois de comportements statistiques permet de calculer la hauteur d'eau et la surcote générée par un ou plusieurs facteurs primaires de périodes de retour connues. Par exemple, la surcote liée à un différentiel de pression atmosphérique cinquantennal à Heurteauville ( $S_{Pa-50}^{Heurteauville}$ ) est de 67 cm ; le niveau d'eau lié à une combinaison décennale du débit de la Seine et de la marée à Tancarville ( $Z_{M,Q-10}^{Tancarville}$ ) est de 8.59 m [Tableau X].

Tableau X : Niveaux d'eau établis par analyse statistique des facteurs primaires (cm CMH).

Période de retour (années)	Le Havre		Tancarville				Heurteauville				Rouen				Elbeuf			
	Z	S	$Z_{M,Q}$	$S_{Pa}$	$S_V$	Res	$Z_{M,Q}$	$S_{Pa}$	$S_V$	Res	$Z_{M,Q}$	$S_{Pa}$	$S_V$	Res	$Z_{M,Q}$	$S_{Pa}$	$S_V$	Res
1	864	75	848	41	8	60	865	41	12	62	939	38	6	54	975	37	4	64
2	872	84	850	44	10	62	868	44	16	64	941	40	12	56	979	39	8	66
5	883	95	855	51	17	68	876	51	30	72	949	46	32	62	992	45	22	73
10	888	104	859	56	21	72	881	56	39	77	953	50	46	66	1001	49	32	78
20	903	112	862	60	25	77	886	61	46	81	958	54	56	70	1018	53	39	83
50	912	125	866	66	30	82	893	67	56	87	964	58	70	74	1021	58	49	89
100	916	132	870	71	34	86	898	71	64	91	968	62	82	78	1029	61	58	94
200	927	141	873	75	38	90	903	76	72	95	973	66	95	81	1038	65	67	98
500	937	153	877	81	44	95	909	82	85	100	979	71	114	85	1049	70	80	103
1000	946	161	880	85	48	99	914	86	94	108	983	74	129	91	1057	73	91	107

### 3. Combinaisons des forçages

Les lois précédemment décrites permettent de tester la réponse de l'estuaire à différents types de scénarios et ainsi d'avoir une idée des hauteurs d'eau associées à différentes combinaisons de forçages. Ces tests peuvent être faits site par site ou sur l'ensemble des sites étudiés.

Des tests ont ainsi été réalisés pour déterminer la sensibilité de l'estuaire aux facteurs déterminant une surcote. Sachant que les trois facteurs déterminant la surcote sont considérés comme indépendants, la probabilité (P) de la combinaison de ces trois facteurs est égale au produit des probabilités selon la formule suivante :

$$S_{M,Q}(P100)=S_{Pa}(P_i)+S_V(P_j)+Res(P_k) \text{ avec } i,j,k = 100$$

A partir des niveaux décrits par l'analyse statistique précédente [Tableau X], il est possible de définir les différentes conditions (au sens statistique) permettant d'atteindre une combinaison centennale pour la surcote [Figure 11]. L'analyse des combinaisons permet de faire ressortir trois types de conditions dominantes :

- La condition dominante est obtenue en favorisant l'action du vent ( $P(V)=100$ ,  $P(PA)=1$ ,  $P(Res)=1$ ) ;
- Un autre ensemble de conditions dominantes est obtenu en équilibrant l'action du vent avec la pression atmosphérique ou le résidu ( $P(V)=10$ ,  $P(PA)=10$ ,  $P(Res)=1$  ou  $P(V)=10$ ,  $P(PA)=1$ ,  $P(Res)=10$ ) ;
- Un dernier ensemble de conditions dominantes est obtenu en équilibrant l'action des 3 facteurs ( $P(V)=2$ ,  $P(PA)=5$ ,  $P(Res)=10$  ou  $P(V)=5$ ,  $P(PA)=10$ ,  $P(Res)=2$ ).

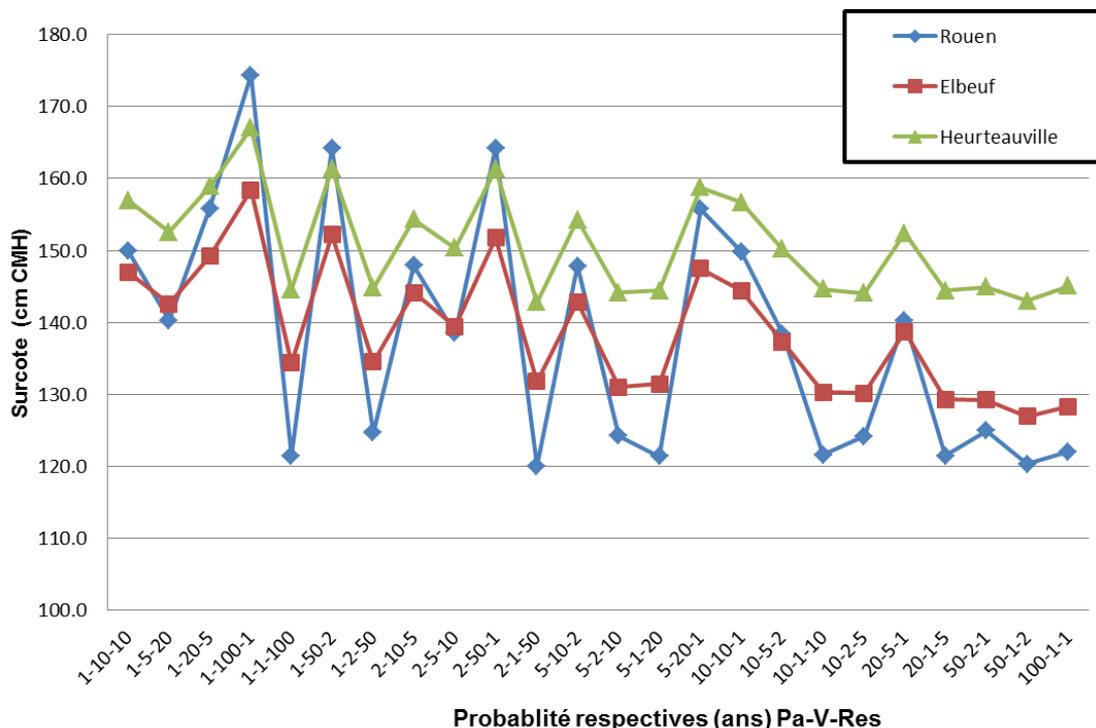


Figure 11 : Combinaisons centennales (pression atmosphérique x vent x résidu) définissant une surcote.

A partir des analyses précédentes, les lignes d'eaux statistiques pour des combinaisons centennales de forçages peuvent être construites en fonction du niveau de base et de la surcote, en considérant 1) la combinaison 'Pression atmosphérique / Vent / Résidu' qui conduit à une surcote de fréquence donnée ; 2) La combinaison 'Marée / Débit' qui correspond à la fréquence complémentaire.

Les lignes d'eau ainsi établies permettent de considérer quatre zones homogènes :

- Au niveau du **Havre**, toutes les combinaisons surcotes/marées conduisent sensiblement aux mêmes types de niveaux observés en centennal, même si les surcotes centennales fournissent les niveaux les plus forts. Ce secteur est d'**influence maritime** ;
- Sur **Tancarville et Heurteauville**, les niveaux centennaux sont clairement atteints par les surcotes centennales. Ce secteur est d'**influence maritime estuarienne** ;
- Sur **Rouen**, les niveaux centennaux sont atteints par les surcotes centennales mais l'écart avec les lignes d'eau centennales des surcotes  $\leq 5$  ans est faible. Cela signifie que la limite de l'influence fluviale dominante se situe à l'amont proche de Rouen. Ce secteur est d'**influence fluvio-maritime** ;
- Les niveaux maximaux à **Elbeuf** sont atteints par les surcotes les plus faibles, donc les débits les plus forts. Ce secteur à l'amont de Rouen est donc dans un **régime fluvial dominant**.

### III. Identification des enjeux soumis au risque inondation

Ce chapitre reprend les principaux enjeux identifiés comme soumis à un risque potentiel d'inondation. Les résultats détaillés sont présentés dans le rapport d'objectif B [ARTELIA & GIPSA, 2013b].

Les principaux enjeux soumis au risque inondations le long de l'estuaire de la Seine sont de différentes sortes :

- Les **enjeux humains**, regroupant toutes les zones urbaines proches de la Seine (Rouen et son agglomération, Le Havre et son agglomération, boucle d'Elbeuf, Duclair, Caudebec, Villequier ...) et les fonds de vallées urbanisées ;
- Les **enjeux industriels et économiques** au niveau de la zone industrialo-portuaire du Havre, de Rouen et de la zone industrielle de Port Jérôme ;
- Les **enjeux de biodiversité** avec les zones présentant une richesse écologique ;
- Les **enjeux de mobilité** avec les routes départementales riveraines du fleuve.

A partir de la ligne d'eau de période de retour centennale définie de manière théorique par analyse statistique des données, une identification des zones de débordement potentiel et des enjeux associés a été menée entre Poses et Tancarville [Tableau XI]. Cette analyse montre les enjeux présents en zone basse de la Seine pour une ligne d'eau centennale théorique, en considérant une défaillance de la totalité des protections (i.e. non prise en compte des murets de protection contre les inondations). Ces éléments sont à considérer comme une première approche globale qui ne doit pas être dissociée 1) de résolution géographique considérée (à l'échelle des sous-modèles [Figure 17]) ; 2) de l'absence d'une cartographie précise des zones inondées (seule la ligne d'eau dans le lit mineur de la Seine est considérée) ; 3) de l'absence de connaissance précise des mécanismes locaux d'inondation (entrée par remous de la Seine dans ses affluents, rôle des ouvrages linéaires de type route ou voie ferrée, occurrence de brèche avant surverse en raison de fragilités structurelles,...).

Tableau XI : Exposition des enjeux en bord de Seine à la ligne d'eau centennale.

Rive gauche				Rive droite			
N°	Secteur endigué	Limites en PK	Événement : Ligne d'eau théorique - 100 ans	N°	Secteur endigué	Limites en PK	Événement : Ligne d'eau théorique - 100 ans
1	Boucle de Criquebeuf-sur-Seine	205 à 217	Risques de débordement généralisé – zones industrielles et commerciales à l'aval légèrement surélevées. Inondation des zones naturelles et agricoles entre Seine et Eure (+ 1 entreprise isolée en zone basse)	11	Boucle d'Igovieille	205 à 211	Risques de débordement généralisé – Partie basse des zones urbaines d'Igovieille et Sotteville-sous-le-Val, zone industrielle (+ station d'épuration), terrains agricoles
2	Boucle d'Oissel	222 à 229	Risques de débordement généralisé – Terrains et bâtiments agricoles, quelques habitations en zone basse	12	Boucle de Saint Aubin Les Elbeuf	211 à 231	Risques de débordement généralisé – Lotissement de Freneuse, partie basse de l'agglomération de Saint Aubin les Elbeuf (zone urbaine, zone industrielle, station d'épuration), Bas Cléon, Bédanne, zone commerciale de Tourville-la-Rivière, terrains agricoles
3	Boucle de St-Etienne-du-Rouvray	230 à 242	Risques de débordement – Inondation des secteurs de La Maladrerie, du Vieux Clos, de la zone industrielle du Jonquet, et de la partie basse de St Sever.	13	Secteur du Port St-Ouen	232 à 233	Risques de débordement généralisé – Zone urbaine et activités agricoles
4	Boucle de Quevilly	243 à 253	Risques de débordement – Certaines zones industrielles surélevées de peu par rapport à la crue centennale, zones urbaines du Bourg et de Bois Cany au Grand Quevilly et de la rue Racine au Petit Quevilly à risque d'inondation, zones industrielles et commerciales face à Dieppedalle concernées, gare de Rouen-Orléans submergée	14	Boucle d'Amfreville-la-Milvoie	235 à 240	Risques de débordement généralisé – Zone urbaine et zone industrielle (Amfreville et Bonsecours)
5	Boucle de Grand Couronne	254 à 260	Risques de débordement (surverse dans la partie aval, à la Bouille et à hauteur de Moulineaux) – les zones industrielles sont de peu au-dessus de la ligne d'eau, certaines habitations en pied de coteaux pourraient être inondées	15	Boucle de Rouen	241 à 247	Risques de débordement (zone amont – hôpital - protégée, mais risque de remous à partir du secteur St Eloi) – Agglomération de Rouen (zone urbaine, zone industrielle, zone commerciale, zone portuaire)
6	Boucle de Beaulieu	265 à 271	Risques de débordement généralisé – Terrains et bâtiments agricoles, quelques habitations en zone basse	16	Boucle de Sahurs	251 à 275	Risques de débordement généralisé – Terrains agricoles, habitat diffus en bords de Seine entre Hautot-sur-Seine et Hénouville, zone industrielle et zone urbaine de Val-de-la-Haye à l'amont
7	Boucle d'Anneville-Ambourville	272 à 288	Risques de débordement généralisé – Habitats diffus et hameaux en bord de Seine, terrains et bâtiments agricoles	17	Secteur de Duclair	278 à 280	Risques de débordement généralisé – Agglomération de Duclair (station d'épuration, maison de retraite), partie basse de Saint-Paul
8	Boucle du marais de la Harelle	295 à 303	Risques de débordement généralisé – Ville de La Mailleye-sur-Seine (toute la partie basse), zones d'habitats de la Douillière, Heurteauville, Port Jumièges, zones agricoles	18	Boucle de Jumièges	284 à 297	Risques de débordement généralisé – Conihout du Mesnil et de Jumièges, parties basses du Mesnil sous Jumièges et de Jumièges, marais
9	Boucle de St-Nicolas-de-Bliquetuit	303 à 319	Risques de débordement généralisé – Terrains et bâtiments agricoles, marais, quelques habitations en zone basse à Vatteville-la-Rue, Port Caudebec, Frevaux, Notre-Dame de Bliquetuit	19	Boucle du Trait	300 à 308	Risques de débordement généralisé - Agglomération de Le Trait (zone urbaine, zone industrielle, commerces) jusqu'à Caudebecquet
10	Boucle de Quillebeuf-sur-Seine	330 à 342	Risques de débordement généralisé – Terrains et bâtiments agricoles, marais, quelques habitations en zone basse à Quillebeuf-sur-Seine et St-Aubin-sur-Quillebeuf	20	Boucle de Caudebec	308 à 314	Risques de débordement – Partie basse de l'agglomération de Caudebec (zone urbaine, zone industrielle, commerces, maison de retraite)
22	Ile Lacroix	241 à 242	Risques de débordement généralisé - Equipements publics (patinoire, école, halte de plaisance,...), logements.	21	Boucle de Notre-Dame-de-Gravenchon	314 à 338	Risques de débordement généralisé - Zones industrielles Notre Dame de Gravenchon, Lillebonne, Saint Jean de Folleville, zones agricoles

## IV. Modèle hydraulique

Ce chapitre présente le modèle hydraulique développé dans le cadre de l'étude. La présentation du logiciel de calcul, les hypothèses de construction et les résultats complets de calage sont présentés dans le rapport d'objectif C [ARTELIA & GIPSA, 2013c].

Le modèle développé représente les **niveaux d'eau dans le lit mineur de la Seine** à l'aval de Poses et les échanges en débit et en volume entre lit mineur et lit majeur. En revanche, ce modèle, en l'état, n'est pas conçu pour cartographier précisément les zones inondables du lit majeur.

Le système de modélisation utilisé est le logiciel TELEMAC-2D [EDF R&D], apte à simuler et à étudier de manière détaillée les courants et les niveaux induits par la marée, les débits des rivières, les vents, ... ; auquel s'ajoute un outil-modèle spécifique [ARTELIA] développé pour la prise en compte des digues et des infrastructures en remblai. Ce dernier permet de prendre en compte de manière très opérationnel et avec grande précision les digues et remblais, séparant entre autre lit mineur/lit majeur, indépendamment de la résolution du maillage avoisinant. L'emprise globale du modèle reprend le lit mineur et le lit majeur de l'estuaire de la Seine [Figure 17], mobilise les données de topographie et bathymétrie les plus récentes [Tableau XII] et intègre les murets de type 'anti-inondation' dont la localisation et l'altimétrie ont fait l'objet d'un inventaire spécifique [Figure 12 ; GIPSA, 2013]. En lit mineur, le maillage a été optimisé en définissant des sections équivalentes, afin de réduire les temps de calculs. Avec cette méthode, la bathymétrie réelle n'est pas projetée directement sur le maillage. Les sections de la Seine ont pour cela été simplifiées selon deux critères : *i*) respect de la cote du thalweg ; *ii*) respect des sections moyennes sous la cote du niveau de mi-marée. Ces simplifications permettent de réduire le nombre de mailles nécessaires pour représenter le lit mineur car les sections obtenues sont hydrauliquement comparables à la réalité (à l'échelle de notre modèle). Le modèle n'ayant pas vocation à calculer des écoulements dans le lit majeur, les mailles y sont plus larges (entre 150m et 500m), [Figure 13].

Tableau XII : Données mobilisées pour la construction du modèle.

Paramètre	Lieu	Acquisition	Source
Bathymétrie	Embouchure Seine	2011	GPMR
	Rouen – Tancarville	2008	GPMR
	Poses – Rouen (chenal)	2005	GIPSA & GPMR
	Poses – Rouen (bras secondaires)	2011	DREAL
Topographie	Lit majeur (aval de Poses)	2010-2011	GIPSA
	Lit majeur (amont de Poses)	2011	DREAL
Murets anti-inondation	Poses - Tancarville	2010	GIPSA

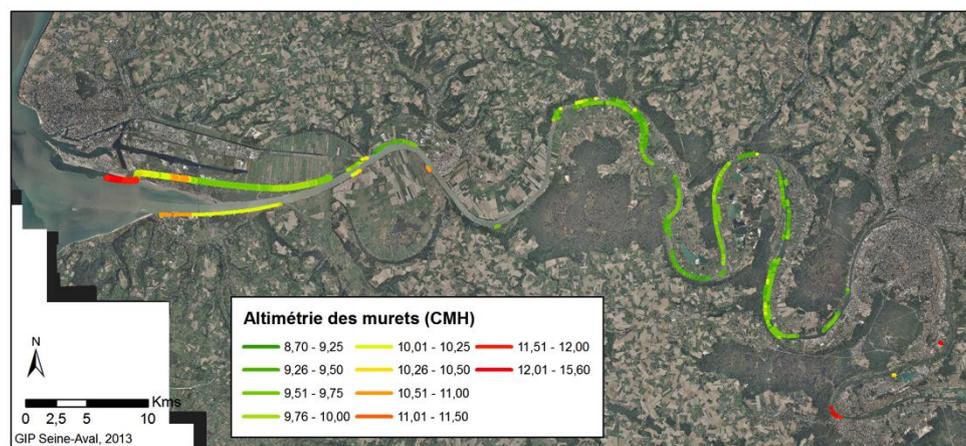


Figure 12 : Localisation et altimétrie des murets anti-inondation identifiés le long de l'estuaire de la Seine.

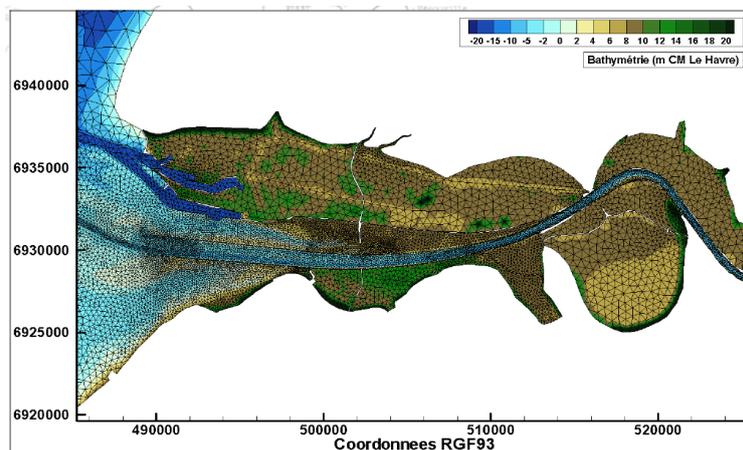


Figure 13 : Bathy-topographie et maillage du modèle à l'embouchure de la Seine.

À l'amont le modèle est **forcé par le débit** de la Seine à Poses et par celui de l'Eure à Louviers. Les forçages météorologiques sont le **vent** évoluant le long de l'estuaire et basé sur la station du cap de la Hève (intensité et direction) et un **gradient de pression atmosphérique** entre Le Havre et Rouen. À l'aval, le modèle est forcé en chaque maille par le **signal de marée** issu d'un modèle de grande emprise de la Manche [ARTELIA].

Le **modèle a été calé sur 6 évènements récents** [Tableau XIII], 3 évènements de type 'crue' : 01/02/1995, 28/03/2001 ; 11/02/2013 ; et 3 évènements de type 'tempête' : 10/03/2008, 21/03/2008, 11/02/2013. Pour ces 6 évènements de calage, les résultats du modèle sont comparés aux données des marégraphes pour la courbe de marée et le niveau maximal atteint. Des indices sont également présentés, permettant d'affiner l'analyse [Figure 14 ; Figure 15]. Pour ces 6 évènements, le modèle reproduit de façon très satisfaisante la propagation de la marée de l'aval et vers l'amont (déformation du signal de marée), le phasage de la marée (instants de pleine mer et basse mer) et les niveaux d'eau atteints (<10cm sur 19 marégraphes) sur les 160 Km séparant le barrage de Poses de l'embouchure de la Seine.

Tableau XIII : Caractéristiques des évènements de calage.

Paramètre	Evènement de calage					
	Crue			Tempête		
	1 <sup>er</sup> février 1995	28 mars 2001	11 février 2013	10 mars 2008	21 mars 2008	11 février 2013
Débit à Poses ( $m^3/s$ )	2080	2280	1600	579	929	800
Coeff. de marée	104	89	106	106	105	102
Vent max au cap de la Hève ( $km/h$ )	65	54	20	95	72	50
Direction du vent au cap de la Hève	Sud-ouest	Sud-sud- ouest	Nord-nord- ouest	Sud- ouest	Ouest	Ouest-nord- ouest
Niveau d'eau maximal à Rouen ( $m$ CMH)	9.69	9.60	9.38	9.12	9.17	9.33
Niveau d'eau maximal au Havre ( $m$ CMH)	8.50	7.98	8.39	8.80	8.35	ND

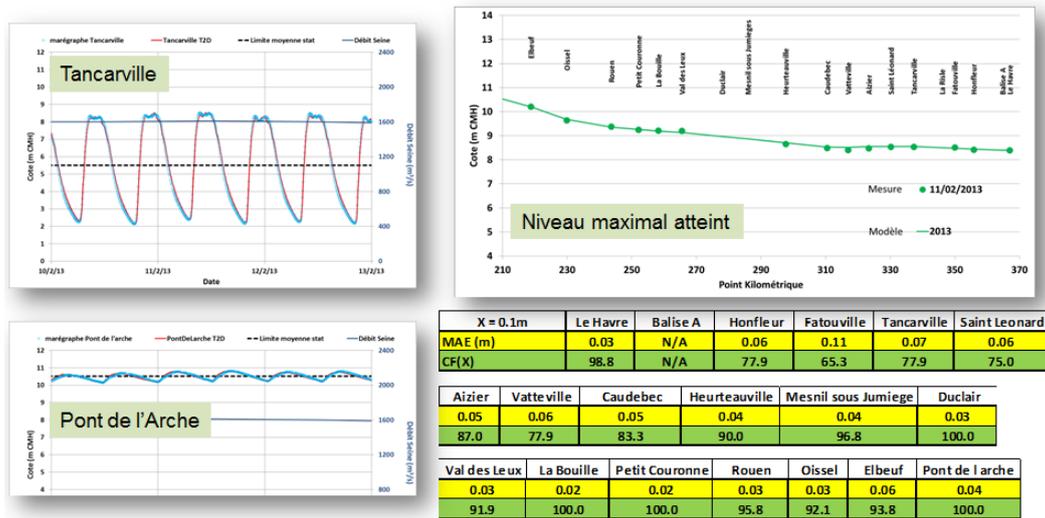


Figure 14 : Exemple de calage pour la crue de février 2013.

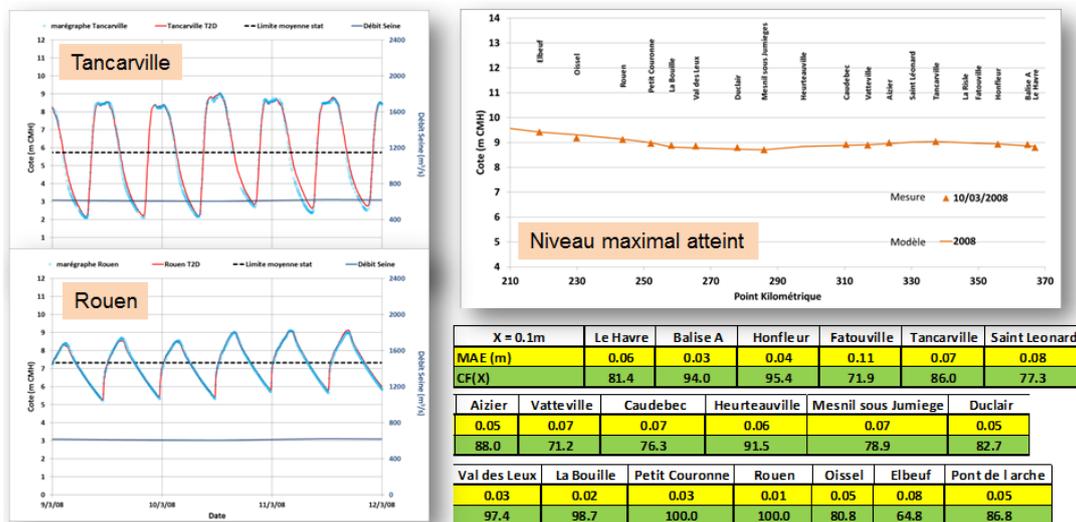


Figure 15 : Exemple de calage pour la tempête du 10 mars 2008

Au vu des résultats et pour les conditions testées, **le modèle est considéré comme calé et validé sur l'ensemble de l'estuaire**. La représentativité des écoulements est bonne pour des événements extrêmes (crues, tempêtes...) et prend en compte les échanges entre le lit mineur et le lit majeur. **Le modèle est apte à simuler différentes conditions d'exploitation dans les limites de conditions d'utilisation** : 1) le modèle n'est pas adapté pour l'étude des lignes d'étiages ; 2) le modèle n'est pas développé pour simuler les écoulements dans le lit majeur et les résultats ne peuvent pas être utilisés tels quels pour cartographier l'emprise des zones inondables 3) la méthode d'imposition du vent est telle que, lors d'épisodes de vent d'ouest importants couplés à une forte surcote maritime, les niveaux d'eau en amont peuvent être légèrement surestimés ; 4) la modélisation mise en œuvre considère que le fond du lit est fixe (pas de modifications morphologiques liées à un transport de matériaux par les courants) ; 5) les écoulements sont considérés libres et les mises en charge au droit d'un ouvrage ne sont pas pris en compte.

## V. Définition des scénarios

Ce chapitre présente le processus de concertation mis en place pour définir les scénarios à modéliser, ainsi que ces derniers. La procédure complète est présentée dans le rapport d'objectif B [ARTELIA & GIPSA, 2013b].

Afin de partager un ensemble de scénarios cohérents à l'échelle de l'estuaire de la Seine, une concertation des principaux acteurs intervenant sur la zone d'étude et s'intéressant aux inondations (gestion des ouvrages de protection, prévision des crues, gestion de crise,...) a été menée. Ce processus avait pour objet de présenter le travail déjà effectué, de récolter les attentes de chacun par rapport à la problématique des inondations, ainsi que les avis sur des propositions de scénarios pour prioriser ceux à modéliser. Il a pris la forme d'un questionnaire et d'échanges bilatéraux et a concerné des collectivités, des établissements publics, des services de l'Etat et les Grands Ports Maritimes. Les scénarios soumis à la concertation couvraient trois familles :

- Des scénarios en **conditions actuelles**, avec des événements maritimes, fluvio-maritimes et fluviaux qui couvraient des secteurs d'influence différents et de période de retour variable.
- Des scénarios prenant en compte une **élévation du niveau marin** plus ou moins importante.
- Des scénarios avec différents **aménagements de protection contre les inondations**.

Cette concertation a permis d'établir les problématiques par rapport aux inondations et les attentes de chaque partenaire ; ces dernières étant différentes selon le rôle de la structure (gestion de crise, gestion des ouvrages de protection, prévision,...) et propres à la zone d'intervention de chacun et aux zones à enjeux. Cependant, des axes communs de réflexion ressortent tout de même de l'analyse des questionnaires. **Posséder un référentiel commun en termes d'inondation** apparaît comme un élément essentiel pour la plupart des acteurs de l'estuaire de la Seine. Ces derniers souhaitent parler le même « langage » et travailler sur des événements communs. L'une des attentes est d'obtenir des **cotes de niveaux d'eau de référence avec leur période de retour associée**. Certains partenaires ont la démarche suivante : peu importe les paramètres (débit, marée, surcote) imposés, l'important est d'avoir la caractérisation de la ligne d'eau le long de l'estuaire avec sa période de retour. Etablir les **zones de débordement** pour des événements précis apparaît également comme un point important sans se substituer au travail de cartographie des zones potentiellement inondées de la responsabilité de l'Etat. Enfin des besoins propres à chaque partenaire ont été précisés (études de danger inondation de digue, études de vulnérabilité, prévision à court terme, aménagement de l'éco quartier Flaubert, niveaux de protection de certaines digues...).

A l'issue de la concertation, un ensemble de scénarios a été retenu [Tableau XIV]. Les quatre premiers scénarios sont théoriques et se basent sur des périodes de retour associées aux forçages (débit, marée, surcote) permettant la construction d'un scénario maritime (SC1), d'un scénario fluvio-maritime (SC2) et de deux scénarios combinant une typologie fluviale et maritime (SC3 et SC4). Pour les 3 premiers scénarios, l'élévation du niveau marin n'est pas considérée et les murets de protection contre les inondations sont conservés. Pour le quatrième, une élévation du niveau marin de +60 cm sera considérée et les murets de protection contre les inondations seront « effacés ». Les deux derniers scénarios se basent sur les conditions hydro-climatiques d'inondations historiques (tempête de décembre 1999 pour le SC5 et crue de janvier 1910 pour le SC6) et considèrent une élévation du niveau marin de +60 cm et un « effacement » des murets de protection contre les inondations.

Tableau XIV : Scénarios retenus suite au processus de concertation.

Scénario			Conditions				
N°	Typologie	Evenement	Débit (Tps de retour)	Marée (Coeff.)	Surcote (Tps de retour)	Niveau marin (Elévation)	Murets (Présence)
SC1	Maritime	Théorique	1 (1450 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 106 : 8,12m)	100 (1,32m)	0	oui
SC2	Fluvio-maritime	Théorique	10 (2230 m <sup>3</sup> /s à Poses)	moyen/fort (coeff. 95 : 7,81m)	10 (1,04m)	0	oui
SC3	Fluviale + Maritime	Théorique	100 (2623 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 116 : 8,18m)	100 (1,32m)	0	oui
SC4	Fluviale + Maritime	Théorique	100 (2623 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 116 : 8,18m)	20 (1,12m)	0	non
SC4_CC	Fluviale + Maritime	Théorique	100 (2623 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 116 : 8,18m)	20 (1,12m)	+60cm	non
SC5	Fluvio-maritime	Conditions tempête 25/12/1999	1 (1407 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 106 : 8,12m)	2 (0,72m)	0	non
SC5_CC	Fluvio-maritime	Conditions tempête 25/12/1999	1 (1407 m <sup>3</sup> /s à Poses)	fort (coeff. 106 : 8,12m)	2 (0,72m)	+60cm	non
SC6	Fluviale	Conditions crue 29/01/1910	>100 (3000m <sup>3</sup> /S à Poses)	moyen (coeff. 78 : 7,55m)	(0m)	0	non
SC6_CC	Fluviale	Conditions crue 29/01/1910	>100 (3000m <sup>3</sup> /S à Poses)	moyen (coeff. 78 : 7,55m)	(0m)	+60cm	non

## VI. Exploitation du modèle

Ce chapitre présente les principaux résultats issus de la modélisation des scénarios retenus. Les chroniques d'entrée du modèle, les résultats complets (niveau d'eau en fonction du temps, ligne d'eau maximale, volumes transitant entre lit mineur et lit majeur) et leur discussion sont présentés pour chaque scénario dans le rapport d'objectif D [ARTELIA & GIPSA, 2014].

### A. Données d'entrée

Les données d'entrée pour la modélisation sont :

- Une chronique de débit de la Seine imposée à la frontière amont (Saint Pierre-du-Vauvray) ainsi que la chronique de débit correspondante pour l'Eure ;
- La prédiction de marée, issue du modèle de grande emprise de la Manche, imposée le long de la frontière maritime ;
- Une chronique de vent imposée sur l'ensemble du modèle afin de générer une surcote. Comme pour la phase de calage, le vent est propagé de façon décroissante depuis l'aval jusqu'à l'amont de l'estuaire pendant toute la simulation ;
- L'ajout éventuel d'un « résidu maritime » aux nœuds de la frontière aval uniquement sur la marée étudiée, en vue d'obtenir une surcote donnée au Havre (si le vent imposé n'est pas suffisant).
- Pour les scénarios avec changement climatique (CC), élévation du niveau marin (+ 60cm) à la condition aval du modèle pour tous les pas de temps ;
- La prise en compte (ou non) des murets de protection contre les inondations.

Un exemple de données d'entrée du modèle est présentée pour le scénario 1 (débit annuel de la Seine de 1450 m<sup>3</sup>/s ; coefficient de marée de 106 ; propagation d'un vent centennal avec un pic à 25.6m/s et ajout d'un résidu maritime pour atteindre une surcote centennale au Havre de 1.32m ; pas d'élévation du niveau marin ; conservation des murets de protection contre les inondations). Les maxima de chaque chronique d'entrée sont concomitants au Havre (surcote à la pleine mer le jour du débit maximal) [Figure 16].

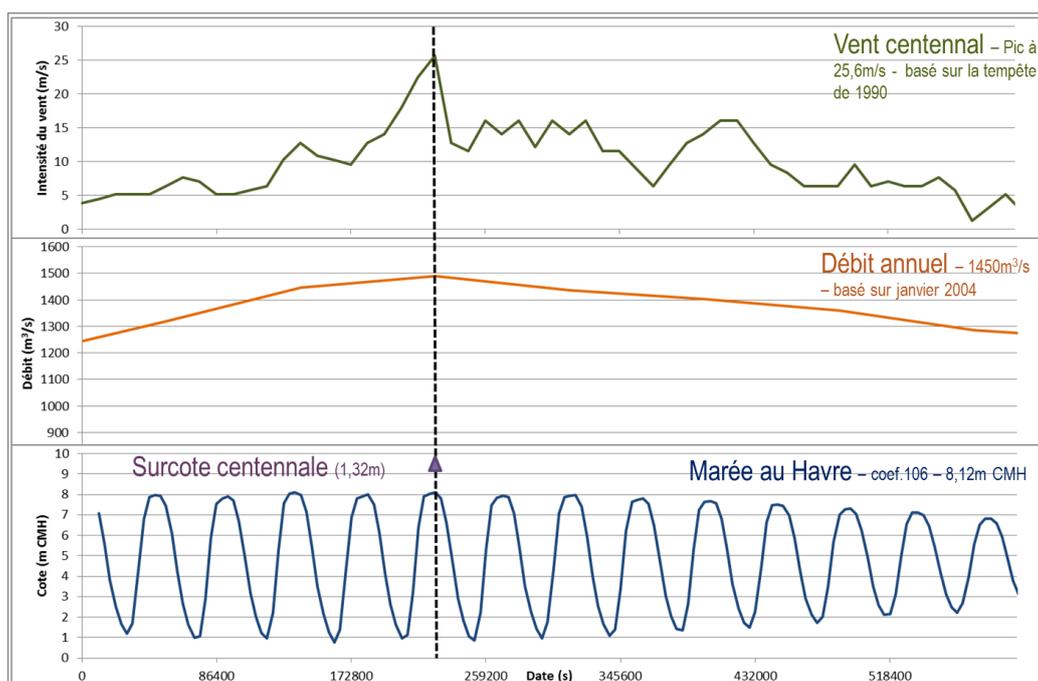


Figure 16 : Chroniques d'entrée du modèle pour le scénario 1.

## B. Résultats produits

Pour chaque scénario, quatre types de résultats sont produits [Figure 17] :

- L'évolution temporelle du niveau d'eau (i.e. marégramme) en 23 'points sonde' répartis tout au long de l'estuaire ;
- La ligne d'eau présentant les niveaux d'eau maximaux sur l'évènement simulé le long de l'estuaire (de Poses à la balise A) et entre Tancarville et Port 2000 ;
- Les volumes échangés entre le lit mineur et le lit majeur (entrée et sortie) durant l'évènement, à l'échelle du kilomètre ;
- Une identification des zones de débordement à l'échelle du sous modèle.

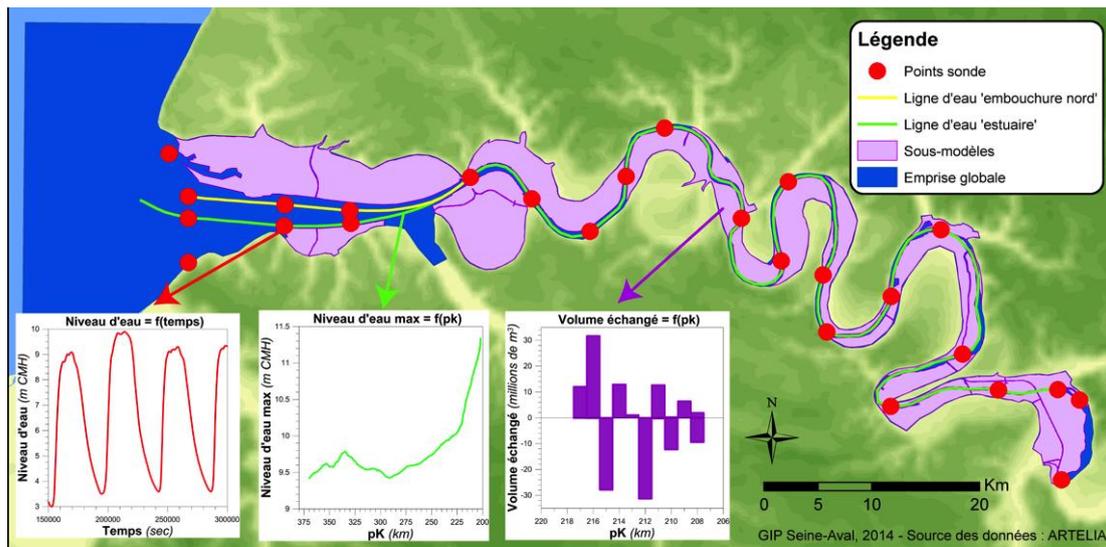


Figure 17 : Emprise du modèle et sorties des résultats.

## C. Comparaison des scénarios

L'analyse des lignes d'eau maximales pour chaque scénario [Figure 18 ; Figure 19] permet de retrouver les caractéristiques de chaque type d'évènement, à savoir :

- Une ligne d'eau qui décroît de l'amont vers l'aval avec une pente très marquée à l'amont, signe d'un évènement engendré par une crue et qui impacte les niveaux amont, pour le scénario 6 (évènement fluvial) ;
- Un évènement de type maritime (scénario 1) engendré par le vent et une forte marée qui a un impact plutôt sur les niveaux à l'aval de l'estuaire (point d'inflexion entre Mesnil-sous-Jumièges et Heurteville) avec gonflement de la ligne d'eau aux alentours de Tancarville ;
- Des évènements de type fluvio-maritime (scénario 2, 3, 4 et 5), liés à un débit important et à une tempête (vent, forte marée), qui impactent tout l'estuaire avec des niveaux plus faibles à l'amont de Rouen qu'un évènement fluvial et des niveaux plus faibles à l'aval globalement qu'un évènement maritime. Selon l'occurrence d'apparition des forçages en entrée et donc leur intensité (débit centennal, décennal, annuel – forte ou faible marée – surcote annuelle, décennale, centennale), le point d'inflexion de la ligne d'eau évolue spatialement (entre Mesnil-sous-Jumièges et Caudebec-en-Caux). La non prise en compte des murets modifie également la dynamique des écoulements et donc la ligne d'eau (scénario 5). De même, l'élévation du niveau marin de +60 cm à l'entrée de l'estuaire induit une augmentation des niveaux d'eau qui décroît de l'aval vers l'amont, où la différence entre les 2 scénarios (avec et sans élévation du niveau marin) devient faible. La dynamique des écoulements est également modifiée.

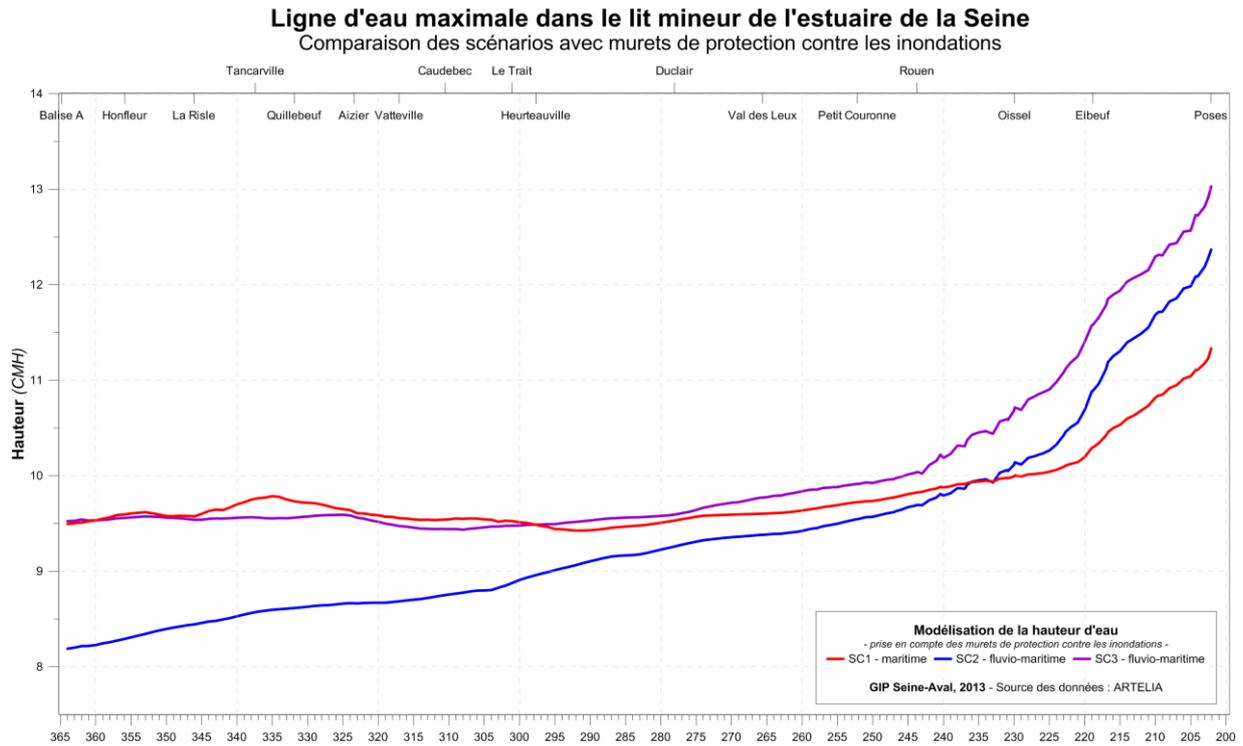


Figure 18 : Ligne d'eau maximale pour les scénarios SC1, SC2 et SC3.

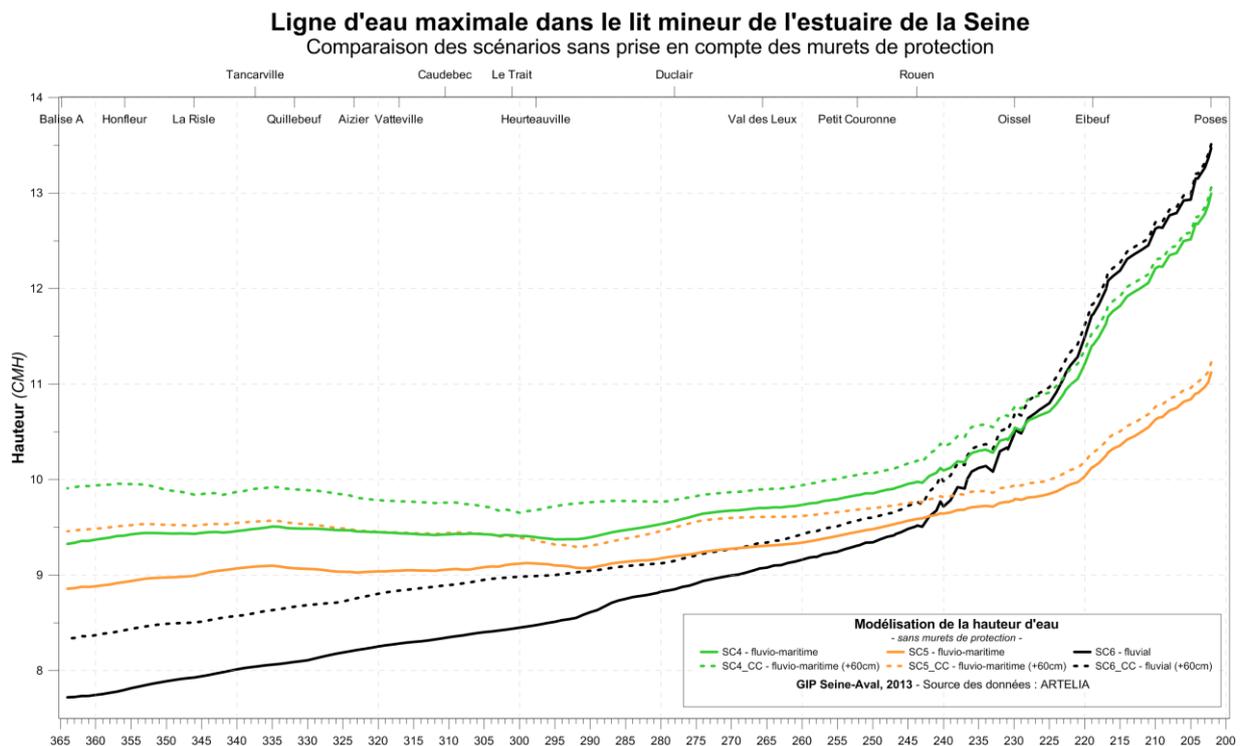


Figure 19 : Ligne d'eau maximale pour les scénarios SC4, SC5 et SC6.

Il est intéressant de noter qu'une combinaison de forçage ayant une période de retour élevée (débit et surcote d'occurrence centennale) n'engendre pas des niveaux extrêmes de période de retour millénale mais des niveaux compris entre les niveaux décennaux et centennaux suivant la zone de l'estuaire (amont, aval ou milieu de l'estuaire). De même, une combinaison des forçages décennaux (débit et surcote) engendre des niveaux inférieurs au niveau d'eau centennial. Une surcote centennale associée à un débit annuel (scénario maritime) induit des niveaux centennaux uniquement à l'aval de l'estuaire alors qu'un scénario fluvial (pas de surcote et débit > 100ans) engendre des niveaux supérieurs au niveau centennial uniquement à l'amont de l'estuaire (amont de Rouen) [Tableau XV].

Tableau XV : Niveaux d'eau maximums (m CMH) associés aux scénarios.

Scénario	Débit (tps de retour)	Coeff. de marée	Surcote (tps de retour)	Élévation niveau marin (cm)	Murets (présence)	Niveau d'eau (m CMH)				
						Balise A	Tancarville	Heurteauville	Rouen	Elbeuf
SC1 maritime	1	106	100	0	Oui	9.50	9.76	9.48	9.93	10.30
SC2 fluvio-maritime	10	95	10	0	Oui	8.19	8.57	8.96	9.70	10.89
SC3 fluvial + maritime	100	116	100	0	Oui	9.52	9.56	9.49	10.04	11.58
SC4 fluvial + maritime	100	116	20	0	Non	9.32	9.48	9.40	9.98	11.41
SC4_CC fluvial + maritime	100	116	20	+60	Non	9.91	9.90	9.68	10.20	11.54
SC5 fluvio-maritime	1	106	2	0	Non	8.86	9.09	9.12	9.59	10.13
SC5_CC fluvio-maritime	1	106	2	+60	Non	9.46	9.56	9.36	9.77	10.29
SC6 fluvial	>100	78	/	0	Non	7.72	8.05	8.48	9.52	11.73
SC6_CC fluvial	>100	78	/	+60	Non	8.34	8.61	8.99	9.77	11.84

Concernant les zones de débordement [Figure 20], la boucle de Sahurs est impactée pour tous les scénarios. L'amont de l'estuaire (boucle d'Igoville, de Saint Aubin-les-Elbeuf, de Criquebeuf-sur-Seine, d'Oissel et de Saint Etienne-du-Rouvray) est impacté pour tous les scénarios où le débit est d'occurrence décennale et centennale (scénarios 2, 3, 4, 6) avec des volumes de débordement, qui augmentent avec le débit. Des zones de débordement apparaissent également dans la boucle du Trait pour tous les scénarios. A l'exception des scénarios 2 (surcote décennale, marée moyenne) et 6 (fluvial), la boucle de Notre-Dame-de-Gravenchon et la zone du Marais Vernier sont touchées par des débordements mais de moindres volumes. Le scénario 4 génère le plus de zones de débordements ; elles sont présentes sur la plupart du linéaire de la Seine avec des volumes non négligeables. Le scénario 6 est le plus impactant sur la partie amont de l'estuaire (amont du pK 230 avec des volumes transitant importants) [Figure 21].

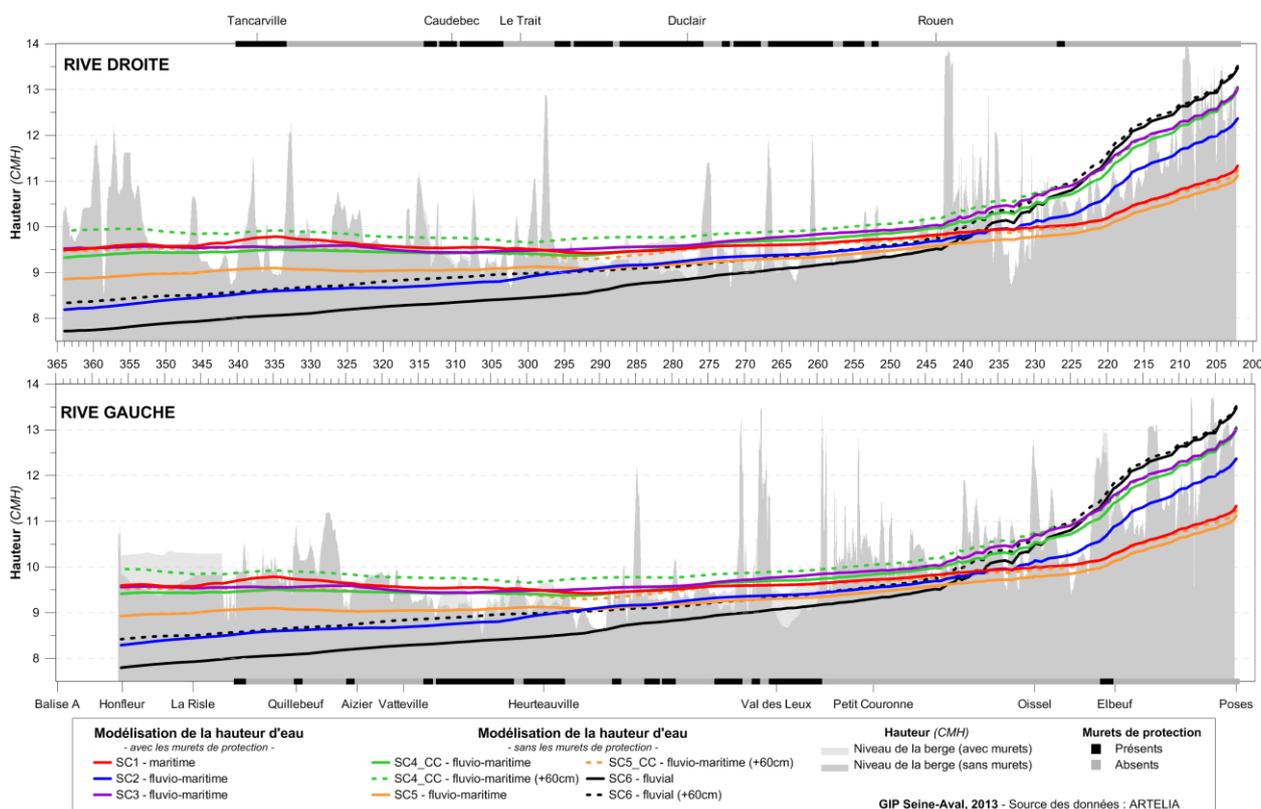
 Ligne d'eau maximale dans le lit mineur de l'estuaire de la Seine  
 Comparaison des scénarios


Figure 20 : Ligne d'eau maximale et niveau des berges.

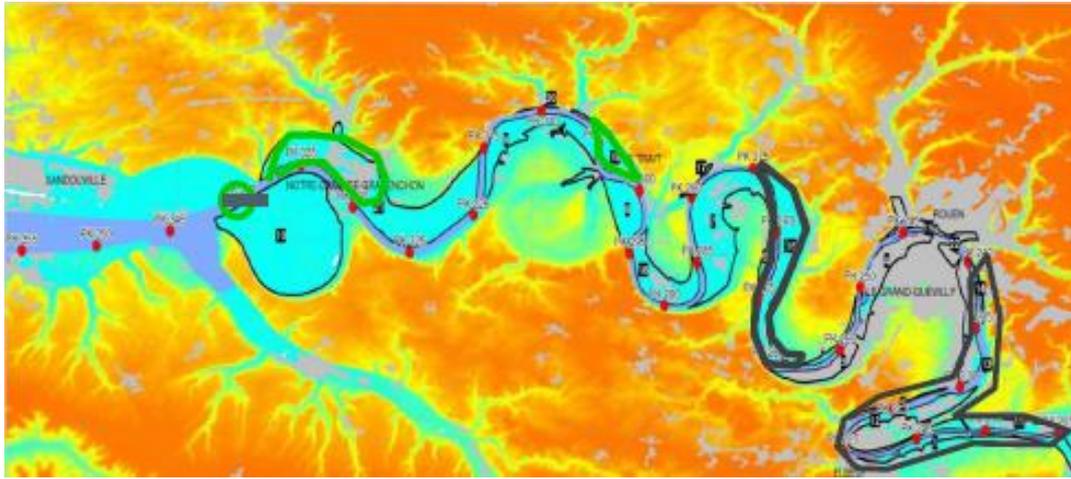


Figure 21 : Localisation des principales zones de débordement (en gris les zones les plus touchées en terme de fréquence des débordements ou de volumes mis en jeu – en vert, les zones touchées moins fréquemment ou par des volumes moins importants)

L'analyse d'un scénario par la simple comparaison du niveau d'eau maximum atteint et du niveau des berges n'apporte cependant qu'une information partielle et n'est pas suffisant pour caractériser une inondation. En effet, l'aspect temporel de l'inondation est un facteur primordial à considérer, avec un temps de débordement (et donc un volume d'eau) pouvant être plus ou moins important selon les forçages à l'œuvre et le secteur de l'estuaire considéré [Figure 22]. Globalement, le niveau d'eau est d'autant plus stable que l'on se trouve à l'amont de l'estuaire et que le débit de la Seine est fort, engendrant des débordements pouvant durer dans le temps (SC6 à Elbeuf par exemple). Les débordements liés à une tempête (surcote) et un fort coefficient de marée (secteur aval de l'estuaire) seront plus brefs et liés à la durée de tenue du plein (SC3 à la Balise A par exemple). Associée à cette information de niveau et de durée de débordement, les volumes d'eau échangés entre le lit mineur et le lit majeur pourront être mobilisés par la suite pour caractériser le plus finement possible les différents scénarios.

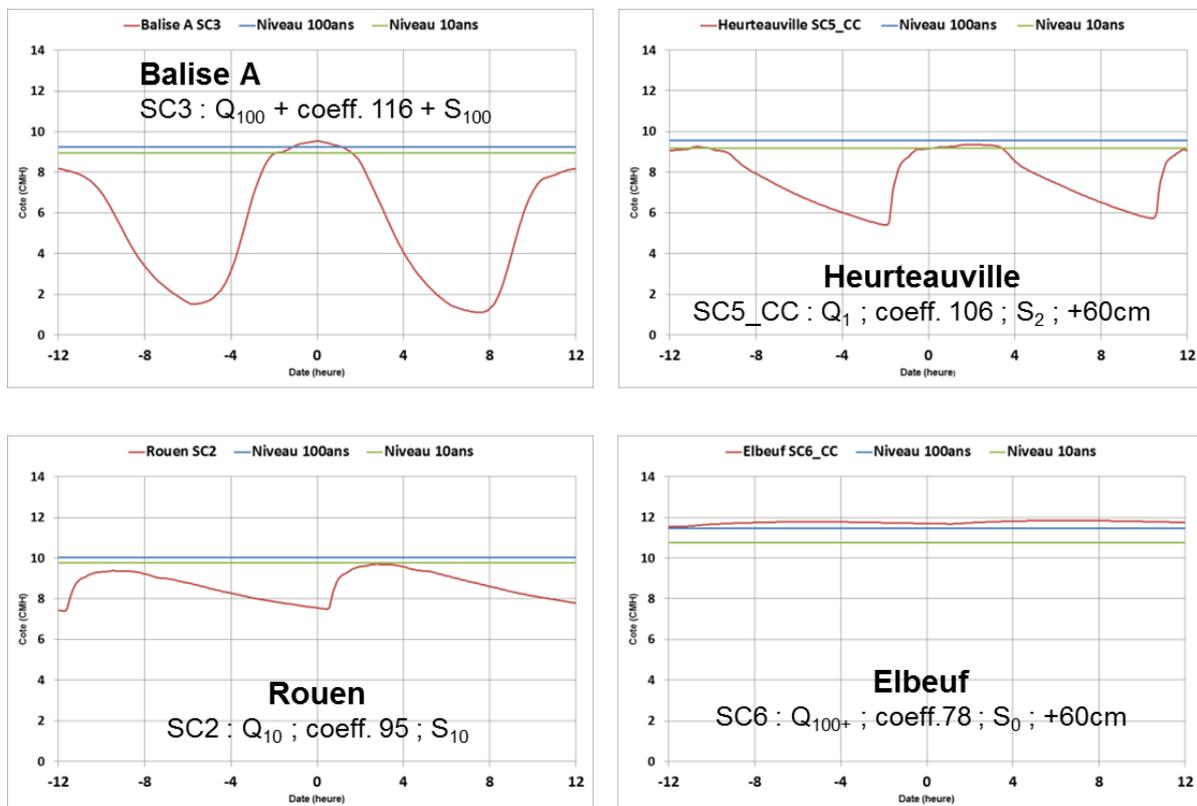


Figure 22 : Exemples de marégrammes modélisés et comparaison à la ligne d'eau décennale et centennale.

## Perspectives

Les travaux réalisés dans le cadre de la « **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine** » a permis de répondre aux quatre objectifs définis en début d'étude, à savoir :

- Définition des périodes de retour des évènements jouant un rôle dans les inondations (crue, marée, surcote) ;
- Elaboration de scénarios pouvant déclencher des inondations ;
- Développement et transfert d'un modèle hydraulique à l'échelle de l'estuaire de la Seine ;
- Modélisation de la ligne d'eau pour différents scénarios.

Diverses **applications opérationnelles** de ces résultats sont déjà en cours par des partenaires du GIP Seine-Aval agissant sur les inondations. Quelques exemples sont ci-après repris :

- Réflexion sur les périodes de retour des évènements à considérer pour la gestion du risque inondation à l'échelle de l'estuaire ;
- Modélisation de la propagation de l'élévation du niveau marin dans l'estuaire pour la cartographie des zones inondables pour les évènements dits de probabilité moyenne, en application de la Directive Inondation sur le territoire à risque important d'inondation (TRI) de Rouen-Louviers-Austreberthe ;
- Utilisation des marégrammes des scénarios maritimes à l'embouchure de la Seine comme donnée d'entrée pour la modélisation menée dans l'étude de danger inondation sur la digue de protection de la zone 'estuaire nord' ;
- Identification des enjeux soumis à un aléa centennal sur les territoires de compétences des divers acteurs.

Le modèle hydraulique développé par ARTELIA a été implanté au GIP Seine-Aval début 2014 et sera dans un premier temps mobilisé pour des tests de sensibilité sur la réponse des niveaux d'eau dans l'estuaire à la variation des facteurs forçant (débit, marée, vent, pression atmosphérique) et des hypothèses d'élévation du niveau marin. De nouveaux scénarios concertés pourront également être testés et une réflexion sur les rendus des résultats sera initiée, notamment sur la temporalité des inondations et sur les volumes échangés entre lit mineur et lit majeur.

## Bibliographie

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2014. **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif D : Modélisation de la ligne d'eau pour différents scénarios.** 35p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2013a. **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif A : Définition des périodes de retour des évènements jouant un rôle dans les inondations.** 131p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2013b. **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif B : Elaboration des scénarios pouvant déclencher les inondations, en combinant différents événements selon leur occurrence.** 22p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2013c. **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif C : Développement et transfert d'un modèle hydraulique à l'échelle de l'estuaire de la Seine.** 30p. et annexes.

CETMEF, 2013. **Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines.** 128p

El Abida H., Allain S., Bacq N., Chaïb J., Fisson C., Goncalves-Ladiray K., Fritier N., Larchevêque E., Macur O., Tanguy J., 2010. **Le risque inondation : conditions de déclenchement et perspectives.** Fascicule Seine-Aval n°2.3, 48p.

GIP Seine-Aval, 2013. **Localisation et altimétrie des murets anti-inondation le long de l'estuaire de la Seine.** Note + base de données.

GIP Seine-Aval, 2010. **Inondations par débordement de la Seine.** Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution. 6p.

Gras M.C. & Garnier E., 2013. **Contre vents & marées : les tempêtes dans l'aval de la Seine entre 1750 et 1930.** Fascicule Seine-Aval n°2.9, 36p.

SHOM, 2012. **Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique).** 160p.

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il doit être cité sous la forme suivante :  
Fisson C., Lemoine J.P., Gandilhon F., 2014. **Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Synthèse**. Etude réalisée par ARTELIA pour le compte du GIP Seine-Aval, 31p.

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

Le GIP Seine-Aval est financé par :

