

## **REHABILITATION DES VASIERES DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE**

**DEVELOPPEMENT ET EXPLOITATION D'UN MODELE  
HYDROSEDIMENTAIRE 3D DE L'ESTUAIRE**

**IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE  
RAPPORT 171 3203 NA16**

**ARTELIA Eau & Environnement**  
**Branche MARITIME**

6 rue de Lorraine  
38130 - Echirolles  
Tel. : +33 (0) 4 76 33 40 00  
Fax : +33 (0) 4 76 33 43 33



171 3203 – Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine – Rapport NA16					
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date
02	Prise en compte commentaires GPMH	RWR	LHM	LHM	27/07/2017
01	Version finale	RWR	LHM	LHM	12/07/2017
00	1 <sup>ère</sup> diffusion	RWR	LHM	LHM	31/05/2016

## SOMMAIRE

<b>SYNTHESE ET CONCLUSIONS</b>	<b>I</b>
<b>1. CONSTRUCTION DU MODELE DE LA CHATIERE</b>	<b>1</b>
1.1. DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT	1
1.2. PRISE EN COMPTE DE L'AMENAGEMENT DANS LE MAILLAGE	1
1.3. MODIFICATIONS APPORTEES AU MNT A MI-2013	2
1.4. MIS A JOUR DU MODELE DE REFERENCE SANS AMENAGEMENT	4
1.5. MODIFICATIONS APPORTEES AU REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE	5
<b>2. DESCRIPTION DES CALCULS ET DES FORÇAGES</b>	<b>9</b>
2.1. INITIALISATION DES CALCULS	9
2.2. FORÇAGES NATURELS	9
2.3. FORÇAGES ANTHROPIQUES	11
<b>3. ANALYSE DES RESULTATS A L'ECHELLE DE L'ESTUAIRE</b>	<b>13</b>
3.1. CARTOGRAPHIE DES FONDS ET DES EVOLUTIONS	13
3.2. EVOLUTIONS DETAILLEES DES VOLUMES DE CUBATURES	16
3.2.1. CUBATURE GLOBALE	16
3.2.2. EMBOUCHURE	17
3.2.3. ZONE ENDIGUEE	18
3.2.4. ZONE SUD	18
3.2.5. ZONE NORD	18
3.2.6. DETAIL DE LA ZONE NORD AMONT	18
3.3. DRAGAGES D'ENTRETIEN DES GRANDS PORTS	18
3.3.1. COMPARAISON SUR 2014-2015	18
3.3.2. IMPACT DE L'ARRET DES IMMERSIONS AU KANNIK	20
<b>4. ANALYSE DES RESULTATS AU NIVEAU DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE</b>	<b>21</b>
4.1. ANALYSE DE L'HYDRODYNAMIQUE APRES UN AN D'EVOLUTION	21
4.2. IMPACT DE L'AMENAGEMENT SUR LES EVOLUTIONS AUX ALENTOURS DU PORT	25
4.3. IMPACT DE L'AMENAGEMENT SUR LES EVOLUTIONS ET LES DRAGAGES DANS LES PORTS	26
<b>ANNEXE A. RESULTATS DU CALCUL TENDANCIEL</b>	<b>29</b>

**Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine**  
IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE

---

## TABLEAUX

Tableau 1 – Clapages GPMH effectués sur Octeville.....	19
Tableau 2 – Dragages GPMH modélisés sur 2014-2015.....	19
Tableau 3 – Masses immergées au Kannik .....	19
Tableau 4 – Dragages GPMR modélisés sur 2014-2015.....	20
Tableau 5 – Dragages GPMH modélisés sur 6 ans .....	20
Tableau 6 – Dragages GPMR modélisés sur 6 ans .....	20

## FIGURES

Figure 1. Aménagement de la Chatière.....	1
Figure 2. Incompatibilité entre Maillage global et Aménagement de la Chatière.....	2
Figure 3. Maillage modèle aménagement de la Chatière.....	2
Figure 4. Emprise des bathymétries GPMH 2016 – 2017.....	3
Figure 5. Bathymétrie GPMH du port du Havre 2007 .....	3
Figure 6. Bathymétrie RH 2013 (juin) du GPMH .....	3
Figure 7. Levé aéro-laser de juin 2013 GPMH .....	4
Figure 8. MNT à mi-2013 projeté sur le maillage du modèle Chatière, avec prise en compte du projet.....	4
Figure 9. MNT à mi-2013 projeté sur le maillage du modèle Chatière, sans prise en compte du projet.....	5
Figure 10. Epaisseur totale de sédiment (m).....	6
Figure 11. Pourcentage de vases sur l'épaisseur totale de sédiment.....	6
Figure 12. Pourcentage de sablons sur l'épaisseur totale de sédiment.....	7
Figure 13. Pourcentage de sables fins sur l'épaisseur totale de sédiment.....	7
Figure 14. Pourcentage de sables grossiers sur l'épaisseur totale de sédiment.....	8
Figure 15. Débit liquide de la Seine de 2005 à 2015 et forçage tendanciel.....	9
Figure 16. Apports annuels de la Seine de 1997 à 2015 et forçage tendanciel.....	10
Figure 17. Masse de sédiment clapée sur Octeville entre 2005 et 2019 .....	11
Figure 18. Masse de sédiment clapée sur le Kannik et Machu entre 2005 et 2019 .....	12
Figure 19. Echelles utilisées pour les bathymétries et les évolutions .....	13
Figure 20. Bathymétrie tendancielle an 2 (oct-2015) .....	14
Figure 21. Bathymétrie nature 2015 (levé complet) .....	14
Figure 22. Evolution des fonds entre l'AN0 (oct-2013) et l'AN 2 (oct-2015) du calcul tendanciel.....	15
Figure 23. Evolution des fonds nature entre mi-2013 et fin 2015 .....	15
Figure 24. Evolution des fonds entre l'AN0 et l'AN 6 du calcul tendanciel.....	16
Figure 25. Cubature sur l'estuaire global.....	17
Figure 26. Positionnement des points sonde sur la bathymétrie à l'AN 1 du calcul .....	21
Figure 27. Vitesses dans le chenal de la Chatière sur 15 jours .....	22
Figure 28. Vitesses dans le chenal de la Chatière pour des marées de vive-eau .....	22
Figure 29. Carte de courant au premier pic de flot de VE (courants allant du Port nord vers Port 2000) .....	23
Figure 30. Carte de courant au second pic de flot de VE (courants allant de Port 2000 vers le Port nord) ...	23
Figure 31. Zoom au maximum de flot de VE (courants allant de Port 2000 vers le Port nord).....	24

---

Figure 32. Carte de courant au maximum de jusant de VE (courants allant du Port nord vers Port 2000) ....	24
Figure 33. Bathymétrie Tendanciel et Aménagement Chatière : AN6 .....	25
Figure 34. Différentiel des bathymétries Tendanciel et Aménagement Chatière à l'AN6 .....	26
Figure 35. bathymétrie de l'aménagement Chatière à l'AN0.....	26
Figure 36. bathymétrie de l'aménagement Chatière à l'AN6.....	27
Figure 37. Evolution avec l'aménagement Chatière entre l'an0 et l'an6 .....	27
Figure 38. Dragages modélisés dans les ports du Havre .....	28

## **SYNTHESE ET CONCLUSIONS**

Le Grand Port Maritime du Havre nous a fait part des études qu'il mène sur un projet de chatière dans la digue sud du port nord permettant un accès fluvial direct à Port2000 et nous a demandé d'évaluer l'impact de ce projet à l'aide du modèle hydrosédimentaire en place.

Pour cela, le modèle global de l'estuaire de la Seine dans son état 2013 a d'abord été adapté pour répondre à la demande. Un maillage raffiné a été mis en place dans toute la zone portuaire avec une attention particulière portée au projet. La bathymétrie a été également raffinée avec l'ensemble des données disponibles et le remplissage sédimentaire a été mis à jour sur la zone de l'aménagement. Deux modèles ont été finalement construits : un modèle de la situation actuelle et un modèle avec l'aménagement de la Chatière. Les deux calculs ont été effectués sur une durée de simulation de six années avec les forçages naturels et anthropiques précédemment utilisés. Les opérations de clapages du port de Rouen ont été mises à jour avec l'arrêt du Kannik et le passage sur le site de Machu à mi-avril 2017.

La comparaison des résultats indique une absence d'impact perceptible sur les évolutions morphologiques de l'estuaire. D'autre part, les dragages opérés par le Port de Rouen en Seine sont inchangés, et ceux effectués dans les installations du port du Havre sont du même ordre de grandeur avec toutefois une légère augmentation de 3,5%. L'arrêt des immersions au Kannik en avril 2017 n'induit pas non plus de modification sensible des quantités dragués en 2018 et 2019.

Localement, les vitesses obtenues à l'intérieur de la passe de la Chatière sont assez importantes avec notamment l'apparition d'une période de flot inversé qui peut atteindre jusqu'à 1,2 m/s au niveau de la passe dans la digue de Port 2000 et des courants traversiers au niveau de la chatière proprement dite dans la digue sud du port nord.

D'autre part, le chenal de l'aménagement de la Chatière n'est pas dragué dans le modèle et les résultats indiquent qu'il s'auto-entretient de manière assez efficace grâce aux vitesses significatives des courants ; un dépôt d'environ 1 m s'observe sur le flanc Nord-Ouest du chenal au bout de 6 ans, suivant une forme parallèle à la digue.

oOo

**Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine**  
IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE

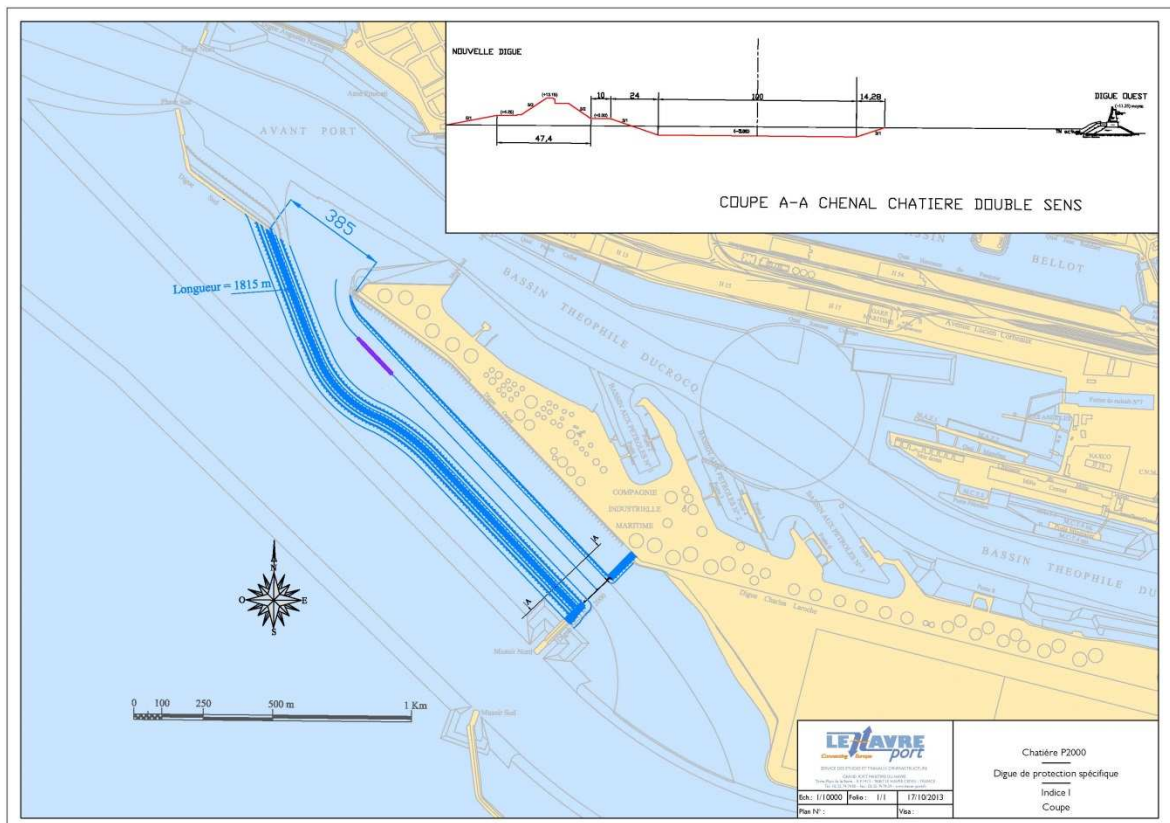
---



# 1.CONSTRUCTION DU MODELE DE LA CHATIERE

## 1.1. DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT

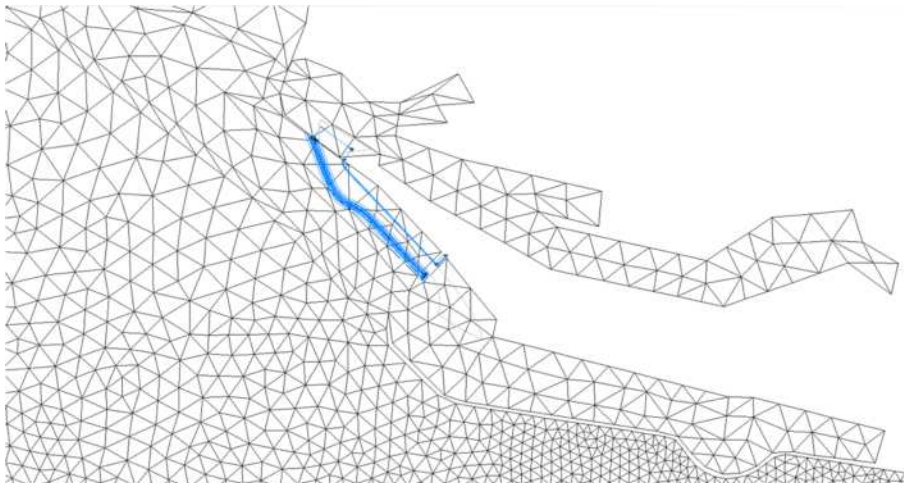
L'aménagement de la Chatière consiste à créer une voie de navigation permettant un accès fluvial direct entre le port nord et Port 2000. Pour cela, une passe est créée dans la digue Sud du port nord et une autre dans la digue Nord de Port 2000. Ces deux passes sont reliées par un chenal à la cote -5m CM qui est protégé sur son flanc Sud, de l'agitation et des courants maritimes par une digue longitudinale.



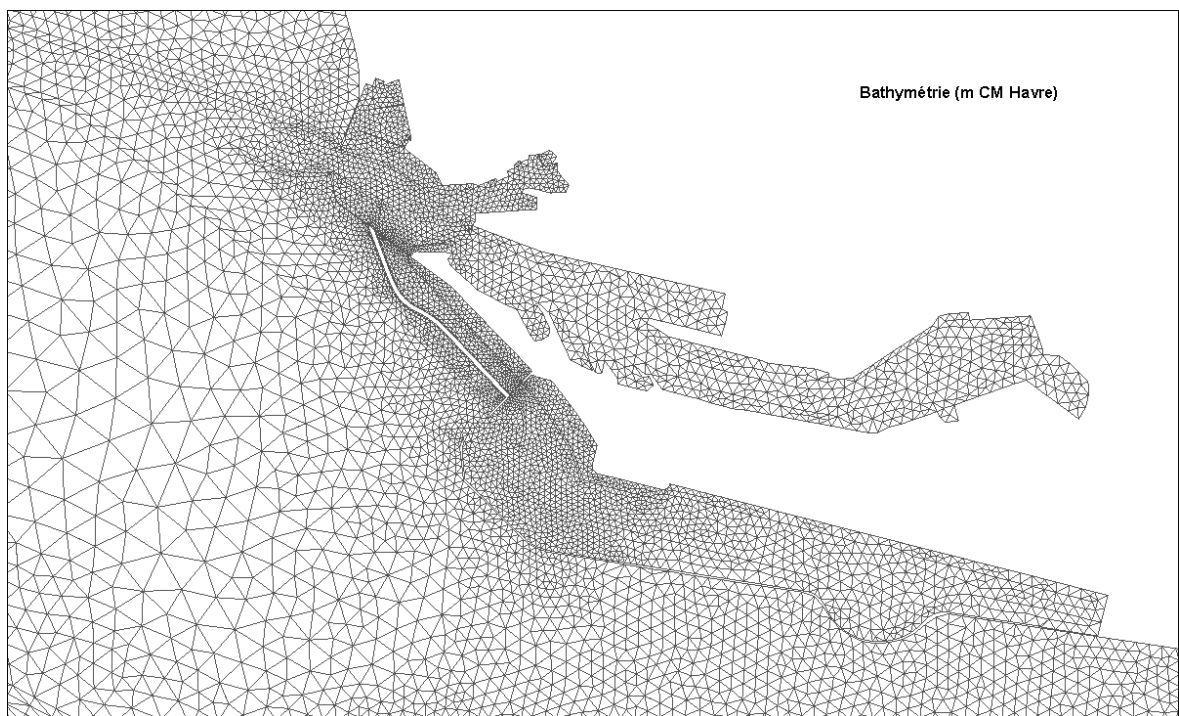
**Figure 1. Aménagement de la Chatière**

## 1.2. PRISE EN COMPTE DE L'AMENAGEMENT DANS LE MAILLAGE

Le maillage du modèle global de l'estuaire, trop grossier sur l'emprise de cet aménagement de la Chatière (figure 2), a été repris et raffiné sur l'ensemble des zones portuaires, avec une taille de maillage réduite de 10 à 30m dans la zone d'intérêt (figure 3). Le projet d'aménagement a également été maillé pour prendre en compte sa géométrie.



**Figure 2. Incompatibilité entre Maillage global et Aménagement de la Chatière**



**Figure 3. Maillage modèle aménagement de la Chatière**

### 1.3. MODIFICATIONS APPORTEES AU MNT A MI-2013

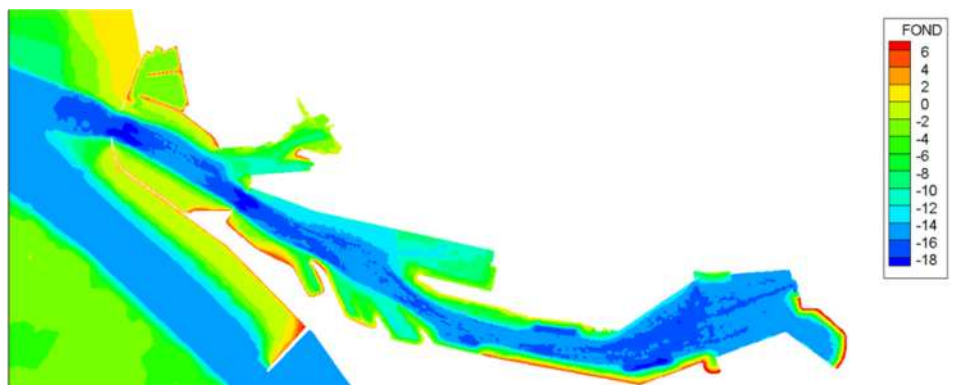
Le Modèle numérique de terrain (MNT 2013) utilisé jusqu'ici ne couvrait pas la zone portuaire, nous avons donc construit un MNT spécifique à partir des données suivantes :

- Un patchwork de bathymétries réalisé par le GPMH entre 2016 et 2017,
- Une bathymétrie du Port du havre de 2007 issue d'une étude préalable pour le GPMH,
- Le RH 2013 (juin) du GPM de Rouen,
- L'aérolaser de juin 2013 du GPMH.

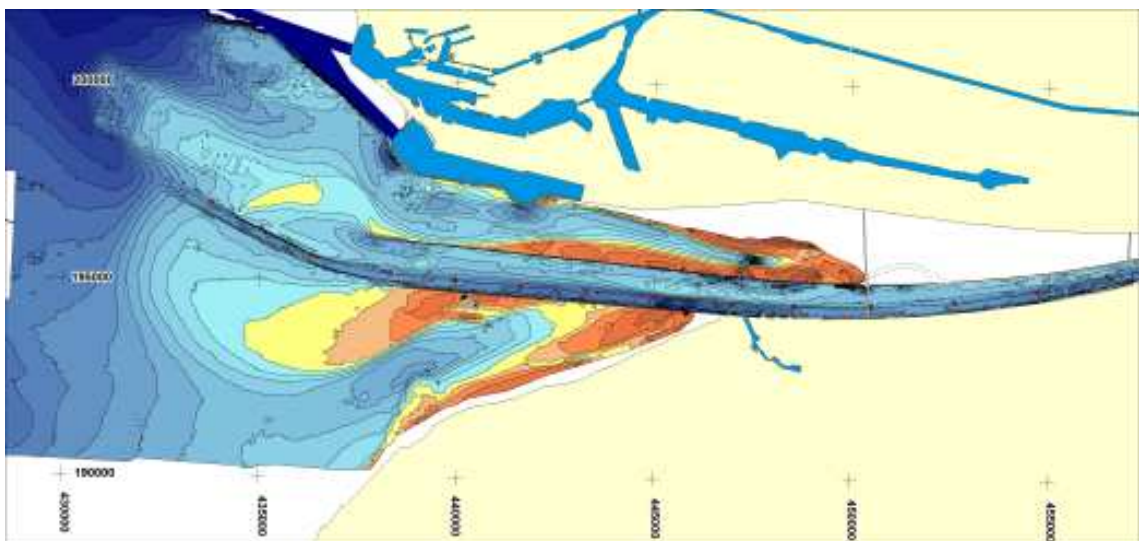
Ces données ont été concaténées pour former un MNT à mi-2013 qui a été projeté sur le maillage de calcul (figures 4 à 8).



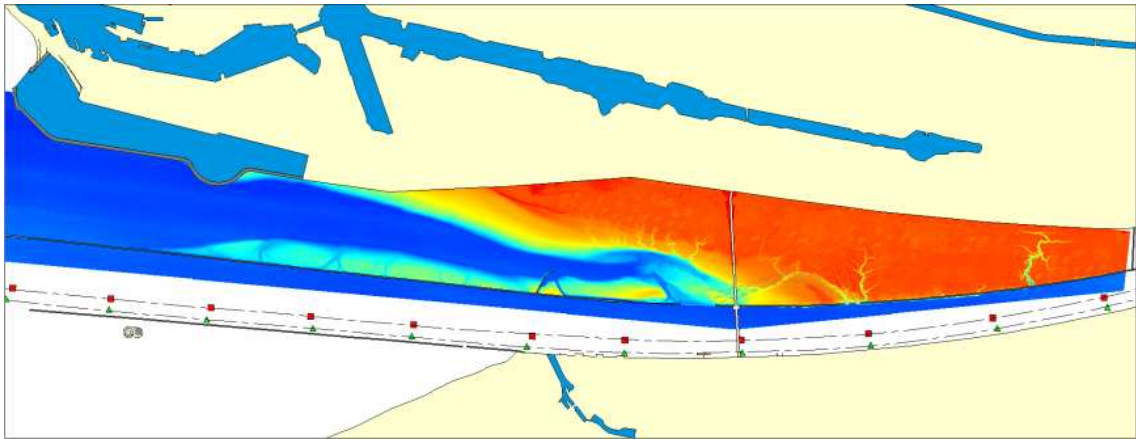
**Figure 4. Emprise des bathymétries GPMH 2016 – 2017**



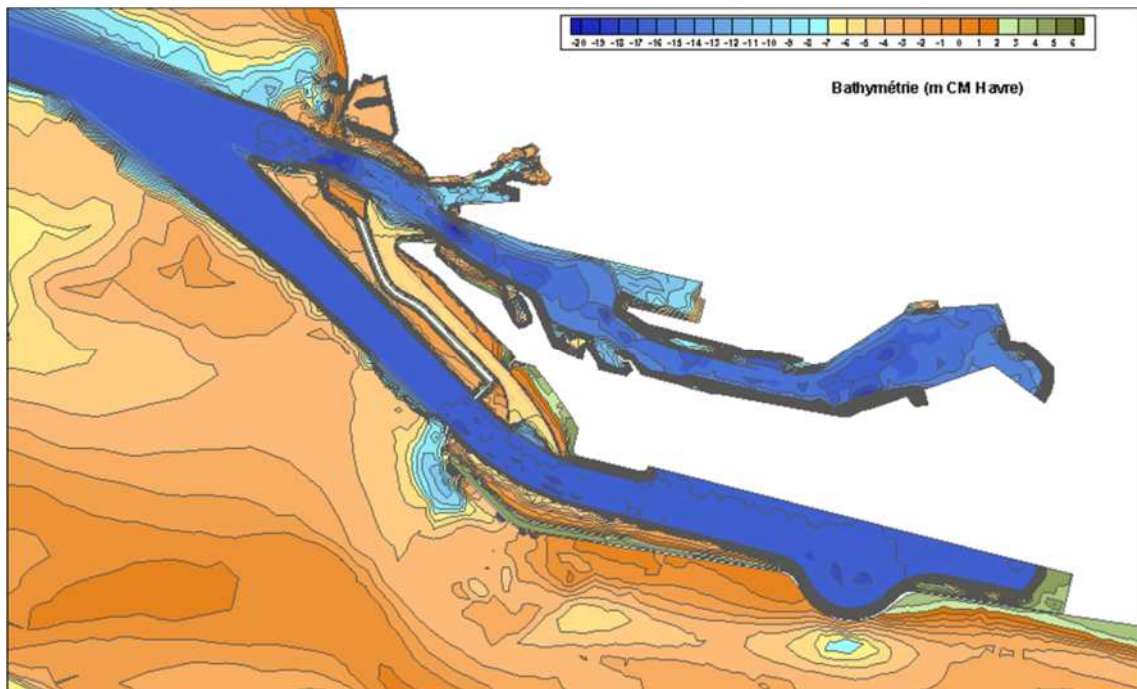
**Figure 5. Bathymétrie GPMH du port du Havre 2007**



**Figure 6. Bathymétrie RH 2013 (juin) du GPMH**



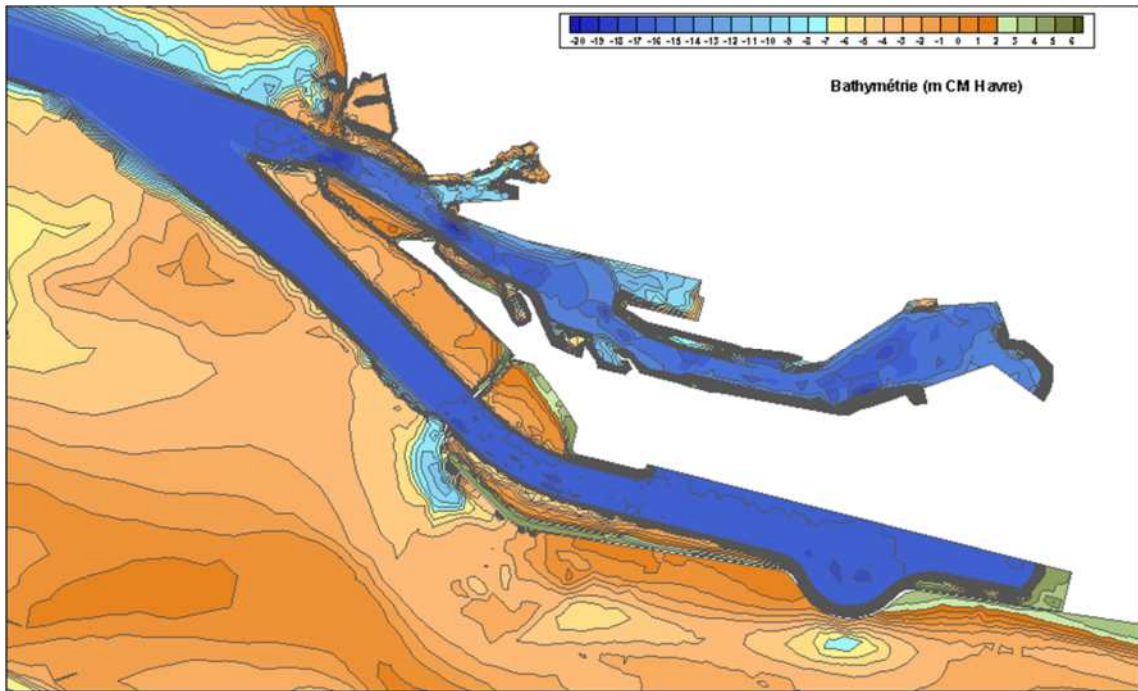
**Figure 7. Levé aérolaser de juin 2013 GPMH**



**Figure 8. MNT à mi-2013 projeté sur le maillage du modèle Chatière, avec prise en compte du projet**

#### **1.4. MIS A JOUR DU MODELE DE REFERENCE SANS AMENAGEMENT**

Le modèle global de l'estuaire à mi-2013 étant trop différent en termes de maillage, de celui de l'aménagement de la Chatière, nous avons projeté sur ce nouveau maillage, le nouveau MNT à mi-2013, mais cette fois ci sans l'aménagement. Ce modèle devient alors le modèle de référence pour effectuer le calcul tendanciel.

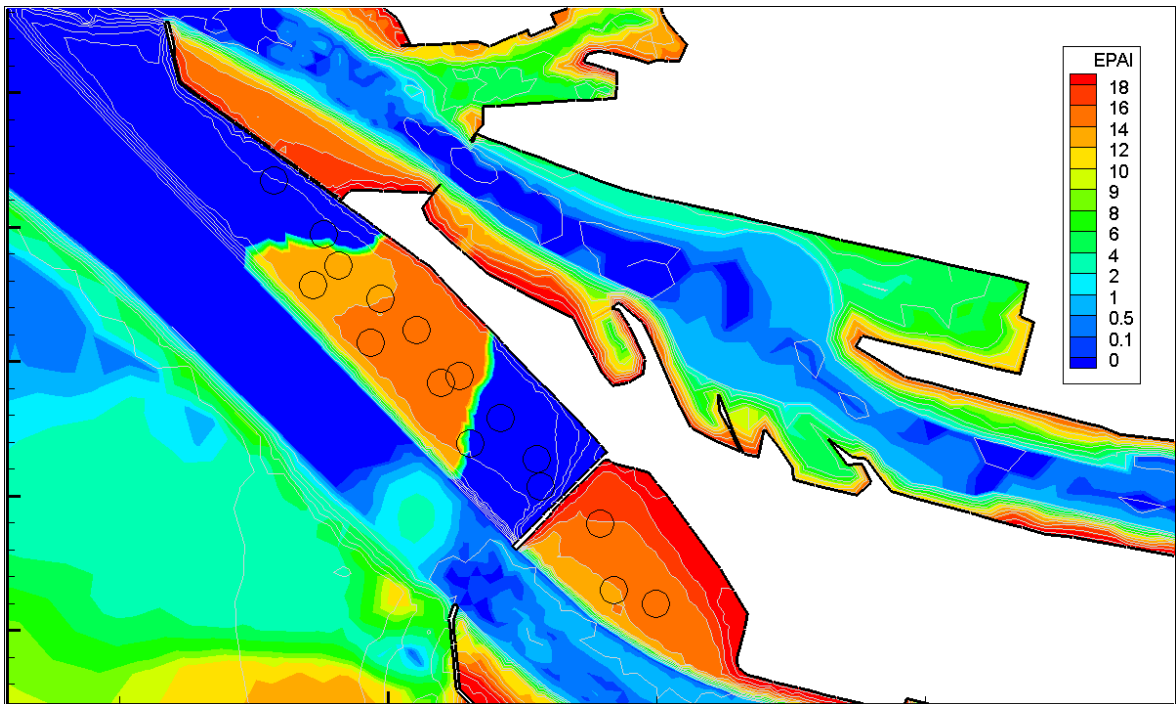


**Figure 9. MNT à mi-2013 projeté sur le maillage du modèle Chatière, sans prise en compte du projet**

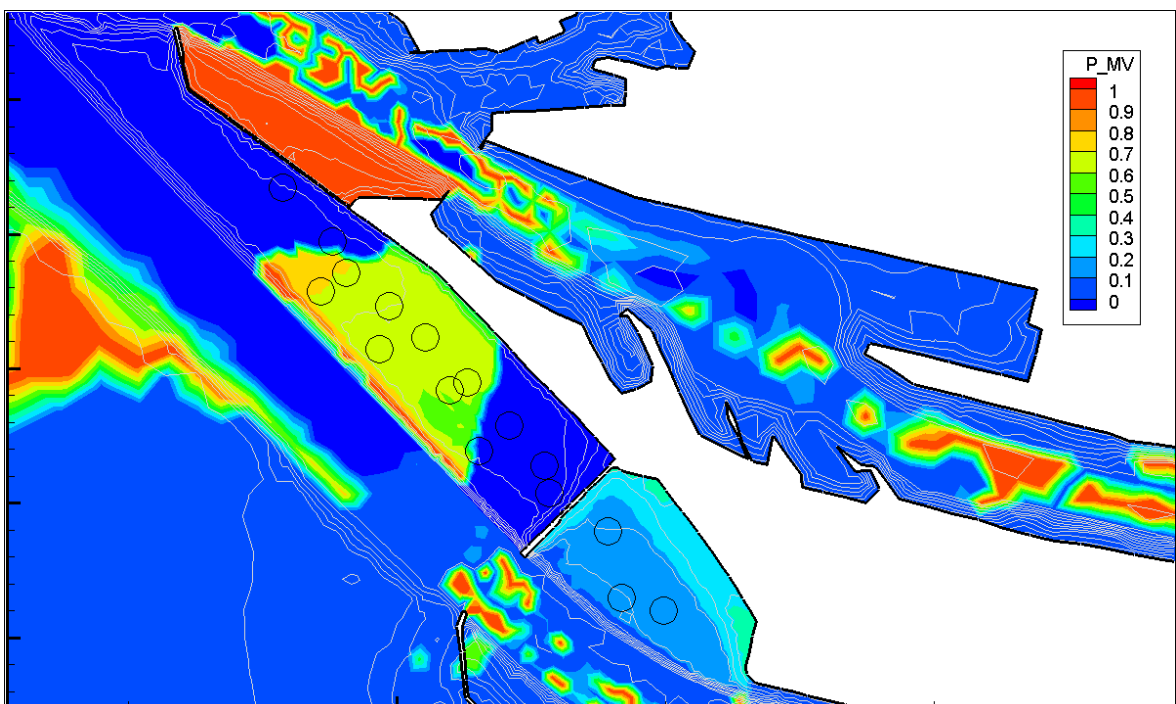
## 1.5. MODIFICATIONS APPORTEES AU REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE

Le remplissage sédimentaire de cette bathymétrie est initialisé avec une composition sédimentaire du sol issue du calcul V81 décrit dans le rapport NA13 à la même date et projetée sur ce nouveau maillage. Cependant sur la partie du projet d'aménagement, la différence de raffinement entre le modèle V81 et ce nouveau modèle nous a amené à réétudier les carottages disponibles sur la zone afin d'être plus réaliste.

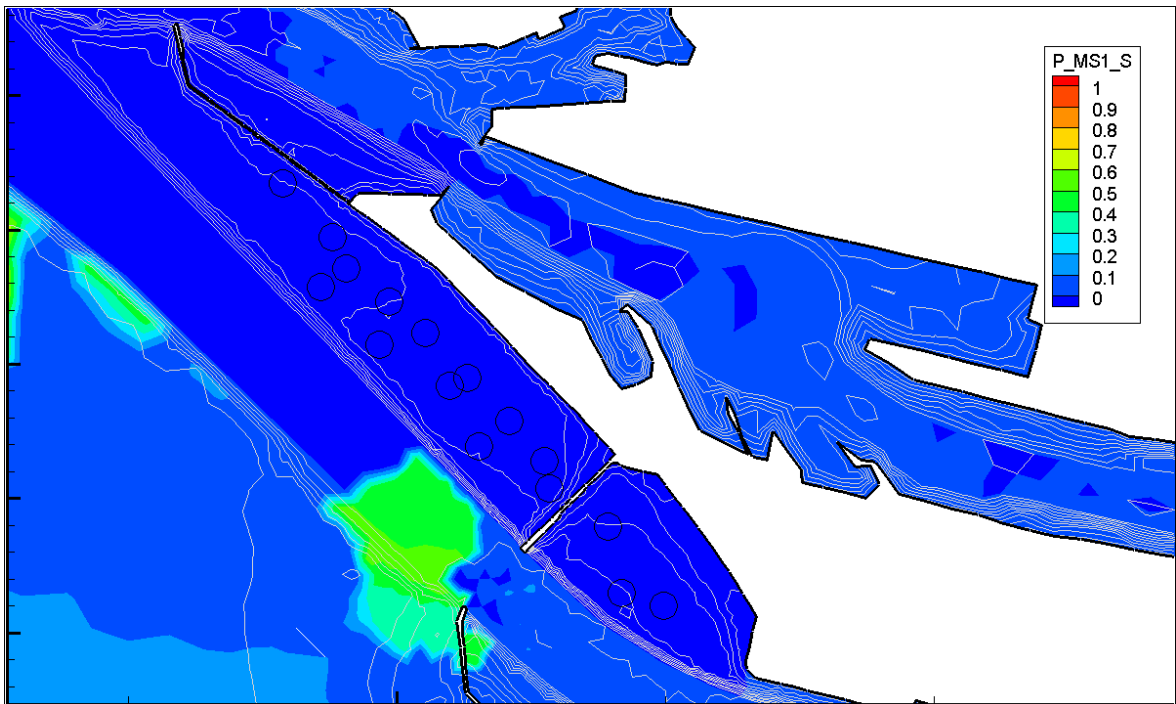
Les localisations de ces nouvelles données sont représentées par des ronds noirs sur les figures suivantes. Ces cartes indiquent l'épaisseur totale de sédiment représentée par les trois classes de sable et la vase puis le pourcentage de chaque classe sur la totalité de l'épaisseur. Certaines disparités sur les pourcentages peuvent être dues au fait que l'épaisseur de sédiment est nulle ou quasi-nulle en certains points. Une épaisseur nulle de sédiment veut dire que le sédiment en place est plus grossier que le plus gros des sables transportés par le modèle: il ne sera donc pas mobilisé car considéré comme non érodable.



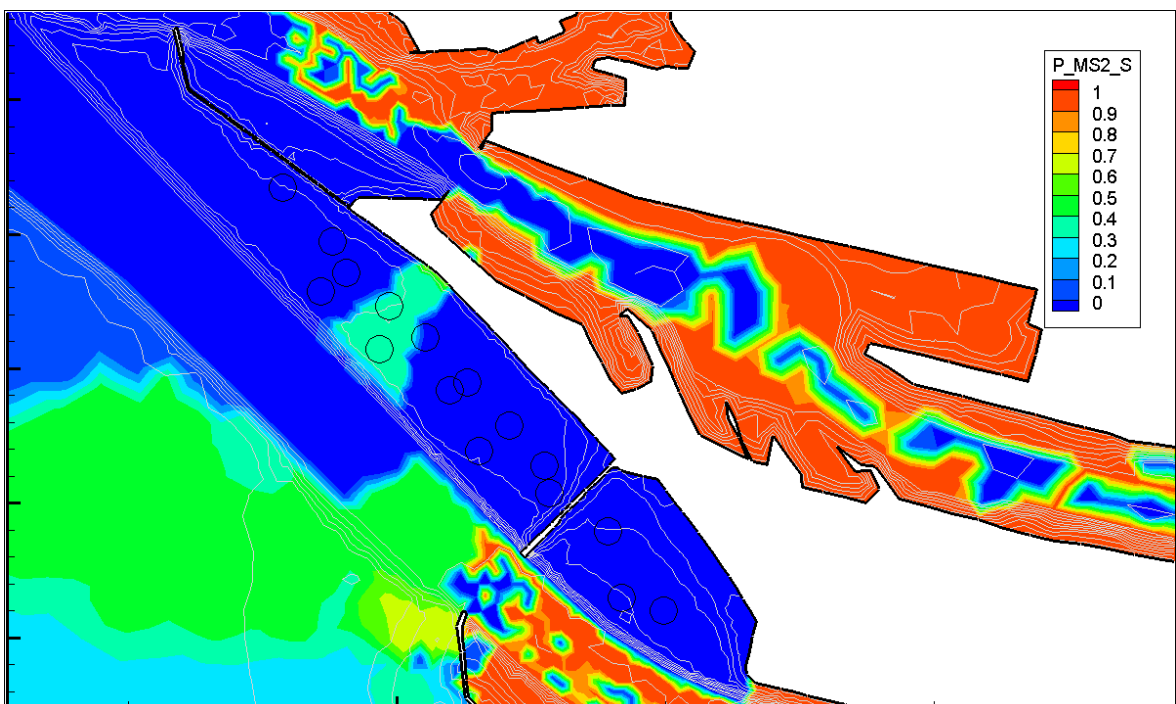
**Figure 10. Epaisseur totale de sédiment (m)**



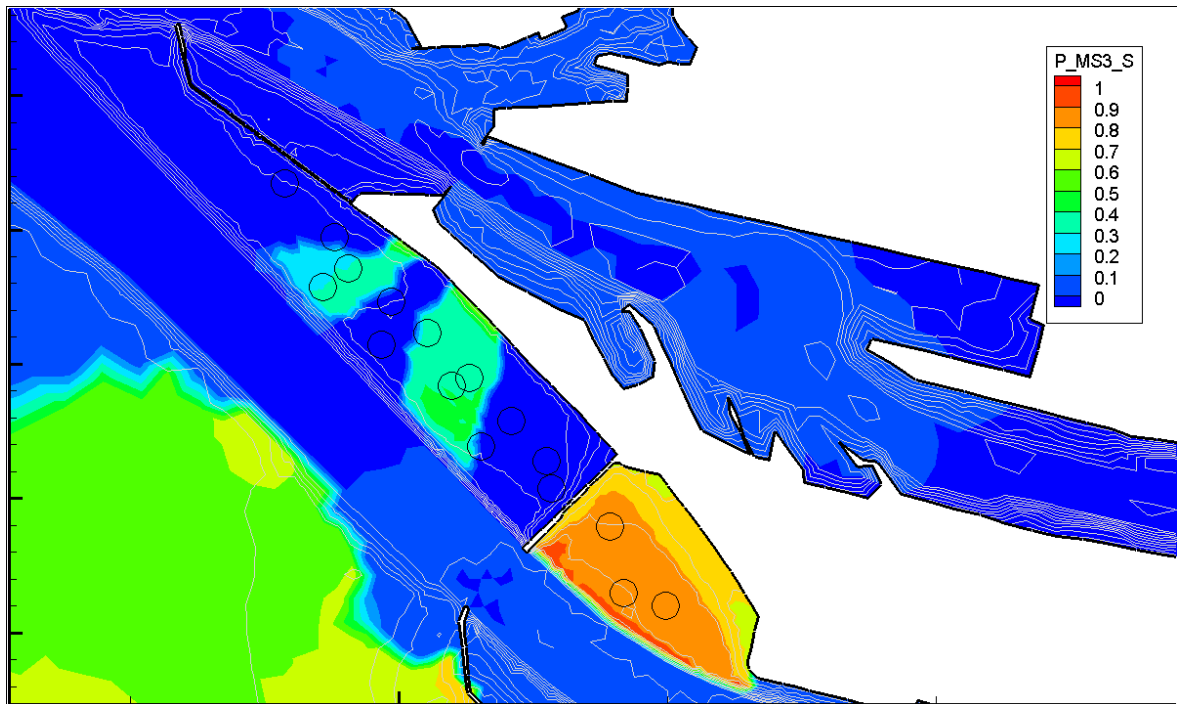
**Figure 11. Pourcentage de vases sur l'épaisseur totale de sédiment**



**Figure 12. Pourcentage de sablons sur l'épaisseur totale de sédiment**



**Figure 13. Pourcentage de sables fins sur l'épaisseur totale de sédiment**



**Figure 14. Pourcentage de sables grossiers sur l'épaisseur totale de sédiment**



## 2. DESCRIPTION DES CALCULS ET DES FORÇAGES

Deux calculs ont été effectués sur 6 ans : un calcul tendanciel et un calcul avec l'aménagement de la Chatière.

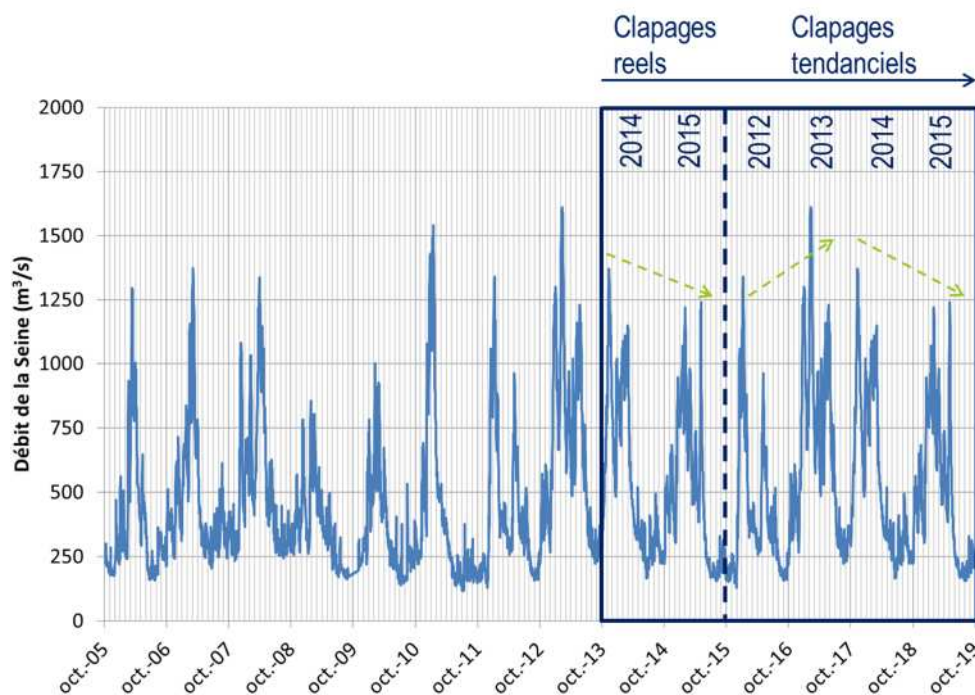
### 2.1. INITIALISATION DES CALCULS

Ces deux calculs démarrent au 1<sup>er</sup> aout 2013 (2 mois d'initialisation, ce qui mène à un T0 au 1<sup>er</sup> octobre 2013) et sont initialisés avec une composition sédimentaire du sol et une répartition du champ hydro-sédimentaire dans la colonne d'eau issue du calcul V81 décrit dans le rapport NA13 à la même date et projetée sur ce nouveau maillage. Les améliorations locales de remplissage sédimentaire sur la zone de projet, présentées dans le chapitre précédent, ont été ajoutées.

### 2.2. FORÇAGES NATURELS

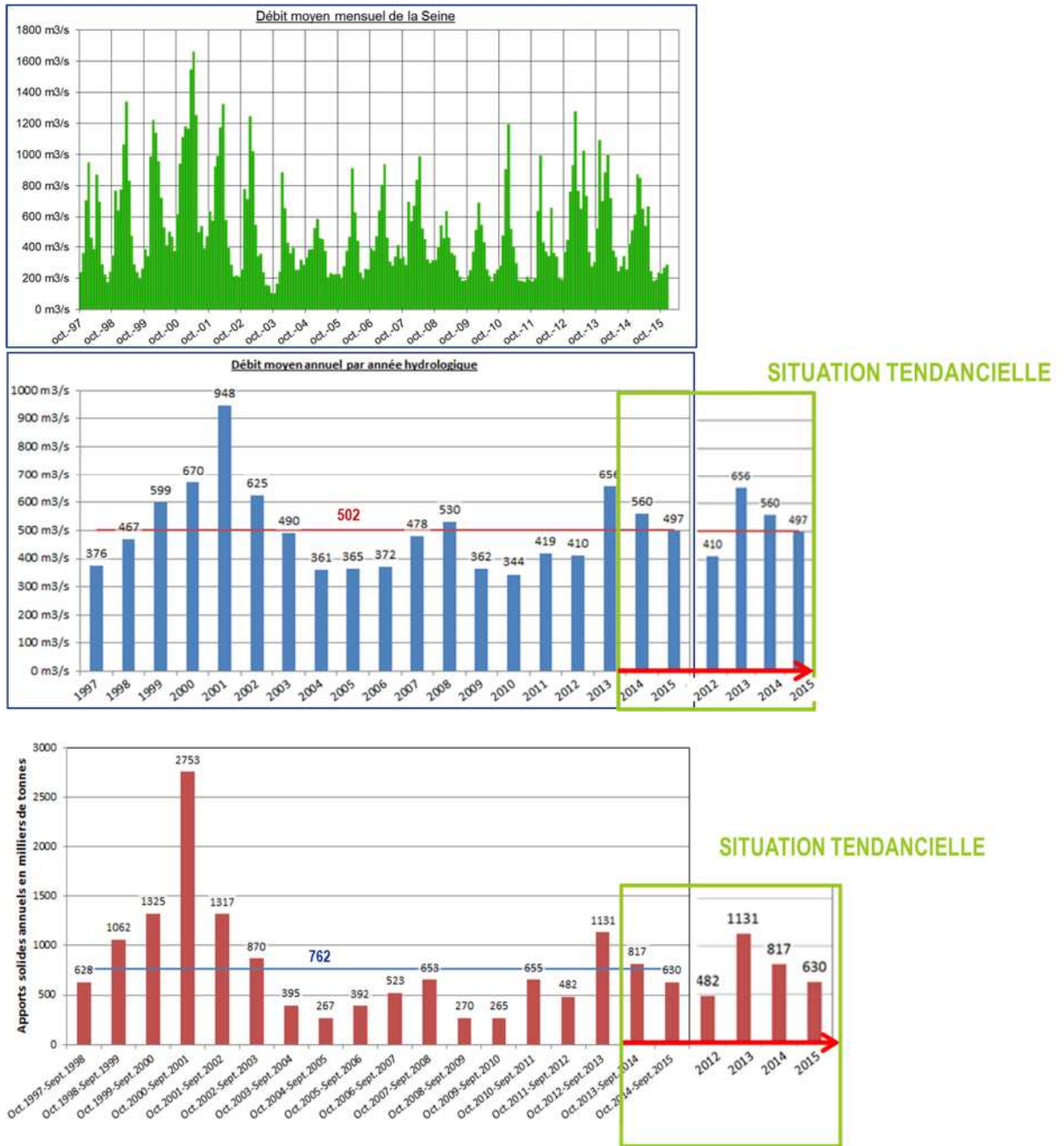
Nous avons choisi de simuler les forçages réels disponibles entre mi-2013 et octobre 2015 pour pouvoir comparer les résultats du modèle à la nature sur les deux premières années comme cela est notamment visible sur les figures A.8 à A.15.

L'analyse des débits liquides et solides récents nous ont aidés à déterminer ensuite les quatre années de forçage supplémentaires. Suite à 2014 et 2015, il nous semblait intéressant de continuer avec 2012 pour avoir une décroissance continue de l'hydrologie et une année plus sèche que la moyenne. Nous avons mis à la suite (au milieu du cycle) une année humide (2013) qui est normalement favorable au dépôt dans la fosse nord et donc défavorable pour la pérennité d'un aménagement. Puis nous avons rebouclé sur 2014 et 2015, afin de voir si l'aménagement se maintenait suite à l'année hydrologique forte et si on obtenait une certaine stabilisation des évolutions en comparant les évolutions aux deux premières années simulées qui ont le même forçage.



**Figure 15. Débit liquide de la Seine de 2005 à 2015 et forçage tendanciel**

**Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine**  
 IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE



**Figure 16. Apports annuels de la Seine de 1997 à 2015 et forçage tendanciel**

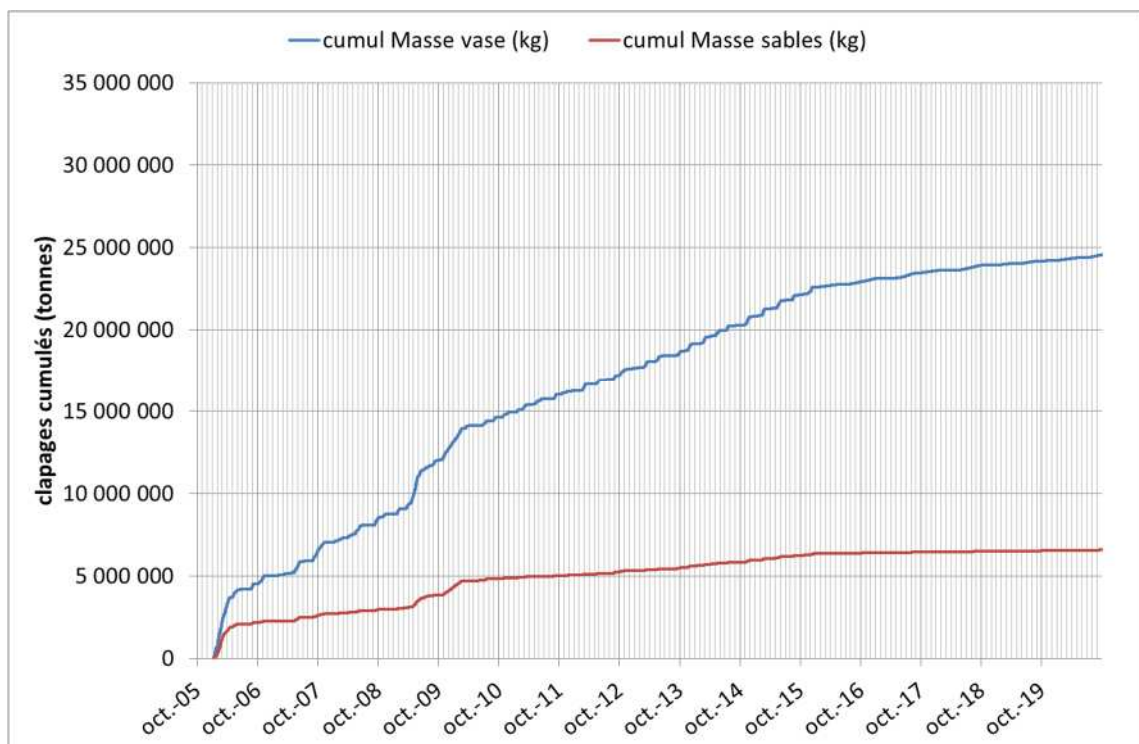
Les séries chronologiques pour le vent, la houle, le niveau moyen de la mer, les débits liquides et solides pour la Seine et la Risle sont appliqués comme vu précédemment dans l'ordre des années hydrologiques suivantes: 2014-2015-2012-2013-2014-2015. Le forçage en marée suit le temps réel et démarre donc au 1<sup>er</sup> aout 2013 et fini Au 1<sup>er</sup> octobre 2019

## 2.3. FORÇAGES ANTHROPIQUES

Les cotes cibles de dragage d'entretien des installations portuaires du Havre sont de -14,5 m CMH pour le port nord et de -16m CMH pour Port2000. La cote du plafond du chenal d'accès à Rouen est maintenue à -6,3 m CMH.

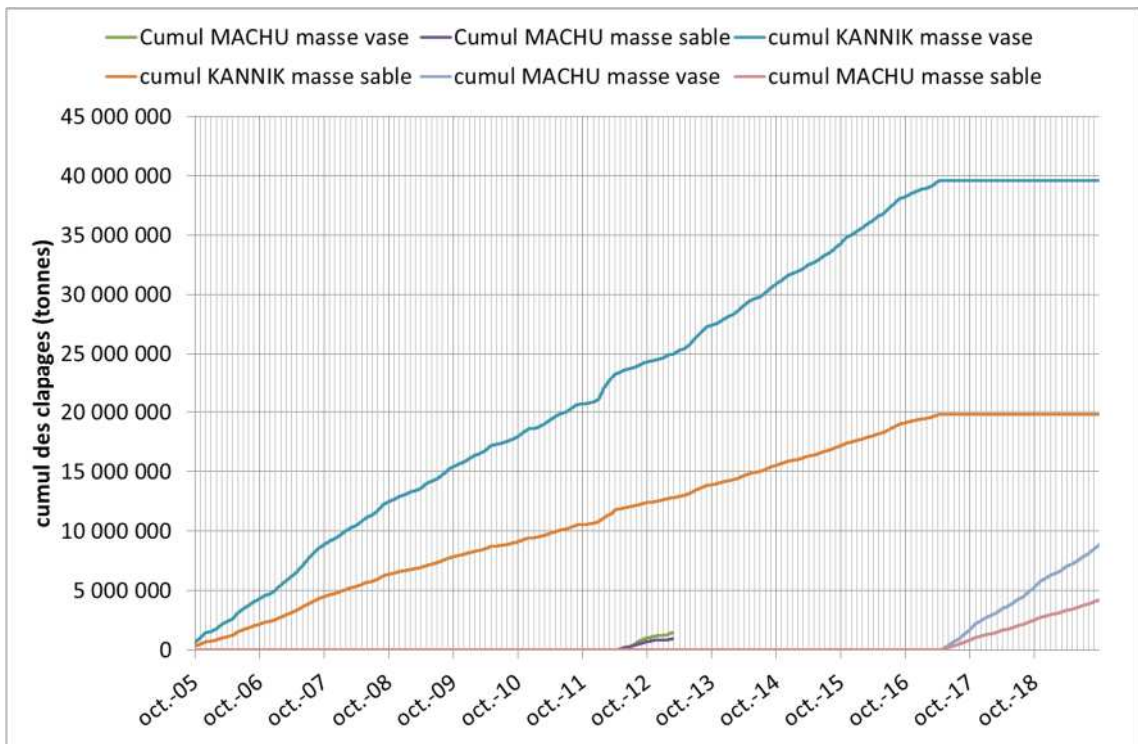
Les séries chronologiques d'immersions en mer effectivement recensées sur le site d'Octeville jusqu'en 2015 ont été fournies par le GPMH. Pour les 4 années suivantes (2016-2019), le GPMH a fourni une prévision d'immersion de 2 millions de m<sup>3</sup> de sédiments par an. La série temporelle des immersions a été élaborée à partir de la série temporelle réelle de l'année 2011. Les dates et horaires de clapages sont conservés et décalés de 1, 2, 3 ou 4 ans pour chacune des années de calcul. Les densités en puits (à partir desquelles est calculée la répartition sable/vase des sédiments) sont conservées et les masses clapées de l'année 2011 ont été multipliées par un facteur correctif afin d'obtenir un volume de 2 millions de m<sup>3</sup> de sédiments sur l'année (ce qui correspond environ à une masse in situ de 1,8 millions de tonnes environ).

Les immersions en mer au Kannik et sur Machu ont été fournies par le Grand Port Maritime de Rouen sous la forme d'une série temporelle des masses de vase et sables (pour les 3 catégories). On notera le passage sur le site de Machu à partir de mi-avril 2017. Les vases représentent 2/3 des immersions.



**Figure 17. Masse de sédiment clapée sur Octeville entre 2005 et 2019**

**Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine**  
 IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE



**Figure 18. Masse de sédiment clapée sur le Kannik et Machu entre 2005 et 2019**

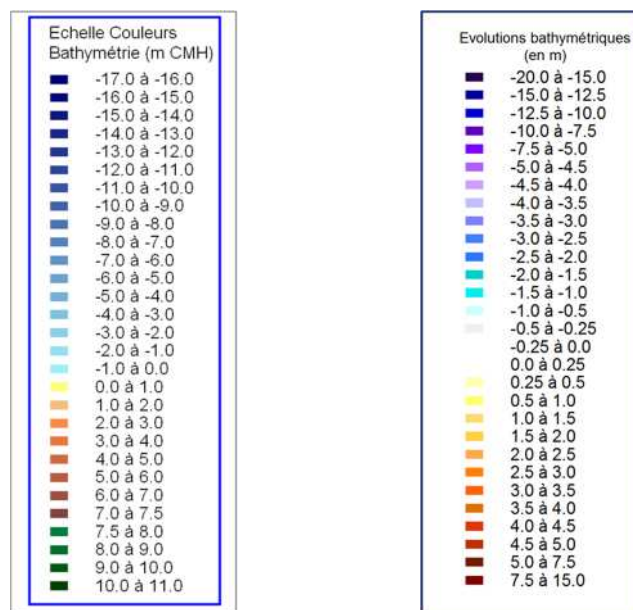
## 3. ANALYSE DES RESULTATS A L'ECHELLE DE L'ESTUAIRE

L'ensemble des résultats et indicateurs pour le calcul tendanciel est fourni en **Annexe A**.

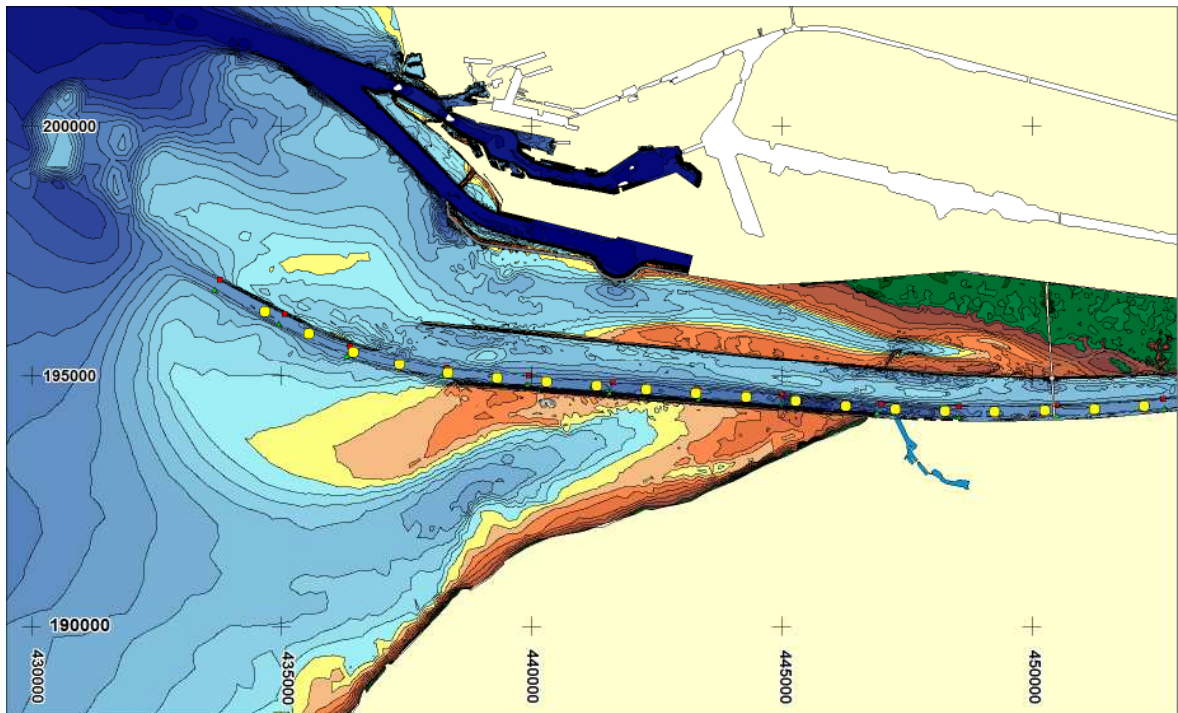
A l'échelle de l'estuaire, les résultats obtenus sur les deux calculs sont similaires. Les résultats du calcul tendanciel sont donc principalement commentés ici. Seules les différences induites par l'aménagement de la Chatière sont décrites dans le chapitre 4.

### 3.1. CARTOGRAPHIE DES FONDS ET DES EVOLUTIONS

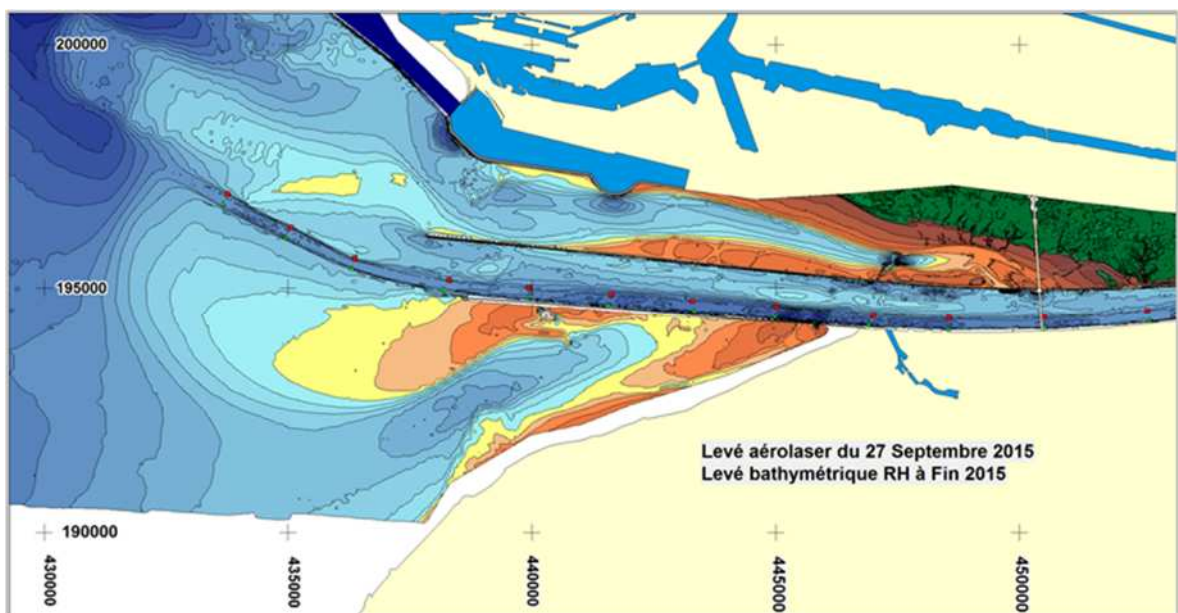
Dans un premier temps, les bathymétries et évolutions en nature sur 2013-2015 et les bathymétries sur le modèle An0-An2 sont comparées puisque les forçages sont identiques sur ces périodes.



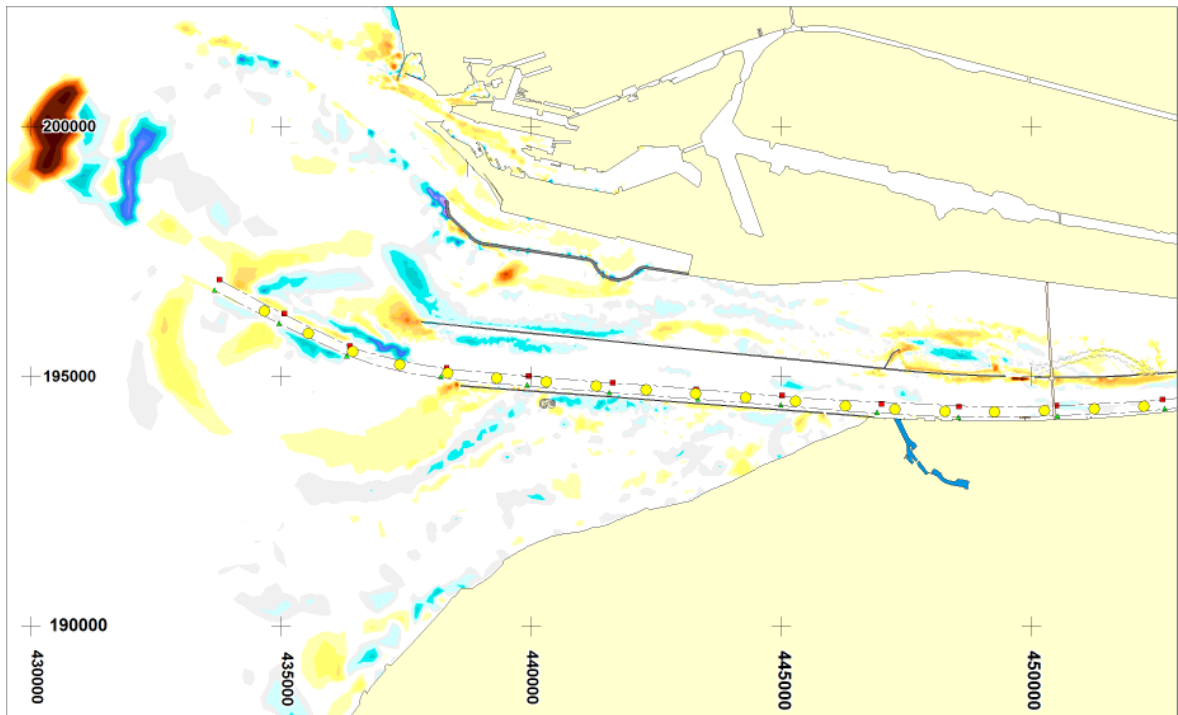
**Figure 19. Echelles utilisées pour les bathymétries et les évolutions**



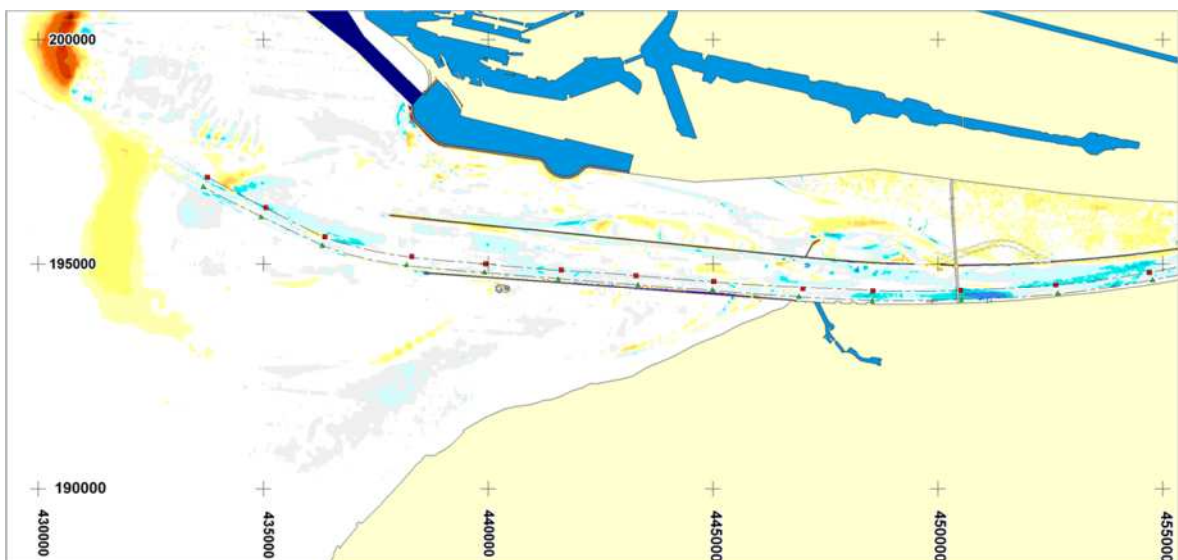
**Figure 20. Bathymétrie tendancielle an 2 (oct-2015)**



**Figure 21. Bathymétrie nature 2015 (levé complet)**



**Figure 22. Evolution des fonds entre l'AN0 (oct-2013) et l'AN 2 (oct-2015) du calcul tendanciel**



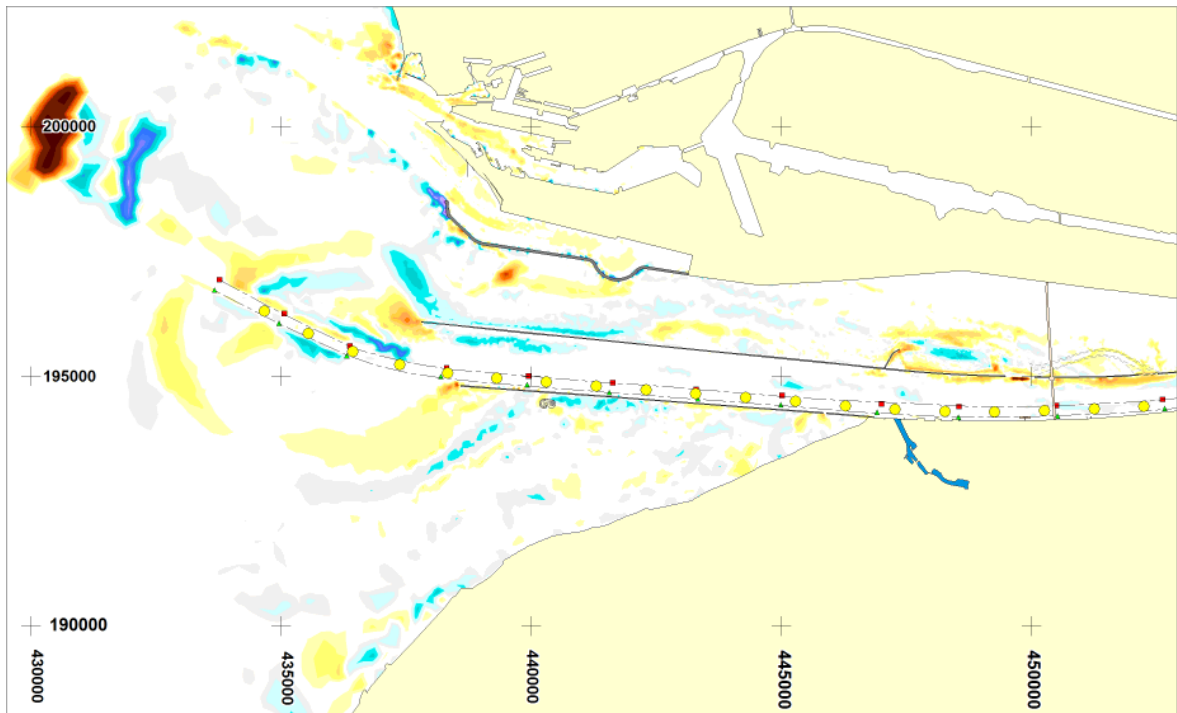
**Figure 23. Evolution des fonds nature entre mi-2013 et fin 2015**

A cette échelle, les évolutions de la Fosse nord en aval à l'épi du Hode, commencent à se stabiliser sur 2013-2015, mise à part une érosion le long de la DBN à l'aval. Cette érosion est d'ailleurs bien reprise par le modèle, voire amplifiée. A l'amont de l'épi du Hode, on note l'avancée de la Fosse Nord vers l'Est avec une érosion dans son axe et un dépôt sur la partie nord ce qui est convenablement reproduit par le modèle.

A l'embouchure, on peut noter une érosion sur la rive nord de l'engainement qui est aussi reproduite par le modèle. Plus au large, les dépôts sur le banc du Ratelet continuent et le dépôt sur le Kannik se prolonge vers le large. On notera sur le modèle une érosion sur le Kannik en arrière de la zone de dépôt qui n'est pas relevée avec la même intensité sur les évolutions nature. Les

positions approximatives de clapage dans les zones sont possiblement liées à cela puisque le dépôt en avant du site est plus important qu'en nature ce qui a pu entraîner un écoulement préférentiel à l'arrière.

Après 6 ans d'évolution, on observe principalement une érosion de la zone du Kannik suite à l'arrêt des clapages sur cette zone dans le modèle. La fosse Nord aval, face à Port 2000, continue à se déplacer et à éroder la zone longeant la digue basse Nord. Plus à l'Est, la fosse nord amont continue à pénétrer vers l'amont à l'Est de l'épi du Hode. Le banc de la Passe continue à se réaménager, tout en sédimentant ainsi que la zone du méandre.



**Figure 24. Evolution des fonds entre l'AN0 et l'AN 6 du calcul tendanciel**

## 3.2. EVOLUTIONS DETAILLEES DES VOLUMES DE CUBATURES

### 3.2.1. Cubature globale

Globalement, le modèle tient bien la masse globale de sédiments dans l'estuaire en particulier la masse du bouchon vaseux tout au long du calcul. Les fluctuations s'expliquent par la variabilité de l'hydrologie (Figure A6).

Le bilan volumétrique global cumulé depuis fin 2005 pour les 2 premières années du calcul tendanciel est présenté ci-dessous en complément à l'évolution déjà calculée sur les huit années précédentes (2005-2013). Les forçages naturels et anthropiques sur ces 10 années correspondent au forçage réel ce qui permet de comparer valablement les évolutions mesurées en nature et celles simulées par la modélisation sur cette période que nous qualifions de période historique.

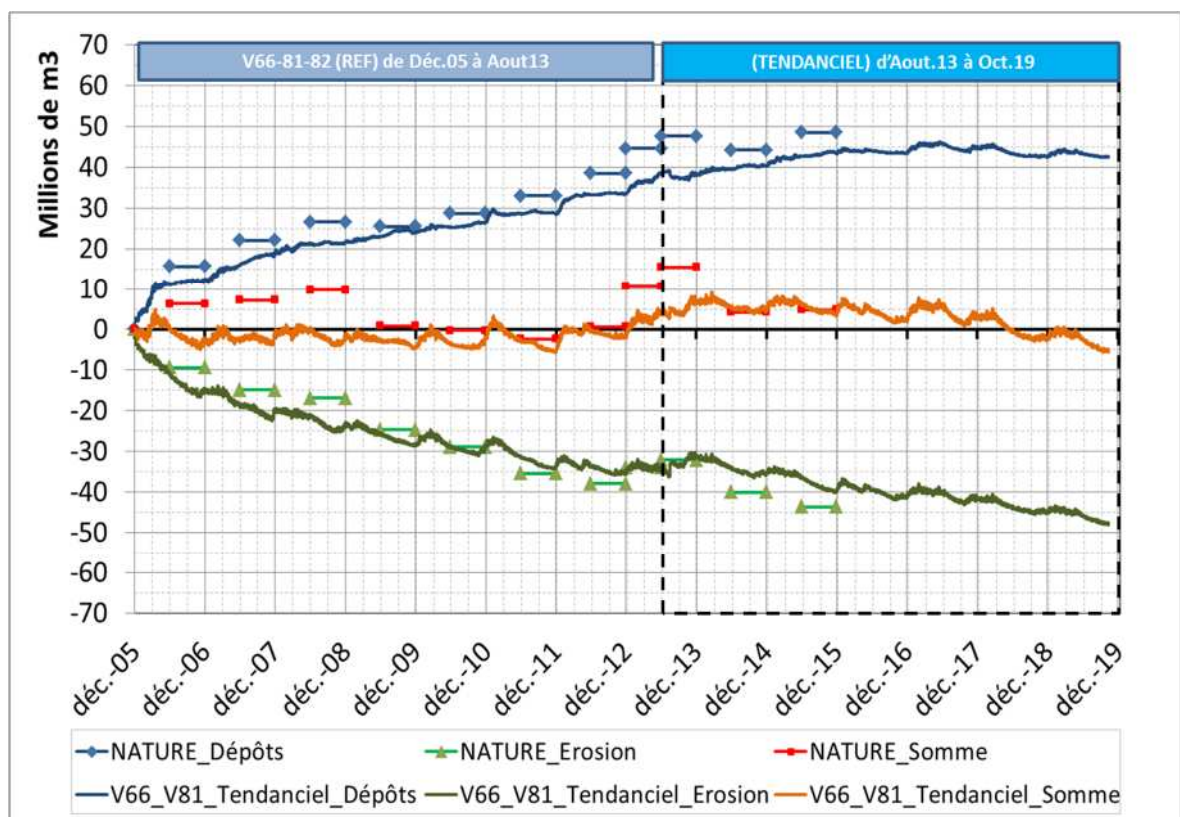
Précisons d'autre part que cette cubature est réalisée sur une emprise différente des cubatures dites « détaillées » (Figure A8 à A15). En effet, l'emprise considérée ici est celle qui est commune à l'ensemble des levés nature utilisés: la surface est donc plus restreinte, les ouvrages, rives, bords de levés ne sont pas considérés de même que la zone du méandre amont. Néanmoins, les calculs de cubatures pour les levés modèle et nature, présentés sur un même graphique, sont bien réalisés sur les mêmes emprises.



Ce graphe met en évidence deux points : la sédimentation induite par la forte hydraulité de l'année 2013 est reproduite par le modèle mais avec une sédimentation nette plus faible de 5 millions de m<sup>3</sup> à comparer aux 15 millions de m<sup>3</sup> déduits des levés de terrain. De plus ce résultat inclut l'assimilation de la bathymétrie nature à mi-2013. Cet écart disparaît l'année suivante, en 2014, puisque le bilan net cumulé en nature redescend à 5 millions de m<sup>3</sup> au niveau du modèle.

L'analyse du détail des évolutions nature par zone (voir annexe A) indique que la sédimentation temporaire de 2013 concerne la fosse sud, la zone Amfard, la fosse nord aval et le banc de la Passe. Elle s'efface ensuite en un à deux ans. Par contre, elle reste plus pérenne sur la zone du Ratelet et dans la fosse nord amont. Le modèle pour sa part fournit des résultats plus lissés et ne rend pas compte de ces fortes fluctuations à l'échelle de 2/3 années.

Le second point à noter est le fait que la cubature modèle indique un bilan net négatif à partir de 2017, ce qui correspond dans le modèle à un arrêt des clapages sur le site du Kannik.



**Figure 25. Cubature sur l'estuaire global**

La position des zones considérées pour le dépouillement des cubatures détaillées sont présentées en annexe (Figure A7). Nous commenterons ici les résultats du calcul tendanciel.

### 3.2.2. Embouchure

Au Kannik, le modèle reproduit correctement l'effet des immersions observé en nature sur la période historique considérée (2005-2015). Il prévoit ensuite une tendance forte à l'érosion dès l'arrêt des immersions sur le site. Au total ce sont environ 8 millions de m<sup>3</sup> qui sont érodés en 3 ans (Figure A8).

Sur la zone d'Amfard (Figure A9), les fonds sont en érosion régulière sur le modèle qui ne reproduit pas l'épisode de sédimentation indiqué par les levés nature en 2012 et 2013. Le modèle ne prévoit pas d'impact sur cette évolution par l'arrêt du Kannik.

### 3.2.3. Zone endiguée

Le modèle a reproduit correctement l'approfondissement progressif de cette zone entre 2005 et 2013 avec une érosion nette moyenne de 1,4 millions de m<sup>3</sup>/an qui est induite non seulement par les forçages naturels mais également par les opérations de dragages du chenal de navigation (4,5 millions de m<sup>3</sup>/an en moyenne). Par contre, l'accélération de l'érosion observée entre 2013 et 2015 (6 millions de m<sup>3</sup> au total, soit 3 millions de m<sup>3</sup>/an) n'est pas reproduite.

Il met en évidence des fluctuations saisonnières importantes de 5 à 7 millions de m<sup>3</sup>/an (selon l'hydrologie de la Seine), largement supérieures à l'érosion moyenne. Il prévoit une stabilisation des évolutions sur les 4 années suivantes avec le scénario hydrologique retenu (*Figure A10*).

### 3.2.4. Zone Sud

Les levés nature de la fosse Sud conduisent à une relative stabilité des cubatures, la sédimentation sur le banc du Ratelet étant compensée par l'érosion de la fosse sud (*Figure A11*). Le calcul de la cubature présente une incertitude importante supérieure aux fluctuations observées. On notera cependant un pic de sédimentation sur l'année 2013. Le modèle pour sa part calcule une évolution très lente et lissée.

### 3.2.5. Zone Nord

La cubature globale nature sur la zone nord montre une tendance générale à l'érosion sur 10 ans avec une variabilité pluriannuelle à l'hydrologie (*Figure A12*) : on notera que la sédimentation pendant l'année humide 2013 se prolonge et s'intensifie en 2014 avant de s'effacer en 2015. Cette tendance générale est en fait liée à la poursuite du creusement de la nouvelle fosse nord aval au sud de Port2000 après la fin des travaux de construction (*Figure A13*).

Le modèle est assez cohérent avec ces observations y compris pour ce pic de 2014 qui est cependant moins marqué qu'en nature. De plus, il met en évidence des fluctuations saisonnières plus ou moins marquées selon l'hydrologie. Enfin, il prévoit une tendance à l'érosion pour les 4 années à venir pour le scénario hydrologique retenu.

### 3.2.6. Détail de la zone nord amont

Sur le banc de la Passe (*Figure A14*), la tendance observée est à la sédimentation régulière depuis 2005 qui marque une pause à partir de 2012. Le modèle reproduit correctement la tendance à la sédimentation sans toutefois marquer la pause des dernières années.

Enfin, sur le méandre amont (*Figure A15*), la forte intensité de la sédimentation, observée entre 2005 et 2012 (1,15 millions de m<sup>3</sup> en 7 ans) s'atténue sur les 3 dernières années (0,15 millions de m<sup>3</sup> en 3 ans). Le modèle reproduit la forte sédimentation observée en la surestimant d'environ 15%. Son atténuation est également reproduite avec un décalage d'une année. Il prévoit cependant une tendance à la poursuite de la sédimentation pour l'année à forte hydrologie (année 2017) introduite dans le scénario tendanciel.

## 3.3. DRAGAGES D'ENTRETIEN DES GRANDS PORTS

### 3.3.1. Comparaison sur 2014-2015

Les dragages d'entretien dans le port du Havre fluctuent entre 1,5 et 2,2 millions de tonnes selon les années (tableau 1) et le sédiment dragué est constitué de vase à 80/90%. Les masses draguées sur le modèle en 2014 et 2015 sont de 1,25 et 1,3 millions de tonnes à comparer aux 2,0 et 2,2 millions de tonnes estimés en nature. Le modèle fournit ici une sous-estimation des dragages effectués ; Cependant, le matériau dragué dans le modèle est constitué de vase à 80% ce qui est très proche de l'estimation nature (*Figure A.20* et tableau 2).

## Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine

### IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE

Cette sous-estimation était moins marquée dans les simulations précédentes (1,7 et 1,5 millions de tonnes dans le rapport NA13). Cela est certainement dû à l'actualisation de la bathymétrie dans les installations portuaires, la cote théorique ayant été remplacée par la cote réelle qui est plus basse en de nombreux endroits.

**Tableau 1 – Clapages GPMH effectués sur Octeville**

	Port2000 phase1	Port2000 phase2	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Masse de vase (tonnes)	3 573 378	3 147 242	1 466 634	2 075 176	1 785 283	1 832 057	1 274 728	1 294 694	1 498 183	1 498 073	1 643 668	1 780 099	22 869 214
Masse de sable (tonnes)	1 858 187	1 402 119	406 701	465 207	308 742	271 909	259 949	147 280	308 517	298 897	319 926	403 250	6 450 686
Masse totale (tonnes)	5 431 566	4 549 361	1 873 335	2 540 383	2 094 025	2 103 967	1 534 677	1 441 975	1 806 701	1 796 969	1 963 594	2 183 349	23 375 988

Pourcentage sable	29%	27%	22%	13%	8%	9%	11%	7%	10%	10%	14%	17%	12%
Pourcentage vase	71%	73%	78%	87%	92%	91%	89%	93%	90%	90%	86%	83%	88%

**Tableau 2 – Dragages GPMH modélisés sur 2014-2015**

GPMH (dragage modèle)	2014	2015
masse de sable (tonnes)	249 371	268 628
masse de vase (tonnes)	999 761	1 037 022
<b>masse total (tonnes)</b>	<b>1 249 132</b>	<b>1 305 650</b>
<b>pourcentage sable</b>	<b>20.0%</b>	<b>20.6%</b>
<b>pourcentage vase</b>	<b>80.0%</b>	<b>79.4%</b>

Pour le chenal de Rouen en Seine, les masses draguées sont de 5,2 millions de tonnes/an en moyenne sur 10 ans avec 2/3 de vase et 1/3 de sables. Les dragages opérés dans le modèle et complétés par l'indicateur de dragage sur la zone 4 conduisent à 4,3 et 4 millions de tonnes pour les années 2014 et 2015. Là encore les ordres de grandeur sont comparables avec néanmoins une sous-estimation d'environ 25 à 30% par rapport à ce qui est clapé sur le Kannik (Figures A.16 à A.19 et tableau 4). La répartition sable-vase est elle aussi cohérente avec cependant moins de vases qu'observé.

**Tableau 3 – Masses immergées au Kannik**

Masses en milliers de tonnes	2013 Du 1er Juillet	2014	2015	total	pourcentage
<b>Mvase</b>	1 789	3 160	3 863	8 812	68%
<b>Msablons</b>	509	944	1 096	2 549	20%
<b>Msable fin</b>	191	380	411	981	8%
<b>Msable moyen</b>	101	204	218	523	4%
<b>Total</b>	2 590	4 688	5 588	12 865	

**Tableau 4 – Dragages GPMR modélisés sur 2014-2015**

GPMR (dragage modèle)	2014	2015
masse de sable (tonnes)	1 685 327	1 773 178
masse de vase (tonnes)	1 146 284	821 861
Indicateur dragage zone4		
masse de sable (tonnes)	113 033	61 871
Indicateur dragage zone4		
masse de vase (tonnes)	1 425 709	1 348 191
<b>masse total (tonnes)</b>	<b>4 370 353</b>	<b>4 005 100</b>
<b>pourcentage sable</b>	<b>41.1%</b>	<b>45.8%</b>
<b>pourcentage vase</b>	<b>58.9%</b>	<b>54.2%</b>

### 3.3.2. Impact de l'arrêt des immersions au Kannik

Le tableau ci-dessous résume les quantités draguées annuellement dans les installations des ports du Havre et de Rouen sur les 6 années.

**Tableau 5 – Dragages GPMH modélisés sur 6 ans**

GPMH (dragage modèle)	2014	2015	2016	2017	2018	janv à oct 2019
masse de sable (tonnes)	249 371	268 628	214 058	188 226	280 721	216 770
masse de vase (tonnes)	999 761	1 037 022	957 778	871 051	1 131 299	981 053
<b>masse total (tonnes)</b>	<b>1 249 132</b>	<b>1 305 650</b>	<b>1 171 835</b>	<b>1 059 277</b>	<b>1 412 019</b>	<b>1 197 823</b>
<b>pourcentage sable</b>	<b>20.0%</b>	<b>20.6%</b>	<b>18.3%</b>	<b>17.8%</b>	<b>19.9%</b>	<b>18.1%</b>
<b>pourcentage vase</b>	<b>80.0%</b>	<b>79.4%</b>	<b>81.7%</b>	<b>82.2%</b>	<b>80.1%</b>	<b>81.9%</b>

**Tableau 6 – Dragages GPMR modélisés sur 6 ans**

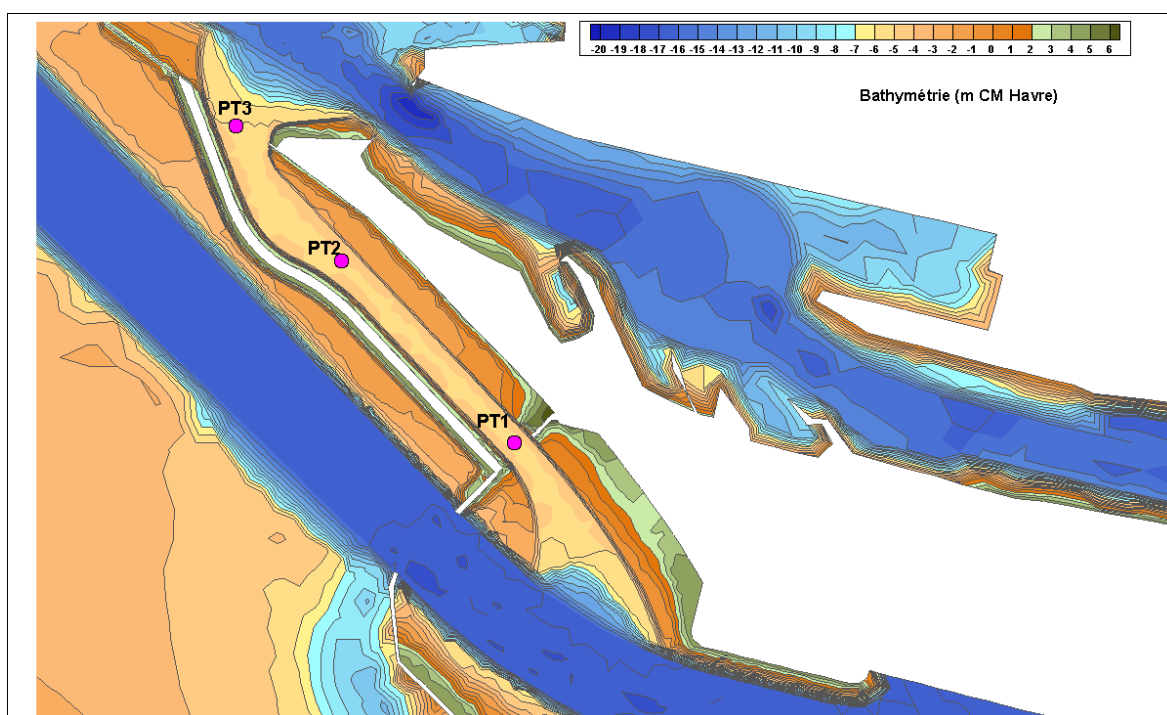
GPMR (dragage modèle)	2014	2015	2016	2017	2018	janv à oct 2019
masse de sable (tonnes)	1 685 327	1 773 178	1 592 356	2 063 275	1 553 871	1 210 042
masse de vase (tonnes)	1 146 284	821 861	1 284 723	1 576 682	1 452 088	868 548
Indicateur dragage zone4						
masse de sable (tonnes)	113 033	61 871	59 423	44 993	74 678	38 113
Indicateur dragage zone4						
masse de vase (tonnes)	1 425 709	1 348 191	1 217 622	2 139 753	1 421 591	1 125 561
<b>masse total (tonnes)</b>	<b>4 370 353</b>	<b>4 005 100</b>	<b>4 154 123</b>	<b>5 824 703</b>	<b>4 502 228</b>	<b>3 242 264</b>
<b>pourcentage sable</b>	<b>41.1%</b>	<b>45.8%</b>	<b>39.8%</b>	<b>36.2%</b>	<b>36.2%</b>	<b>38.5%</b>
<b>pourcentage vase</b>	<b>58.9%</b>	<b>54.2%</b>	<b>60.2%</b>	<b>63.8%</b>	<b>63.8%</b>	<b>61.5%</b>

On notera que l'arrêt des immersions au Kannik ne réduit pas pas sensiblement les volumes de dragage d'entretien. Cela est probablement dû au fait que le dépôt du Kannik s'érode (fig A.8) sur la période d'arrêt considérée. La variation des forçages explique les écarts d'une année sur l'autre.

## 4. ANALYSE DES RESULTATS AU NIVEAU DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE

### 4.1. ANALYSE DE L'HYDRODYNAMIQUE APRES UN AN D'EVOLUTION

Nous avons analysé l'hydrodynamique locale des calculs après un an d'évolution, afin d'estimer le fonctionnement de l'aménagement de la Chatière. La bathymétrie modèle dans l'état aménagé à la date de l'analyse est illustrée ci-dessous.



**Figure 26. Positionnement des points sonde sur la bathymétrie à l'AN 1 du calcul**

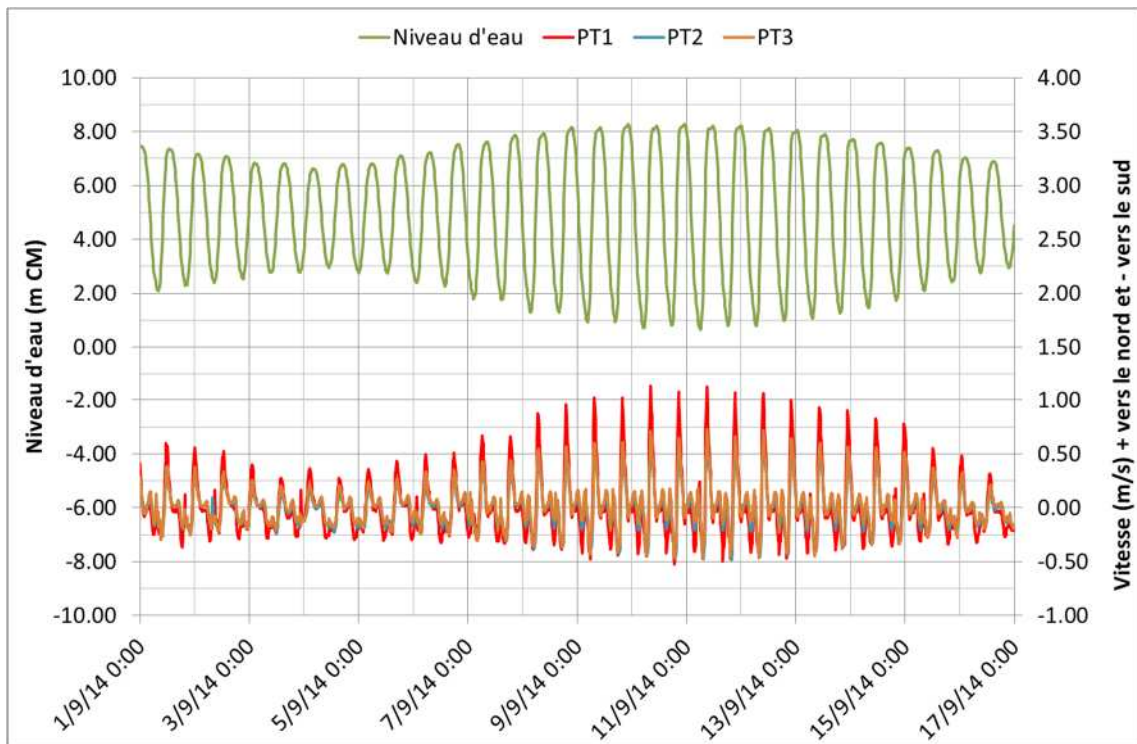
Le dépouillement des résultats hydrodynamiques a consisté à :

- Sortir des cartes de vitesse au maximum de flot et de jusant pour une marée de vive-eau,
- Sortir des points de vitesses et niveaux d'eau sur un cycle de 15 jours.

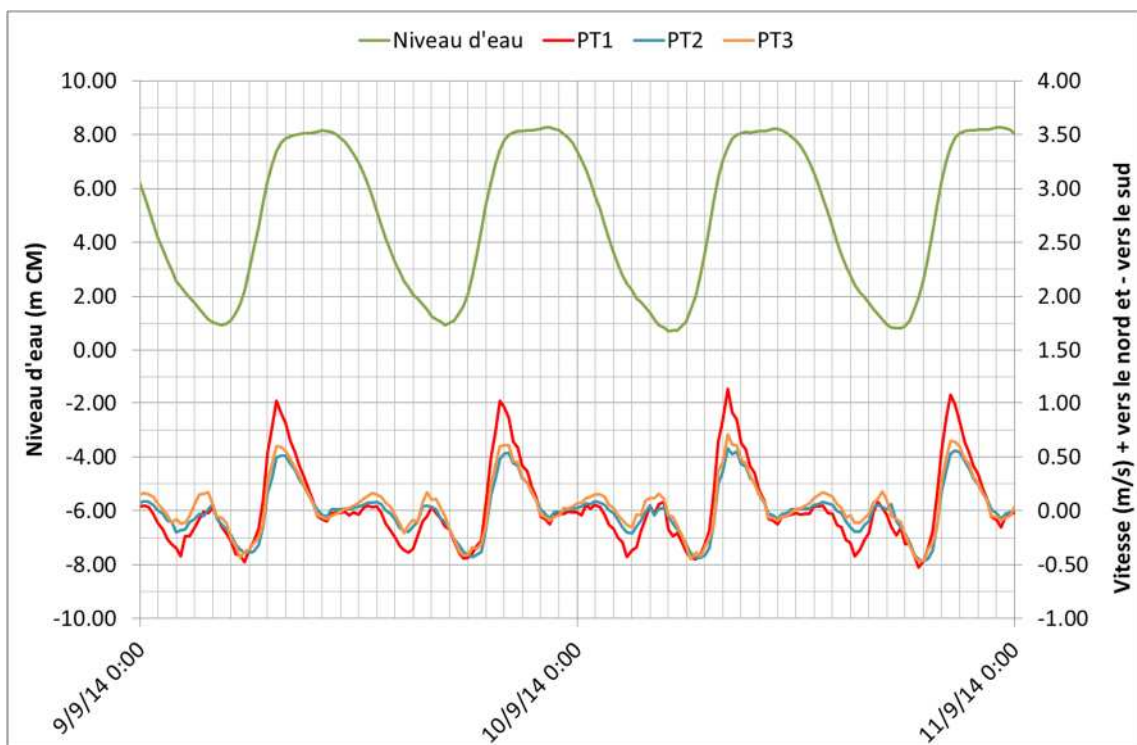
On notera principalement que les débits de jusant et de flot se font en cohérence avec la Seine puis les pics les plus importants se font dans des directions inversées. Le pic de flot principal se fait de Port 2000 vers le port nord, par exemple.

Les courants les plus importants dans l'aménagement se font ressentir en fin de flot, avec des courants qui vont de Port 2000 vers le port du Havre. Le maximum de vitesses est localisé vers la passe créée dans la digue de Port 2000 avec des vitesses allant jusqu'à 1,2 m/s en forte vive-eau. On notera qu'au niveau de la passe dans la digue sud, les courants peuvent atteindre 0,75 m/s et sont traversiers.

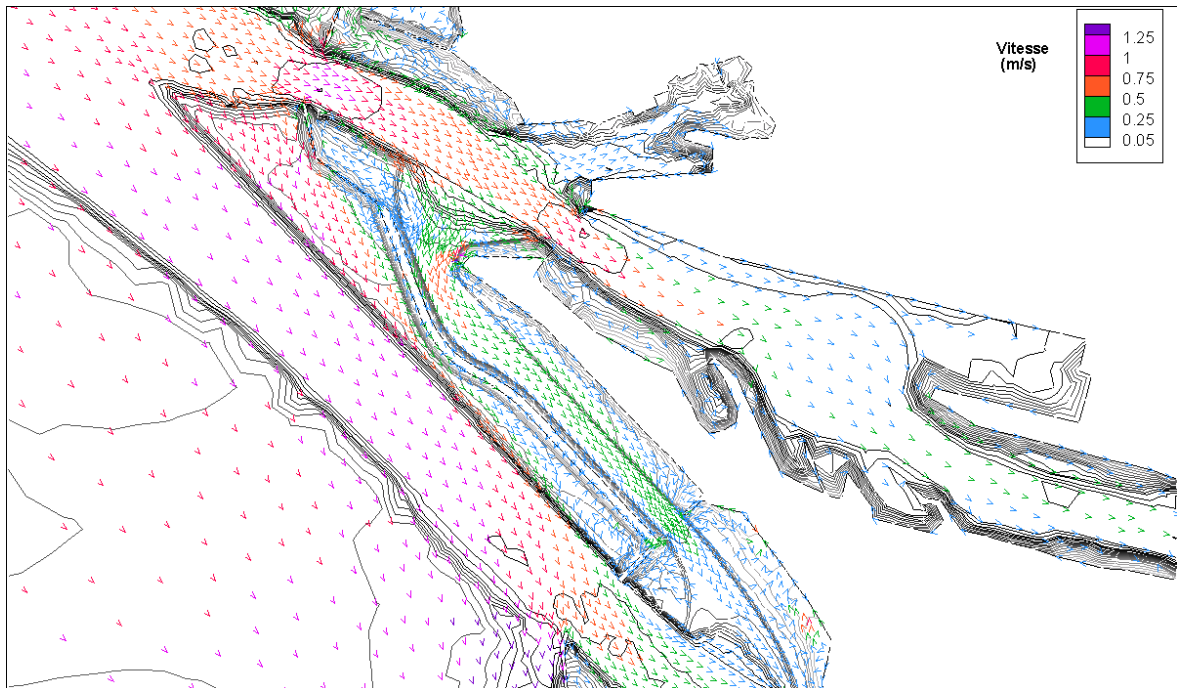
Les vitesses en jusant sont bien moins importantes avec un maximum de 0,5 m/s en forte VE. Ce maximum est obtenu sur la même zone qu'en jusant.



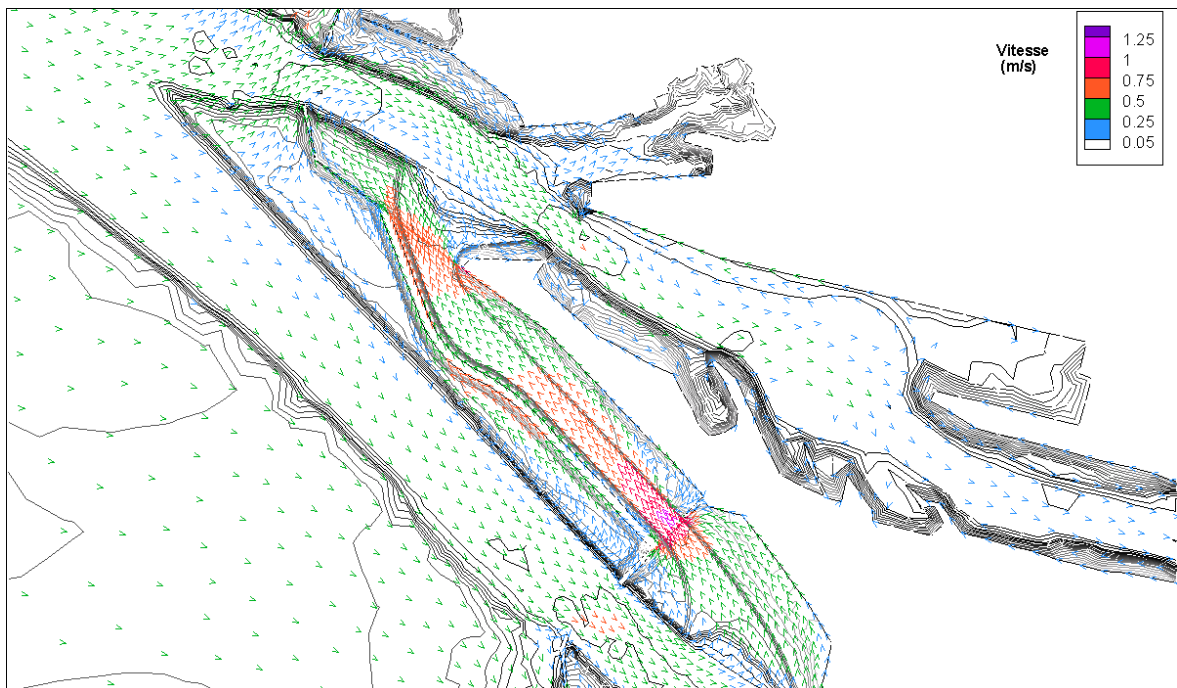
**Figure 27. Vitesses dans le chenal de la Chatière sur 15 jours**



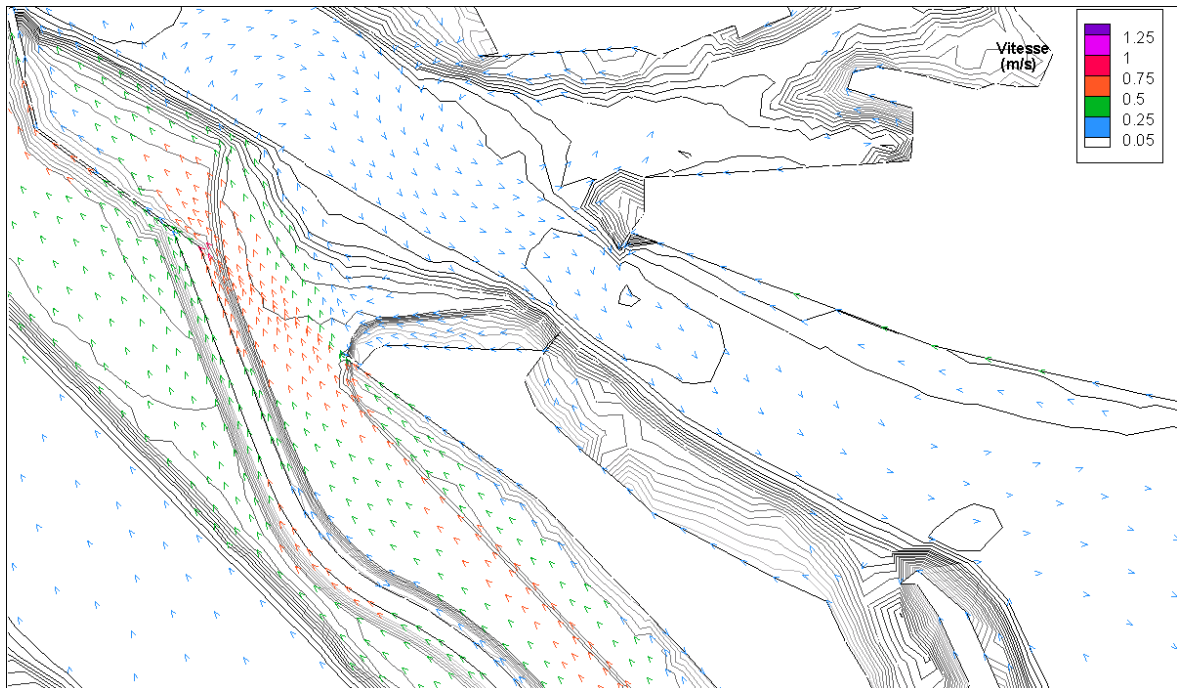
**Figure 28. Vitesses dans le chenal de la Chatière pour des marées de vive-eau**



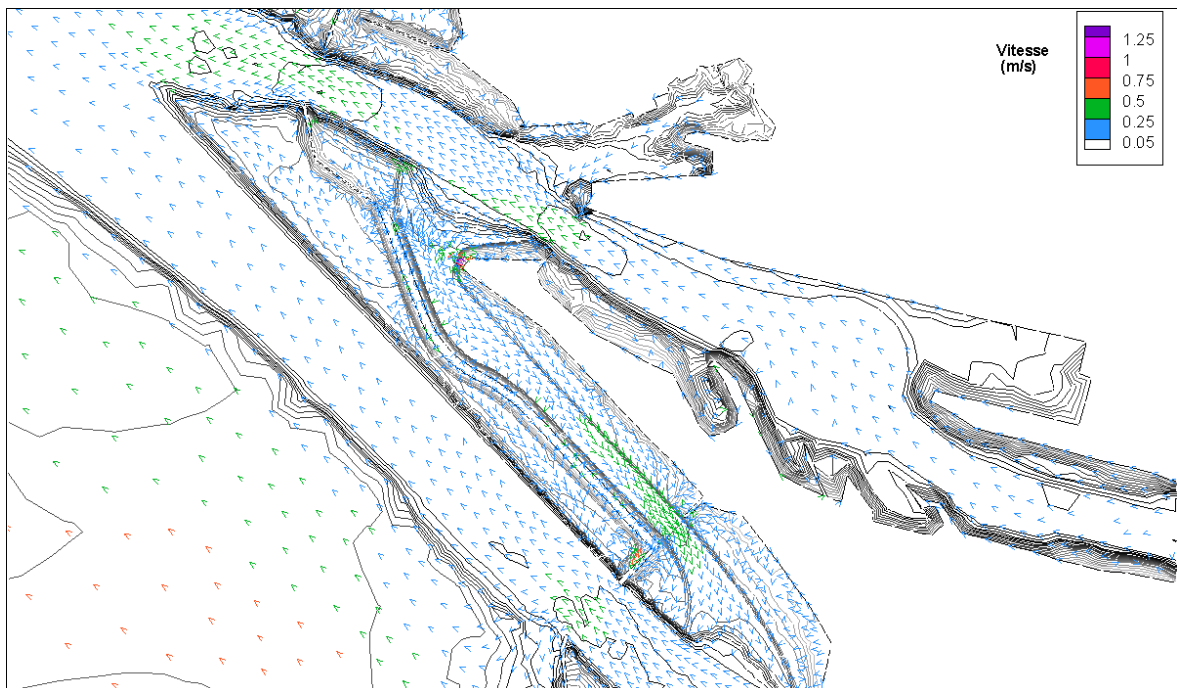
**Figure 29.** Carte de courant au premier pic de flot de VE (courants allant du Port nord vers Port 2000)



**Figure 30.** Carte de courant au second pic de flot de VE (courants allant de Port 2000 vers le Port nord)



**Figure 31.** Zoom au maximum de flot de VE (courants allant de Port 2000 vers le Port nord)

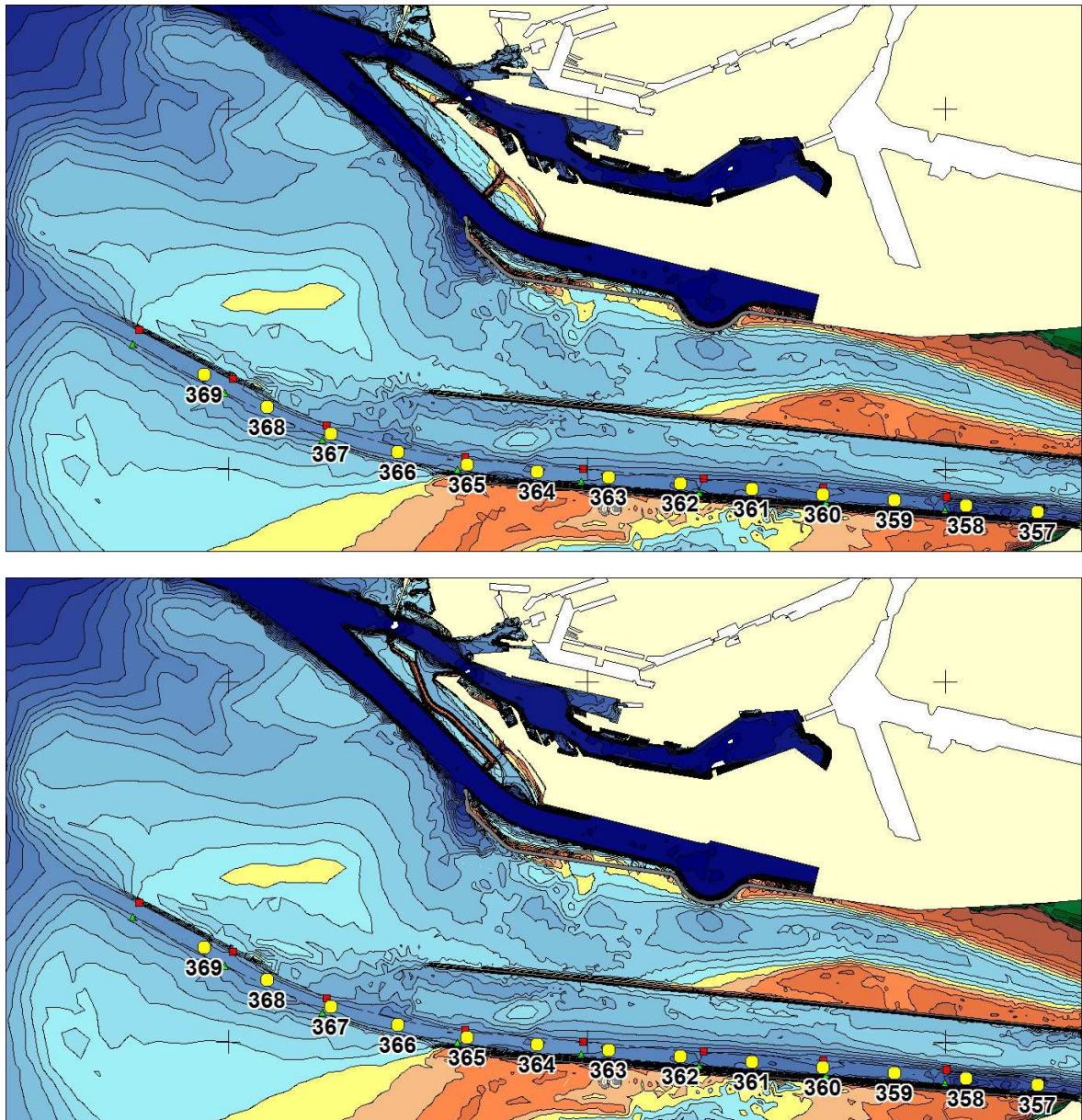


**Figure 32.** Carte de courant au maximum de jusant de VE (courants allant du Port nord vers Port 2000)



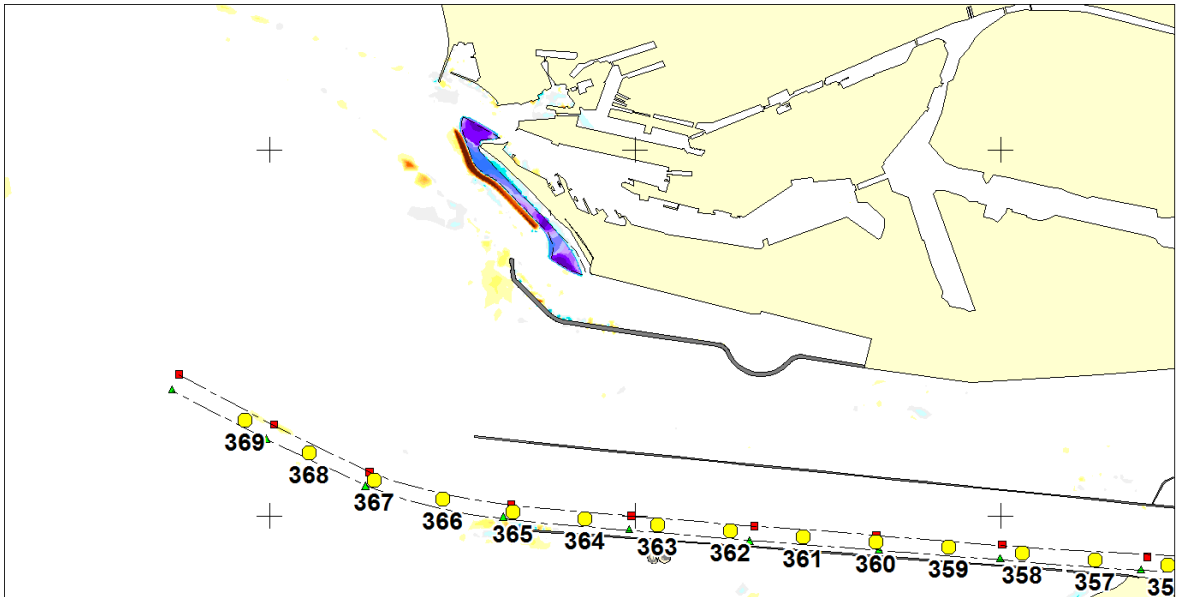
## 4.2. IMPACT DE L'AMENAGEMENT SUR LES EVOLUTIONS AUX ALENTOURS DU PORT

L'aménagement de la Chatière a comme on pouvait s'y attendre un impact mineur sur les évolutions extérieures aux ports. Ci-dessous sont présentées les bathymétries à 6 ans de l'état tendanciel et de l'aménagement.



**Figure 33. Bathymétrie Tendanciel et Aménagement Chatière : AN6**

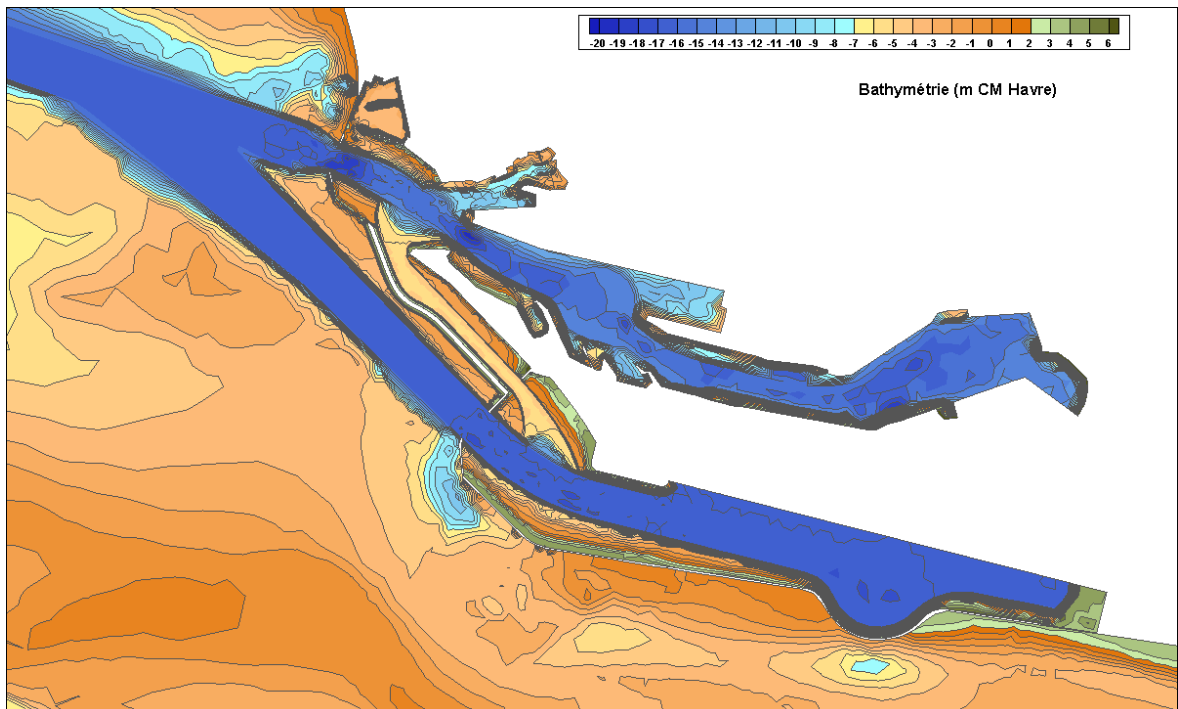
Le différentiel des deux est présenté dans la figure qui suit et montre clairement que les différences se trouvent sur la zone de projet.



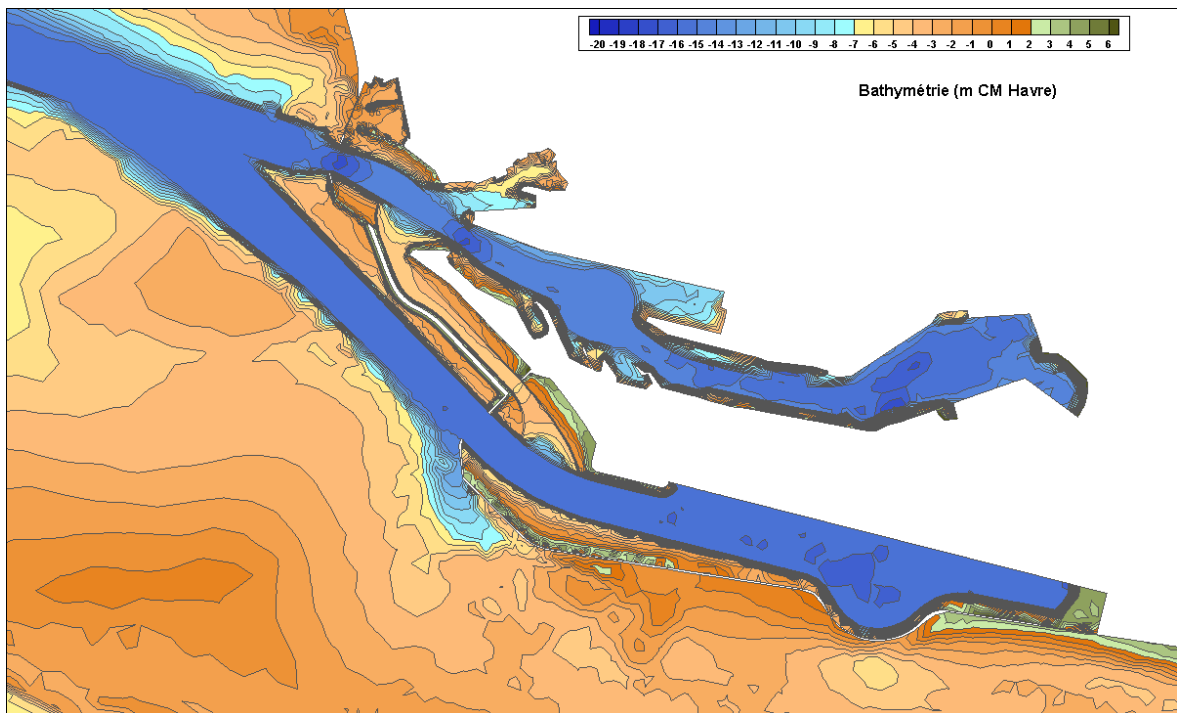
**Figure 34. Différentiel des bathymétries Tendanciel et Aménagement Chatière à l'AN6**

### 4.3. IMPACT DE L'AMENAGEMENT SUR LES EVOLUTIONS ET LES DRAGAGES DANS LES PORTS

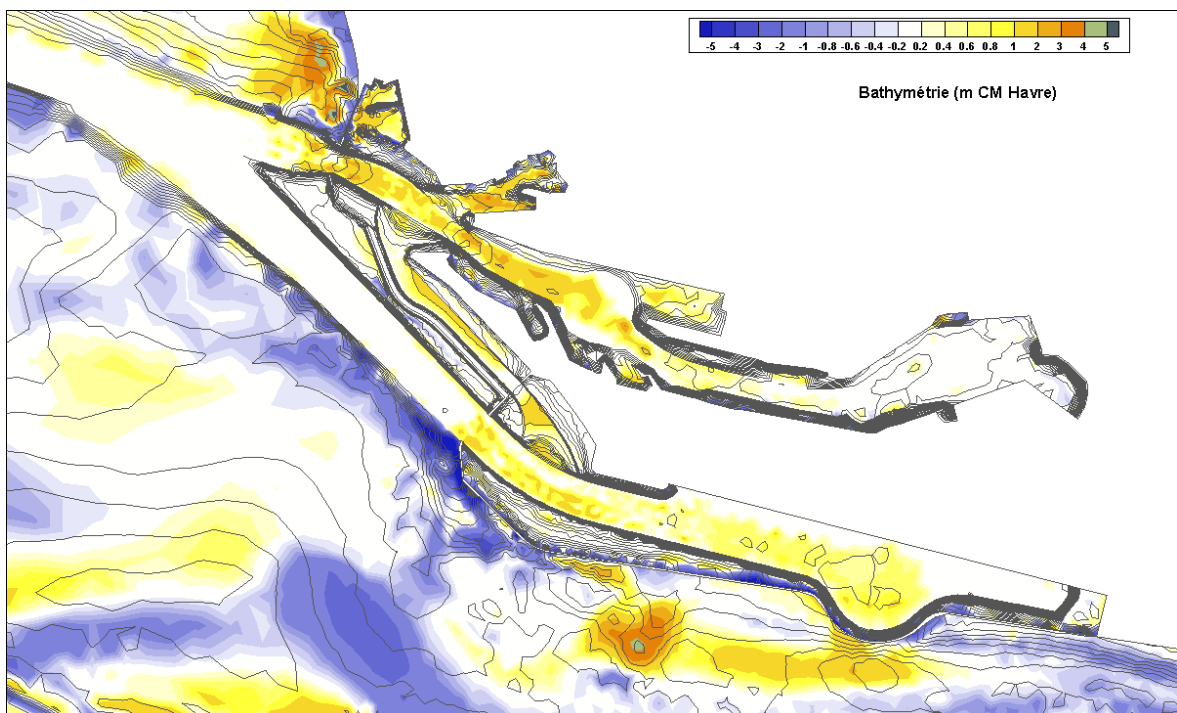
Les bathymétries de début et de fin de calcul de l'aménagement Chatière sont présentées ci-dessous ainsi que les évolutions durant cette période.



**Figure 35. bathymétrie de l'aménagement Chatière à l'AN0**



**Figure 36. bathymétrie de l'aménagement Chatière à l'AN6**



**Figure 37. Evolution avec l'aménagement Chatière entre l'an0 et l'an6**

Le chenal d'accès aux deux ports ainsi que les deux ports dans leurs zones principales sont dragués à leur cote cible.

Les évolutions visibles à l'intérieur des deux ports sont donc :

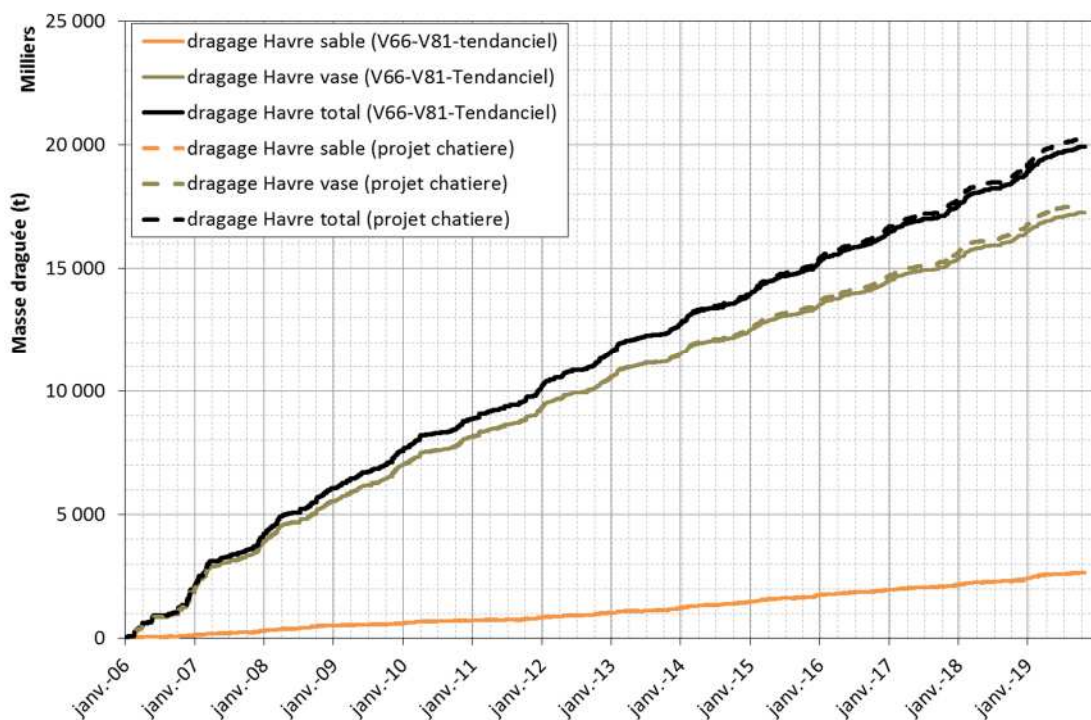
## Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine

### IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DE L'AMENAGEMENT DE LA CHATIERE

- soit sur des zones non draguées dans le modèle (port plaisancier du port du Havre par exemple)
- soit sur des zones où les bathymétries initiales fournies étaient inférieures à la côte cible de dragage.

Le chenal de l'aménagement de la Chatière n'est pas dragué dans le modèle et l'on voit que celui-ci s'est entretenu de manière assez efficace grâce aux vitesses non négligeables qui y circulent. Au bout de 6 ans un dépôt d'environ 1 m s'observe sur le flanc Nord-Ouest du chenal, suivant une forme parallèle à la digue.

Les dragages d'entretien des ports du Havre modélisés ne sont que très peu modifiés par l'aménagement de la Chatière, une augmentation de 3,5 % sur 6 ans est calculée.

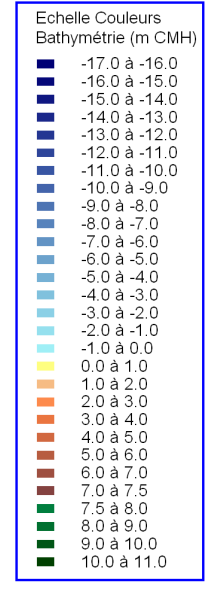
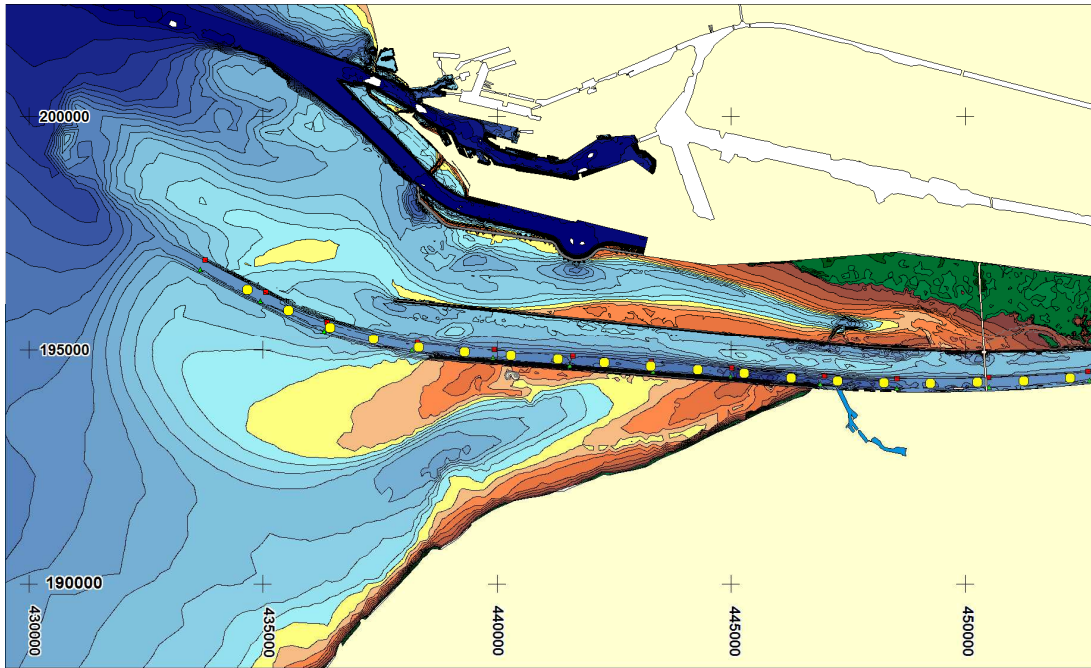


**Figure 38. Dragages modélisés dans les ports du Havre**

**ANNEXE A.**  
**RESULTATS DU CALCUL TENDANCIEL**

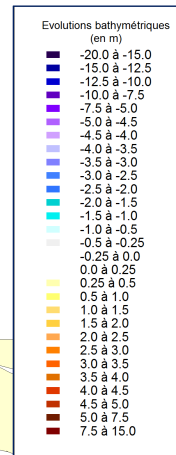
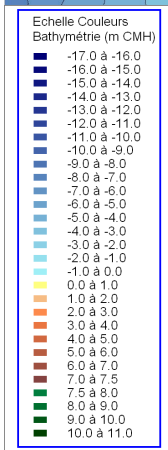
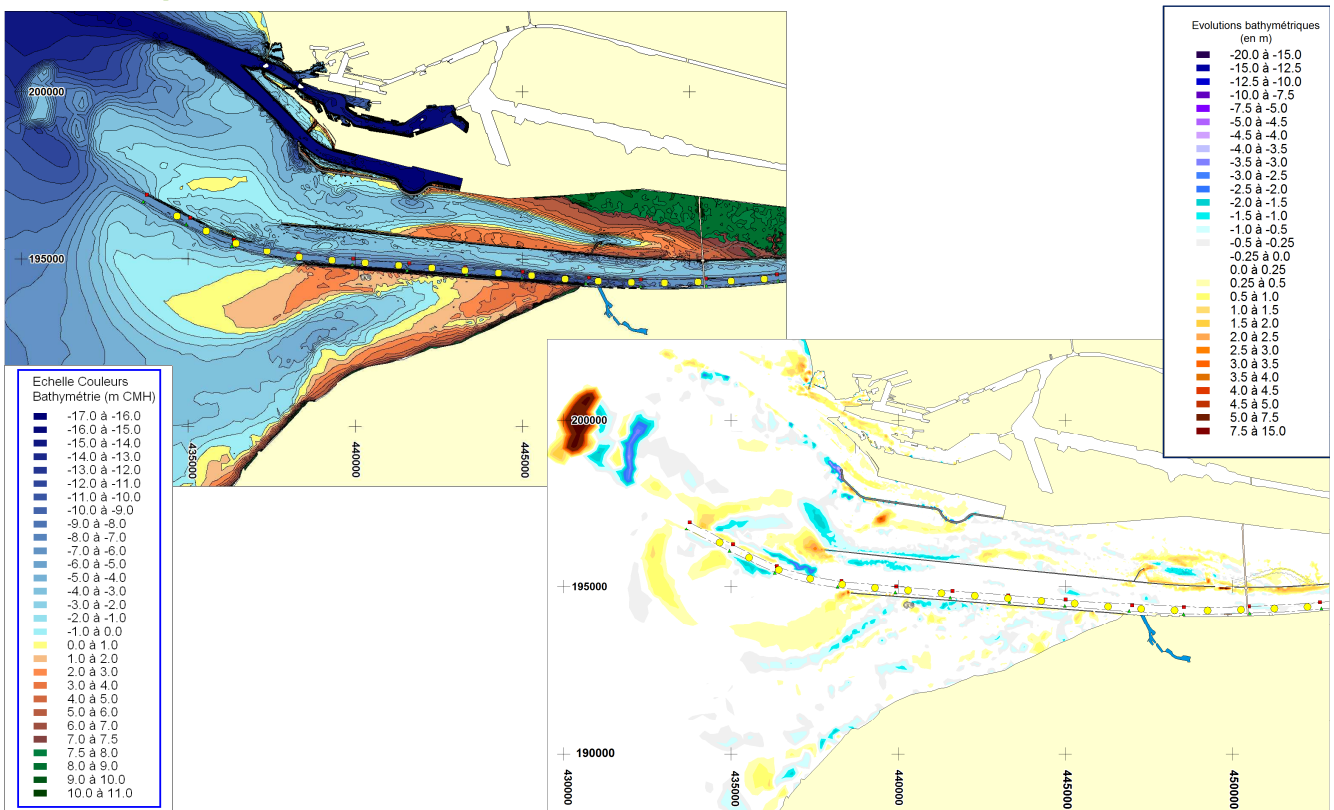


Bathymétrie initiale : AN 0

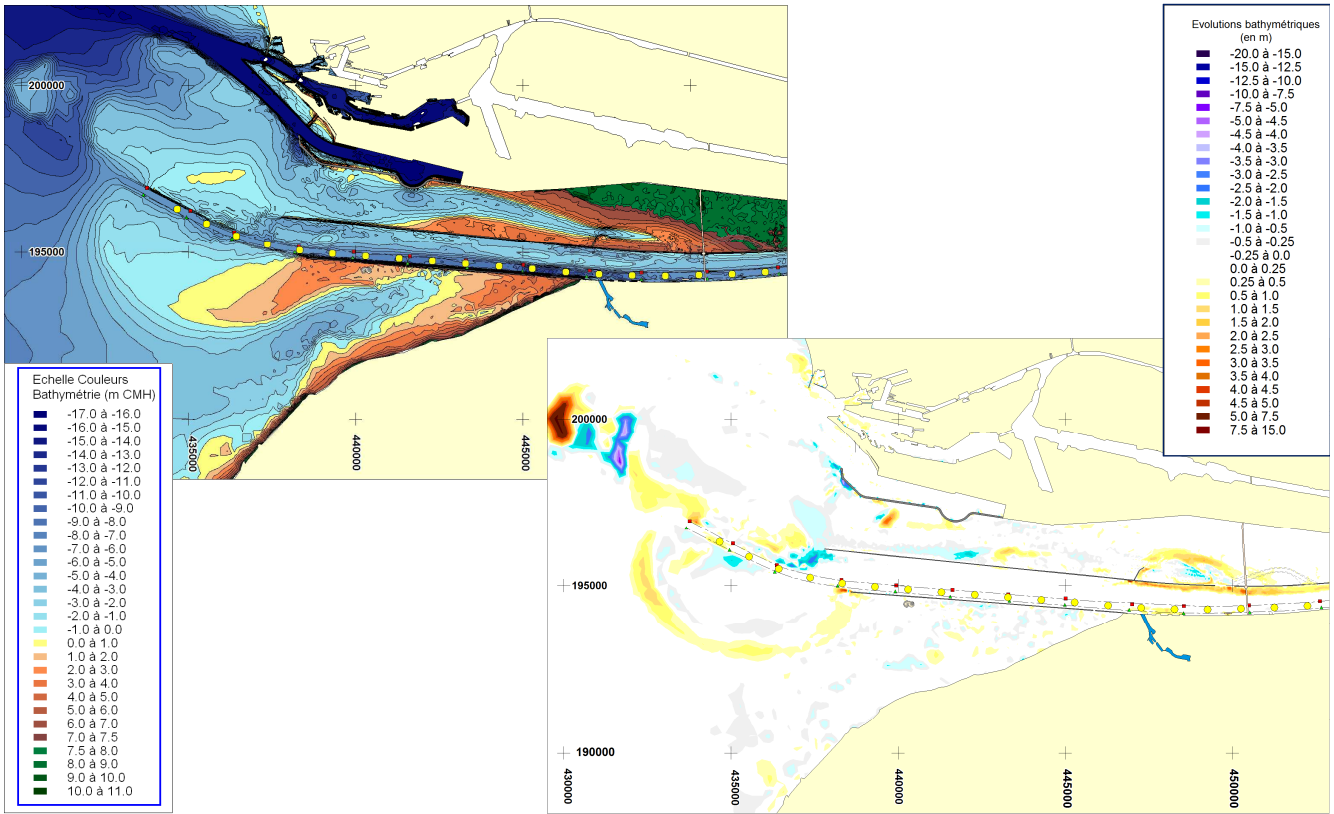


12/07/2017 ARTELIA 1

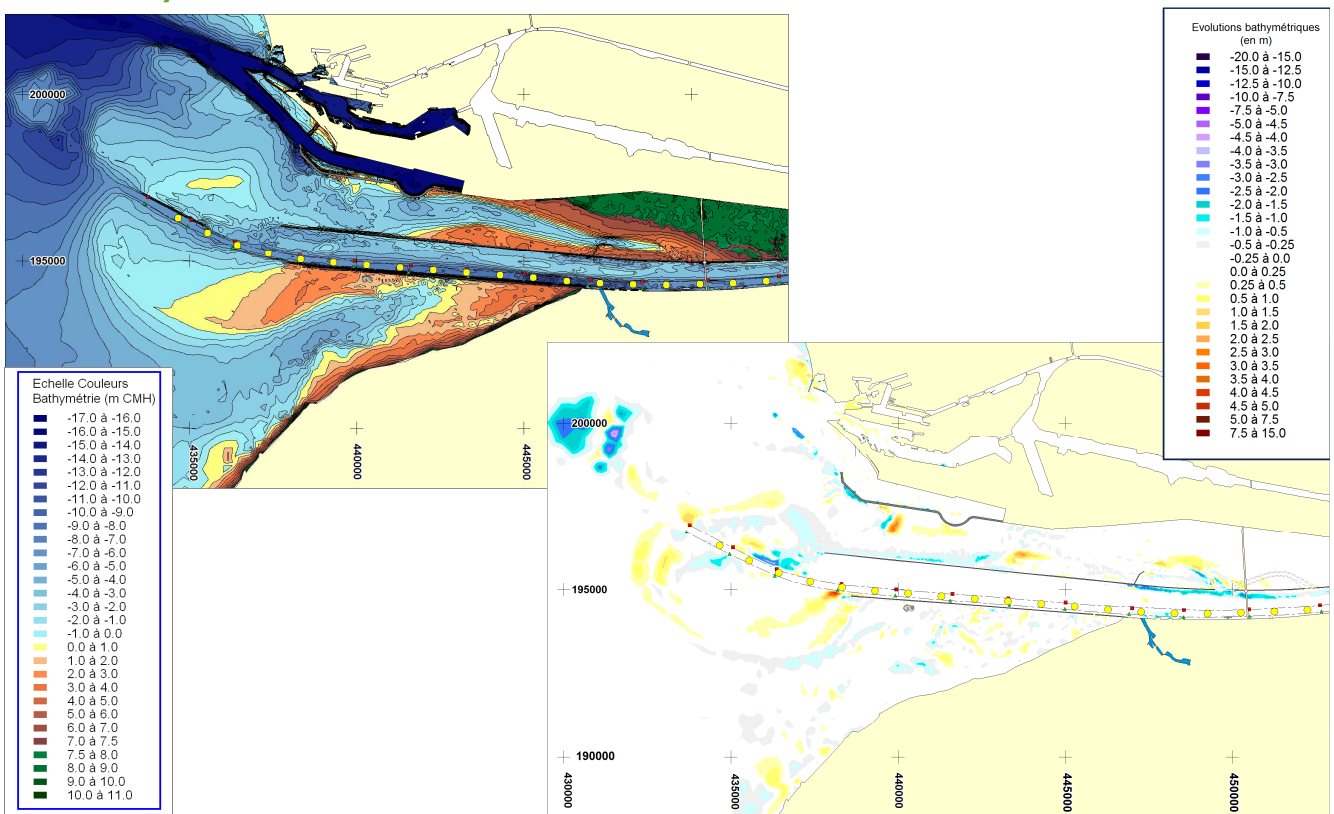
Bathymétrie à AN 2 et évolution AN 0 à AN 2



Bathymétrie à AN 4 et évolution AN 2 à AN 4

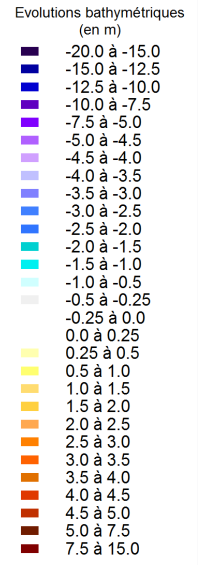
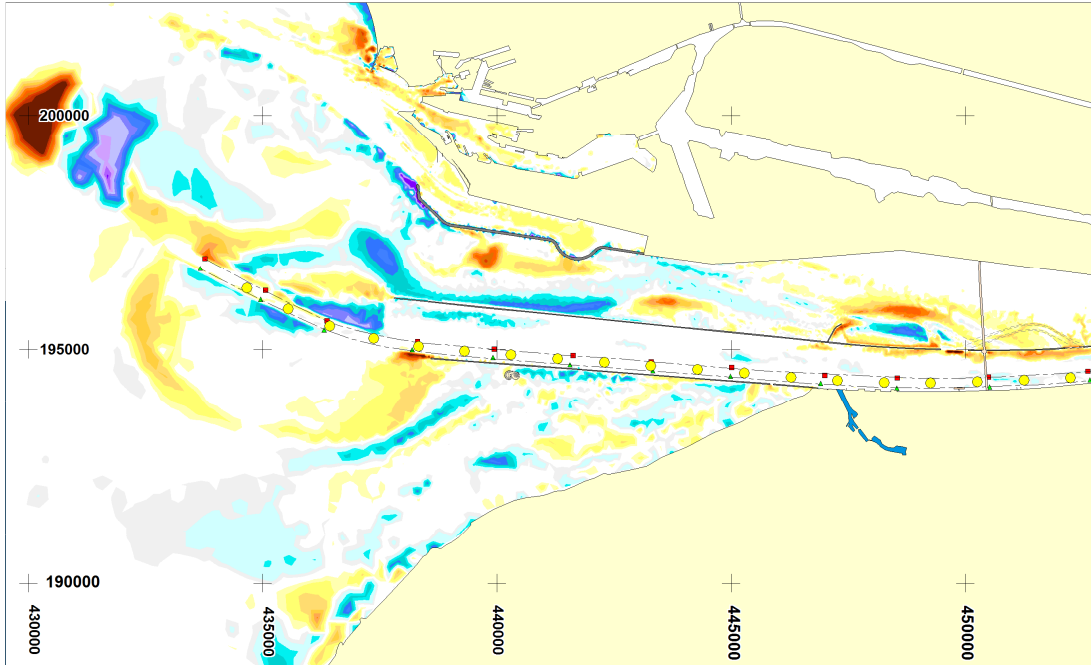


Bathymétrie à AN 6 et évolution AN 4 à AN 6

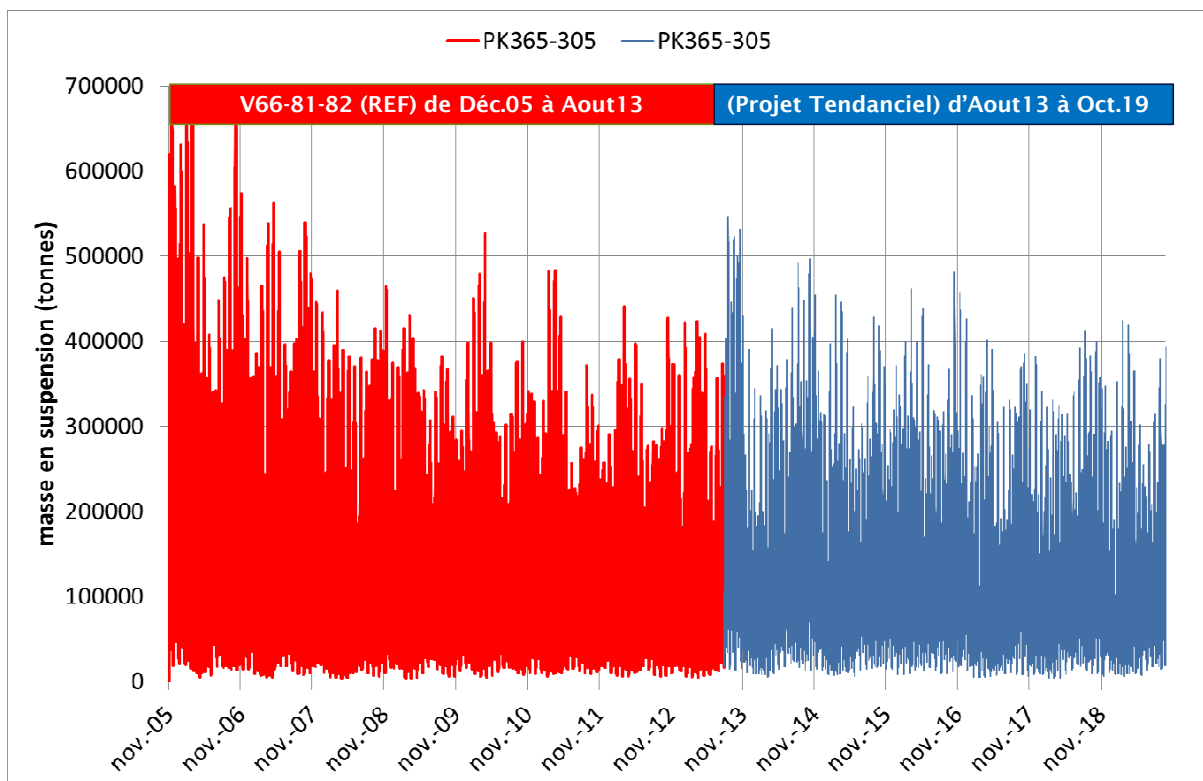




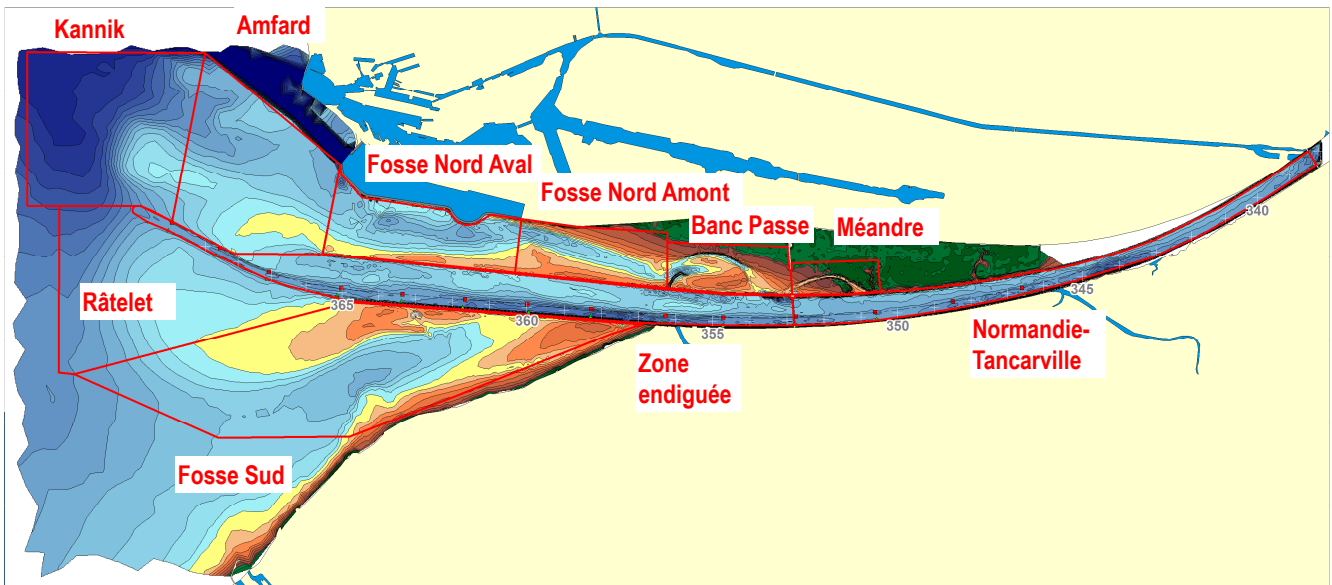
Evolution des fonds de An 0 à An 6



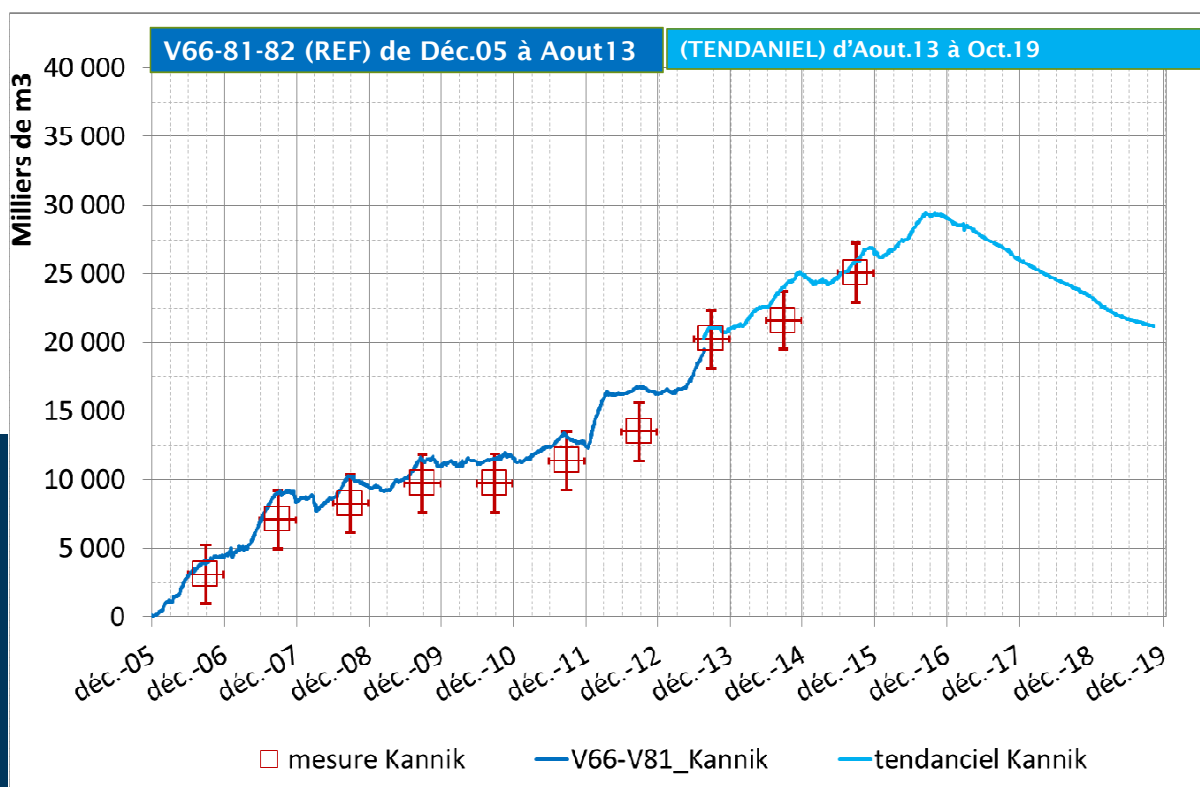
Evolution des MES



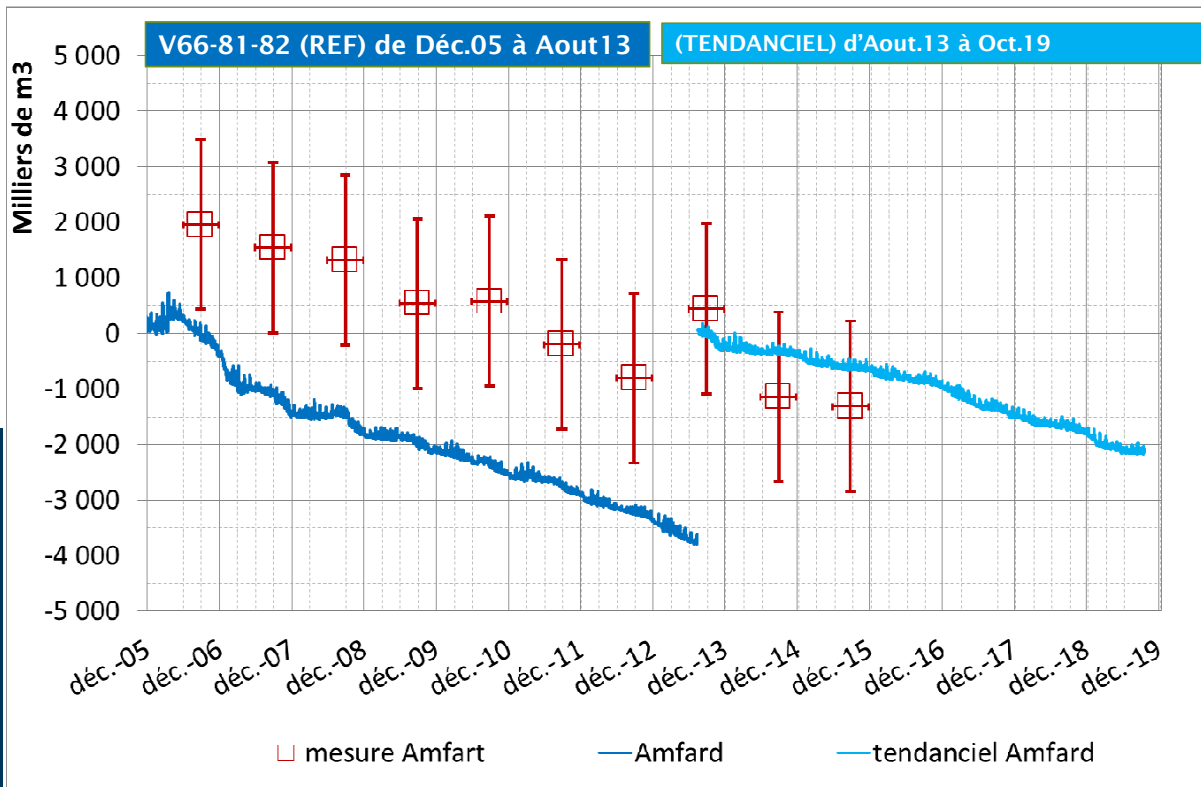
### Zones de cubatures



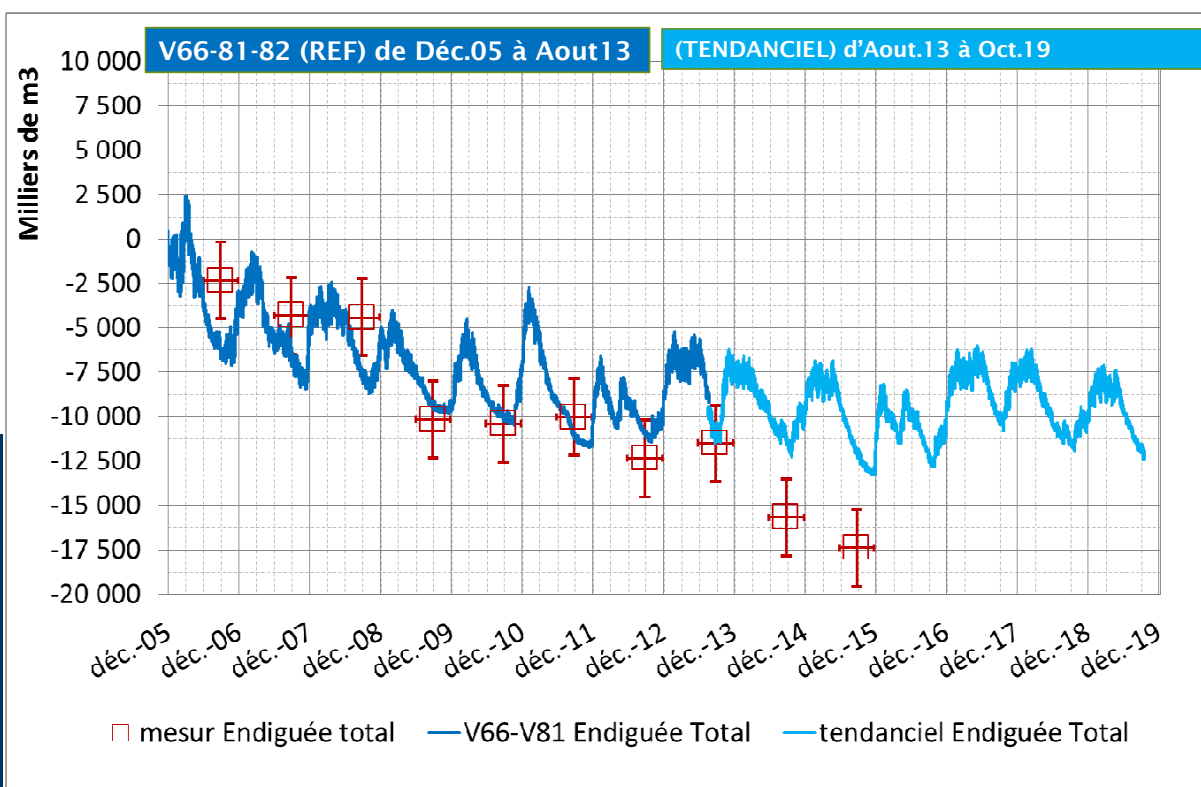
### Cubatures nettes : Kannik



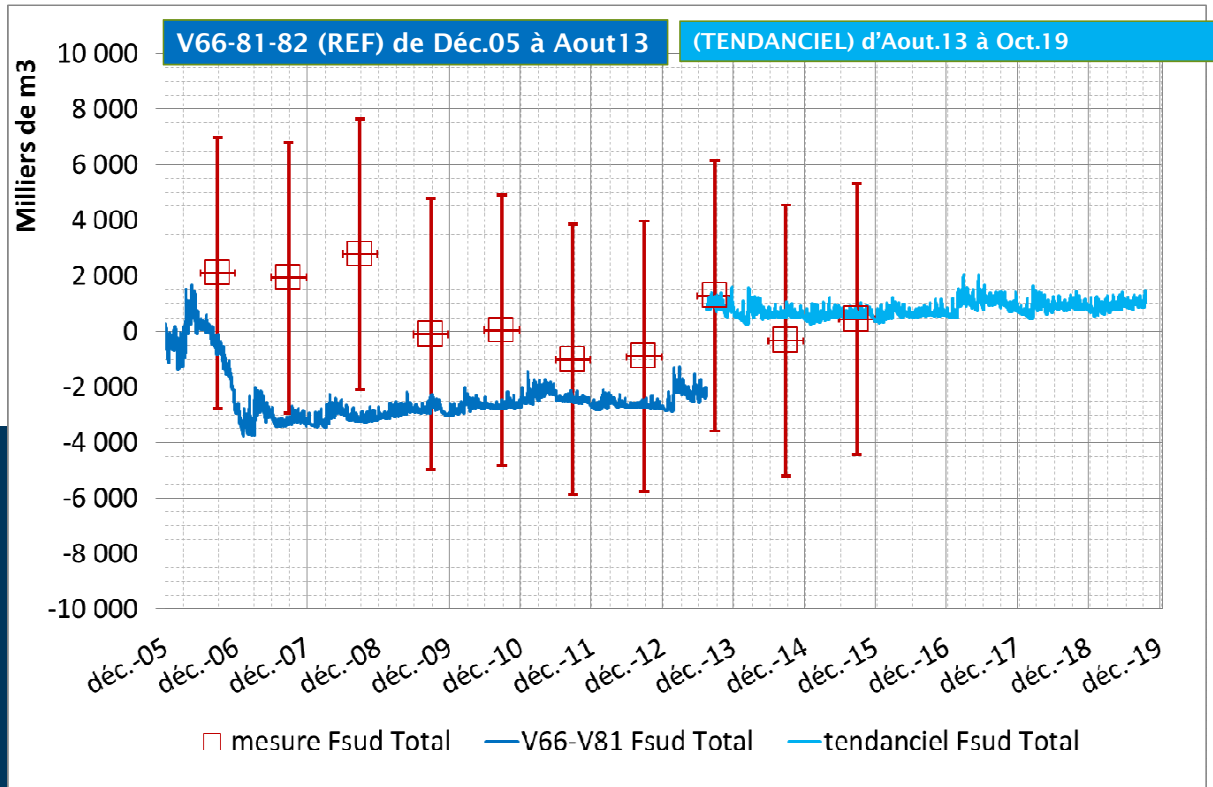
Cubatures nettes : Amfard



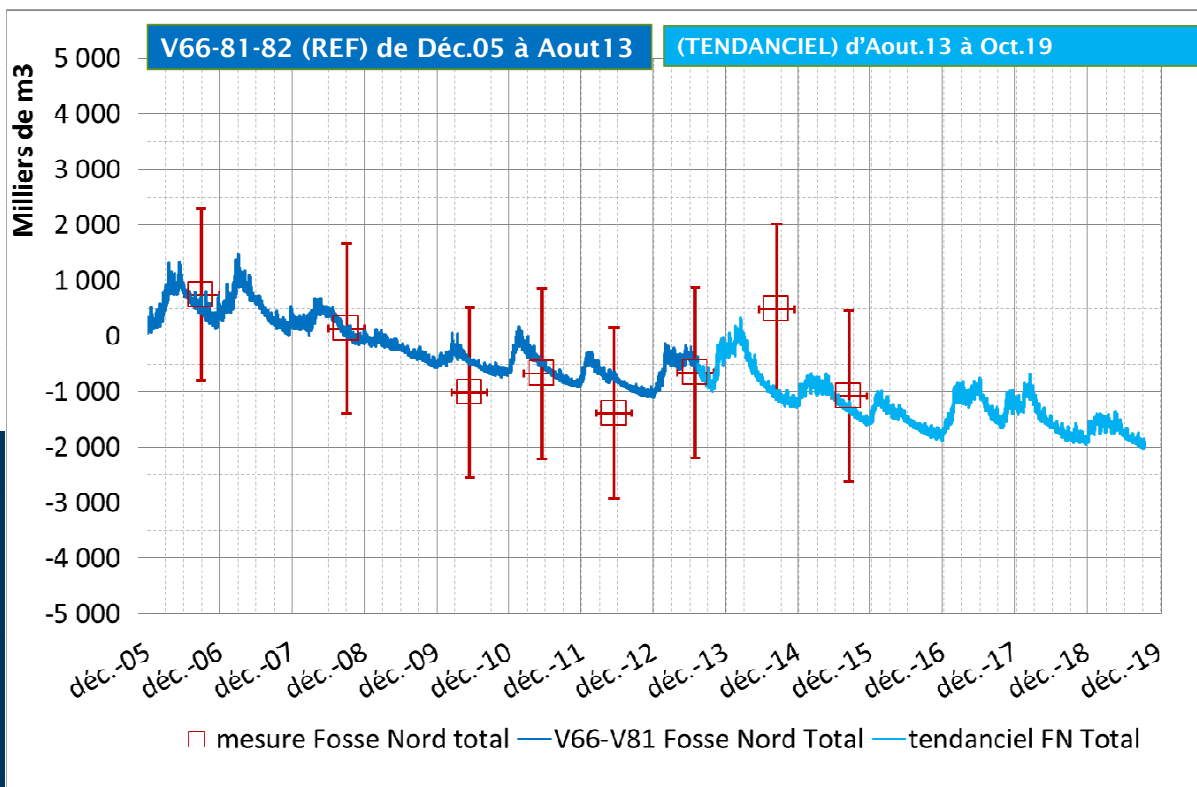
Cubatures nettes : total digue (zone endiguée aval +Normandie-Tancarville)



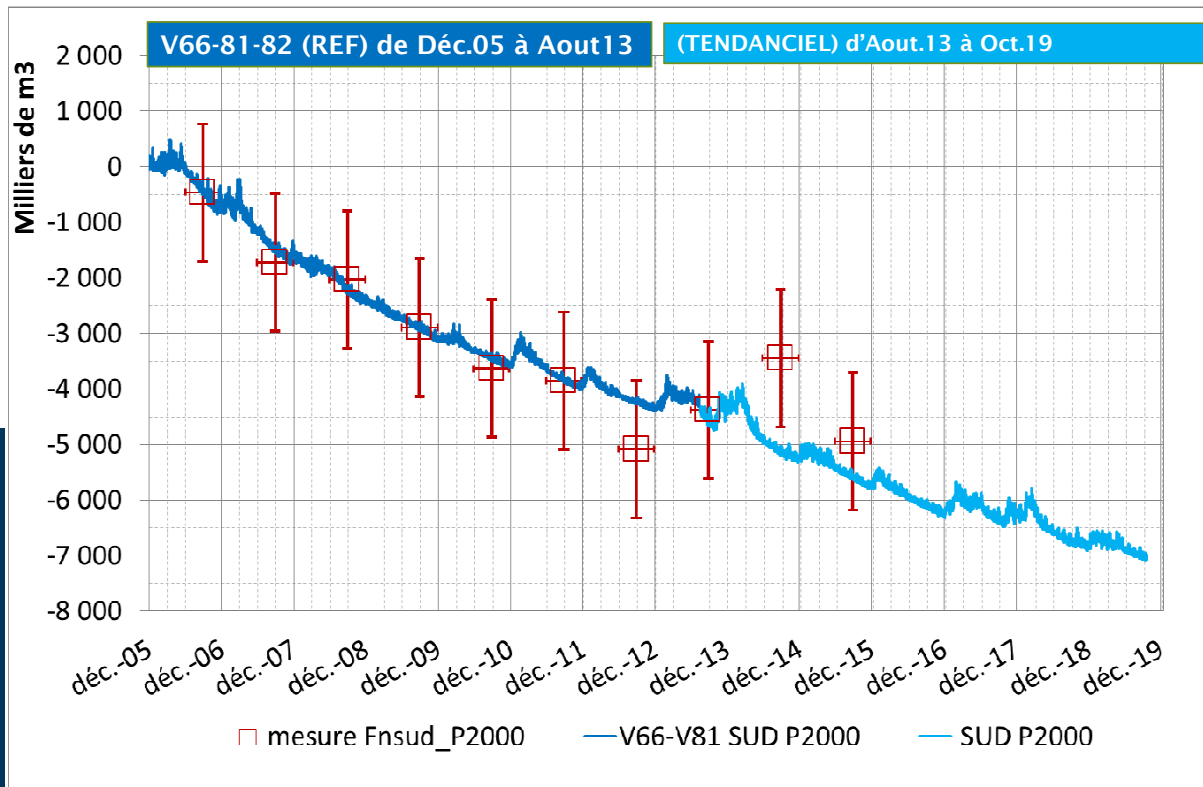
### Cubatures nettes : zone Sud totale



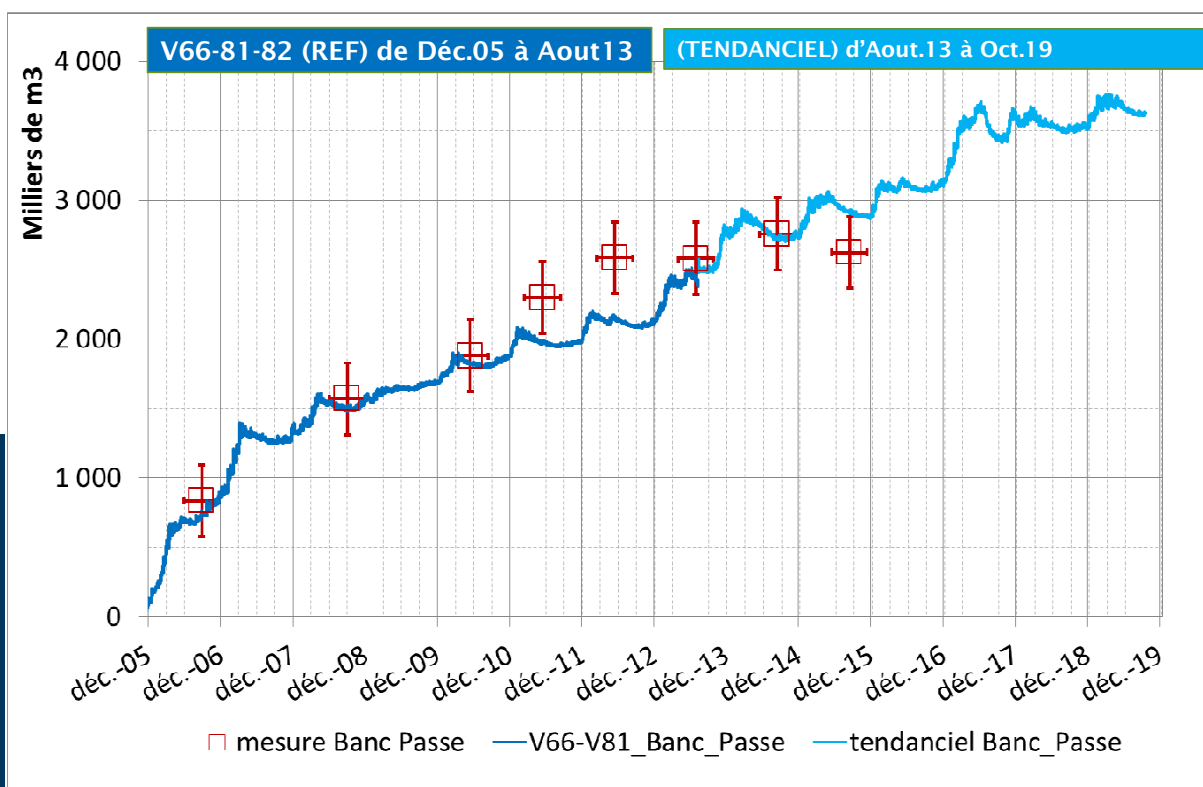
### Cubatures nettes : zone nord totale



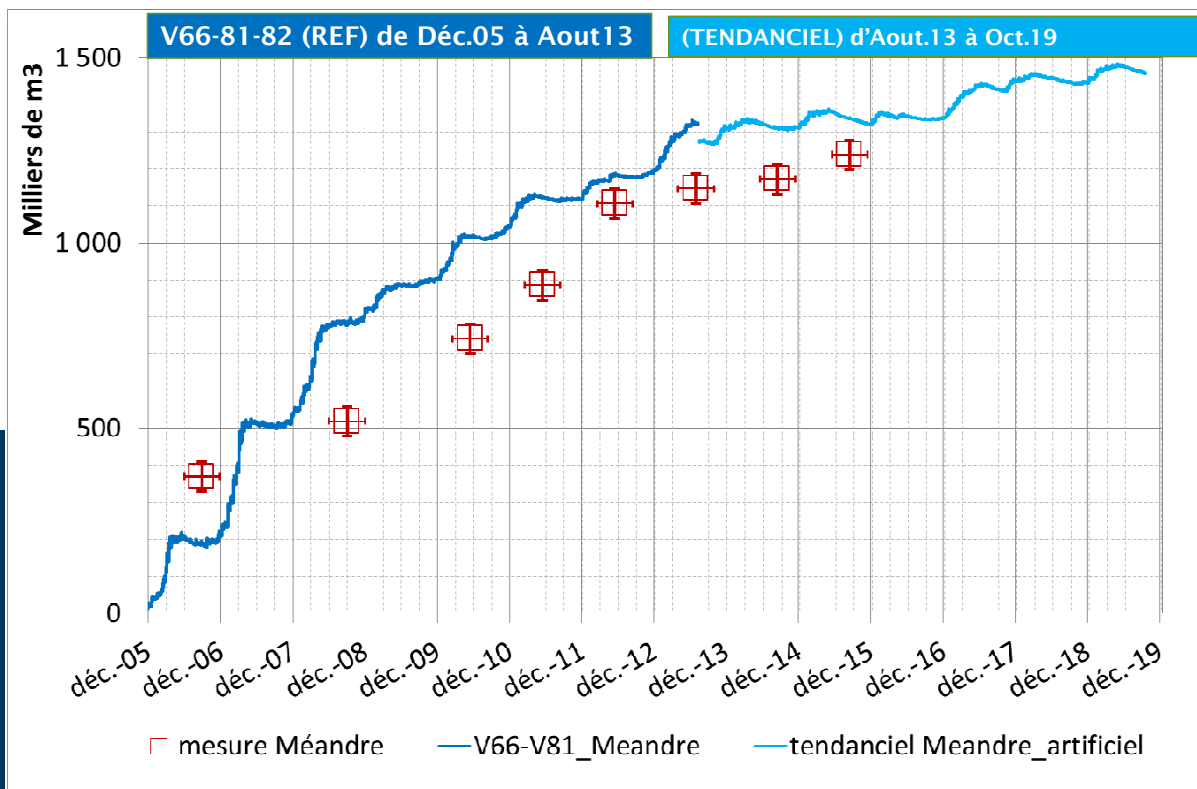
### Cubatures nettes : zone Port2000 Sud



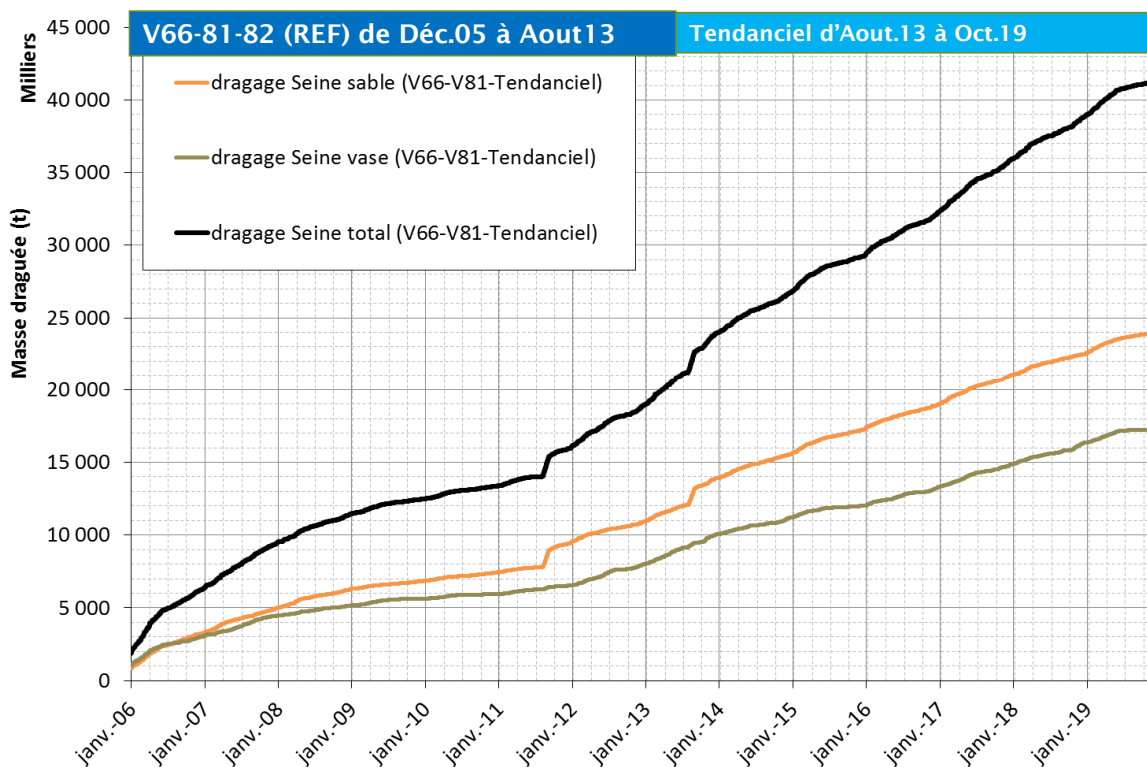
### Cubatures nettes : banc de la Passe



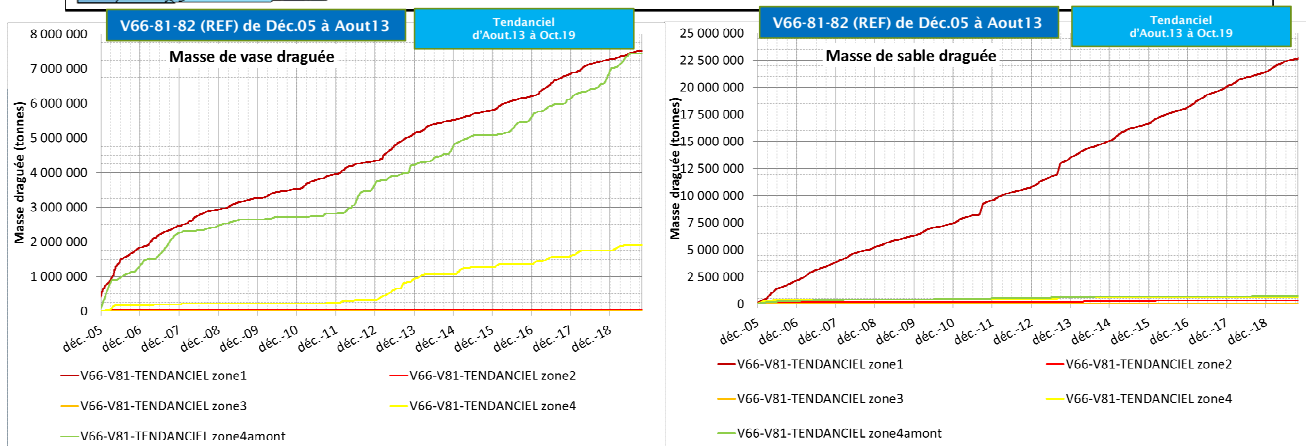
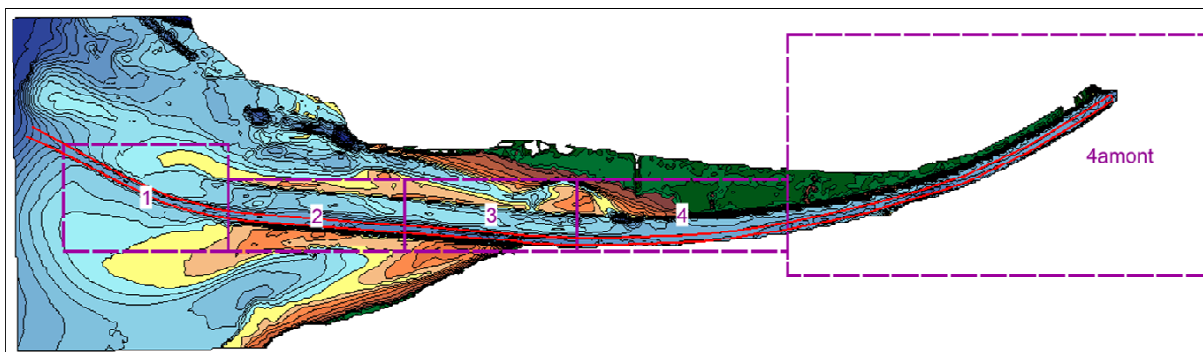
### Cubatures nettes : méandre



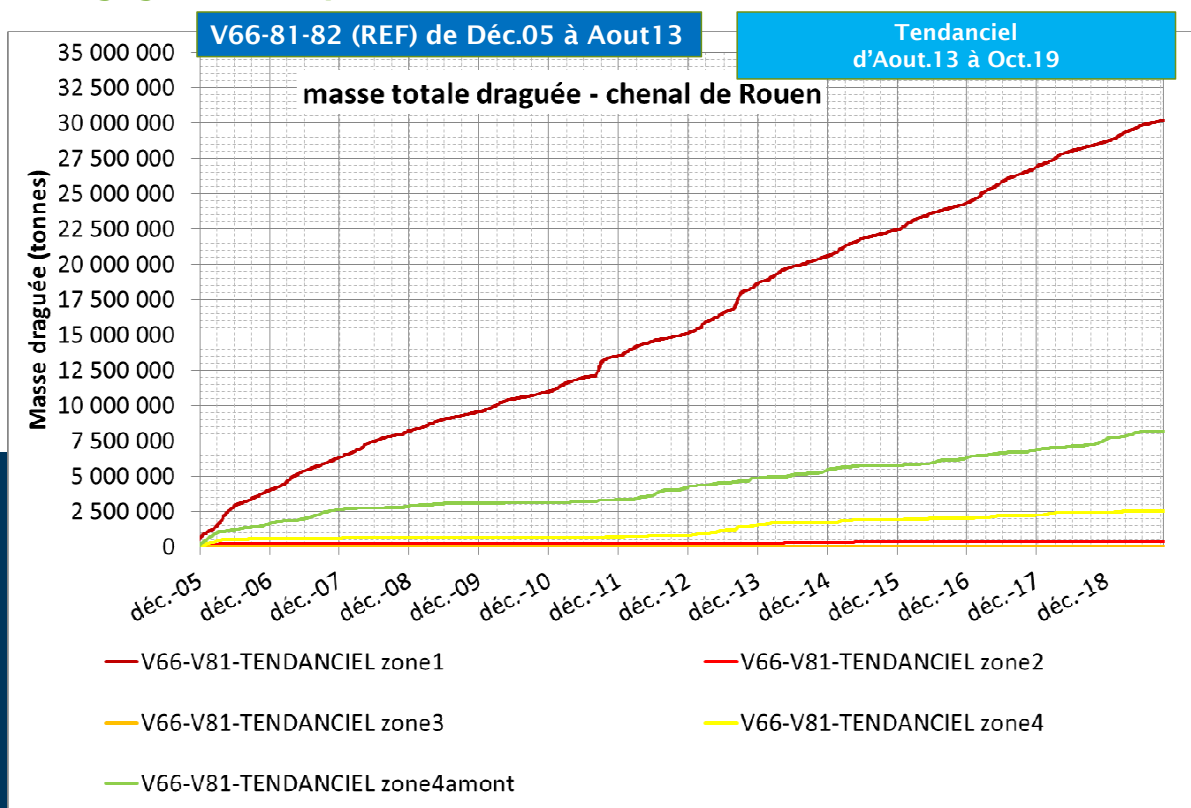
### Masse GPMR draguée par le modèle



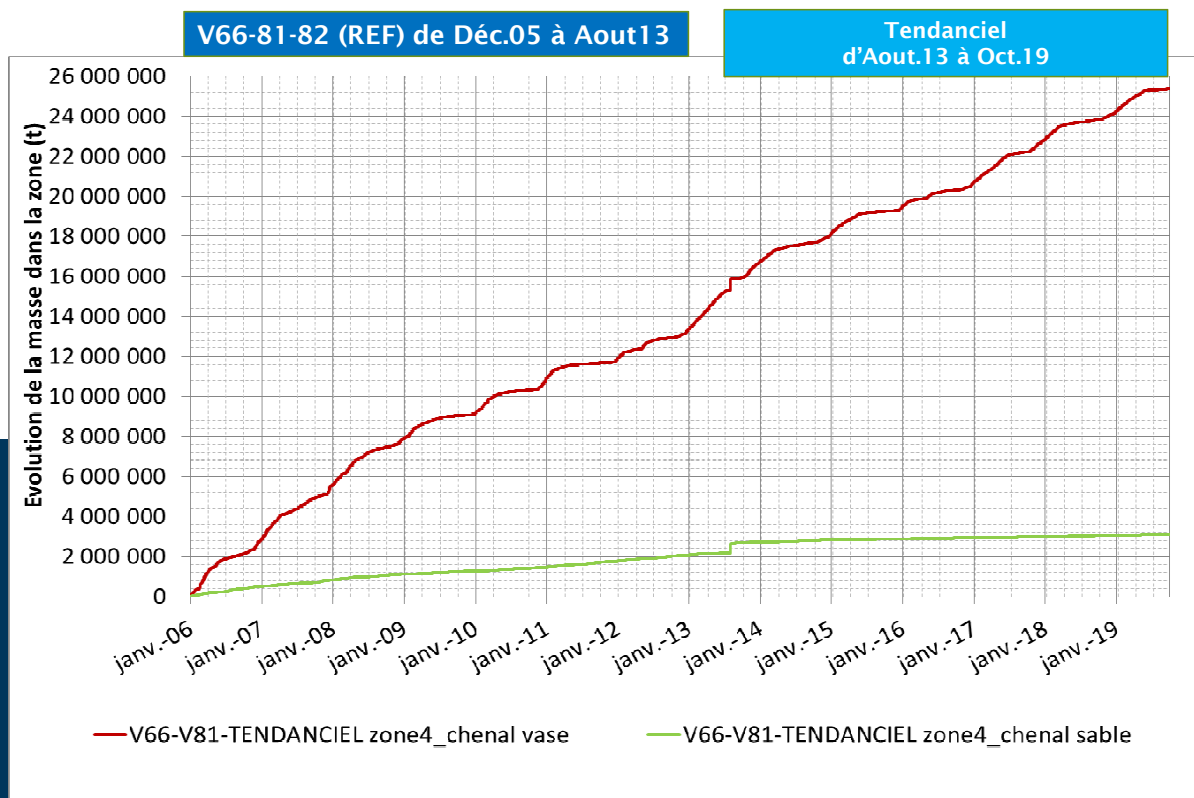
### Détail des dragages dans le chenal de Rouen par zones



### Dragage modèle par zone du GPMR



### Indicateur zone4: masse potentiellement draguable- GPMR



### Masse GPMH draguée dans le modèle

