



Modèle 3D hydrosédimentaire et de qualité des eaux de la Loire

GIP Loire Estuaire

CONSTRUCTION, CALAGE ET VALIDATION DU MODÈLE RAFFINÉ ESTUAIRE EXTERNE

Tranche ferme phase 1

Rapport V2



Modèle 3D hydrosédimentaire et de qualité des eaux de la Loire

GIP Loire Estuaire

CONSTRUCTION, CALAGE ET VALIDATION DU MODELE RAFFINE ESTUAIRE EXTERNE

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI PAR	APPROUVÉ PAR	DATE
0	Version de travail de support au COMEX du 09/2022	RWR, GIY	OBD	12/08/2022
1	Version rapport final V1	RWR, GIY	OBD	09/12/2022
2	Version rapport final V2 incluant remarques clients 21/04/2023	RWR, GIY	OBD	07/06/2023

Artelia
6 rue de Lorraine 38130 Echirolles – TEL 04 76 33 43 45

Artelia

6 rue de Lorraine 38130 Echirolles

SOMMAIRE

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS	4
1. MÉTHODOLOGIE	5
1.1. Objectifs du modèle	5
1.2. Année représentative choisie	6
2. CONSTRUCTION DU MODÈLE.....	8
2.1. Emprise	8
2.2. Maillage	8
2.3. Bathymétrie	9
3. PROCESSUS	11
4. FORÇAGES.....	12
4.1. Forçages hydro-météorologiques	12
4.2. Forçages Anthropiques.....	12
4.2.1. Clapages.....	12
4.2.2. Dragages par DAM	13
4.2.2.1. Principe de dragage automatisé déjà testé en 2012	13
4.2.2.2. Principe de dragage semi-automatisé retenu	13
5. INITIALISATION SÉDIMENTAIRE	17
5.1. Initialisation des fonds sableux dans les zones de dragage	17
5.2. Initialisation en vase.....	18
6. RÉSULTATS DU MODÈLE	19
6.1. Dragages par DAM en sections 1 à 6.....	19
6.2. Dynamique haline, MES et crème de vase	21
RÉFÉRENCES	22
ANNEXES	23

FIGURES

Figure 1 : Pratiques de dragage dans l'estuaire avec en rose le dragage par exportation (DAM) modélisée 5

Figure 2 : Provenance des dragages clapés à la Lambarde entre 2012 et 2020 (Source des

données :GPMNSN)..... 6

construction, calage et validation du modèle raffiné estuaire externe
MODELE 3D HYDROSEDIMENTAIRE ET DE QUALITE DES EAUX DE LA LOIRE

Figure 3 : Provenance des dragages entre 2012 et 2020 (Drague par Injection d'Eau – DIE ; Drague Aspiratrice Stationnaire - DAS) (Source des données : GPMNSN)	7
Figure 4 : Débit journalier de la Loire à Montjean-sur-Loire sur l'année hydrologique 2017-2018 (Source des données : DREAL Pays de la Loire)	7
Figure 5 : Emprise du modèle raffiné estuaire externe (Source orthophoto : ESRI satellite France)	8
Figure 6 : Maillage raffiné sur la partie externe de l'estuaire	9
Figure 7 : Bathymétrie sur la zone raffinée de l'estuaire externe.....	10
Figure 8 : Volume et provenance de chaque clapage sur l'année hydrologique 2017-2018 (Sources des données : DREAL Pays de la Loire, GPMNSN)	12
Figure 9 : Zones d'immersion selon les périodes de clapages	13
Figure 9 : Schema de principe d'utilisation de la cote d'exploitation et la cote nominale dans le processus de dragage.....	14
Figure 10 : Volume dragué journalier par DAM sur l'année hydrologique 2017-2018 (Sources des données : DREAL Pays de la Loire, GPMNSN)	15
Figure 11 : Périodes de dragages modélisées sur l'année hydrologique 2017-2018	16
Figure 12 : Zones de dragages 1,2,3 et 4 dans le modèle	17
Figure 13 : Zones de dragages 5 et 6 dans le modèle	17
Figure 14 Fonds durs après mise à jour des sections 1 à 6 à la cote nominale de dragage a minima	18
Figure 15 Volumes potentiellement dragables et réellement dragués dans le modèle	19
Figure 16 Masses de vase draguées modélisées en comparaison des masses de vase clapées à la Lambarde	21

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Le Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire (GIP LE) souhaite disposer d'un outil de modélisation hydrosédimentaire et de qualité des eaux (HSQE) de l'estuaire de la Loire et plus largement entre la Maine et la mer.

Cette modélisation s'appuie sur l'utilisation d'un logiciel de modélisation, auquel sont ajoutés des paramétrages et codages pour produire une représentation du fonctionnement de la Loire dans sa partie estuarienne.

Dans le cadre de cette étude un modèle global a permis de représenter la dynamique hydrosédimentaire estuarienne de la Loire [1]. Un modèle local des immersions sur la lambarde a permis de reproduire la stabilité du site mesuré [2]

Des développements particuliers du modèle global hydrosédimentaire sont prévus pour un calage spécifique incluant les dragages d'entretien du GPMNSN par DAM (Drague Aspiratrice en Marche), leur immersion sur le site de la Lambarde et la modélisation de la dispersion des sédiments provenant de la Lambarde.

L'objectif de ce modèle étant principalement axé vers l'estuaire externe, il a été raffiné sur cette zone géographique d'où le nom : modèle raffiné estuaire externe.

Ce modèle est couplé avec Tomawac, afin de tenir compte en particulier des courants littoraux sur la zone de déferlement sud de l'estuaire externe et d'adapter l'agitation à l'évolution des fonds notamment sur le site de la Lambarde.

Ce modèle inclut le modèle local de stabilité [2] du site de la Lambarde qui a déjà été calibré sur 10 années. L'objet de ce rapport porte donc davantage sur la calibration d'une méthode de dragage réaliste sur l'année hydrologique 2017-2018.

La méthode de dragage basée sur les volumes introduite donne une bonne représentation des masses draguées à 15% près, ce qui est très représentatif étant donné les variations possibles de densité du sol que ce soit in situ ou dans le modèle.

Un résultat important de cette modélisation tient aussi dans la validation des Matières En Suspension (MES) et salinité sur les mesures du réseau SYVEL sur cette nouvelle année hydrologique 2017-2018. Le prélèvement de masse par dragage n'a pas induit de biais dans les résultats obtenus avec le modèle global sur l'année hydrologique 2018-2019.

Le modèle est donc opérationnel pour tester des variations de forçages sur des techniques actuelles de clapages et dragages. Ce modèle pourra aussi servir de base pour tester des modifications de stratégie de dragage ou clapage, moyennant les développements appropriés.

1. MÉTHODOLOGIE

1.1. OBJECTIFS DU MODÈLE

Le but de ce modèle est de modéliser la dispersion des immersions (clapages à la Lambarde) dans l'estuaire externe et d'équilibrer au mieux le bilan de masse dans l'estuaire en reproduisant de façon la plus automatique possible la part des dragages qui est exportée vers le large (au site d'immersion de la Lambarde). Les sédiments qui sont exportés sont liés à la pratique de la DAM (Drague Aspiratrice en Marche) qui est exploitée en majeure partie sur les sections de dragage 1 à 6 (plus de 99% des sédiments exportés sur la période 2012-2020 (cf. Figure 2 ci-dessous)).

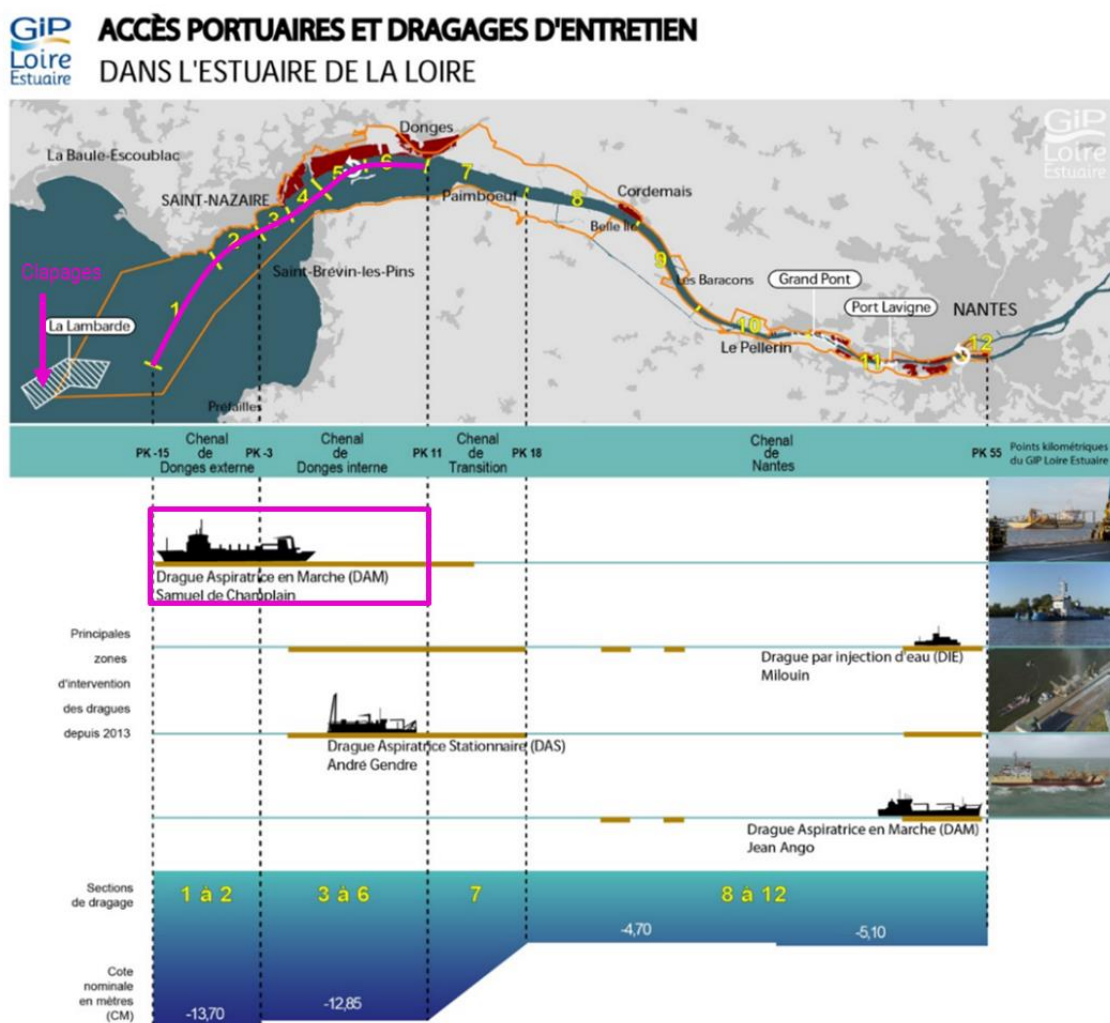


Figure 1 : Pratiques de dragage dans l'estuaire avec en rose le dragage par exportation (DAM) modélisée

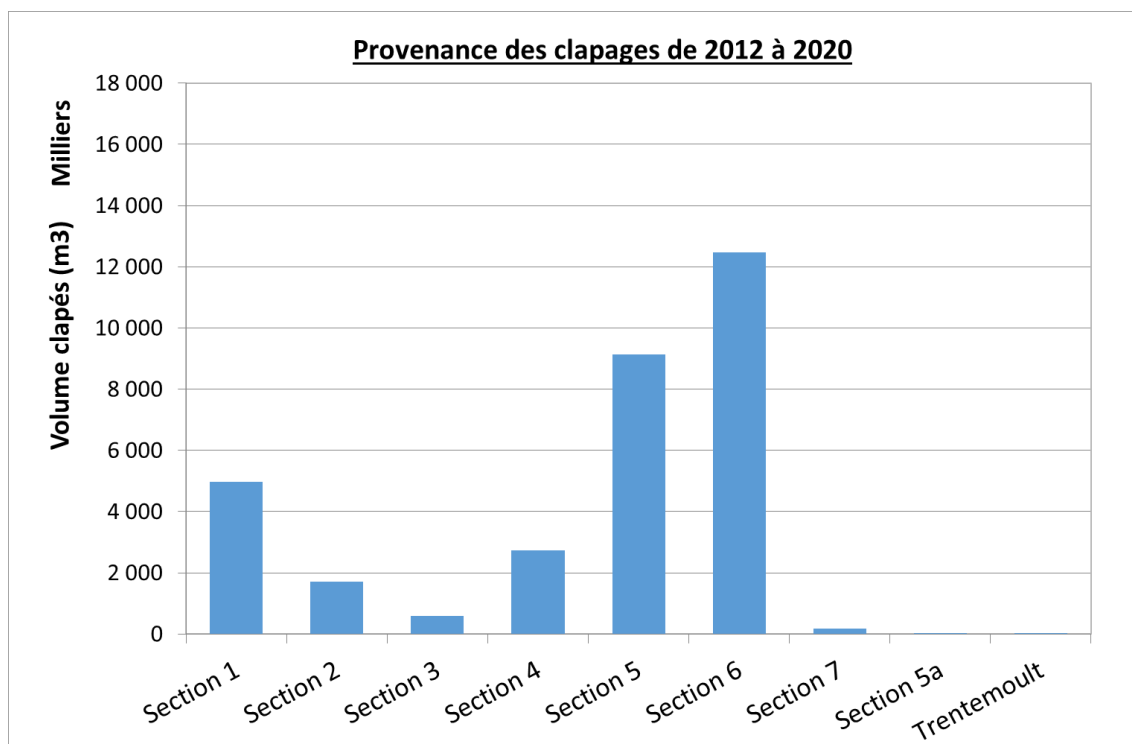


Figure 2 : Provenance des dragages clapés à la Lambarde entre 2012 et 2020 (Source des données :GPMNSN)

Il sera par ailleurs vérifié sur l'année modélisée que les résultats en matières en suspension (MES) restent cohérents le long de l'estuaire par comparaison au réseau de mesures SYVEL.

1.2. ANNÉE REPRÉSENTATIVE CHOISIE

Contrairement au calage et à la validation du modèle global, il est cherché ici à reproduire une année la plus représentative en termes de volume de dragage exportés et en termes d'hydrologie.

Les volumes dragués ayant globalement diminué depuis 2012, la période temporelle 2012-2020 a été plus spécifiquement étudiée.

L'année hydrologique 2017- 2018 a finalement été retenue pour les raisons suivantes :

- Clapages d'environ 3,9 Mm³ proches du volume moyen (3,64 Mm³ en moyenne sur 2012-2020) (Figure 3).
- Année hydrologique avec 867 m³/s en débit moyen (hydraulicité de 1.0), composée d'un étiage estival, de crues hivernales avec des débits journaliers dépassant les 3000 m³/s (Figure 4).

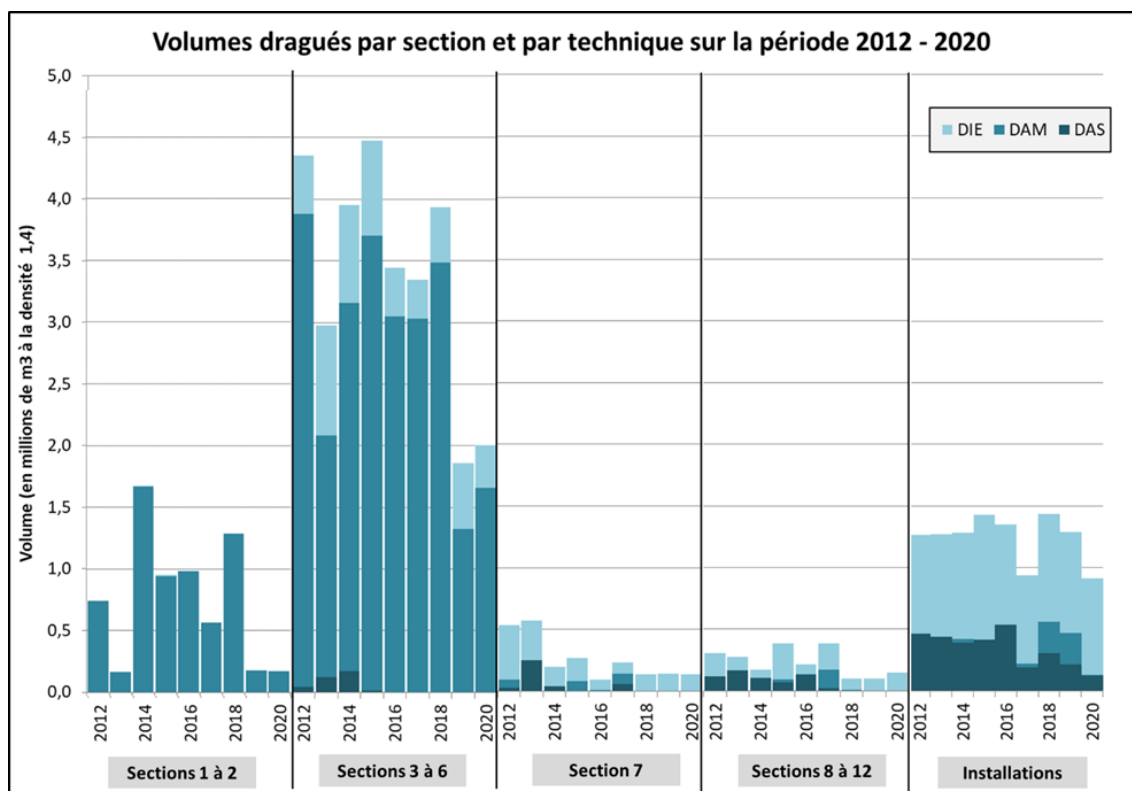


Figure 3 : Provenance des dragages entre 2012 et 2020 (Drague par Injection d'Eau – DIE ; Drague Aspiratrice Stationnaire - DAS)
(Source des données : GPMNSN)

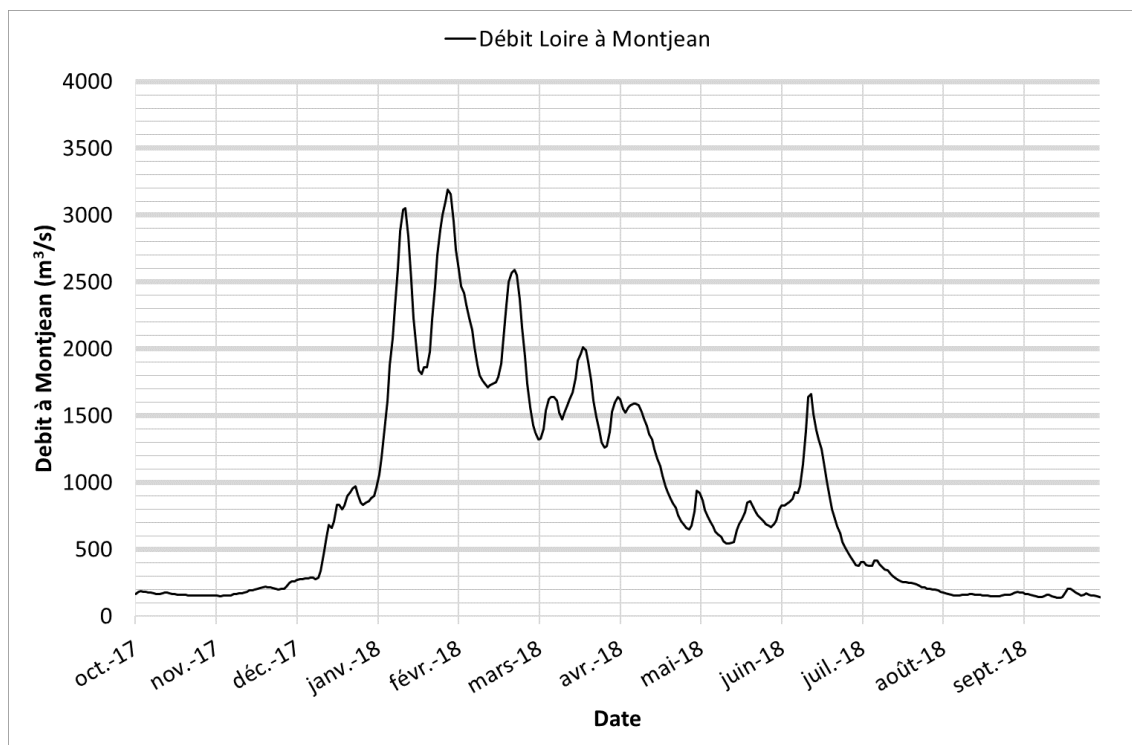


Figure 4 : Débit journalier de la Loire à Montjean-sur-Loire sur l'année hydrologique 2017-2018 (Source des données : DREAL Pays de la Loire)

2. CONSTRUCTION DU MODÈLE

2.1. EMPRISE

L'emprise du modèle reste identique à celle du modèle global [1]

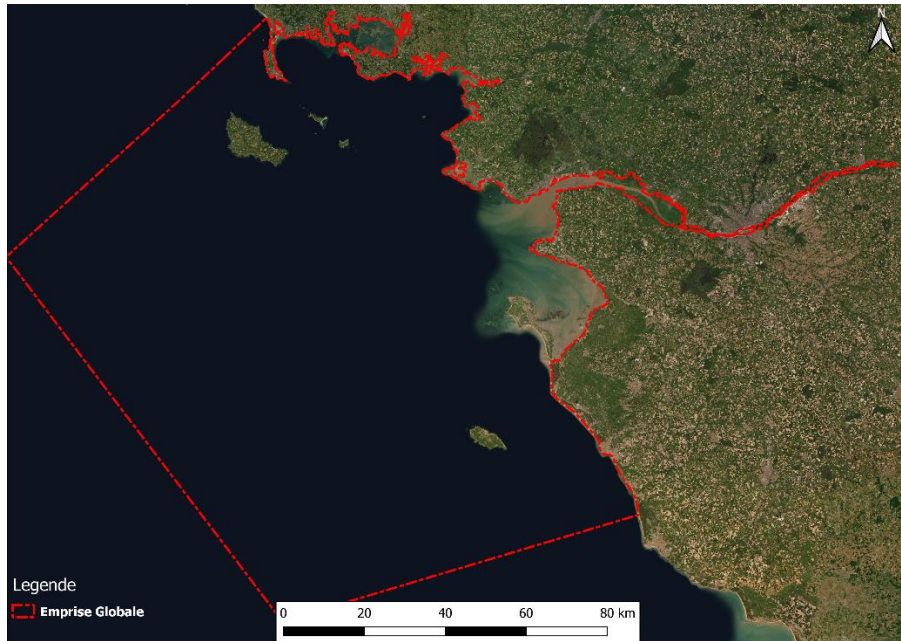


Figure 5 : Emprise du modèle raffiné estuaire externe (Source orthophoto : ESRI satellite France)

2.2. MAILLAGE

Le modèle raffiné estuaire externe est basé sur le maillage du modèle global [1], auquel est incorporé le maillage raffiné à 50m du modèle de stabilité de la Lambarde [2].

De plus, un raffinement (100m) sur le littoral (présenté sur la figure ci-dessous) situé à l'Est du site d'immersion est pris en compte afin de mieux appréhender les courants littoraux qui exercent une influence non négligeable sur la reprise des dépôts dans cette zone.

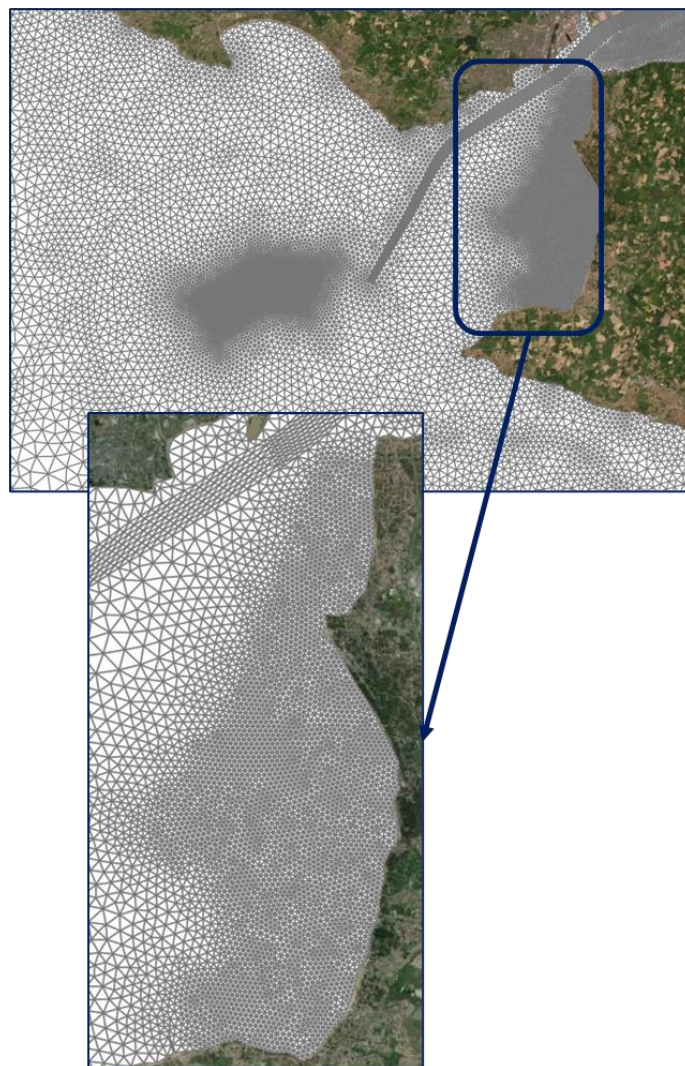


Figure 6 : Maillage raffiné sur la partie externe de l'estuaire

2.3. BATHYMÉTRIE

Le modèle numérique de terrain (MNT) du modèle global [1] a été utilisé et projeté sur le nouveau maillage (Figure 7).

La référence altimétrique correspond au zéro hydrographique (m CM) à Saint-Nazaire (0 m CM = -3,16 m IGN69).

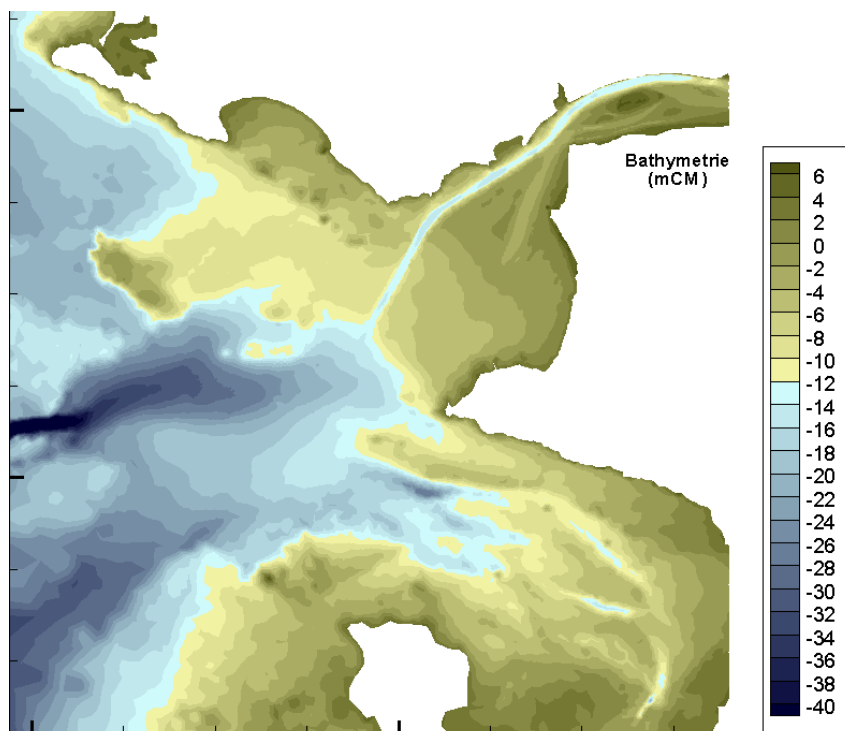


Figure 7 : Bathymétrie sur la zone raffinée de l'estuaire externe

3. PROCESSUS

Tous les processus résolus sont semblables à ceux utilisés dans le modèle global [1].

Seul le couplage Telemac-3D avec Tomawac est activé afin de résoudre les courants littoraux et de prendre en compte les évolutions bathymétriques qui peuvent exercer une influence sur l'hydrodynamique locale.

4. FORÇAGES

4.1. FORÇAGES HYDRO-MÉTÉOROLOGIQUES

Les forçages hydrométéorologiques (marée astronomique, pression, vent, houle, salinité, débit liquide et solide de la Loire) sont identiques à ceux du modèle global [1]. Seule l'année d'exploitation est différente.

4.2. FORÇAGES ANTHROPIQUES

4.2.1. Clapages

La méthodologie de modélisation des clapages est identique à celle utilisée dans le modèle de stabilité [2].

La répartition de chaque opération de clapage sur l'année 2017-2018 et pour chacune des 6 sections de dragage (S1 à S6) est présentée ci-dessous :

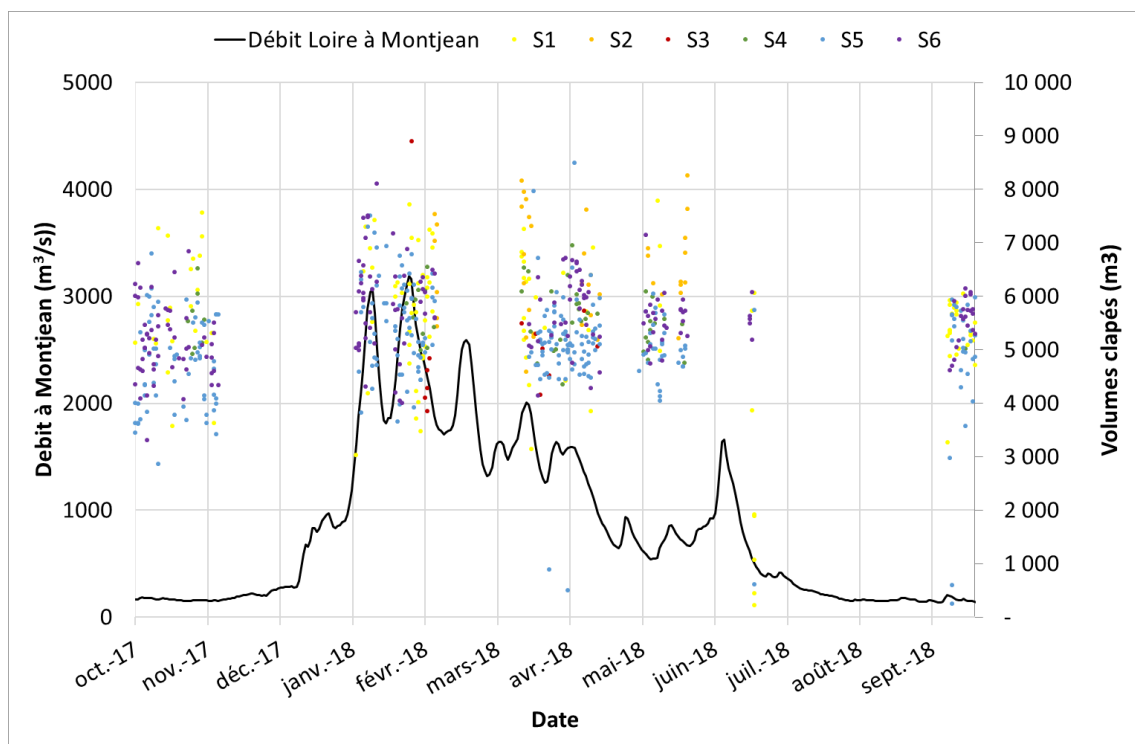


Figure 8 : Volume et provenance de chaque clapage sur l'année hydrologique 2017-2018 (Sources des données : DREAL Pays de la Loire, GPMNSN)

Ces clapages sont effectués à la date et position réelles soit en sous-zone 18 du site d'immersion de la Lambarde pour l'année hydrologique 2017-2018.

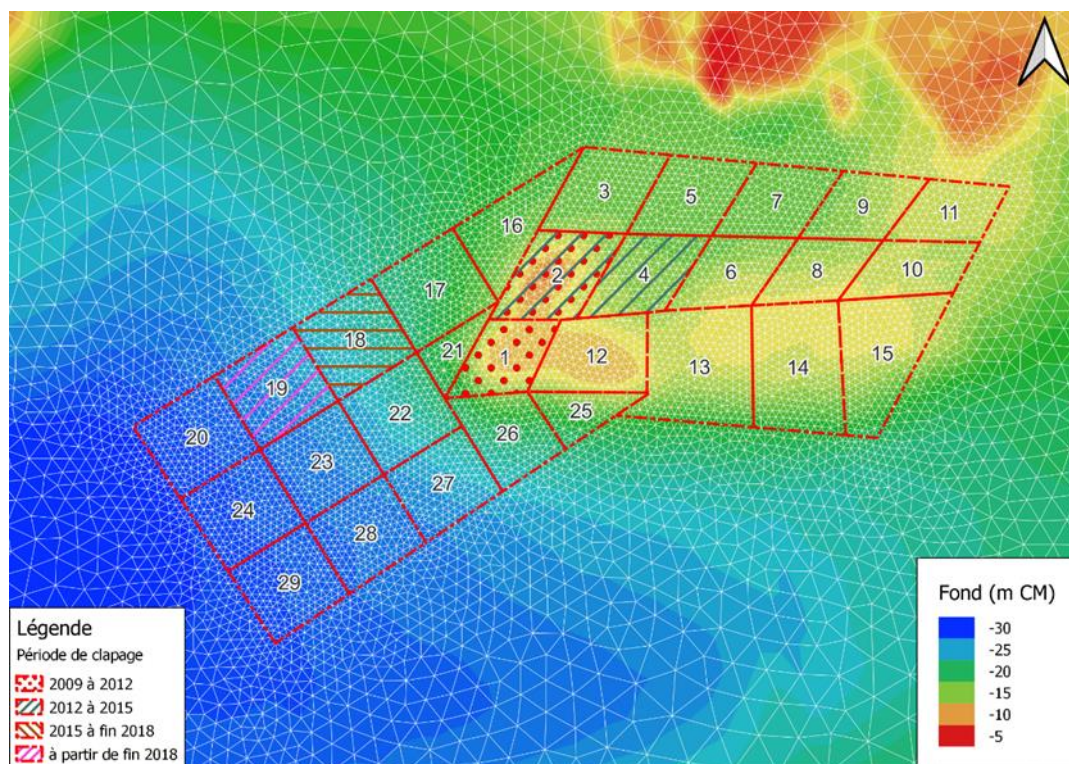


Figure 9 : Zones d'immersion selon les périodes de clapages

4.2.2. Dragages par DAM

4.2.2.1. Principe de dragage automatisé déjà testé en 2012

En 2012, une tentative de pratique de dragage automatisée avait été incorporée dans le modèle hydro-sédimentaire développé de 2008 à 2012, selon le principe suivant :

- Le dragage par DAM est effectué dans le modèle pour les sections de dragages 1 à 6 (cf. Figure 1).
- Il est mis en œuvre une fois par jour et consiste à revenir à la cote d'exploitation qui avait été fixée à -12,4m CM.
- La définition de la cote draguée est celle définie par le toit de la crème de vase ayant une concentration supérieure à 200 g/l et les couches draguées sont celles supérieures à 200 g/l

Les tests effectués (2012) ont montré que l'intégration de ce principe simple de dragage est assez représentative de ce qu'il se passe en réalité pour les sections 1 à 5. La section 6 est plus complexe car les dépôts y sont conséquents et tenir la cote objectif (retrouver la cote d'exploitation) sur toute la zone chaque jour n'est matériellement pas possible. Il faudrait donc limiter les dragages autrement qu'uniquement par la cote objectif.

4.2.2.2. Principe de dragage semi-automatisé retenu

Une réunion du 28 juillet 2022 avec le GPMNSN et le GIP LE a permis d'améliorer la compréhension et la prise en compte possible dans la modélisation de la pratique de dragage sur les sections 1 à 6.

4.2.2.2.1. Amélioration de la prise en compte de la pratique des cotes d'exploitation et nominales de dragage

Tout d'abord les cotes d'exploitation et les cotes nominales de dragages sont différenciées entre les section 1 à 2 et les section 3 à 6 :

Sections 1 et 2 : cote d'exploitation -13,2m CM et cote nominale de dragage : -13,70 m CM

Sections 3 à 6 : cote d'exploitation -12,4m CM et cote nominale de dragage : -12,85 m CM

Un dragage n'est effectué que si la cote d'exploitation est dépassée. Le dragage permet alors de revenir à la cote nominale de dragage.

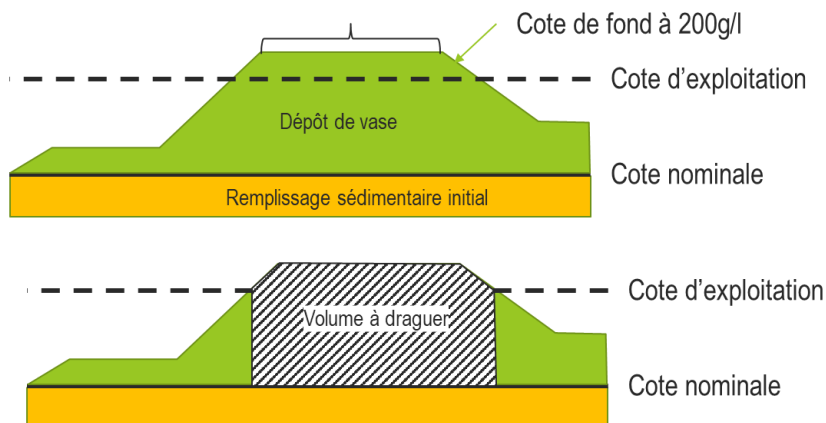


Figure 10 : Schéma de principe d'utilisation de la cote d'exploitation et la cote nominale dans le processus de dragage

Dans la modélisation, tous les points du maillage compris dans le chenal de navigation et dépassant la cote d'exploitation sont répertoriés. Le volume de dragage maximal est donc calculé en cubant le volume compris entre la cote d'exploitation de dragage et la cote nominale de dragage pour ces points.

4.2.2.2.2. Limitation du taux journalier de dragage

Le principe d'un **dragage journalier représentatif** est maintenu.

Le volume de dragage maximal calculé précédemment sur l'ensemble des sections 1 à 6, est généralement bien supérieur aux capacités de dragage du Port. Il convient donc de limiter ce dragage journalier par le taux moyen de dragage journalier du Port relevé lors des campagnes de dragage historiques.

À partir des volumes par opération par DAM pour les années 2012 à 2020 (exemple pour l'année hydrologique 2017-2018 en Figure 11), un volume moyen (ramené à la densité 1,4) de 28 800 m³/jour a pu être déterminé lorsqu'il y a dragage.

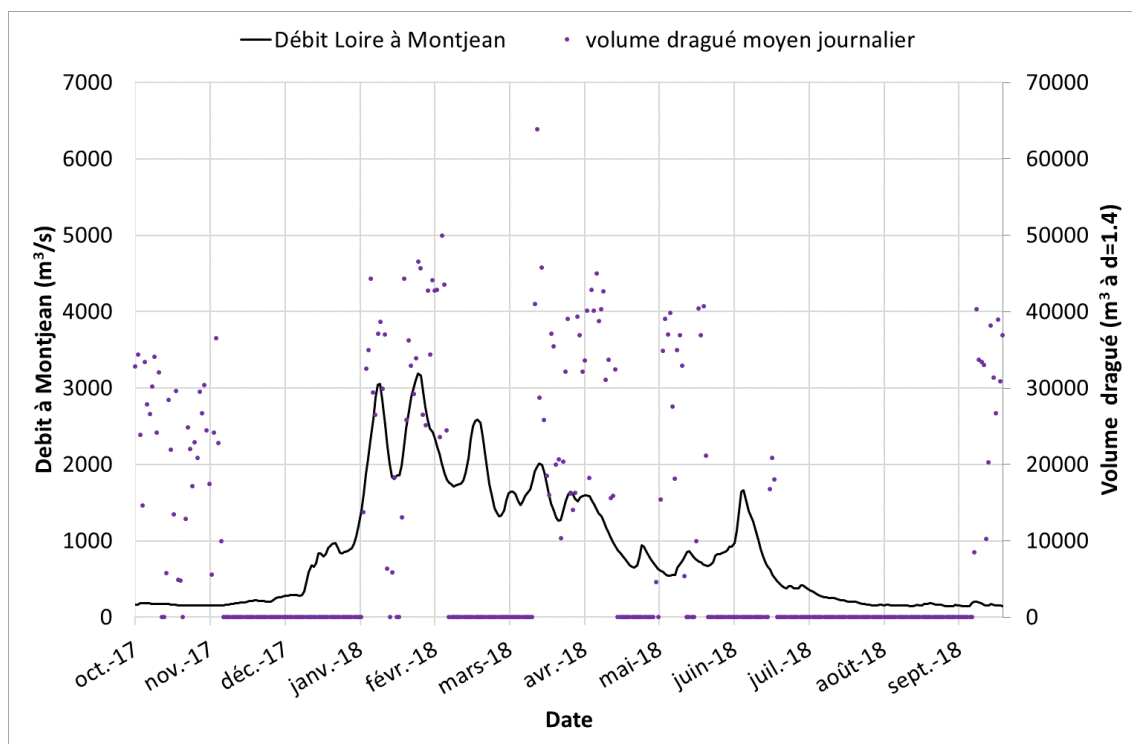


Figure 11 : Volume dragué journalier par DAM sur l'année hydrologique 2017-2018 (Sources des données : DREAL Pays de la Loire, GPMNSN)

Le taux journalier dragué quotidiennement dans le modèle **lorsqu'il y aura une opération de dragage** a donc été limité au départ, par ce taux moyen de 28 800 m³/j. Il s'est avéré au cours du calage que ce volume maximal journalier semble trop faible car les masses draguées sont, pour certaines périodes, sous estimées par rapport aux masses clapées. Cela signifie donc que la densité au sol modélisée est plus faible que celle pris en hypothèse à 1,4, qui ne correspond d'ailleurs pas forcément à une densité in-situ de dragage. En effet, les moyennes des densités en puits dans la DAM sont plutôt de l'ordre de 1,25, ce qui donnerait un volume moyen journalier correspondant d'environ 45 000 m³.

Une calibration de ce volume a donc été effectuée au fur et à mesure des calculs et a été fixée à 36 000 m³/j, pour avoir une meilleure correspondance entre masses clapées et masses draguées.

4.2.2.3. Limitation dans le temps des dragages

Pour diverses raisons matérielles ou de besoin opérationnel, les cotes d'exploitations ne sont pas forcément tenues tout le long de l'année. Il est apparu donc inévitable dans la modélisation de tenir compte des dates des périodes effectives des campagnes.

Sur l'année hydrologique 2017-2018 : cinq périodes de dragages apparaissent clairement et seront modélisées :

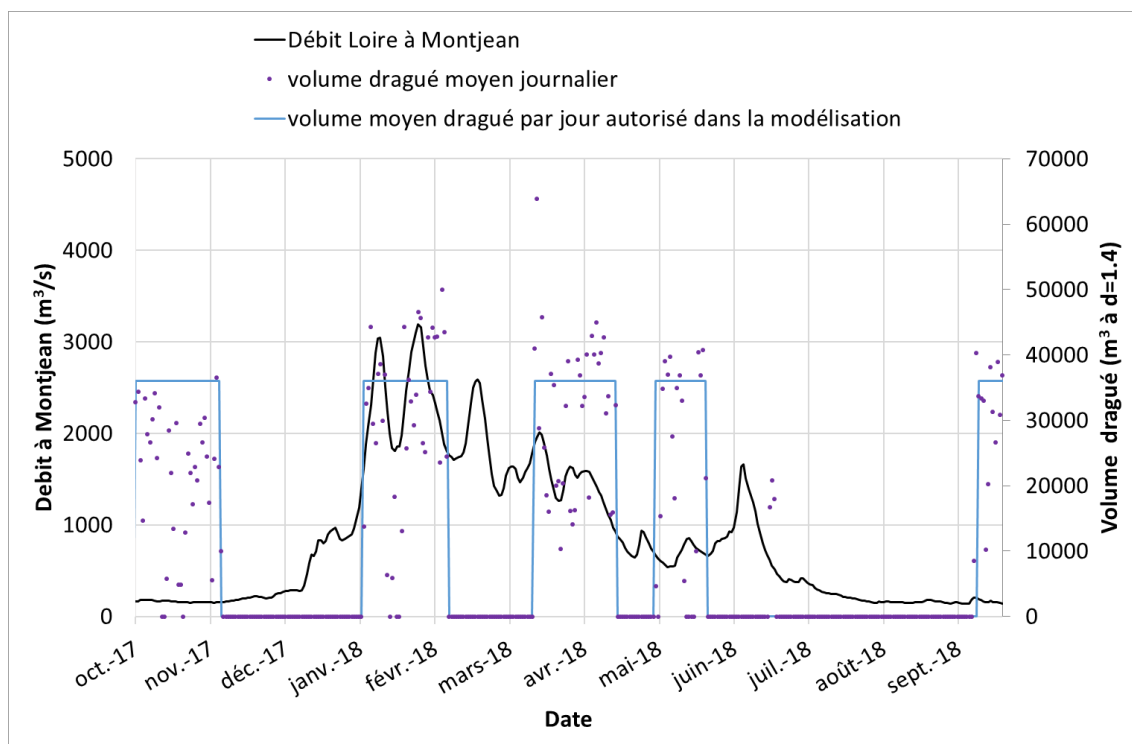


Figure 12 : Périodes de dragages modélisées sur l'année hydrologique 2017-2018

5. Initialisation sédimentaire

5.1. INITIALISATION DES FONDS SABLEUX DANS LES ZONES DE DRAGAGE

Avant d'initialiser le modèle avec du dépôt de crème de vase liquide à consolider, Il est important de démarrer les calculs avec une bathymétrie locale dans le chenal de navigation qui soit inférieure à la cote nominale de dragage, afin que celui-ci puisse stocker de la vase entre la cote nominale et la cote d'exploitation. Ce stock de vase étant aussi indispensable pour une représentation correcte des MES par rapport aux mesures et à la tenue du bouchon vaseux.

La délimitation générale des sections de dragages étant plus étendues que le chenal de navigation dragué en priorité par le Port, les zones retenues dans le modèle ont été limitées au chenal défini par la taille de maille locale du modèle. De plus, cette délimitation s'est tenue aux zones réellement entretenues (limitation sur la partie Est de la section 6 par exemple Figure 14)



Figure 13 : Zones de dragages 1,2,3 et 4 dans le modèle

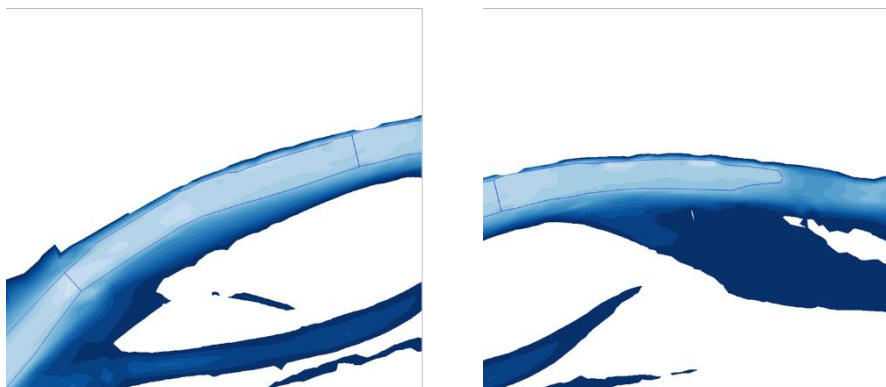


Figure 14 : Zones de dragages 5 et 6 dans le modèle

Cette mise à jour de la cote du fond avant initialisation en dépôt de vase n'est finalement pas très étendue et ne se remarque que sur la section 6 et de façon minoritaire sur la section 5 (zone à -12,85 m CM en vert clair sur la Figure 15).

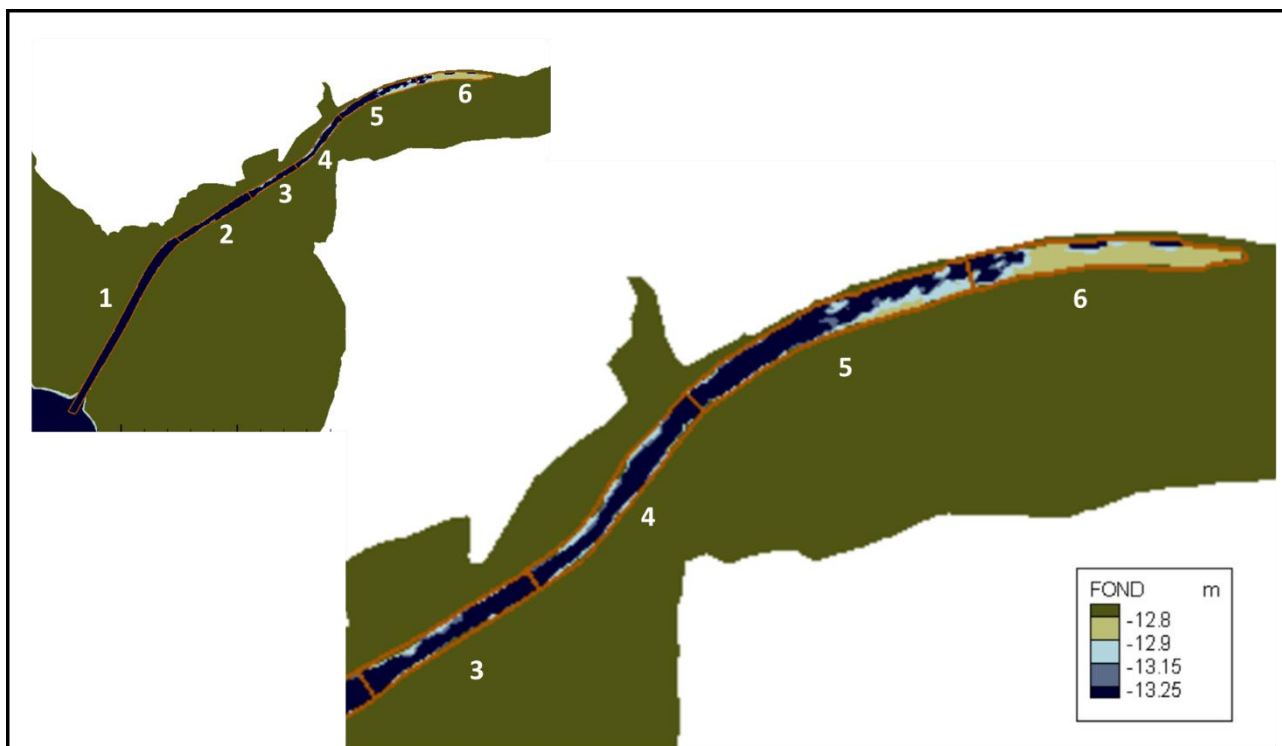


Figure 15 Fonds durs après mise à jour des sections 1 à 6 à la cote nominale de dragage a minima

5.2. INITIALISATION EN VASE

De façon similaire au modèle global [1], le modèle est initialisé en crème de vase de la façon suivante :

- 1 mètre de crème de vase liquide (réparti dans les couches aux concentrations 40 à 100g/l) entre les PK-2 et 25 pour les cotes inférieures à -10 m CM ou -2 m CM suivant la localisation pour se limiter au chenal de navigation. Le placement de cette vase liquide initiale se fait plutôt en partie aval de l'estuaire interne et en estuaire externe, pour laisser le modèle faire remonter de son propre fait la masse nécessaire pour constituer un bouchon vaseux dans l'estuaire interne (un débit estival est considéré en début de calcul).
- 12 cm de crème de vase stricto sensu à consolider (couche 125 à 375 g/l) entre les PK-2 et 55 sur toute la largeur de l'estuaire.
- 1,5 m de crème de vase consolidée (couche à 375 g/l) entre les PK 3 et 11, sachant que la bathymétrie dans les zones draguées 1 à 6 du Port a été rabotée au préalable à la cote nominale du chenal (§5.1).
- 15% de vase dans le mélange sablo-vaseux du remplissage sédimentaire dans le chenal de navigation compris entre le PK 5 et le PK 10 (décroissant jusqu'à 0.001 % aux PK 1 et PK 15).

6. RÉSULTATS DU MODÈLE

Comme pour le modèle global, une initialisation est effectuée sur les deux premiers mois (août et septembre), et une année complète d'octobre à octobre est simulée.

6.1. DRAGAGES PAR DAM EN SECTIONS 1 A 6

Une fois par jour une analyse de la quantité pouvant potentiellement être draguée dans le modèle est effectuée (courbe verte sur le graphique suivant).

Cela signifie que pour chaque point du modèle se situant dans les zones 1 à 6, si la cote des fonds à la concentration de 200 g/l est supérieure à la cote d'exploitation, le volume se situant entre la cote nominale et la cote à 200 g/l est cumulé. Cette évolution permet d'avoir une vision temporelle des périodes où les quantités potentiellement dragables sont abondantes, comme en période hivernale, ce qui est moins le cas en période estivale, où une érosion naturelle peut même se ressentir.

En bleu, sur la même figure, est représenté, le volume réellement dragué dans le modèle, limité par les périodes de campagnes de dragage et par le volume moyen journalier dragable.

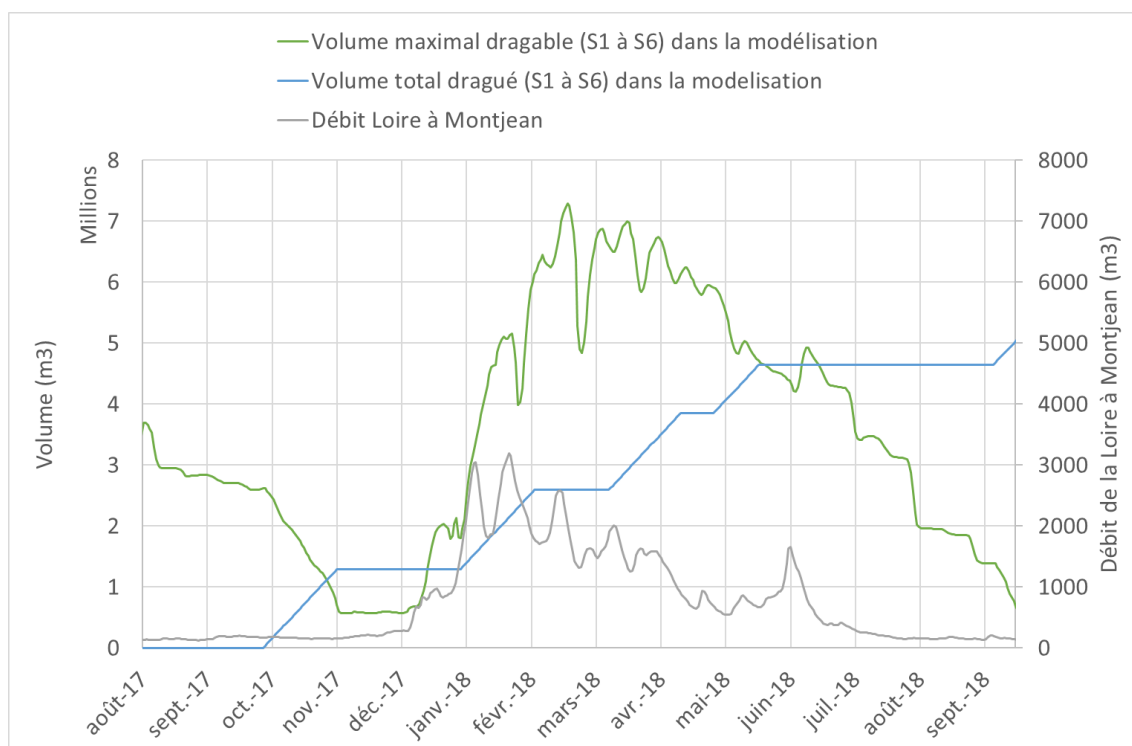


Figure 16 Volumes potentiellement dragables et réellement dragués dans le modèle

Il est à noter que le modèle est initialisé avec environ 3,7 M de m³ de sédiment potentiellement dragable et que durant ces deux premiers mois d'initialisation (sans dragages), environ 1,1 M de m³ sont érodés naturellement pour former le bouchon vaseux qui remonte dans l'estuaire interne.

Ensuite, les dragages d'automne se font directement ressentir sur la quantité dragable, car non compensés par des dépôts étant donné la position amont du bouchon vaseux durant cette période (débits faibles). Sur cette période, les dragages sont ainsi plus intenses que la dynamique naturelle de dépôt.

En période hivernale, le bouchon vaseux redescend en aval et les dépôts en zones 1 à 6 (principalement 5 et 6) sont très intenses. Les volumes réellement dragués sont alors bien inférieurs à ceux potentiellement dragables dans le modèle.

La baisse des débits en allant vers la période estivale permet une rediminition des quantités potentiellement dragables du fait d'une ré-érosion naturelle des zones 1 à 6 qui se cumule aux campagnes de dragages de printemps.

Il est intéressant de remarquer que début août, il est retrouvé le même ordre de grandeur de quantité potentiellement dragable que ce qui avait été imposé un an auparavant.

Il est alors maintenant possible d'analyser les quantités draguées en masse par le modèle, en comparaison aux quantités réellement clapées en masse à la Lambarde (sans oublier que le calcul de masse de vase clapée est aussi basé sur des hypothèses de densité). Si la modélisation de la dynamique de crème de vase (déplacement spatial et consolidation) et le principe simple de dragage introduit dans le modèle étaient parfaits, il devrait y avoir une correspondance totale entre masse draguée et masse clapée.

Suite à la calibration, du volume journalier maximale dragable, la Figure 17 montre qu'il y a **une très bonne correspondance entre masse draguée et clapée dans le modèle. Une différence de 15% est calculée au bout d'un an de simulation.**

Cette différence se fait principalement sur les périodes qui suivent les forts débits (la correspondance étant très bonne suite à une période estivale où les sédiments ont eu le temps de se consolider). Certainement du fait de deux raisons :

- Suite aux dépôts liés aux forts débits de la Loire, les densités des sédiments déposés sont plus faibles car peu consolidés, ce qui impose dans notre méthode simplifiée de dragage à volume dragable constant que les masses draguées pour chaque dragage sont moins importantes.
- Les volumes moyens dragables annuels sont imposés dans la modélisation, alors qu'en période hivernale sur 2017-2018 ils sont un peu plus importants que la moyenne annuelle (cf. Figure 12).

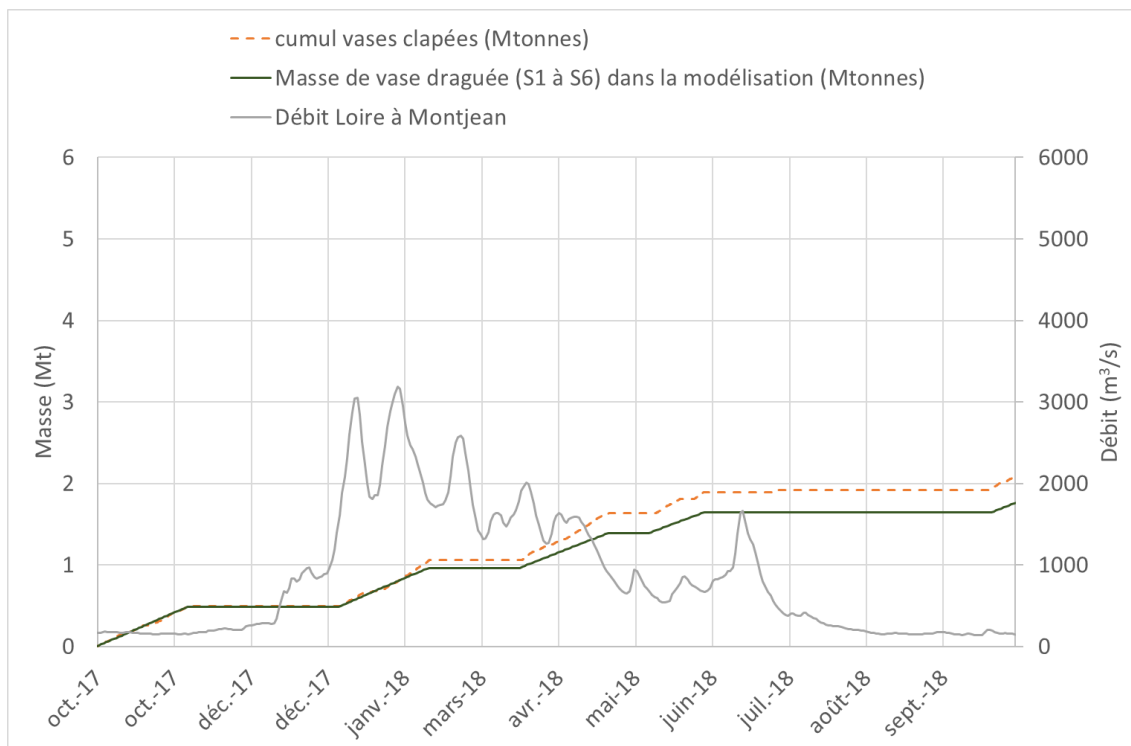


Figure 17 Masses de vase draguées modélisées en comparaison des masses de vase clapées à la Lambarde

6.2. DYNAMIQUE HALINE, MES ET CRÈME DE VASE

Les dragages ayant été incorporés dans la modélisation, il est important de vérifier que la dynamique en MES, donc du bouchon vaseux n'a pas été affectée par ce prélèvement de masse dans l'estuaire. Pour cela nous avons comparé les résultats du modèle avec les mesures du réseau SYVEL.

De plus, nous en avons profité pour faire une comparaison complète de la dynamique haline, MES, et crème de vase comme pour le modèle global, mais sur cette année hydrologique de 2017-2018. Cette analyse permet de valider de manière très concrète, le modèle développé étant donné qu'il s'agit d'une année hydrologique bien différente de celle du calage, avec des débits supérieurs à 1000 m³/s sur plus de 5 mois.

Il est aussi à noter que les comparaisons avec les mesures Chatelier et Lambarde (qui ne sont pas disponibles en 2017-2018) ont été laissées, afin cependant de comparer le comportement de la dynamique en MES (avec les clapages sur la Lambarde dans la modélisation) et en salinité pour une année hydrologique différente.

Les résultats du modèle sont présentés en Annexe 1.

RÉFÉRENCES

- [1] *Modèle 3D hydrosédimentaire et de qualité des eaux de la Loire - construction, calage et validation du modèle global 3D hydrosédimentaire et d'oxygène dissous- ARTELIA-8716307-Tranche ferme phase 1-2022.*
- [2] *Modèle 3D hydrosédimentaire et de qualité des eaux de la Loire - construction, calage et validation du modèle local 3D hydrosédimentaire local du site de clapage de la Lambarde- ARTELIA-8716307-Tranche ferme phase 1-2022*

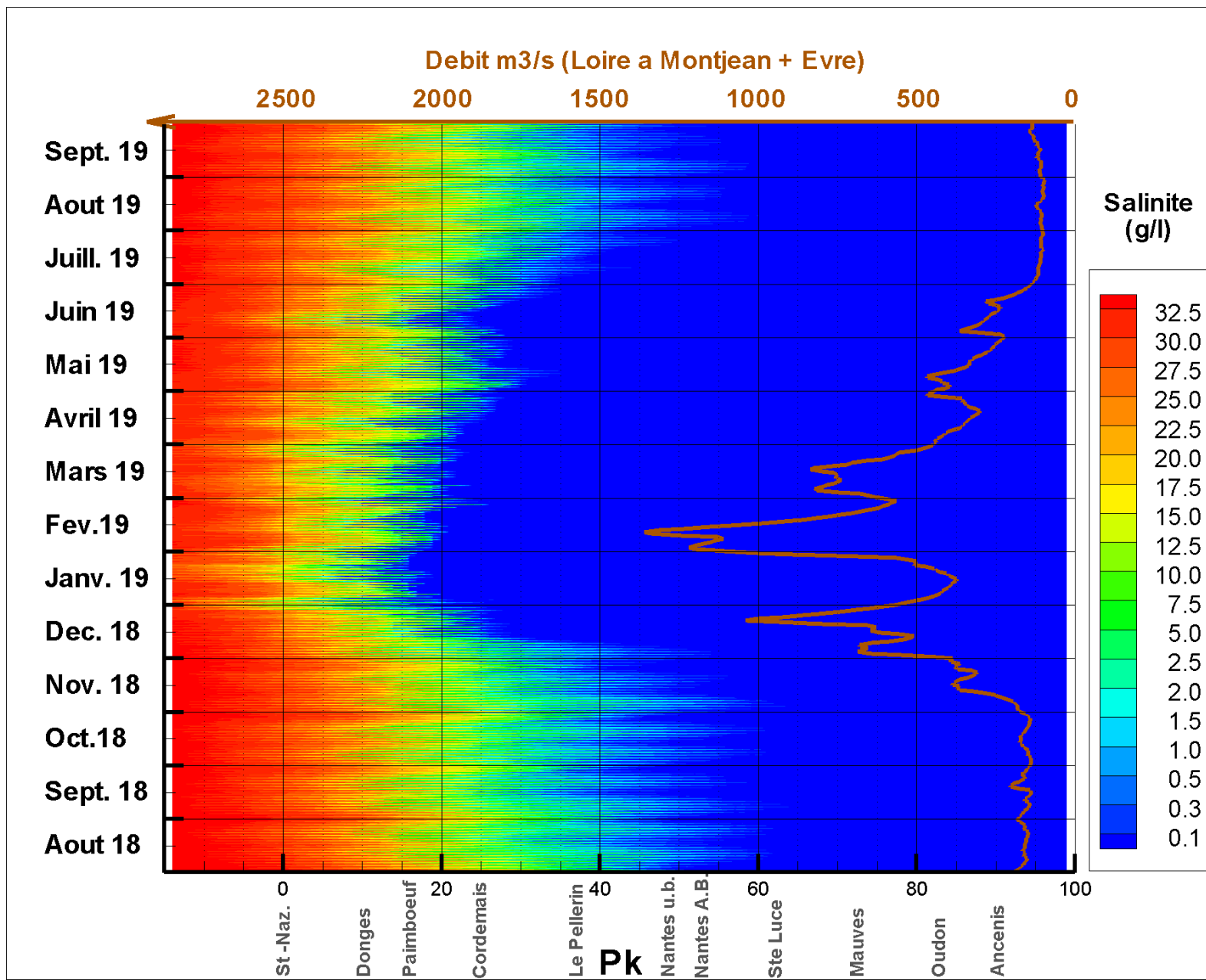
ANNEXES





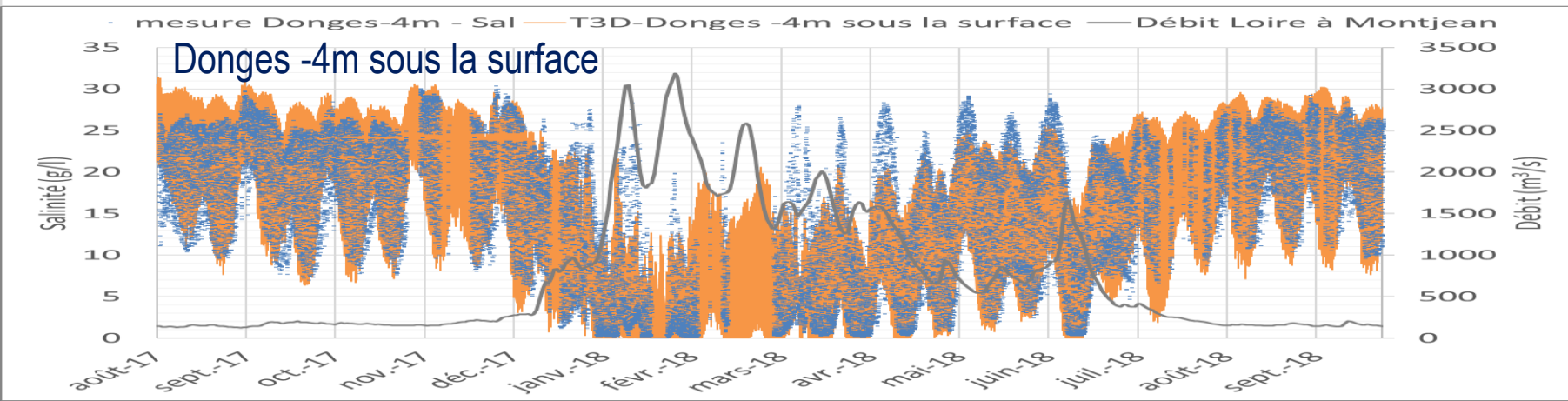
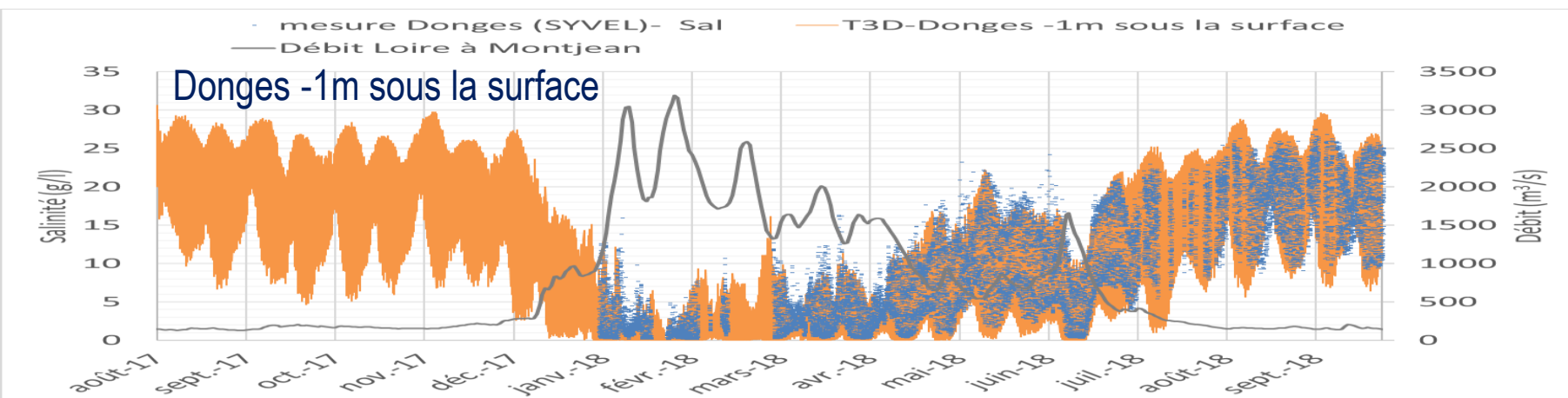
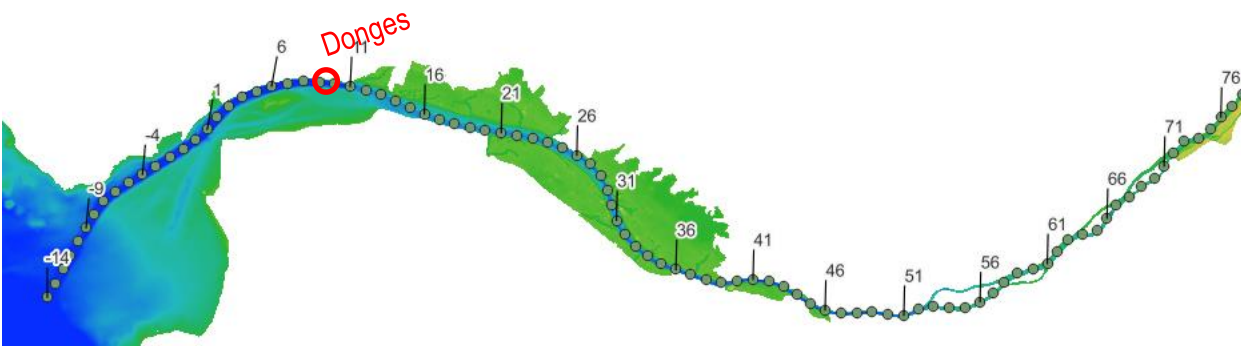
MODÈLE 3D HYDROSÉDIMENTAIRE ET DE QUALITÉ DES EAUX DE LA LOIRE

**ANNEXE 1 – CALAGE ET VALIDATION DE LA DYNAMIQUE EN
SALINITÉ, MES ET CRÈME DE VASE SUR L'ANNÉE
HYDROLOGIQUE 2017-2018, AVEC DRAGAGES DAM**



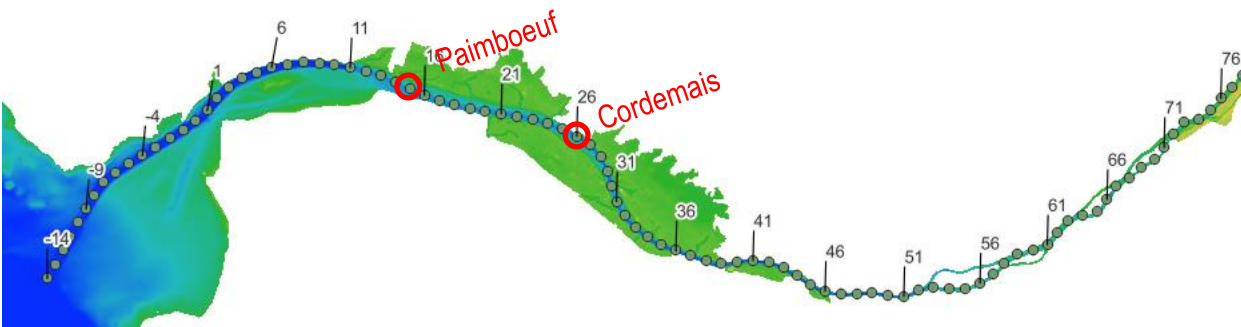
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de salinité



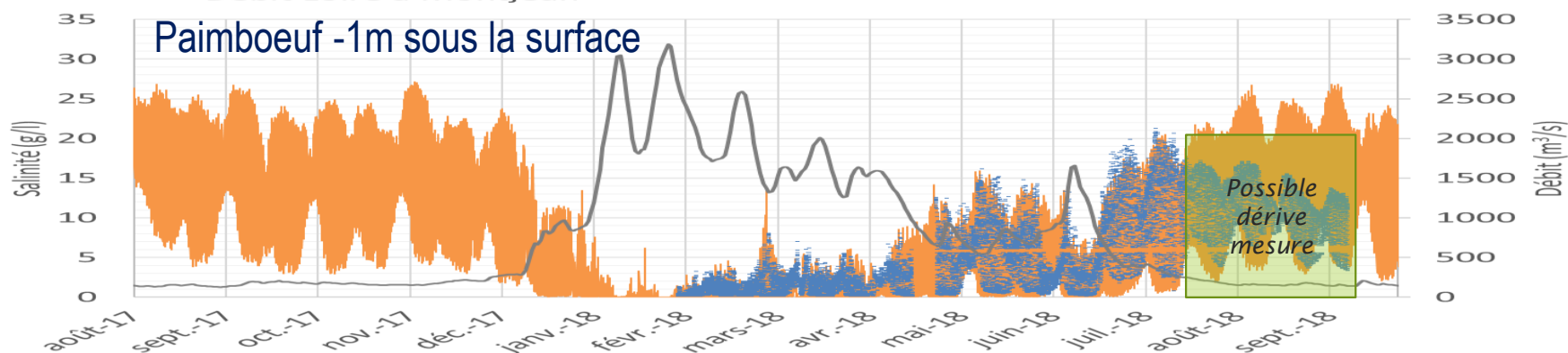
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de salinité



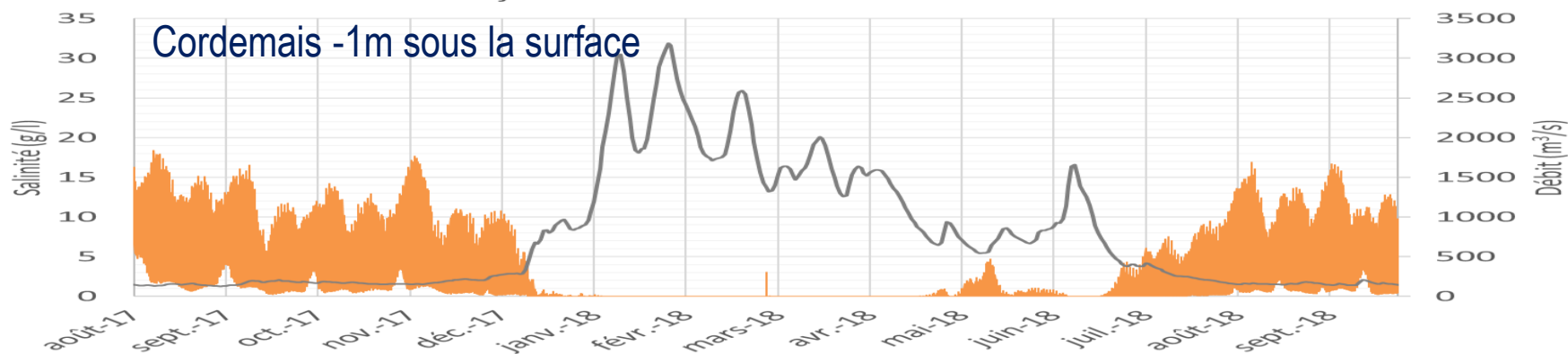
mesure Paimboeuf (SYVEL)- Sal
Débit Loire à Montjean

Paimboeuf -1m sous la surface



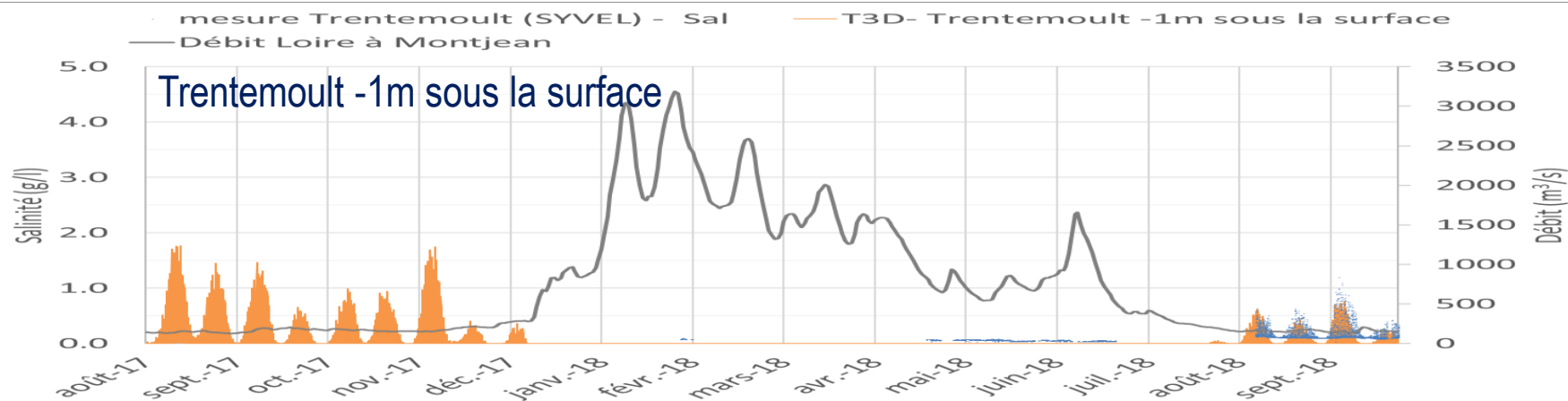
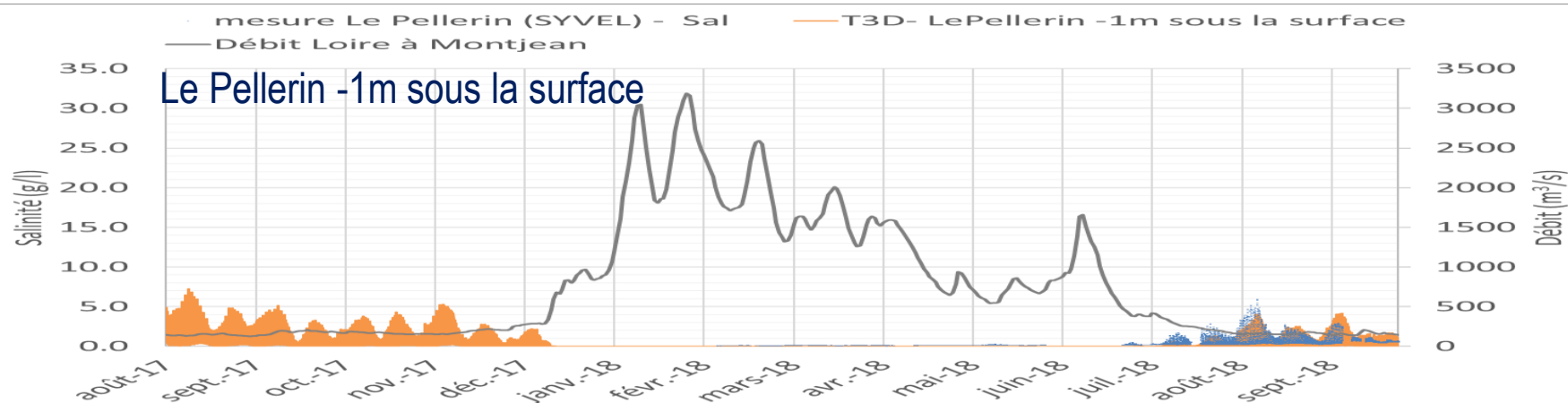
mesure Cordemais amont (EDF) - Sal
Débit Loire à Montjean

Cordemais -1m sous la surface



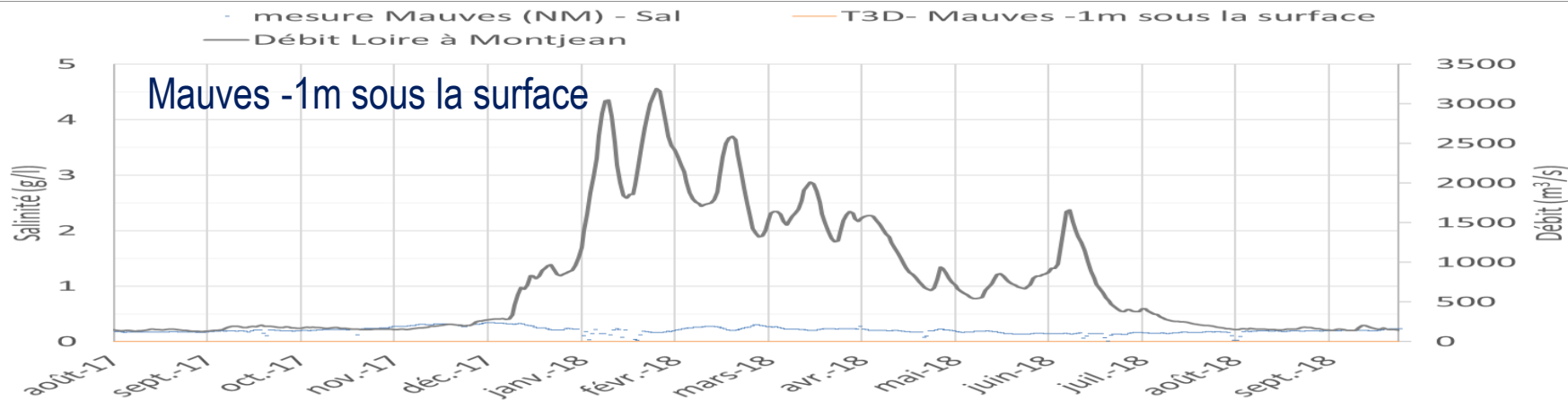
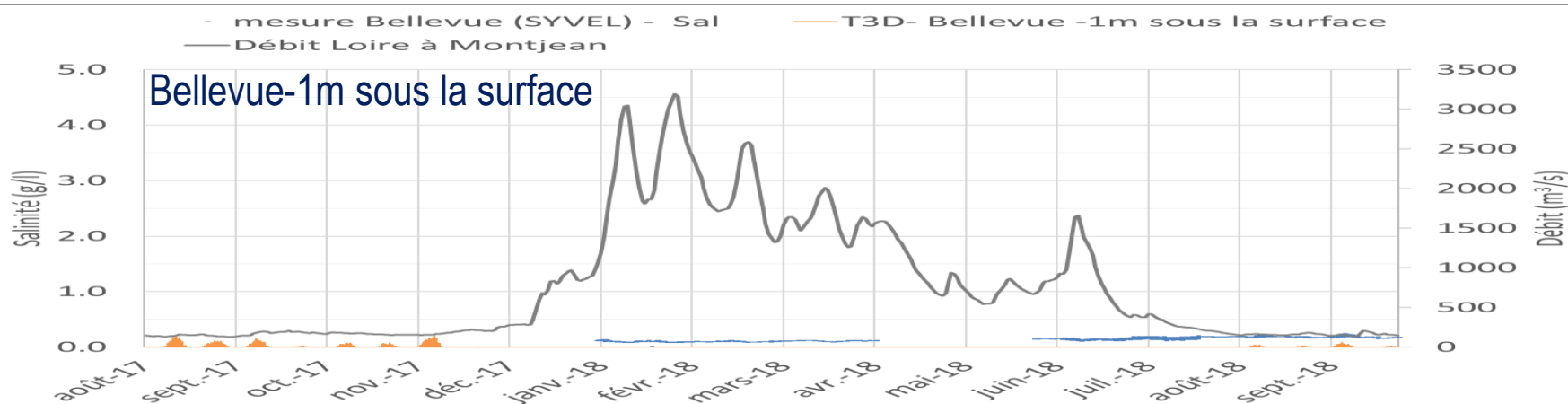
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de salinité



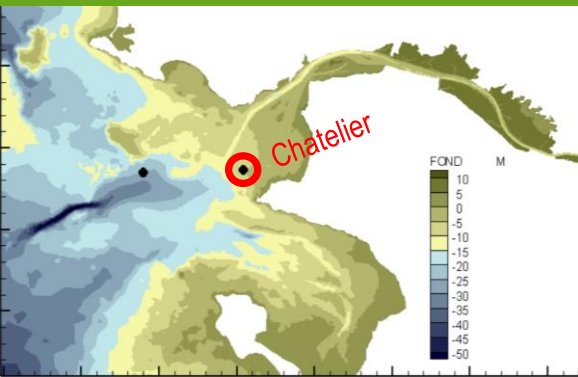
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de salinité

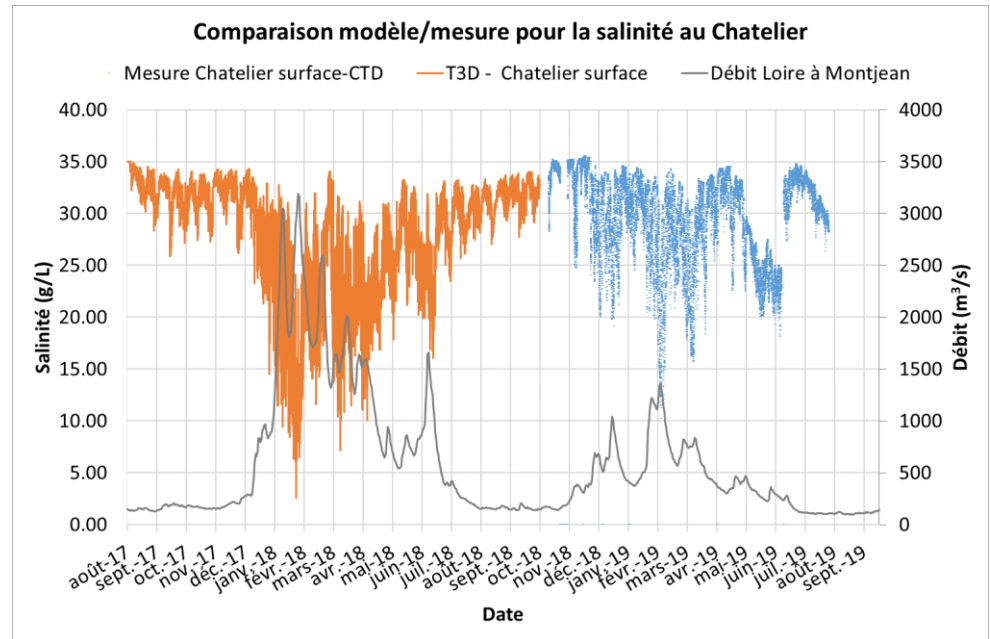


Année hydrologique 2018-2019 – Estuaire externe

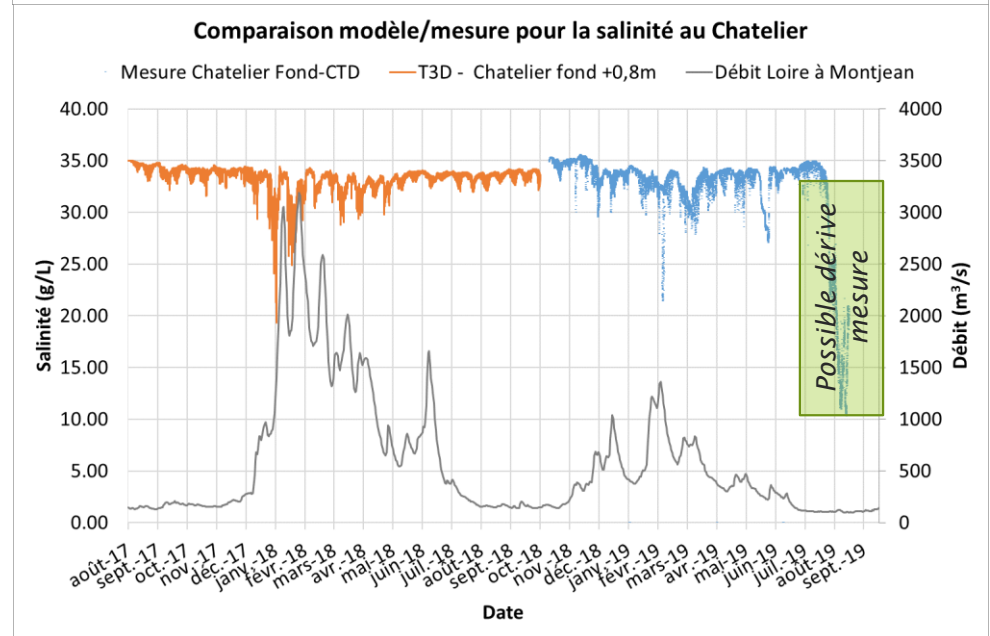
Comparaison aux mesures Chatelier en Salinité



Surface

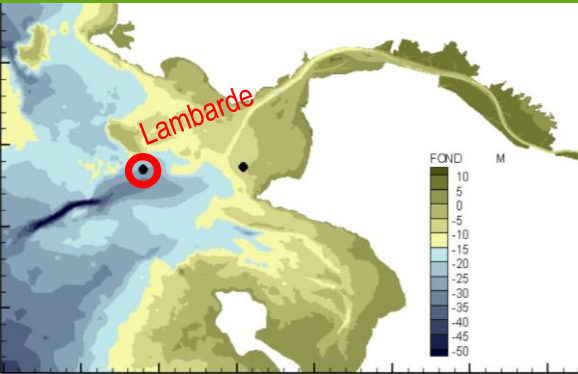


Fond

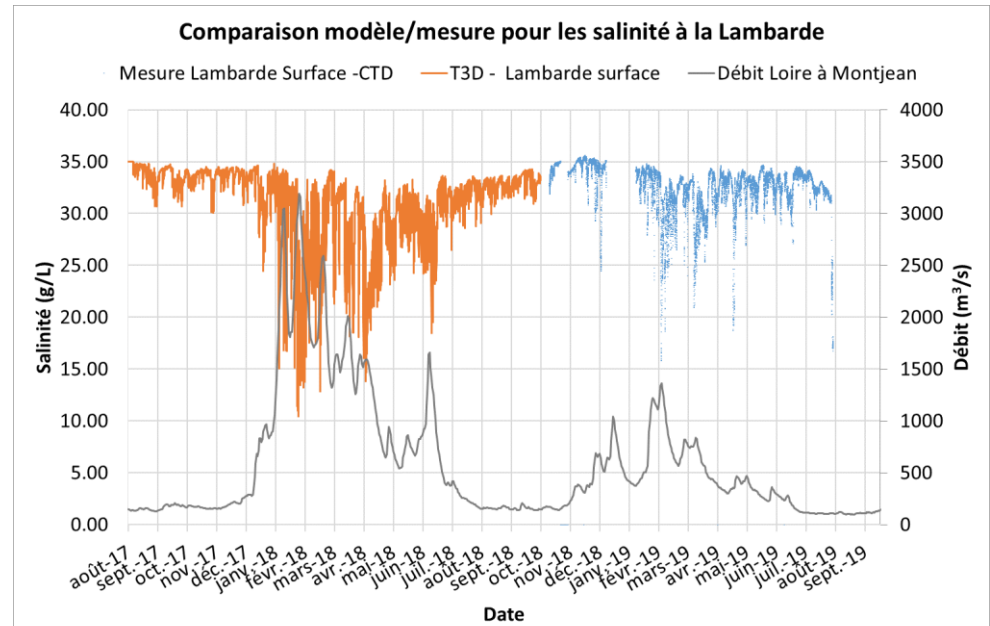


Année hydrologique 2018-2019 – Estuaire externe

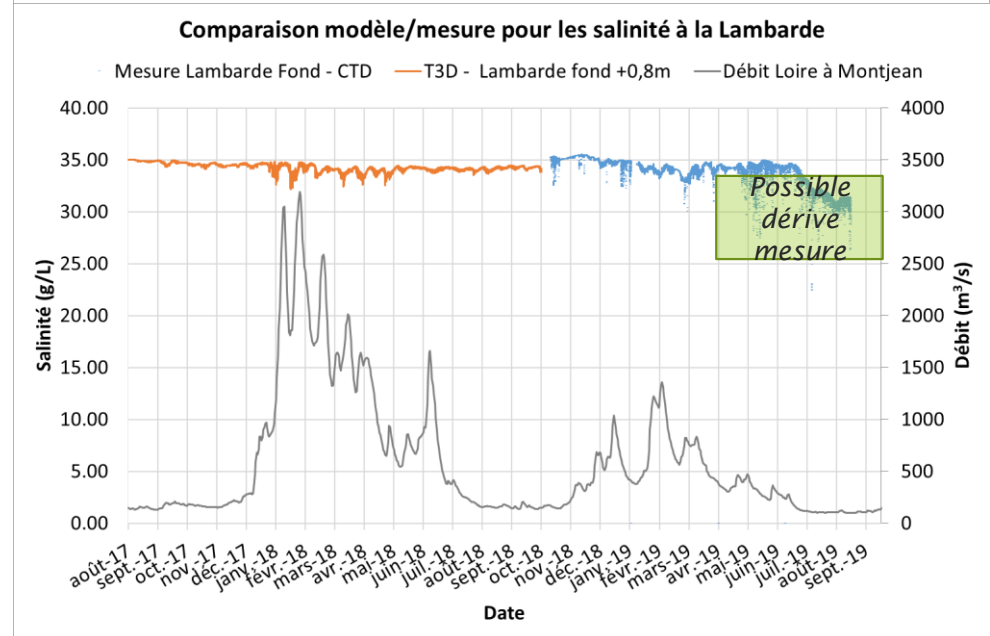
Comparaison aux mesures Lambarde en Salinité

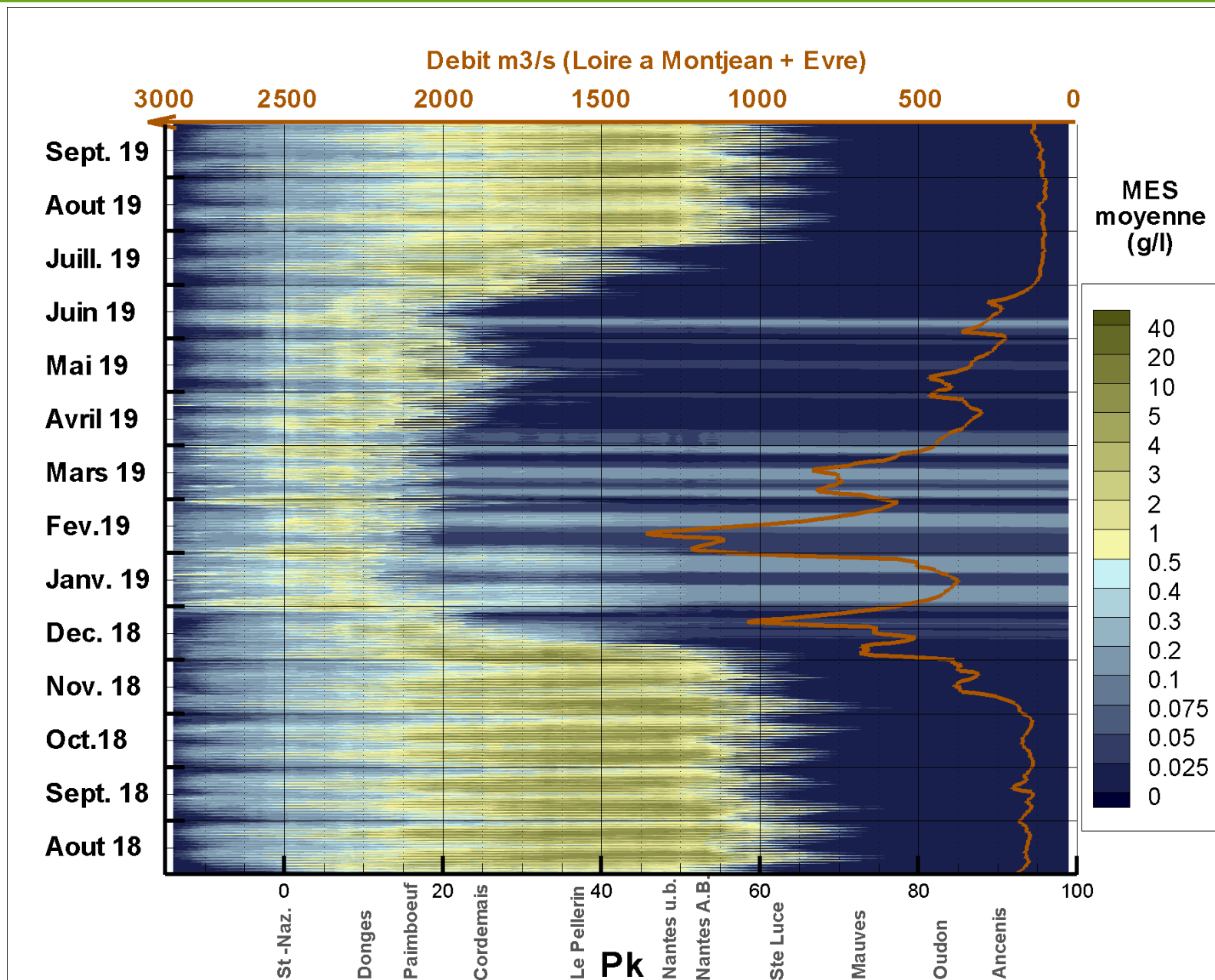


Surface

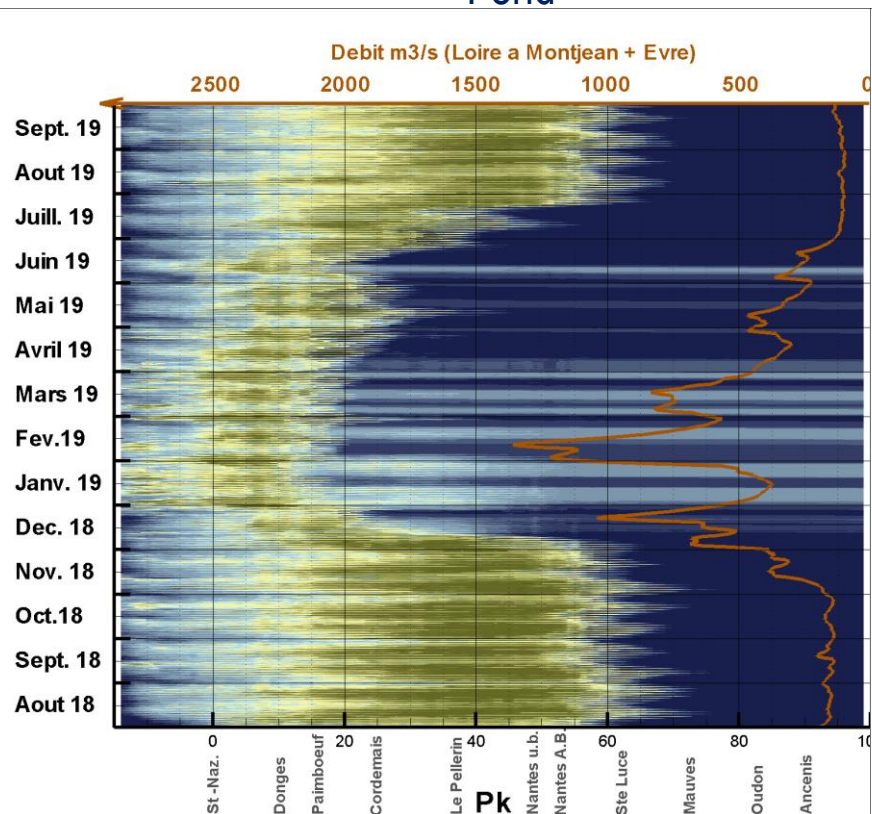


Fond

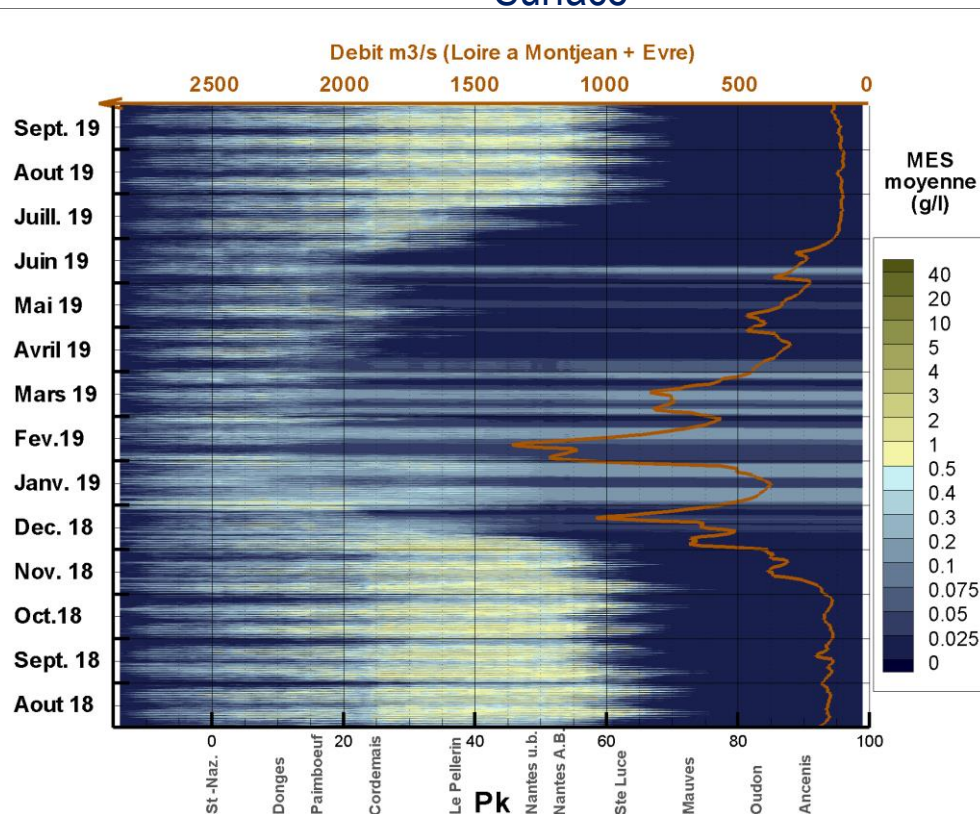




Fond

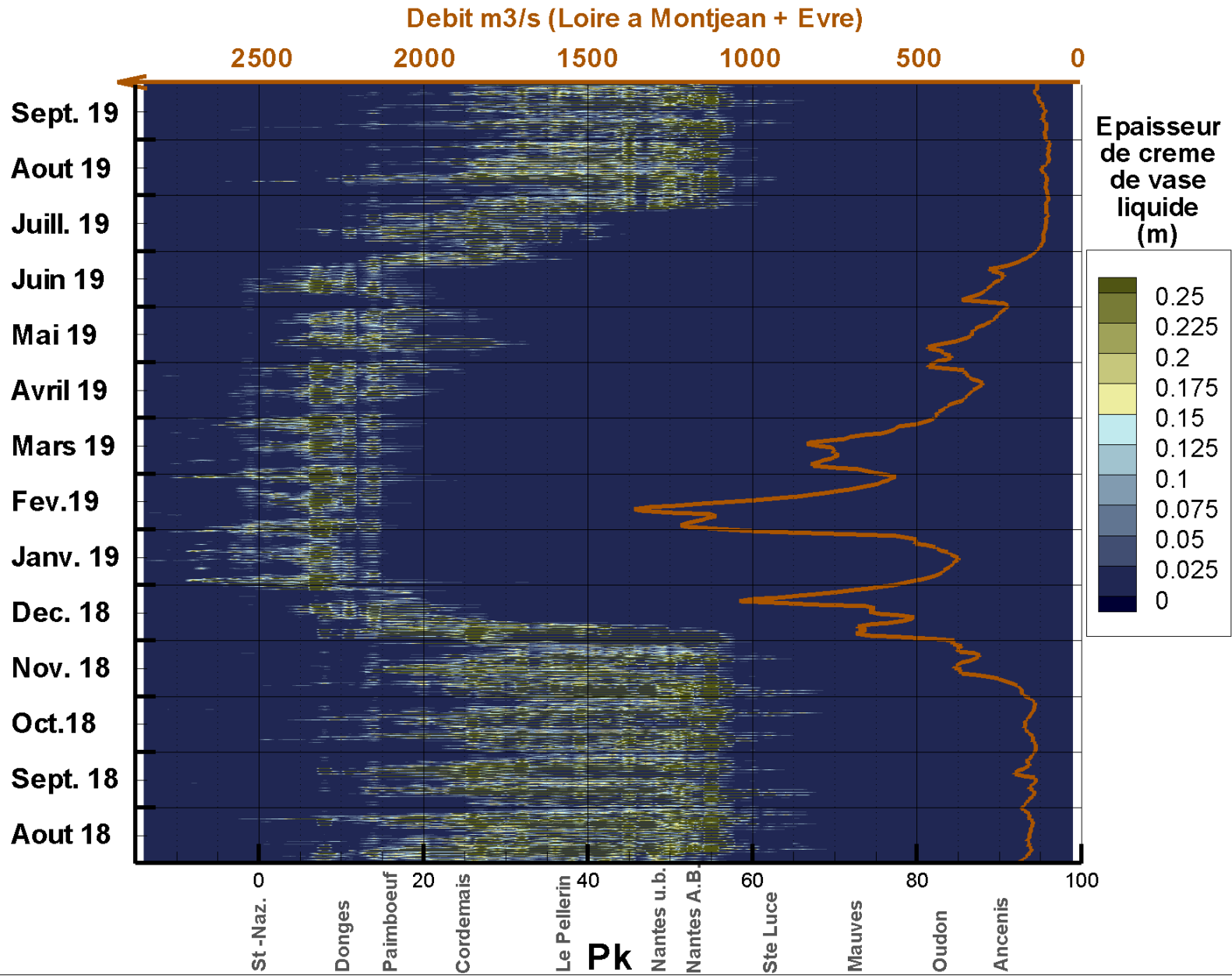


Surface



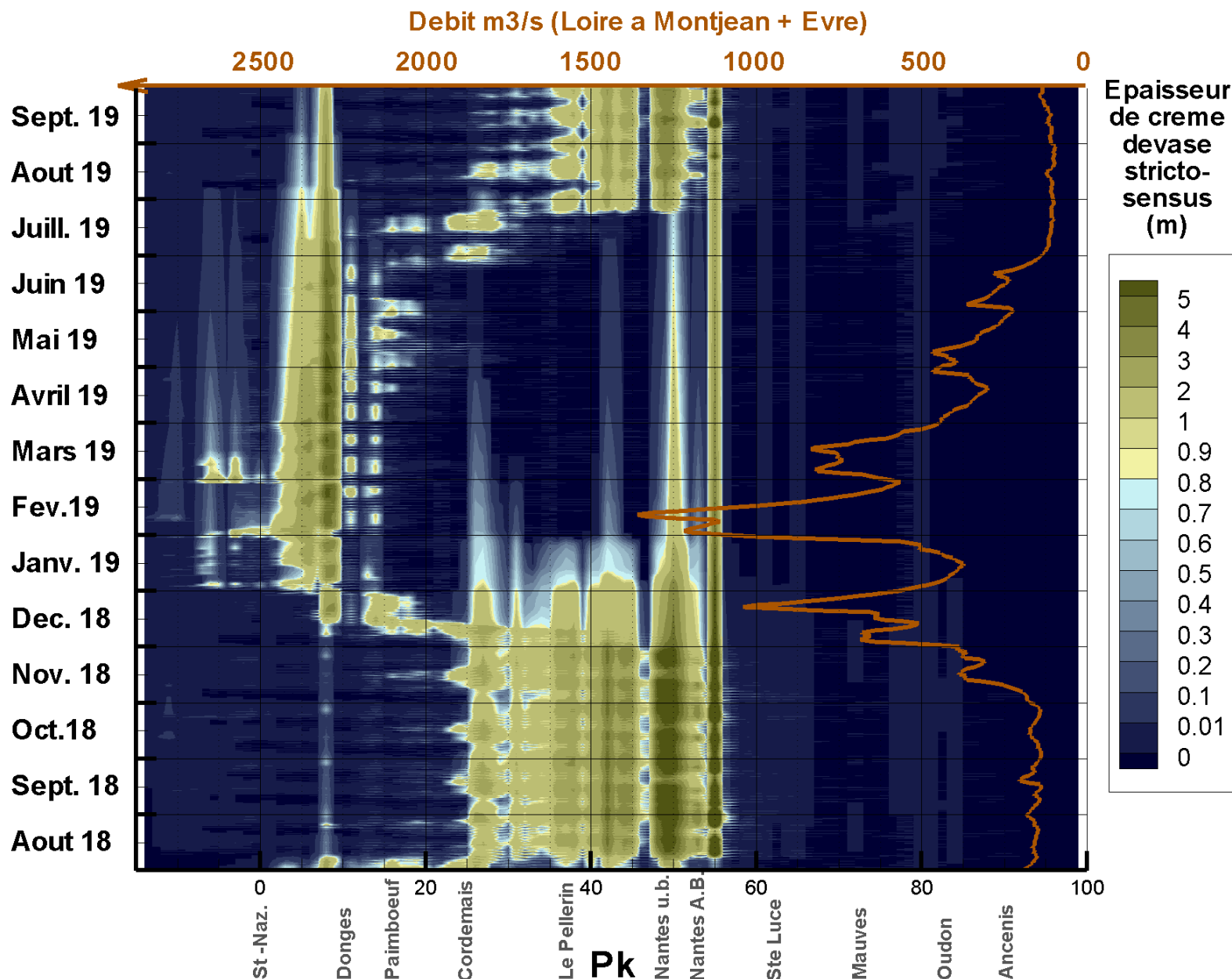
Dynamique de la crème de vase

Epaisseur de la crème de vase liquide (40 à 100g/l)



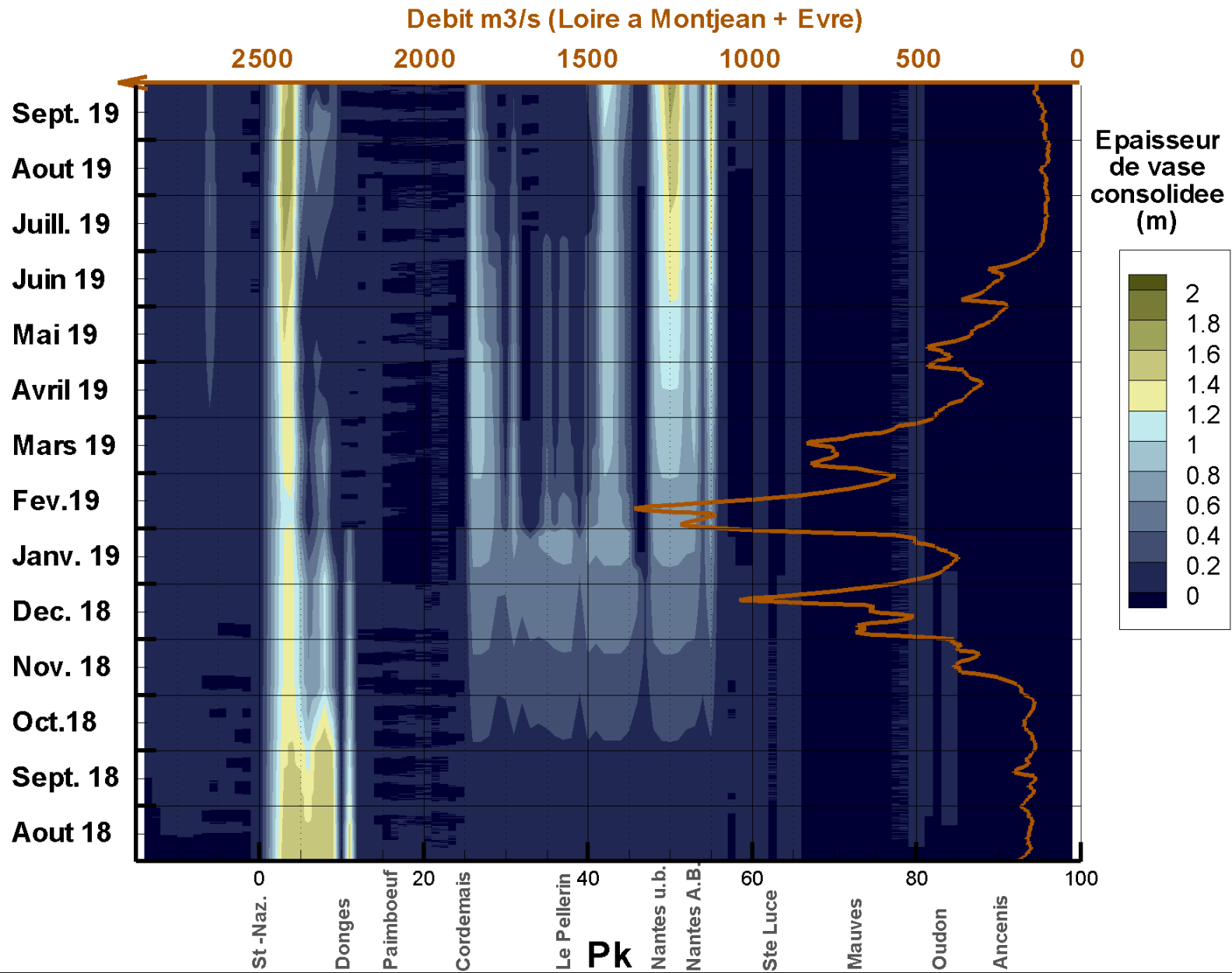
Dynamique de la crème de vase

Epaisseur de la crème de vase stricto-sensus (100 à 300g/l)



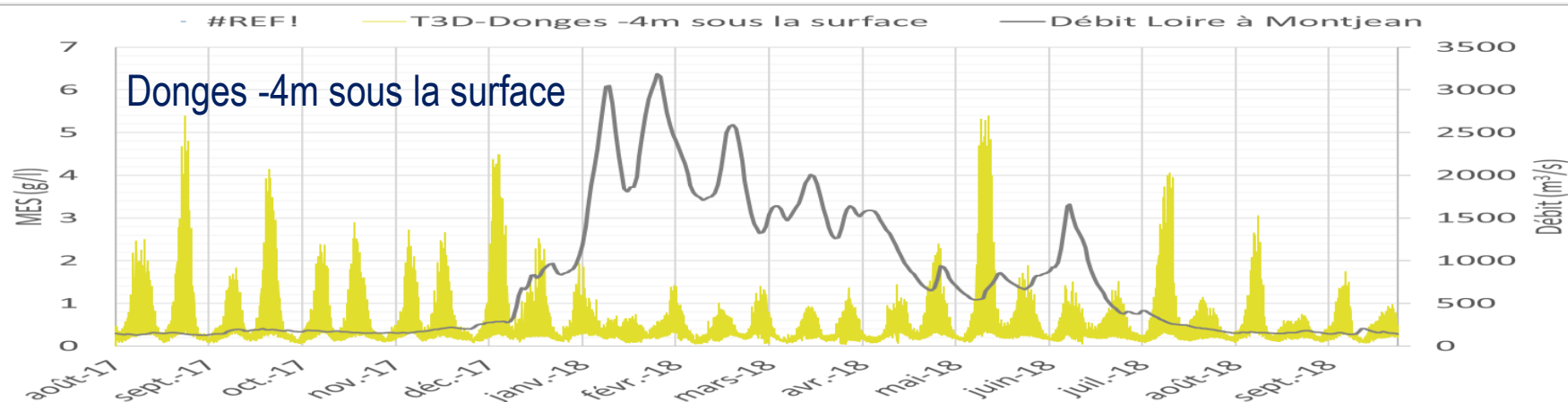
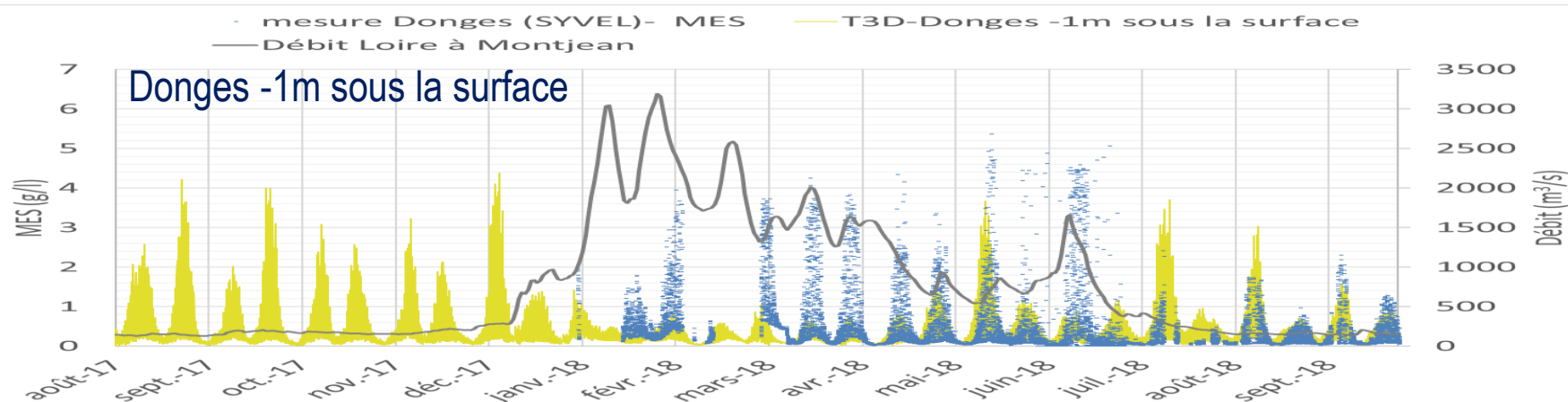
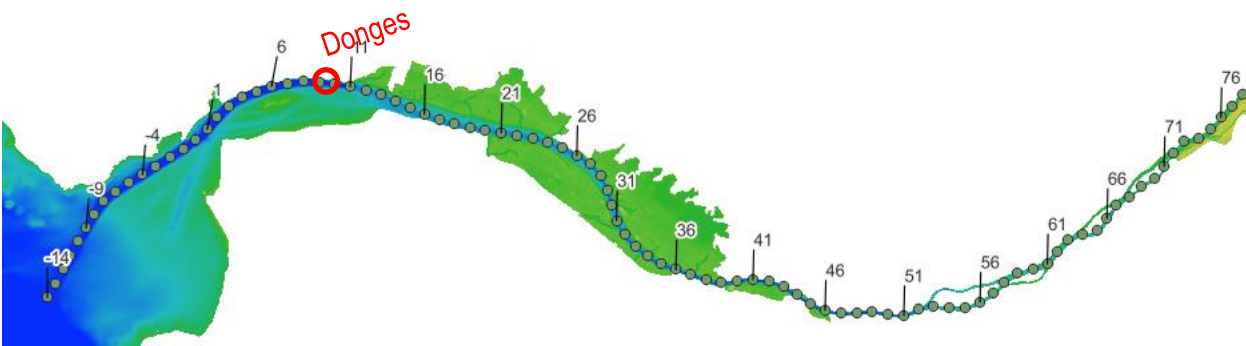
Dynamique de la crème de vase

Epaisseur de la crème de vase consolidée (300 à 375 g/l)



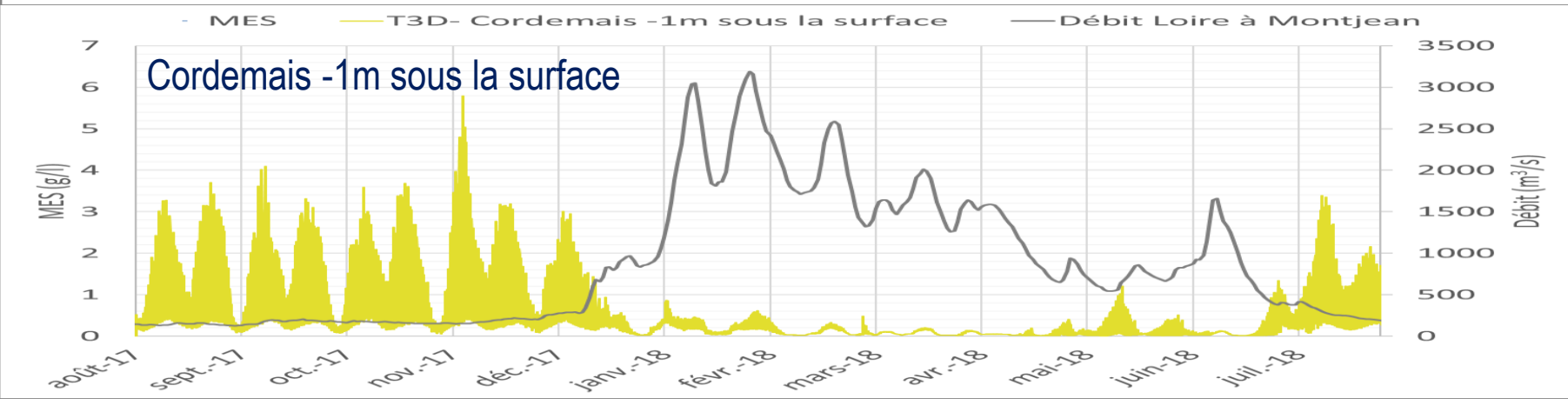
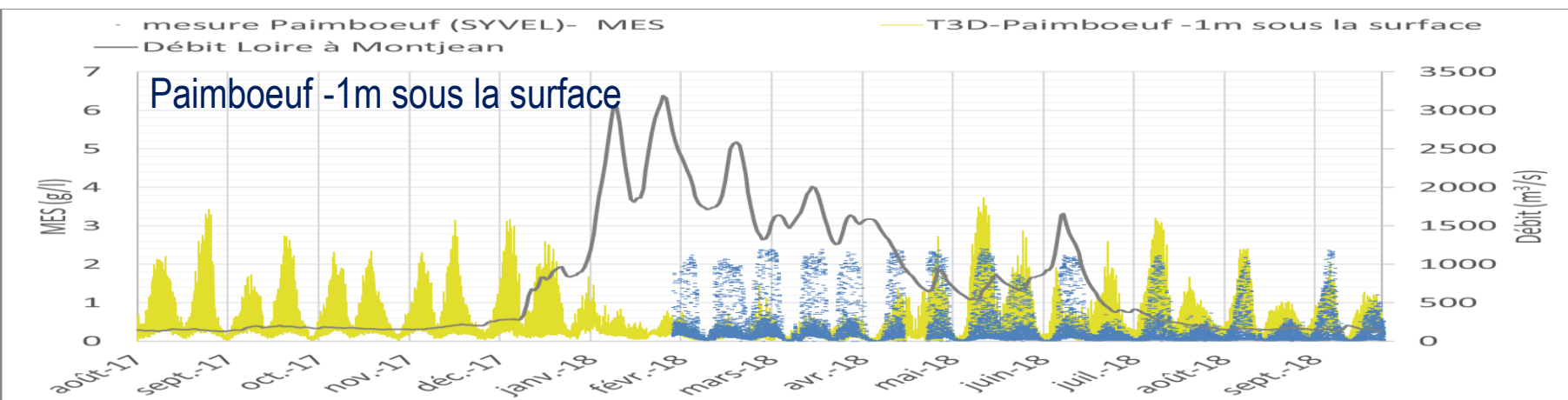
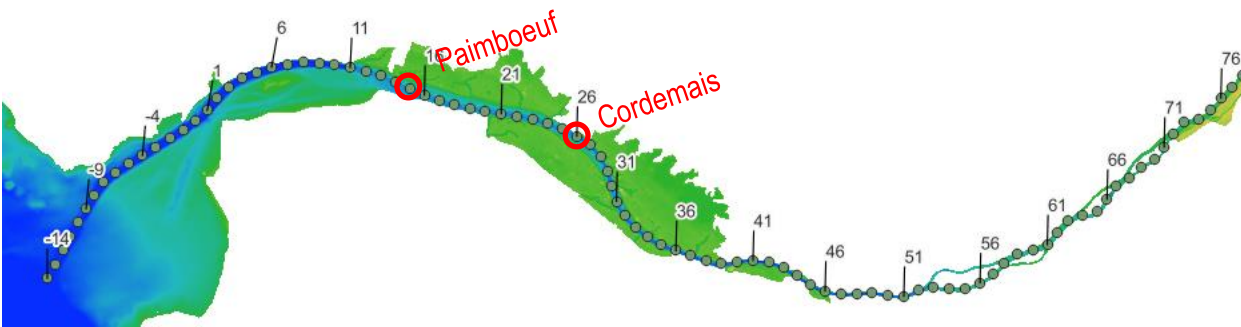
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de MES



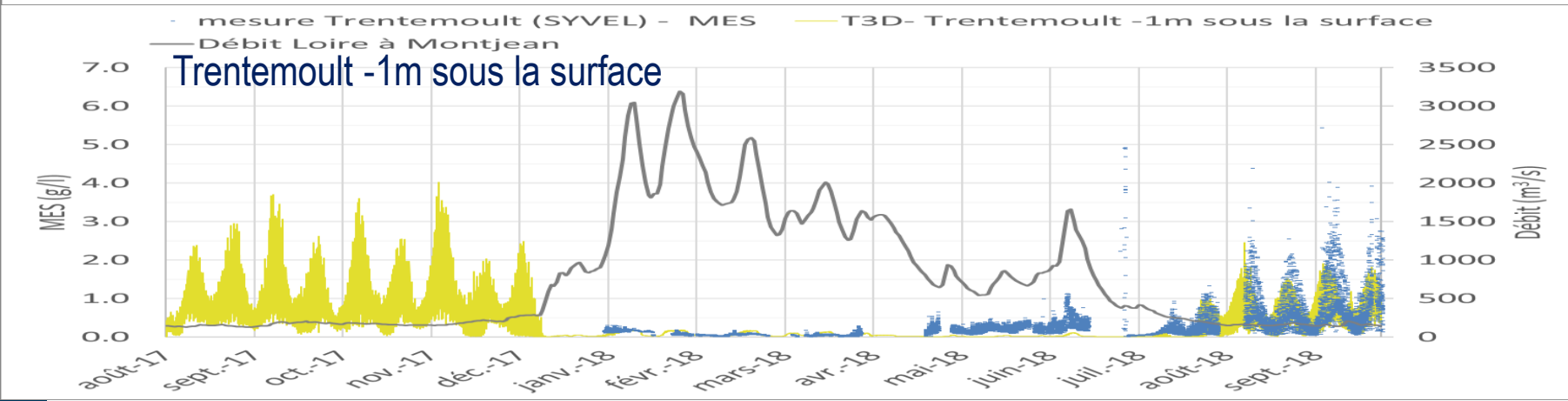
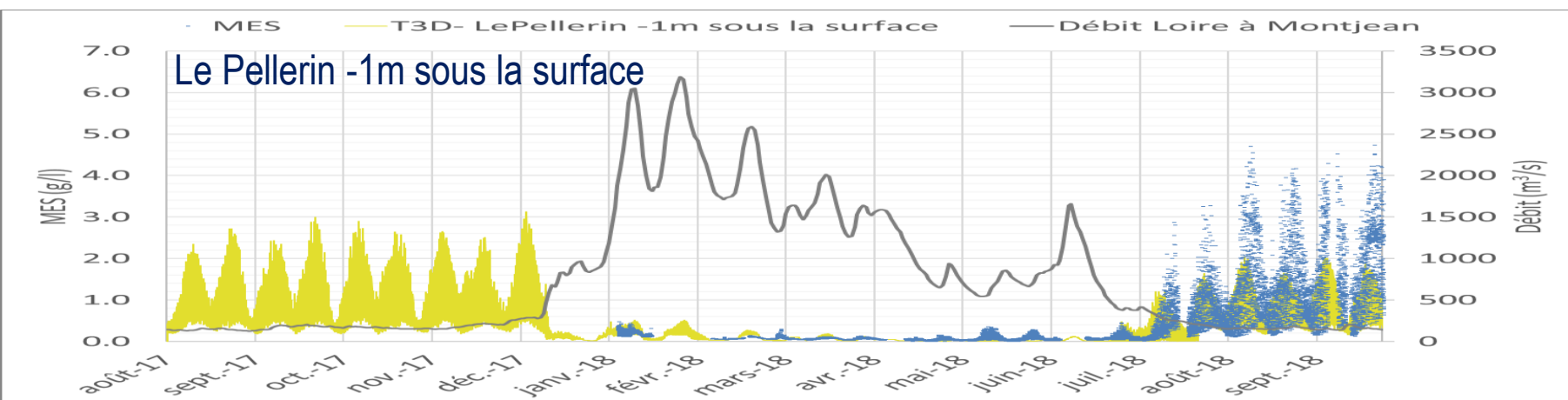
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de MES



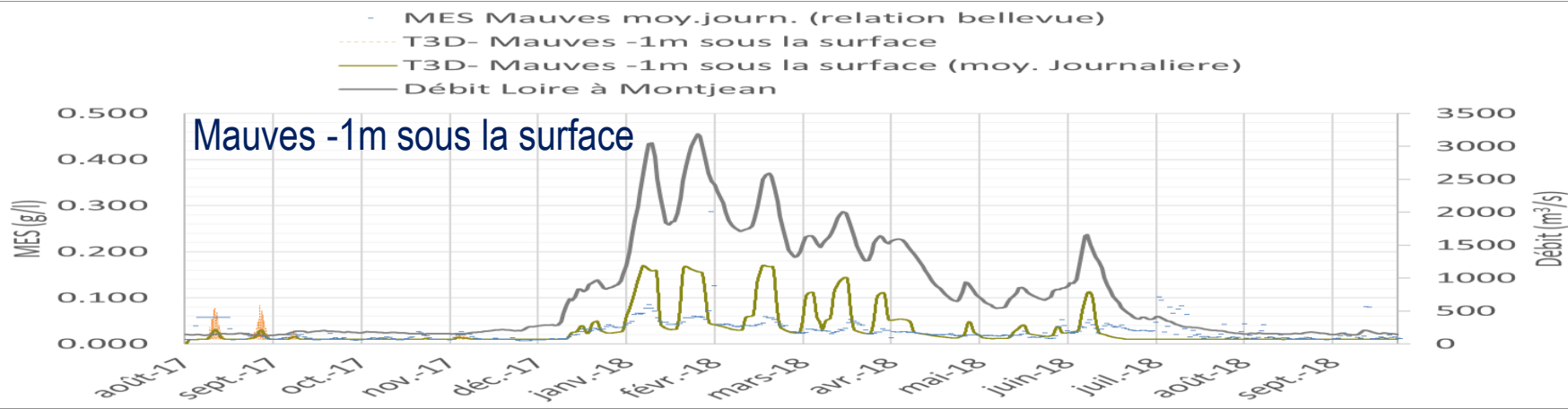
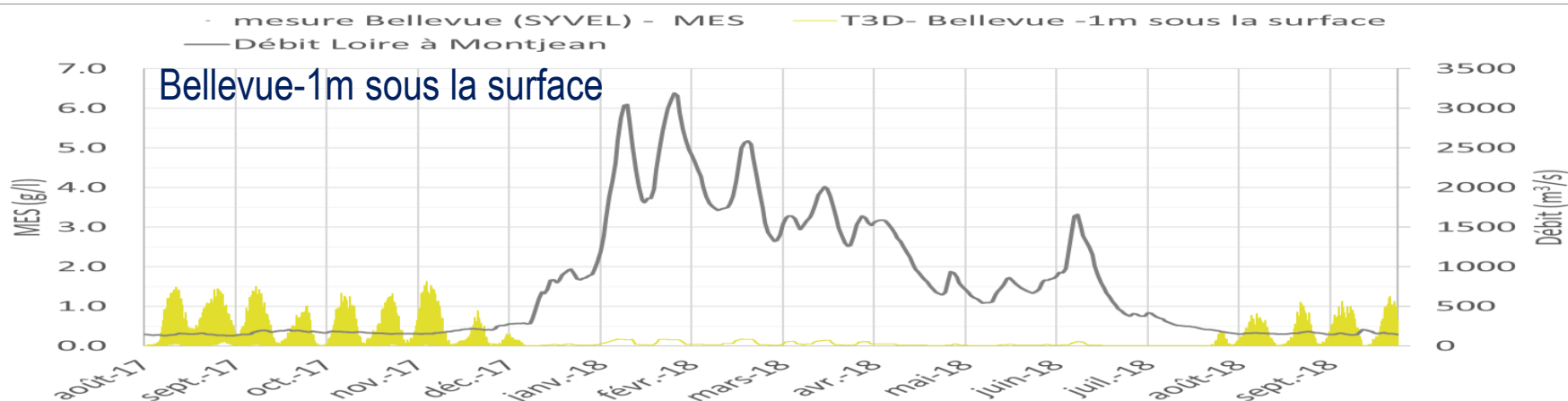
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de MES



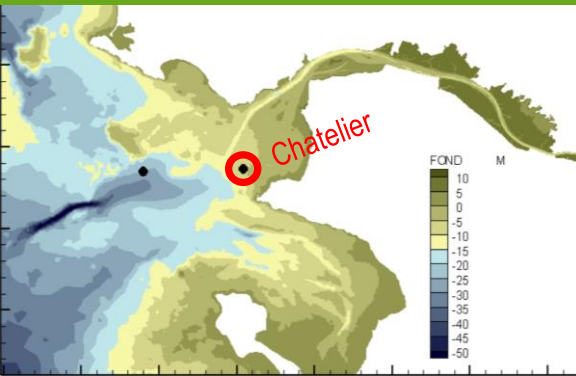
Année hydrologique 2018-2019 - Estuaire interne

Comparaison aux mesures SYVEL de MES

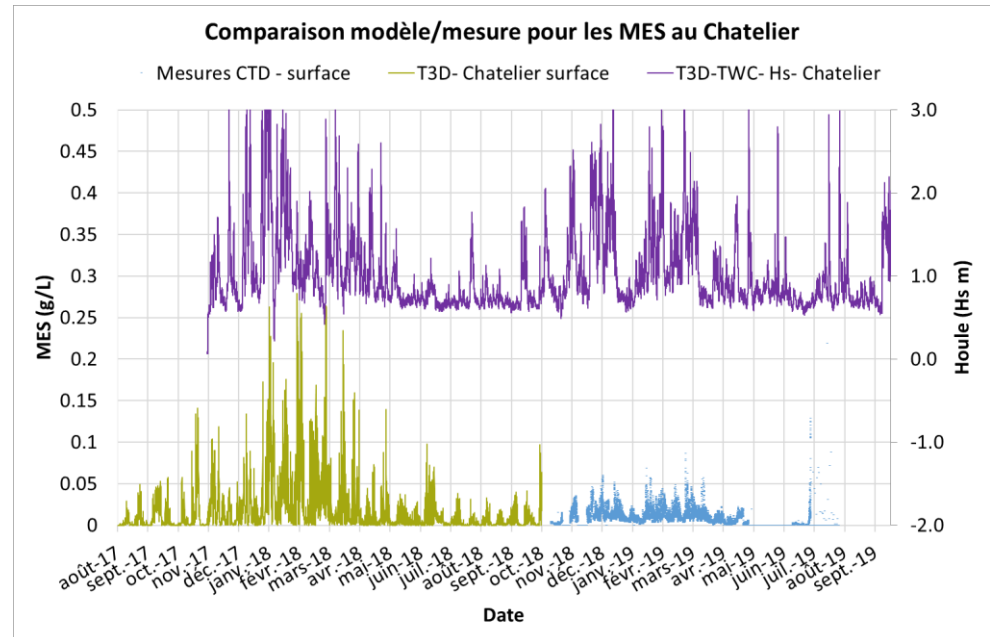


Année hydrologique 2018-2019 – Estuaire externe

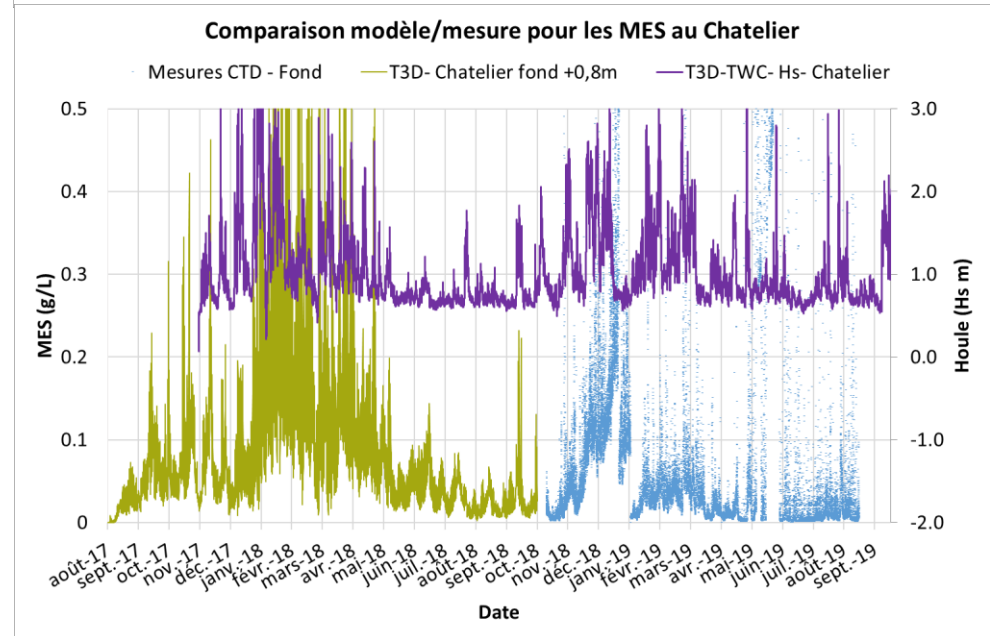
Comparaison aux mesures Lambarde et Chatelier en MES



Surface

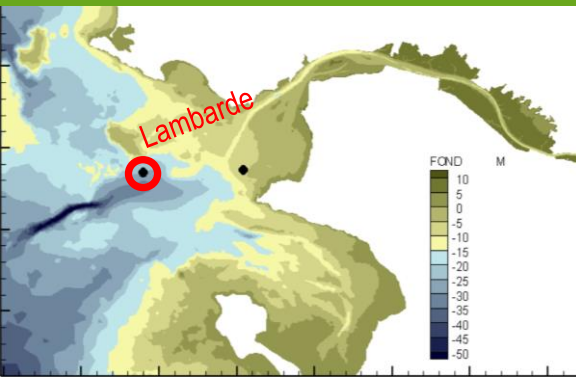


Fond

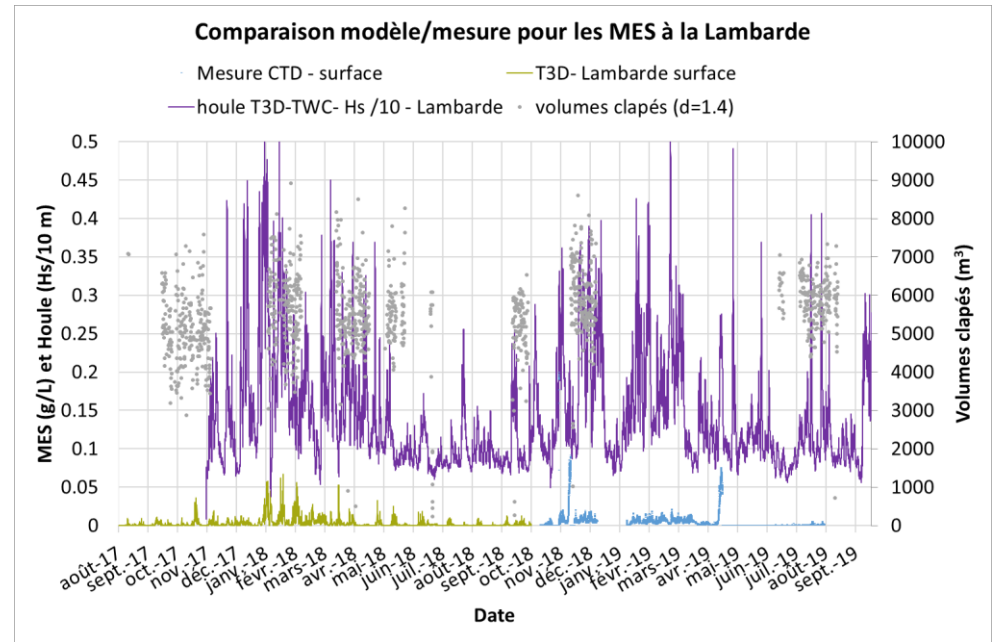


Année hydrologique 2018-2019 – Estuaire externe

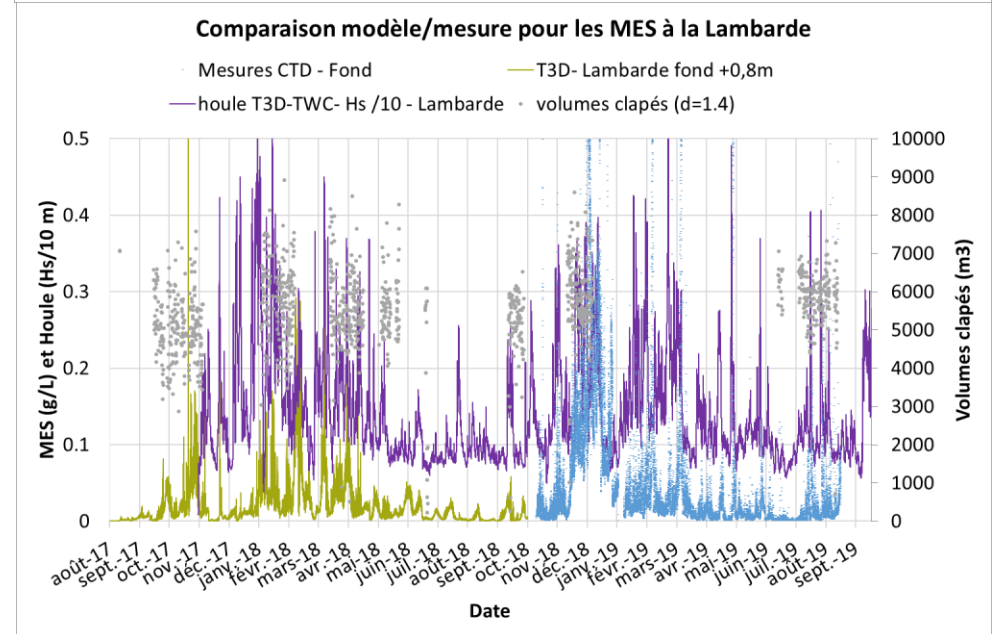
Comparaison aux mesures Lambarde et Chatelier en MES



Surface



Fond





www.arteliagroup.com