

MEANDRES

Modélisation de l'Effet des déplacements anthropiques de sédiments sur l'estuaire de la Seine

2016 → 2020

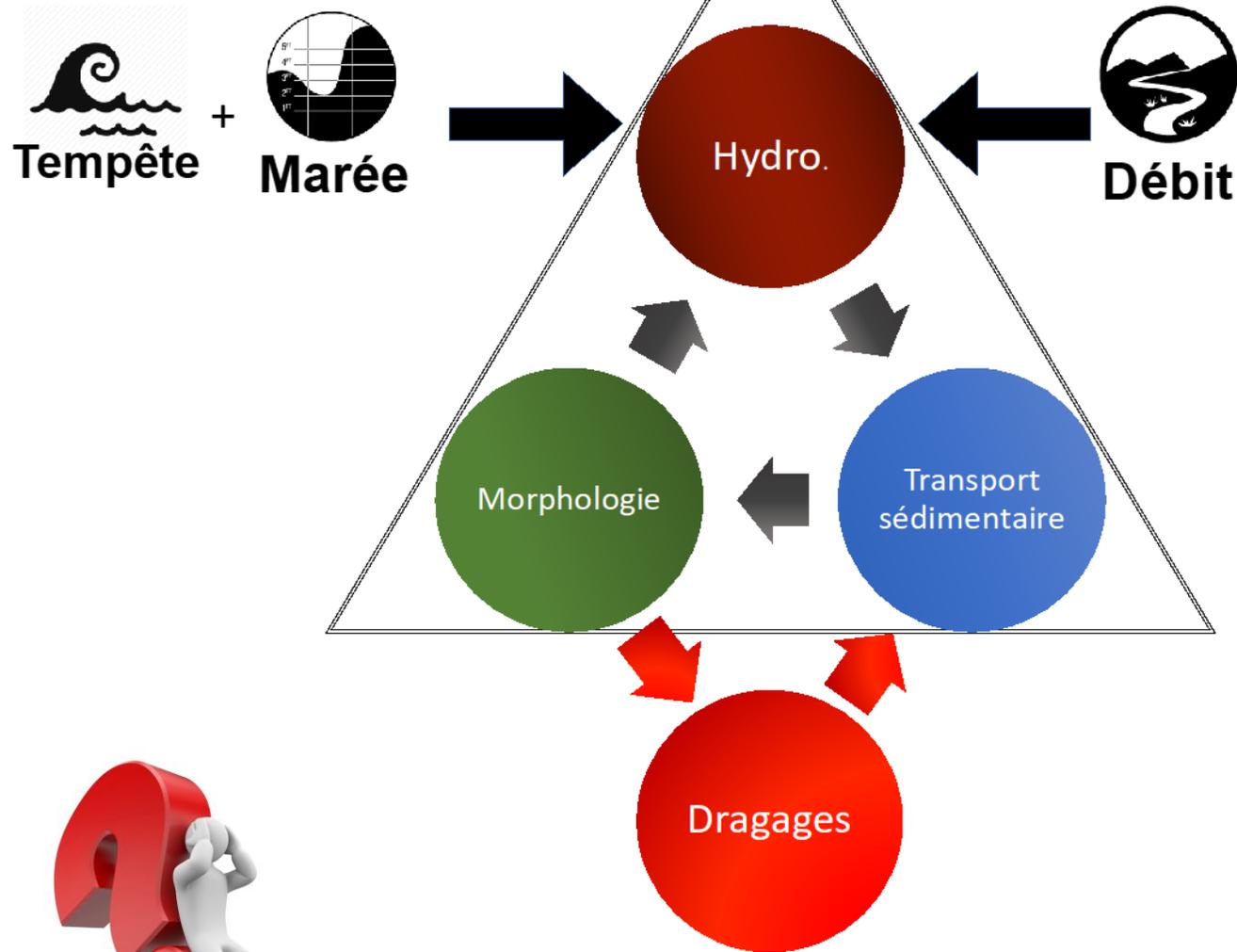
Étude de l'effet des dragages d'entretien sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine

Jean Philippe Lemoine – Pierre Le Hir

jplemoine@seine-aval.fr



“Fonctionnement HMS d’un estuaire”?



- Interactions hydrodynamique et transport sédimentaire
 - Dilution eaux douces dans le milieu marin
 - Turbidité de l’eau
 - Évolutions morphologiques

→ **Rôle des dragages dans ces interactions ?**



Les dragages d'entretien en estuaire

- Les estuaires :
 - zones idéales pour l'implantation portuaire
 - mais forte sédimentation
- Dragages d'entretiens : un problème historique
 - Middelburg XV^e : la drague à voile "Krabbelaar" (illustration)
- **Globalement tous les ports d'estuaires sont dragués :**
 - Economie liée aux dragages d'entretien : 2.5 Md €/an
- Dans certains ports, les dragages d'entretien sont colossaux :
 - dans les chenaux profonds du Yangtze : 100 Mm³/an
 - Escaut : 13 à 20 Mm³, Elbe: 7 Mm³, Loire et Gironde 8 Mm³
 - Seine 6 Mm³

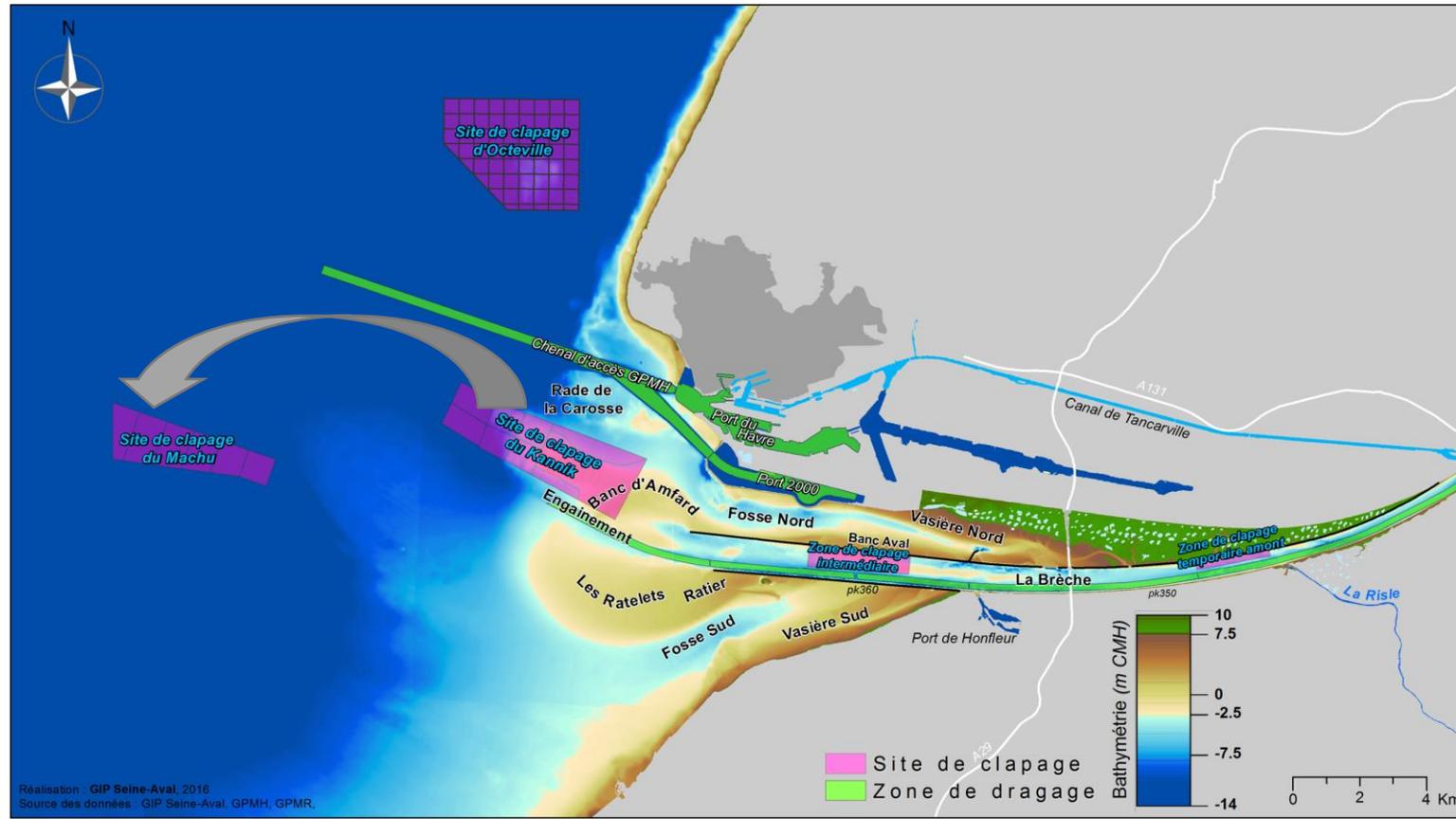


Les dragages d'entretien dans l'estuaire de la Seine

- 7 Mt de sédiments dragués annuellement
 - Apports sédimentaire de la Seine à Poses 0.7Mt/an
 - Comparables aux flux entrants depuis la baie

Nouveau record : ce céréalier a quitté le port de Rouen avec un tirant d'eau de plus de 11 mètres

Le céréalier Andros est parti du port de Rouen (Seine-Maritime) ce vendredi 29 janvier 2021 pour rejoindre la Chine avec près de 57 000 tonnes d'orge à son bord.





Octeville

Machu

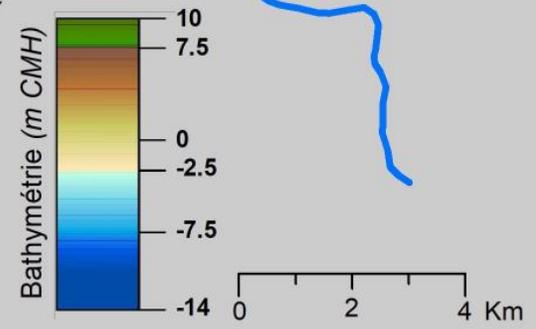
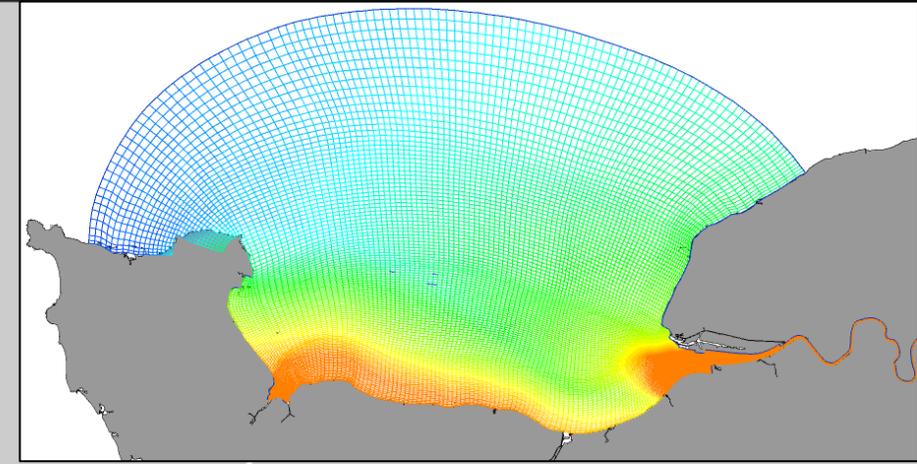
Kannik

L'Engainement

Le Port du Havre

La Brèche

Port de Rouen





Vagues au large

Météo
(Vent / Press. Atm)

Composantes de marées

Vagues
Wave Watch III

Hydrodynamique 3D
Mars 3D - curviligne

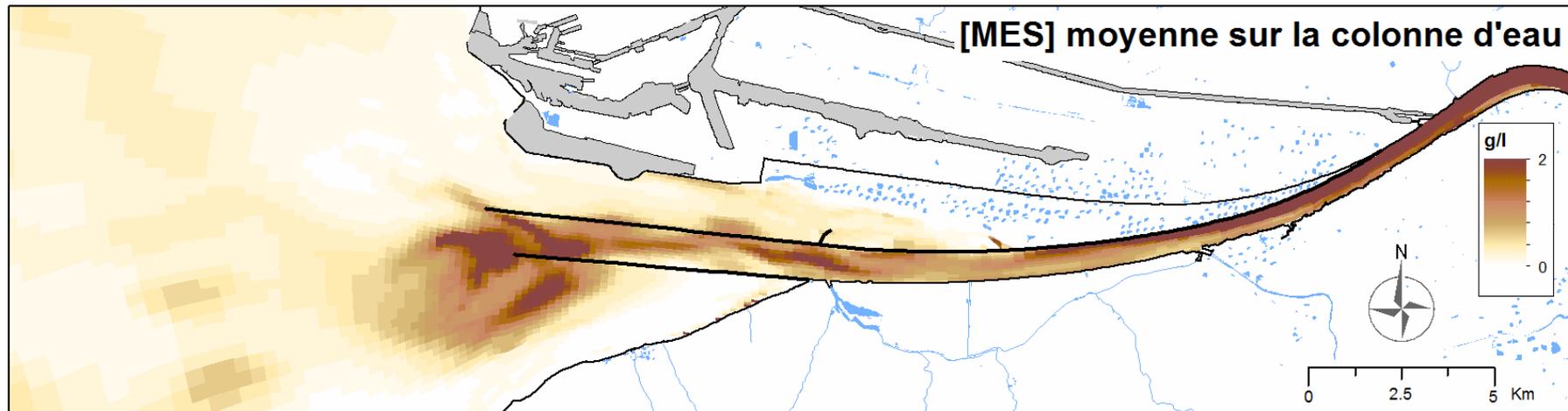
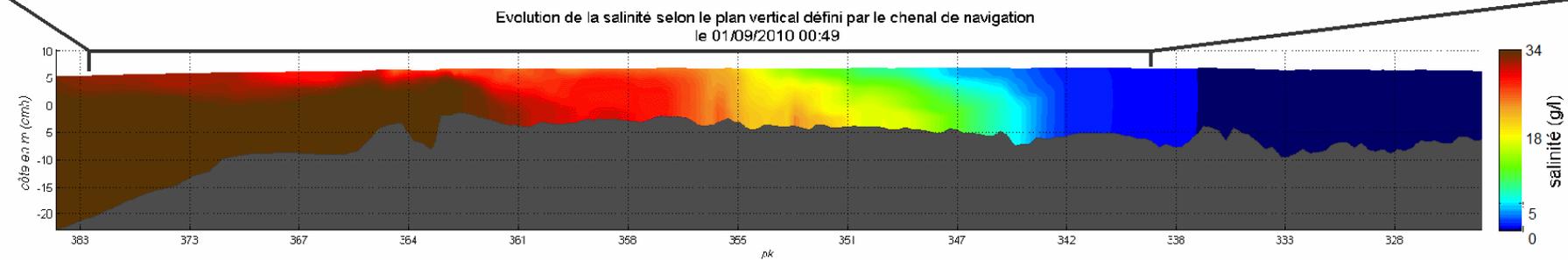
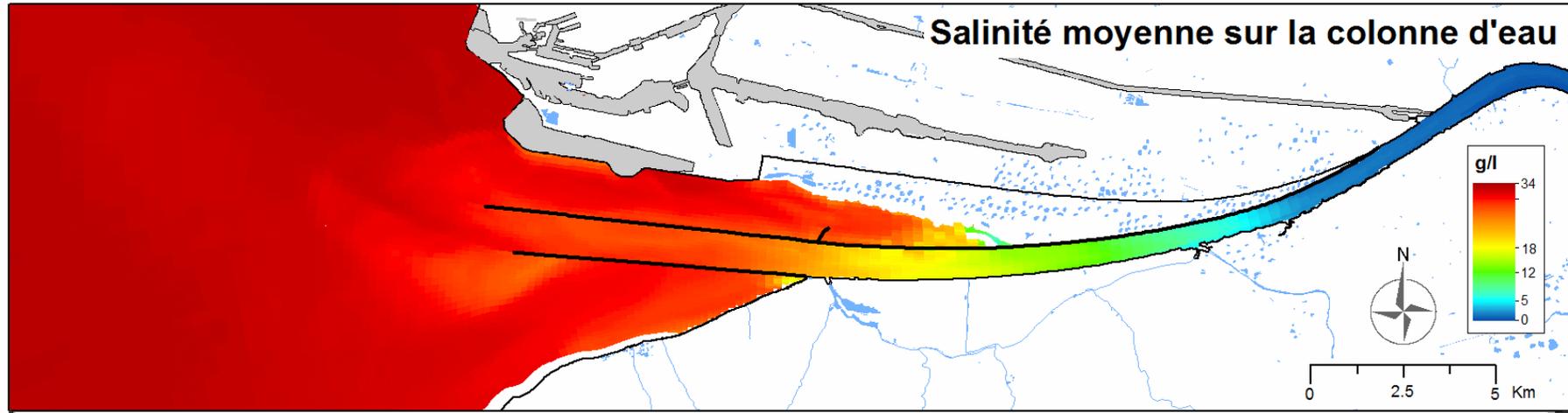
Couplage
Morpho-dynamique

Sédiment
MUSTANG
Advection-diffusion (suspension) /
consolidation / floculation / multi-couches
/ multi-classes
(1 gravier / 3 sables / 1 vase)
+ Dragage

Débits
liquides et solides



Gradient de salinité et dynamique des MES



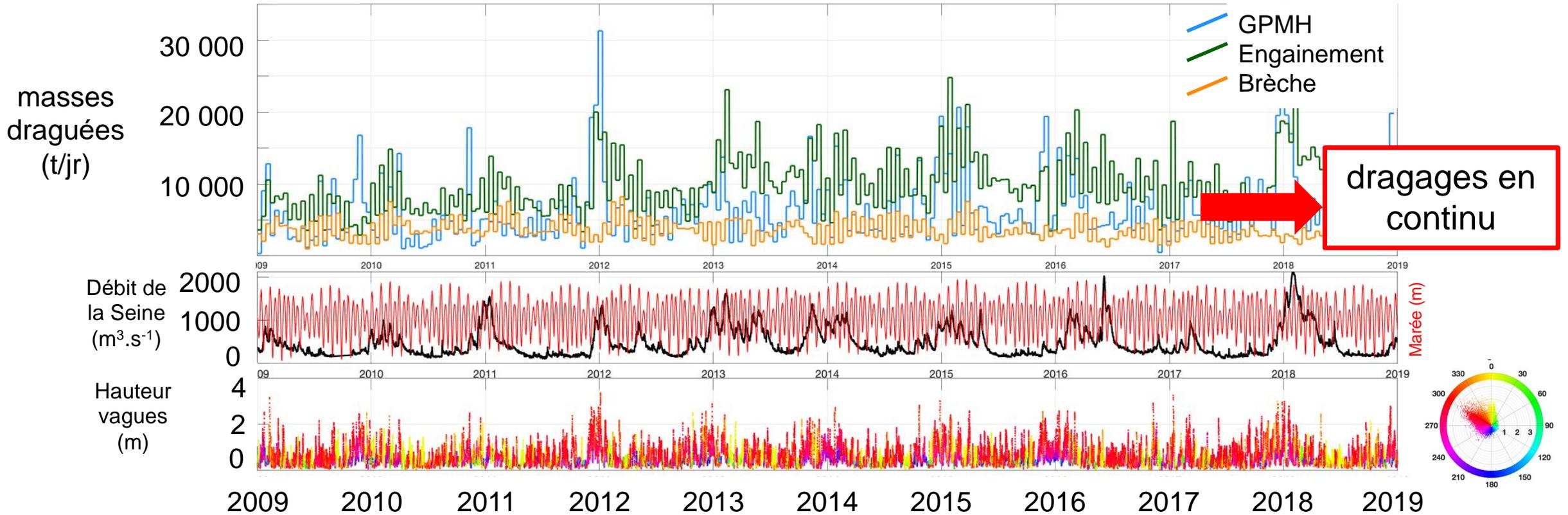
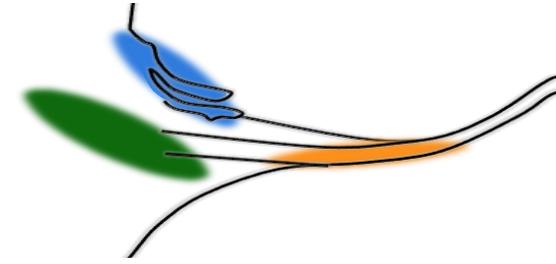


L'estuaire de la Seine

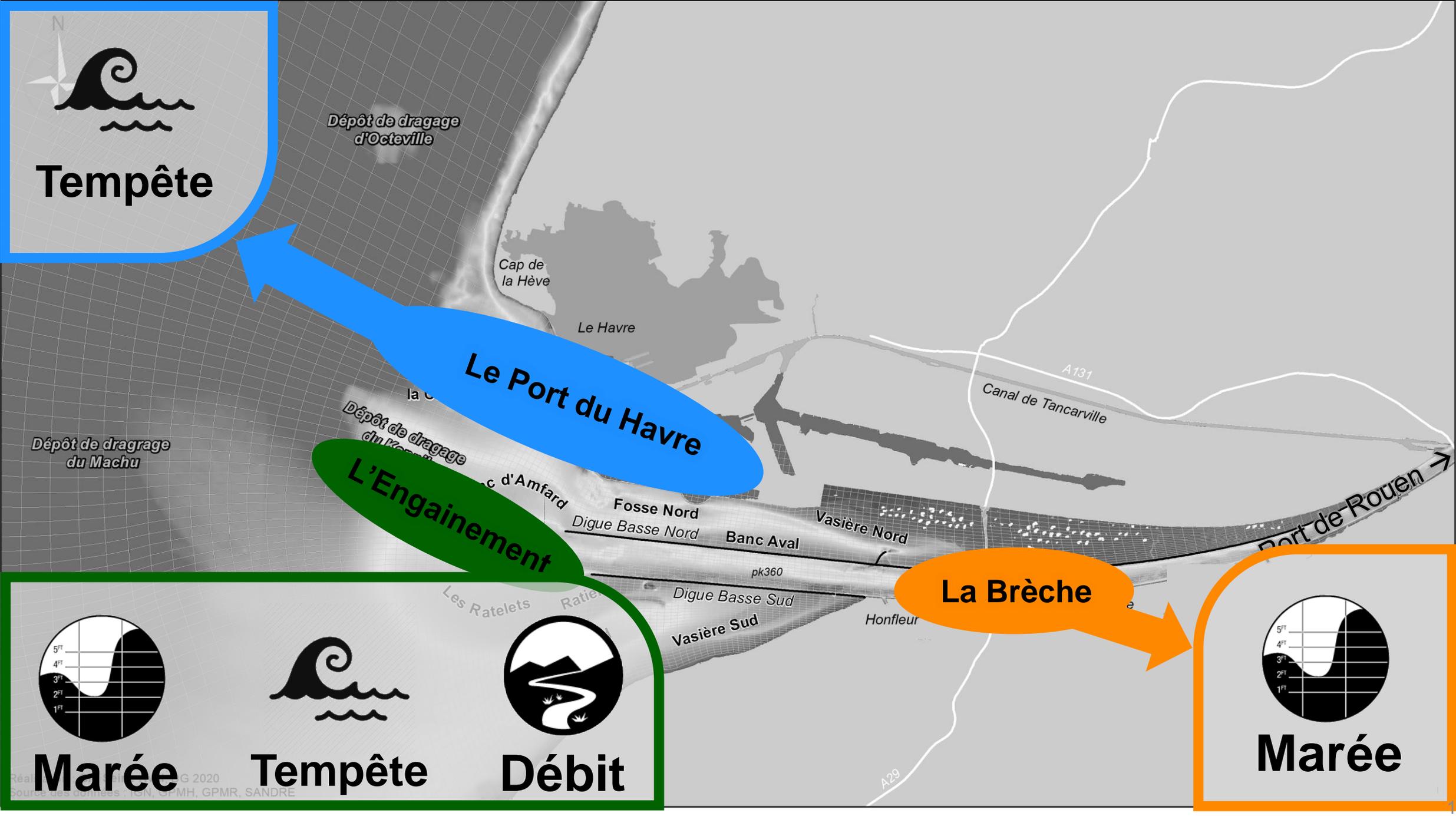
- Environnement macro-tidal fortement aménagé
- Dynamique sédimentaire intense
- Évolutions morphologiques fortes (~1m en 9 ans)
- Dragages importants !
 - Variabilité et effets inconnus

→ Le modèle "CurviSeine" simule ce fonctionnement

Simulation des dragages



Dragages permanents → mais pas constants !



Tempête

Marée

Tempête

Débit

Marée

Prédiction "simple" des dragages

- Modèle paramétrique des dragages

$$\text{Dragage} = f(\text{marée}) + f(\text{débits}) + f(\text{vagues})$$

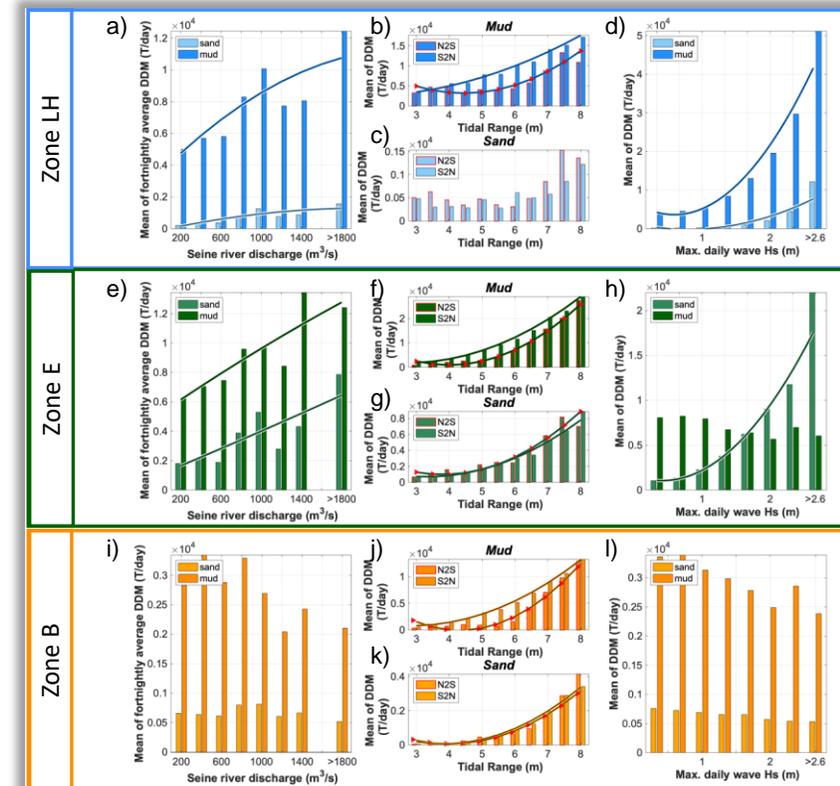
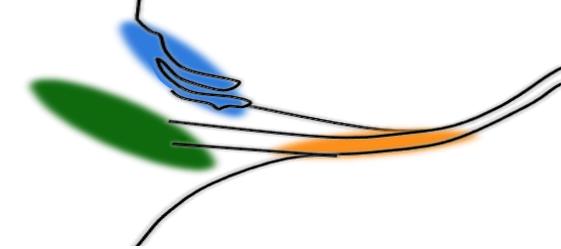
$$\text{Dragage du jour} = X_1 * TR^2 - X_2 * TR - Y_1 * Q^2 + Y_2 * Q + Z_1 * W^2 + Z_2 * W + K$$

- Exemple demain (20 février 2021) :

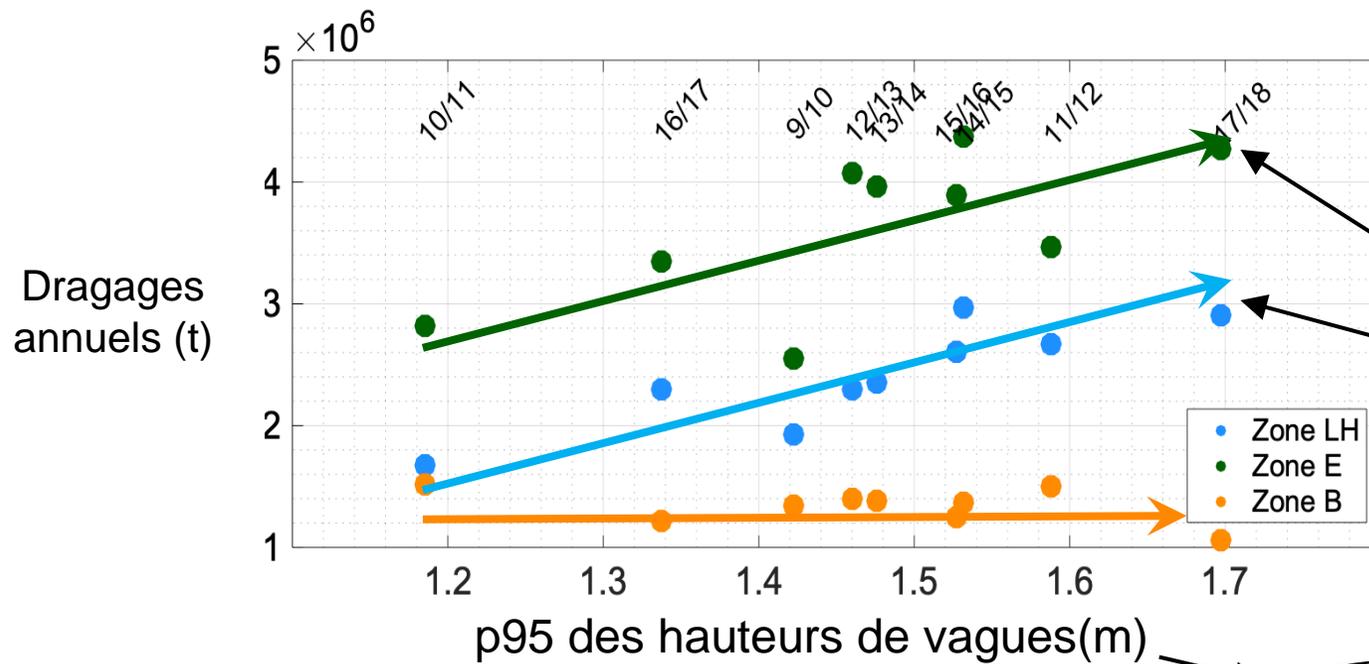
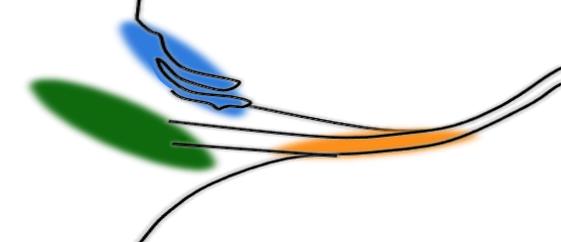
- Débit Seine à Poses : +/- 1300m³.s⁻¹
- Hauteur des vagues : 0,6m
- Amplitude de la marée : 4,1m



Apports sédimentaires à l'engainement
demain : 10 000t (65% de vases)



Variabilité interannuelle des dragages



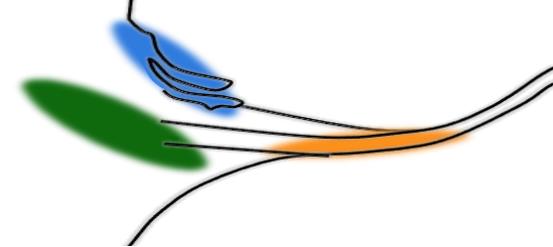
Indicateur de l'intensité des tempêtes



Crue de la Seine à Rouen et Tempête Eleanor à l'entrée du port du Havre
Janv. - Fév. 2018

- La **variabilité interannuelle** des forçages génère une variabilité des besoins en dragages proche de **50%**

Les dragages : Où , Quand et Pourquoi ?



- 90% des dragages sur 3 zones :
 - la **Brèche**, **l'Engainement** et les **accès et bassins du GPMH**
- Les besoins en dragages varient en fonction des débits et des tempêtes
 - Besoins maximaux en hiver
 - Variabilité interannuelle : 50%
- Les zones approfondies pour la navigation sont de véritables pièges à sédiments :
 - Les dépôts y sont maximaux lorsque les déplacements sédimentaires sont maximaux



Quels effets des dragages sur la dynamique sédimentaire de l'estuaire ?



Comment identifier les effets des dragages ? des clapages ?

- Modélisation de scénarios sans dragage, sans clapage

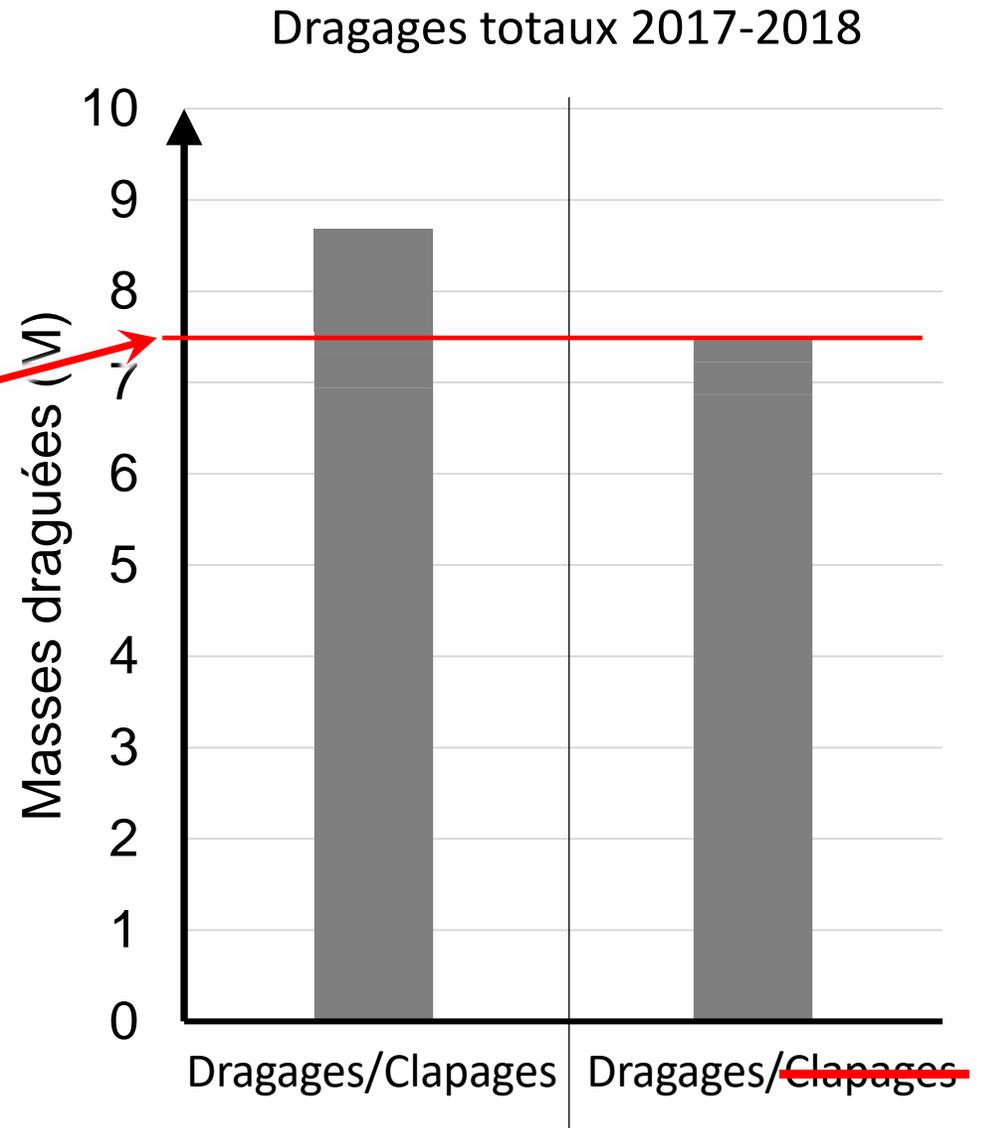
Réf. →

	Dragages/Clapages	Dragages/Clapages
Dragages/Clapages	Clapages	Dragages+Clapages
Dragages/Clapages		Dragages

→ *Comparaisons !*

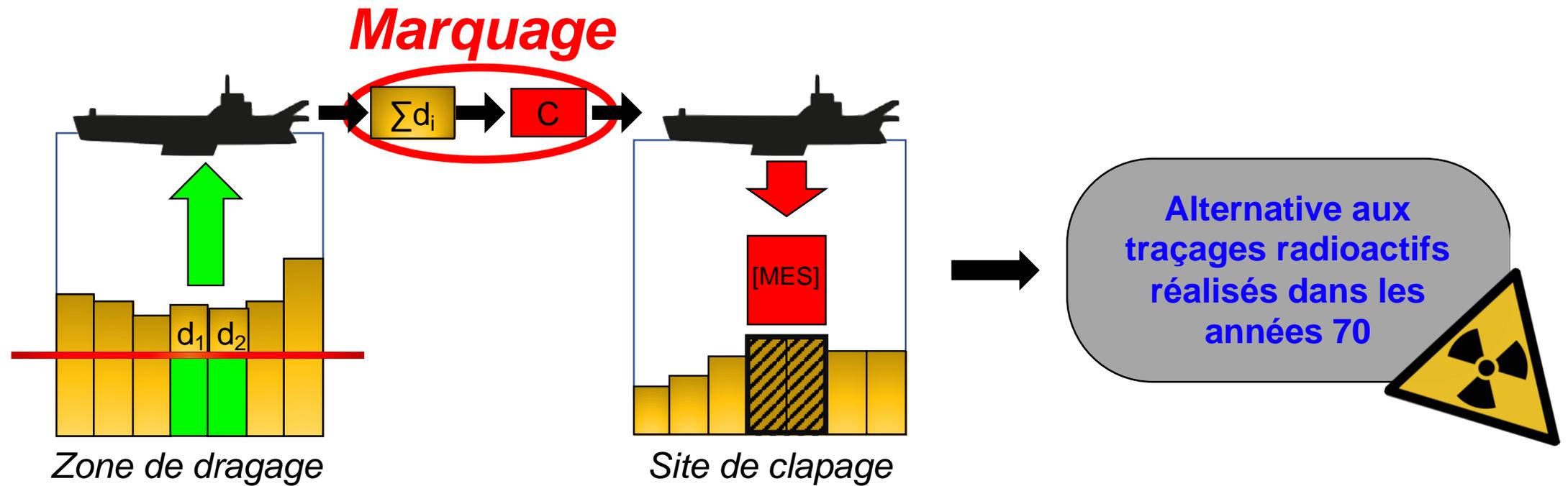
Effets sur les quantités draguées ?

- Sans clapages : ↘ dragages ~ 15%



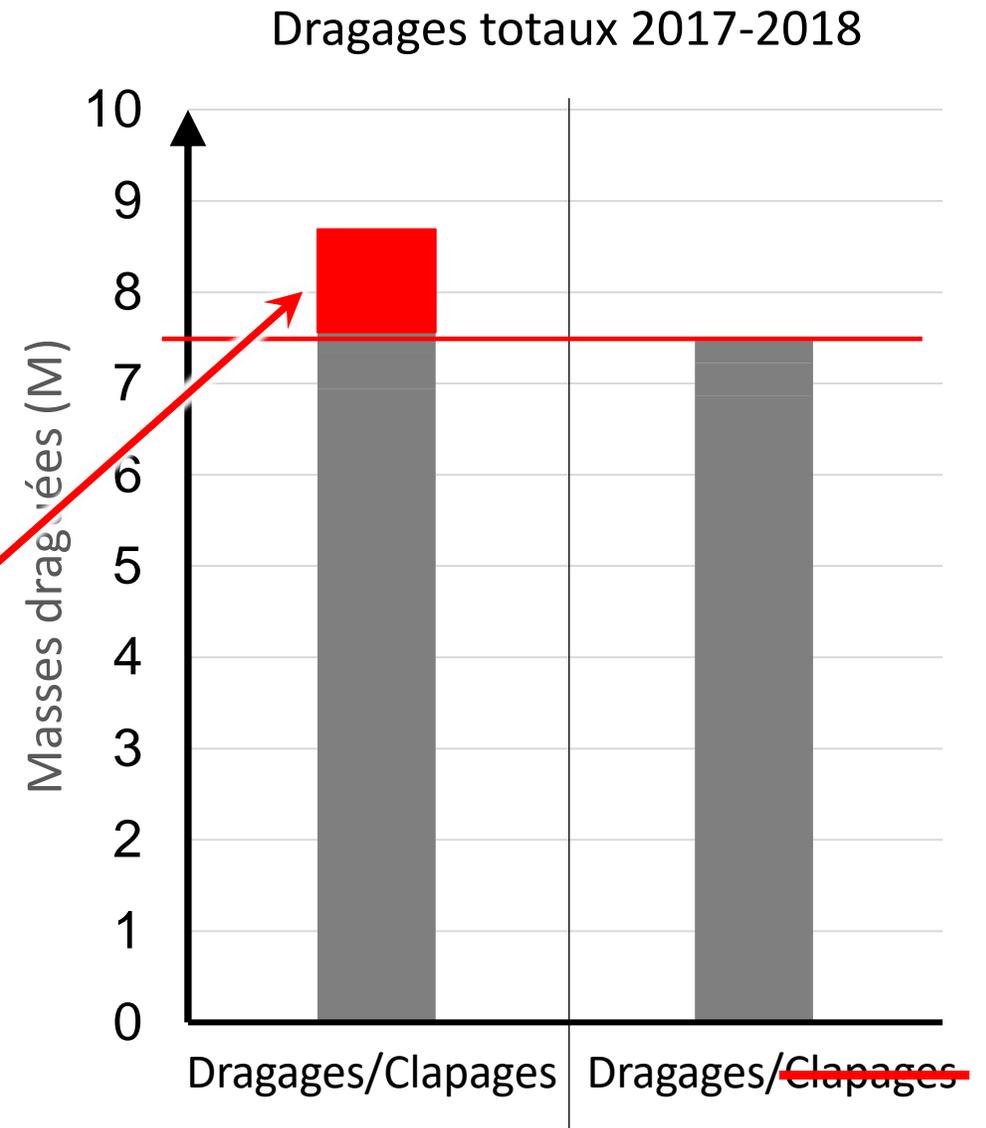
Comment identifier les effets des dragages ? des clapages ?

- Marquage sédimentaire :
 - Suivi de la dynamique des sédiments immergés en mer



Effets sur les quantités draguées ?

- Sans clapages : ↘ dragages ~ 15%
- Après 9 ans les sédiments dragués contiennent ~ 15% sédiments dragués

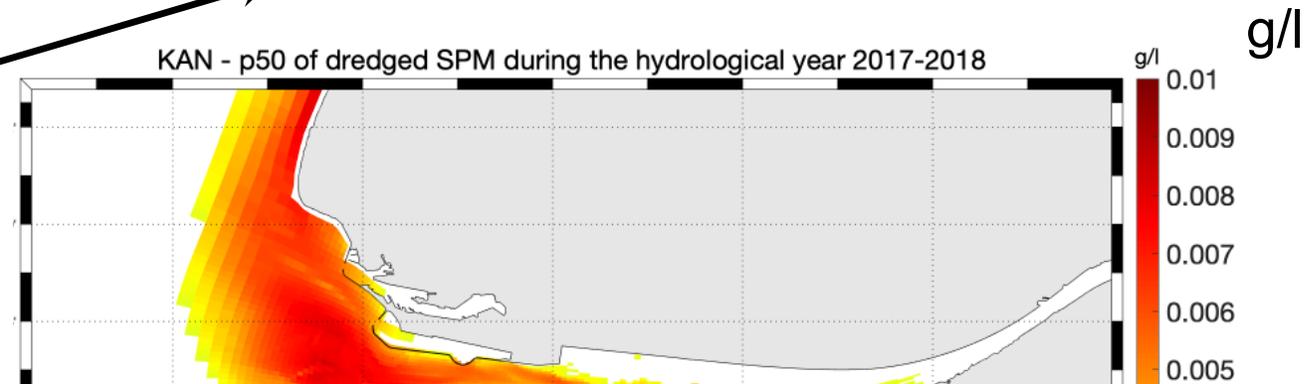


Effets des immersions de sédiments dragués sur la turbidité

Turbidité induite par les immersions médiane MES issues des clapages – année 2017/2018

Médiane [MES_clapée]
~ 5 mg/l

↗ des MES
localisées à
proximité du
Kannik

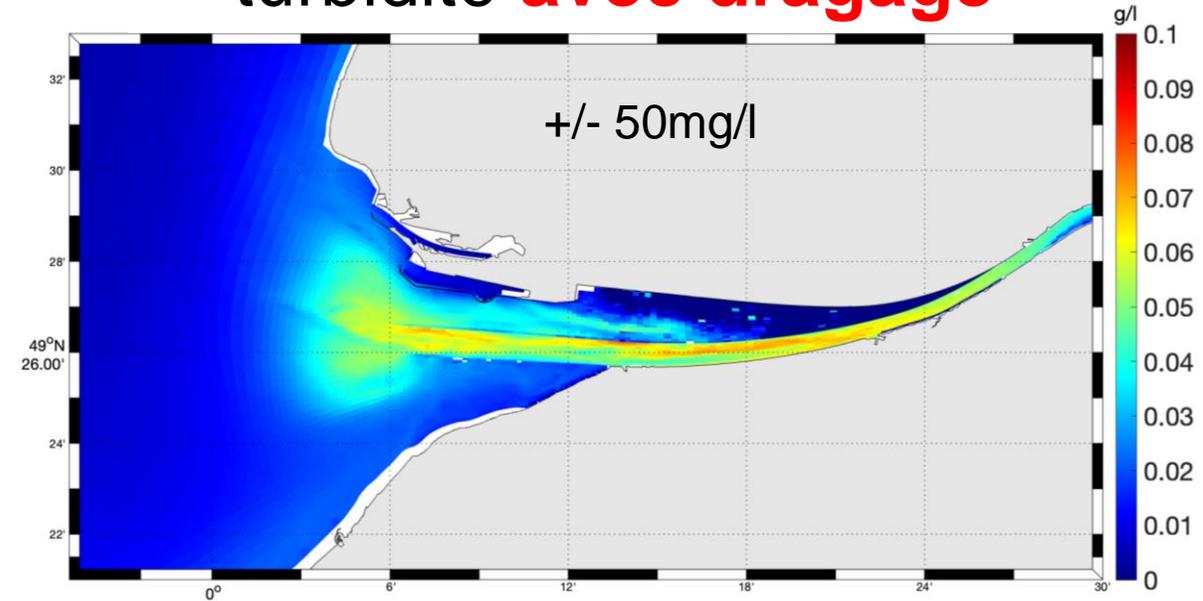


- Contribution des **sédiments clapés** à la turbidité non négligeable

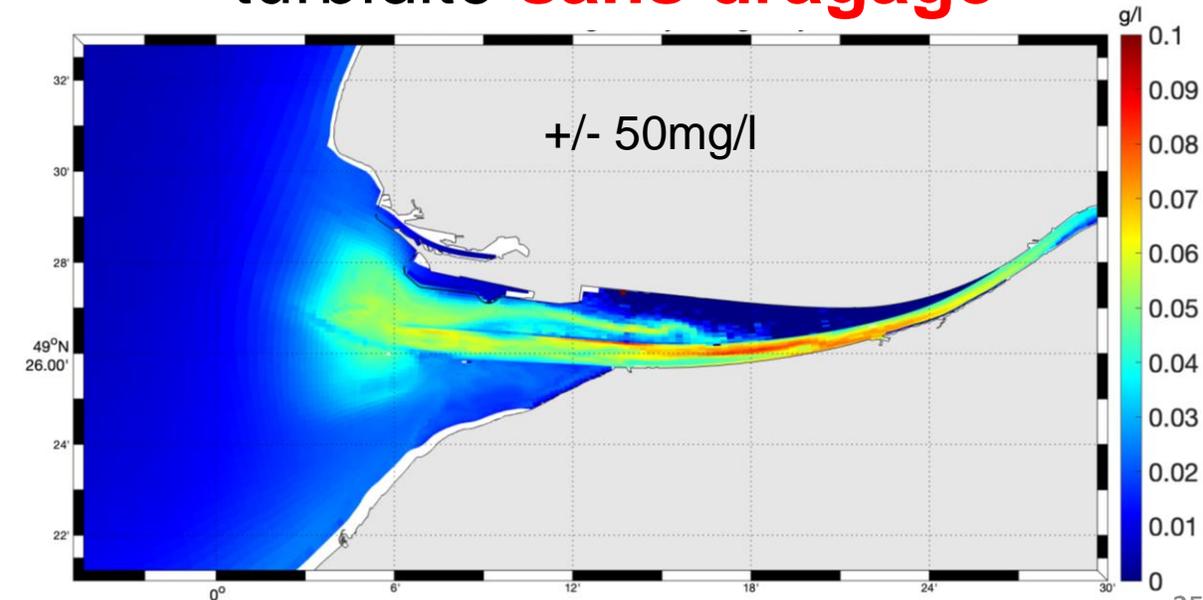
Effets sur la turbidité

- Turbidités similaires avec et sans dragage !
 - +/- 50mg/l
- Remises en suspension non impactées par les dragages
 - 10 000 x plus important

turbidité **avec dragage**



turbidité **sans dragage**

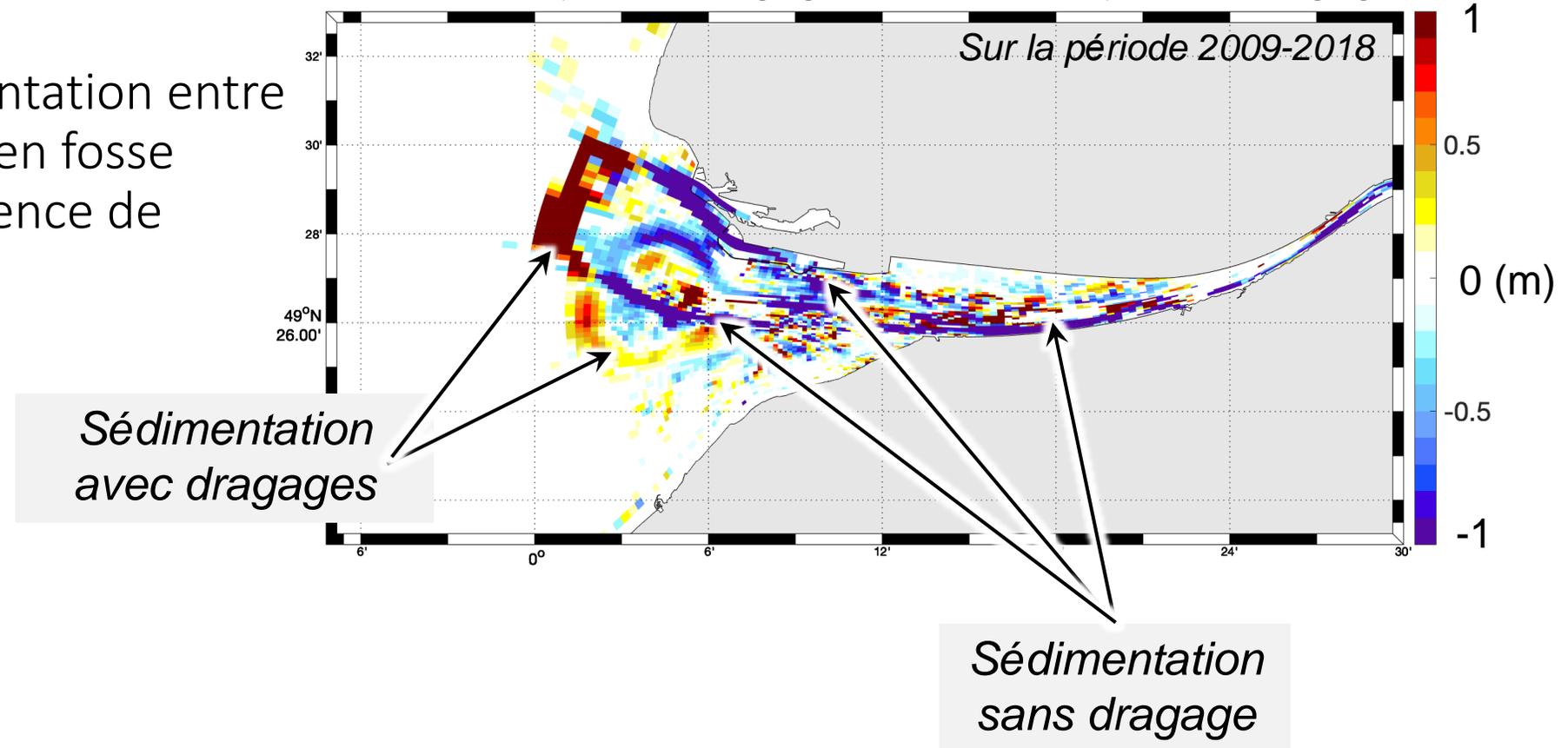


Effets sur les fonds

- Effets prononcés : $\sim 1\text{m}$
→ à l'échelle de toute l'embouchure

- Forte sédimentation entre les digues et en fosse nord en l'absence de dragage

Evol° bathy **avec** dragage – Evol° bathy **sans** dragage

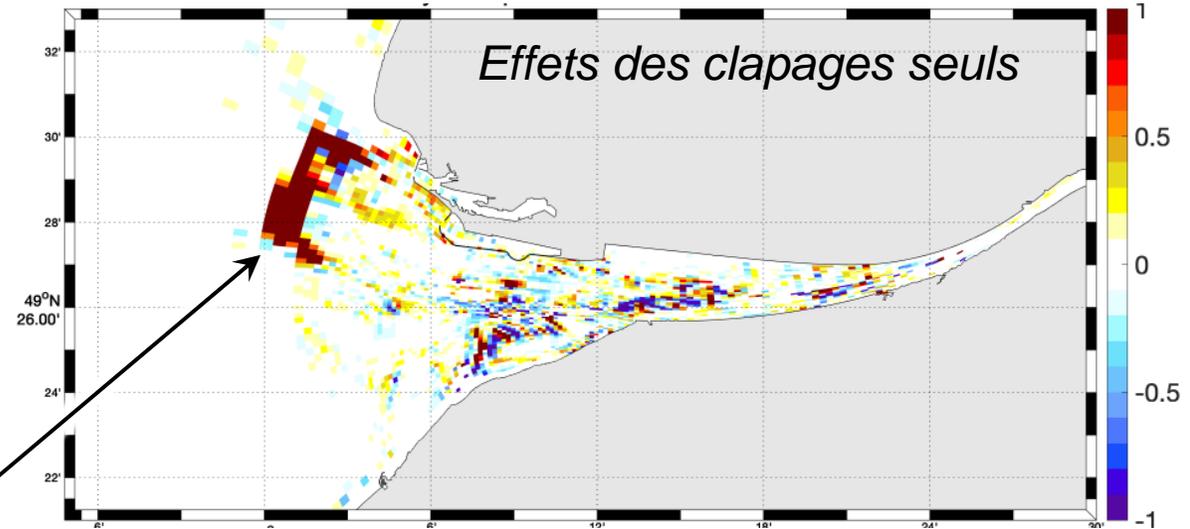


Effets sur les fonds

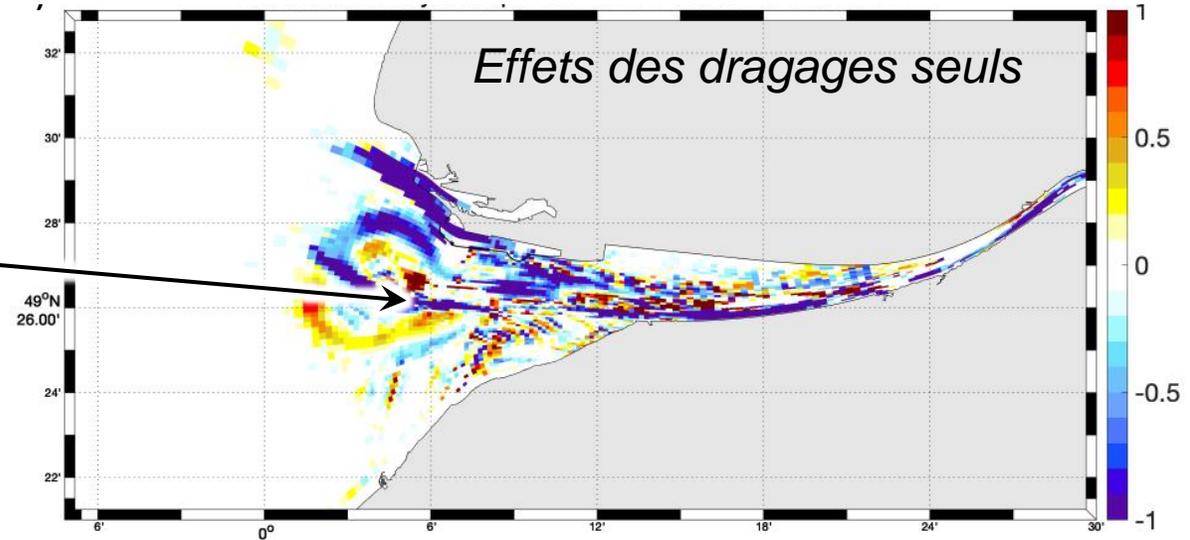
Est-ce dû aux immersions ? **NON !**

- Les clapages affectent principalement la proximité du site d'immersions
- Les dragages ont des effets sur les évolutions morphologiques de toute l'embouchure

Evol° bathy **avec** dragage – Evol° bathy **sans** clapage



Evol° bathy **sans** clapage – Evol° bathy **sans** dragage



Effets sur les fonds

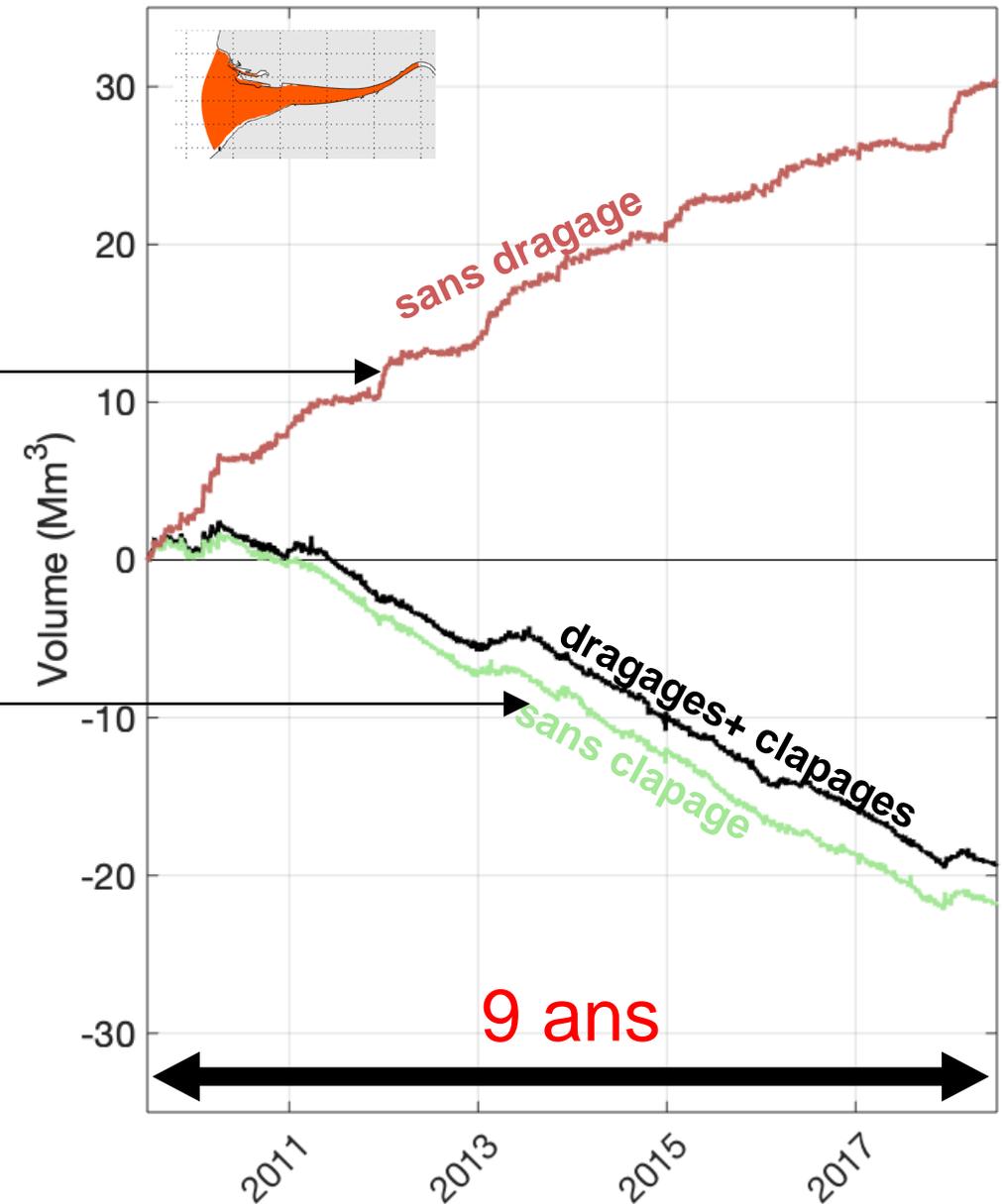
- Comblement sans dragages

- 30 Mm³ / 9ans
- tendance naturelle !

- Estuaire en érosion avec dragages

- 20 Mm³ / 9ans
- renforcée sans clapages...

Evolution du stock sédimentaire

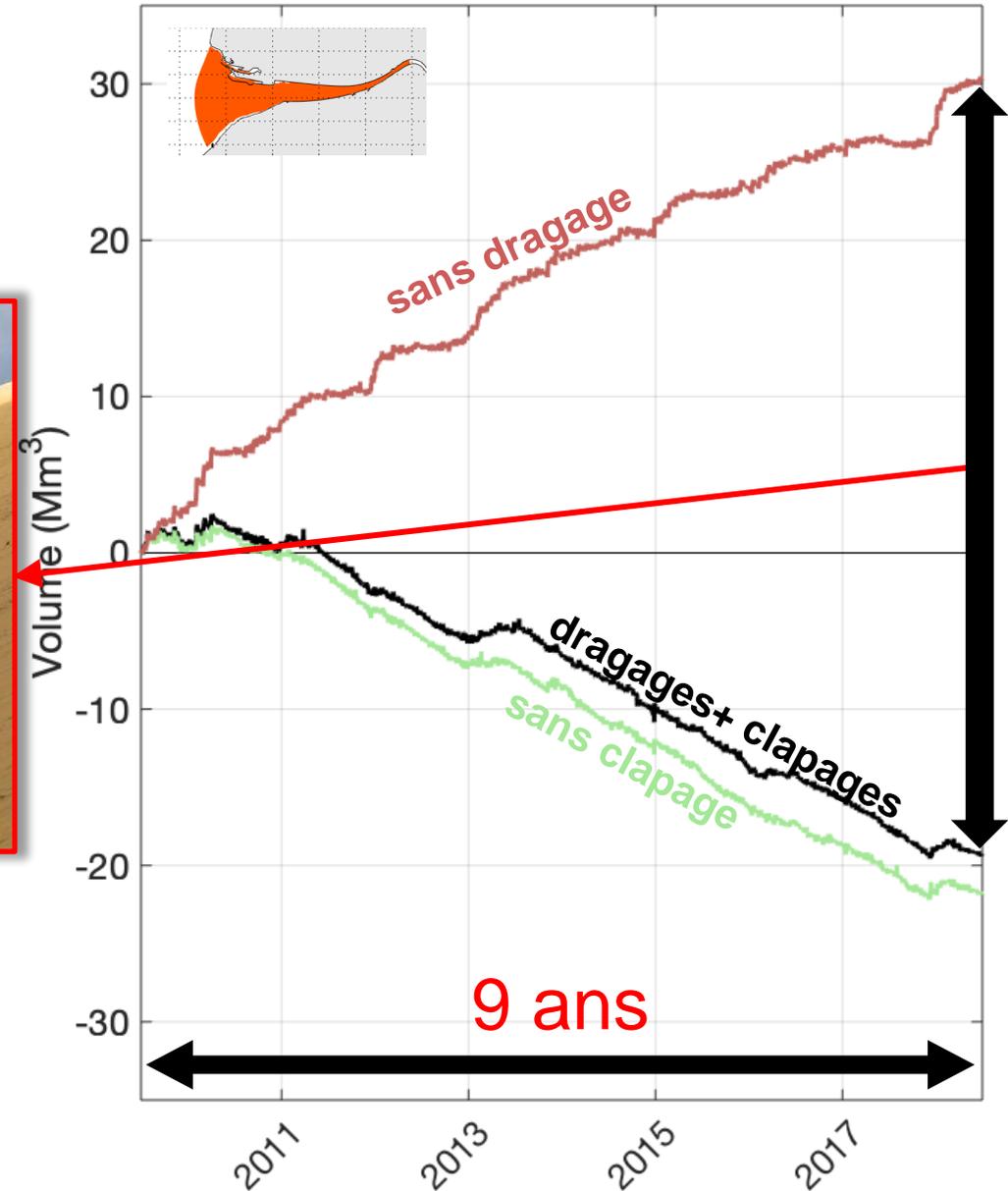


Effets sur les fonds

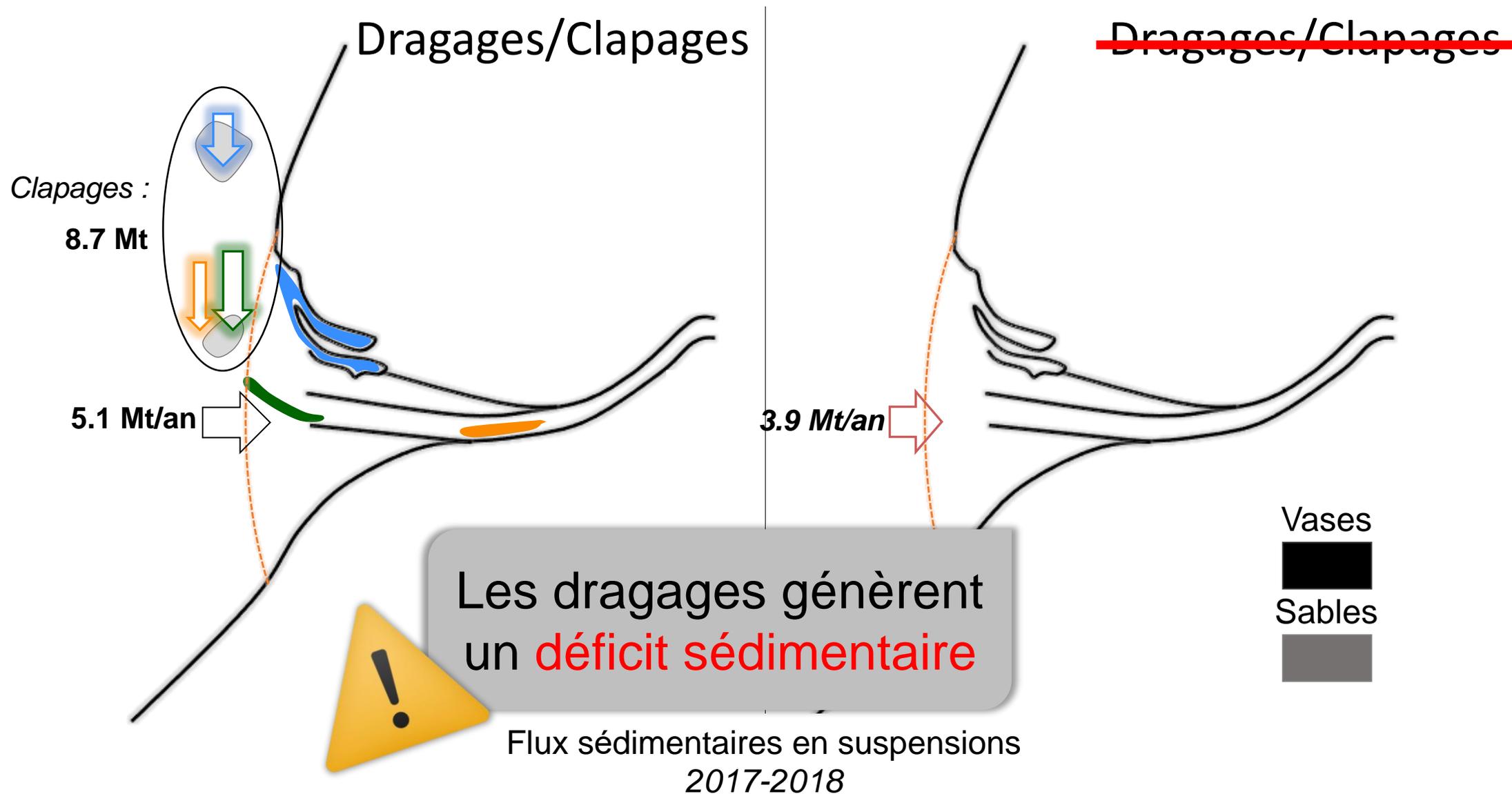


Dune du Pilat : 55 M.m³

Evolution du stock sédimentaire



Pourquoi ces effets?

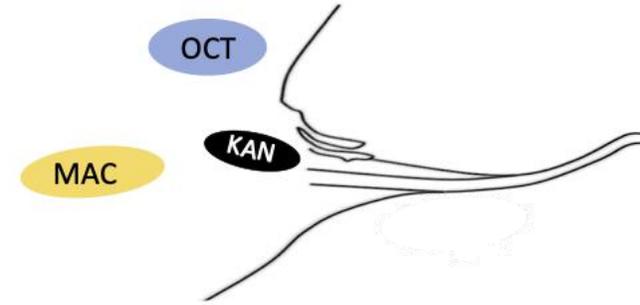


Quels effets des dragages sur la dynamique sédimentaire de l'estuaire ?

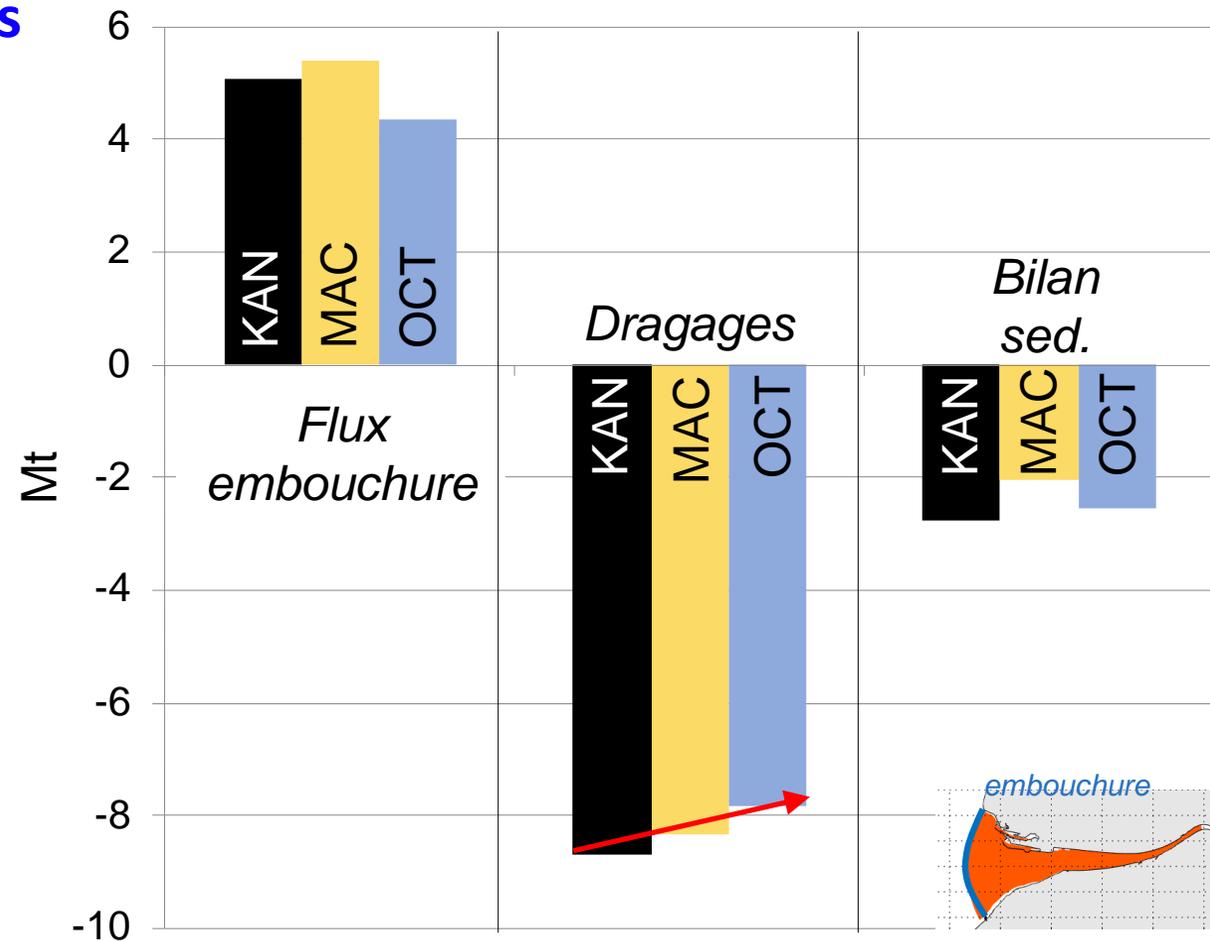
- **Turbidité** : effets minimes
 - les resuspensions naturelles sont largement supérieures aux resuspensions induites par les dragages (x 10 000 !)
- **Morphologie** : effets considérables !
 - Immersion : pas d'effets
 - Le dragage empêche le comblement de l'estuaire et contribue à son érosion (50 M.m³ sur 10 ans)
- **Dragages** : sensibles aux immersions
 - Après 20 ans de clapages GPMR :
 - Kannik: 25% des sédiments dragués ont déjà été dragués
 - Machu: 18% | Octeville : 6%



Effets d'un changement de site d'immersion



- **Kannik → Machu : pas d'effet sur 10 ans**
 - idem Octeville
- **Dragages : Kannik > Machu > Octeville**
- **Flux à l'embouchure** différents selon les scénarios
- **Bilans sédimentaires différents**
 - *évolution à long terme (>10ans)*
 - adaptation de l'estuaire après 50 ans d'immersion au Kannik*



Flux à l'embouchure, quantités draguées et bilans sédimentaires dans l'estuaire interne, au cours de l'année hydro. 2017-2018



Merci pour votre attention