

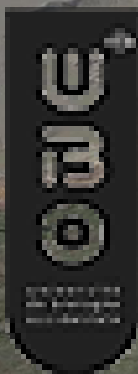
Projet C3E2 Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires

Démarrage: avril 2011 durée 3 ans

prolongement 6 mois → octobre 2014



Ifremer



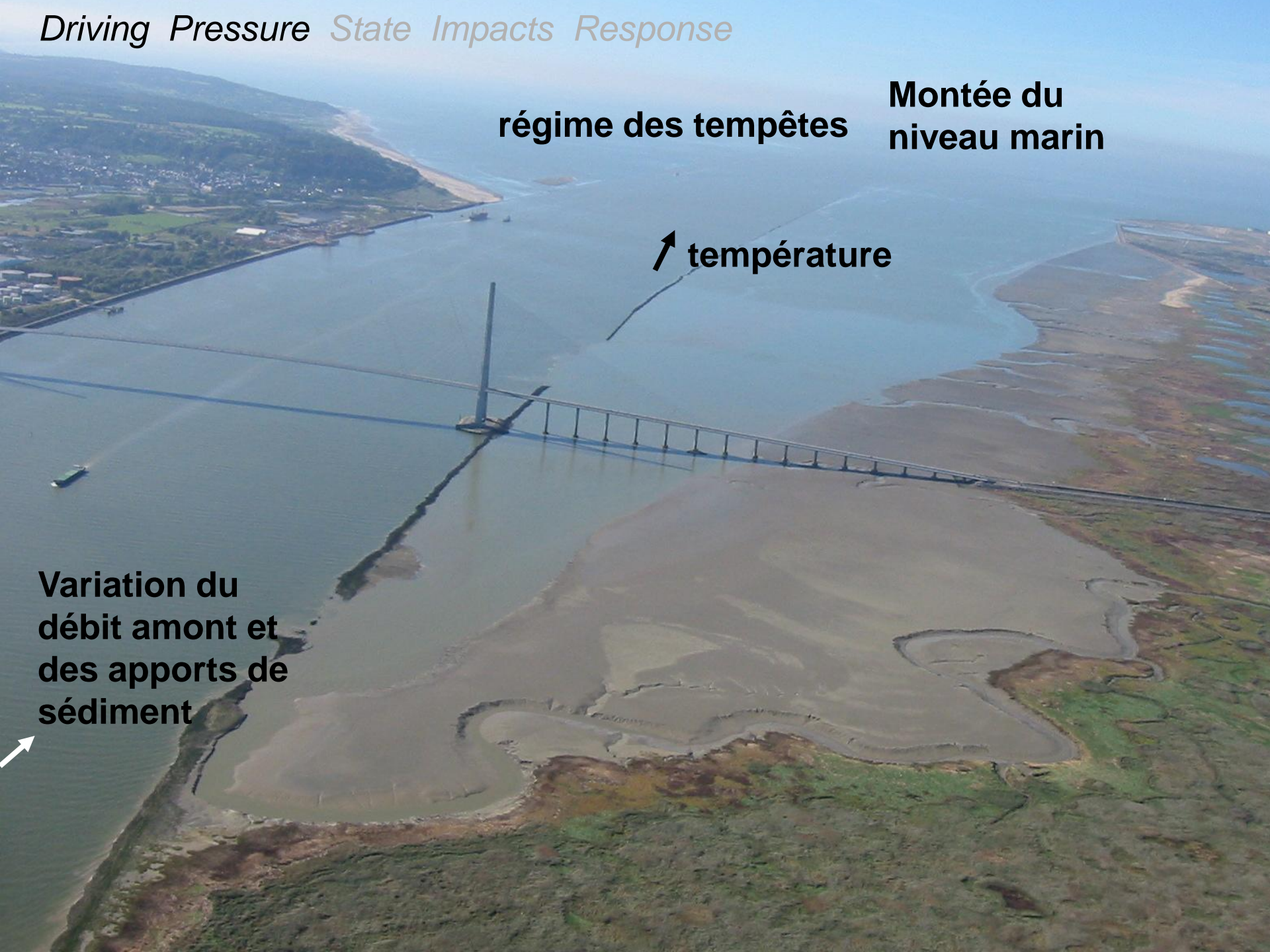
Driving Pressure State Impacts Response

régime des tempêtes

**Montée du
niveau marin**

↑ température

**Variation du
débit amont et
des apports de
sédiment**



Driving Pressure State Impacts Response

Pompage dans les nappes

urbanisation

régime des tempêtes

Montée du niveau marin

pêcheries

Aménagement portuaires

endiguements

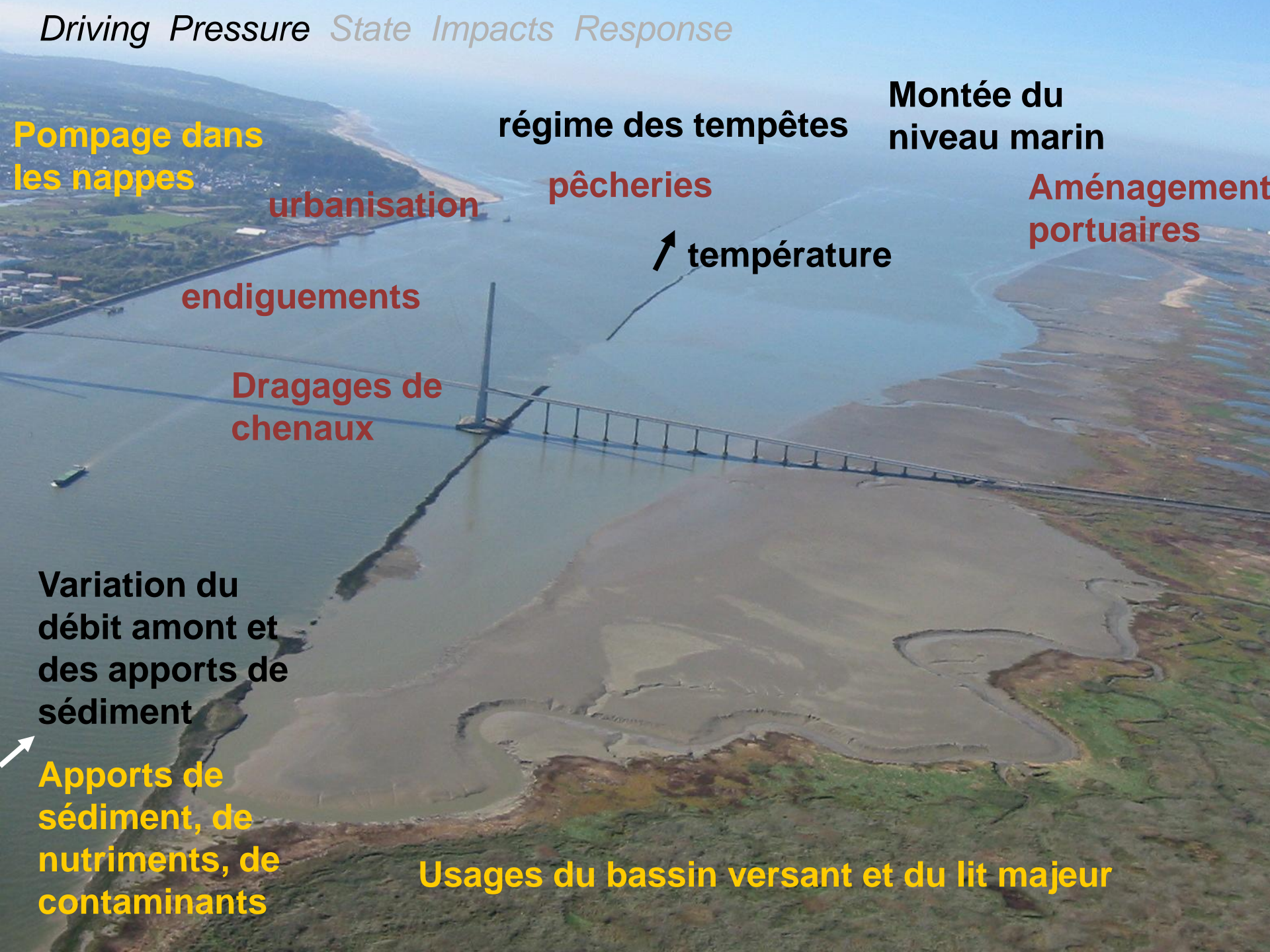
↑ température

Dragages de chenaux

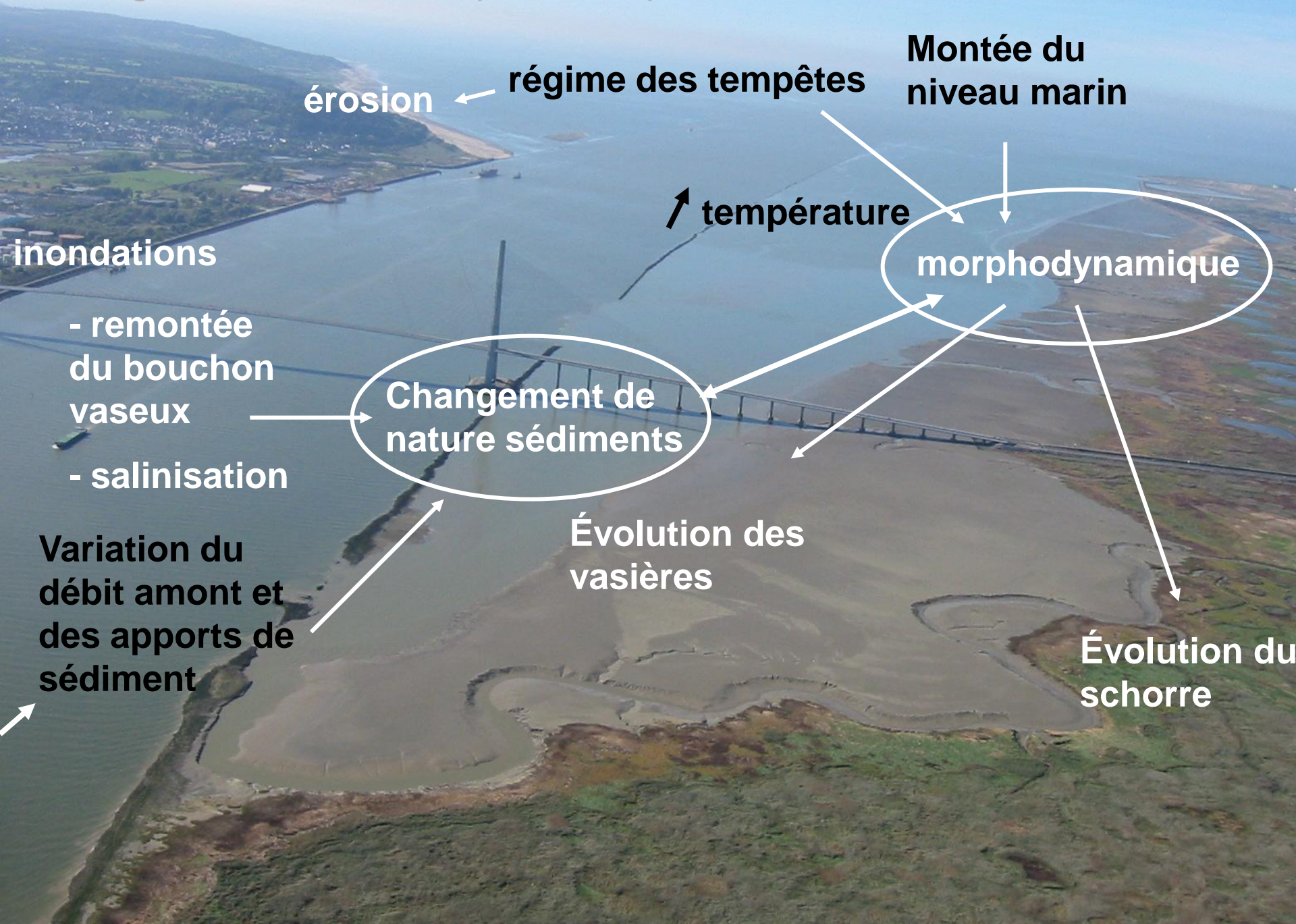
Variation du débit amont et des apports de sédiment

Apports de sédiment, de nutriments, de contaminants

Usages du bassin versant et du lit majeur



Driving Pressure State Impacts Response



érosion ← régime des tempêtes

Montée du niveau marin

↑ température

morphodynamique

inondations

- remontée du bouchon vaseux

Changement de nature sédiments

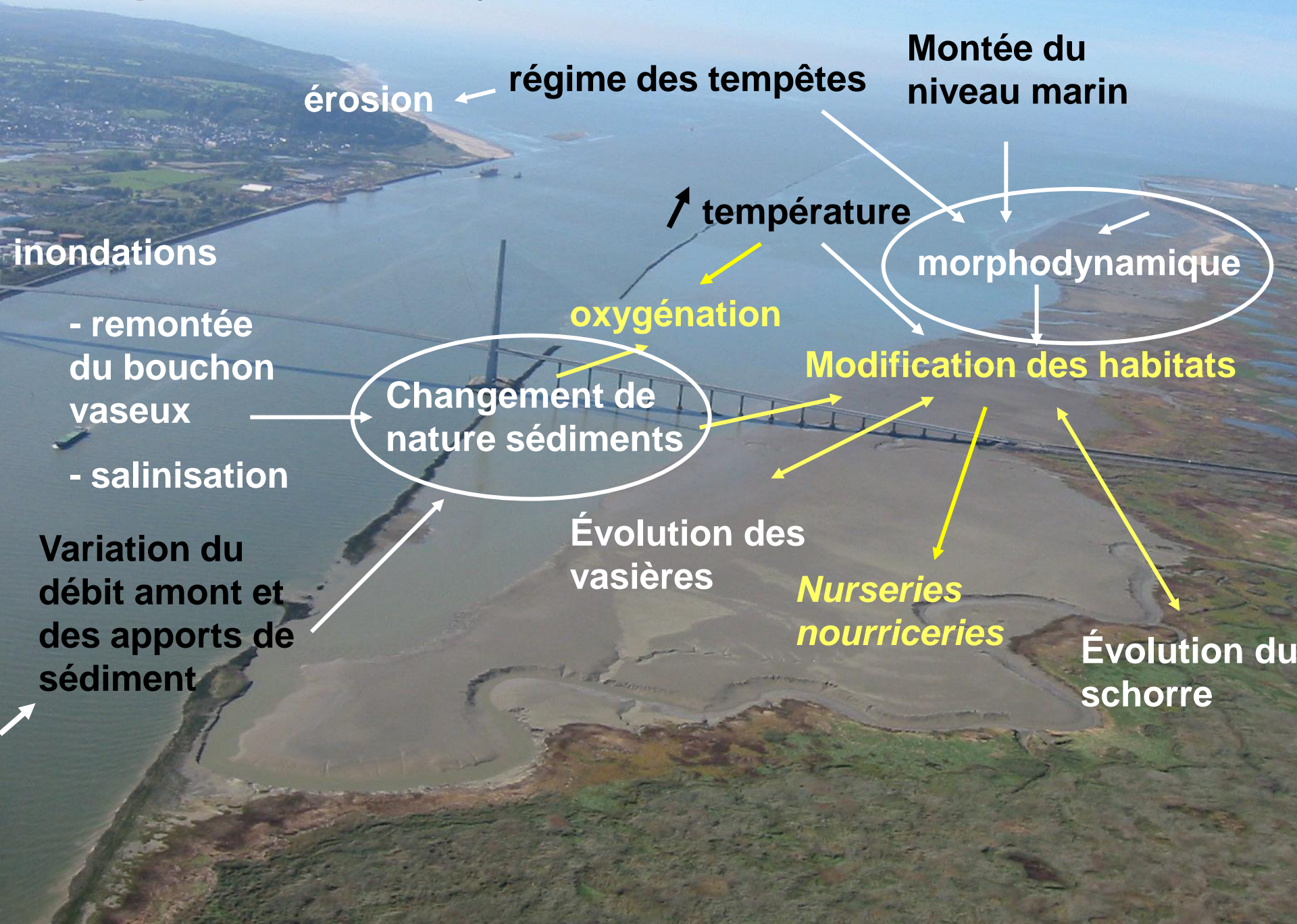
- salinisation

Évolution des vasières

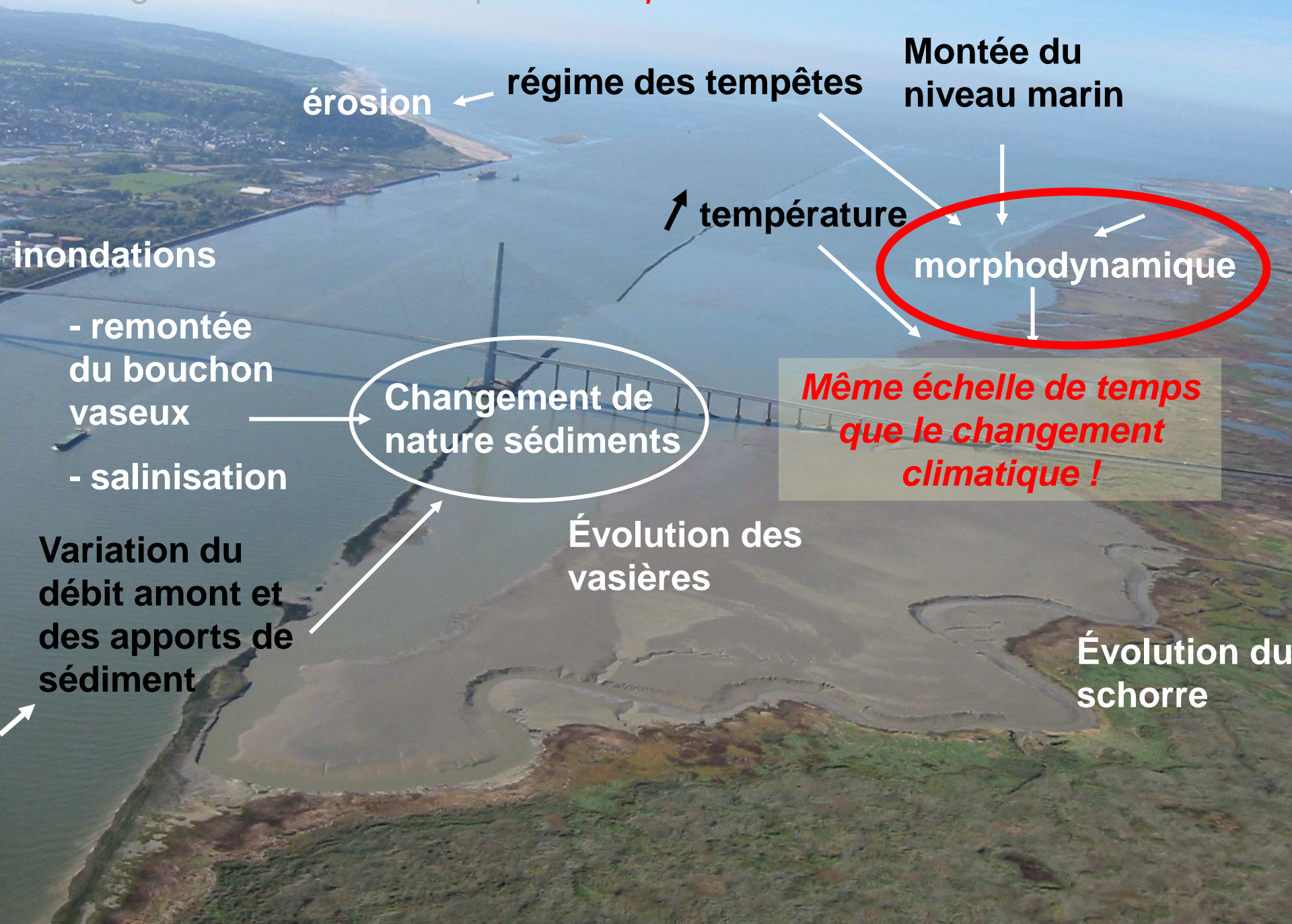
Variation du débit amont et des apports de sédiment

Évolution du schorre

Driving Pressure State Impacts Response



Driving Pressure State Impacts *Response*



Effets à attendre du changement climatique

élévation de température (effets sur biocénoses, saturation en oxygène)

changement des apports amont

- réduction débits étiage, crue ? *e.g. RexHySS, HYDROQUAL*
- quid des apports solides ? des nutriments ?

variation relative du niveau de la mer

- submersion des rives
 - pénétration accrue de la marée
 - modifications hydrodynamiques
 - « translation » de la remontée des eaux salées
 - évolution du bouchon vaseux
 - modifications des érosions / dépôts
- ⇒ adaptation morphologique ?

Δ régimes de vagues et surcotes météorologiques ? Peu ...

Charles et al., 2012

Des questions spécifiques

Translation de l'estuaire lui-même :
compensation la progradation naturelle ?
selon apports... \uparrow mer : *une chance* ?

Simple translation de la remontée haline,
du bouchon vaseux ?

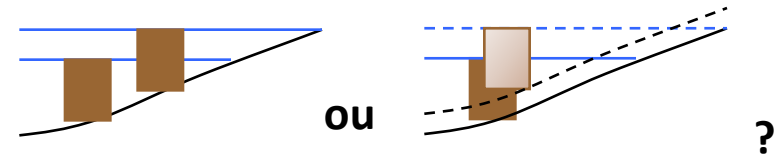
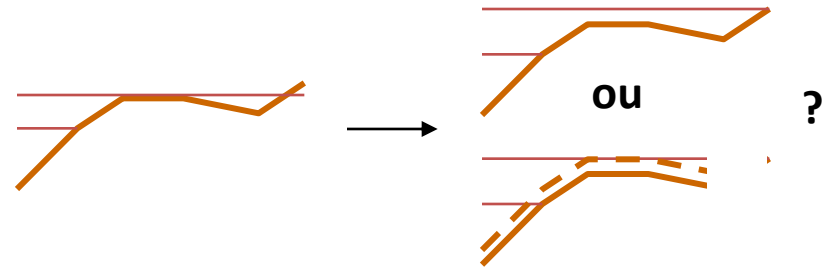
Changement nature des sédiments ?

Nécessité de prendre en compte
couplages morphodynamiques

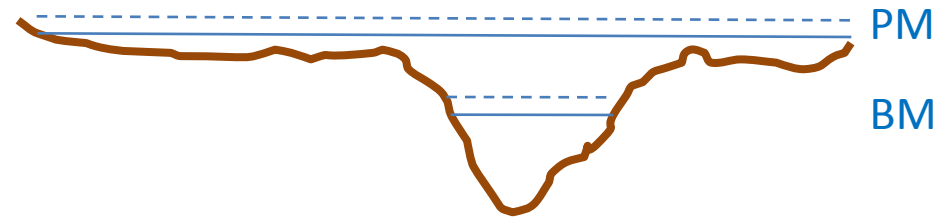
e.g. van Maanen et al, 2013

- lit mineur : souvent entretenu

- lit majeur : plaine alluviale sensible
usages divers, richesse écologique
couplage bio-morphosédimentaire ?



impact important du régime fluvial



*sédimentation sur plaine alluviale,
à quel taux ? Risque inondation ?*

*e.g. van Goor et al 2003, Dissanayake et al. 2012 van der Wegen 2013
Van Maanen et al. 2013 Temmerman et al. 2012 Ondiviela et al.2013*

Deux approches principales :

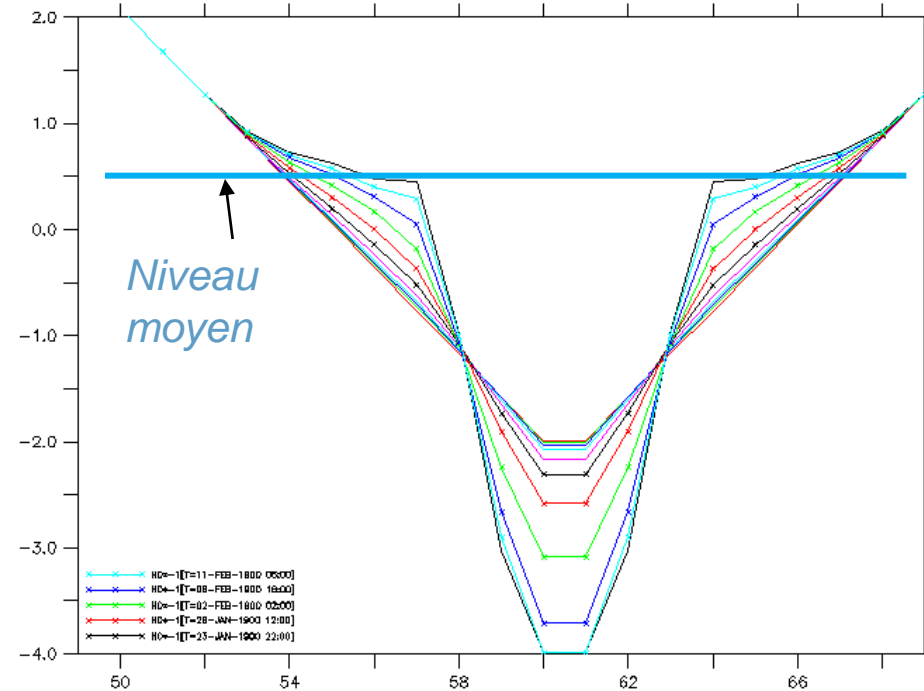
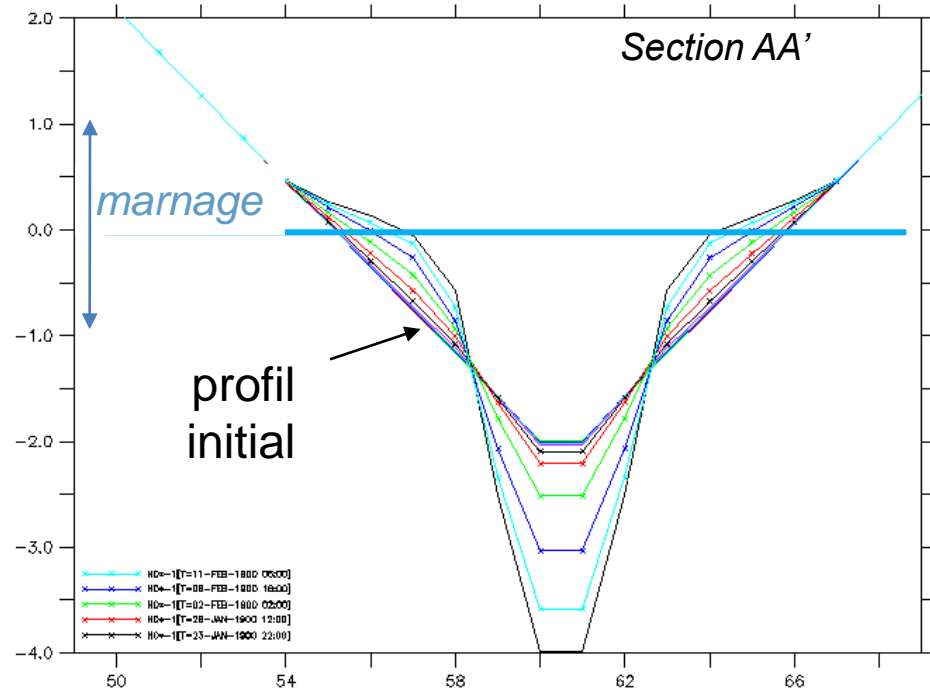
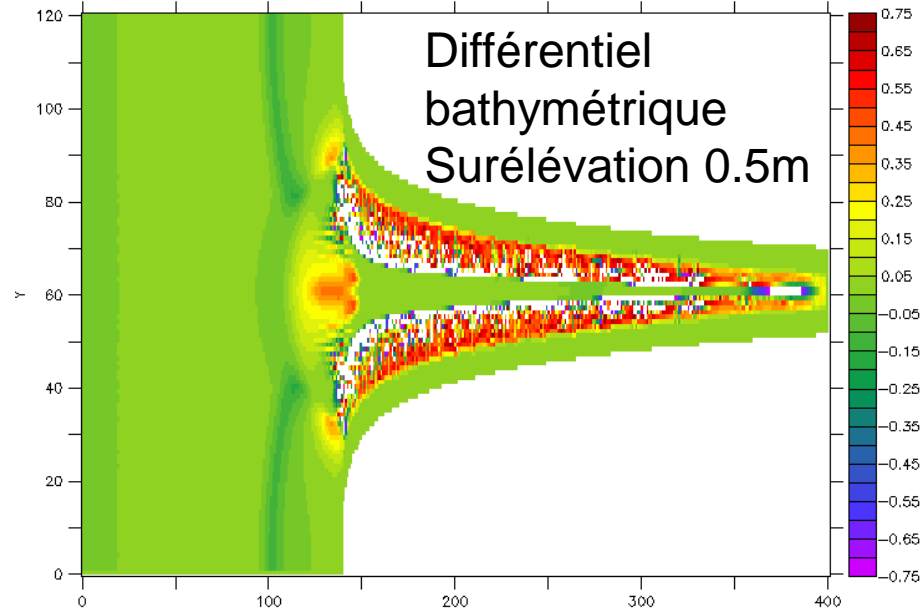
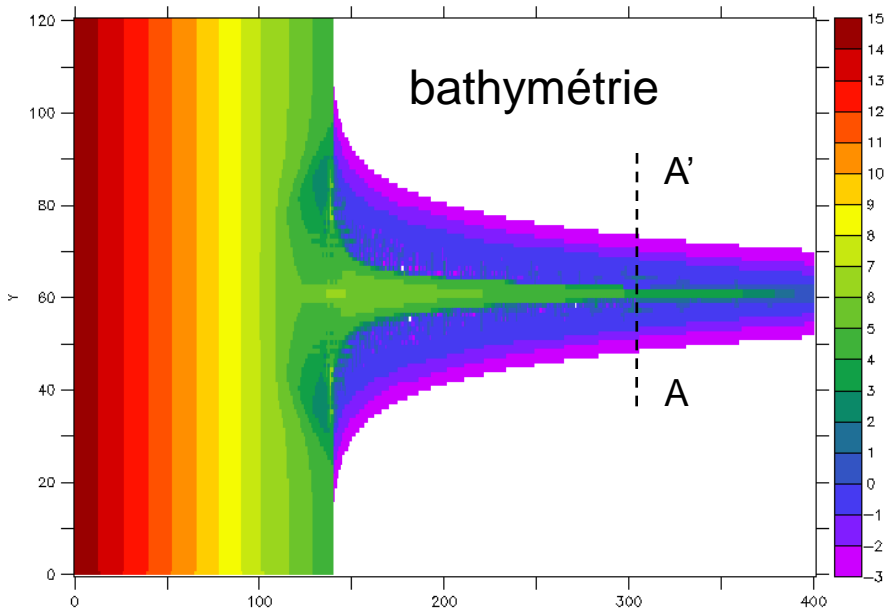
1- estuaire schématique : comportement morphodynamique avec modélisation basée sur les processus

2- un cas d'étude : l'estuaire de la Loire

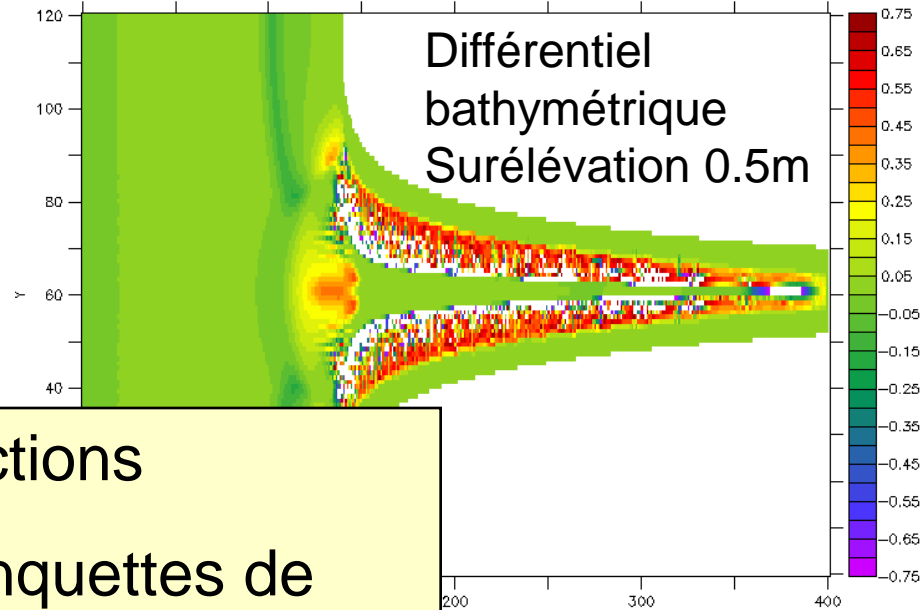
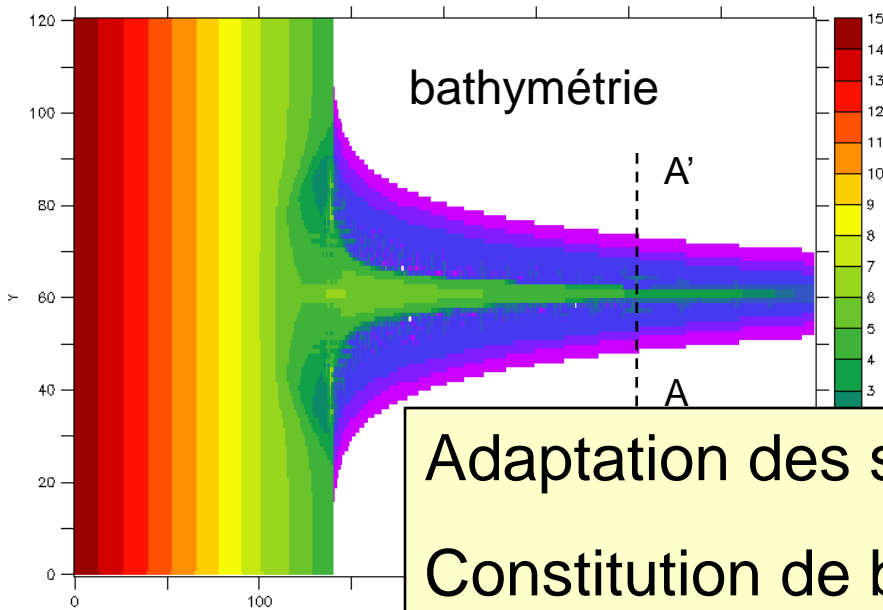
- mesures dans la plaine alluviale
- étude de la végétation
- utilisation d'un modèle mathématique

principales questions : processus d'inondation, taux d'échange latéral de sédiment et piégeage

Évolution morphologique d'un estuaire schématisique



Évolution morphologique d'un estuaire schématisique

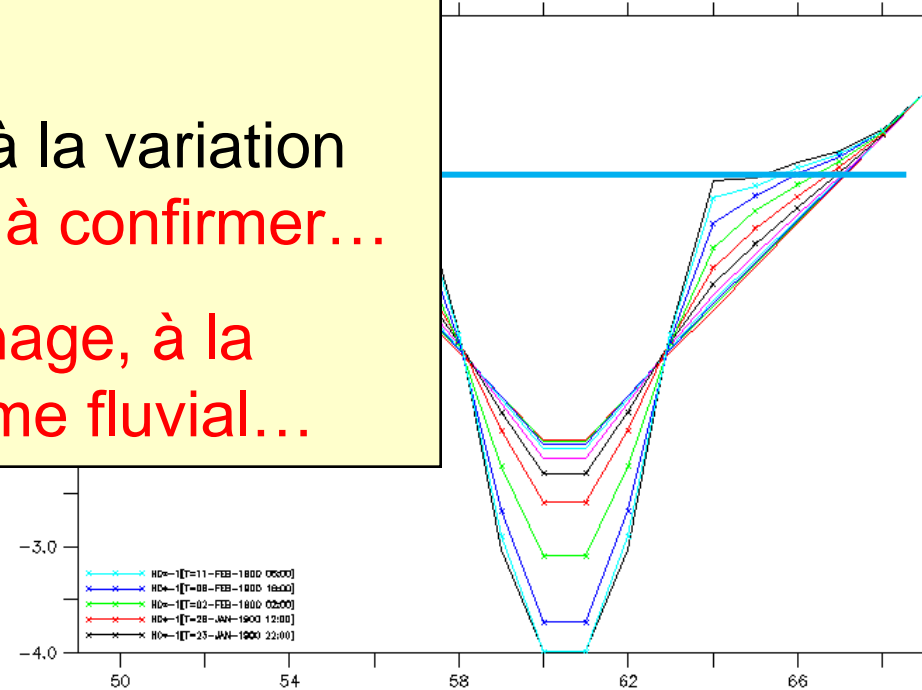
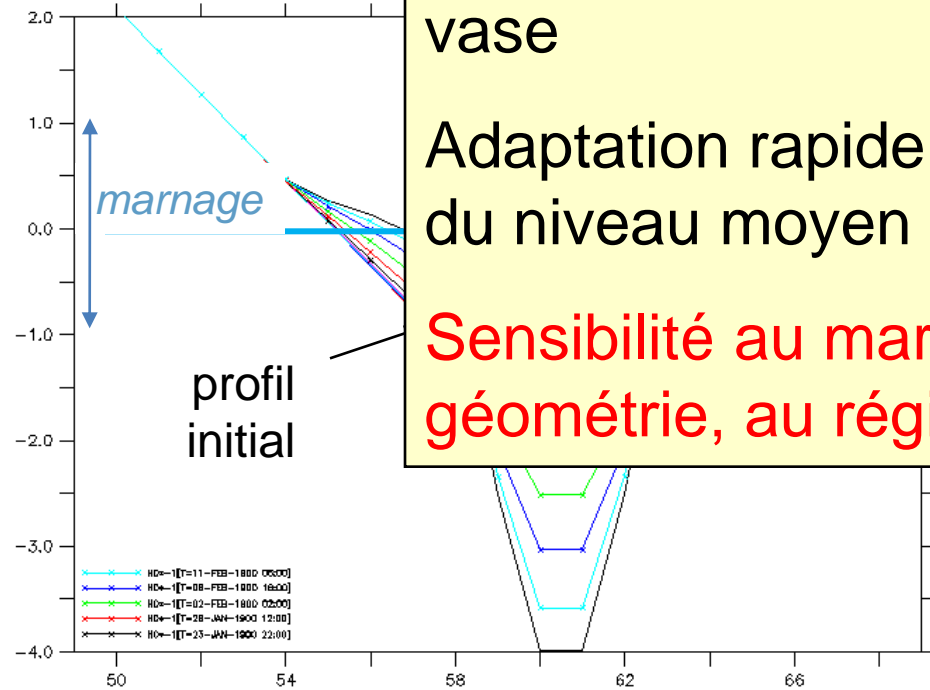


Adaptation des sections

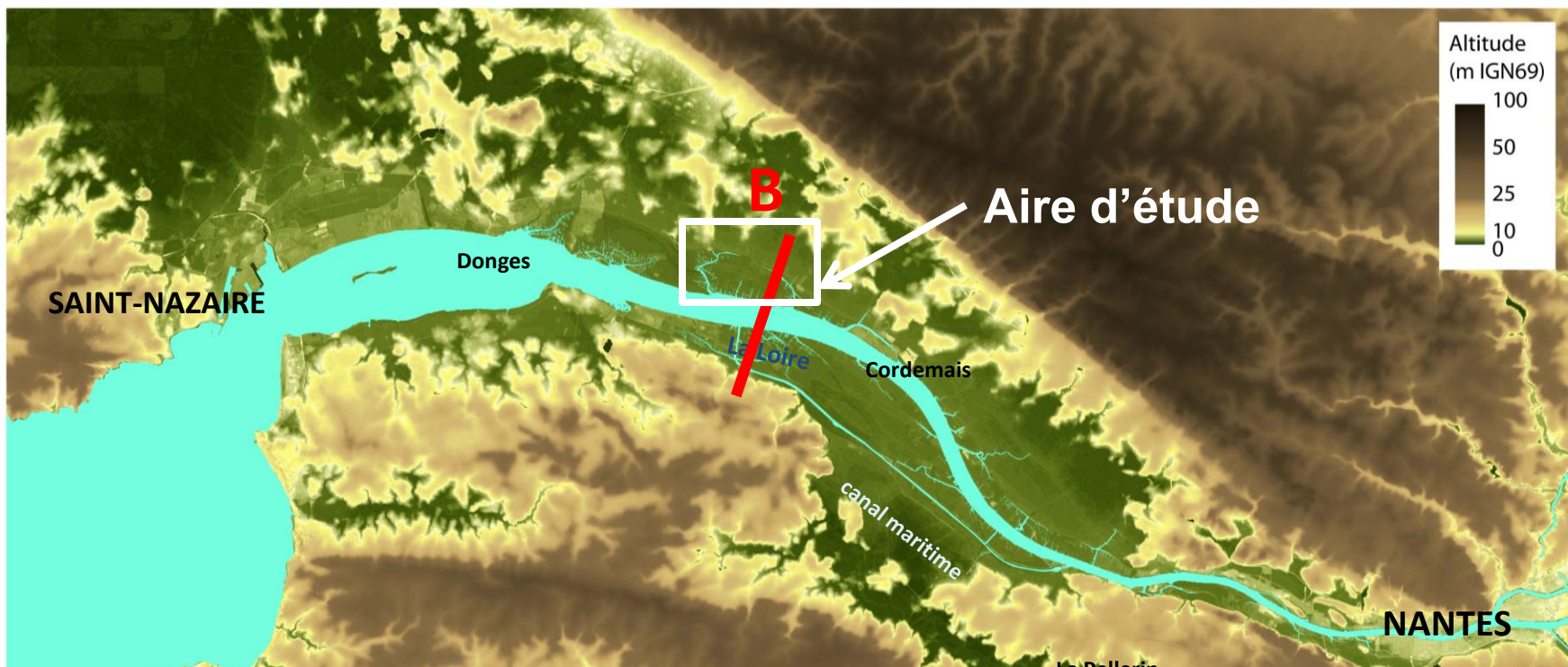
Constitution de banquettes de vase

Adaptation rapide à la variation du niveau moyen : **à confirmer...**

Sensibilité au marnage, à la géométrie, au régime fluvial...

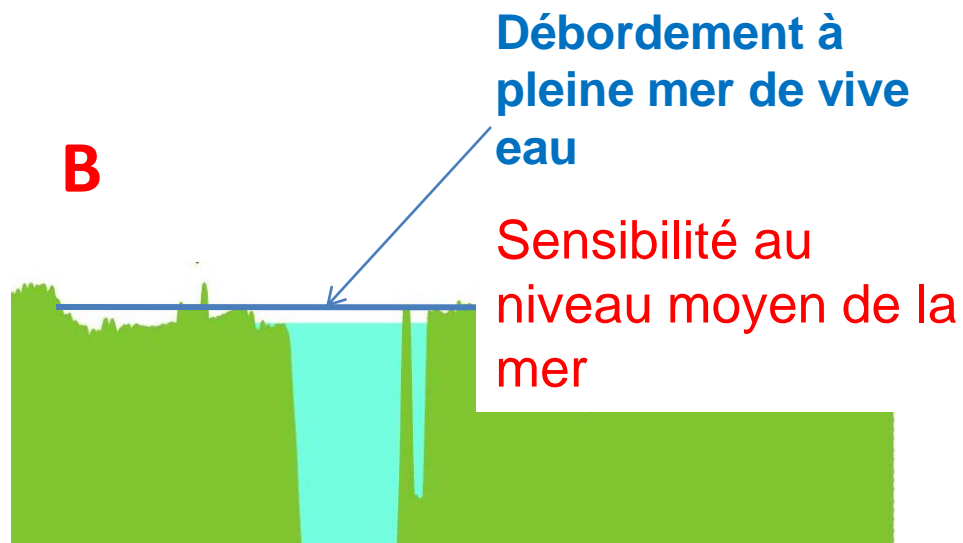


Morphologie de la plaine alluviale : *exemple de la Loire*



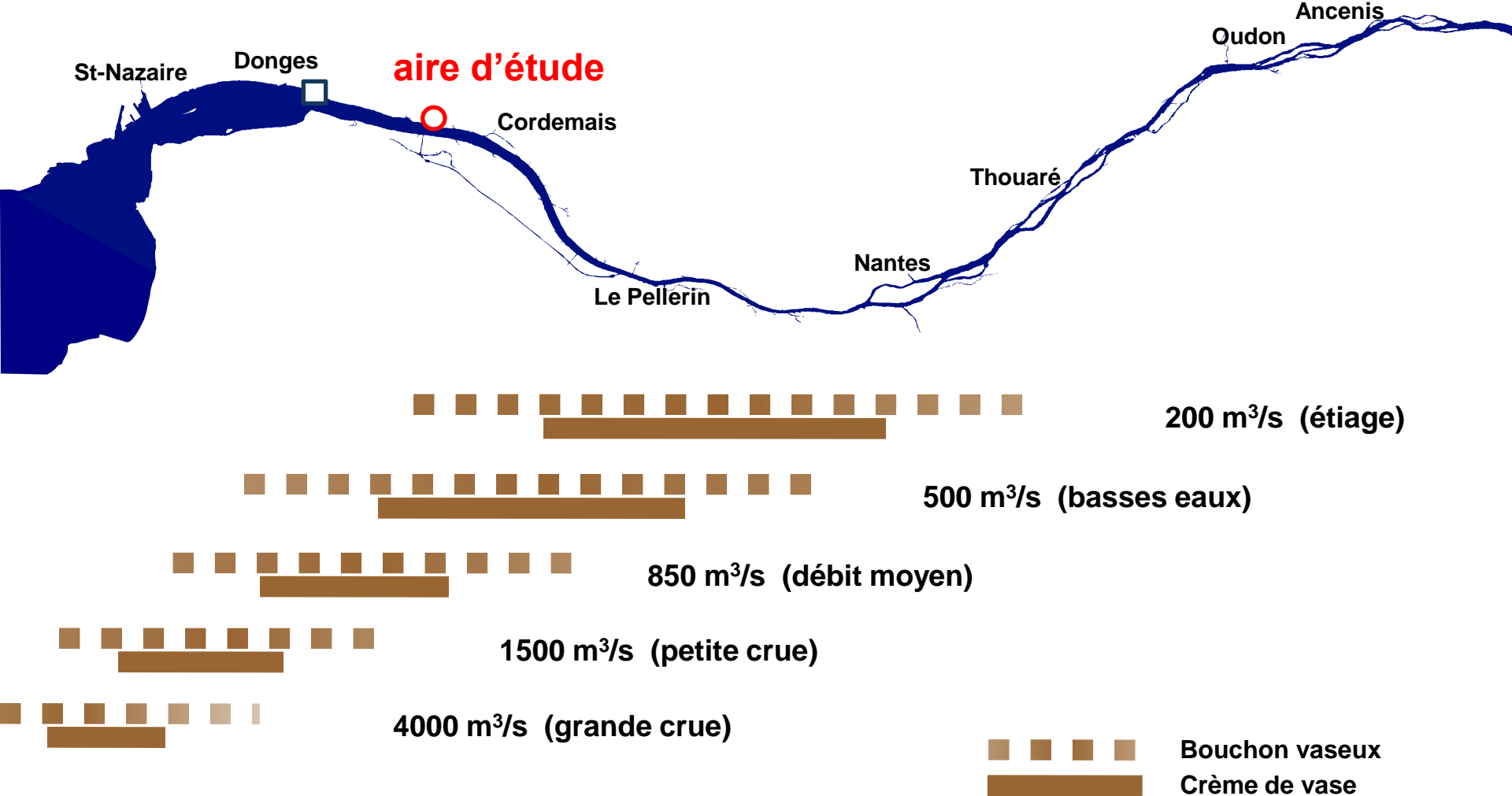
fréquence de débordement :

0	<	< 0.5 m	: 188 fois/an
0.5	<	< 1 m	: 71 fois/an
1 m	<		: ~ 1 fois/an

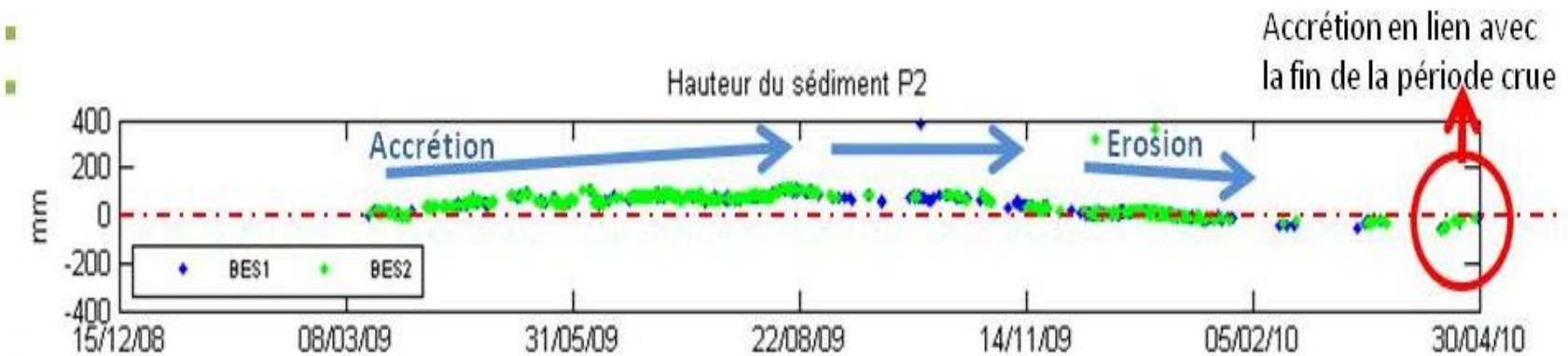
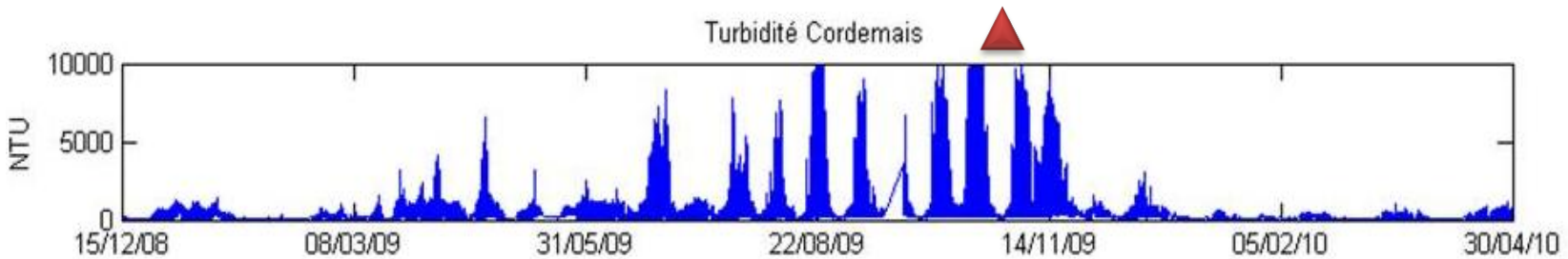




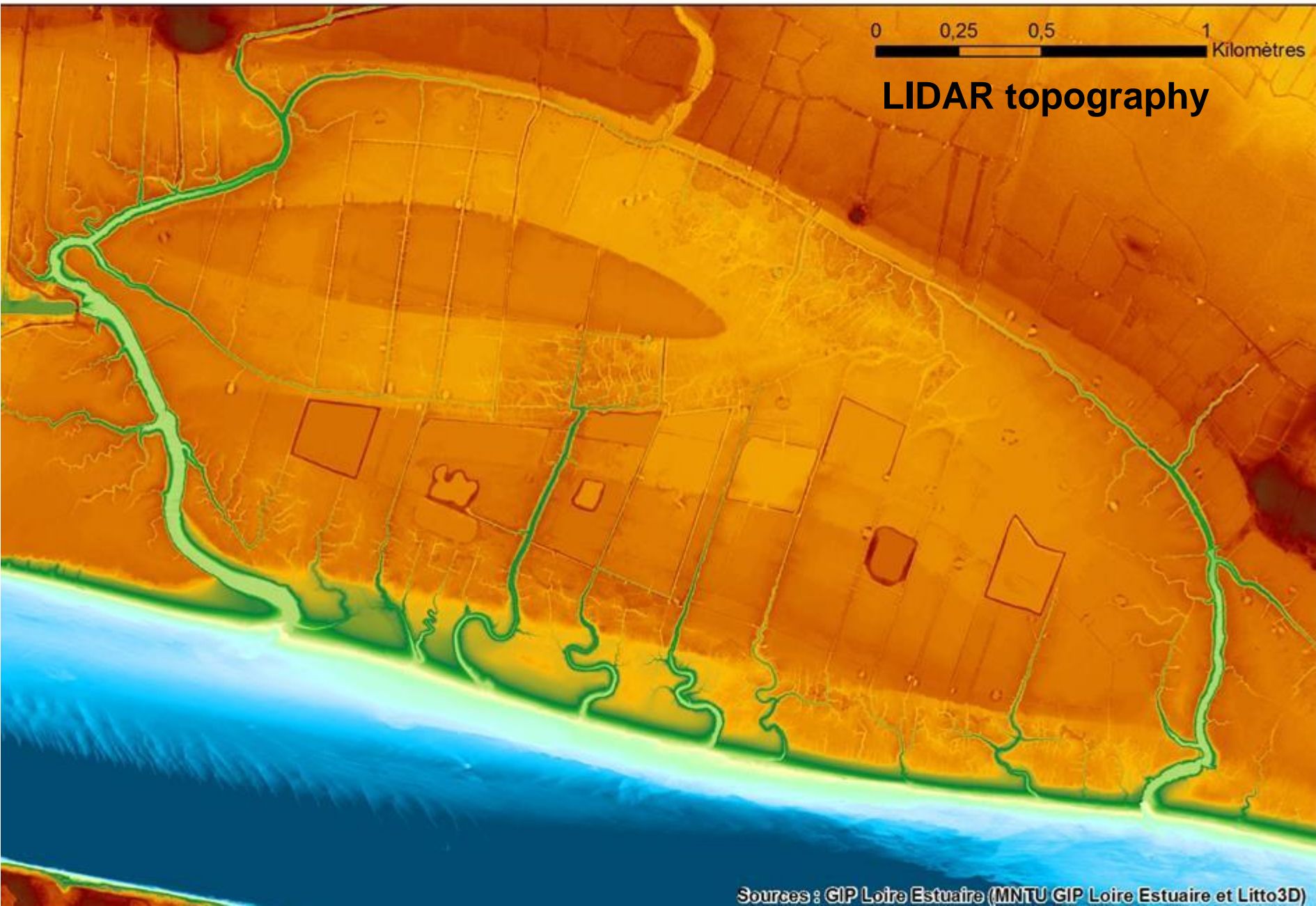
Positionnement du bouchon vaseux et de la crème de vase en fonction du débit



Influence des débits sur la stabilité des vasières



Studied marsh



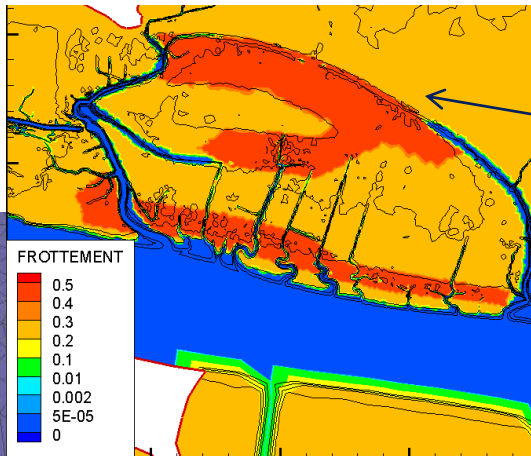
stratégie de modélisation

(système *Telemac*)

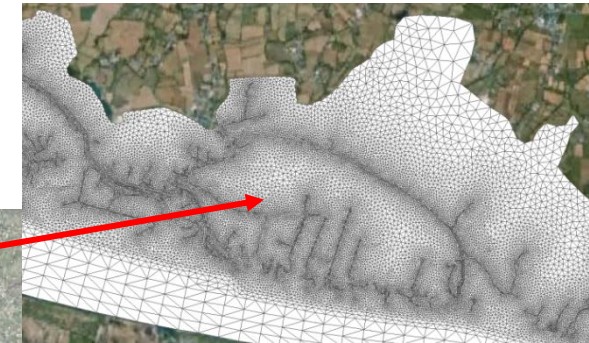
1- « long » terme : lit mineur principalement contrôlé en sable
modèle morphodynamique 2D basé sur la capacité de transport

2- échanges de sédiments fins :

modèle 3D, transport en suspension, érosion, dépôt, consolidation
sédiment multicouche (crème de vase)



Z_0 rend compte de la
vegetation



Nantes
Le Pellerin

Une forte évolution
de la végétation :

- salinisation
- pâturage
- pratiques de chasse

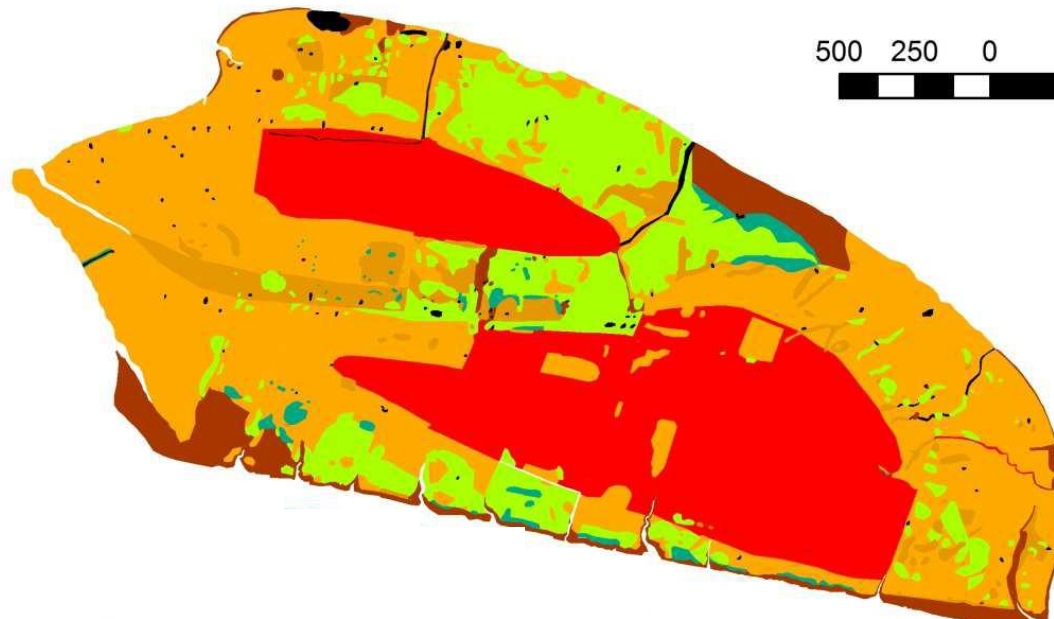
Grande variabilité
saisonnnière

→ frottements,
piégeages sédiment

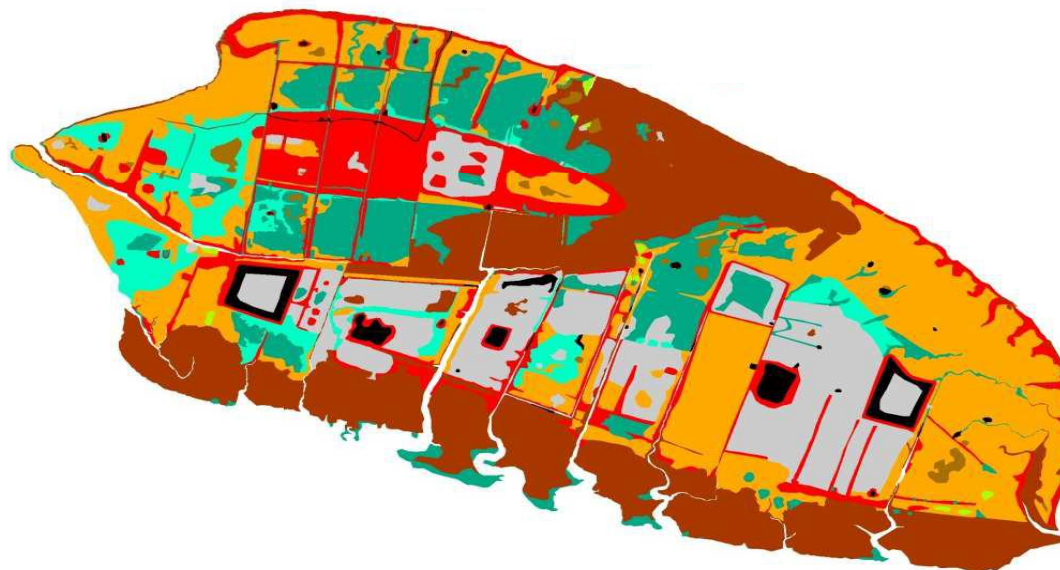
*Sawtschuk &
Bioret, 2013*



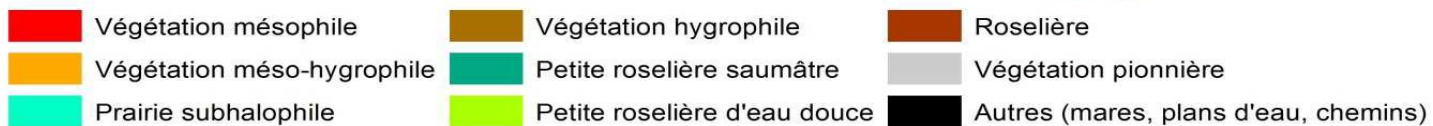
500 250 0 500 Mètres



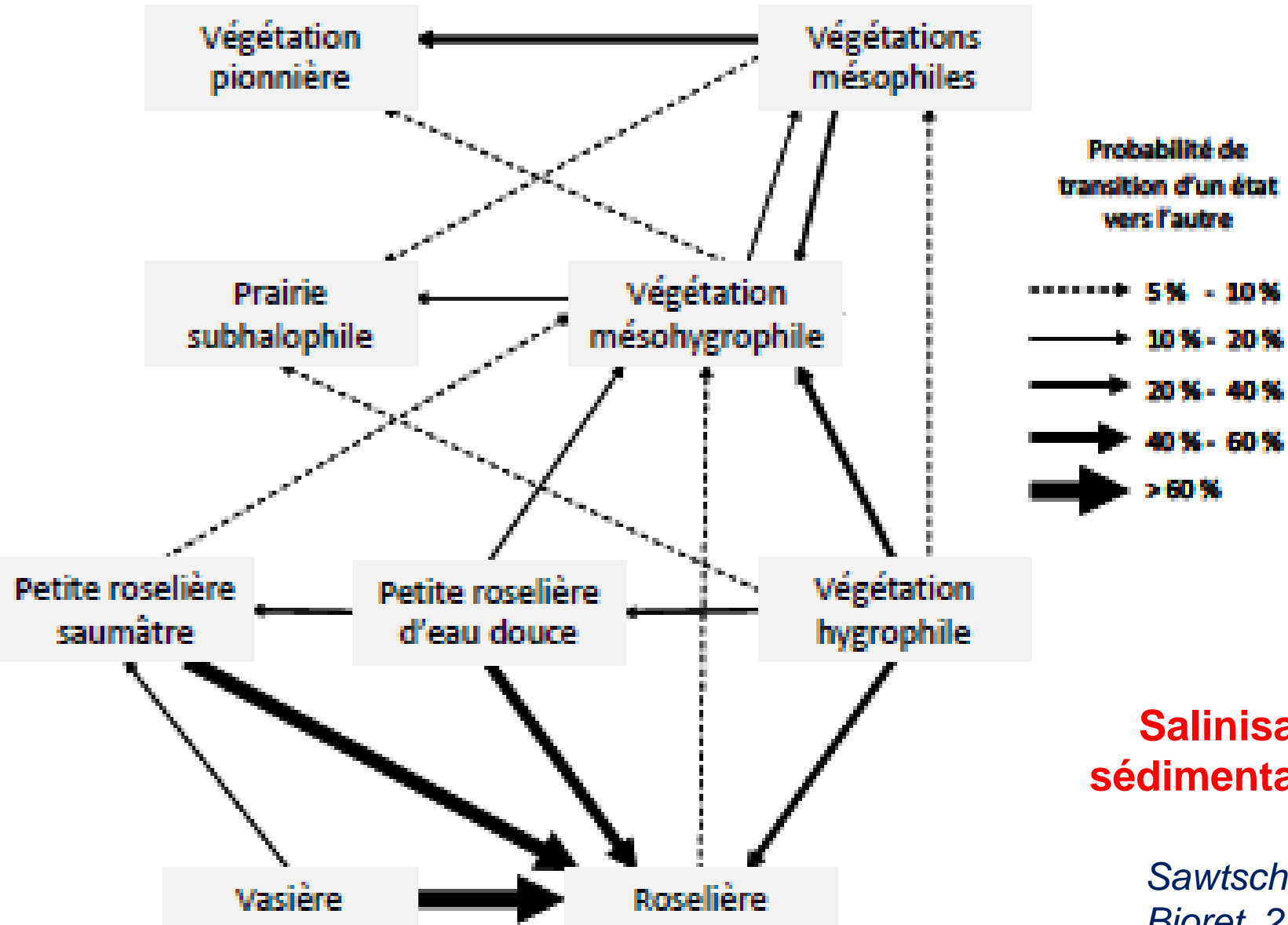
1982

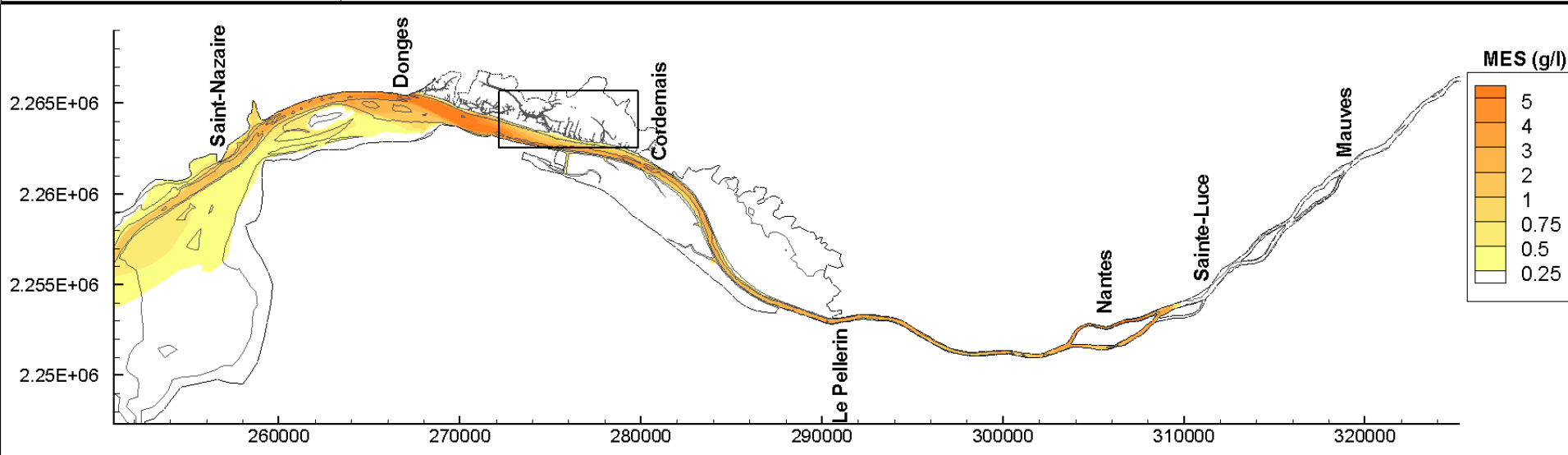
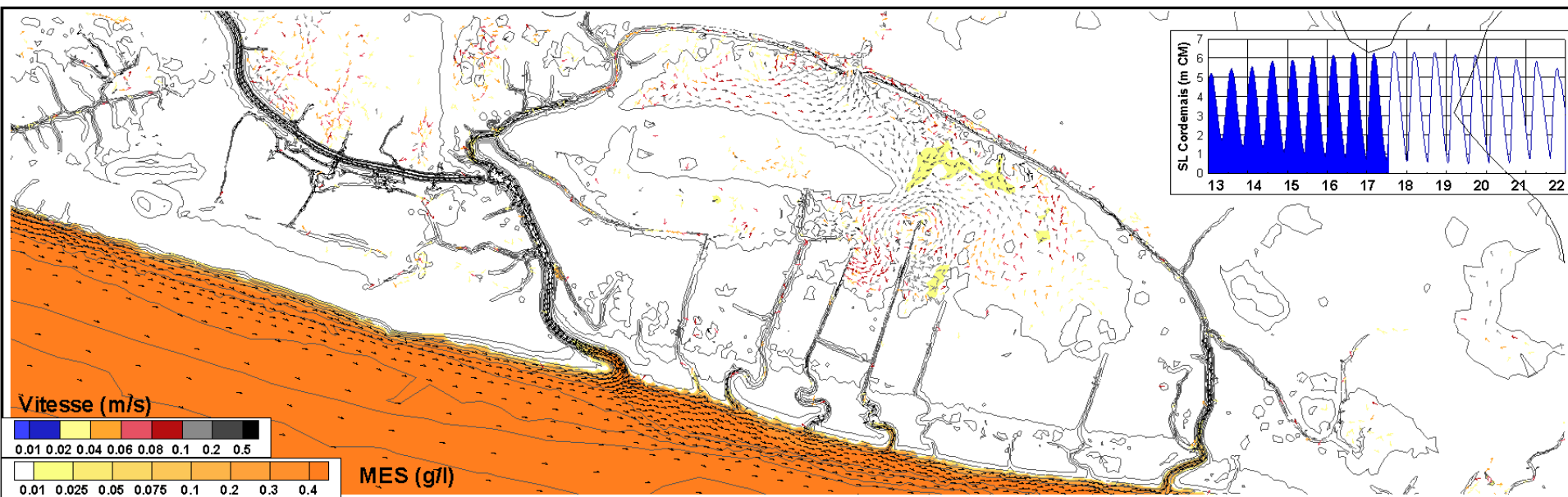


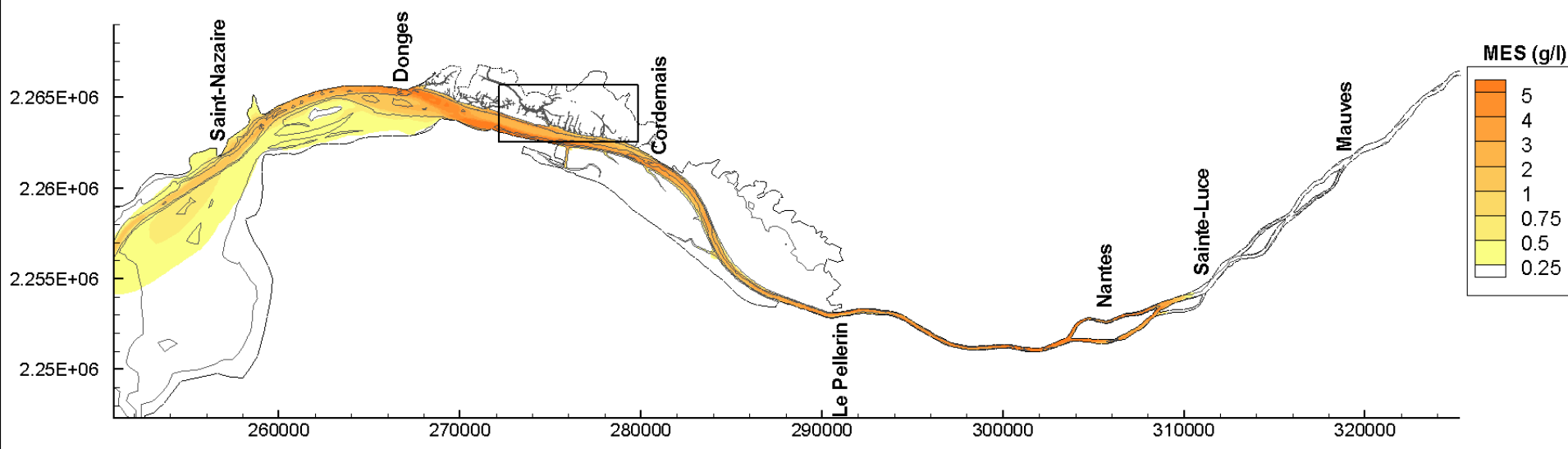
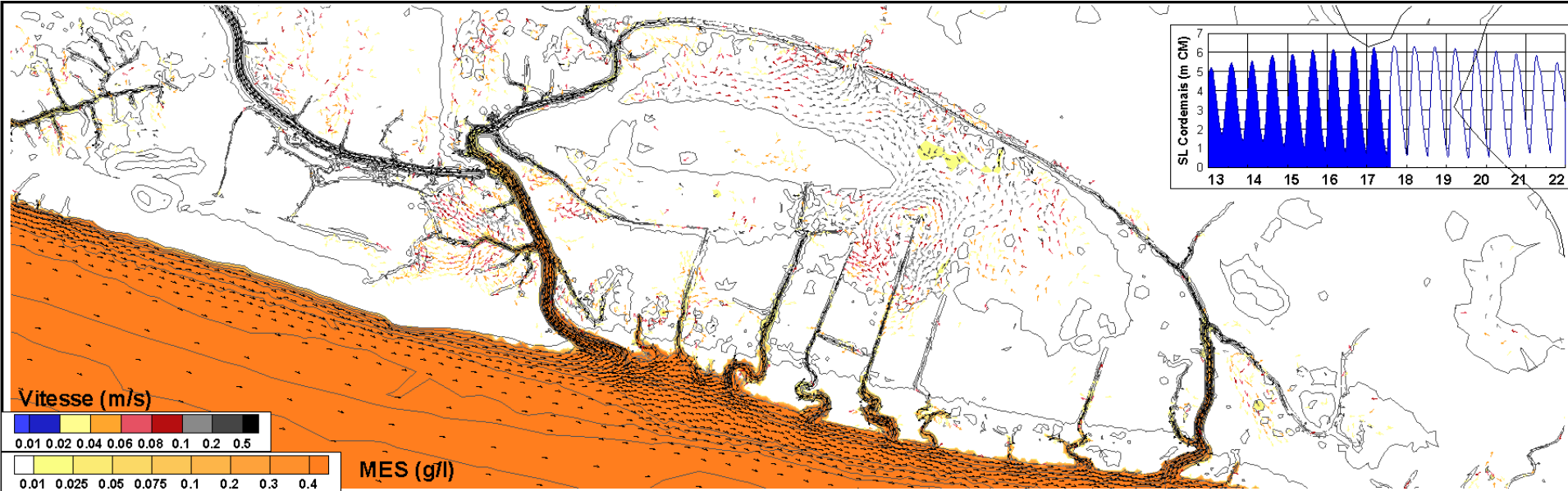
2011

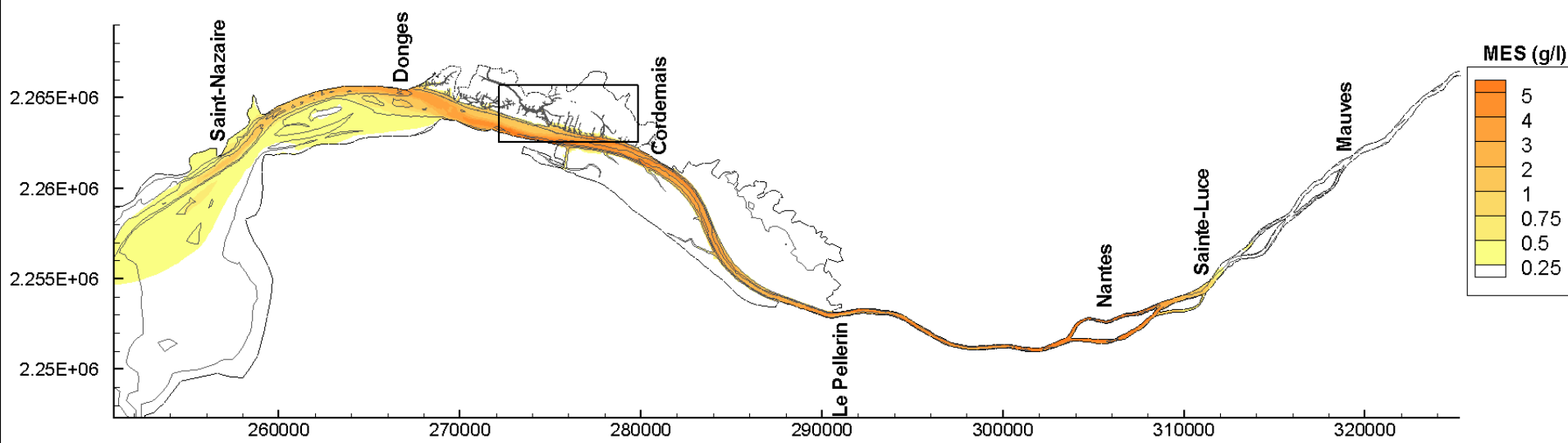
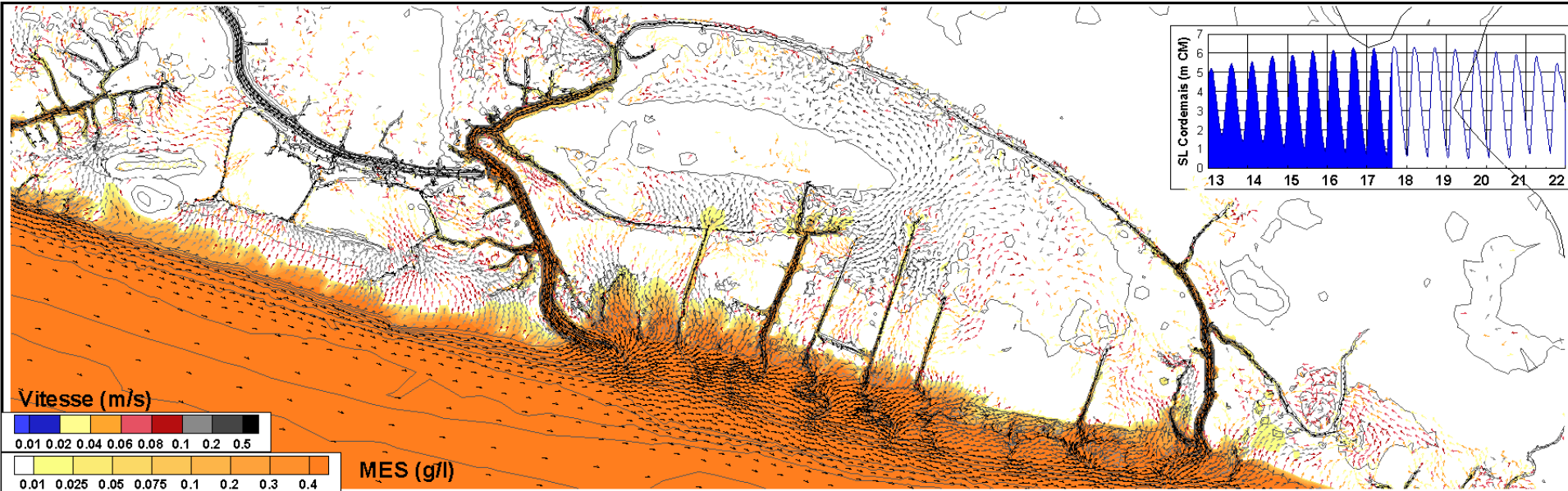


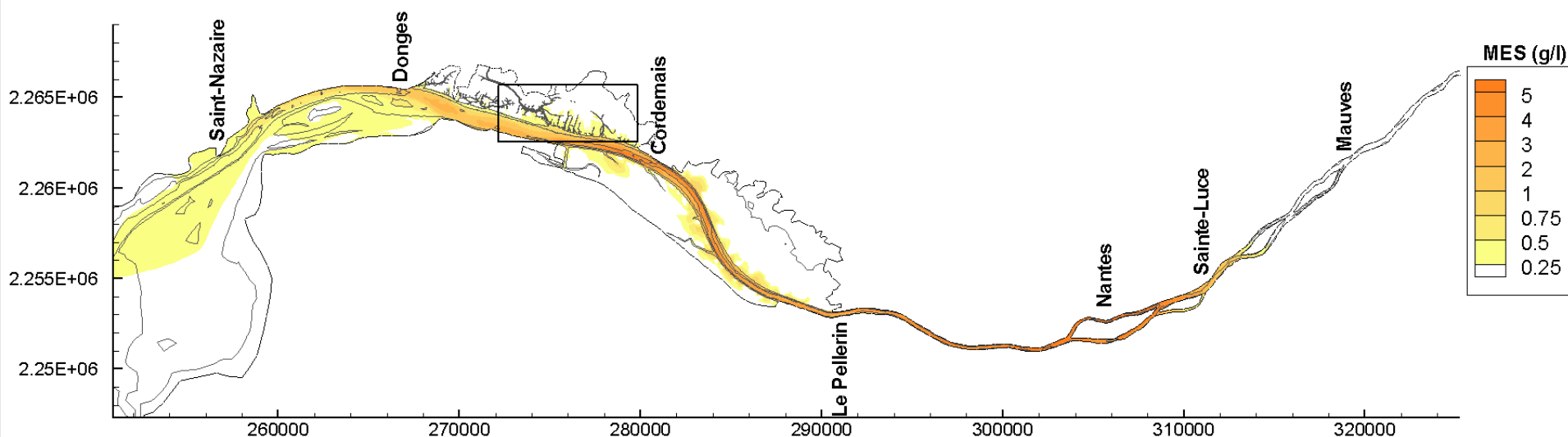
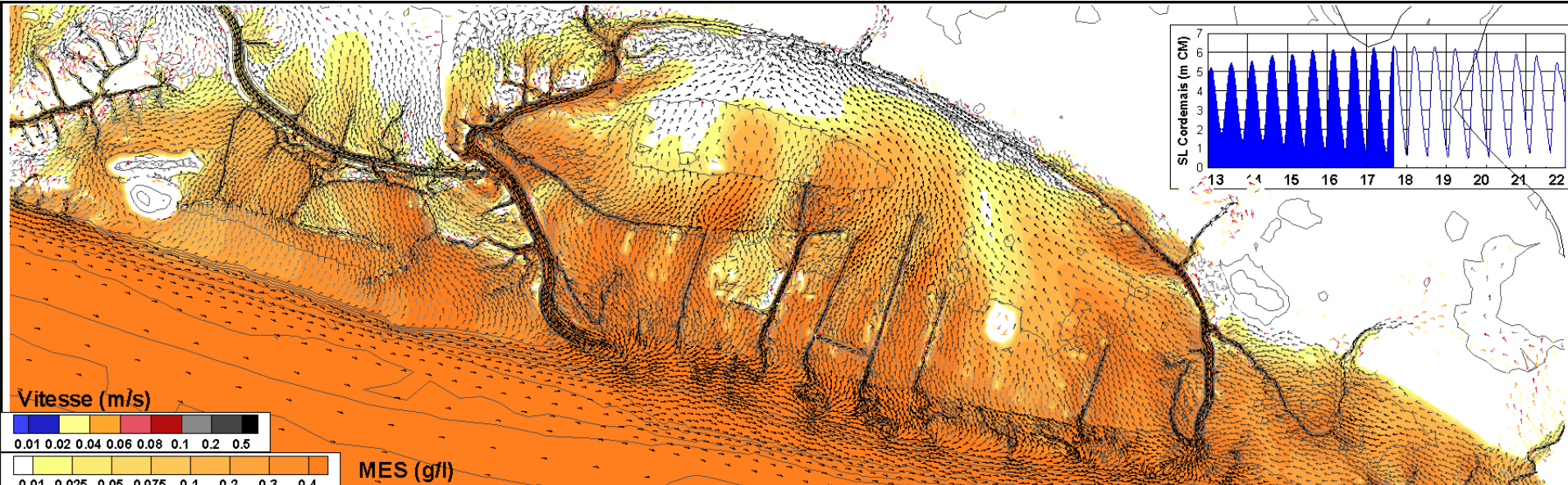
Matrice de transition végétale *(e.g. Debussche et al., 1976)*

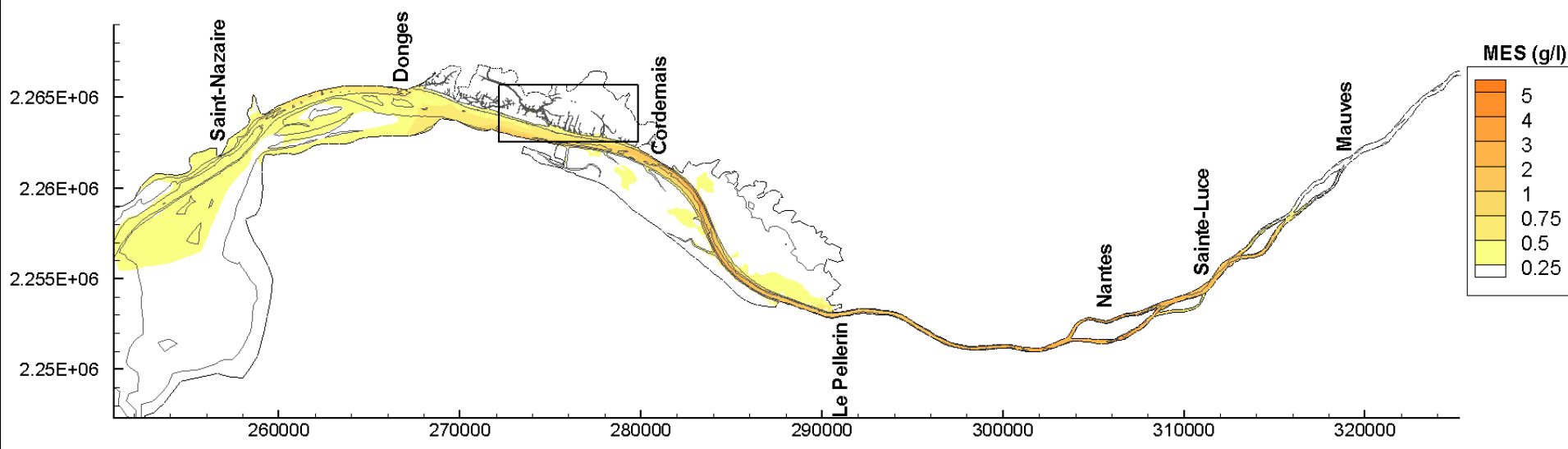
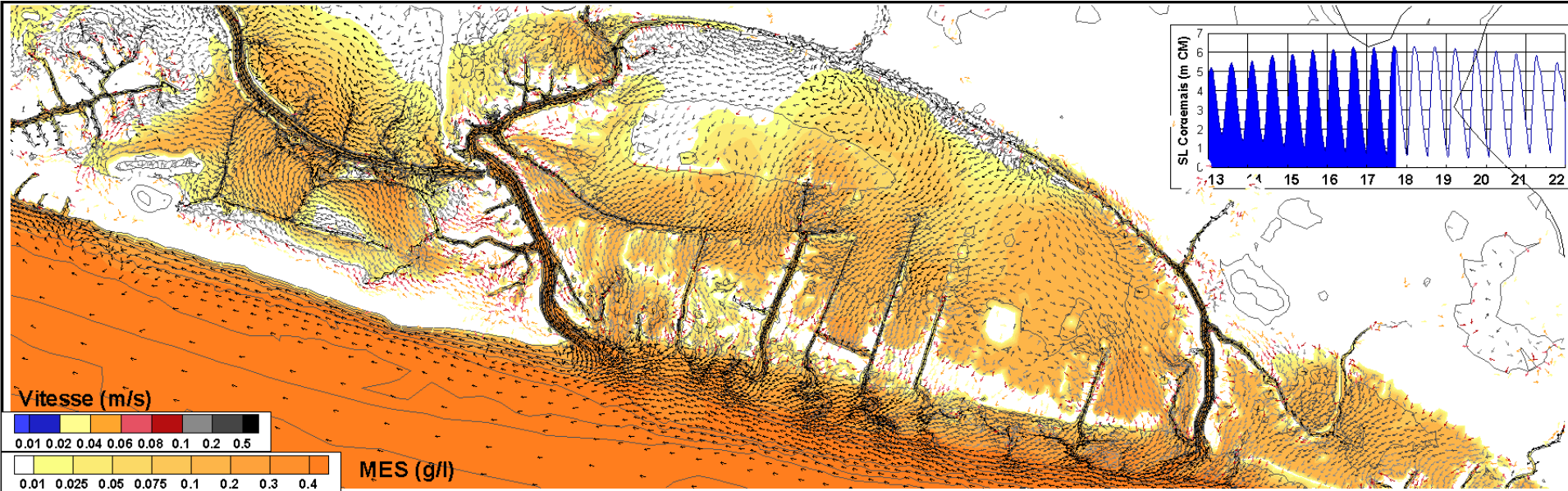


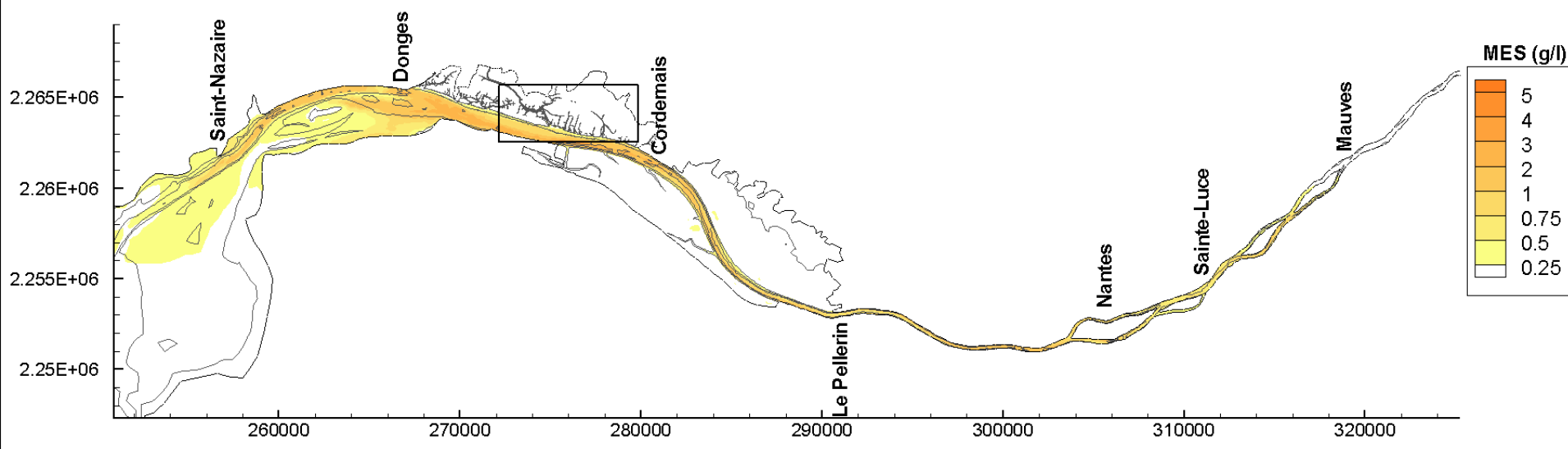
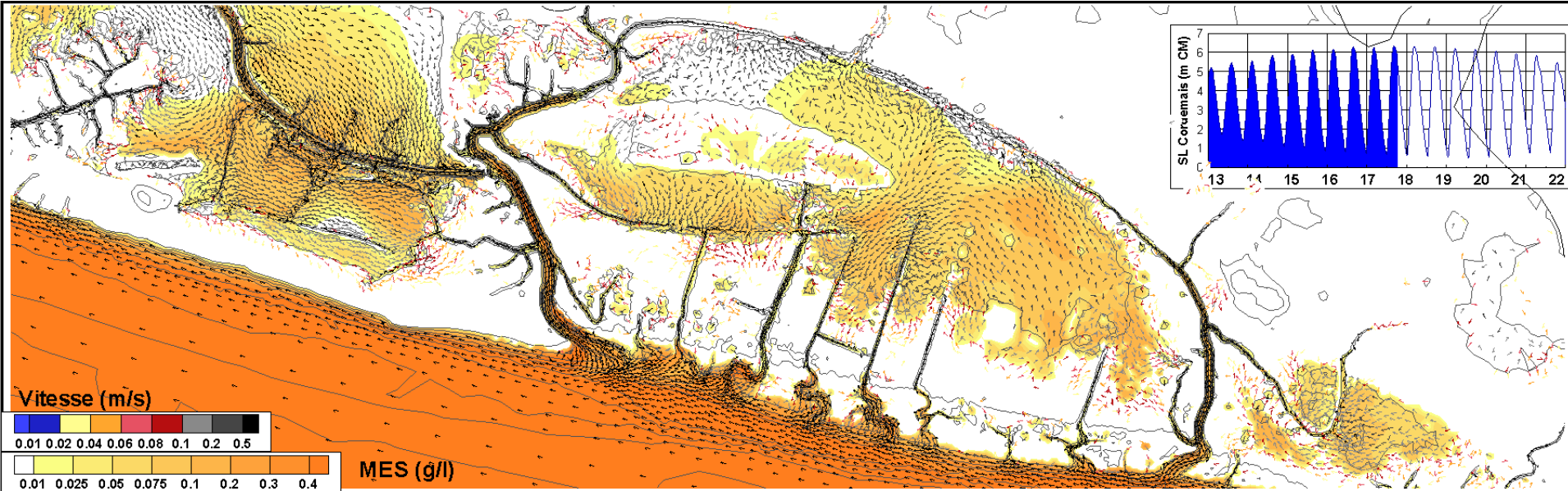


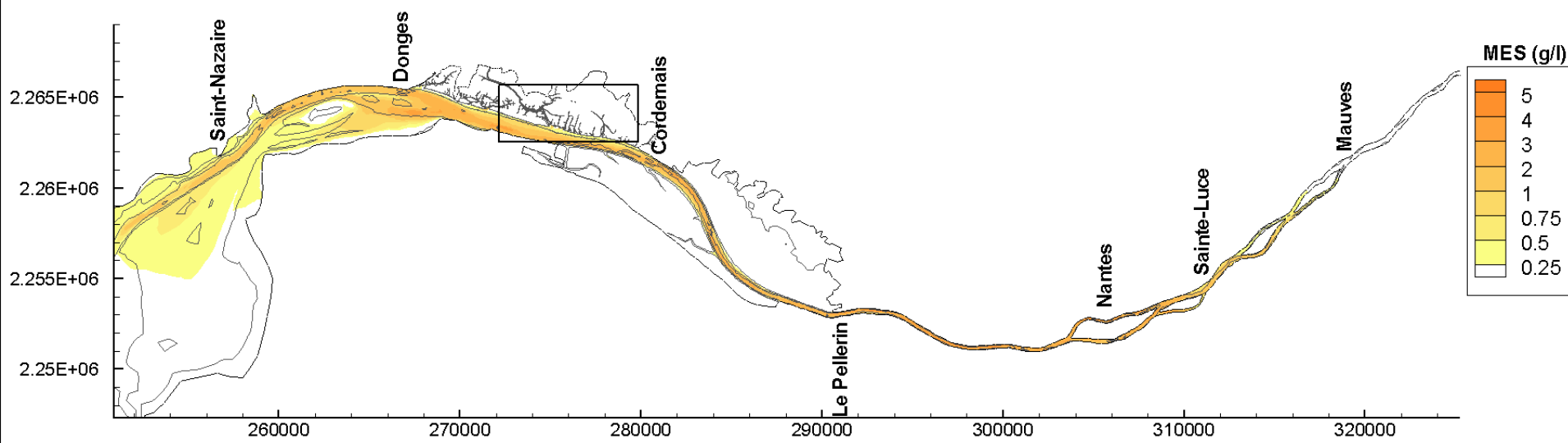
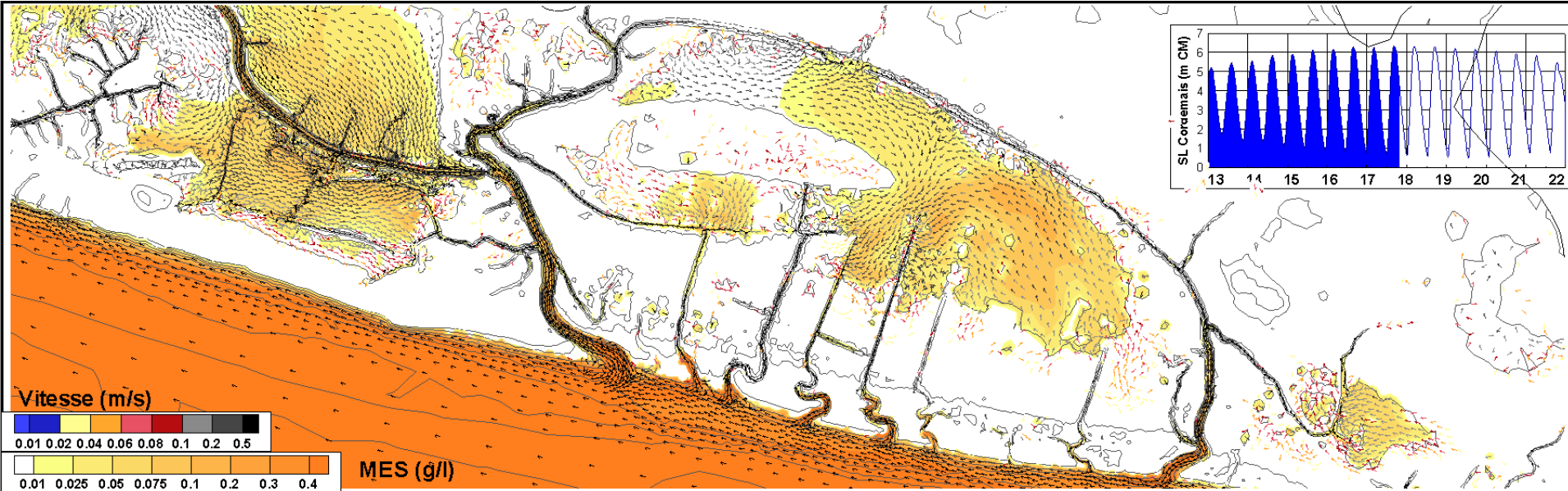


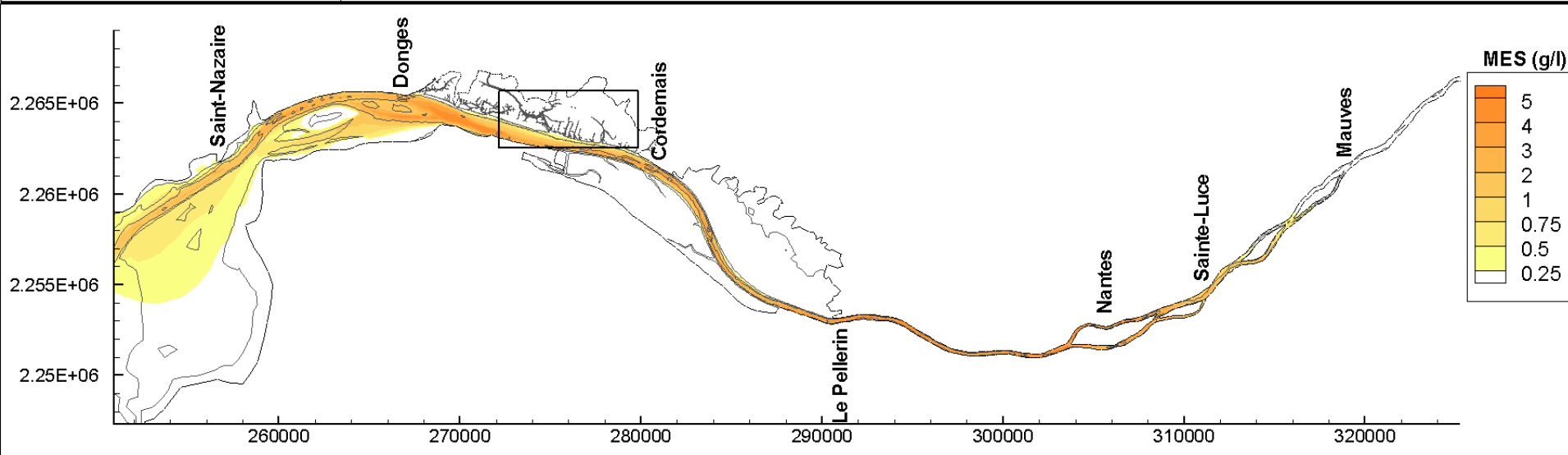
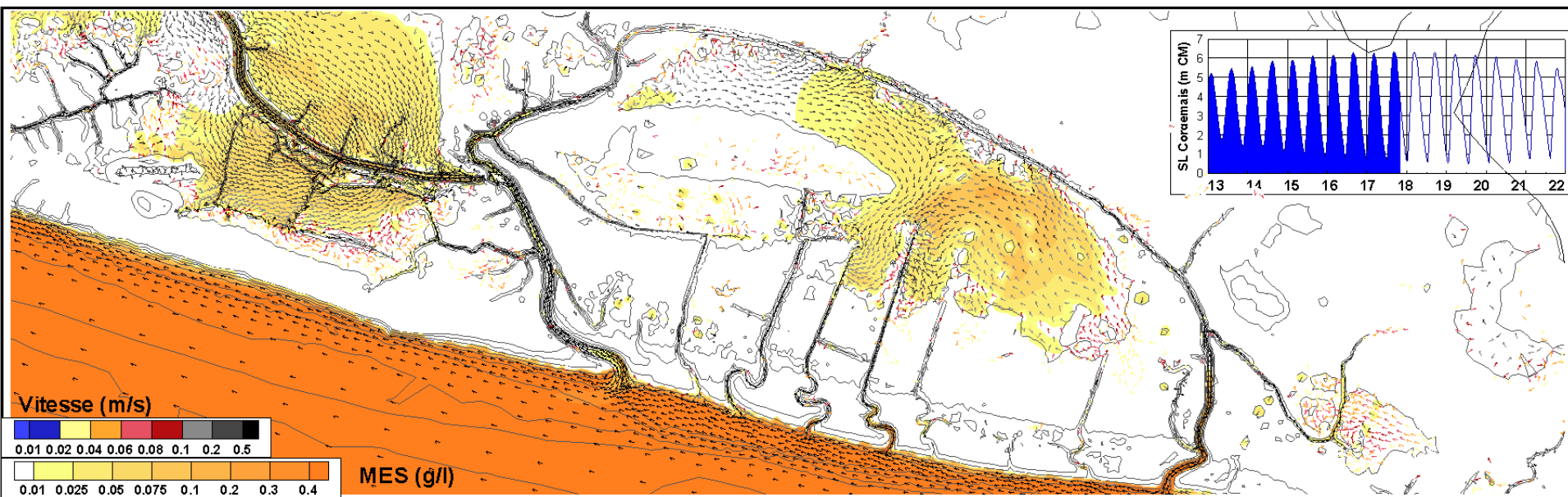


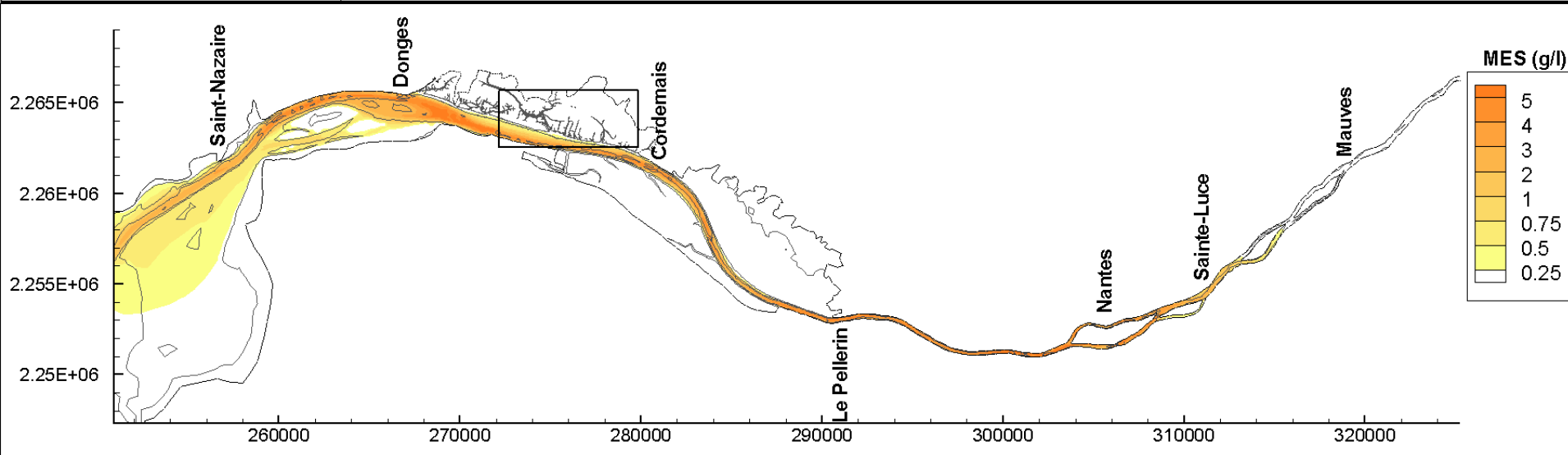
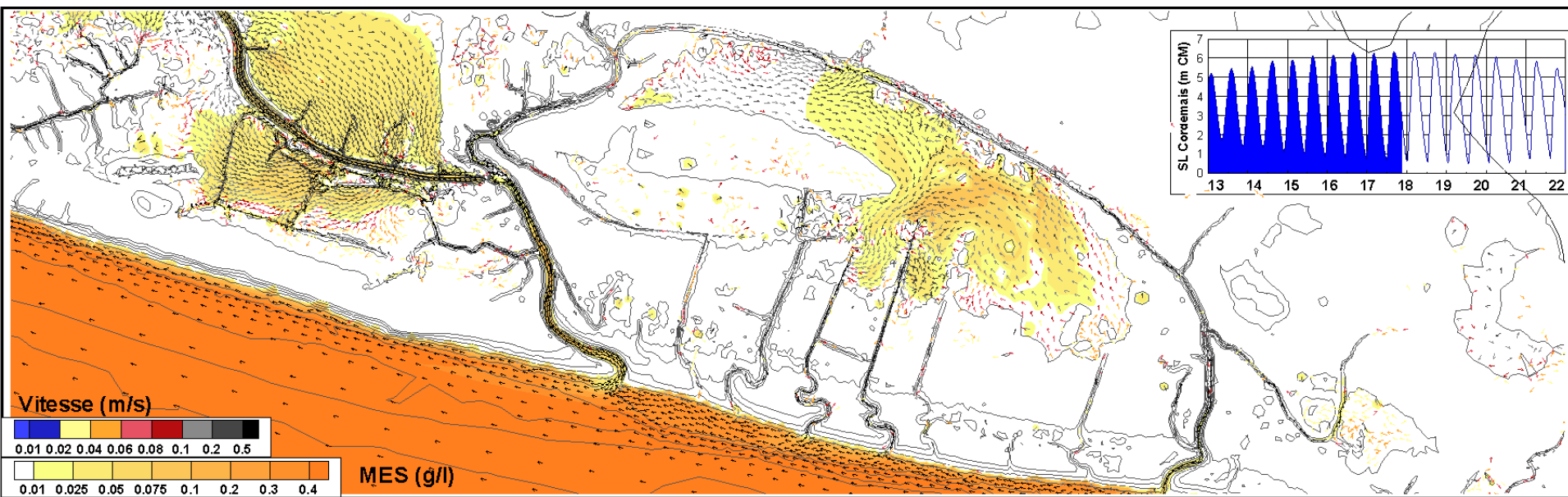


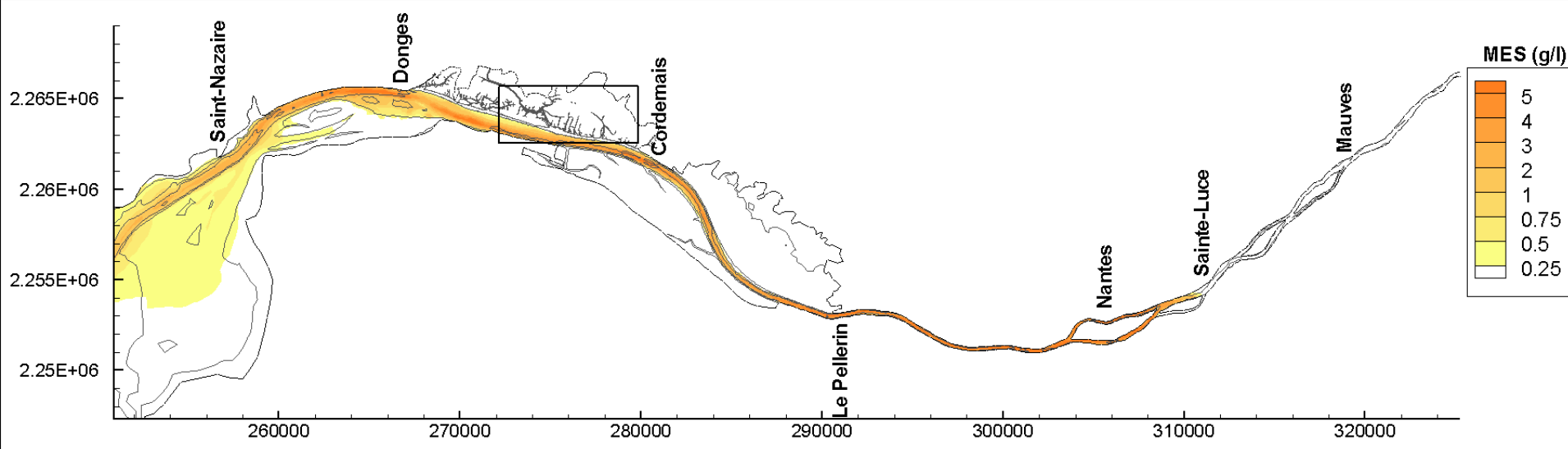
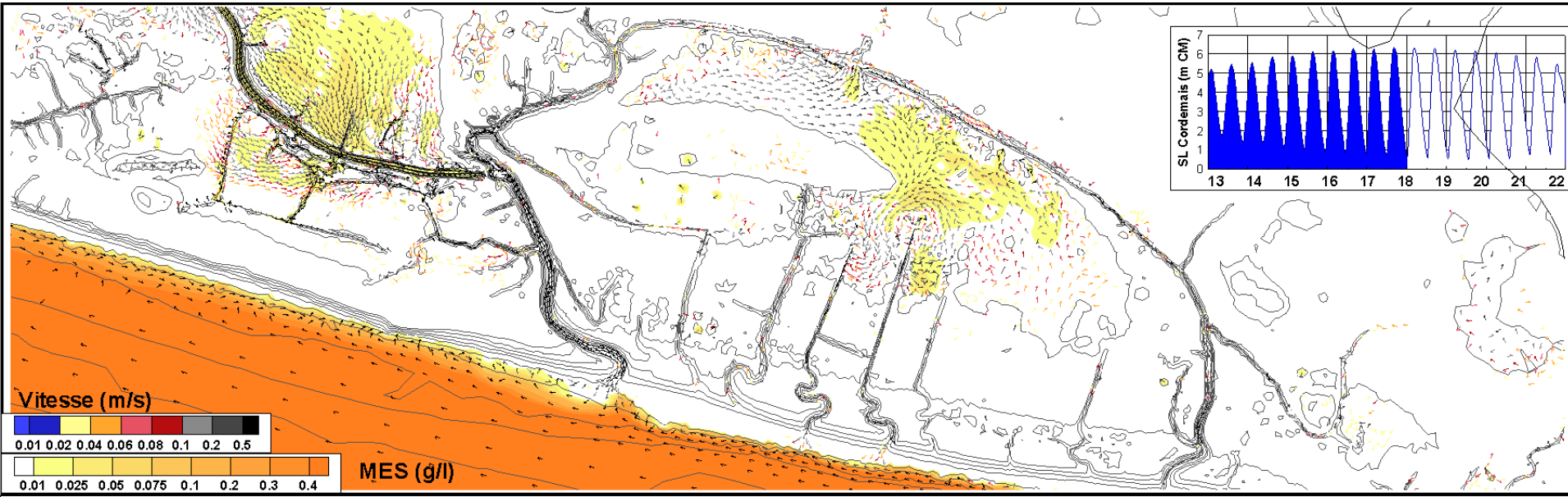








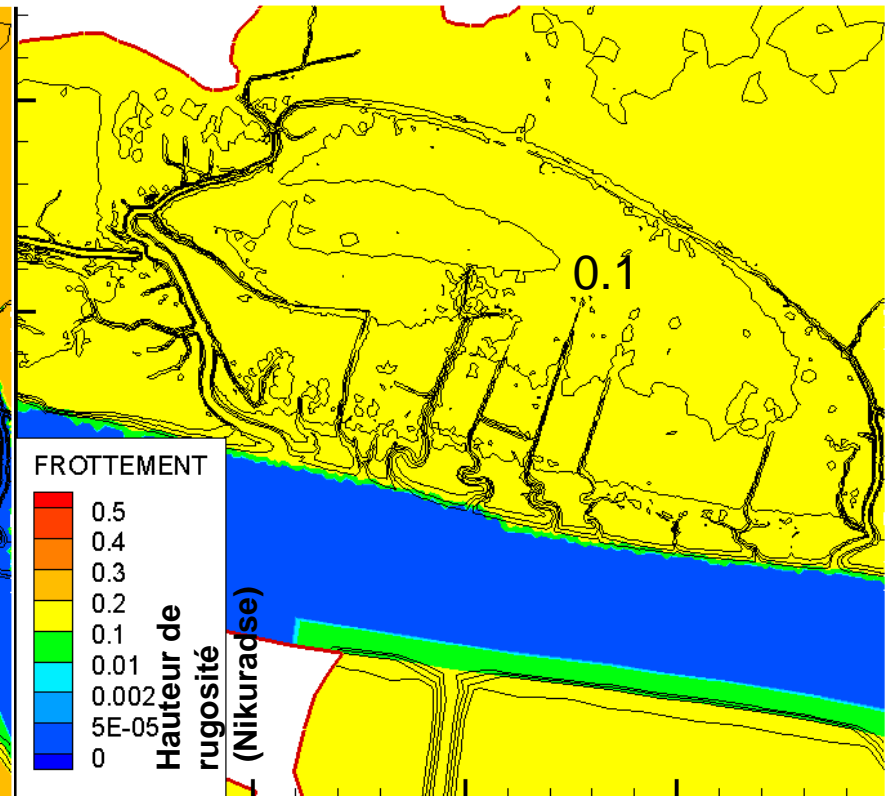
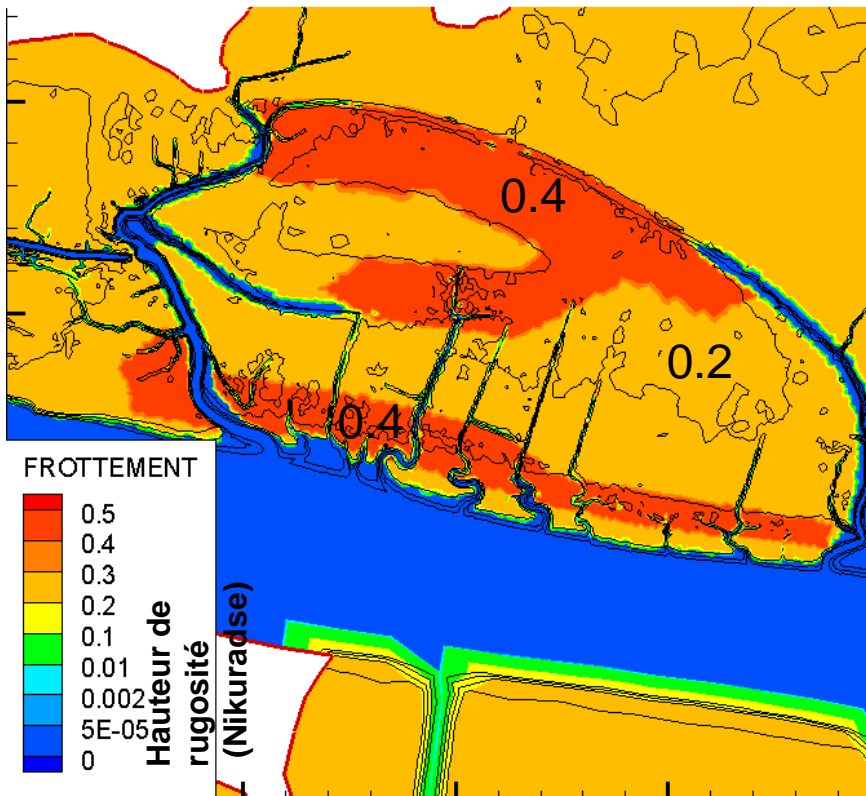




Impact de la rugosité sur la dynamique hydraulique de remplissage des zones submersibles

Carte de frottement tenant compte de la roselière et prairie

Carte de frottement uniforme sur la zone submersible

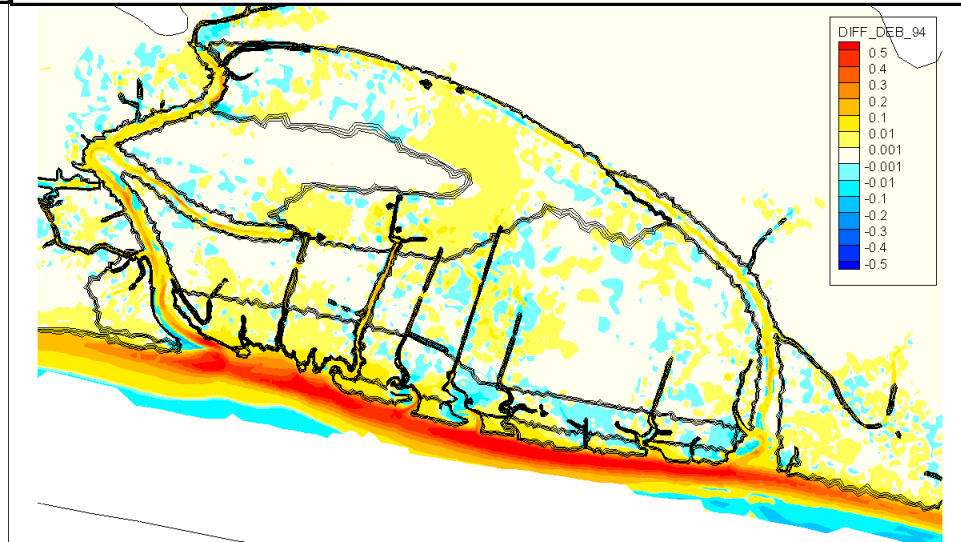
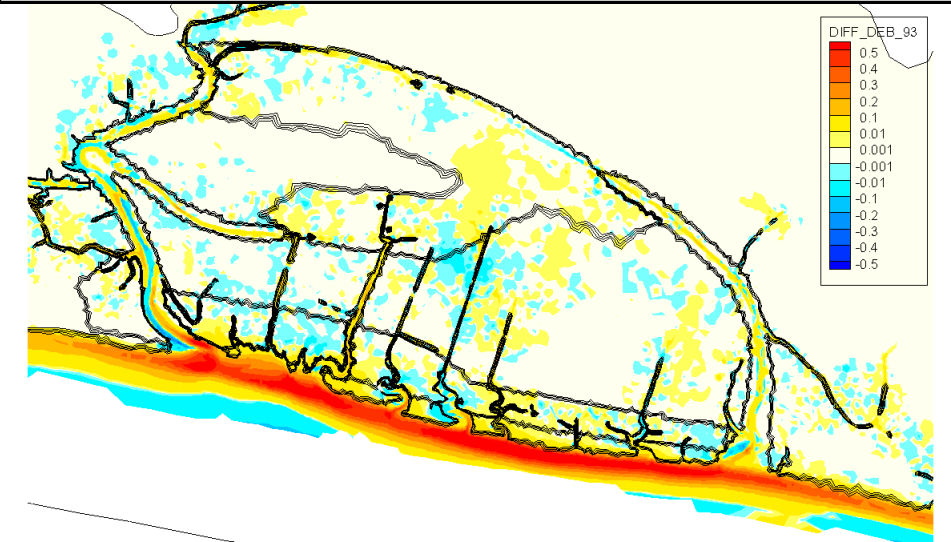
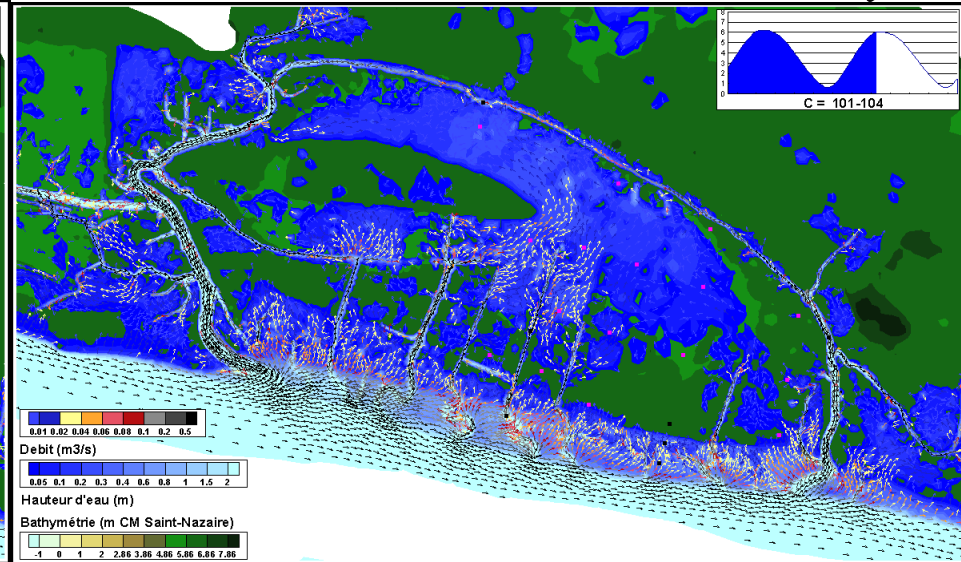
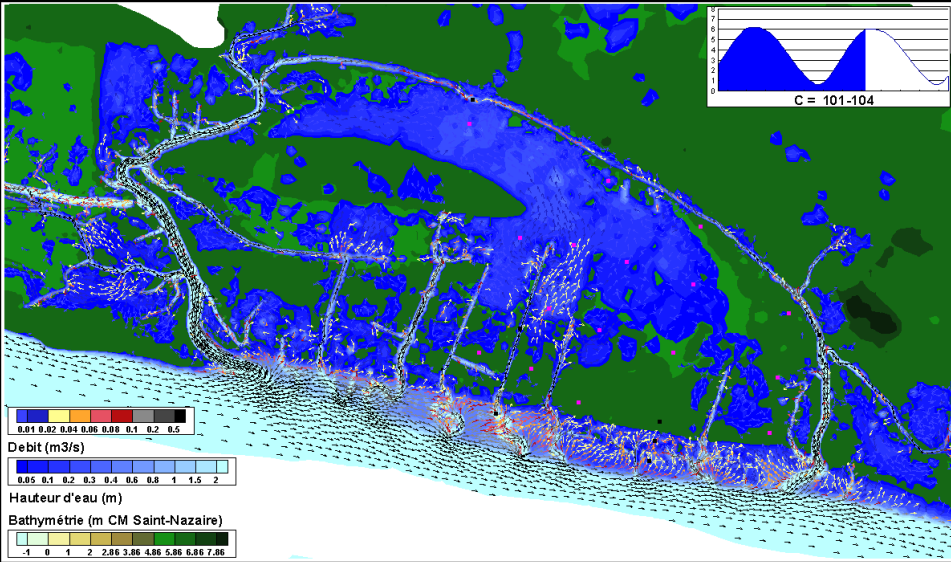


Effet de la végétation sur l'intensité des vitesses (débits)

1

temps

2



En jaune orange : accélération

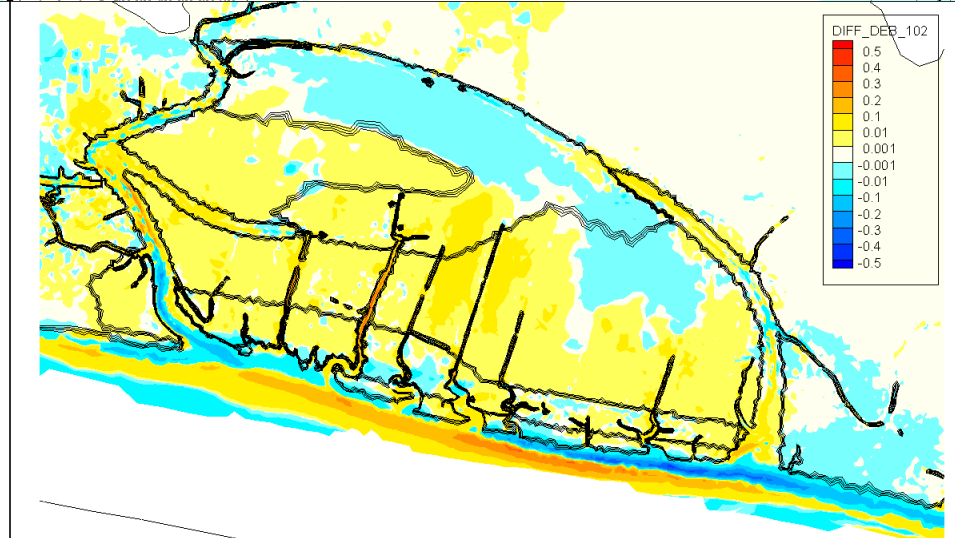
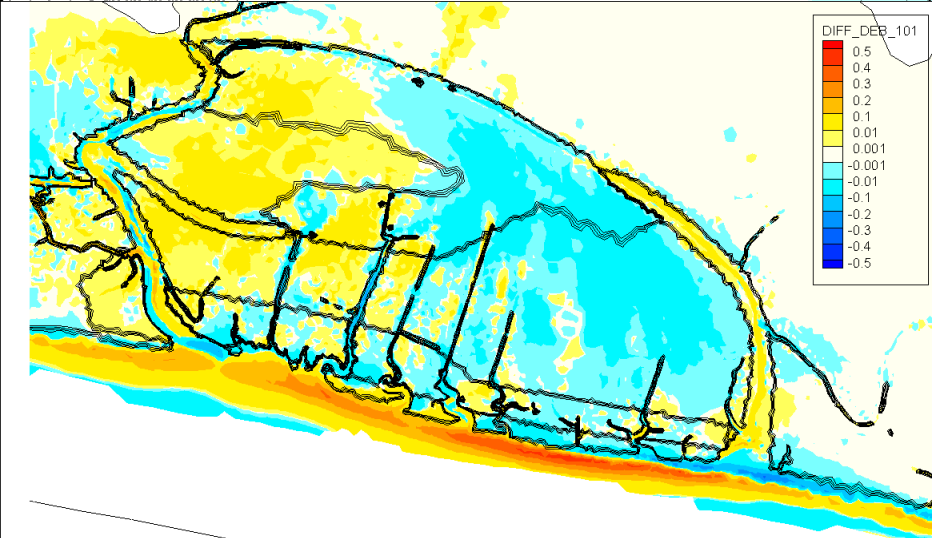
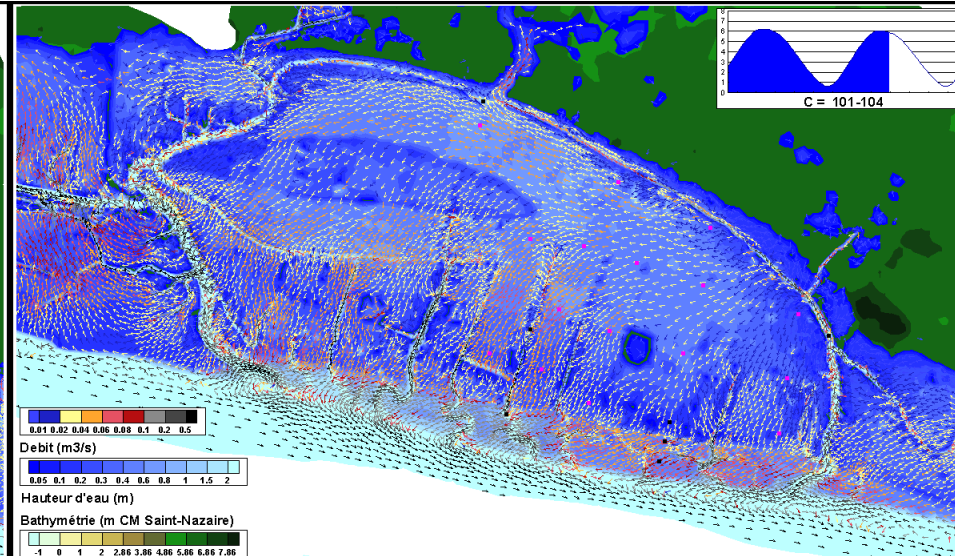
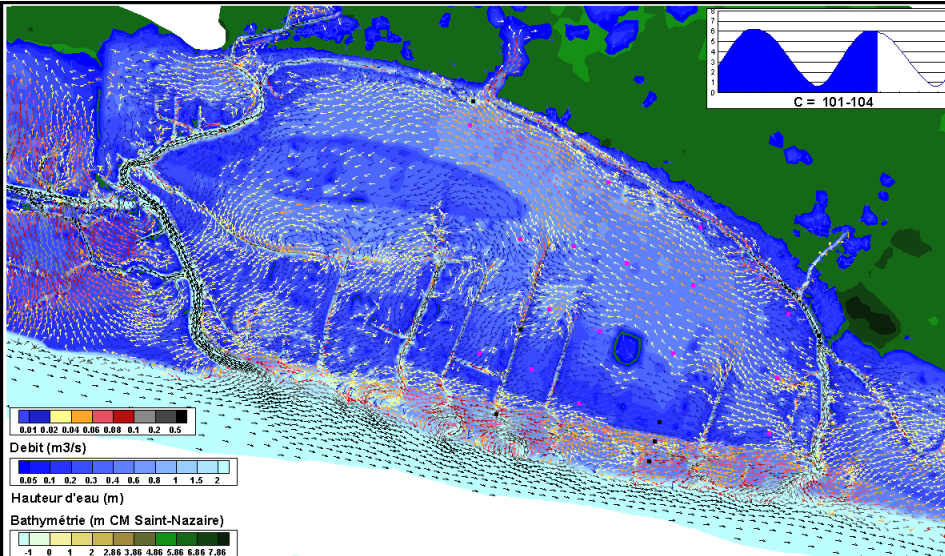
en bleu : ralentissement

Effet de la végétation sur l'intensité des vitesses (débits)

9

temps

10



En jaune orange : accélération

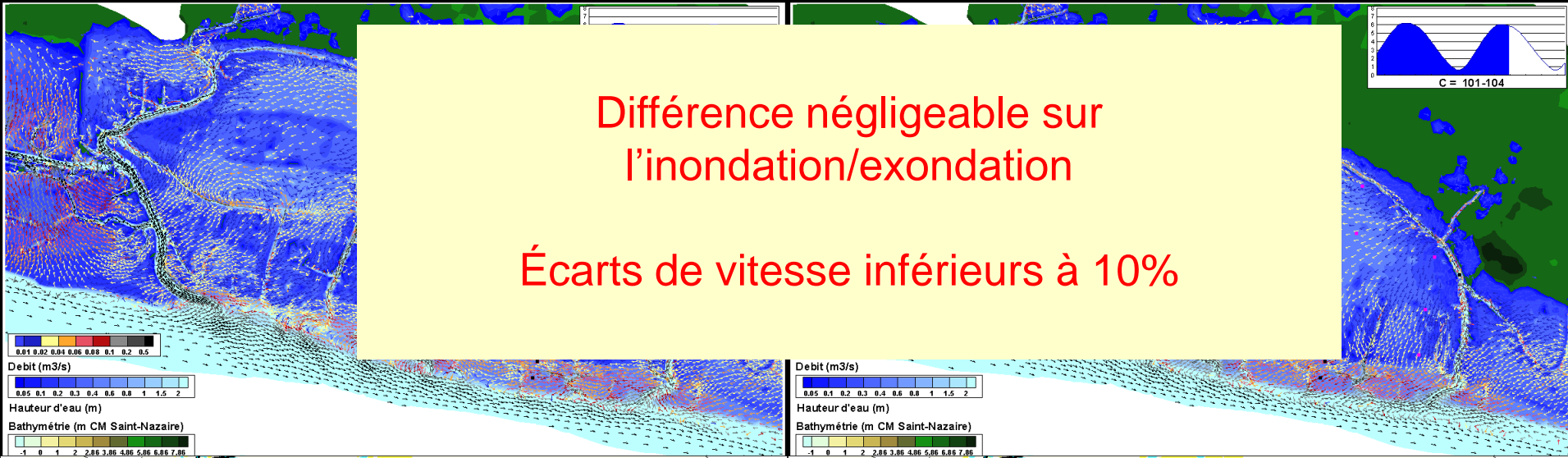
en bleu : ralentissement

Effet de la végétation sur l'intensité des vitesses (débits)

9

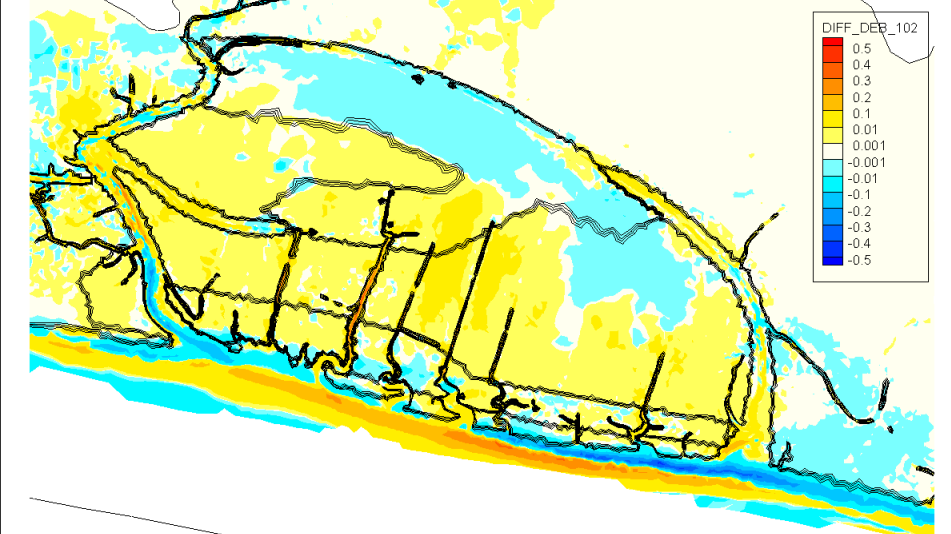
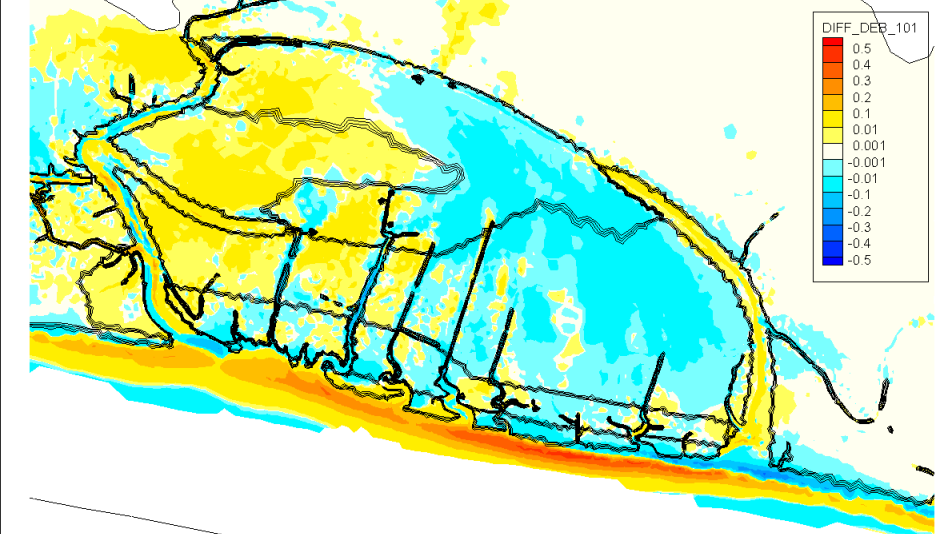
temps

10



Différence négligeable sur l'inondation/exondation

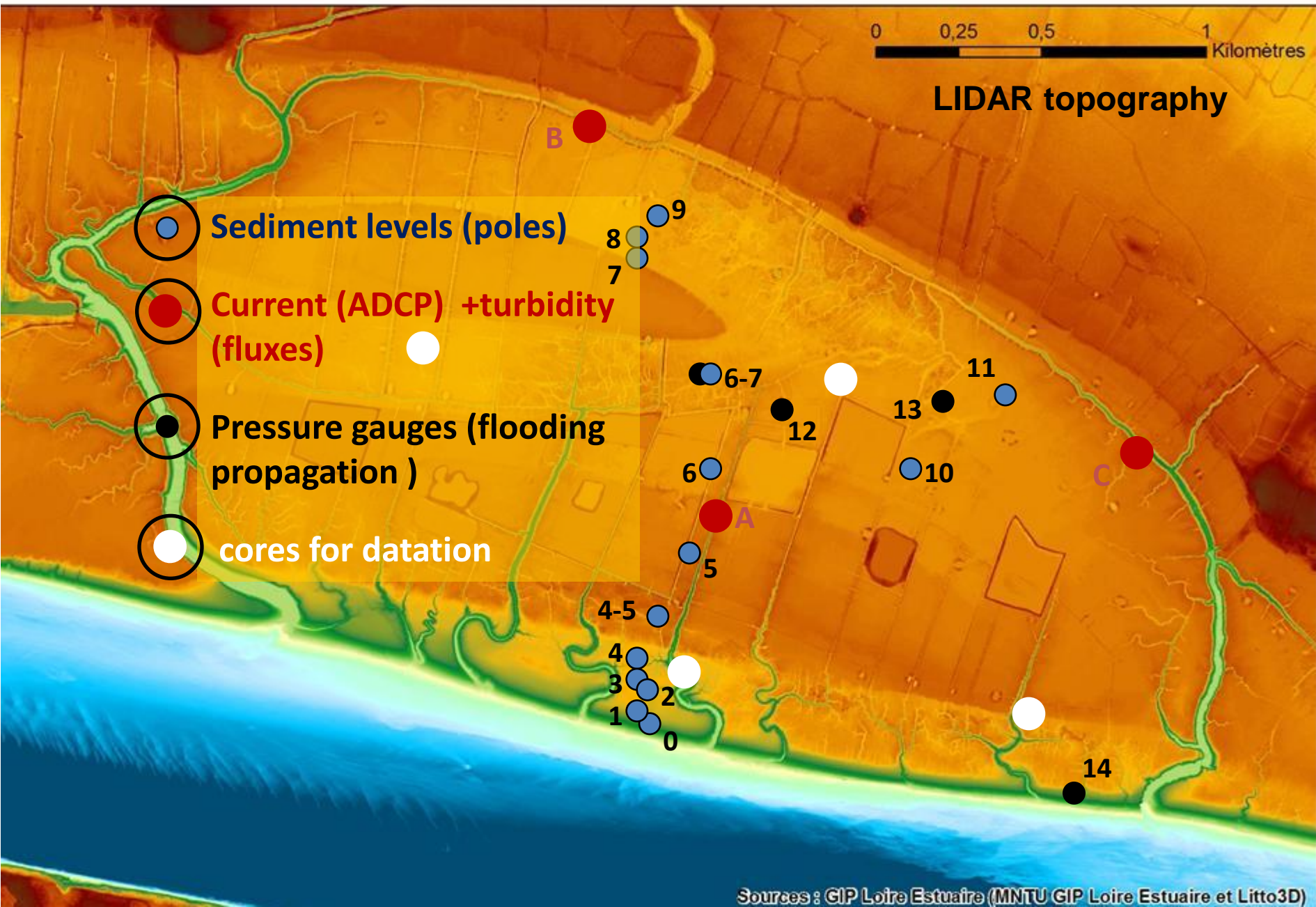
Écarts de vitesse inférieurs à 10%



En jaune orange : accélération

en bleu : ralentissement

Field measurements strategy



ASM probe
(turbidity profile)

CTD+turbidity probe

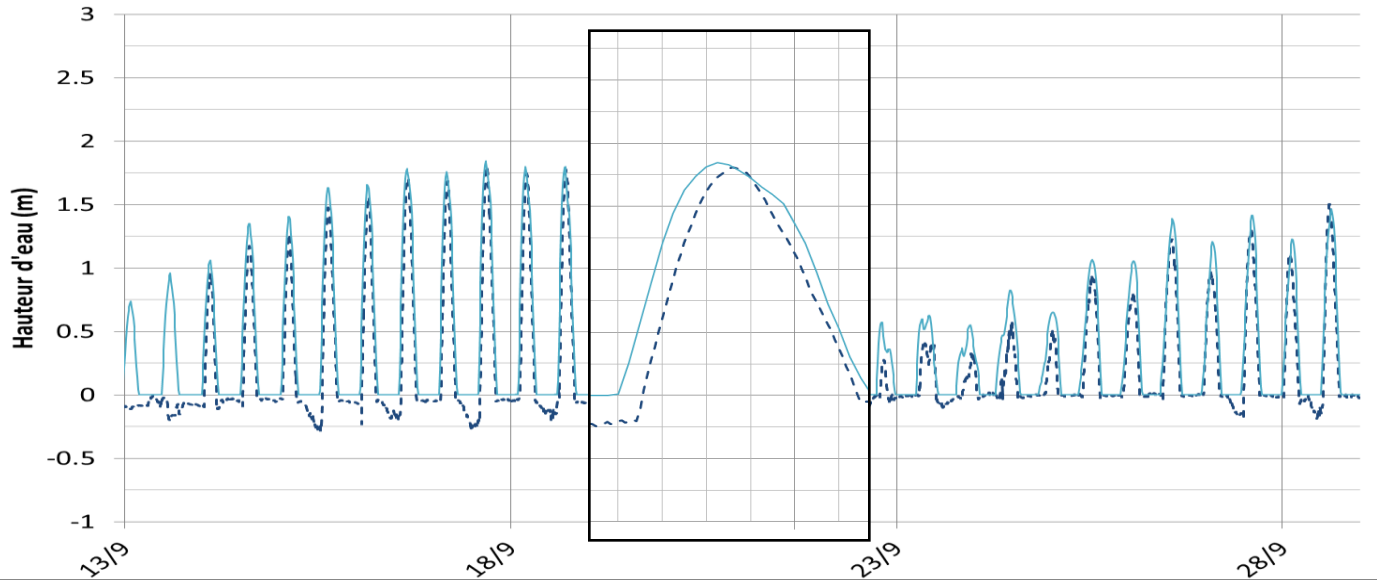
ADCP



Validation du modèle : sur la haute slikke

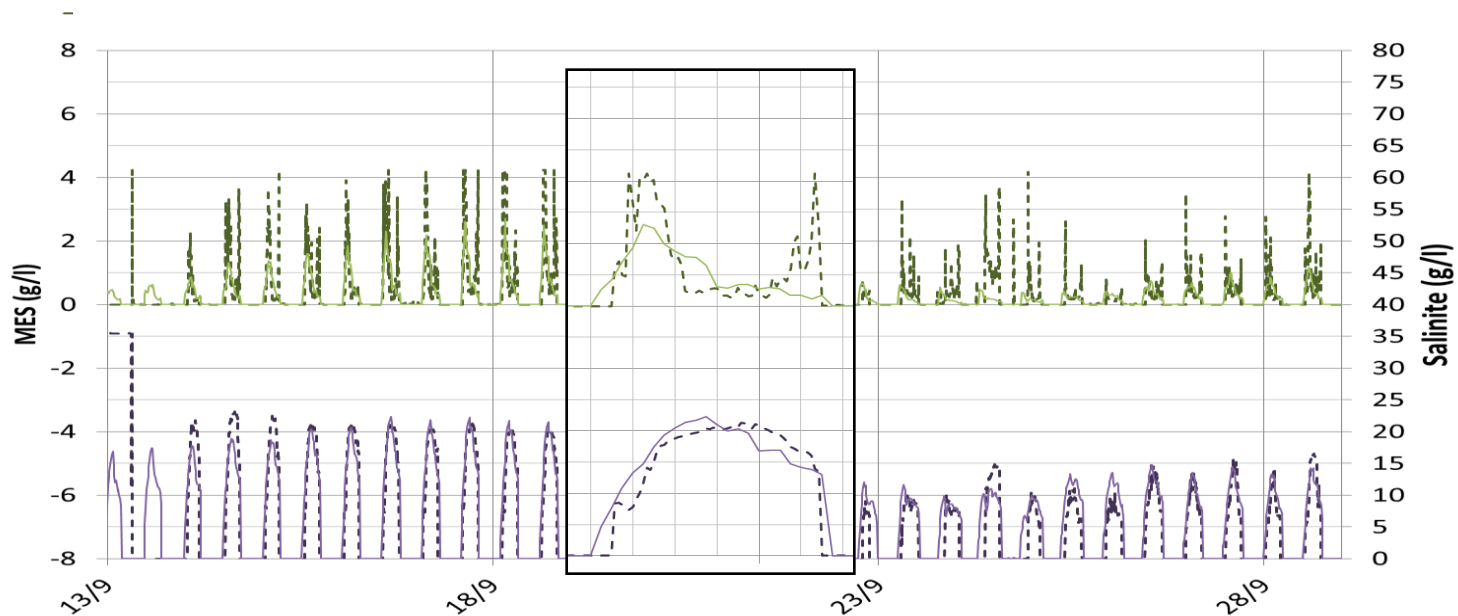


Water level (m)



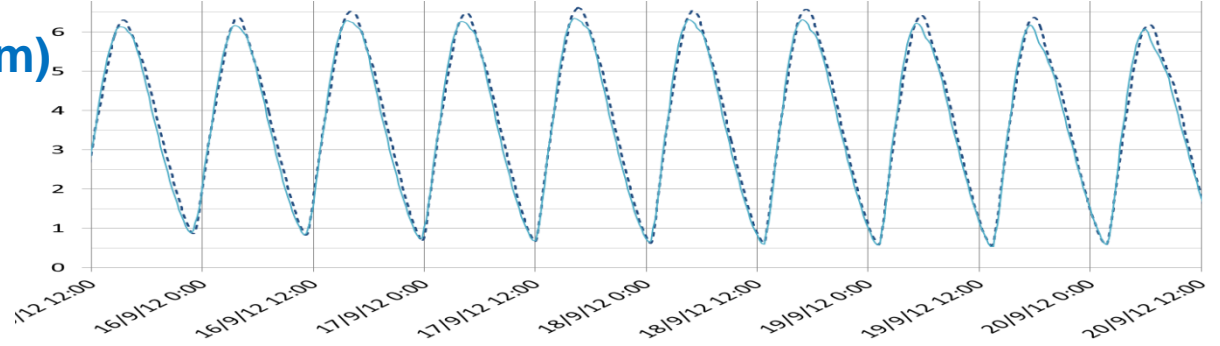
----- observation
—— model

SPM (g/l)

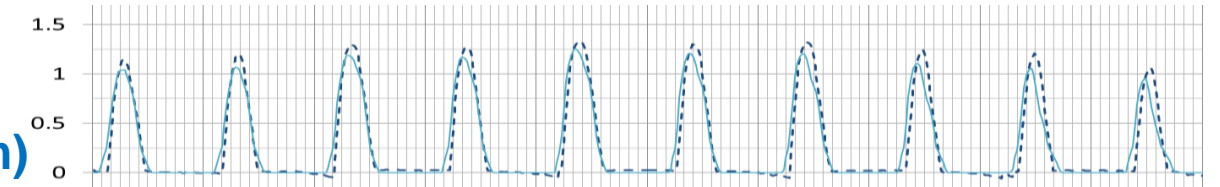


salinity

Tide elevation (m)

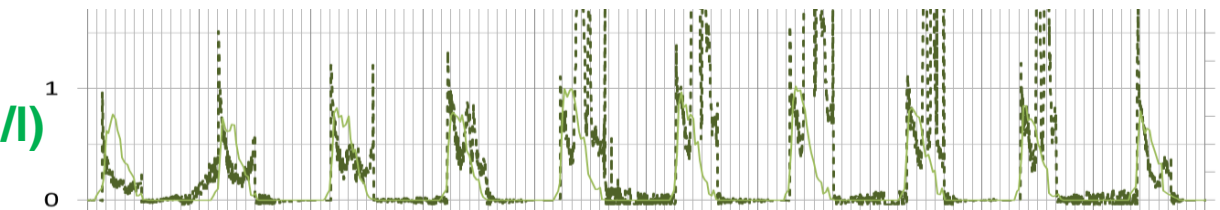


Water level (m)

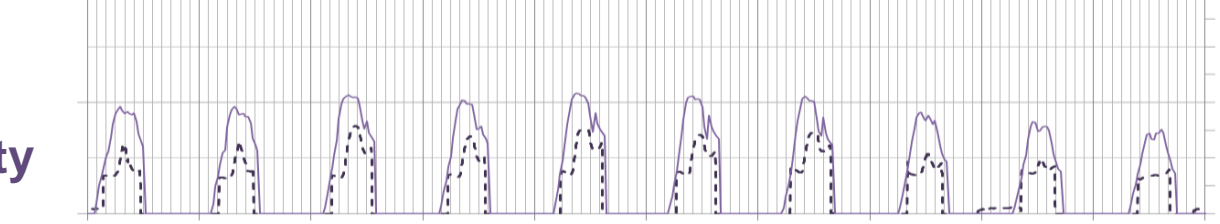


Station
« channel »

SPM (g/l)



salinity

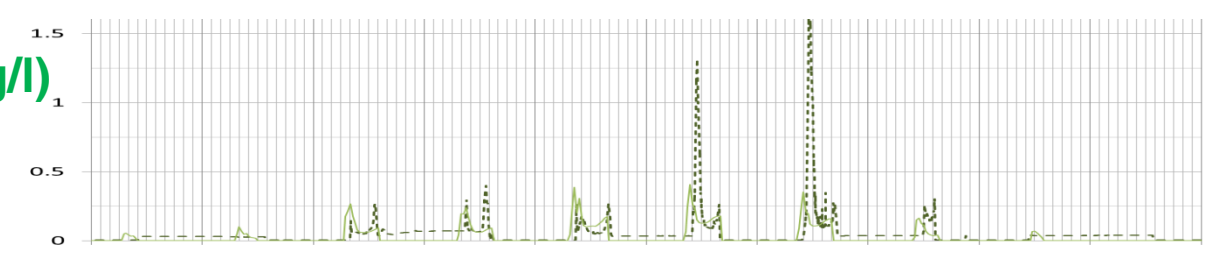
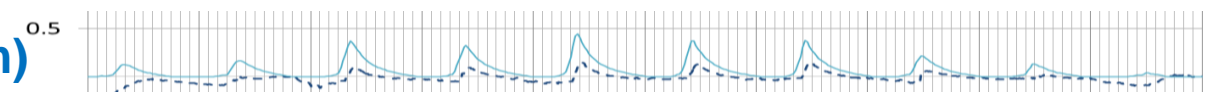


Salinite

Water level (m)

Station
besides

SPM (g/l)

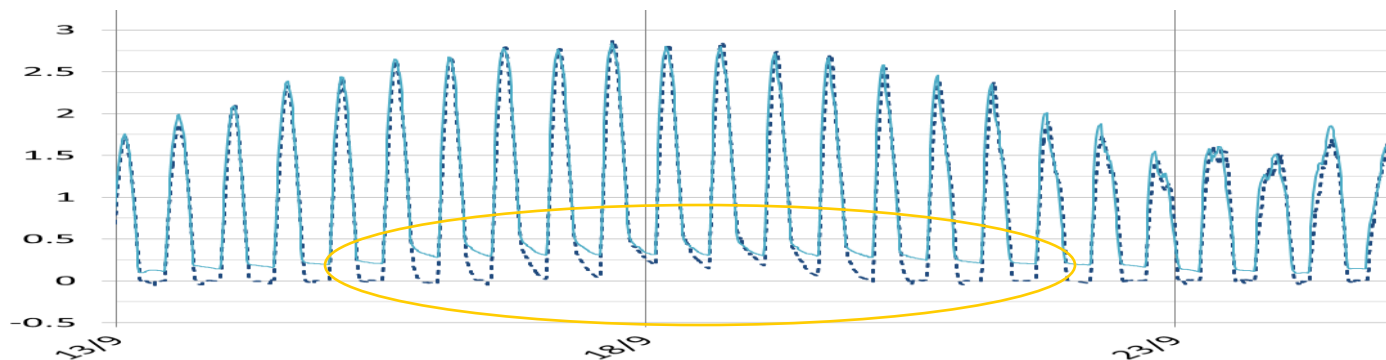


----- observation
——— model

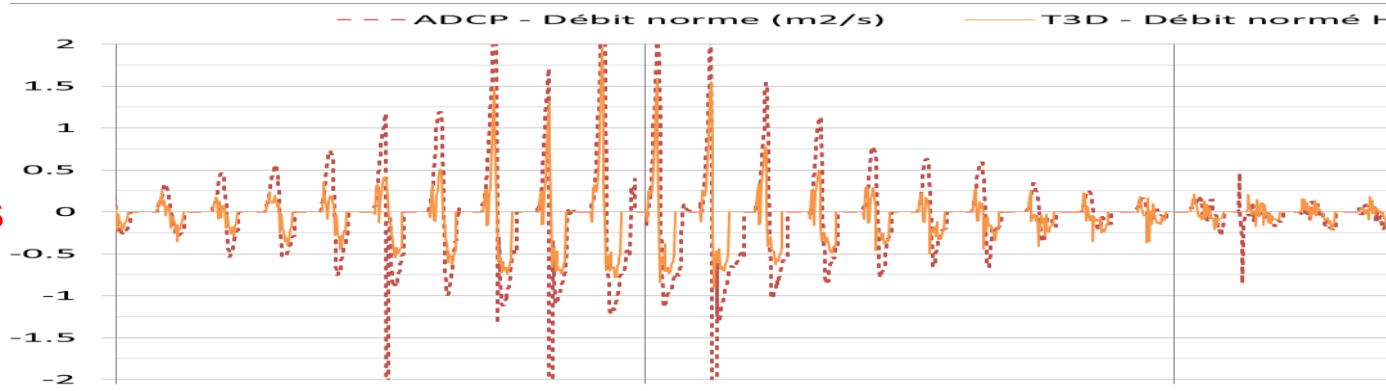
Validation du modèle : dans un chenal de drainage



Water level (m)

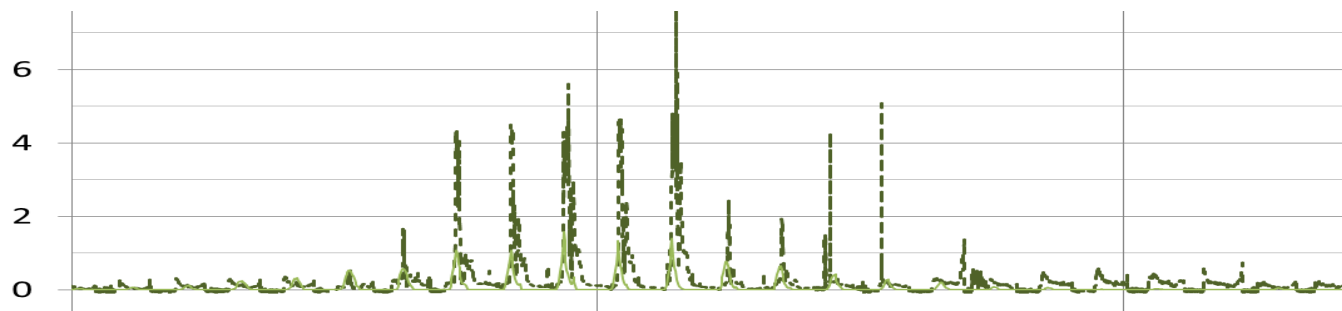


Water discharge m²/s

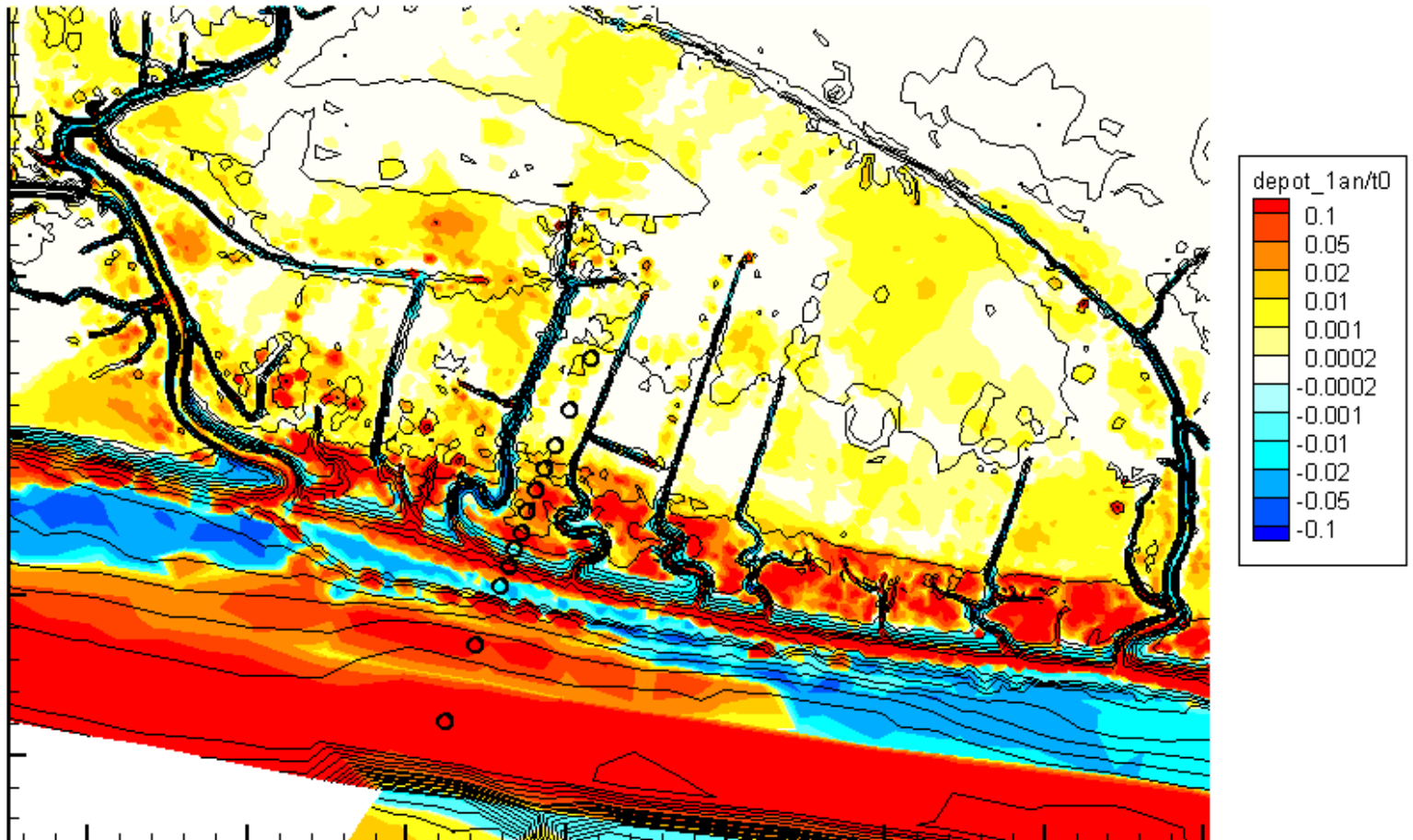


----- observation
—— model

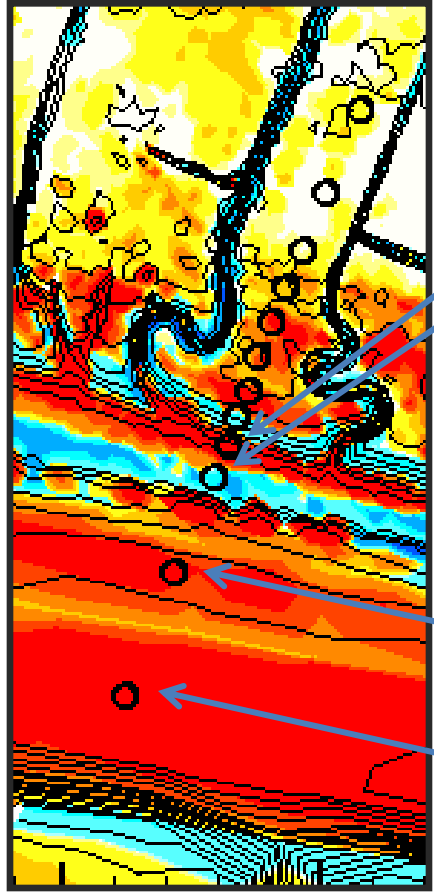
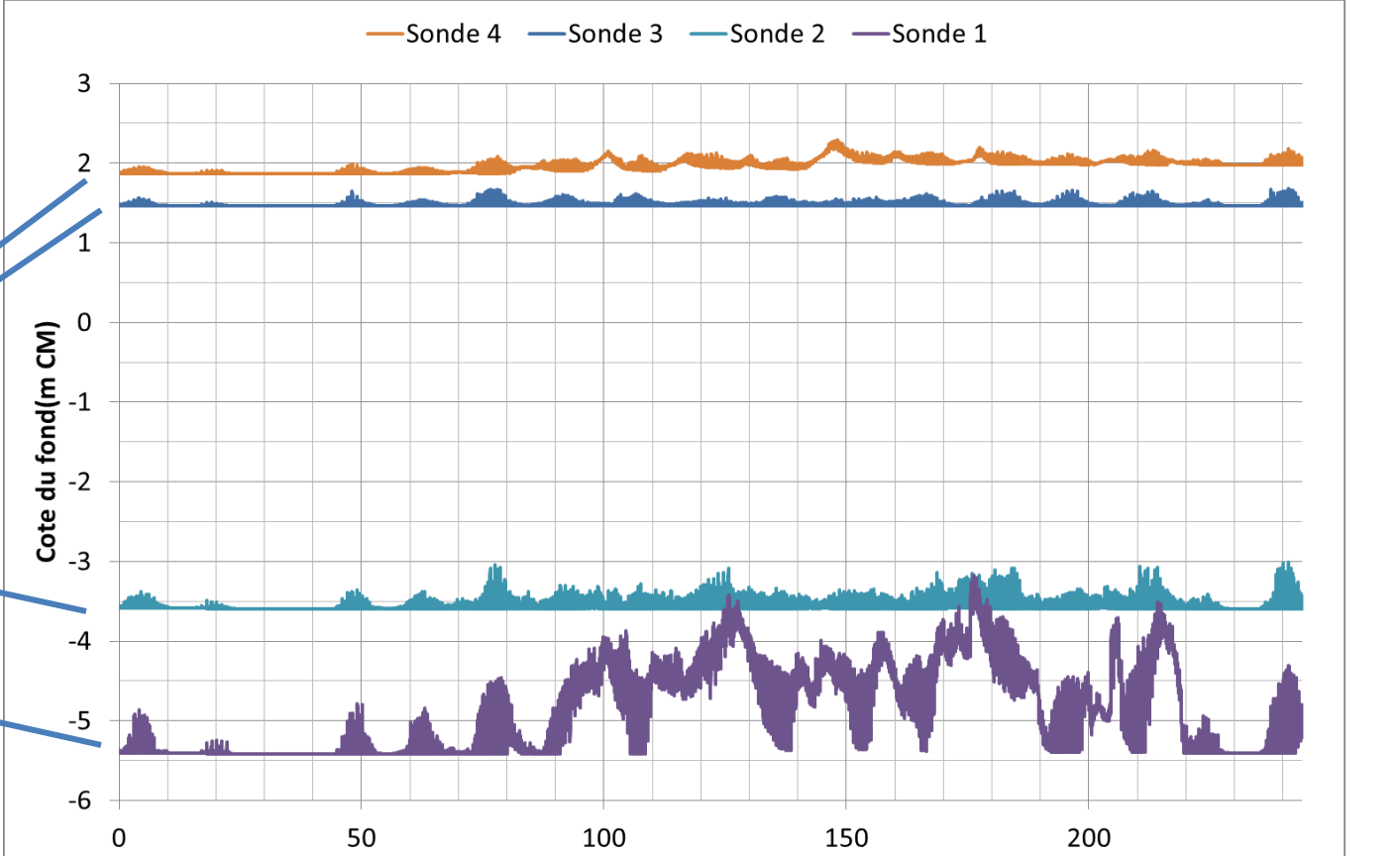
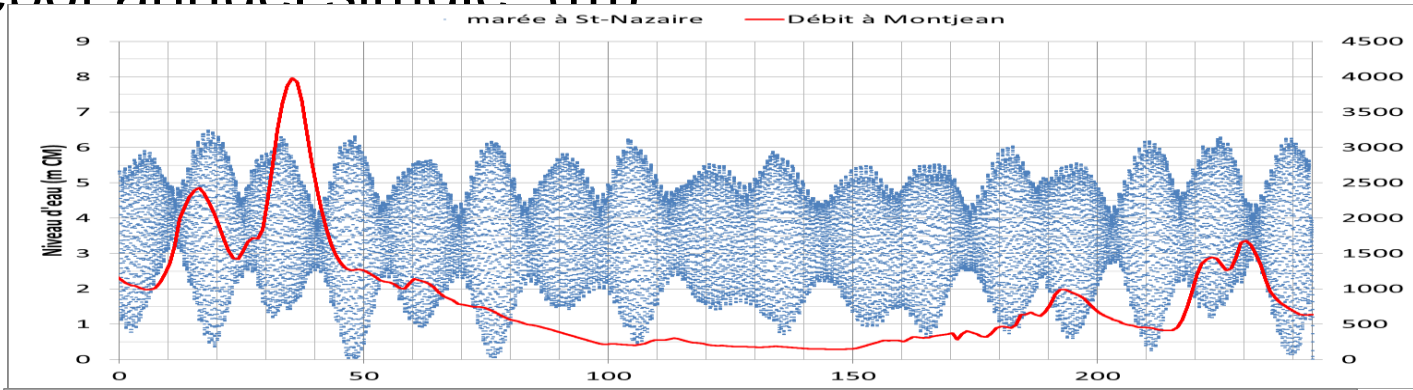
SPM (g/l)



Dépôt annuel simulé (m)

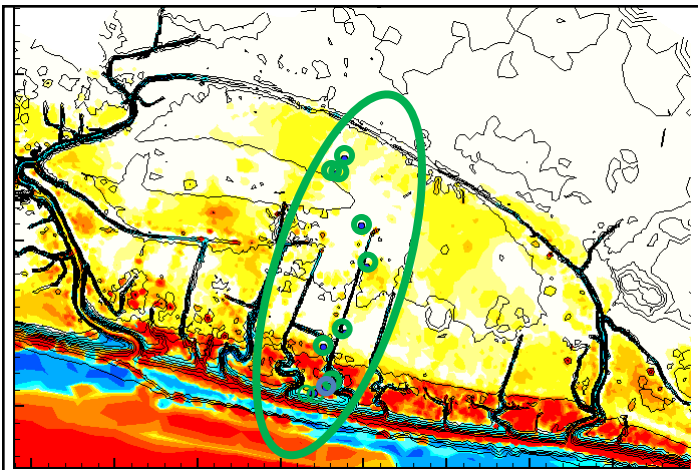
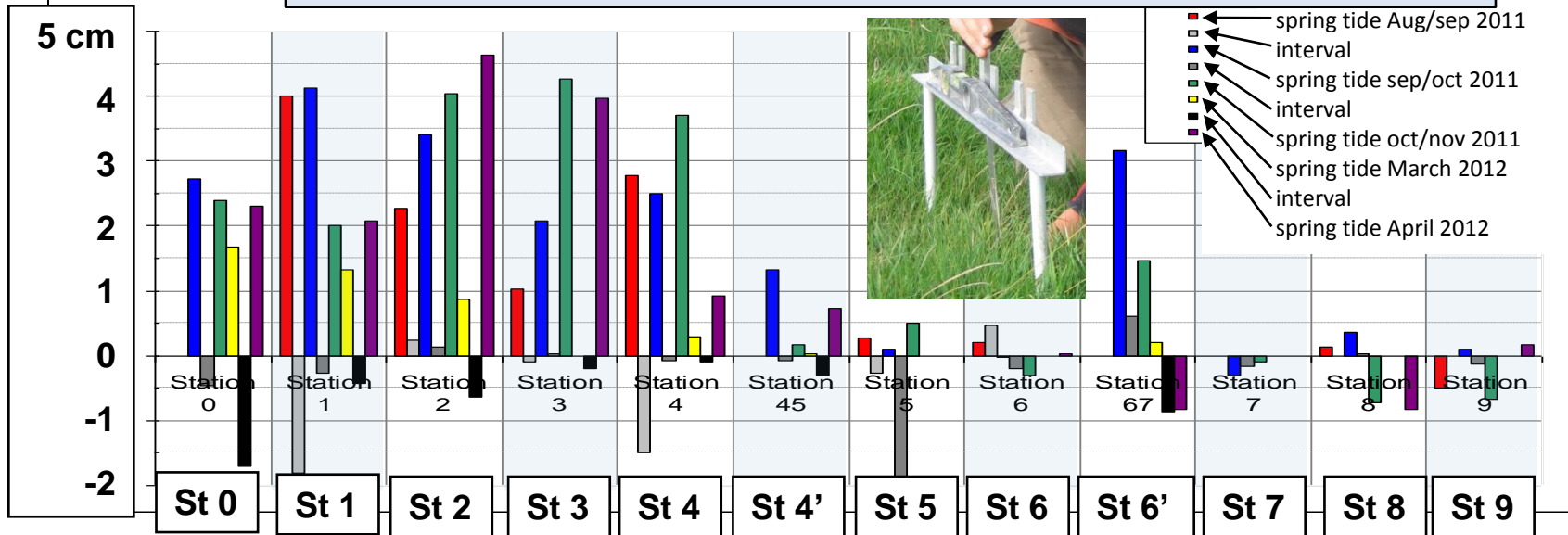


Dénôt annuel simulé (m)

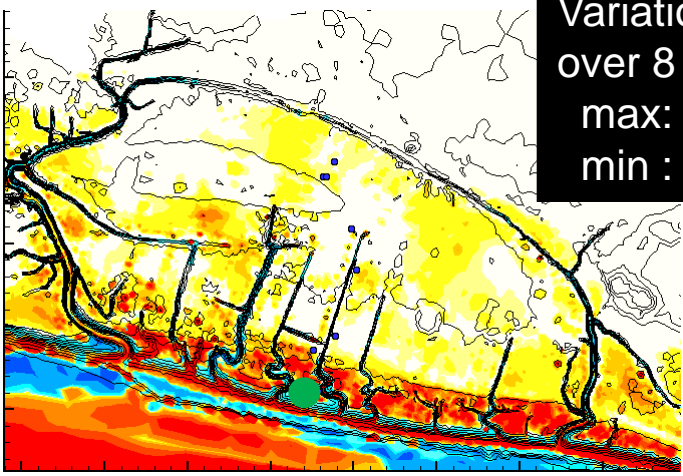
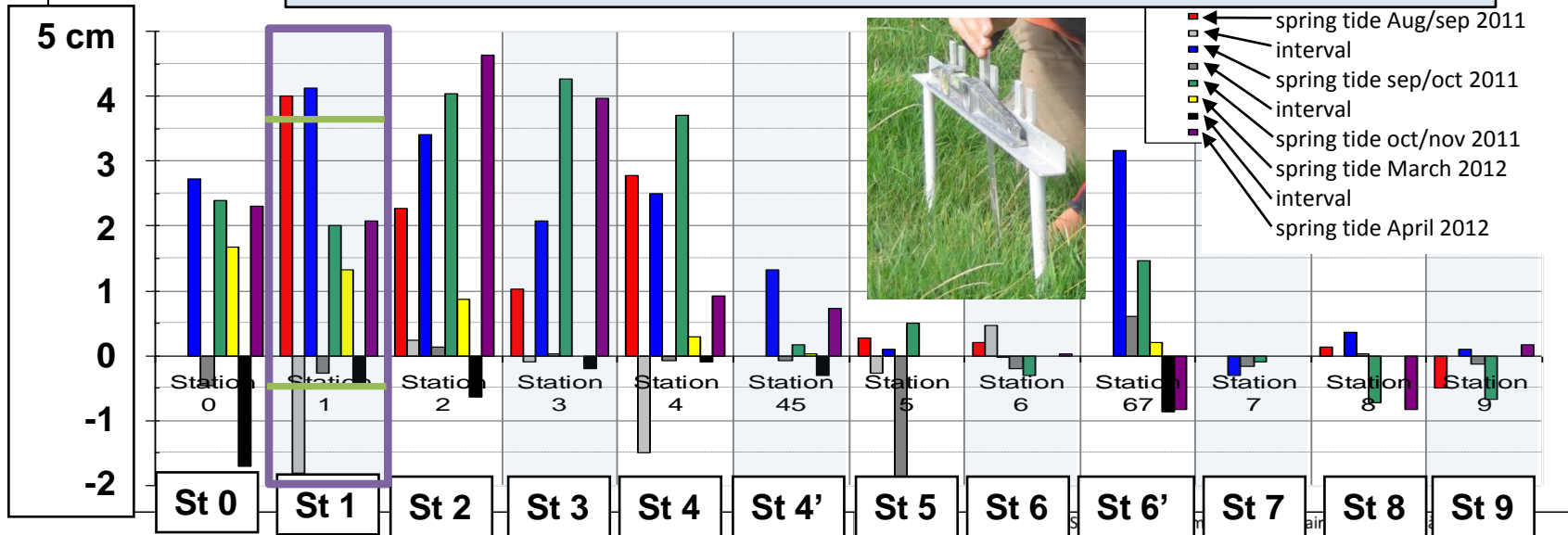


Validation des dépôts ...

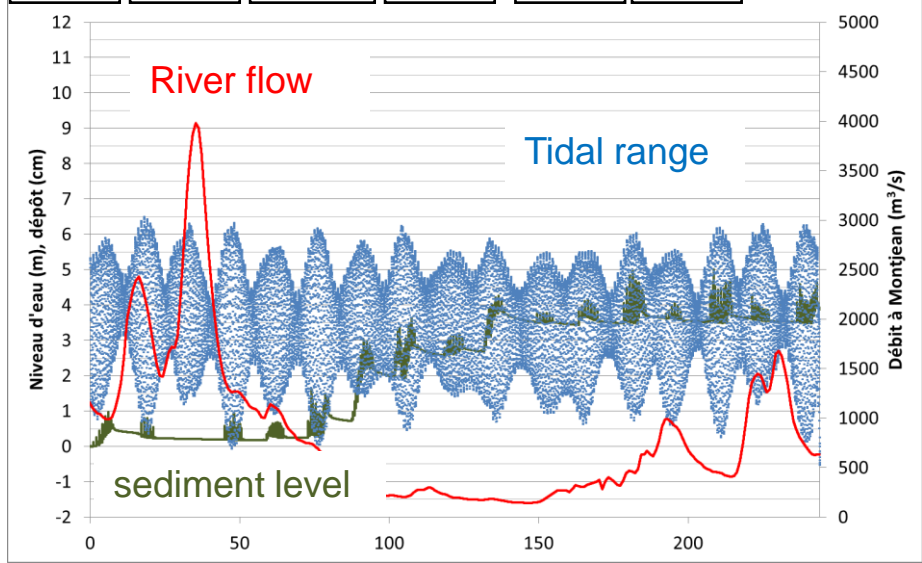
Sediment level variations (cm) around poles over 8 periods



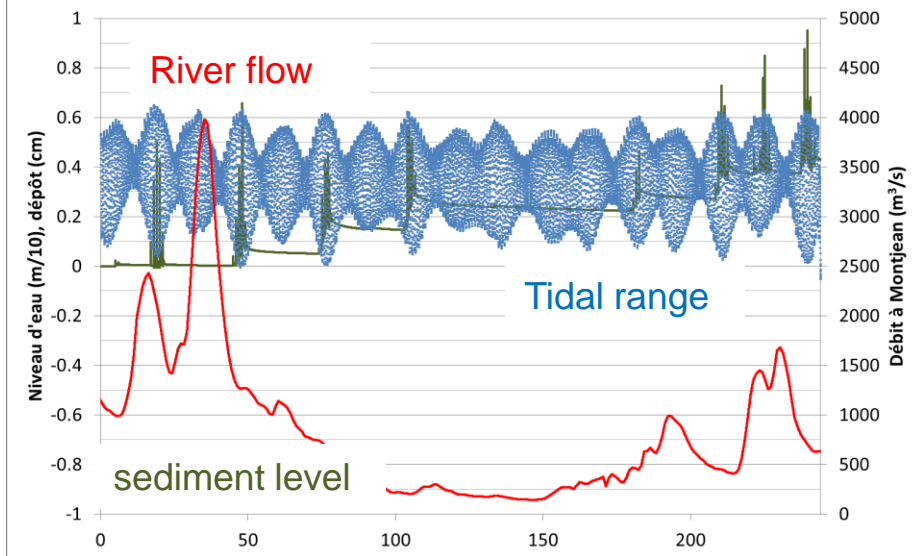
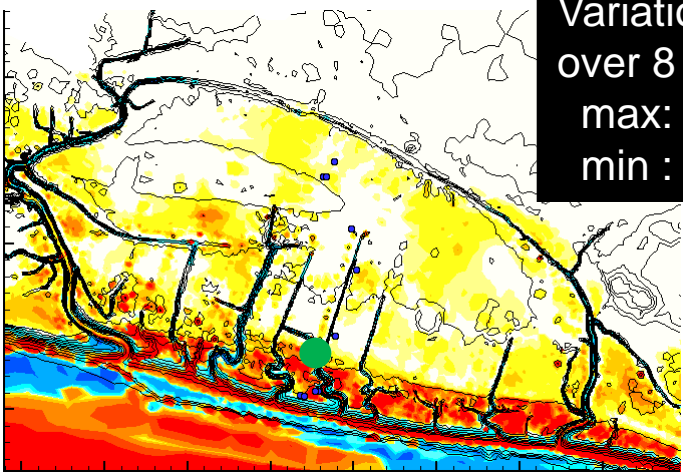
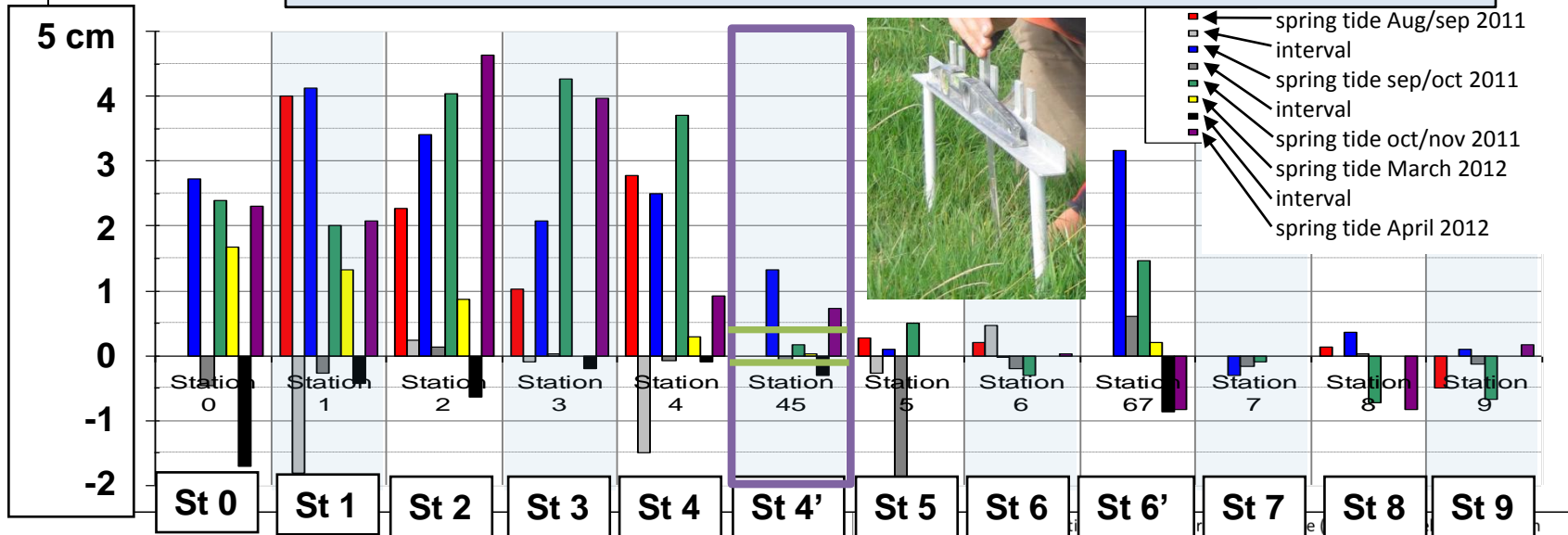
Sediment level variations (cm) around poles over 8 periods



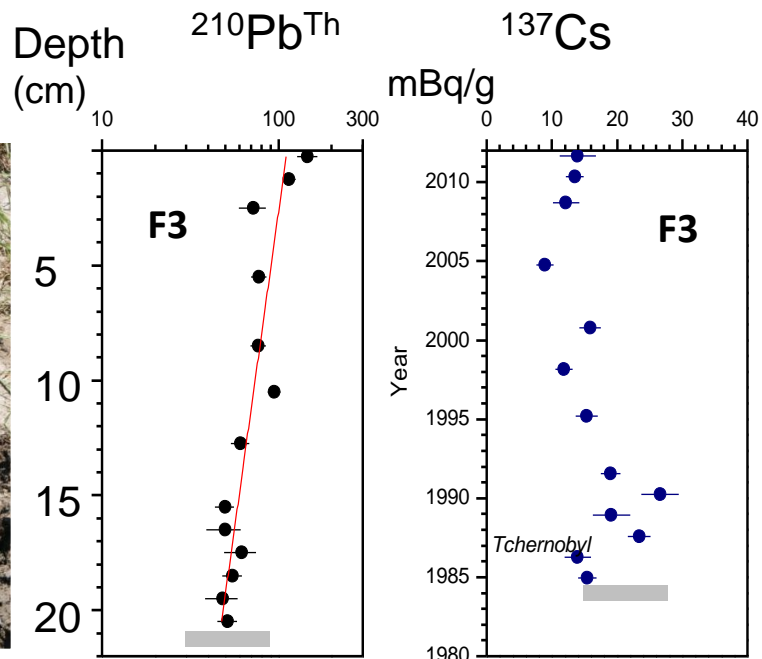
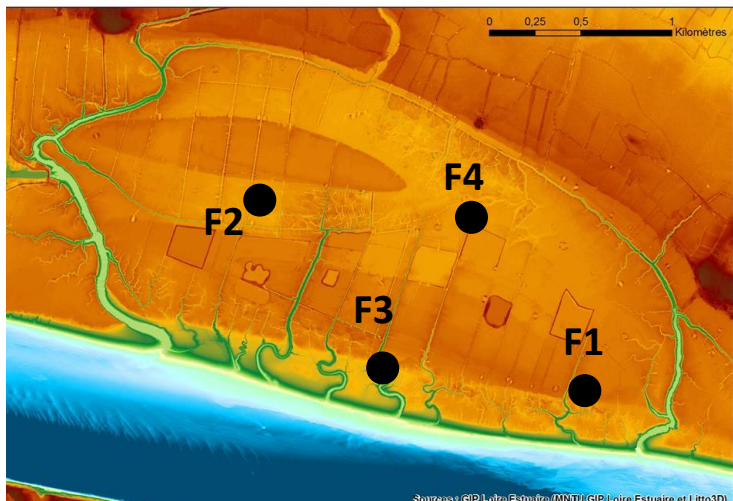
Variation range over 8 days :
 max: 3.7 cm
 min : -0.5 cm



Sediment level variations (cm) around poles over 8 periods



Sedimentation rate from Core datations



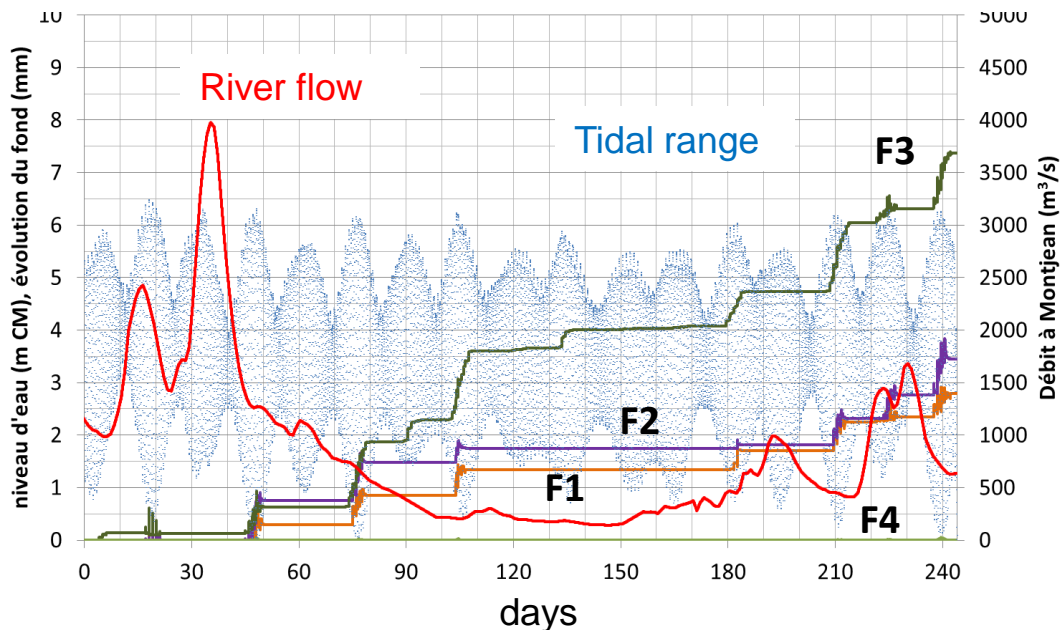
Simulated deposition, extrapolated to 1 year

Schmidt, 2012

core N°	sedimentation speed	accumulation rate	simulated settling rate*
	cm/year	g/cm ² /year	cm/year
F01	0.52	0.56	0.42
F02	0.65	0.65	0.52
F03	0.76	0.84	1.1
F04	0.25	0.31	0.**

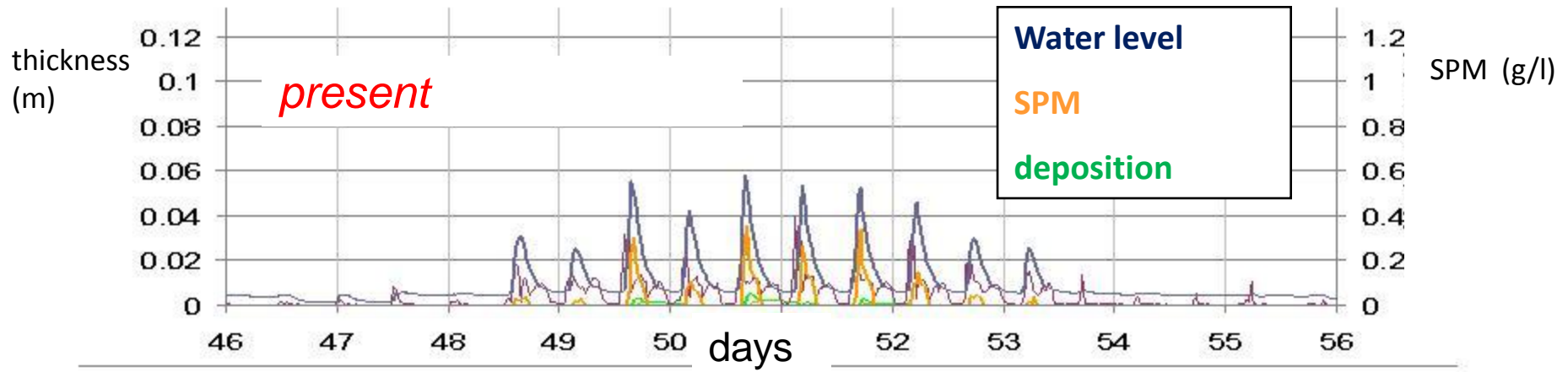
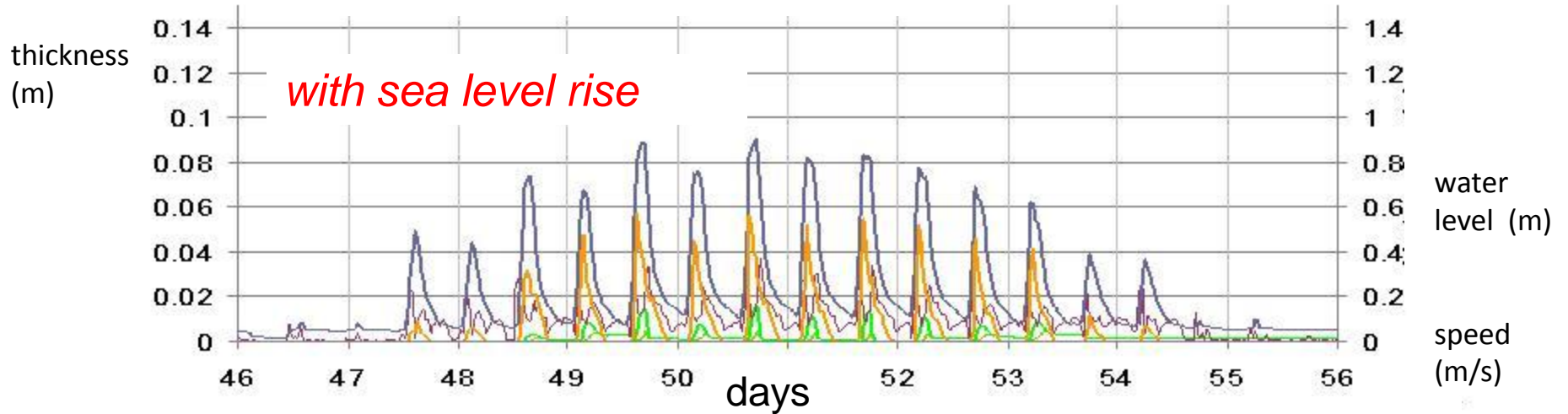
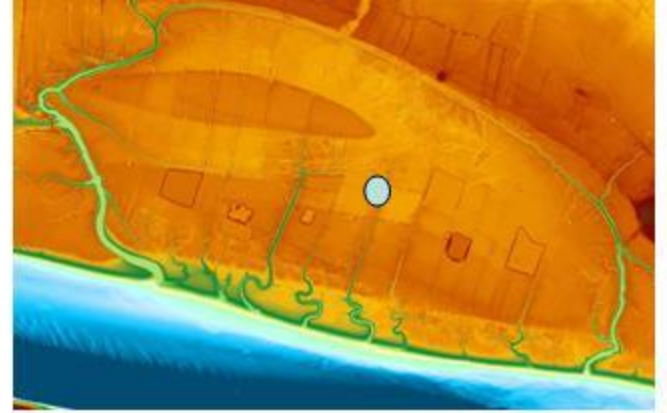
* assuming $C_{sedt} = 1100 \text{ kg.m}^{-3}$

** 0.25 can be found within 200 m



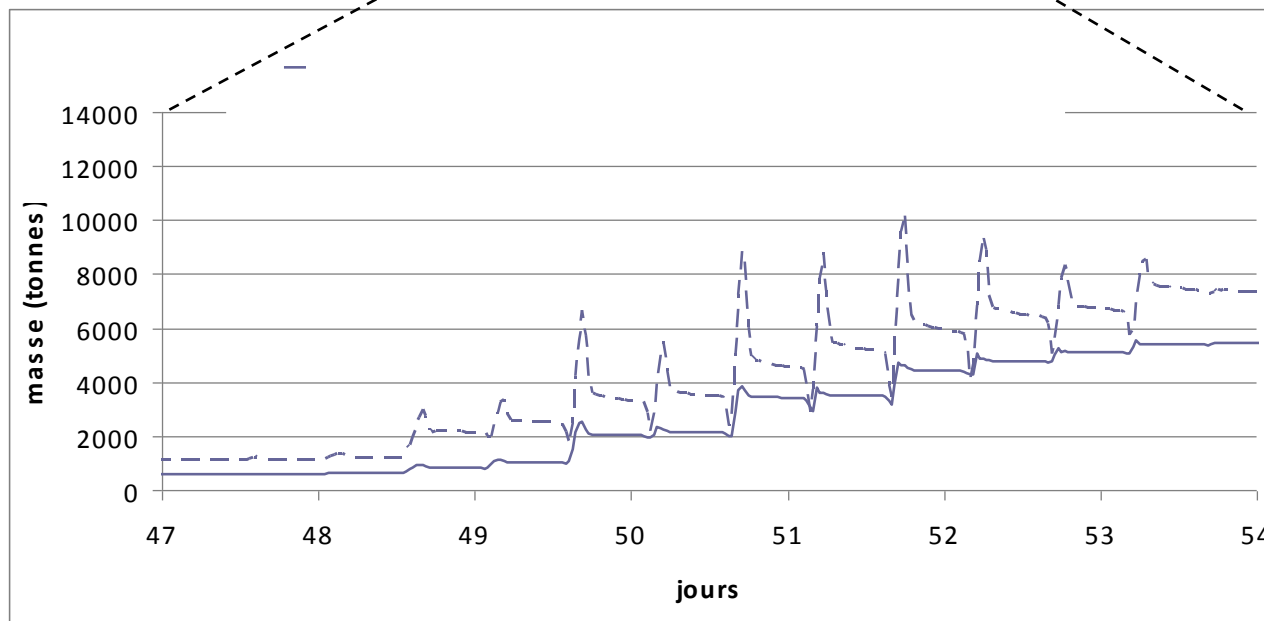
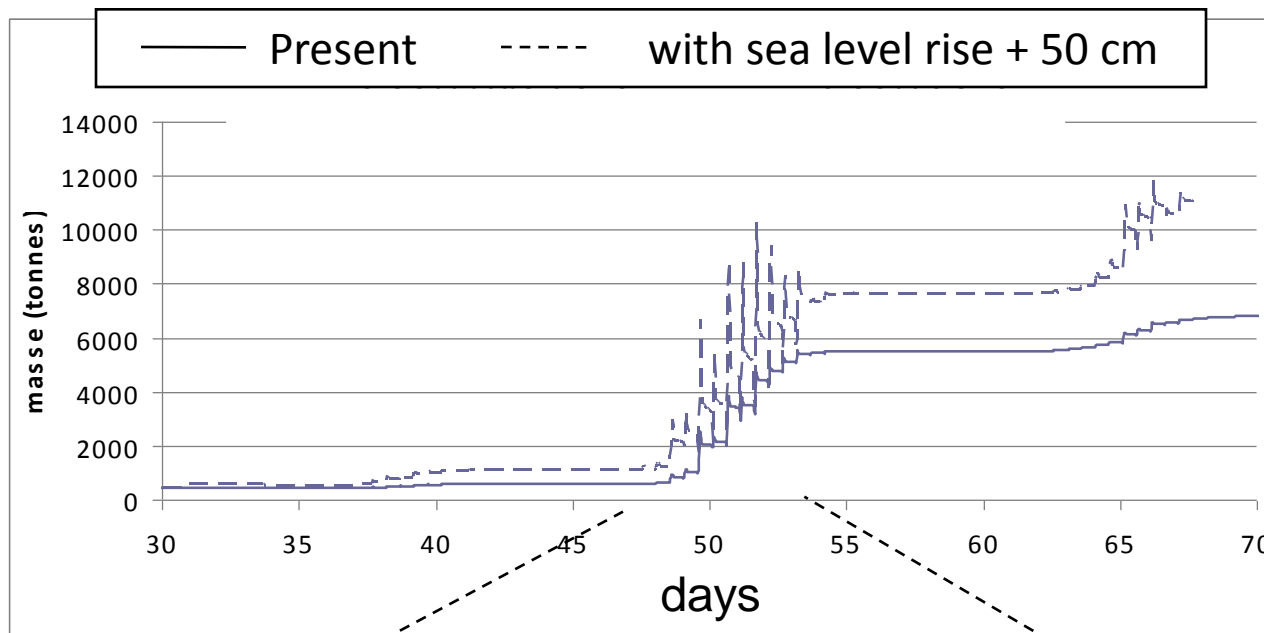
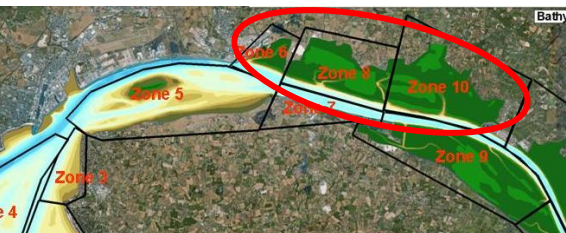
Flooding simulation on spring tide

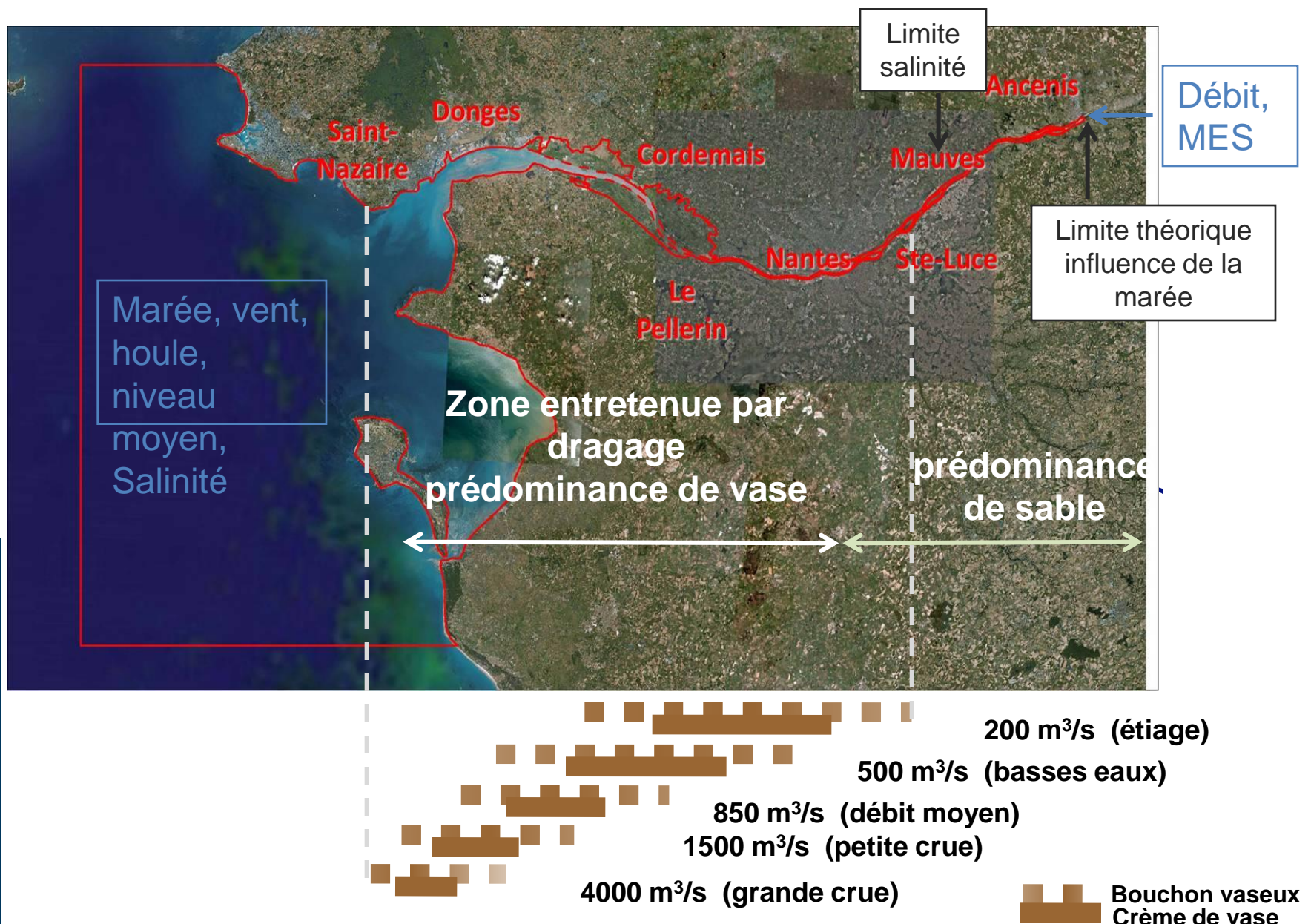
Effect of sea level rise 50 cm
(applied on same topography)



Sedimented masses in the flooding plain

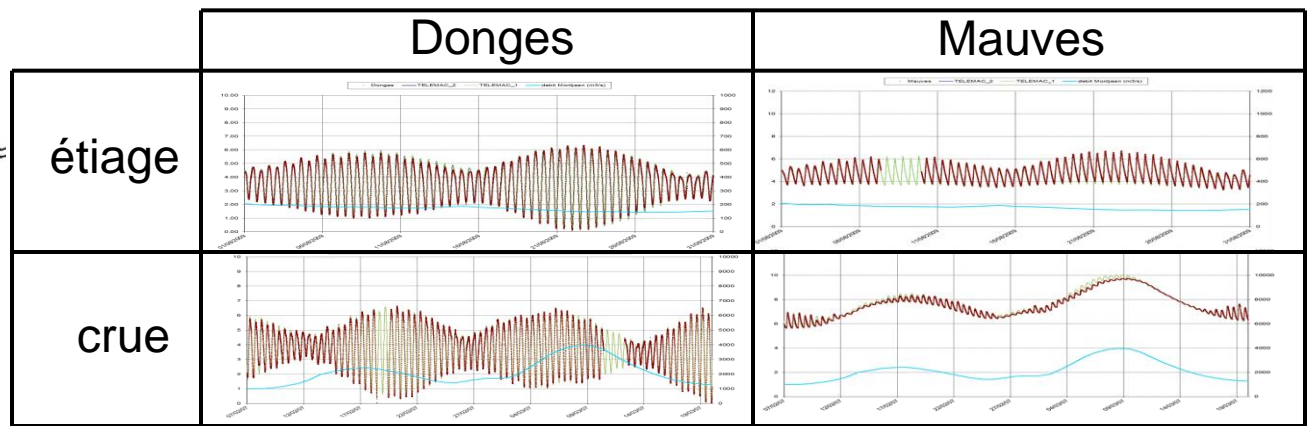
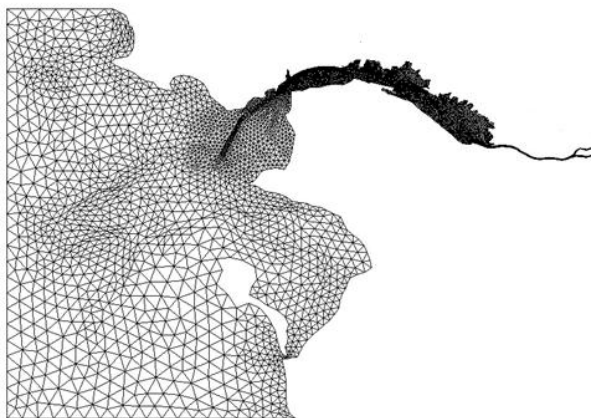
within 1 spring tide...



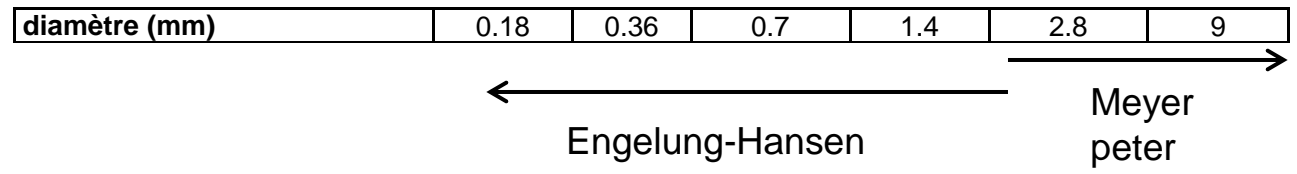


Même maillage que 3D

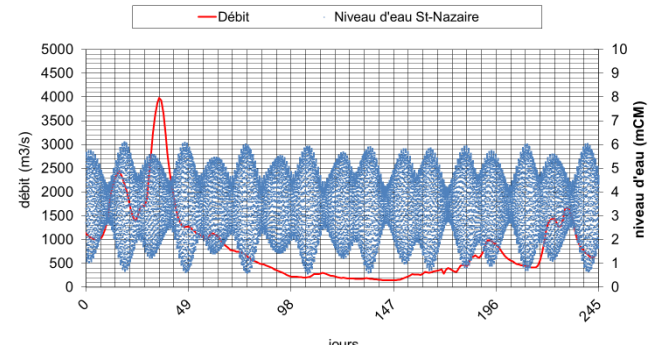
Calage hydrodynamique: plusieurs mois (8 marégraphes)



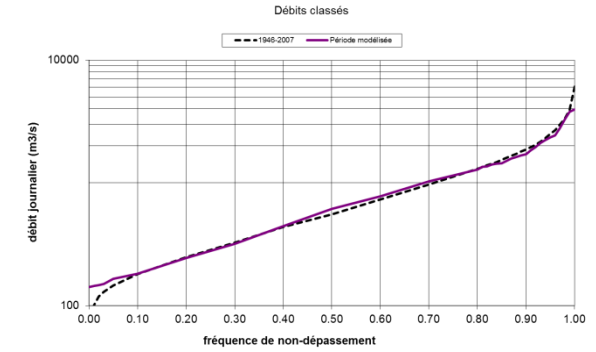
Choix des classes granulométriques modélisées à partir prélèvements hydroexpert 1998 (pk16 à 90)



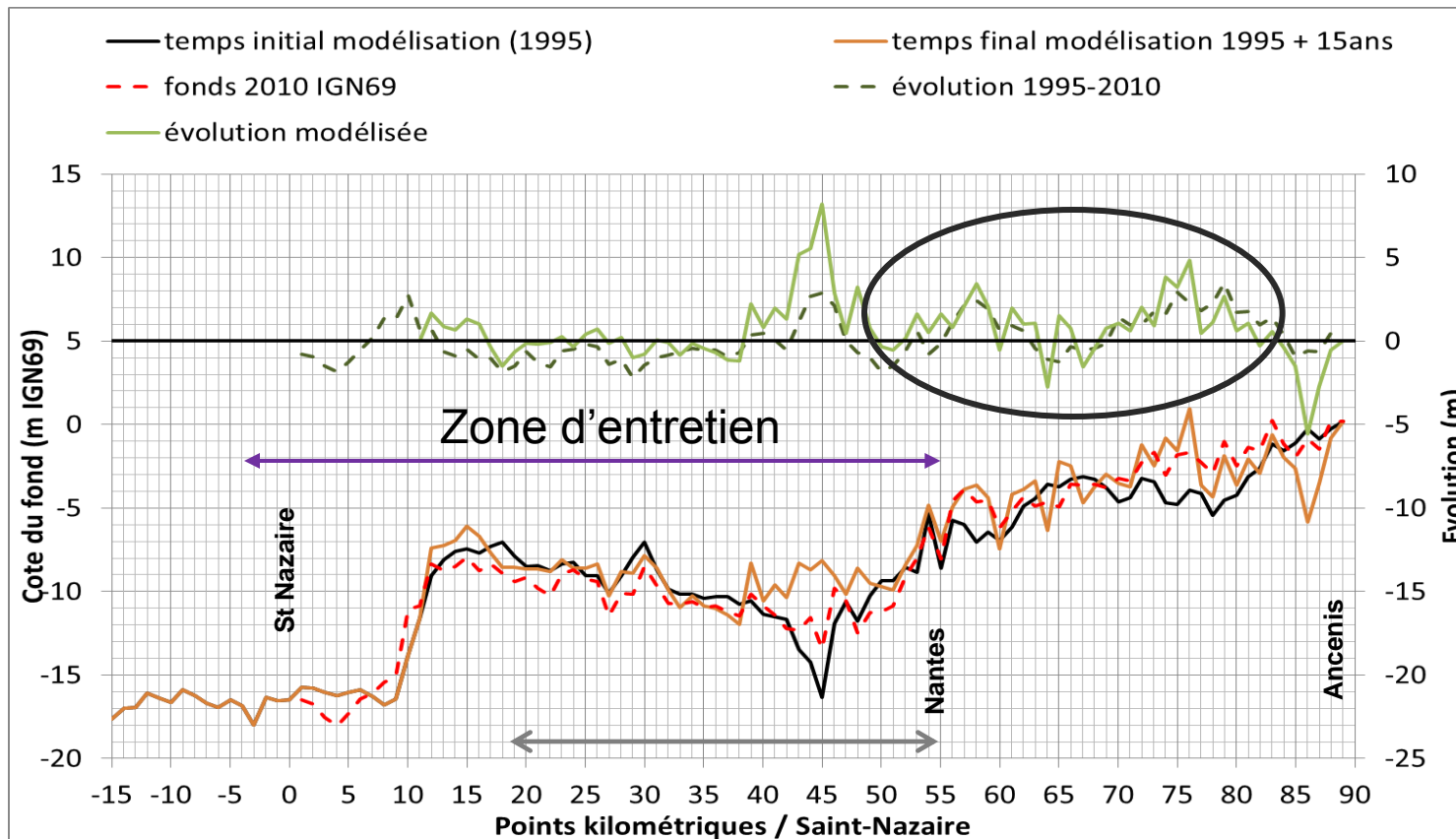
Choix d'un forçage statistiquement représentatif d'une année moyenne



Combinaison 2007 et 2009



Calcul des évolutions mesurées entre 1995 et 2010 forçage représentatif répété 3 fois avec facteur morphologique de 5 soit un équivalent de 15 ans d'évolution



*Apport de
380 ktonnes
de sable sur
l'année
hydrologique*

Dragages en aval de Nantes (1984-2004):= 140 000 tonnes/an de mixture sable-vase

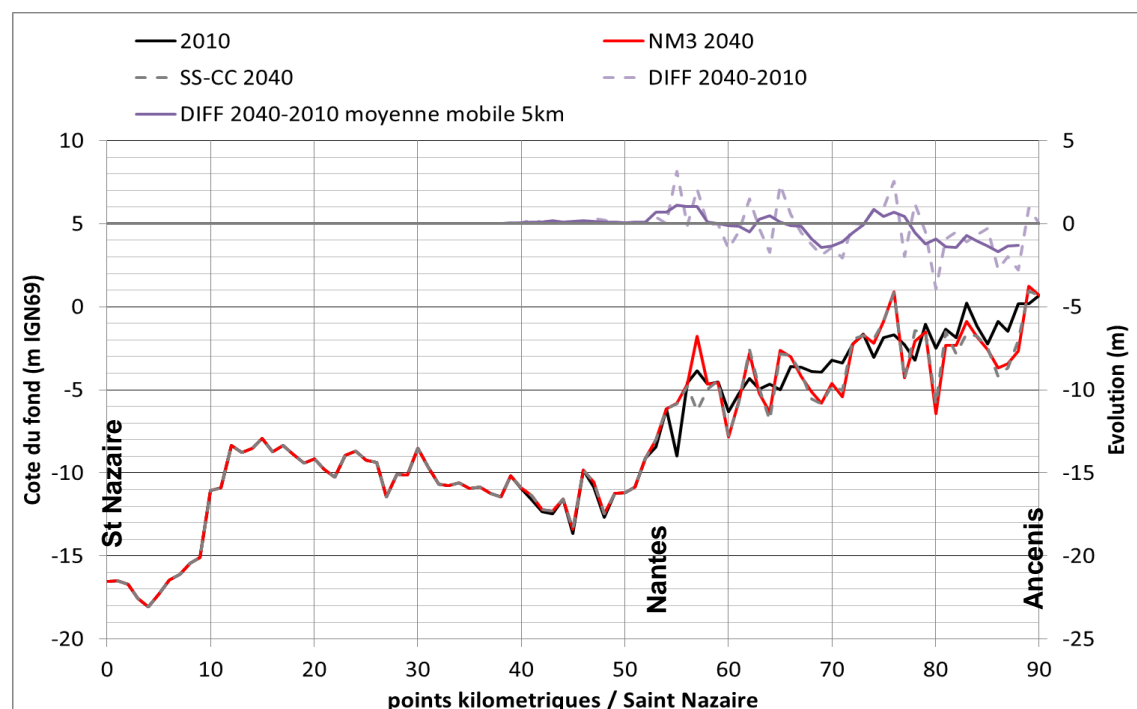
Volume déposé en trop dans le modèle 25 500 m³ /an soit environ 40 000 tonnes/an ce qui peut être entièrement repris par les dragages

Calcul futurs 2010-2040:

On fait le choix de ne pas faire évoluer la partie aval à Nantes étant donné l'entretien.
Le forçage représentatif est répété 6 fois avec un facteur morphologique de 5 soit un équivalent de 30 ans d'évolution

Tous les 5 ans simulés (correspond à un forçage de scenario hydrologique), le niveau moyen et le scenario hydrologique changent.

Exemple d'évolution à 2040 sans changement climatique et avec une variation du niveau moyen (+0,34m à 2040)



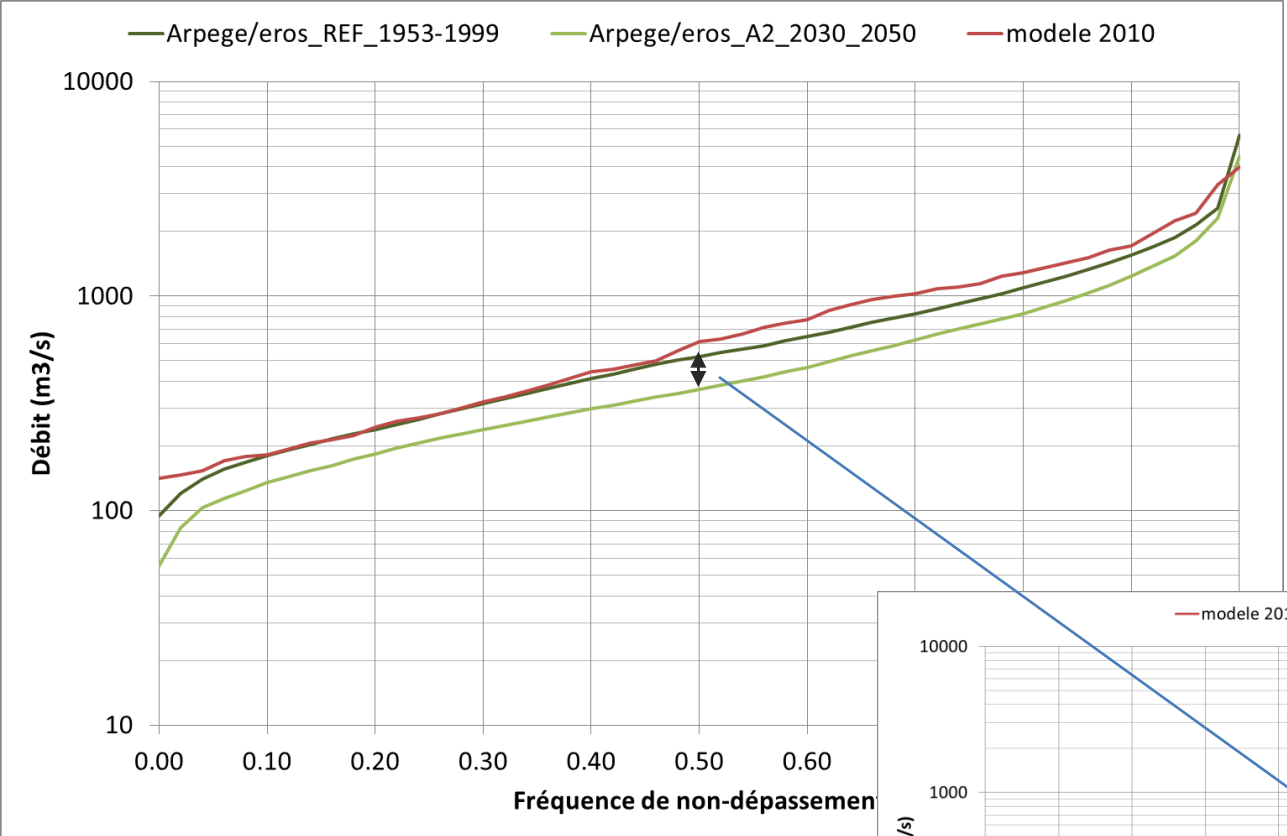
Le modèle 2D donne tous les 5 ans une bathymétrie amont mise à jour pour le 3D

Choix de 4 scénarios de base et de tests de sensibilité:

	Niveau moyen	hydrologie
Scenario 1	Actuel (3,57mCM)	Moyenne Actuelle
Scenario 2	+0,34m à 2040 (correspond à +1m à 2100)	Moyenne Actuelle
Scenario 3	Actuel (3,57mCM)	hydroqual (A2/Arpege/Eros)
Scenario 4	+0,34m à 2040 (correspond à +1m à 2100)	hydroqual (A2/Arpege/Eros)

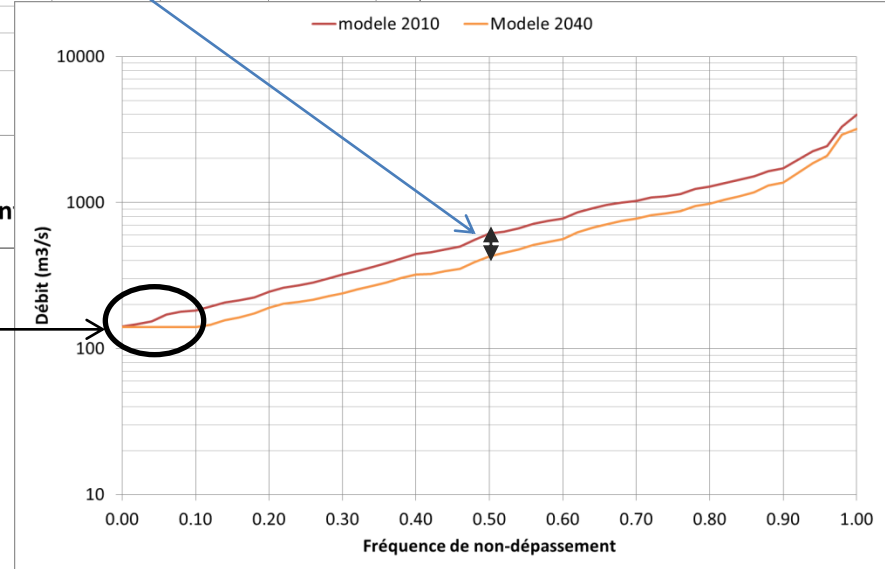
niveau moyen 0 à +0.34 en 2040: hyp. extrême révision post GIEC +1,0m a 2100

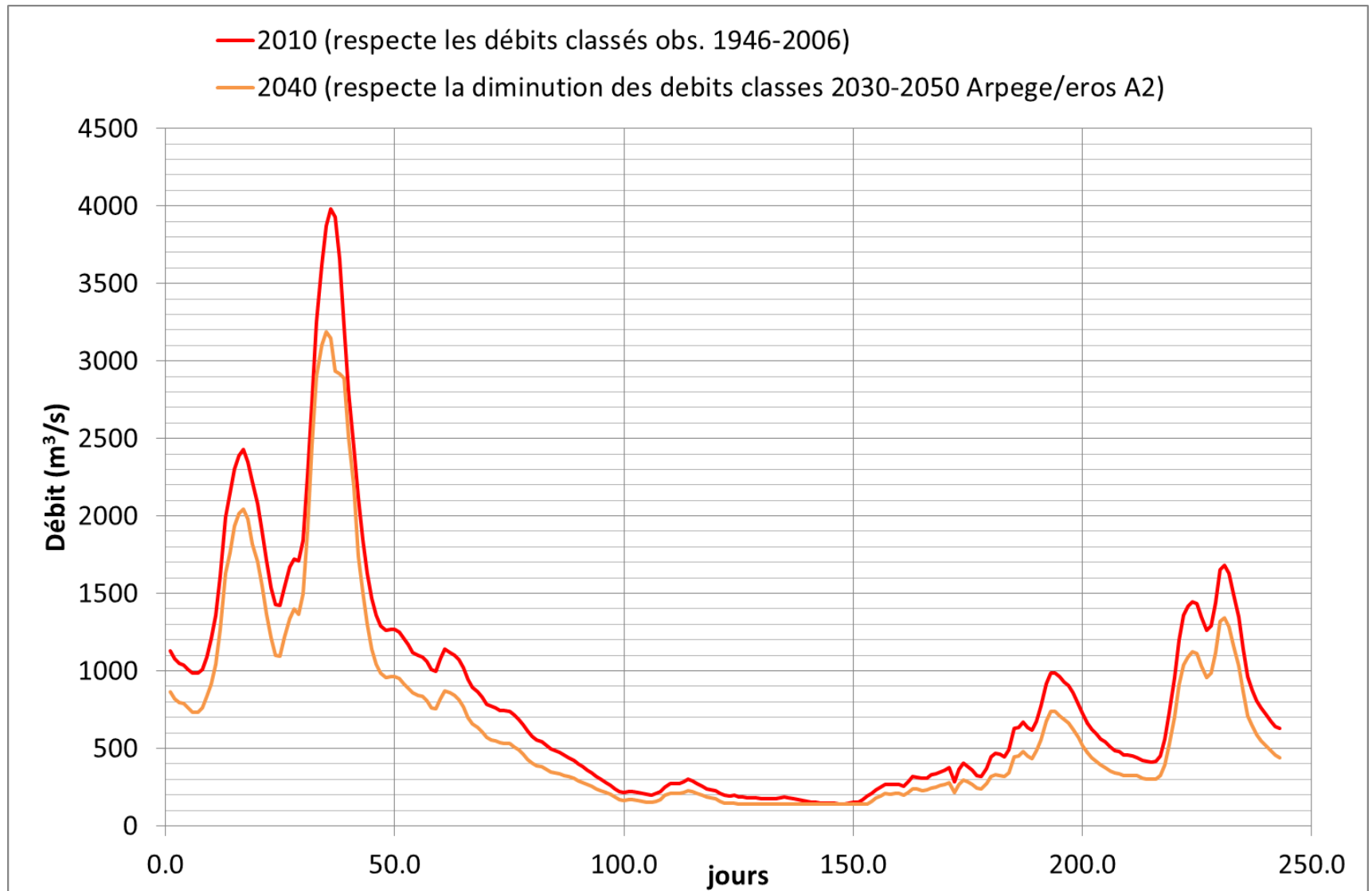
→ + tests de sensibilités sur les 5 dernières années



On applique la diminution de débit à chaque classe

Conservation du soutien d'étiage à 140 m³/s





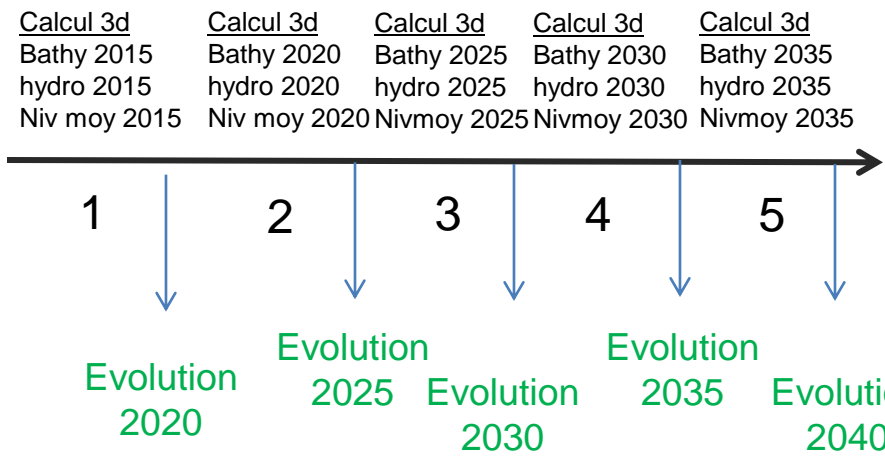


ETAT ACTUEL 2010

Bathy générale 2010

Calcul 3d :
hydro 2010
Nivmoy 2010
sortie graphique 15 mn
120 Go de résultats

→ Evolutions 2015



ETAT FUTUR 2040

Bathy générale 2040

Calul 3d :
hydro 2040
Nivmoy 2040
sortie graphique 15 mn
120 Go de résultats

→ Evolutions 2045

← 3 mois de temps machines (12 processeurs) →

Comparaison
Dynamique estuarienne et Zone submersibles

Calculs de sensibilité



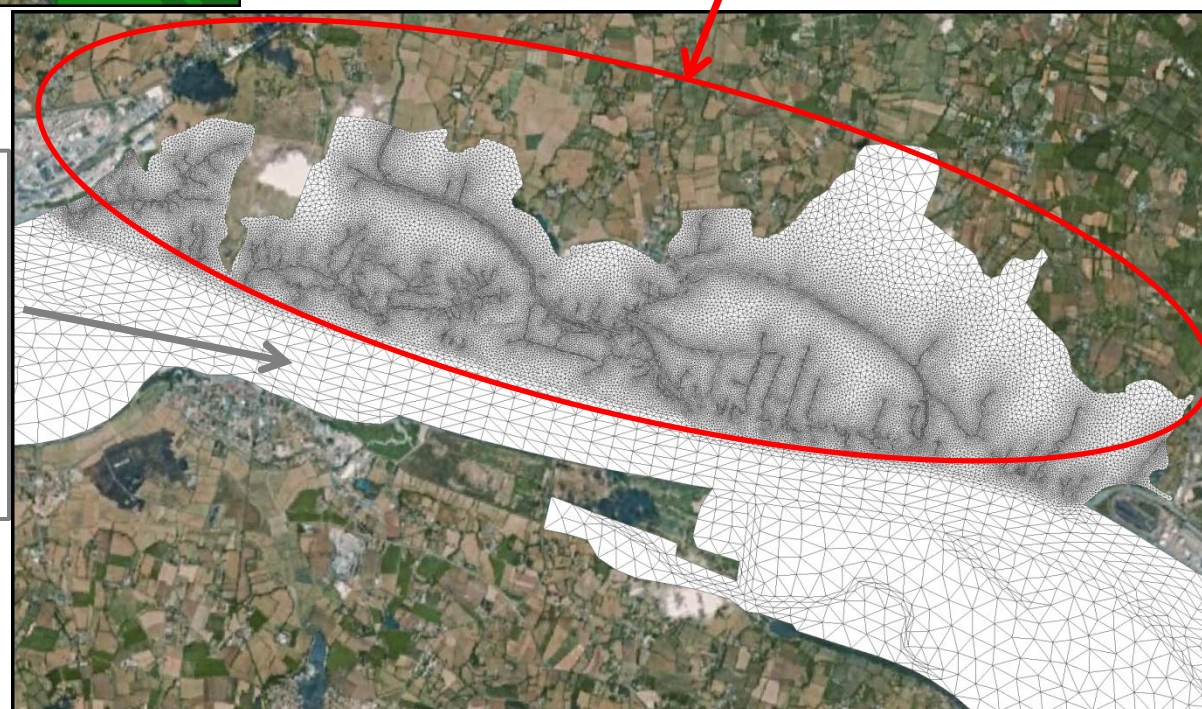
Impact du CC à 2040 sur les zones submersibles :

- la morphologie
- les submersions
- Salinité, MES, dépôts de vase...

impact sur la végétation

Impact du CC à 2040 dans le lit mineur (dynamique estuarienne):

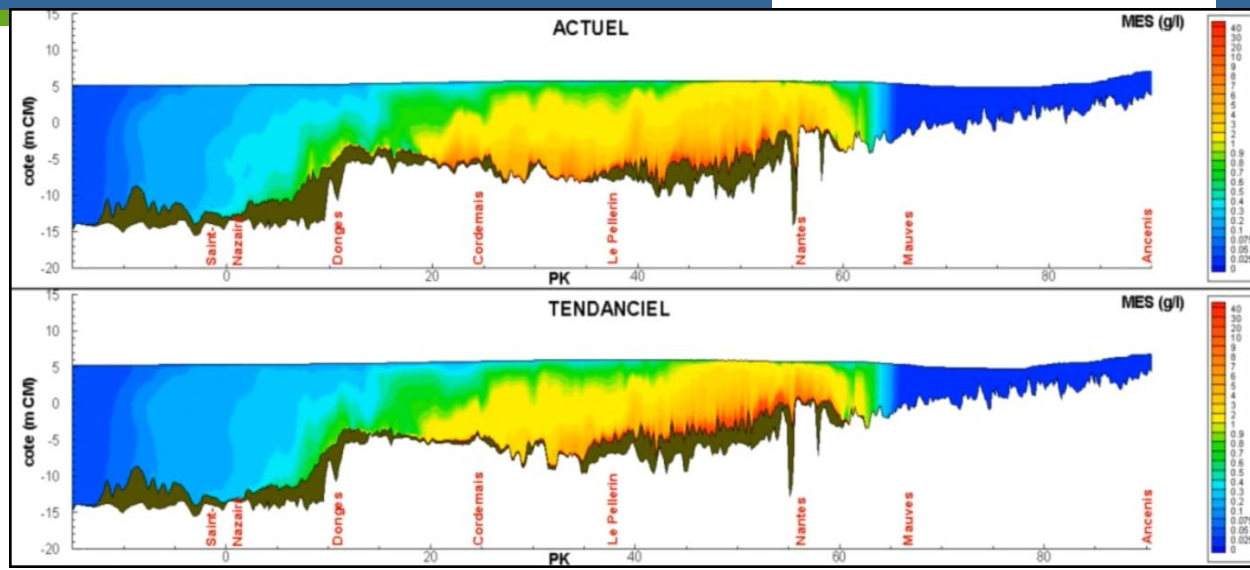
- Bouchon vaseux
- Salinité
- Niveaux d'eau



Modèle3D: Comparaison état 2010 et état 2040

Dynamique estuarienne:

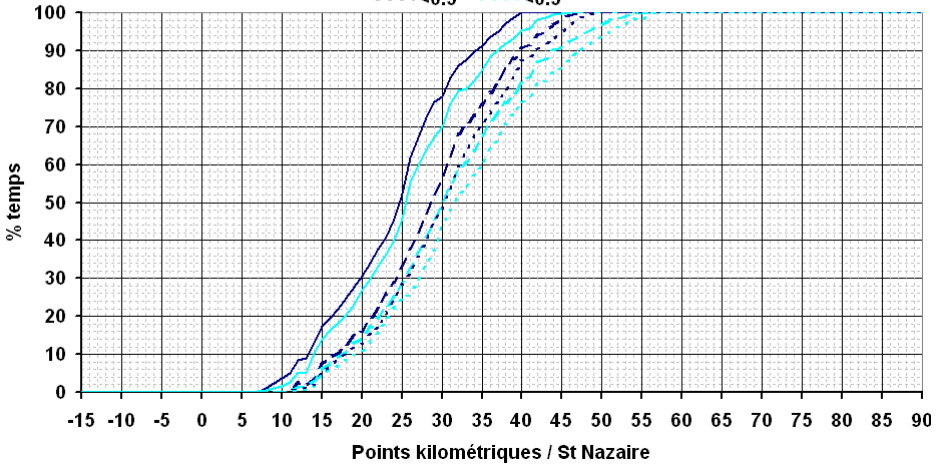
- Hydrodynamique
- Position/taille du bouchon vaseux
- Position de la salinité



SALINITE

Tendanciel 2040
Étude GIP LE

% Temps de non dépassement
 actuel tendanciel
 - - <5 - - <5
 - - <1 - - <1
 - - <0.5 - - <0.5

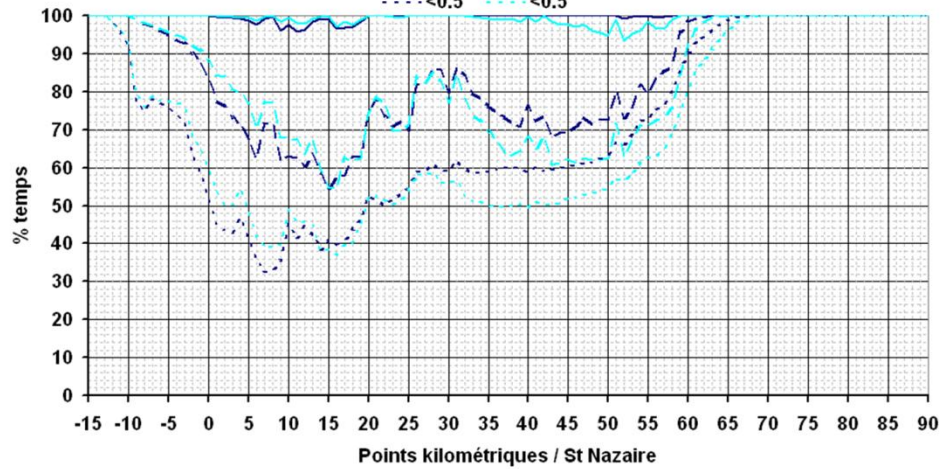


→ Remontée de la salinité

MES

Tendanciel 2040
Étude GIP LE

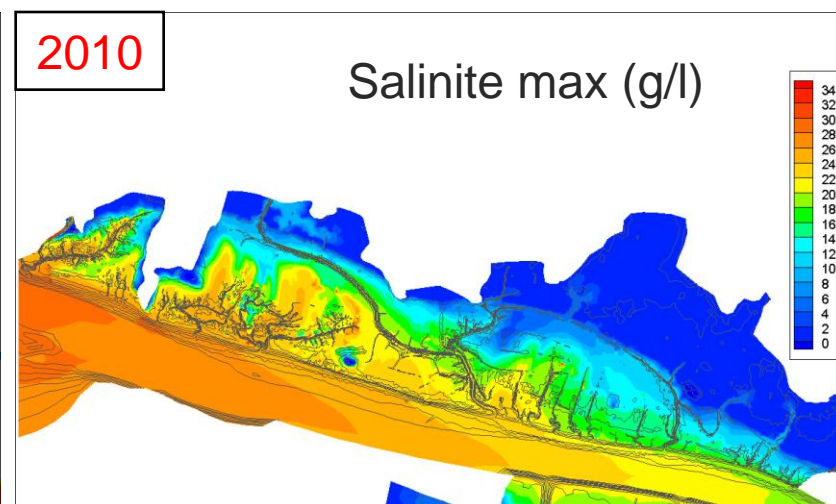
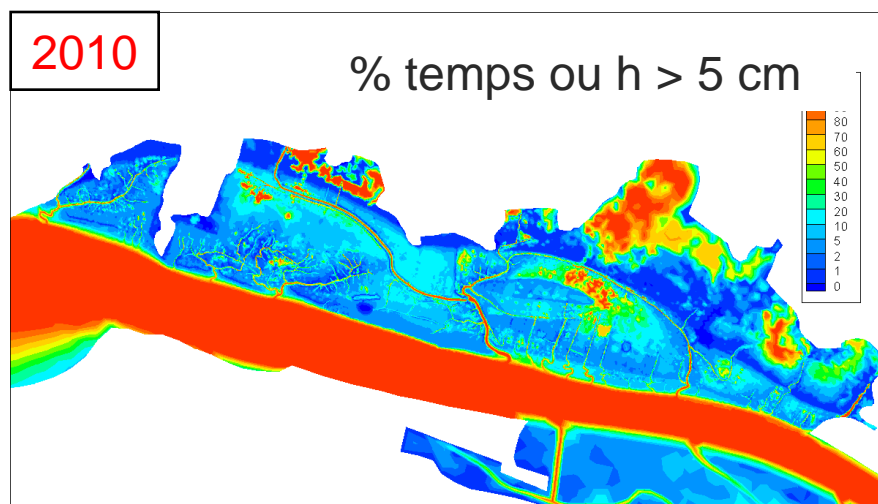
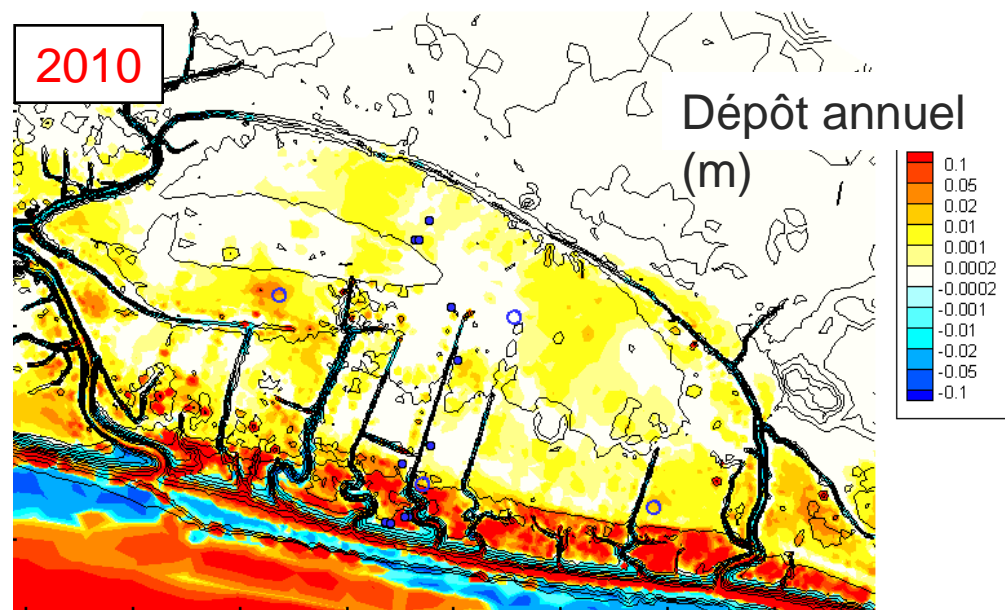
% Temps de non dépassement
 actuel tendanciel
 - - <5 - - <5
 - - <1 - - <1
 - - <0.5 - - <0.5



→ Remontée du bouchon vaseux

Zones submersibles :

- Temps d'immersion
- Dépôts de vase / évolutions des terrains
- Salinité

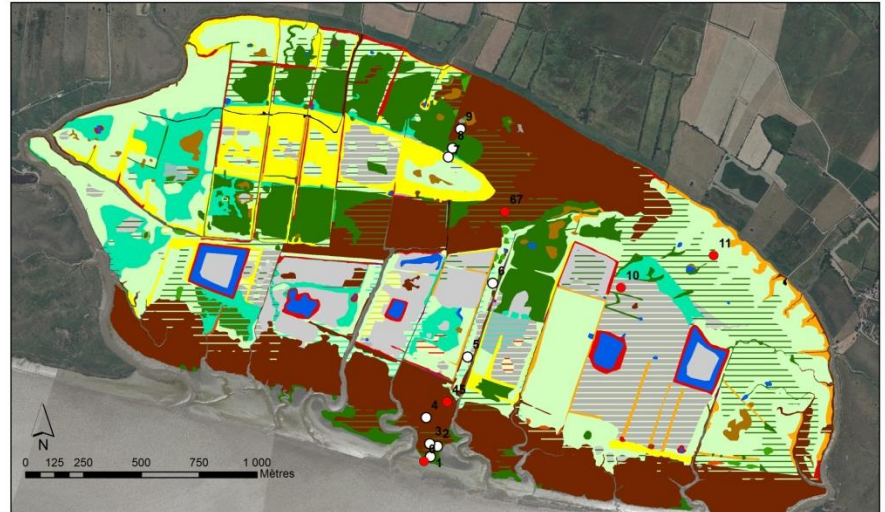


Zones submersibles :

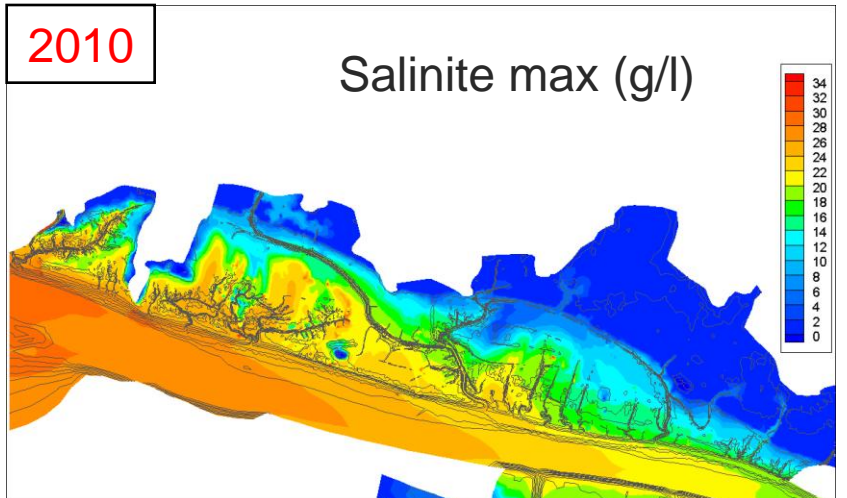
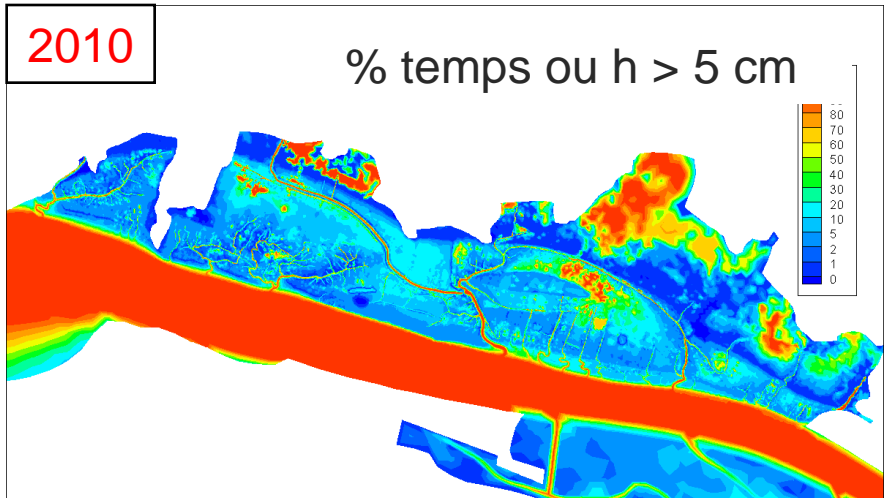
- Temps d’immersion
- Dépôts de vase / évolutions des terrains
- Salinité

Relation avec la végétation:

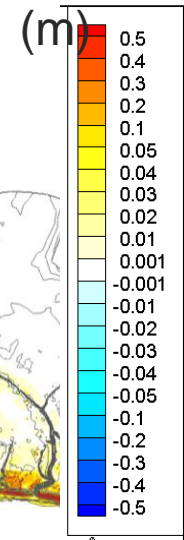
- corrélations possibles entre les facteurs physiques et la végétation en 2010
- Projection de la végétation à 2040 suivant corrélations possibles.



Carto_veg_Lavau_Pipy_2011	Agrostis stolonifera et Polygonum monspeliensis	Alpeceurus geniculatus	Roselières à Phragmites
Végétation de friche herbacée des levées de terres	Agrostis et Juncus Gerardi	"Petites roselières" Scirpales / Caricales	Phragmites australis pure
Prairies méso-hygrophiles	Bourellets de curage à Rubus, Althea, Dipsacus	Scirpale pure	Phragmites et Agrostis
Prairies mésophiles	Lotium perenne	Scirpale paturée	Phragmites et Scirpus
Prairies hygrophiles	Hordeum secalinum	Puccinella et Hordeum maritimum	Éléments anthropiques
	Agrostis stolonifera	Puccinella maritima	Chemin
	Agrostis stolonifera et Elymus sp.	Végétations pionnières liées aux perturbations	Maison
	Agrostis stolonifera et Carex divisa	Atriplex prostrata, Spergularia marina	Autres
		Atriplex prostrata, Puccinella maritima	Arbres et arbustes
		Atriplex prostrata, Agrostis stolonifera, Polygonum aviculare	Mare et plan d'eau
		Scirpus maritimus sur vase nue	
		Deschampsia-Caspiosa	

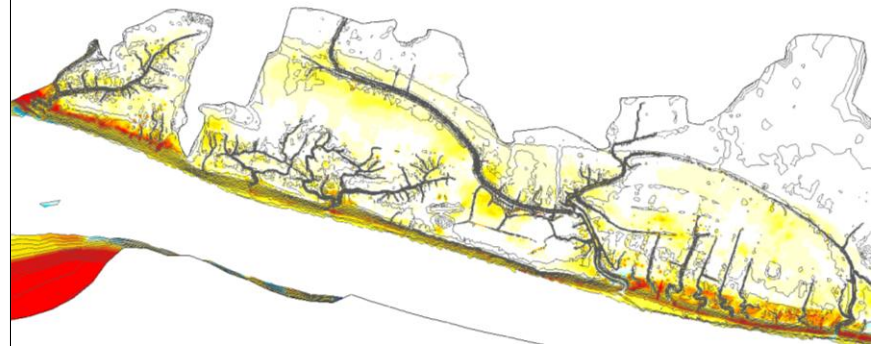


Evolution

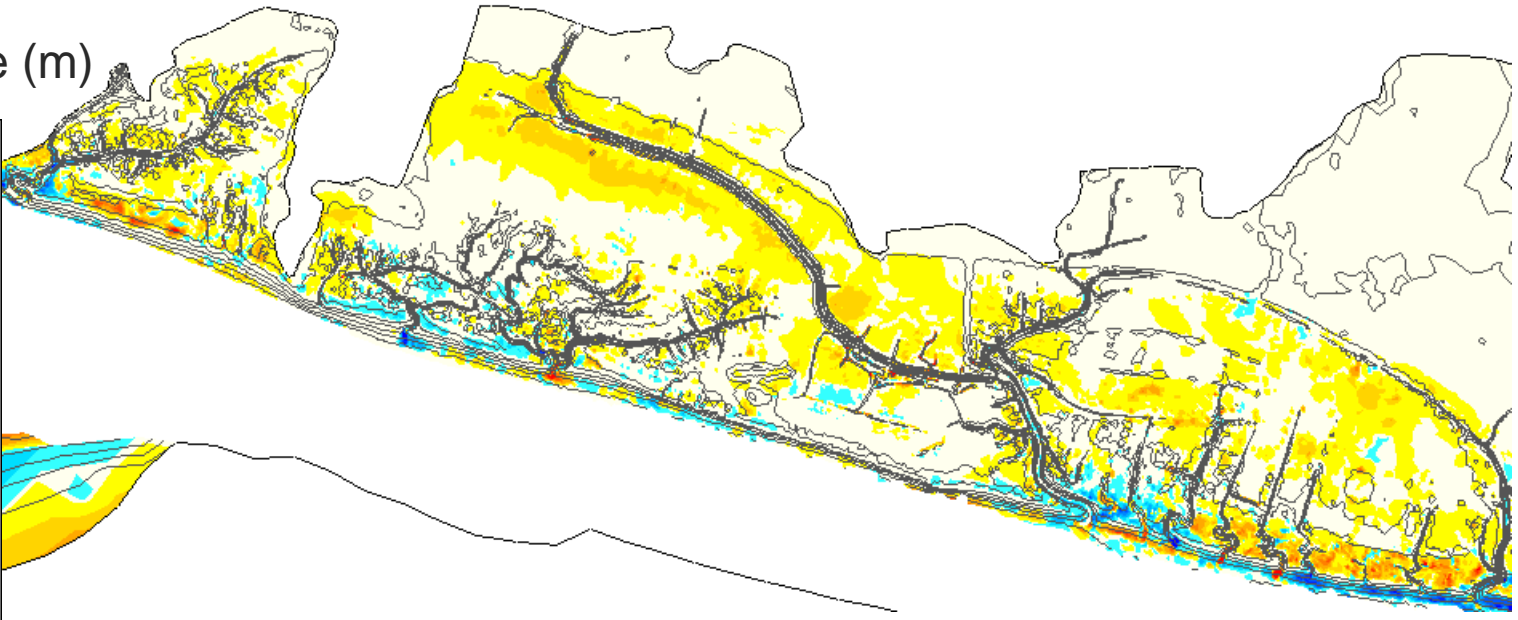
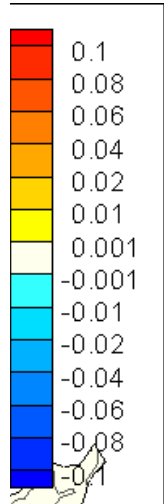


2025 : sans changement climatique

2025 : avec Niveau Moyen (+0,34m à 2040) et hydro A2/Arpege/Eros



Différence (m)



Conclusion

« changement global » : niveau de la mer, tempêtes, régime fluvial, apports sédimentaires, usages bassin versant, dragages, aménagements portuaires, pompage de nappes

Impacts : salinité, bouchon vaseux (\longleftrightarrow régime fluvial) \longrightarrow oxygène
marais plaine alluviale \longrightarrow habitats

Etude en cours sur comportement d'estuaires schématiques représentatifs

Focus sur plaine alluviale : exemple de la Loire
bonne simulation de la dynamique, ordre de grandeur des MES
validation de la sédimentation annuelle
forte dépendance de la position du bouchon vaseux \leftarrow débit

Effet of de l'élévation de la mer (calculs long terme en cours) :
accroissement des échanges (+ 200%)
dépôt net + 40%, soit ~ 40000 t \ll apport sédiment (~ 1 Mt), BVaseux

Mieux connaître évolution des apports sédimentaires



Une problématique générale ?

***si montée du niveau de la mer,
devenir des zones d'estran ?***

Merci de votre attention !



L'équipe projet

- Poster présenté à colloque :
vulnérabilité du littoral, Orléans, déc.2011 →

- post-doc 18 mois de Julie Vareilles
(rapport)

- post-doc / CDD 12 mois de Jérôme
Sawtschuk :

Sawtschuk et Bioret, 2012 :
« *Analyse diachronique de la dynamique spatiale de la végétation de l'estuaire de la Loire* ». Accepté à « *Photo Interprétation* »

Conférence à Intercoh'2013 (Gainesville, USA)

Projet C3E2

Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires

Pierre Le Hir¹, Florence Cayocca¹, Frédéric Bioret², Régis Walther³, Bernard Prudhomme⁴

1 Laboratoire DYNECO/PHYSED, Centre IFRIMER de Brest, BP 70, 29280 Plouzané julhi@ifremer.fr
2 Institut de Géochimie et de Géologie, Université de Bretagne Occidentale, CS93837, 29238 Brest cedex 3
3 SOGREAH, Esplanade de la Loire, BP 218, 39423 Evreux cedex
4 GIP Loire estuaire, 22 rue de la Tour d'Auvergne, 44300 Nantes

Un projet de 3 ans du programme GICC financé par le MEDDTL
Démarçage: 2011 - 4 partenaires, compétences complémentaires

Effets potentiels du changement climatique en estuaire

élévation de température (effets sur biocénoses, saturation en O2)
changement des apports amont
- modification des débits d'étiage, mais aussi de crue ?
- comment vont évoluer les apports de sédiment ? de nutriments ?

variation relative du niveau de la mer
- submersion des rives (besoin MNT précis)
- pénétration accrue de la marée
- modifications hydrodynamiques
- « translation » de la remontée des eaux salées (?)
- évolution du bouchon vaseux
- modifications des érosions / dépôts ⇒ adaptation morphologique

Variation des régimes de vagues et surcotes météorologiques ?

Des questions spécifiques pour cette étude:

- montée du niveau marin dans un estuaire avec rives basses : les submersions vont-elles augmenter, ou la morphologie va-t-elle s'adapter, à quel rythme ?
- (...) si rives escarpées, le bouchon vaseux sera-t-il simplement traduit vers l'amont ?
- conséquences de ces évolutions sur la végétation (berges et lit majeur) ?
- la nature sédimentaire des fonds de l'estuaire va-t-elle changer, à quel rythme ?
- impact d'une réduction forte des apports de sédiments fins en amont ?

Des mécanismes de couplage, incontournables:
des changements de forçage entraînent des variations hydrodynamiques, qui modifieront les transports sédimentaires, et feront donc évoluer la bathymétrie. A leur tour, les changements bathymétriques influencent la propagation de la marée et des vagues : c'est le « couplage morphodynamique »

Conséquences en termes d'habitats
(« fluviaux », « marins » et « terrestres »)

5 « work packages » pour le projet :

- scénarios de forçage
- morphodynamique d'estuaires schématisés (modèle générique)
- échanges hydriques et sédimentaires entre lit majeur et lit mineur
- prospective Loire (modélisation « réaliste »)
- estimation incertitudes, indicateurs & transfert vers gestionnaires

Exemple de résultat attendu avec le « modèle générique »
Résultat d'une simulation de Hibma (2003)

Perturbation initiale

Formation de chenaux et de bancs dans la moitié amont de l'estuaire

Les flèches représentent le courant résiduel de marée

Application à l'estuaire de la Loire

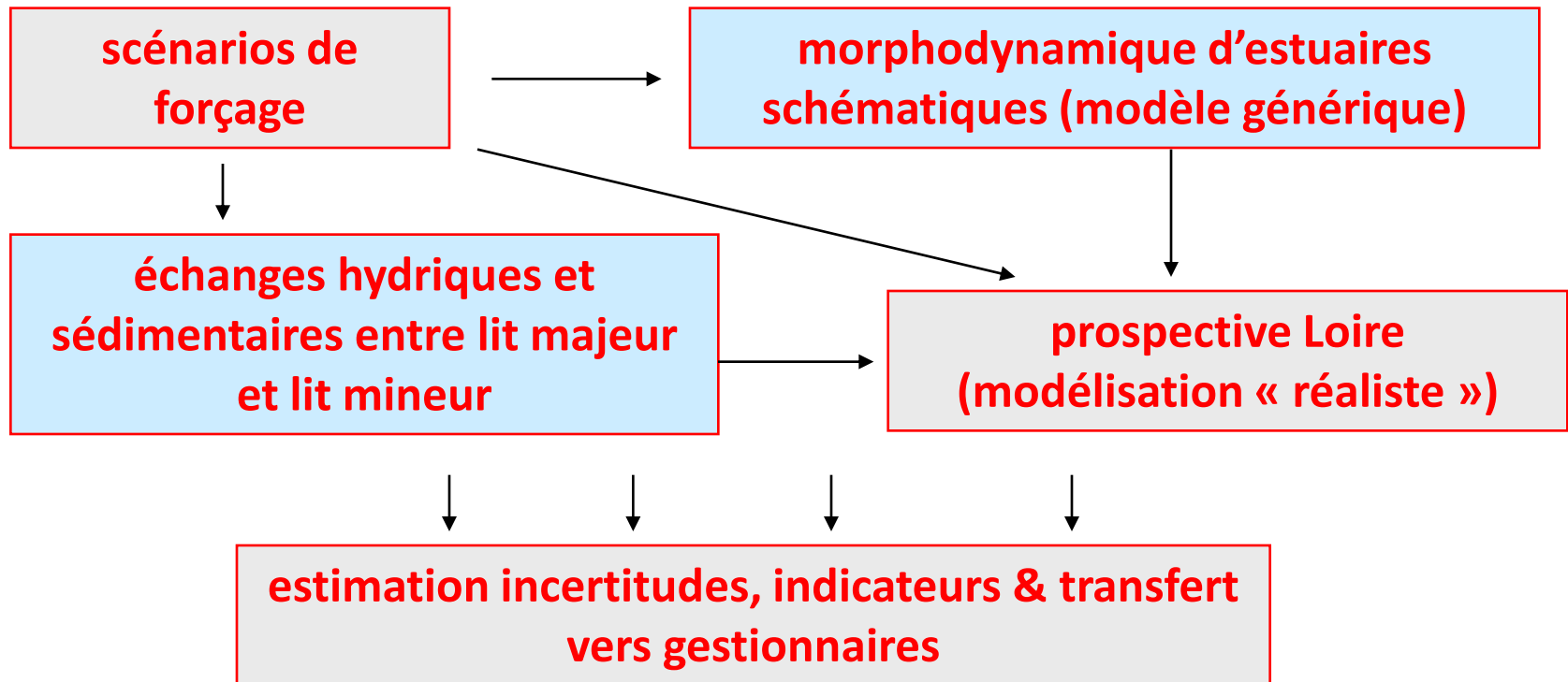
Un processus-clé : les échanges entre l'estuaire sensu stricto et les zones littorales (berges, du schorre aux prairies...)

Piégeage temporaire ou définitif de sédiments, qui coiffent le bilan sédimentaire et donc les évolutions morphologiques

Rôle de la végétation ?

Dépendance en fonction des usages du milieu ? (aménagement pour navigation, installations portuaires, polders et gestion de l'eau dans les marais)

Projet C3E2 : 5 ensembles de tâches :



Avancement du projet C3E2

2 Séminaires

- lancement du projet : Savenay, 21-22 avril 2011
- avancement : Nantes, 18-19 janvier 2012

Campagnes de terrain (contacts avec gestionnaires et usagers)

- mesures niveaux sédimentation *août-octobre 2011*
- propagation de la marée et gamme MES *mars 2012*
- idem + mesures de flux *sept-Octobre 2012*
- évolution récente de la végétation *printemps 2011*

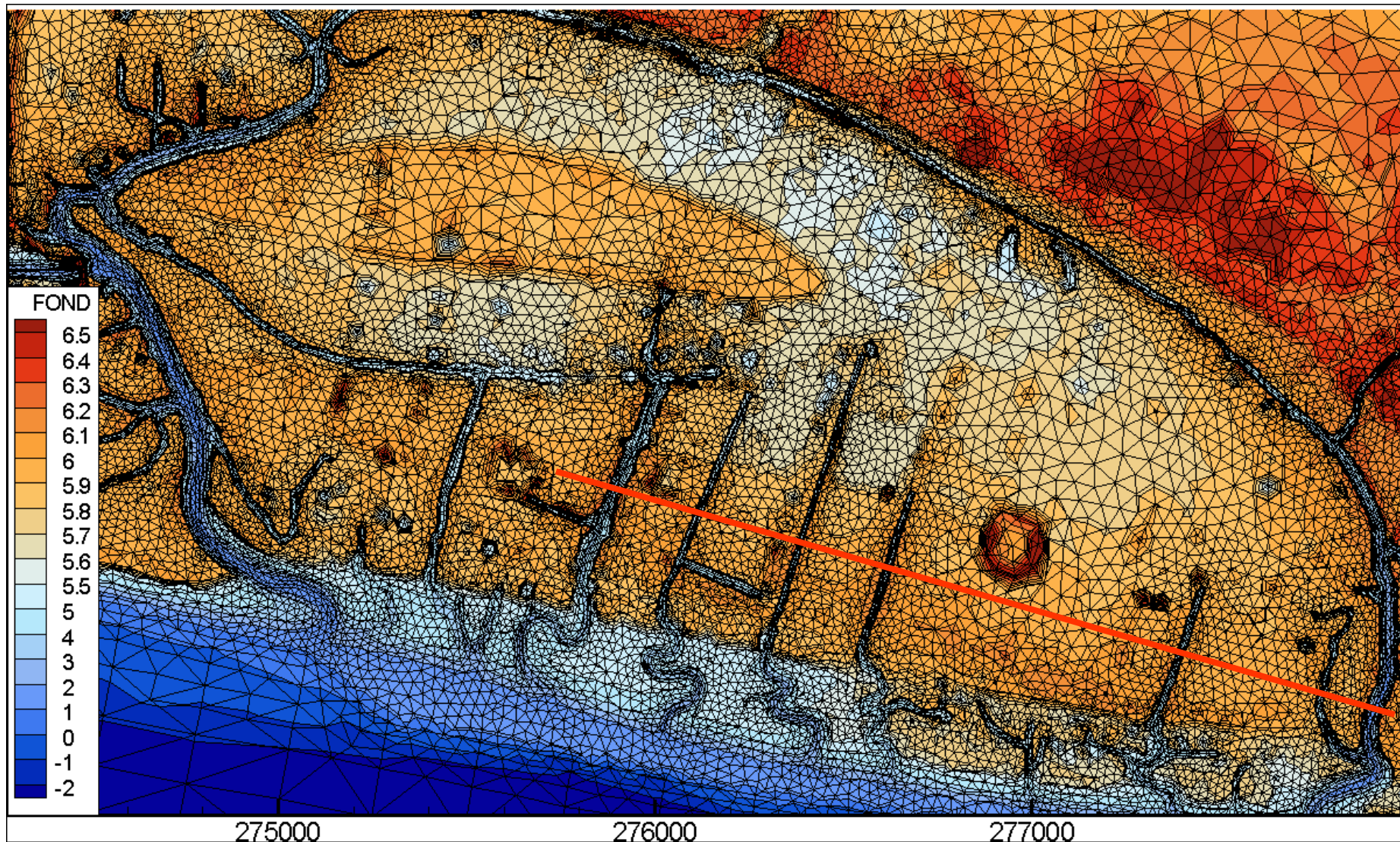
Modélisation

- Développement modèle morphodynamique schématique
 - Effets variations du débit fluvial et apports solides
 - Configuration sable/vase, pour prédictibilité habitats
- exploitation modèle réaliste et fin de la Loire

Montée du niveau marin : un risque... ou une chance ?

- réduction constatée des zones humides
et des fonctionnalités environnementales associées
- estuaires progradent vers la mer
- zones connexes: limitent les inondations amont/aval, amortissent propagation de la marée, limitent pénétration saline, et celle du bouchon vaseux
- remontée du niveau moyen tendrait à ré-estuariser les milieux
- quelle compatibilité avec les occupations/usages du terrain ?

Topographie et maillage du modèle en m CM



Effets à attendre du changement climatique

élévation de température (effets sur biocénoses, saturation en oxygène)

changement des apports amont

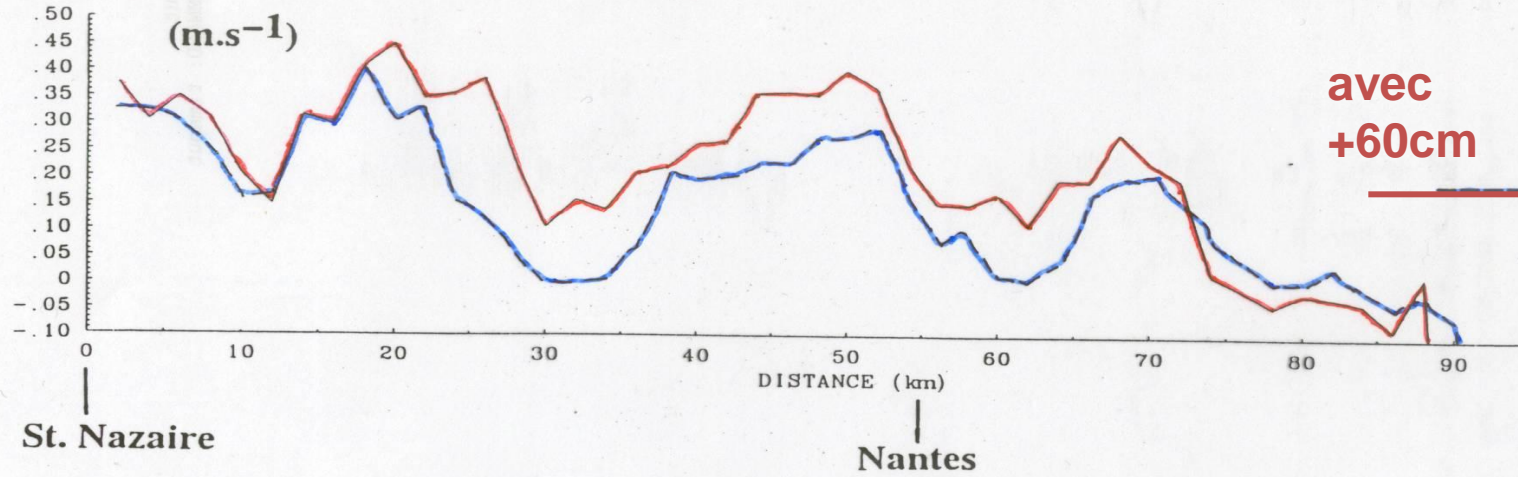
- réduction débits étiage, mais aussi crue ?
- quid des apports solides ? des nutriments ?

variation relative du niveau de la mer

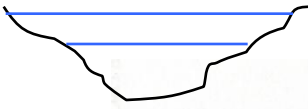
- submersion des rives (besoin MNT précis)
- pénétration accrue de la marée
- modifications hydrodynamiques
- « translation » de la remontée des eaux salées
- évolution du bouchon vaseux
- modifications des érosions / dépôts
⇒ adaptation morphologique ?

Δ régimes de vagues et surcotes météorologiques ?

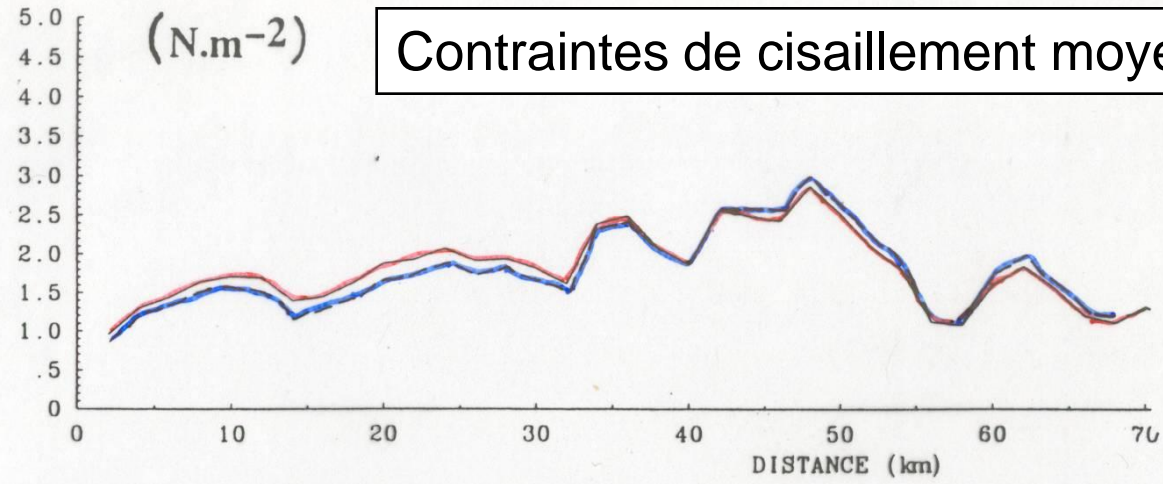
U flot moy. - U jusant moy.



$$C = (gh)^{1/2}$$

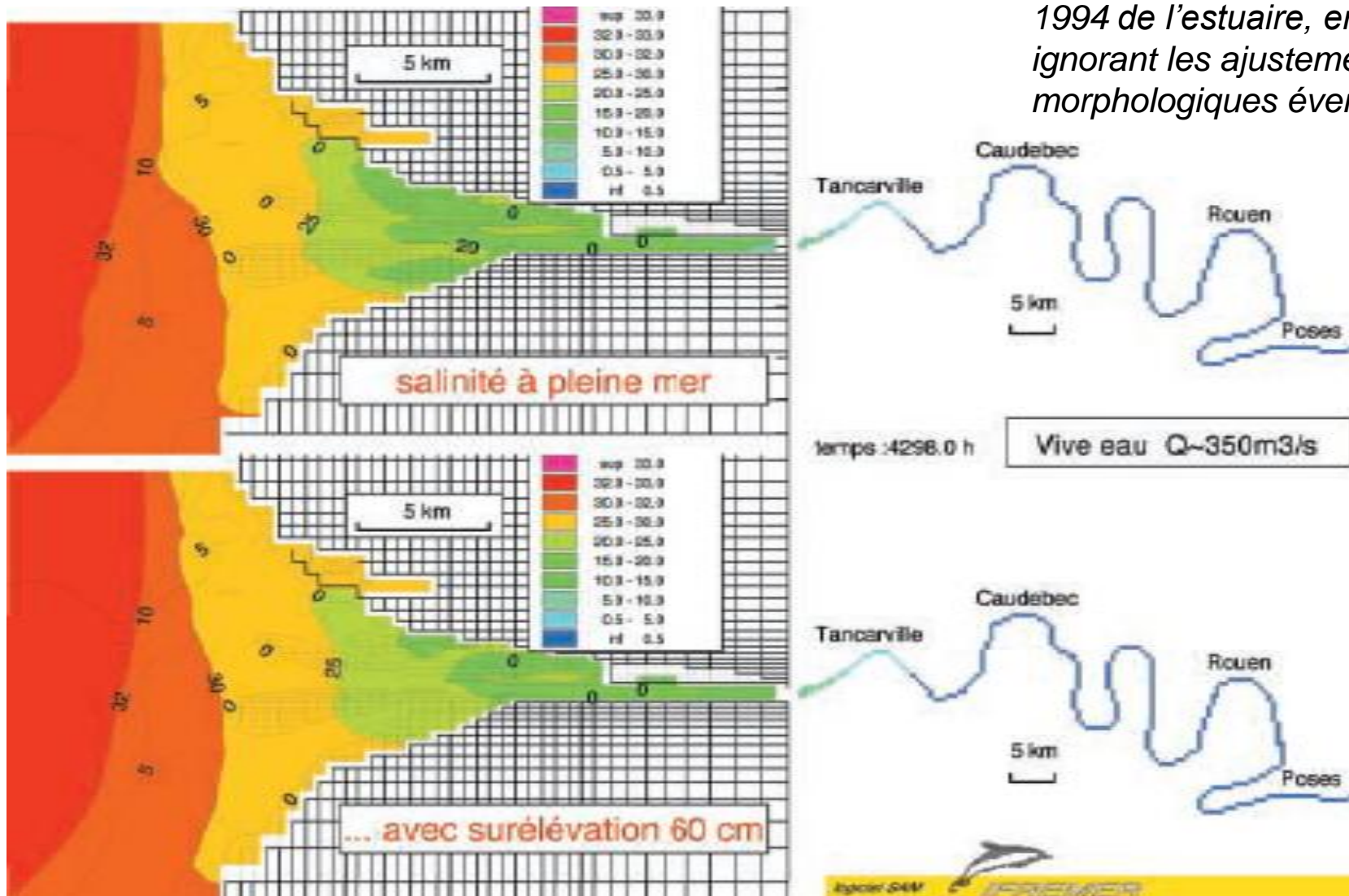


Contraintes de cisaillement moyennes



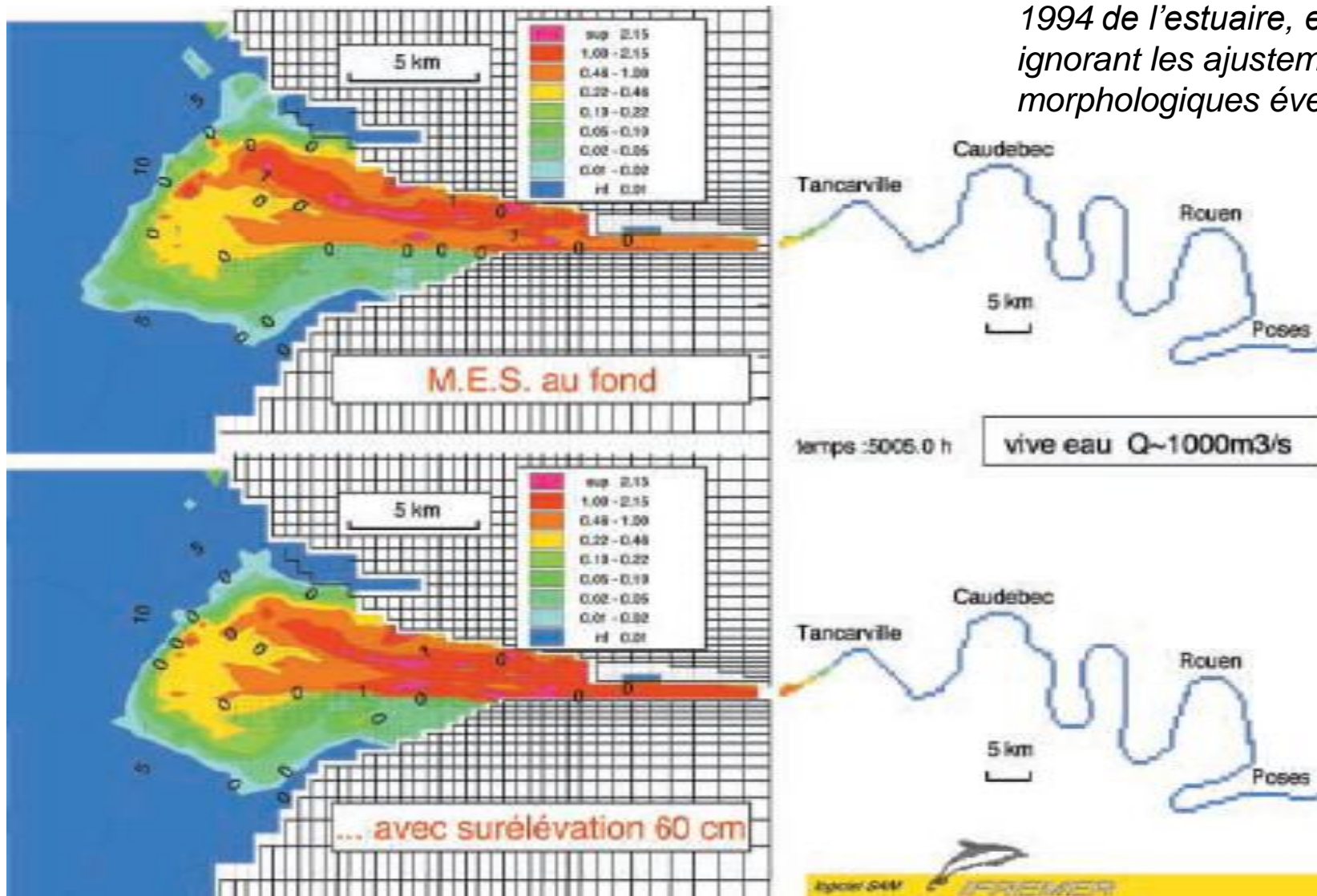
Effet d'une surélévation de la mer de 60 cm sur la salinité de l'estuaire de la Seine à pleine mer

Simulation faite dans le cadre du **programme Seine-Aval 2** pour la configuration bathymétrique 1994 de l'estuaire, en ignorant les ajustements morphologiques éventuels



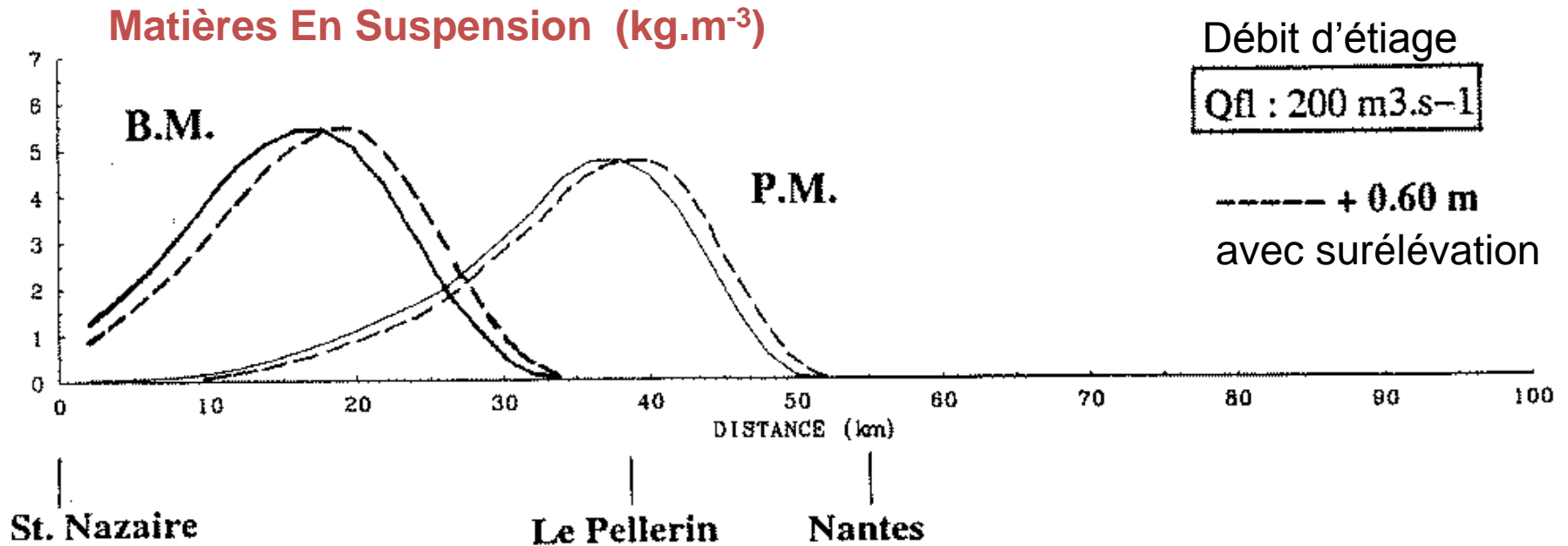
Effet d'une surélévation de la mer de 60 cm sur Le bouchon vaseux dans l'estuaire de la Seine

Simulation faite dans le cadre du **programme Seine-Aval 2** pour la configuration bathymétrique 1994 de l'estuaire, en ignorant les ajustements morphologiques éventuels



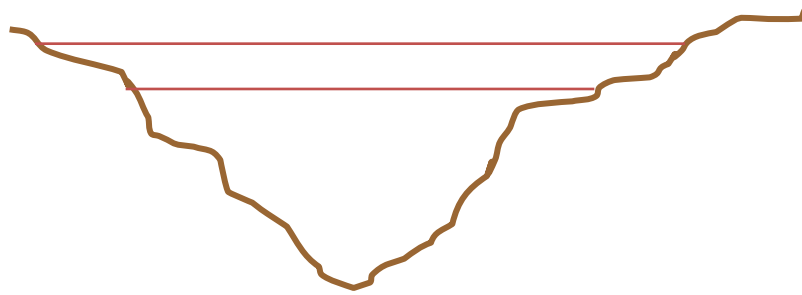
Effet d'une élévation du niveau de la mer sur le bouchon vaseux de la Loire

simulation SiAM-1DH (1996) ignorant les éventuels ajustements bathymétriques



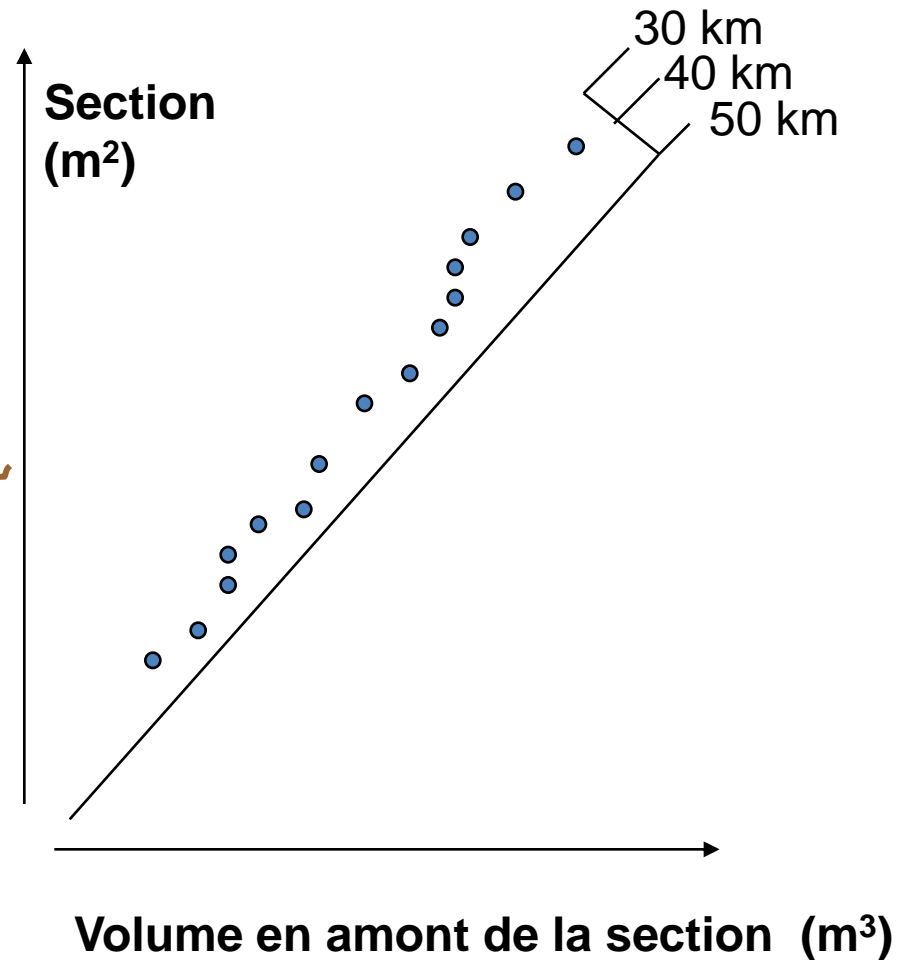
(dés)équilibre morphodynamique ?

$$V / S \sim C^{te} \text{ (longueur caract.)}$$



Pour une variation du niveau moyen, le rapport V/S change

→ adaptation morphodynamique



Montée du niveau marin : un risque... ou une chance ?

- réduction constatée des zones humides
et des fonctionnalités environnementales associées
- estuaires progradent vers la mer
- zones connexes: limitent les inondations amont/aval, amortissent propagation de la marée, limitent pénétration saline, et celle du bouchon vaseux
- remontée du niveau moyen tendrait à ré-estuariser les milieux
- quelle compatibilité avec les occupations/usages du terrain ?
- peut-on prévoir ?

Pb morphodynamique équilibre: $vol=f(\text{section})$
couplage avec variations apports amont

- Etat de l'art :
- à bathy fixée : OK (faut bon MNT+ modèle)
 - si bathy s'ajuste : + difficile
 - comparaisons utiles entre estuaires

Projet C3E2

Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires

Questions posées

- montée du niveau marin dans un estuaire avec rives basses : les submersions vont-elles augmenter, ou la morphologie va-t-elle s'adapter, à quel rythme?
- (...) si rives escarpées, le bouchon vaseux sera-t-il simplement translaté vers l'amont ?
- conséquences de ces évolutions sur la végétation (berges et lit majeur) ?
- la nature sédimentaire des fonds de l'estuaire va-t-elle changer, à quel rythme ?
 - et si réduction forte des apports de sédiments fins en amont ?

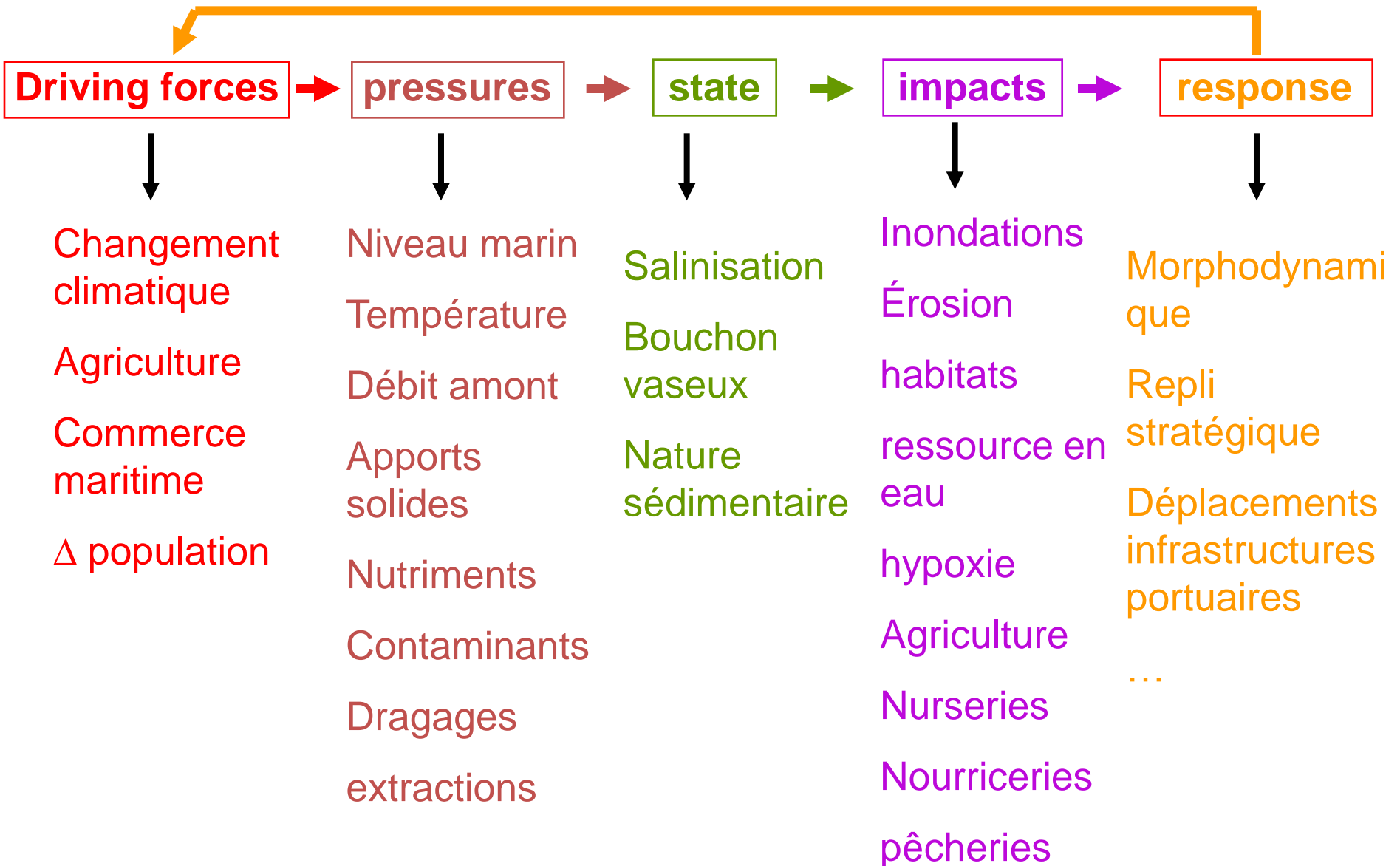
4 partenaires: Ifremer, UBO/Géoarchitecture, Sogreah, GIP Loire-estuaire

5 actions:

- 1- scénarios de forçage
- 2- morphodynamique d'estuaires schématiques (modèle générique)
- 3- échanges hydriques et sédimentaires entre lit majeur et lit mineur
→ effets végétation
- 4- prospective Loire (modélisation « réaliste »)
- 5- estimation incertitudes, indicateurs & transfert vers gestionnaires

Millenium Ecosystem Assessment

→ *approche DPSIR*



Prise en compte de l'évolution du changement climatique pour la représentation des forçages

Forçages prépondérants pour la dynamique estuarienne

En amont :

Débit liquide (amplitudes et type de variabilité annuelle)

Débit solide (lié au régime de crues)

En aval :

Niveau marin

Régime des vagues

Tous ces forçages sont liés à la dynamique atmosphérique, dont les évolutions globales sont estimées par modélisation numérique (rapports du GIEC)

La « régionalisation » consiste à décliner, à l'échelle « régionale » (dans notre cas, échelle BV), les évolutions atmosphériques, puis les répercussions sur les estuaires (sur le régime des BV en amont, sur la dynamique marine en aval : niveaux extrêmes, régime de vagues, niveau moyen)

Prise en compte de l'évolution du changement climatique pour la représentation des forçages

Documents de référence

- Impacts sur les vagues et niveaux extrêmes (GIEC 2013 – Charles *et al.*, 2012)
- Impacts généraux sur les débits fluviaux (Rapport ONERC 2012)
- Impacts sur le niveau de la mer (Rapport ONERC 2012 – actualisation GIEC 2013)
- Impacts sur le débit de la Loire : résultats HYDROQUAL 2010

Principe des études de régionalisation

- Utilisation d'un modèle climatique (atmosphérique) régional (ou de plusieurs, afin d'estimer des incertitudes liées au forçage atmosphérique) : modèle de haute résolution, ou désagrégation statistique
- Utilisation d'un modèle de BV afin d'en déduire les débits (ou de plusieurs, afin de rajouter une incertitude liée au modèle de BV lui-même), afin de déduire les régimes hydriques
- Pour le niveau marin et les vagues : l'état de l'art ne permet pas vraiment de régionalisation robuste. Ce sont les tendances « globales » qui sont utilisées à l'échelle régionale (pour la Loire : tendances de la côte)

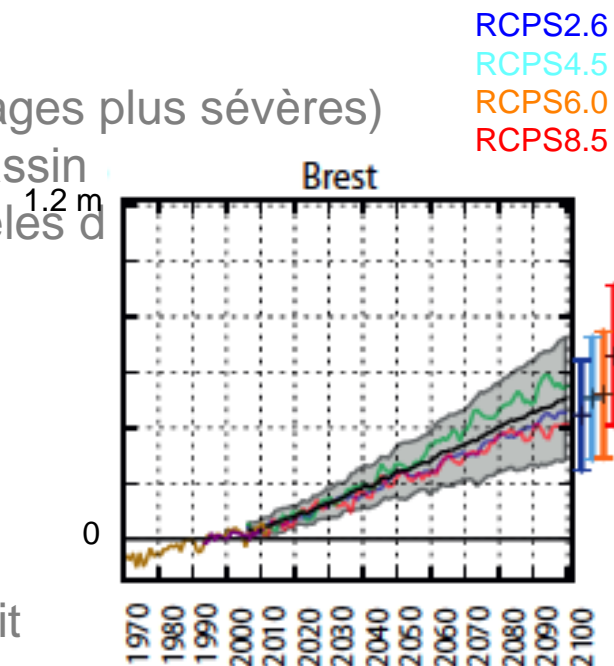
Prise en compte de l'évolution du changement climatique pour la représentation des forçages

Résultats généraux

- Impacts sur les vagues et niveaux extrêmes (GIEC 2013 – Charles *et al.*, 2012) : le régime des vagues sur les côtes atlantiques françaises devrait rester sensiblement inchangé. Les évolutions des niveaux extrêmes seront donc essentiellement liées à l'évolution du niveau marin (de l'ordre de 2cm/an à Brest)
- Impacts sur le régime des débits
 - Conditions plus sèches et plus chaudes (étiages plus sévères)
 - Pluies extrêmes plus fortes sur l'amont du bassin
 - Simulations de différents scénarios par modèles d

Utilisation pour les simulations morphodynamiques

- Cas test
 - Sensibilité à la remontée du niveau marin
 - Sensibilité aux débits
- Loire
 - Modification de la chronique annuelle de débit



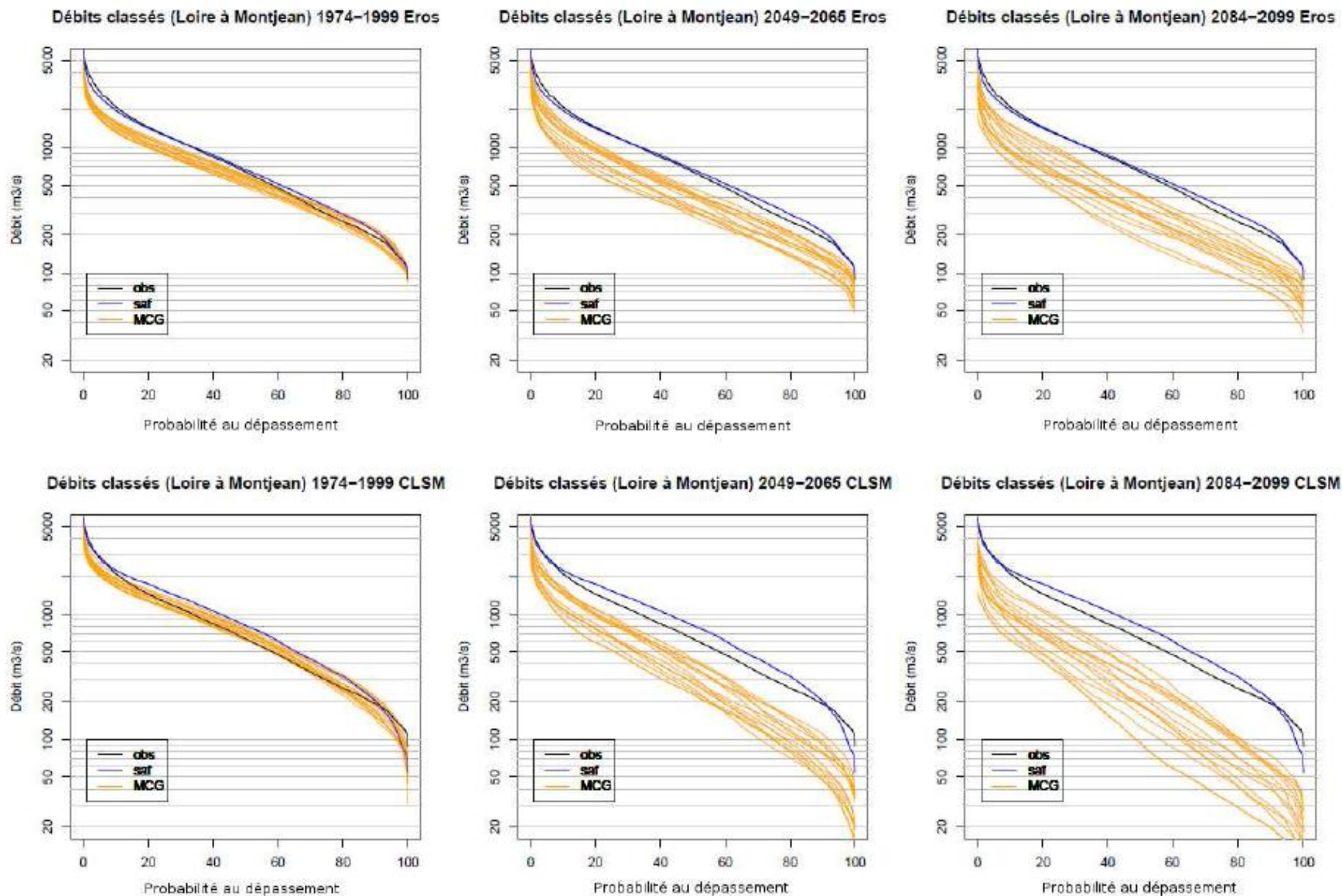


Figure 69 : Courbes des débits classés pour la station de la Loire à Montjean, pour la période PST (à gauche), MS (au milieu) et FS (à droite)