

Séminaire MIE, Paris 8-9 octobre 2018

*Estuaires : état de l'art de la recherche appliquée, bilan des travaux
soutenus par la coordination inter-estuariers et perspectives de recherche*



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

Impact des aménagements et activités anthropiques sur le fonctionnement des estuaires et effets du changement climatique

Recherche d'indicateurs pour l'état écologique

Pierre Le Hir, Ifremer

avec la collaboration de : Aldo Sottolichio, Univ. Bordeaux

Clément Bouvier, Ifremer & Univ. Bordeaux

Valérie Foussard, FR-SCALE, Univ Rouen

Qu'est-ce qu'un estuaire ?

Estuaires

Lagunes côtières

- masse d'eau côtière semi-fermée
- libre communication avec l'océan
- dilution mesurable de la salinité du large par des apports continentaux

d'après Valle-Levinson

Plan de l'exposé

1- Comportement hydro-morpho-sédimentaire d'un estuaire

2- Aménagements/activités anthropiques

inventaire

conséquences des aménagements/usages

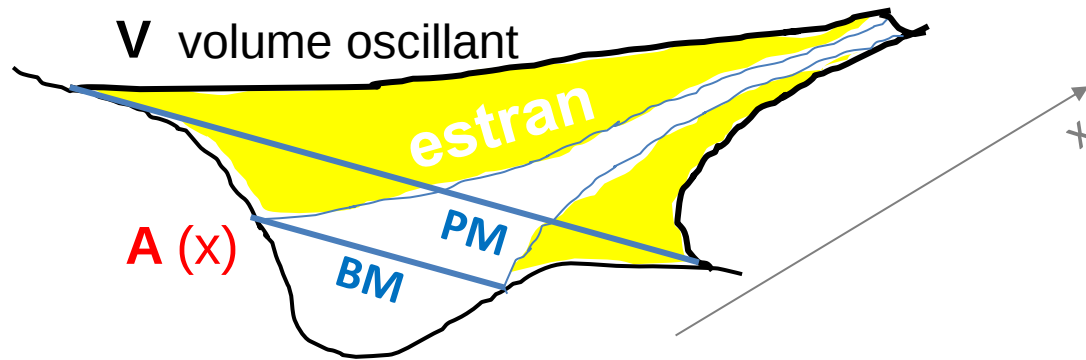
3- GEMAPI

4- Conséquences du Changement Climatique : niveau marin, apports amont

5- Recherche d'indicateurs favorables au bon état écologique

Conclusions / messages

Relations morphologie/hydrodynamique



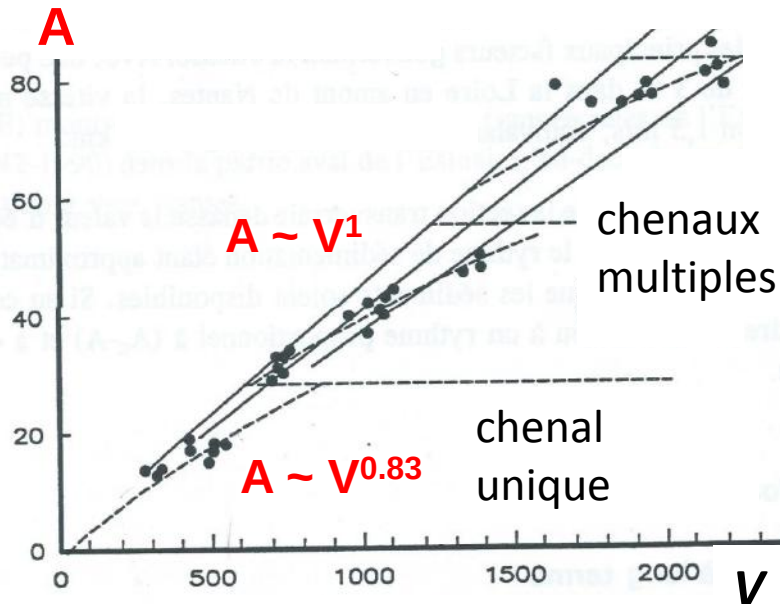
$$A \sim V/u$$

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{x}{L}\right)$$

Propagation marée

avec profondeur

avec frottement

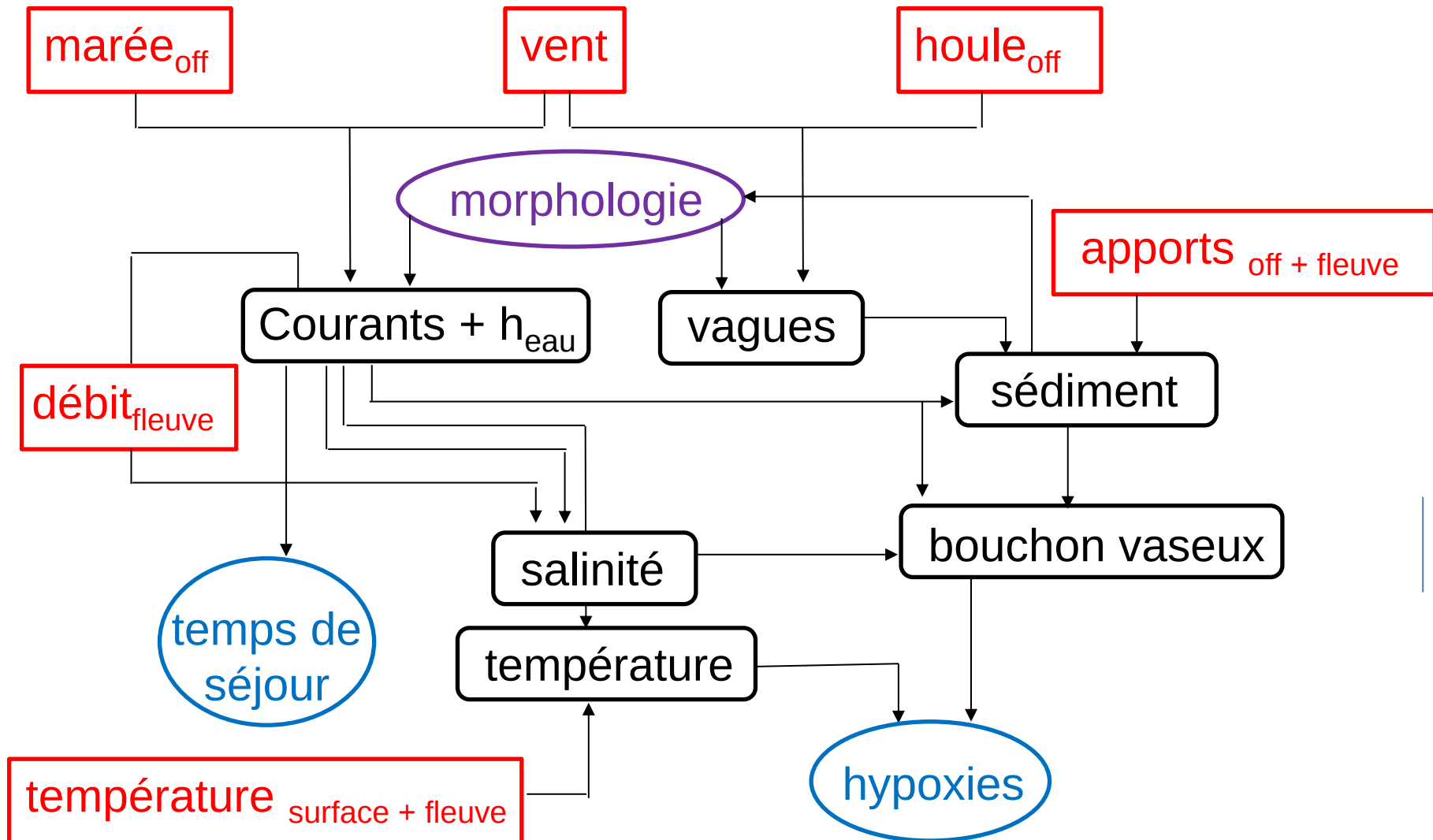


Delft Hydraulics, 1994

amplification marée → flot dominant

extension intertidale → jusant dominant

Relations hydromorphologie / salinité / bouchon vaseux / hypoxies en estuaire



Aménagements & activités anthropiques

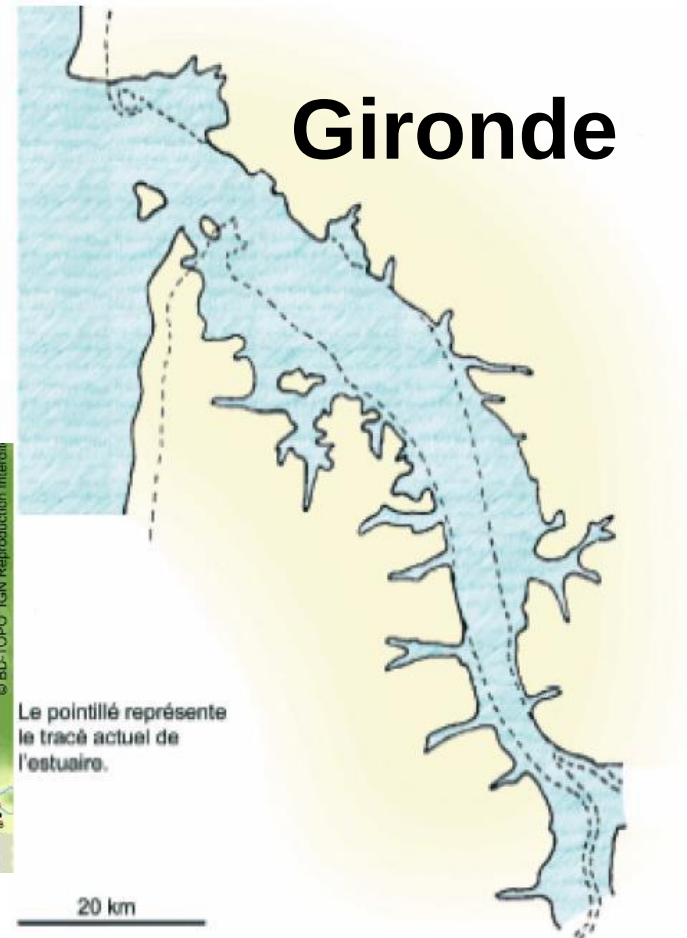
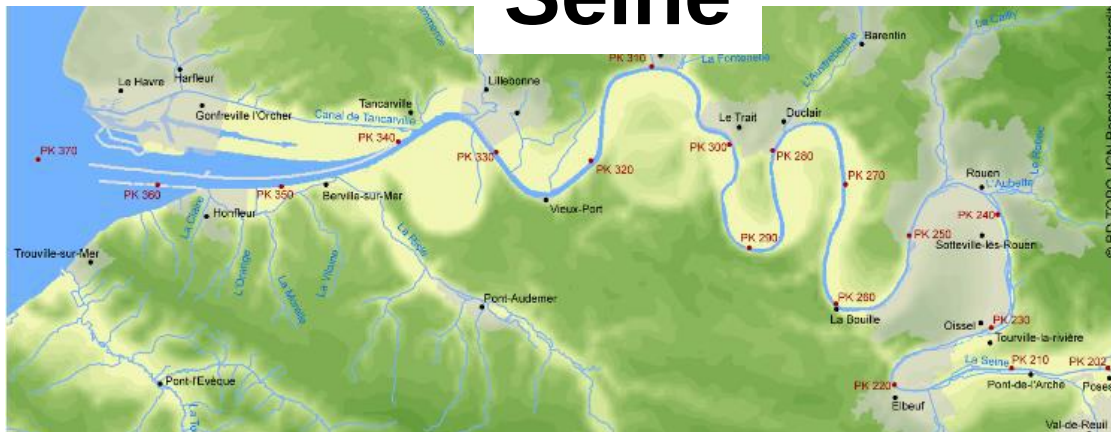
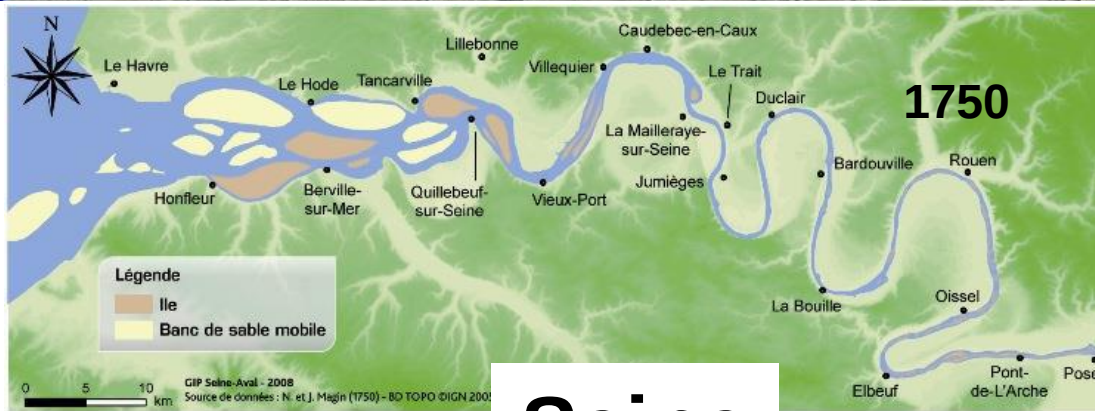
Tentative d'inventaire

aménagements

protection contre inondations	]	endiguements
poldérisation		
approfondissements pour	navigation	
» »	extraction sables	
barrage en amont		
barrage en aval		
protection des côtes adjacentes		

activités/usages

- dragages d'entretien
- apports amont (eau, sédiment)

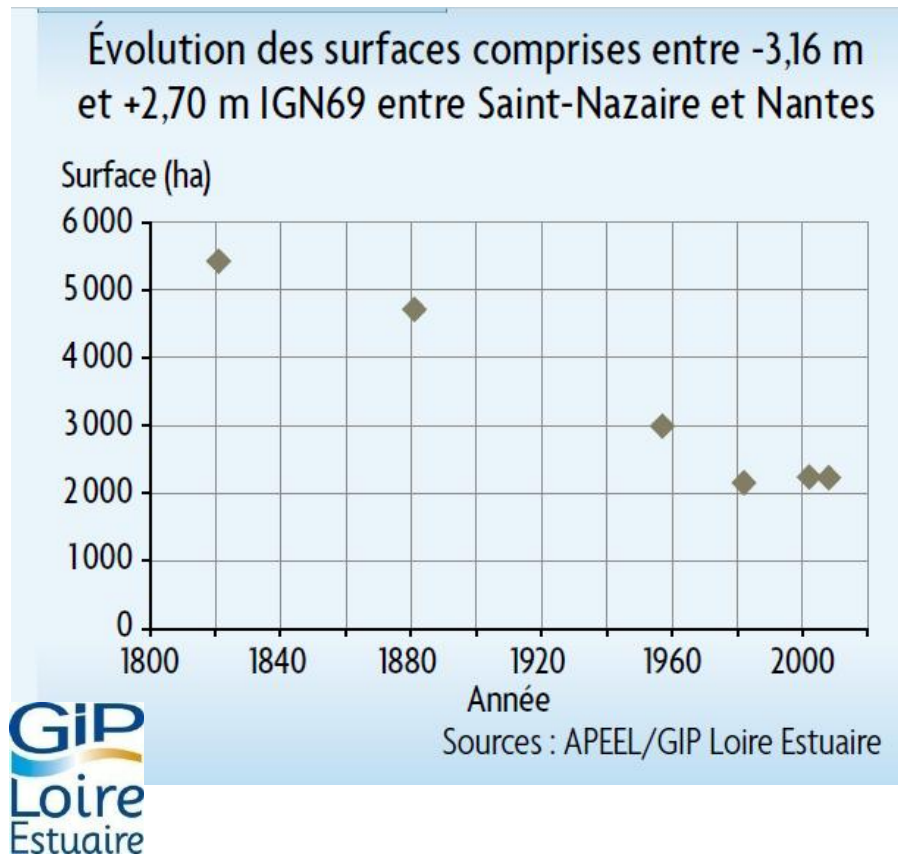


Endiguements très fréquents

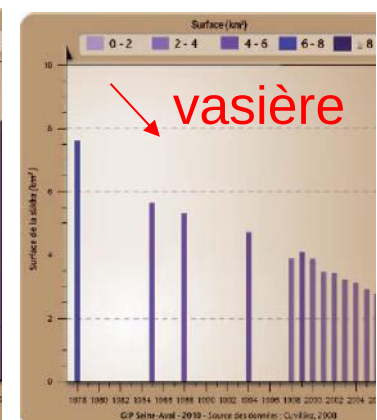
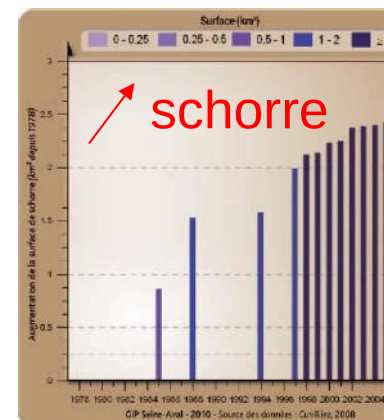
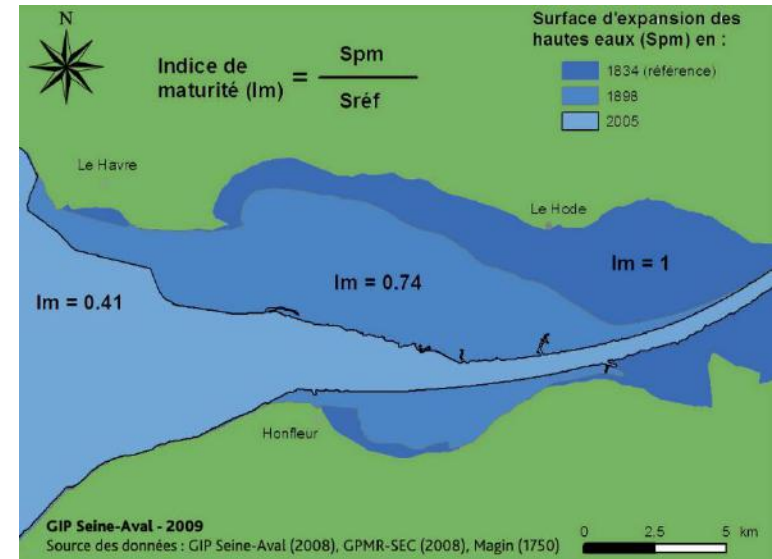
Un constat général sur les estuaires aménagés depuis le XIXème siècle :

réduction des zones intertidales, de grande valeur écologique...

Loire



Seine



Plan de l'exposé

1- Comportement hydro-morpho-sédimentaire d'un estuaire

2- Aménagements/activités anthropiques

inventaire

conséquences des aménagements/usages

3- GEMAPI

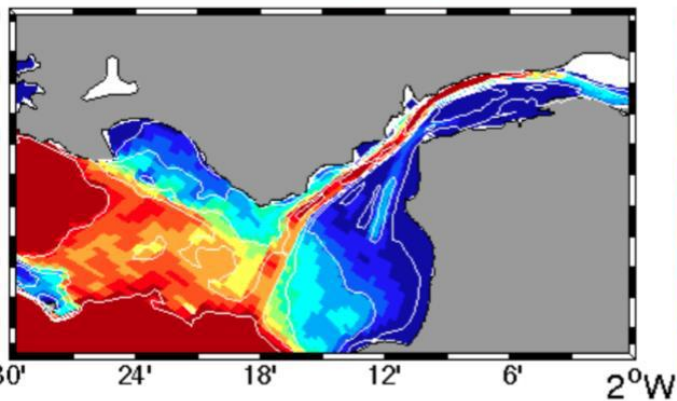
4- Conséquences du Changement Climatique : niveau marin, apports amont

5- Recherche d'indicateurs favorables au bon état écologique

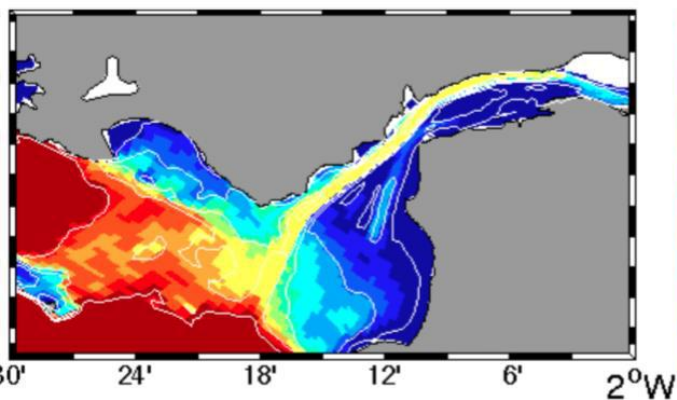
Conclusions / messages

Estuaire de la Loire *Effet de l'approfondissement* *du chenal de Donges* *en 1984*

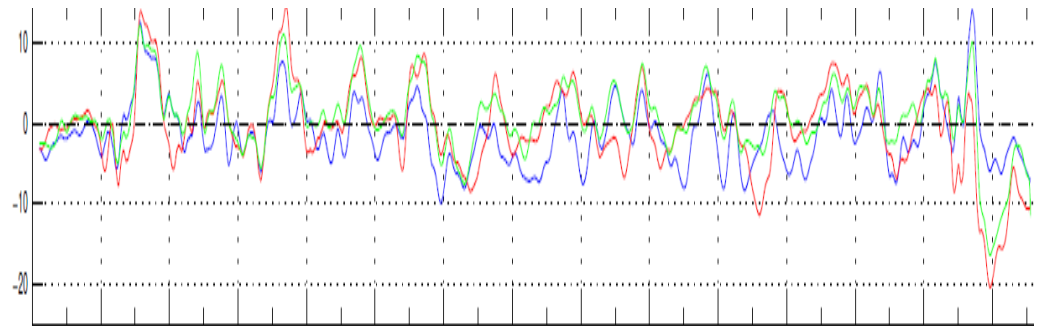
Current Bathymetry



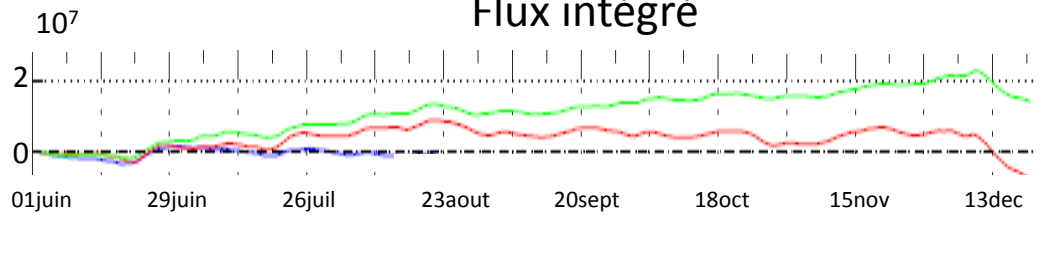
Schematic Bathymetry before 1984



Flux résiduel d'eau douce 1^{er} m au-dessus du fond



Flux intégré



d'après Khojasteh Pour Fard, 2015

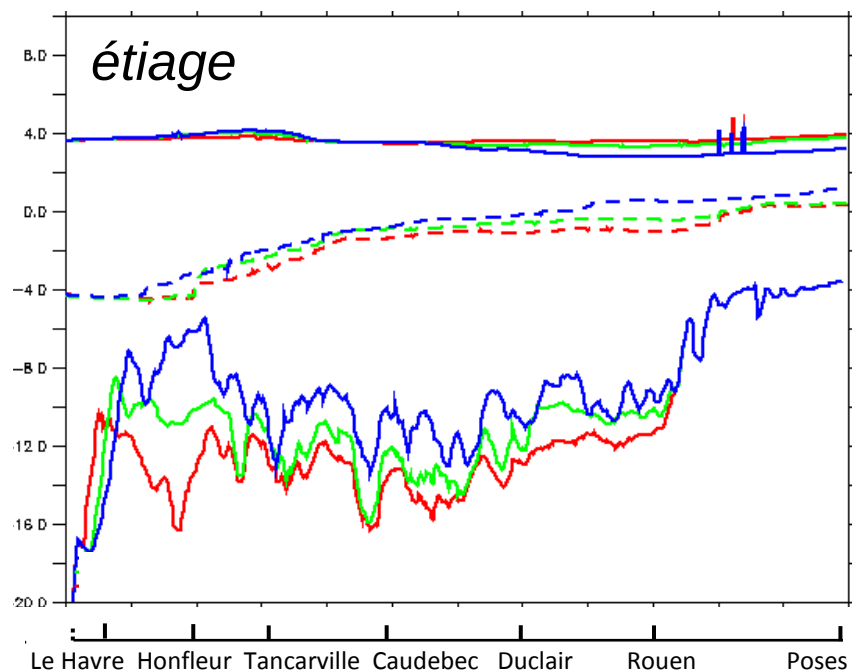
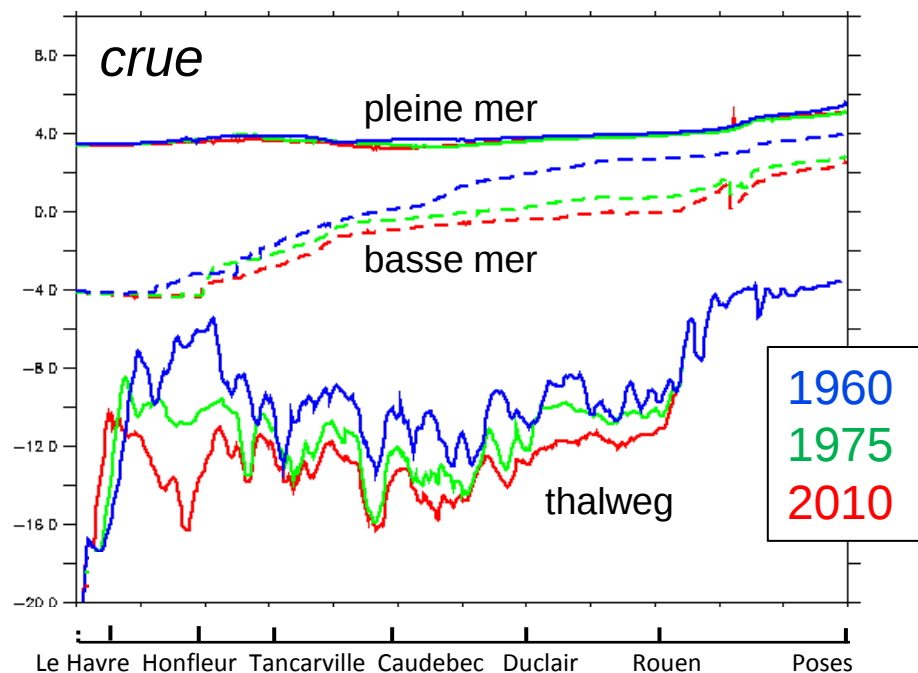
— avant approfondissement
 — après approfondissement

→ *renforcement des flux*
vers l'amont, au fond

Estuaire de la Seine

Conséquence de l'approfondissement: propagation de la marée

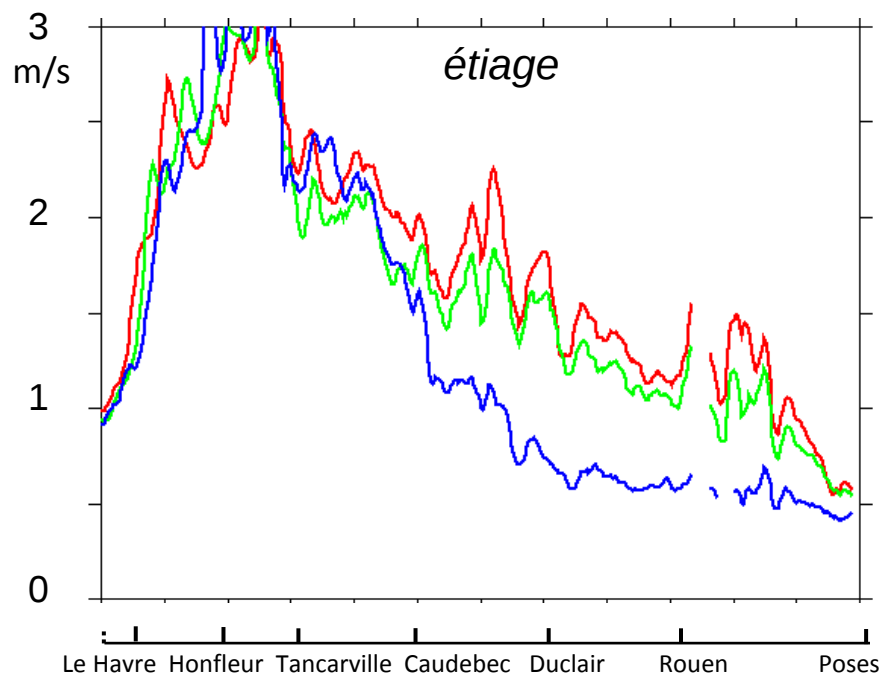
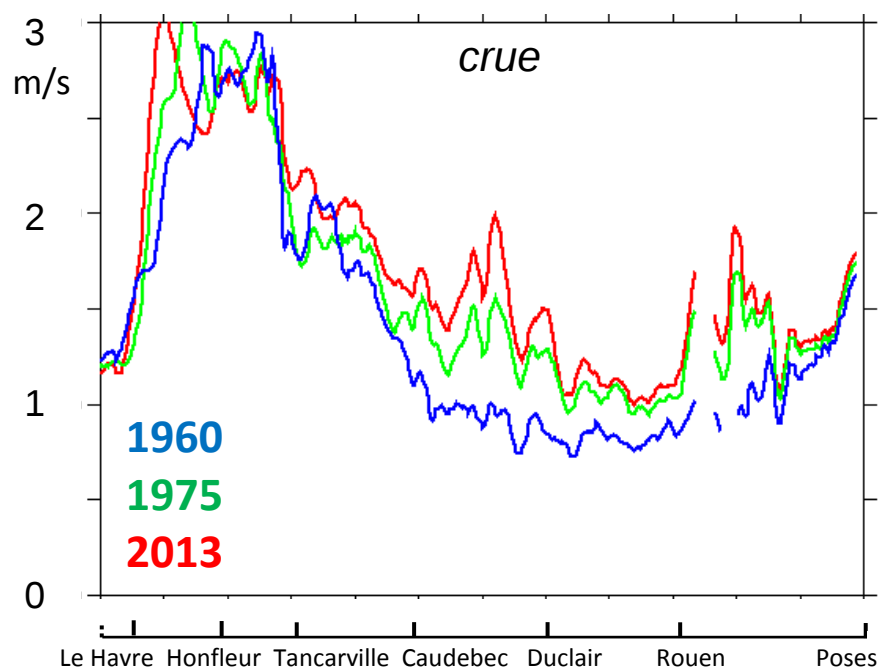
variation de la marée depuis 1960



Projet Seine-Aval 6 « ANPHYECO »

Estuaire de la Seine

Courant maximum (m/s)
en vive eau, par « sections »



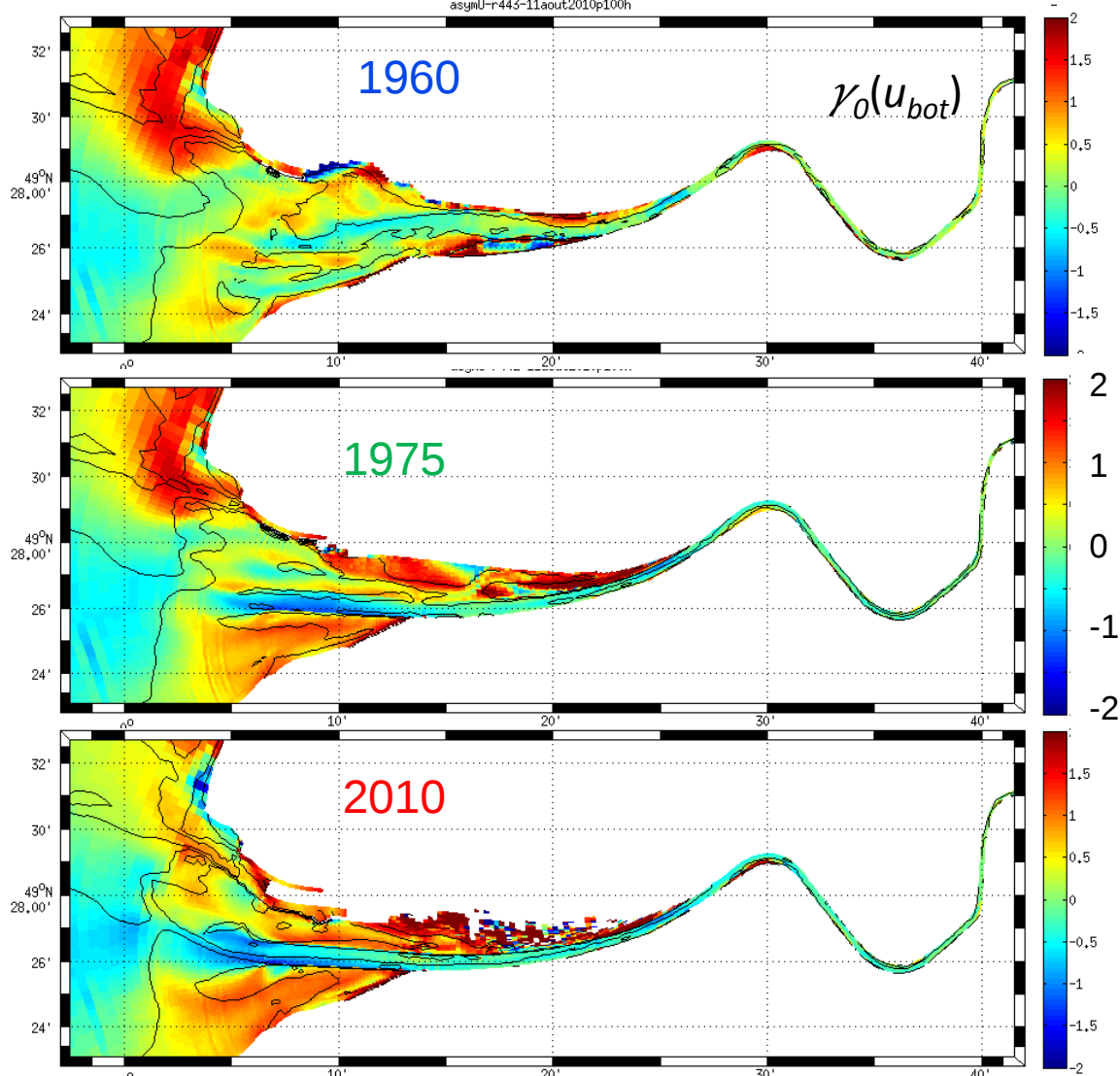
Projet Seine-Aval 6 « ANPHYECO »

Estuaire de la Seine

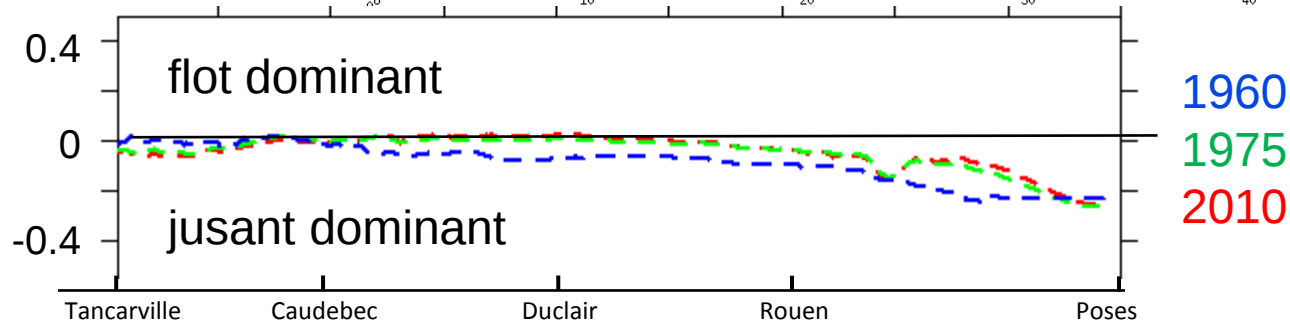
Asymétrie du
courant de marée

indicateur de
Nidzieko et Ralston
(2012)

marée de vive eau
d'étiage



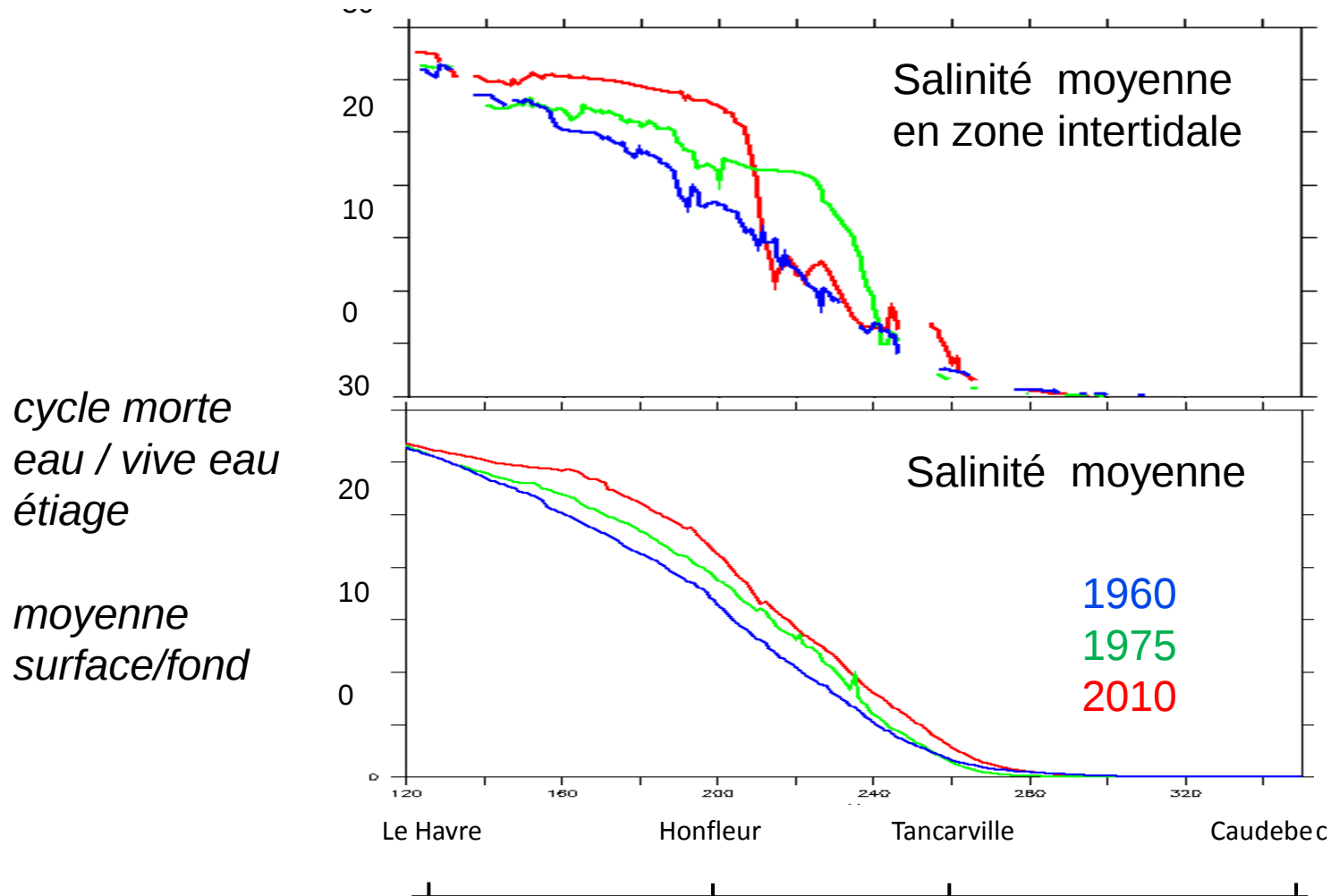
en amont de
Tancarville :



Estuaire de la Seine

Conséquence des aménagements: remontée des eaux salées

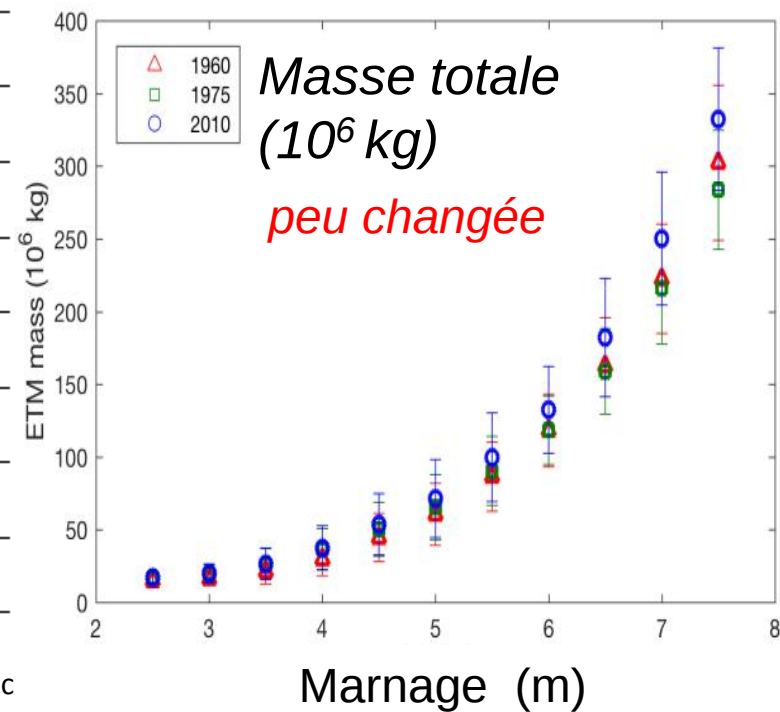
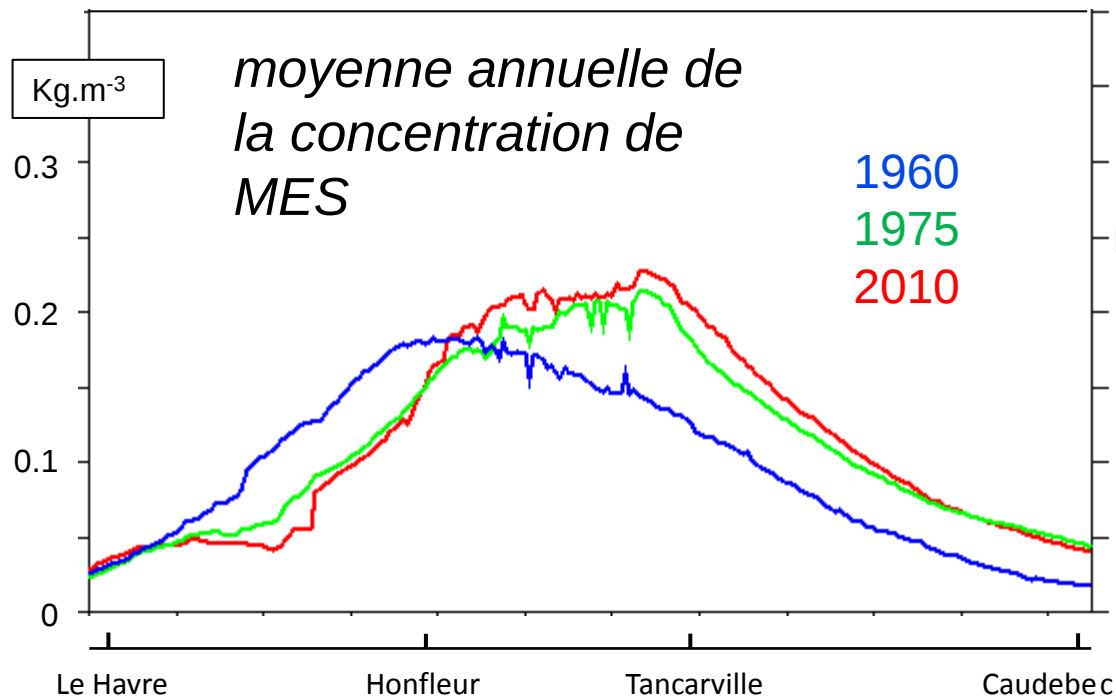
variation de la salinité depuis 1960



Modification des habitats

Projet Seine-Aval 6 « ANPHYECO »

Conséquence des aménagements: remontée du bouchon vaseux



Approfondissement Escaut occidental

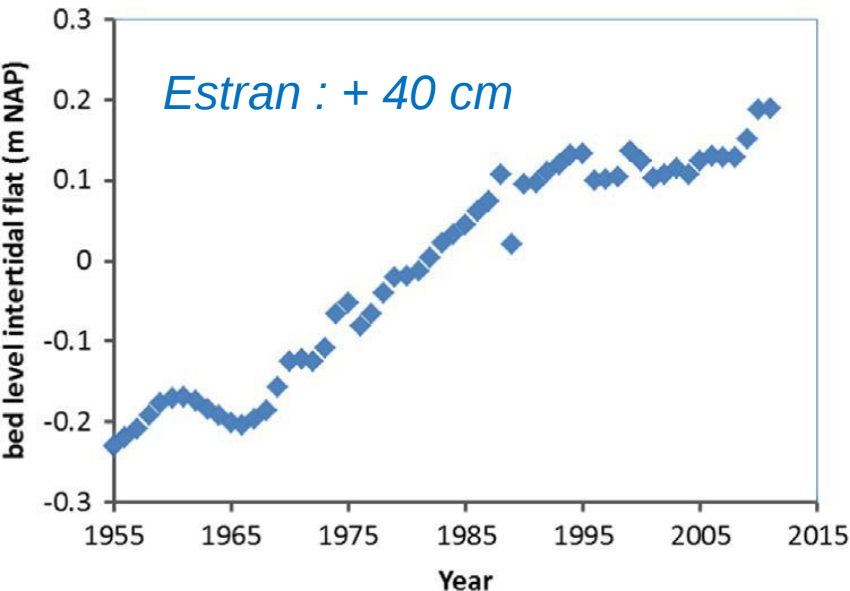
Effets à grande échelle ...

Approfondissement + dépôt de dragage
⇒ déséquilibre entre chenaux flot/jusant
⇒ basculement d'un système à chenaux multiples vers système à chenal unique
si dépôt > seuil ; **risque d'irréversibilité**

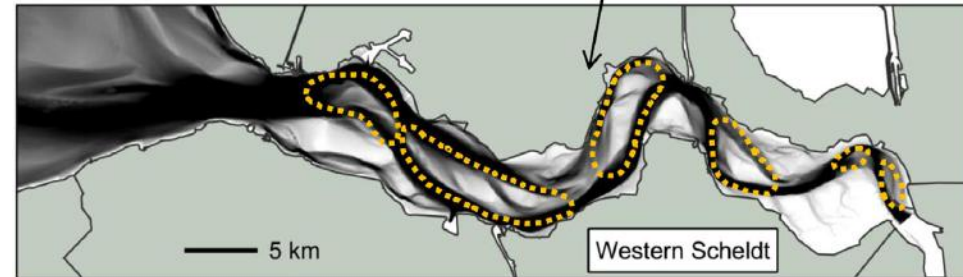
à petite échelle ...

Dragages, + extractions ?...

- ⇒ réduction chenaux transverses
- ⇒ élévation niveau d'estran



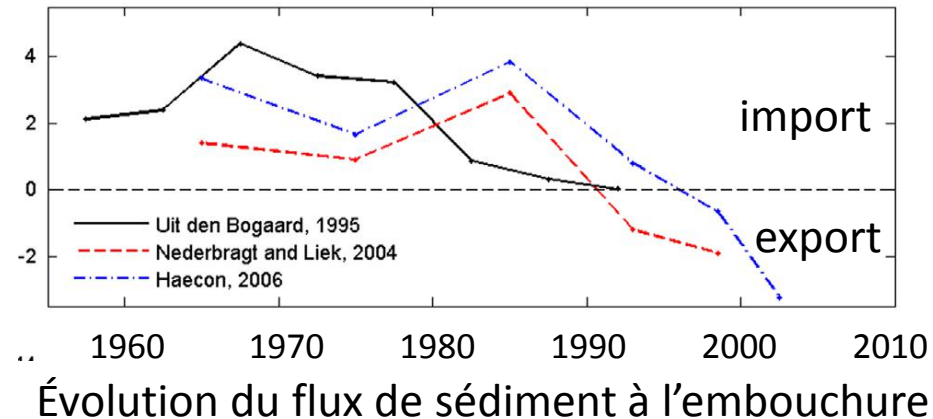
D'après Wang et al, 2015



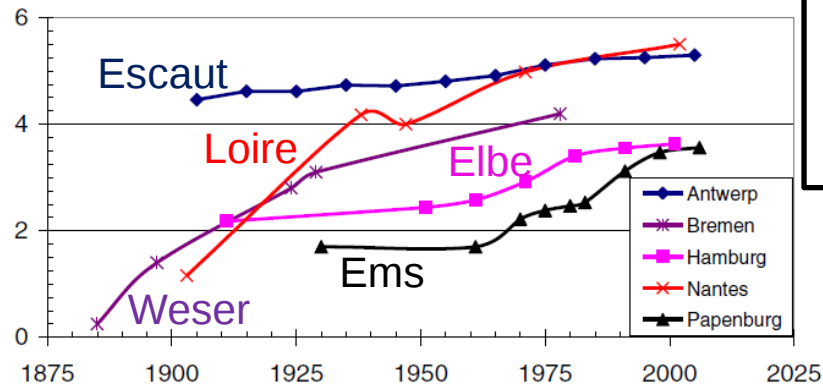
à très grande échelle ...

extraction de sable + SLR

- ⇒ approfondissement → chgt asymétries
- ⇒ nouvel équilibre morphologique
- ⇒ export de sédiment au lieu d'import :
lié à surcreusement > seuil ; **irréversible**



Marnage (m)

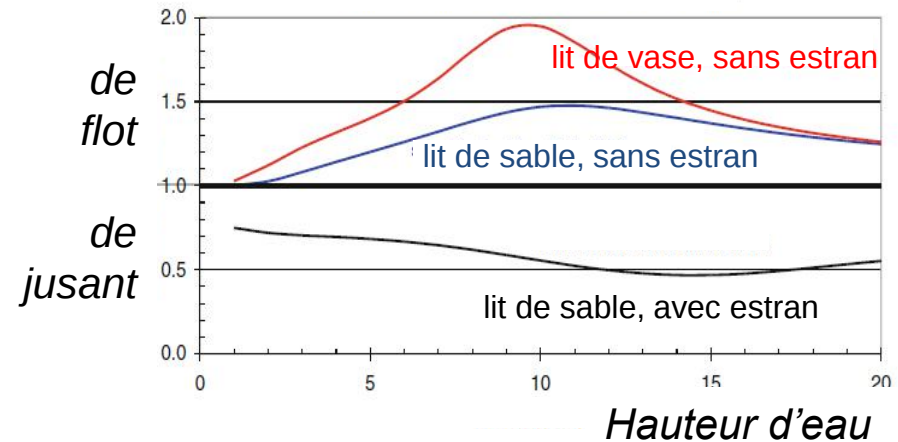


Augmentation des suspensions résultant de l'approfondissement → réduction du frottement possible basculement vers un estuaire hyperturbide

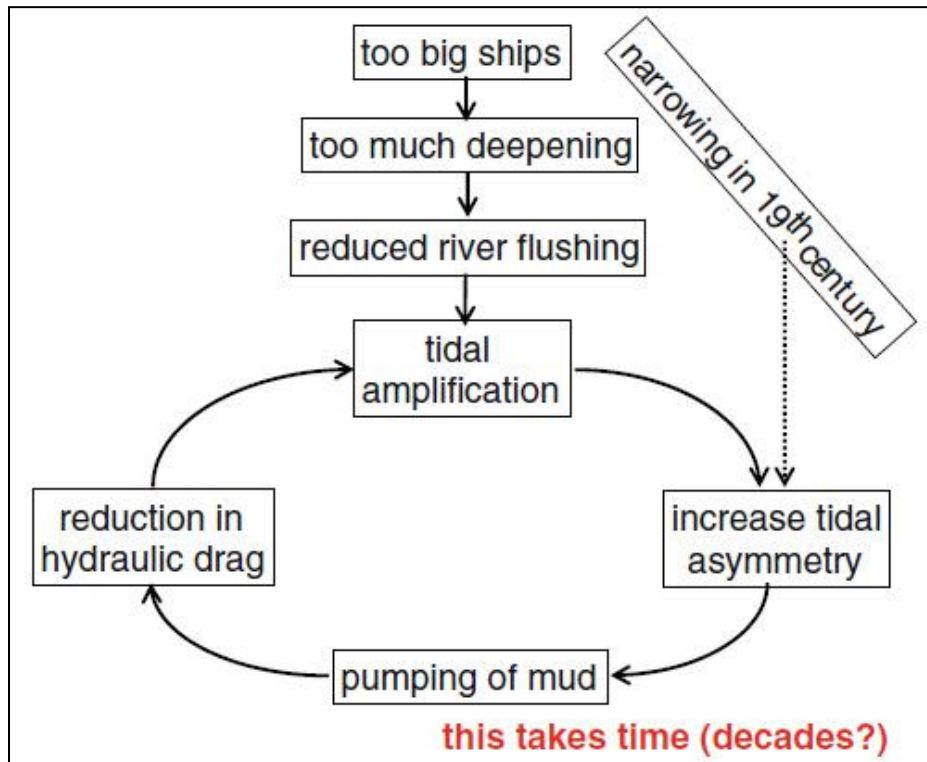
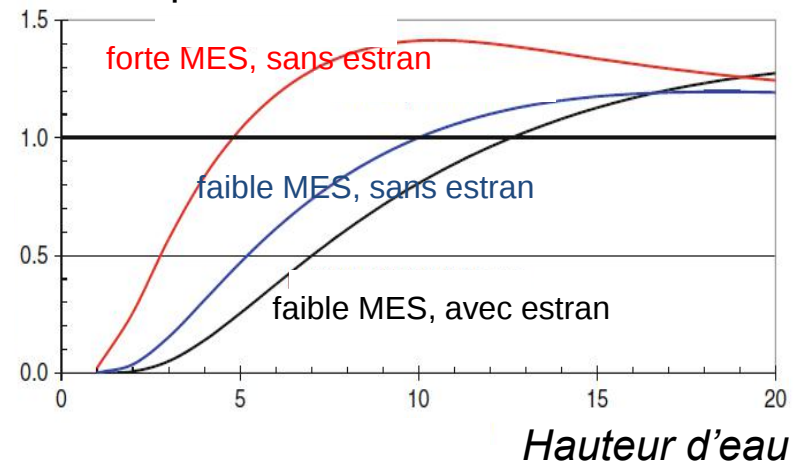
irréversible

Winterwerp & Wang, 2013

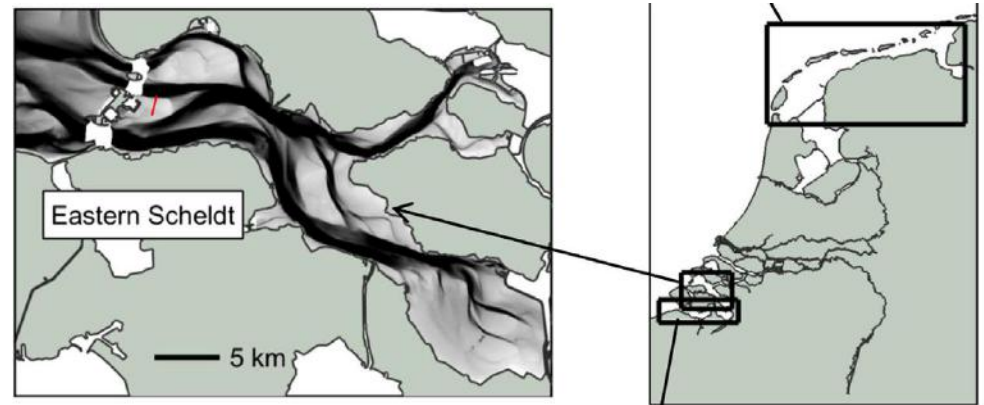
Asymétrie de la marée



Amplification de la marée



Effet d'une barrière aval

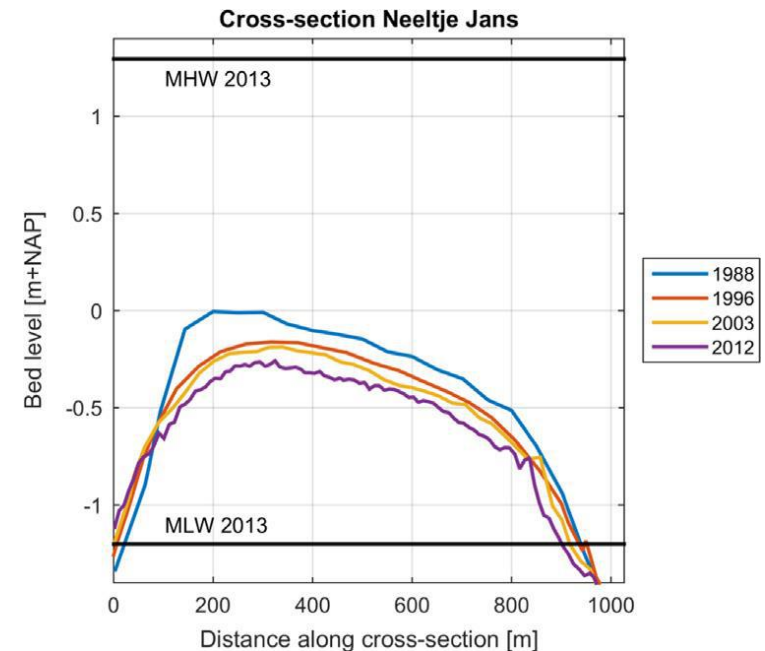


Escaut oriental

Barrage anti-tempête + fermeture de bassins

- ⇒ ↓ courants marée
- ⇒ dépôt dans chenaux
- ⇒ érosion/abaissement de l'estran
car apport de sédiment insuffisant

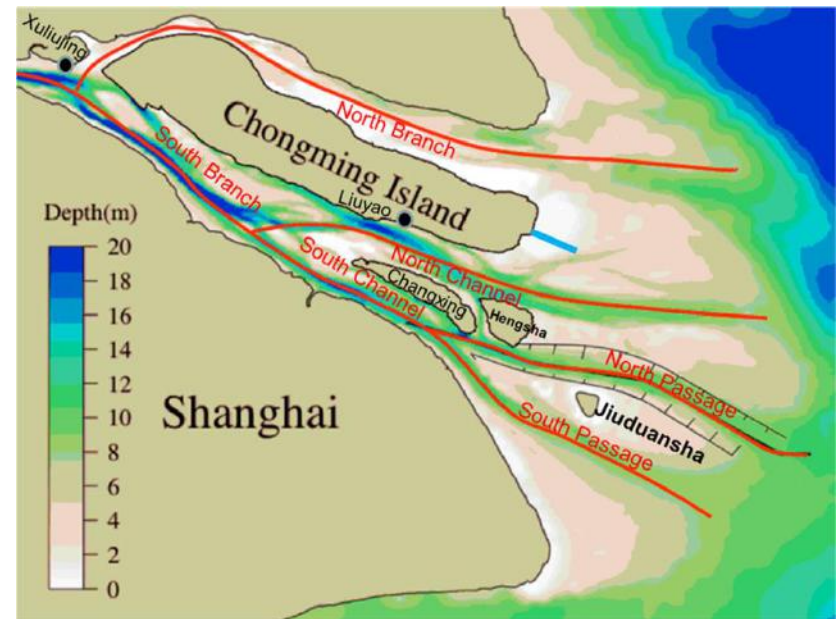
D'après Wang et al, 2015



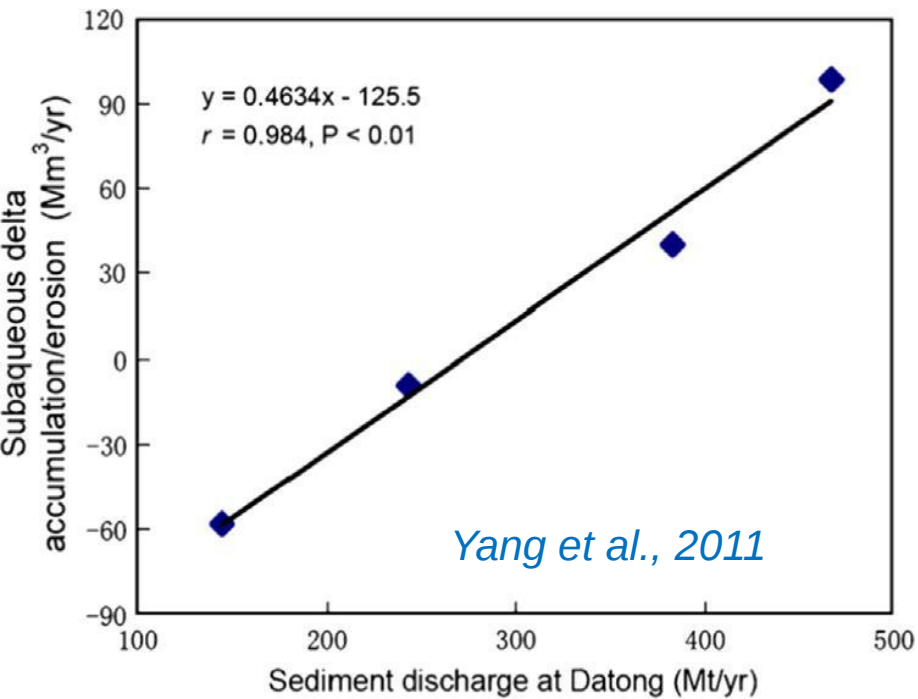
Effet des constructions de barrages en amont
(e.g. barrage des 3 gorges) dans l'estuaire du Yangtze

déficit d'apport solide

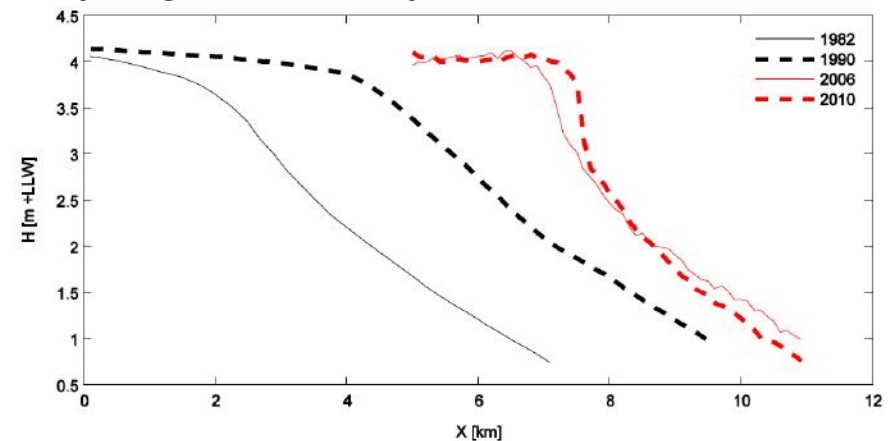
D'après Wang et al, 2015



Régression du prodelta



zones intertidales : arrêt de leur progradation, puis érosion



Van Maren et al., 2013

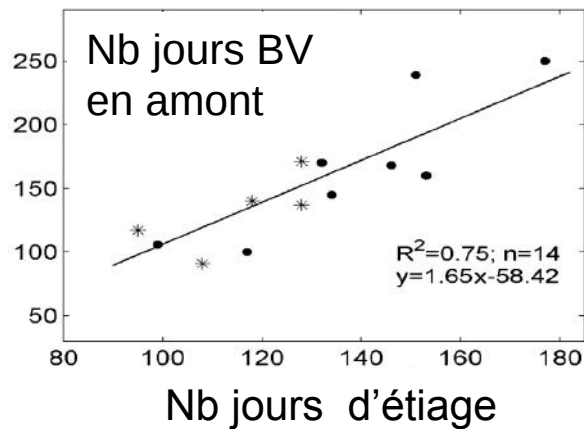
Usages de l'eau

Réduction drastique du débit fluvial en Gironde depuis 1960

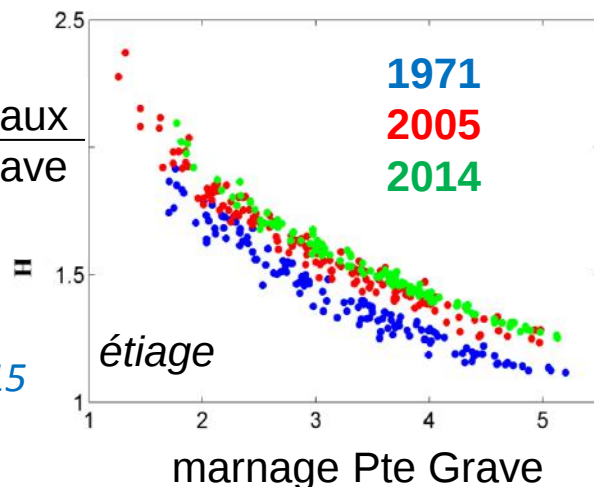
Problèmes de l'étiage :

- salinisation des eaux
- étalement du bouchon vaseux
- risques d'anoxie

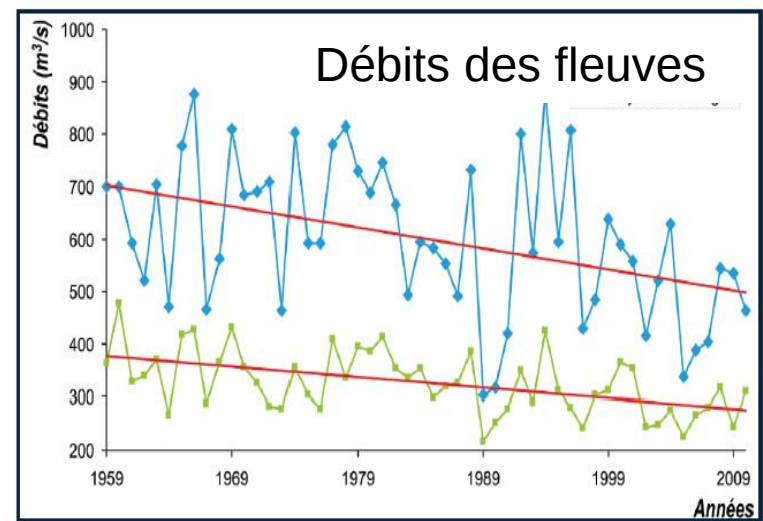
Jalon-Rojas et al,
2015



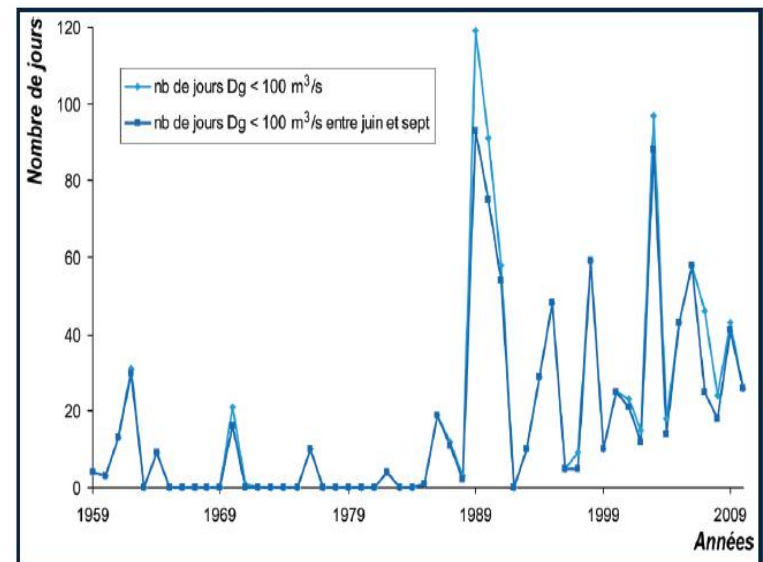
marnage à Bordeaux
marnage Pte Grave



Sottolichio et al, 2015



Nombre de jours d'étiage



In rapport collectif "Changement Climatique en Aquitaine"
(Ed H. Le Treut)

GEMAPI

gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

La loi du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique crée une compétence ciblée et obligatoire relative à la gestion des milieux aquatiques et à la prévention des inondations, et l'attribue aux communes et à leurs groupements.

Le « regroupement » (intercommunalité) ne tient souvent pas compte des unités naturelles

Estuaire : continuum amont/aval

*Ex. des digues de protection ; **besoin d'identifier et de réserver des zones inondables***

Gestion des apports amont

Plan de l'exposé

1- Comportement hydro-morpho-sédimentaire d'un estuaire

2- Aménagements/activités anthropiques

inventaire

conséquences des aménagements/usages

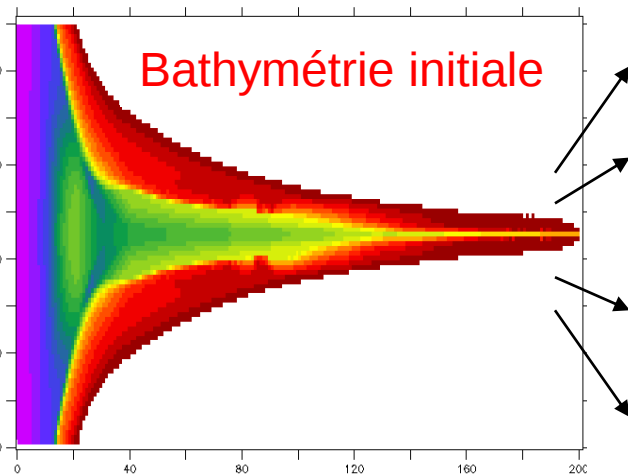
3- GEMAPI

4- Conséquences du Changement Climatique : niveau marin, apports amont

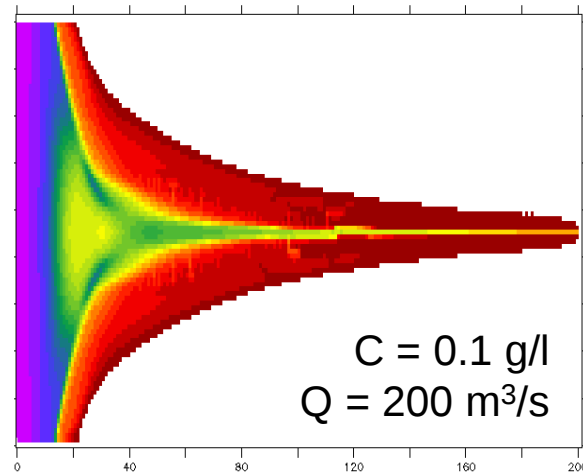
5- Recherche d'indicateurs favorables au bon état écologique

Conclusions / messages

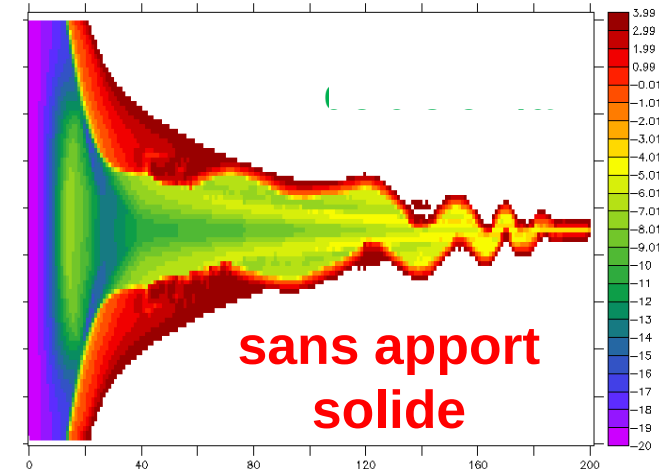
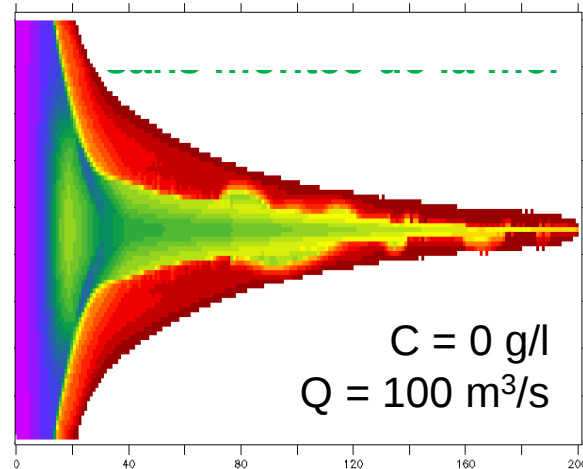
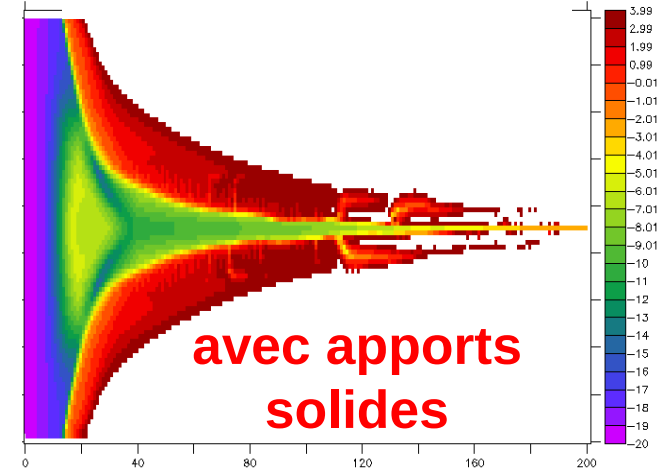
Evolution morphologique



sans montée de la mer



avec montée de la mer
de 0.5 cm/an



Bathymétrie après 200 ans

À grande échelle ...

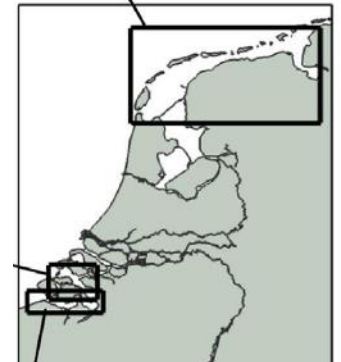
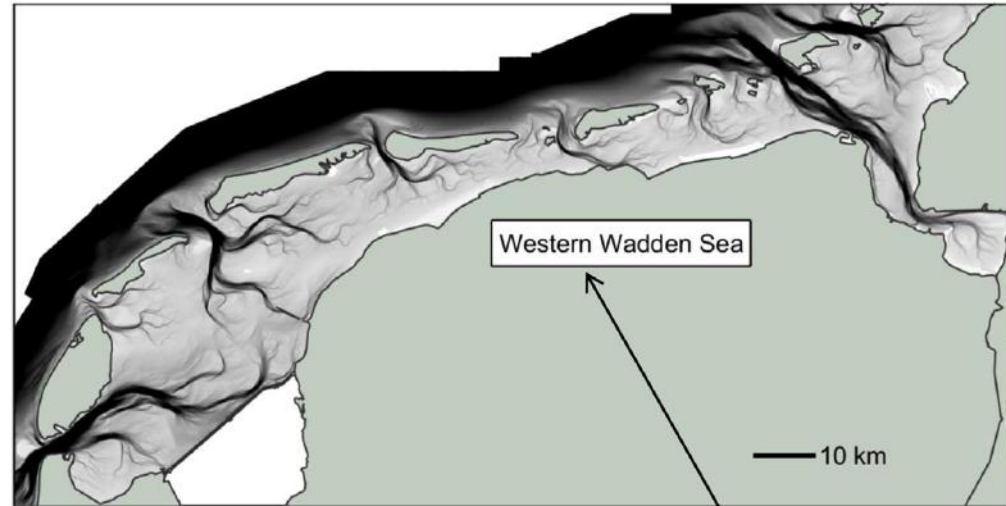
Mer des Waddens

∃ Seuil du taux d'élévation de la mer :

- si $<$ seuil : estran accompagne la montée de la mer
- sinon, estran disparaît

réversible

Van Goor et al, 2003 : seuil ~ 1 m/siècle

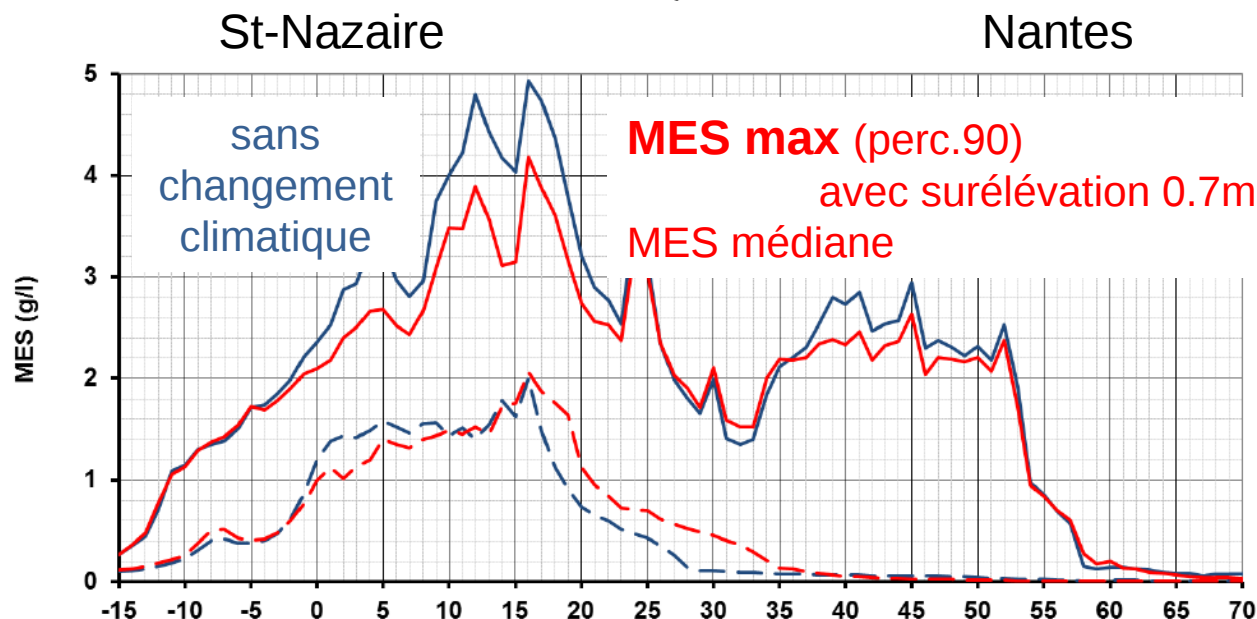
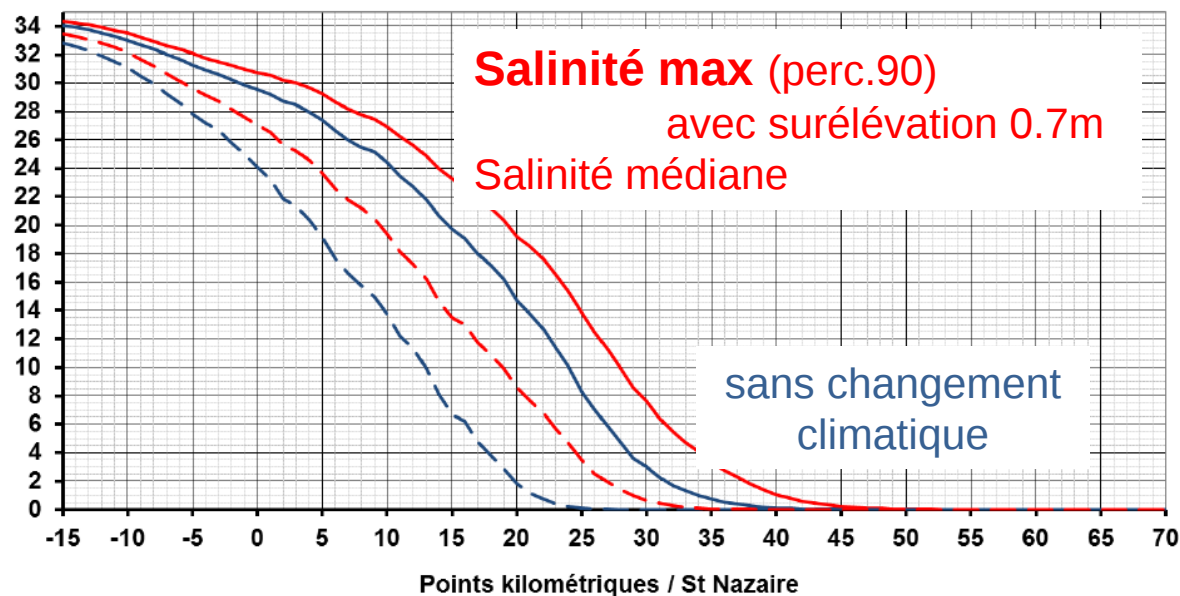


Estuaire de la Loire

Effets du changement climatique :

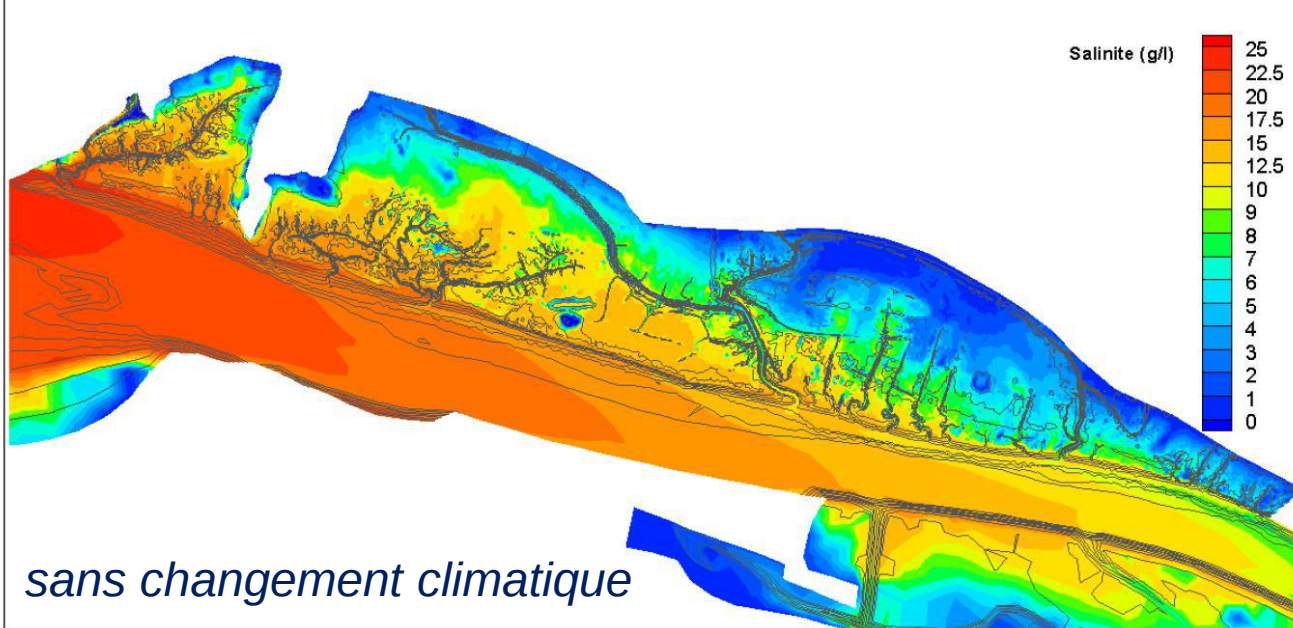
- montée du niveau de la mer (+ 70 cm en 2070)
- réduction des débits

Projets C3E2 et ICEPEL

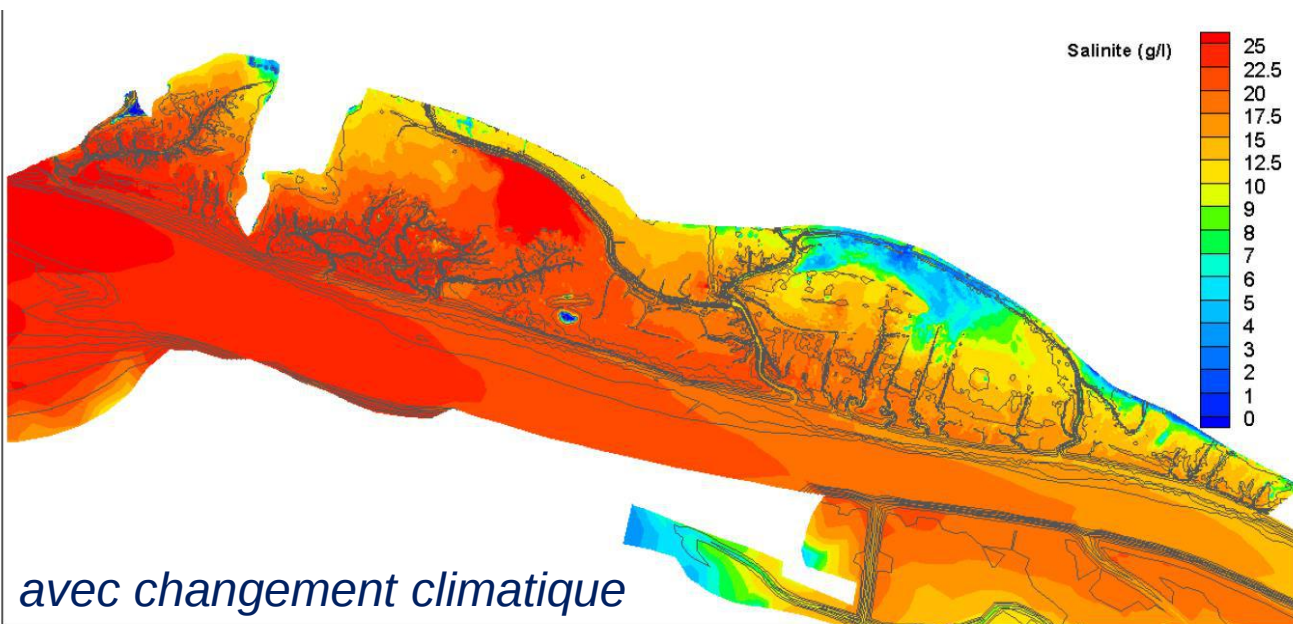


Projet ICEPEL

Simulation des salinités en 2070



Percentile 90 de la salinité en 2070 : scenario



Percentile 90 de la salinité en 2070 : scenario

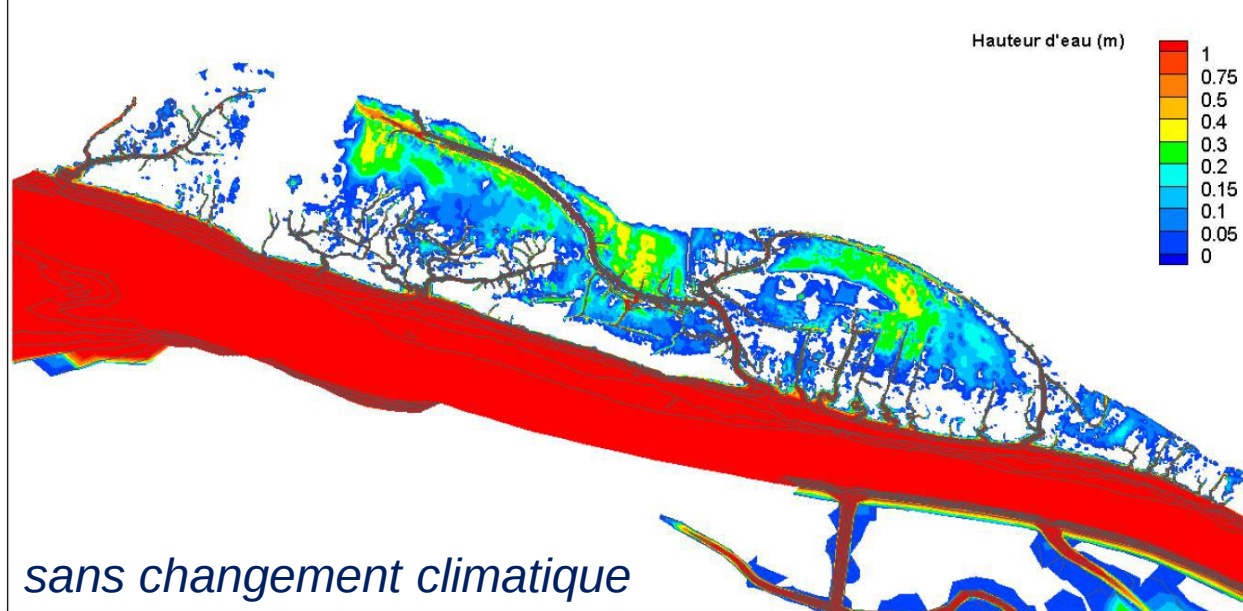
ARTELIA



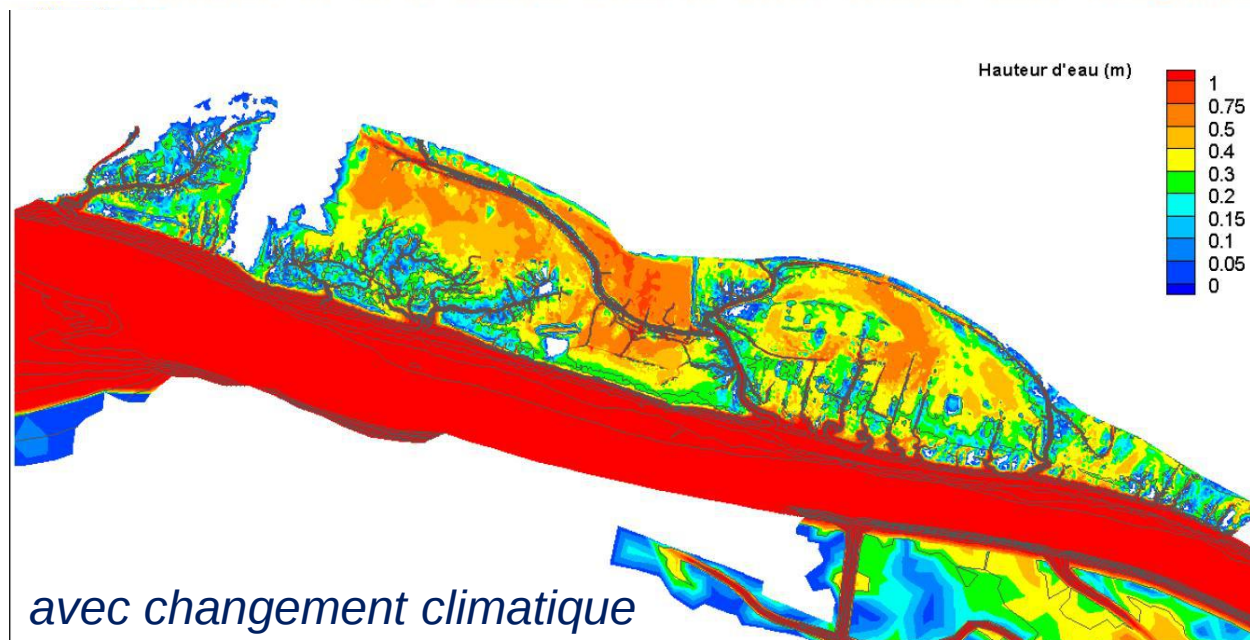
GIP
Loire
Estuaire

Projet ICEPEL

Simulation des hauteurs d'eau en 2070



Percentile 90 de la hauteur d'eau en 2070



Percentile 90 de la hauteur d'eau en 2070



Plan de l'exposé

1- Comportement hydro-morpho-sédimentaire d'un estuaire

2- Aménagements/activités anthropiques

inventaire

conséquences des aménagements/usages

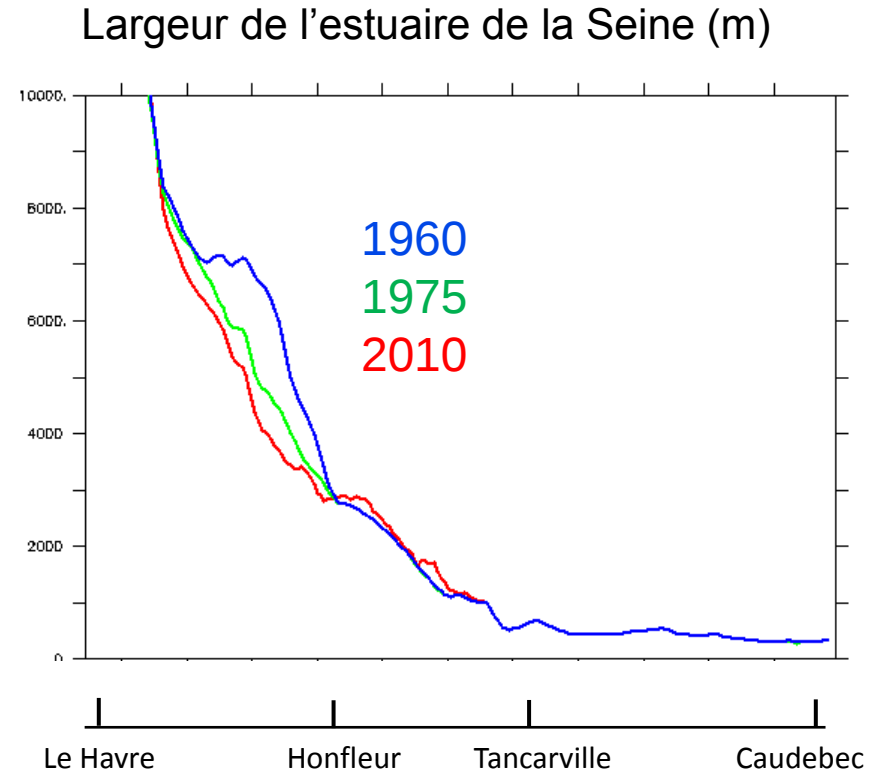
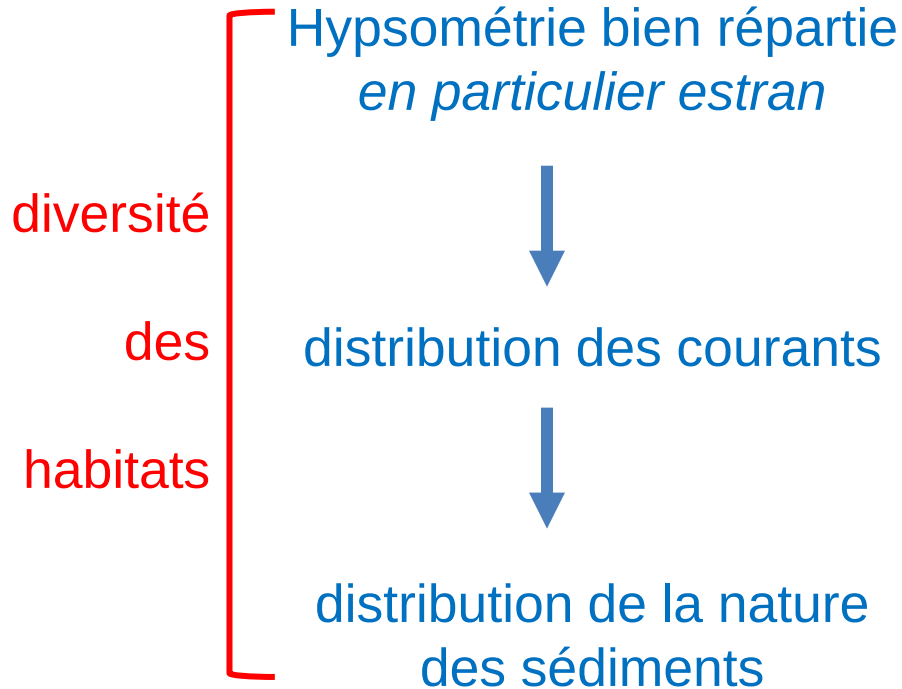
3- GEMAPI

4- Conséquences du Changement Climatique : niveau marin, apports amont

5- Recherche d'indicateurs favorables au bon état écologique

Conclusions / messages

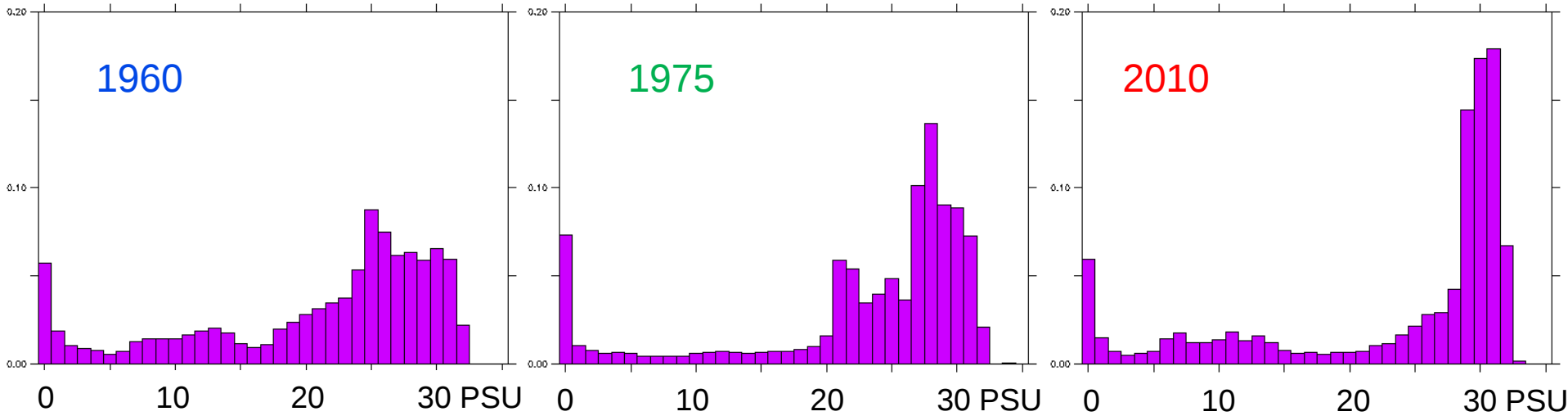
Recherche d'indicateurs : 1- hypsométrie



Recherche d'indicateurs : 2- salinité

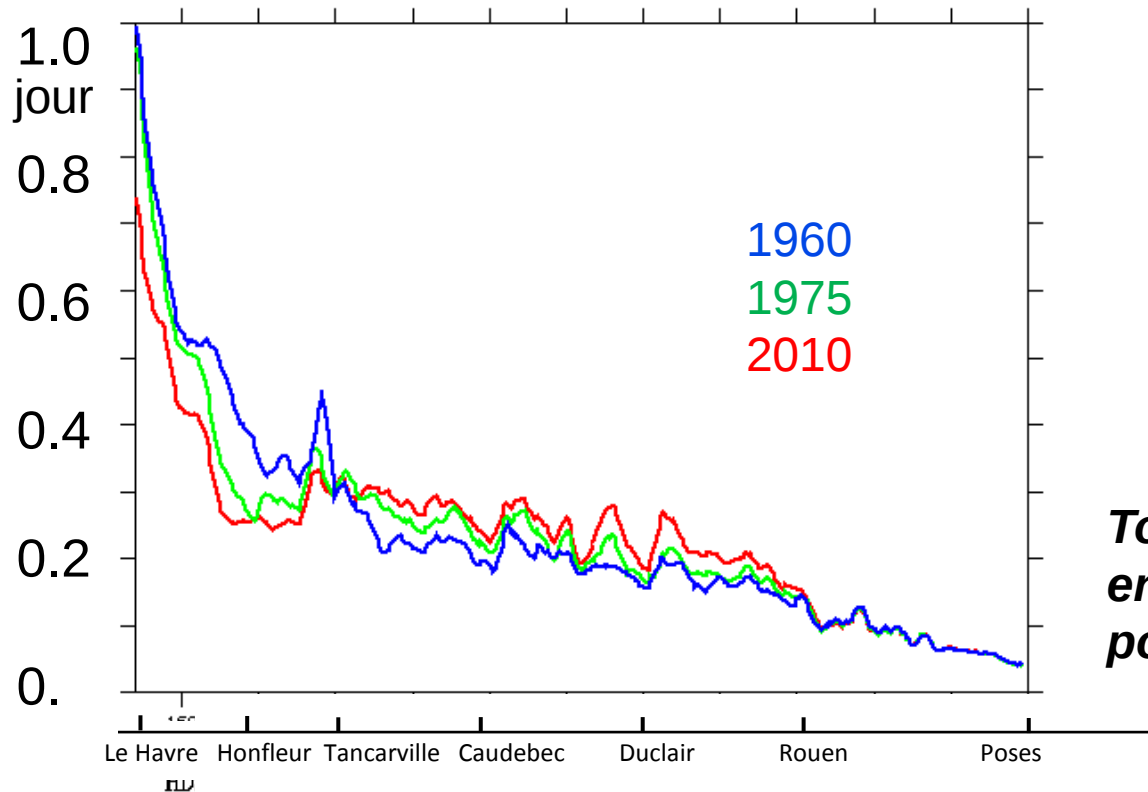
Salinités : histogramme : représentation minimale de chaque classe

Estuaire de la Seine



histogramme des salinités (moyennes surface/fond) entre Le Havre et Caudebec
calculé en étiage (de morte eau à vive eau)

évolution du temps de résidence en estuaire de Seine



Dyer, 1973 :

$$T = [(S_{\text{off}} - S) / S_{\text{off}}] \cdot V / Q$$

Voir aussi :

Sheldon & Alber, 2002

**Total : 38 j
en étiage moyen (200 m³/s)
pour les 3 configurations**

temps de résidence (en jours) par biefs de 1000 m de long,
moyens sur la section transversale de l'estuaire.
cycle vive eau / morte eau d'étiage

Quel usage ?

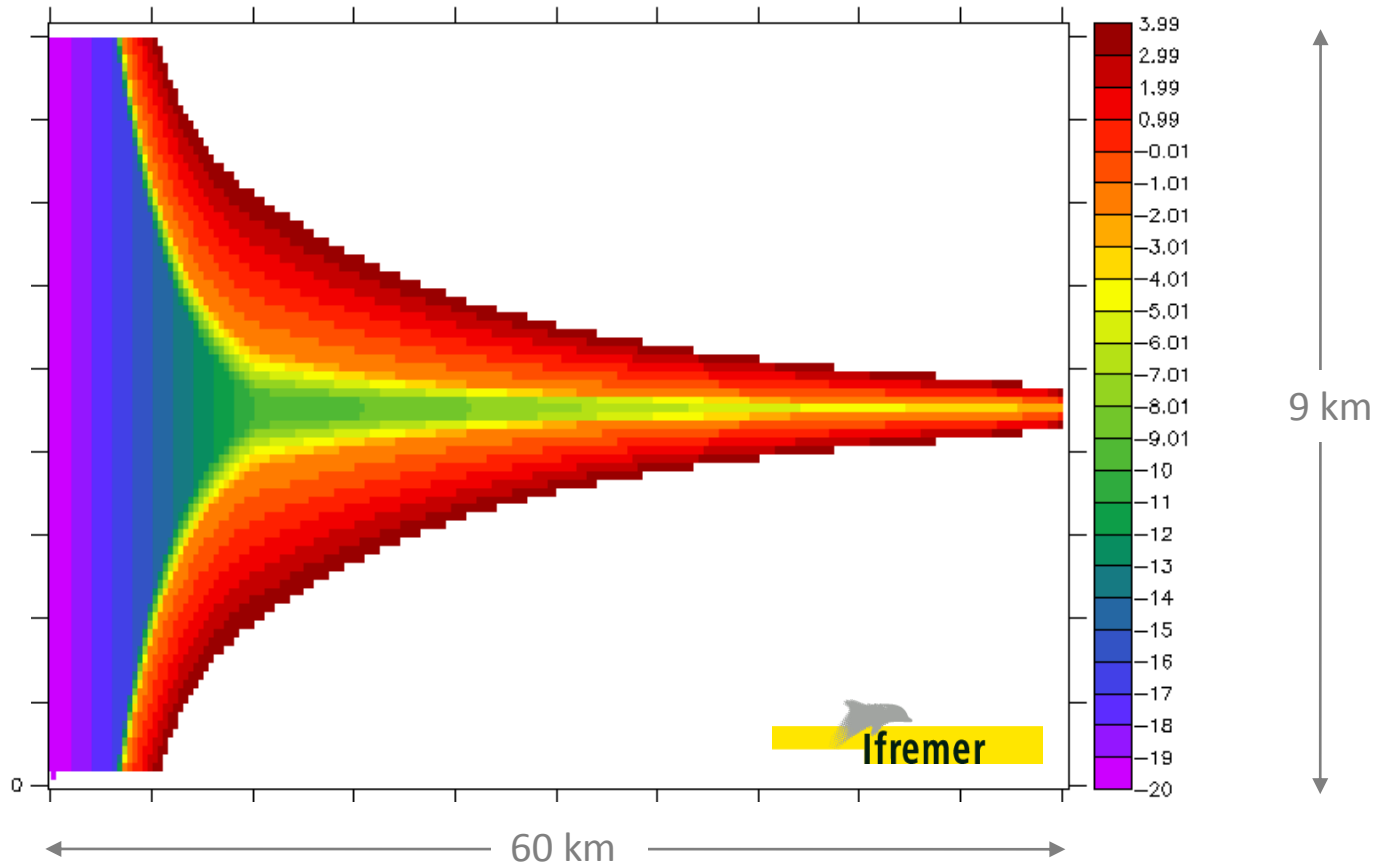
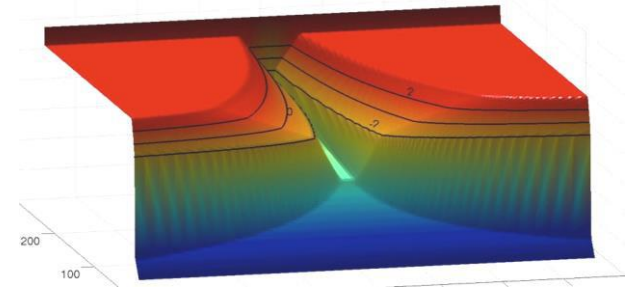
Quelques messages

- endiguements $\Rightarrow$ approfondissement
- approfondissement $\Rightarrow$ amplification de la marée
- amplification de la marée $\Rightarrow$ remontée de séd^{ts} fins
- sédiments fins réduisent frottements
- soutenir les débits d'étiage
- stratégie d'ensemble pour la GEMAPI
- réserver des zones inondables, espace pour sédiment^{ion}
- contrôler les apports solides
- favoriser le drainage des estrans hauts



Merci de votre attention

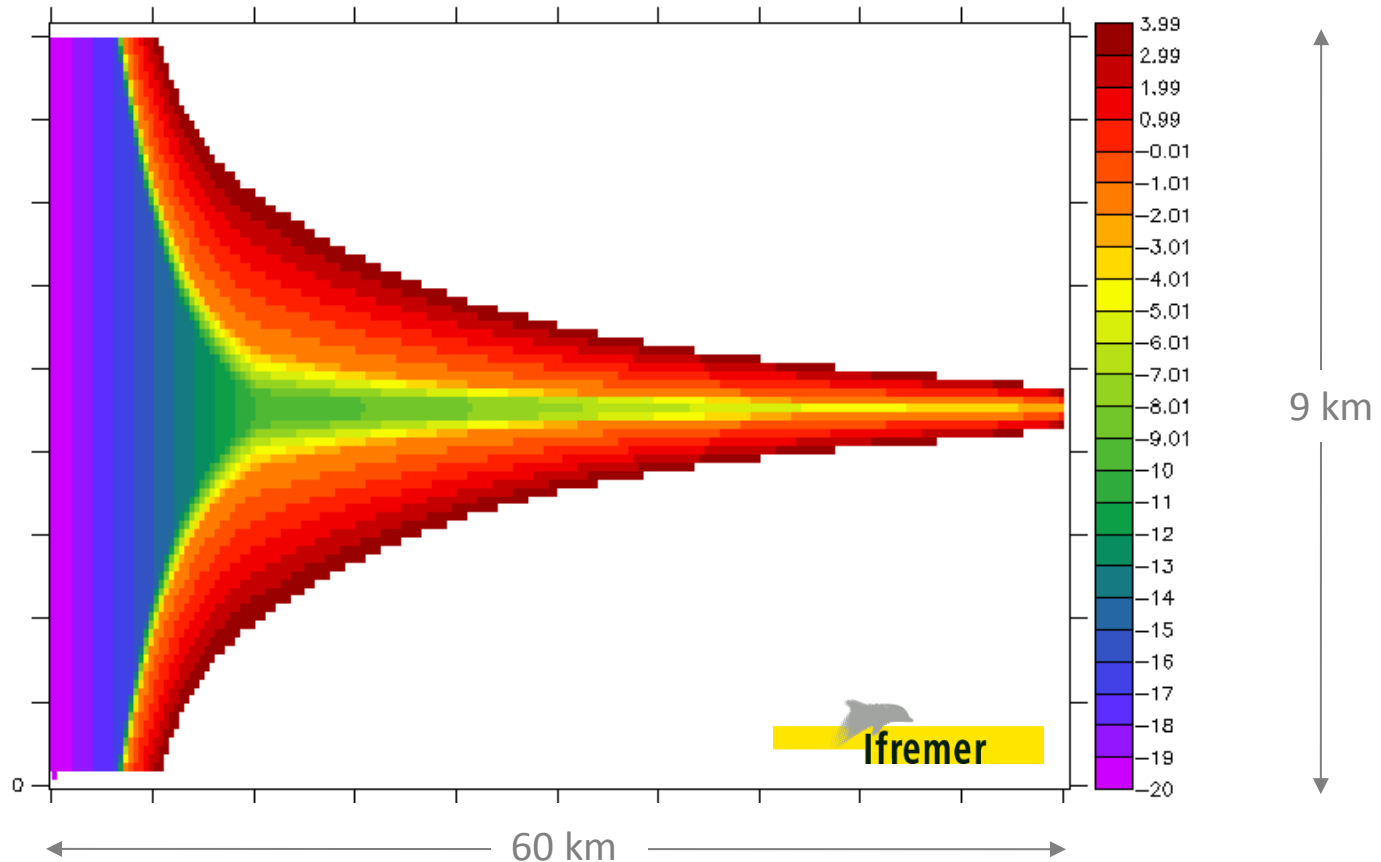
Evolution « naturelle » d'un estuaire soumis à des apports solides élevés



marnage (marée) : 4 m

apports amont : $200 \text{ m}^3/\text{s}$, $C=0.1 \text{ g/l}$

Evolution « naturelle » d'un estuaire soumis à des apports solides élevés



marnage (marée) : 4 m

apports amont : $200 \text{ m}^3/\text{s}$, $C=0.1 \text{ g/l}$

Evolution d'une section

