

Impact du changement climatique en milieu estuarien

Pierre Le Hir

*Séminaire Océan, Climat et vulnérabilité
Brest 22-23 juin 2010*



Ifremer

Impact du changement climatique en milieu estuarien

Spécificité des estuaires :

- propagation de la marée : amplification/amortissement selon convergence/frottements
- asymétrie de la marée : transport résiduel de sédiments
- mélange eau douce / eau salée (→ peuplements spécif.)
- accumulations turbides (bouchon vaseux)
- secteurs fortement aménagés (chenaux, quais), occupation dense

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 ?

régimes de vagues et surcotes météorologiques ?

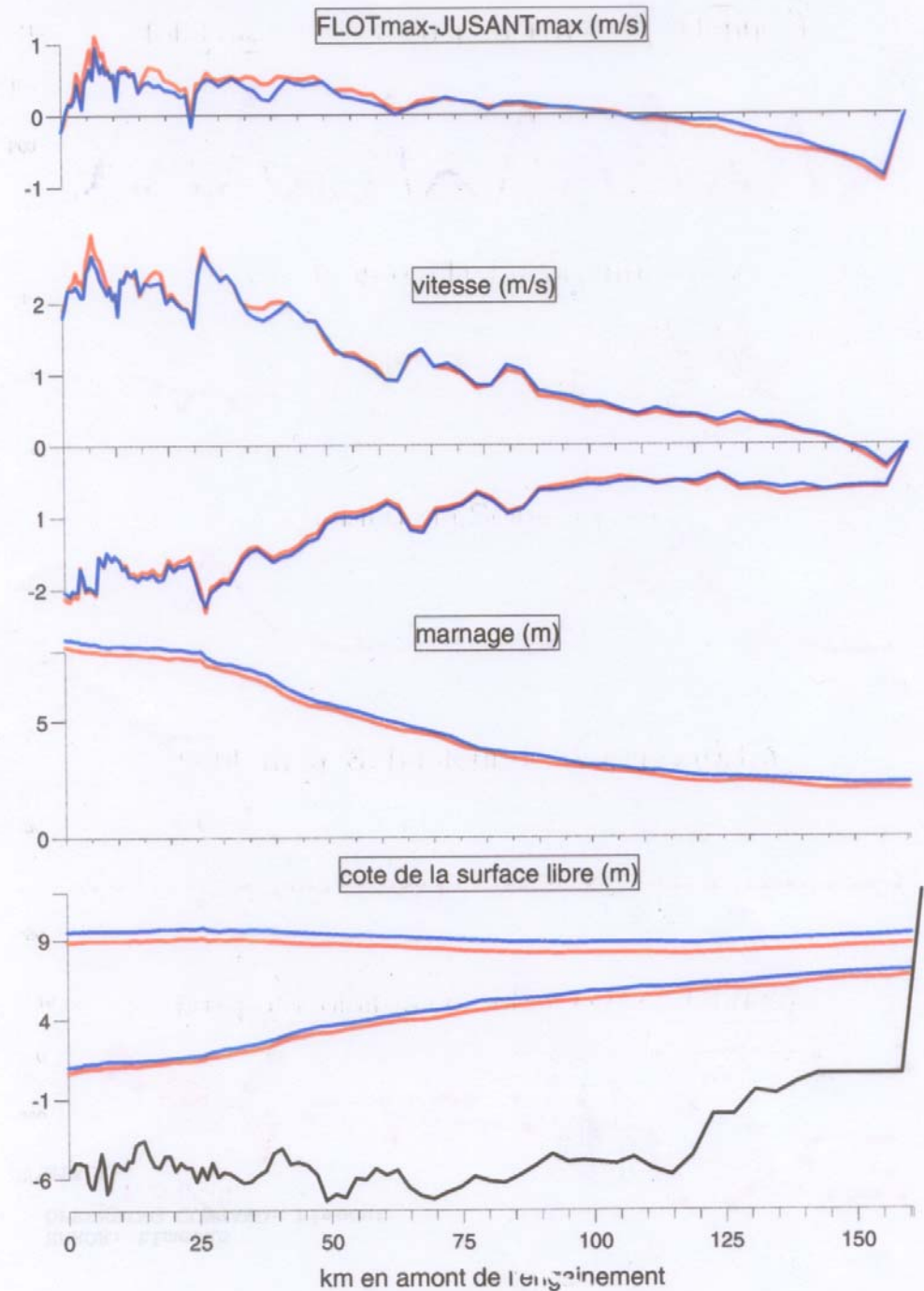
Effet d'une surélévation du niveau moyen de la mer de 60 cm

sur la propagation de la marée dans l'estuaire de la Seine

Débit moyen (350 m³/s)

Simulation SiAM-3D

- marnage ↗ en aval
- asymétrie des vitesses ↘

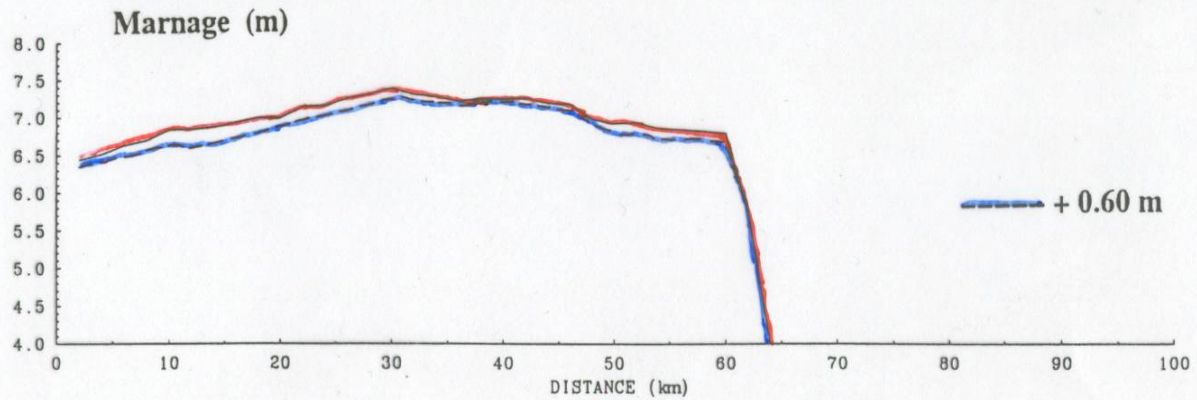
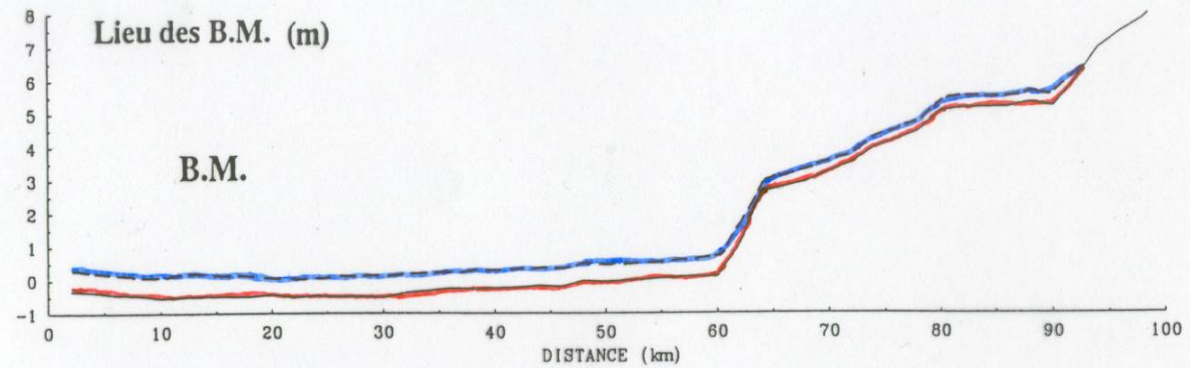
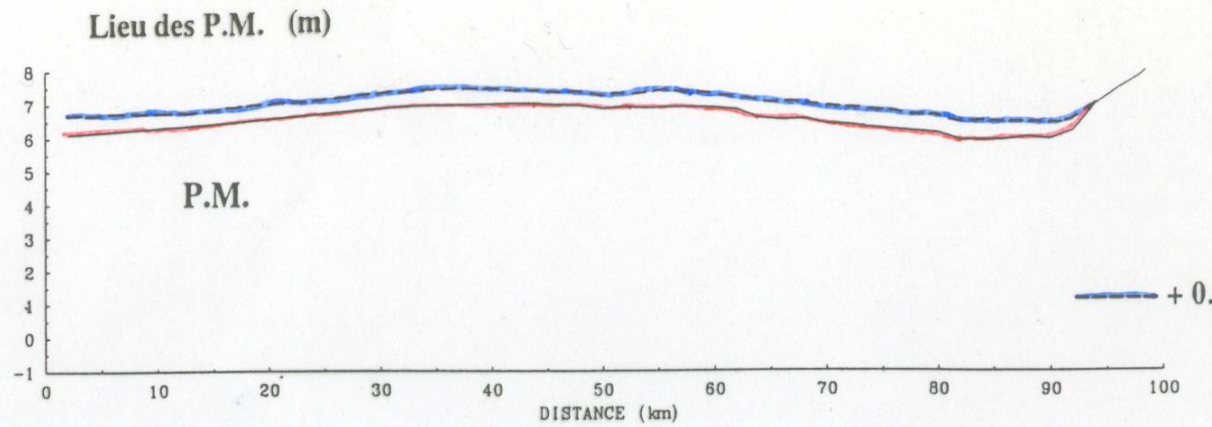


Effet d'une surélévation
du niveau moyen de la
mer de 60 cm

sur la propagation de la
marée dans l'estuaire de
la Loire

Simulation SiAM-1D

- marnage ↘ en aval
- asymétrie des vitesses ↘

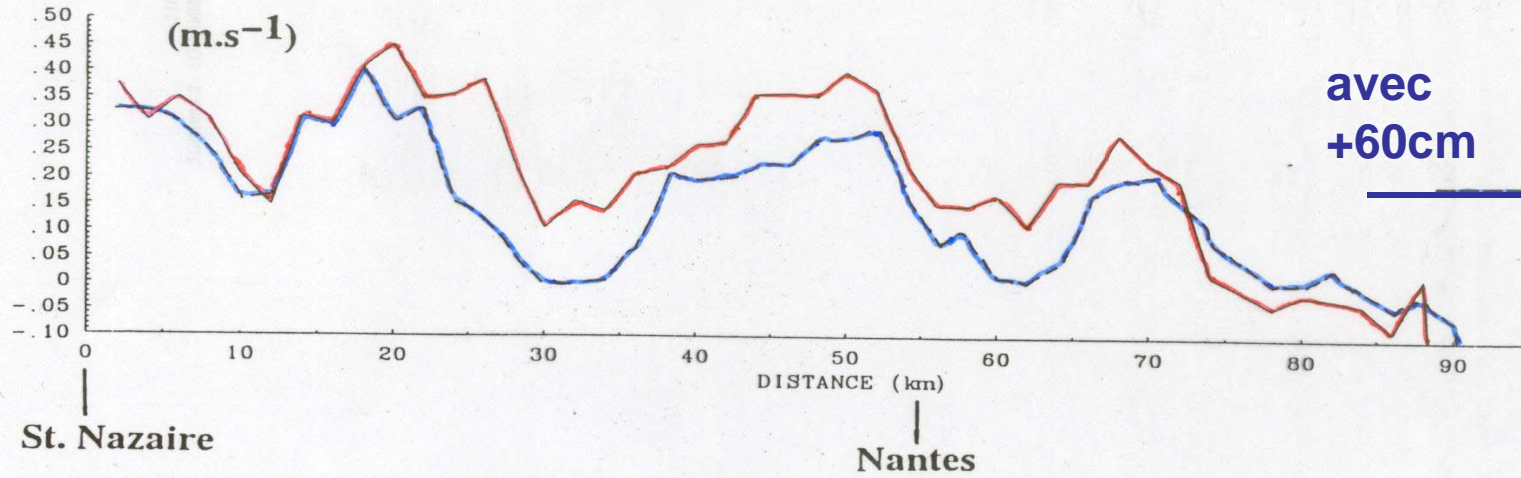


St. Nazaire

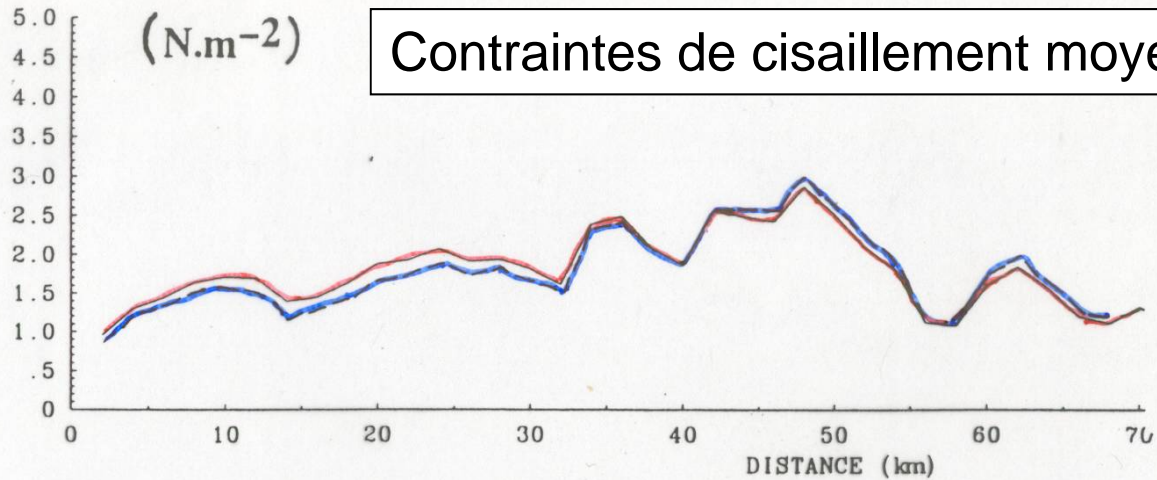
Le Pellerin

Nantes

U flot moy. - U jusant moy.

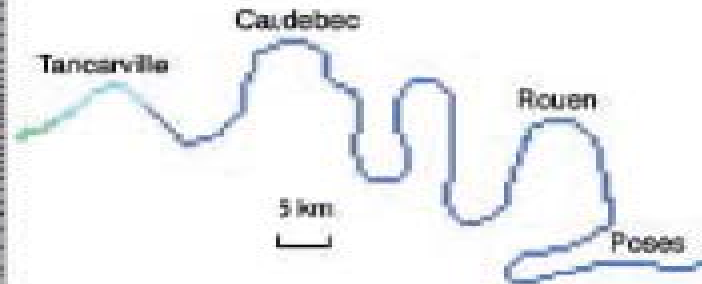
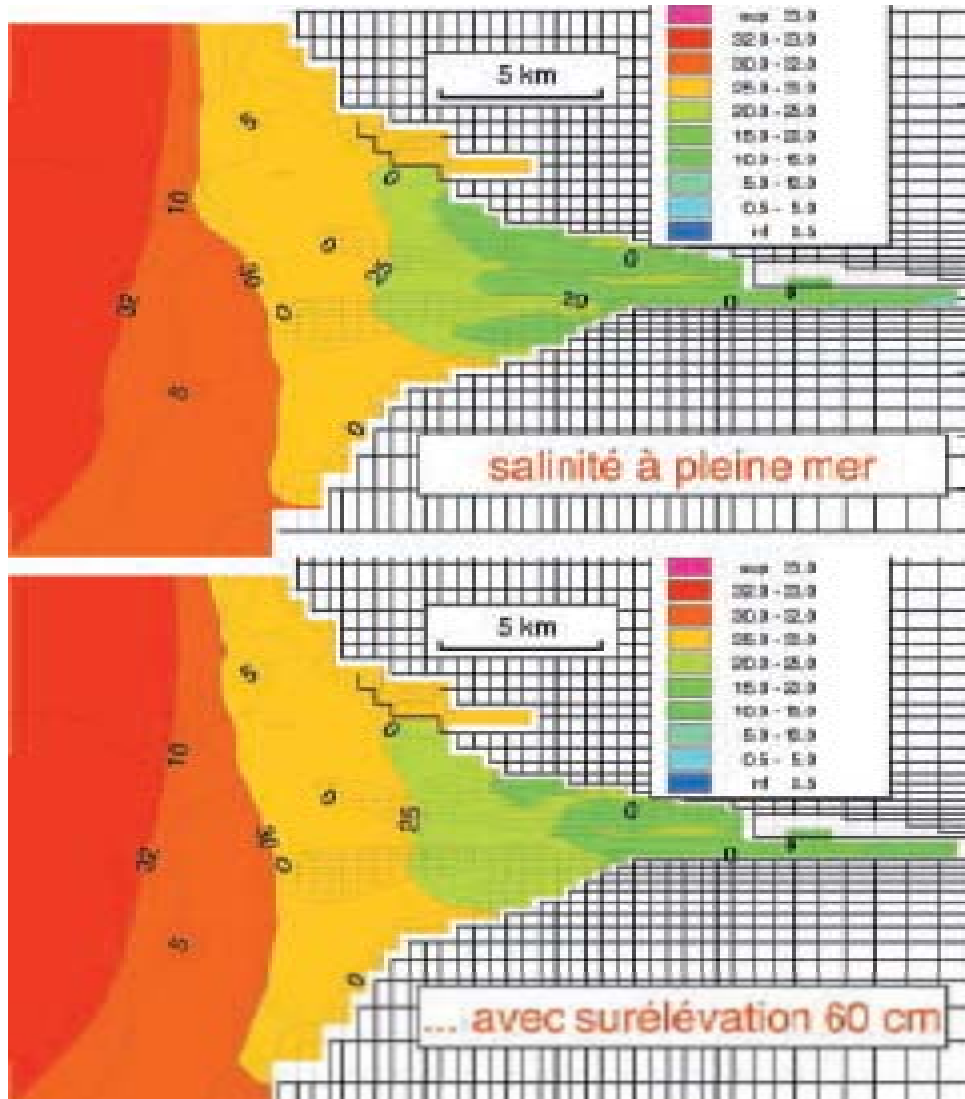


Contraintes de cisaillement moyennes



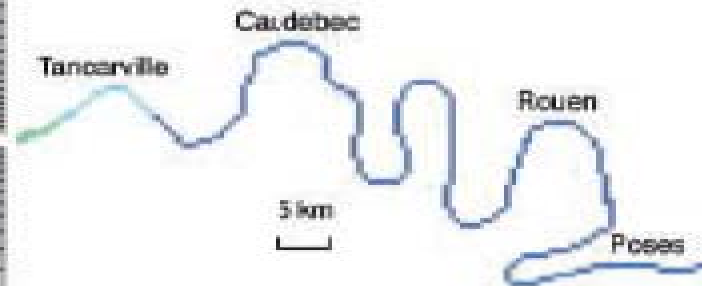
Effet d'une surélévation de la mer de 60 cm sur la salinité de l'estuaire de la Seine à pleine mer

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



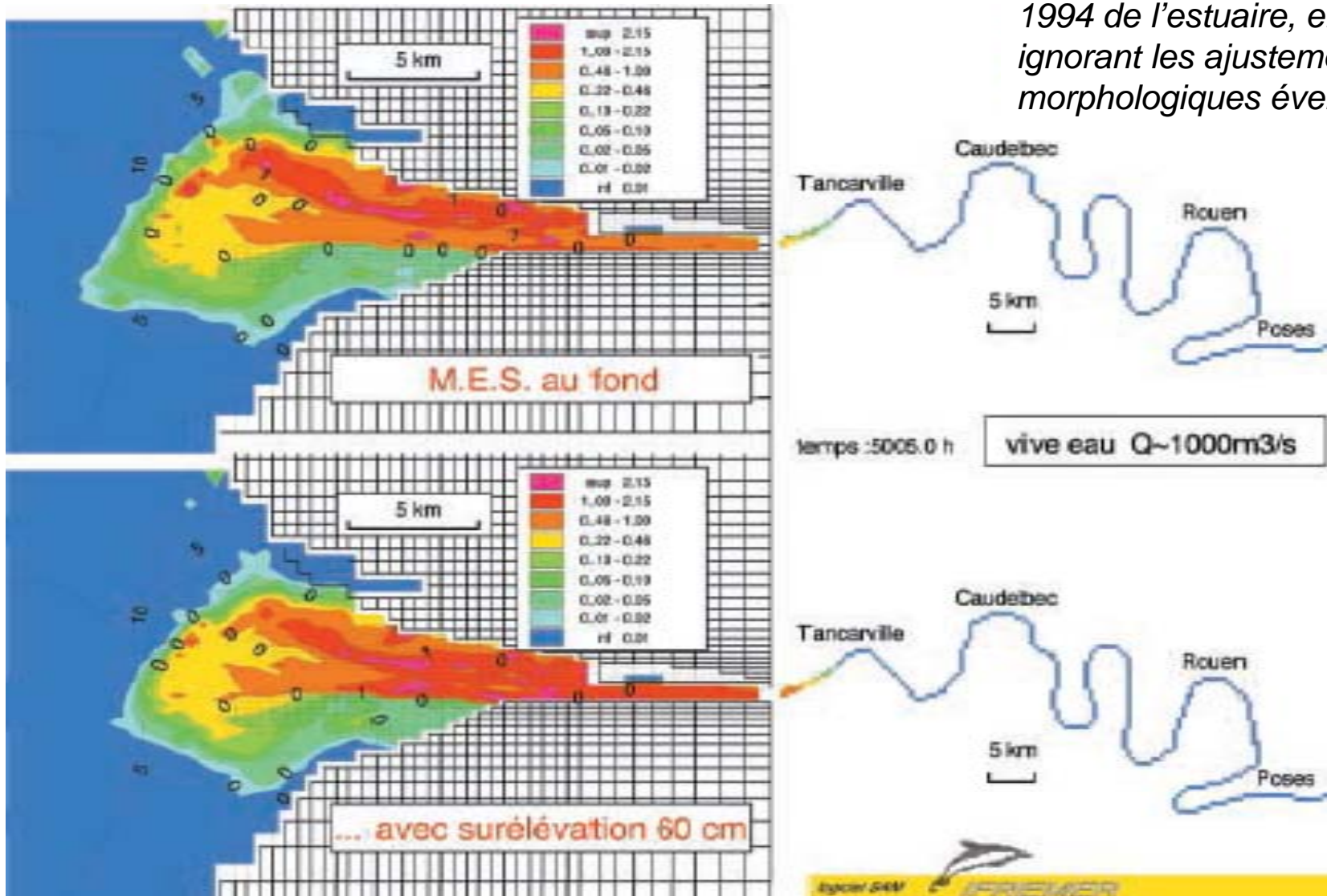
temps : 4298.0 h

Vive eau $Q \approx 350 \text{ m}^3/\text{s}$



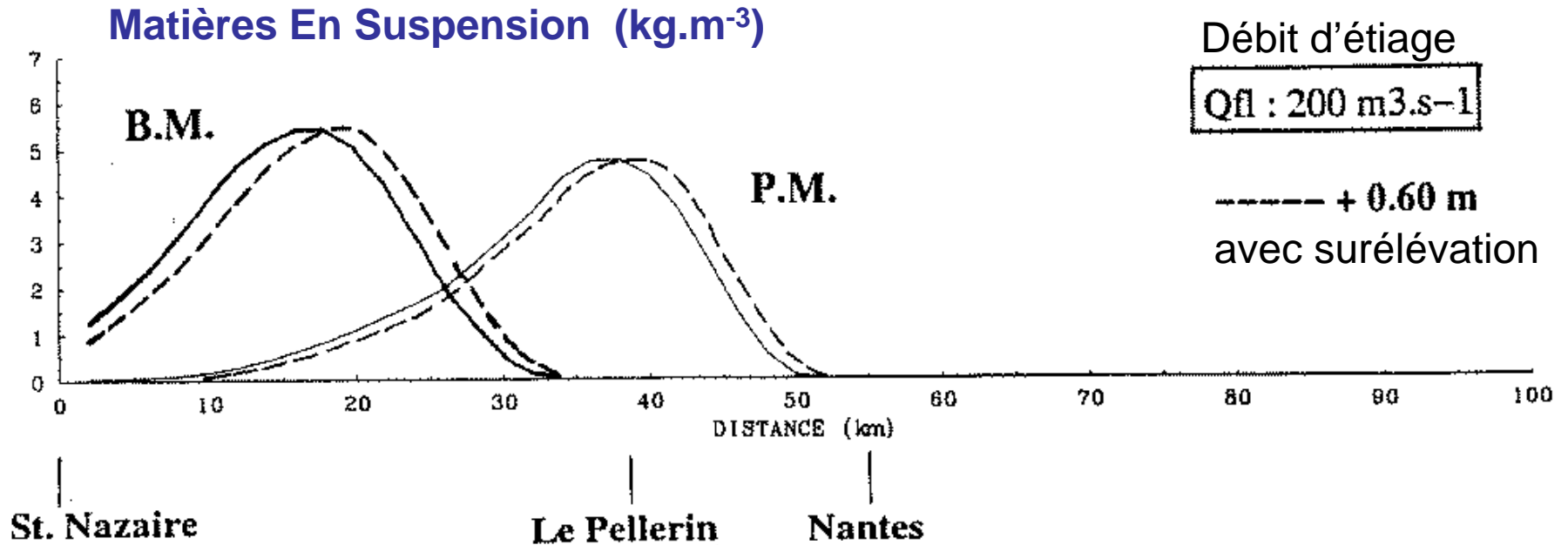
Effet d'une surélévation de la mer de 60 cm sur Le bouchon vaseux dans l'estuaire de la Seine

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



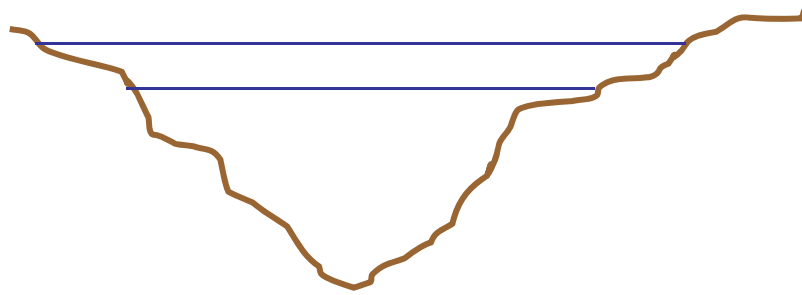
Effet d'une élévation du niveau de la mer sur le bouchon vaseux de la Loire

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



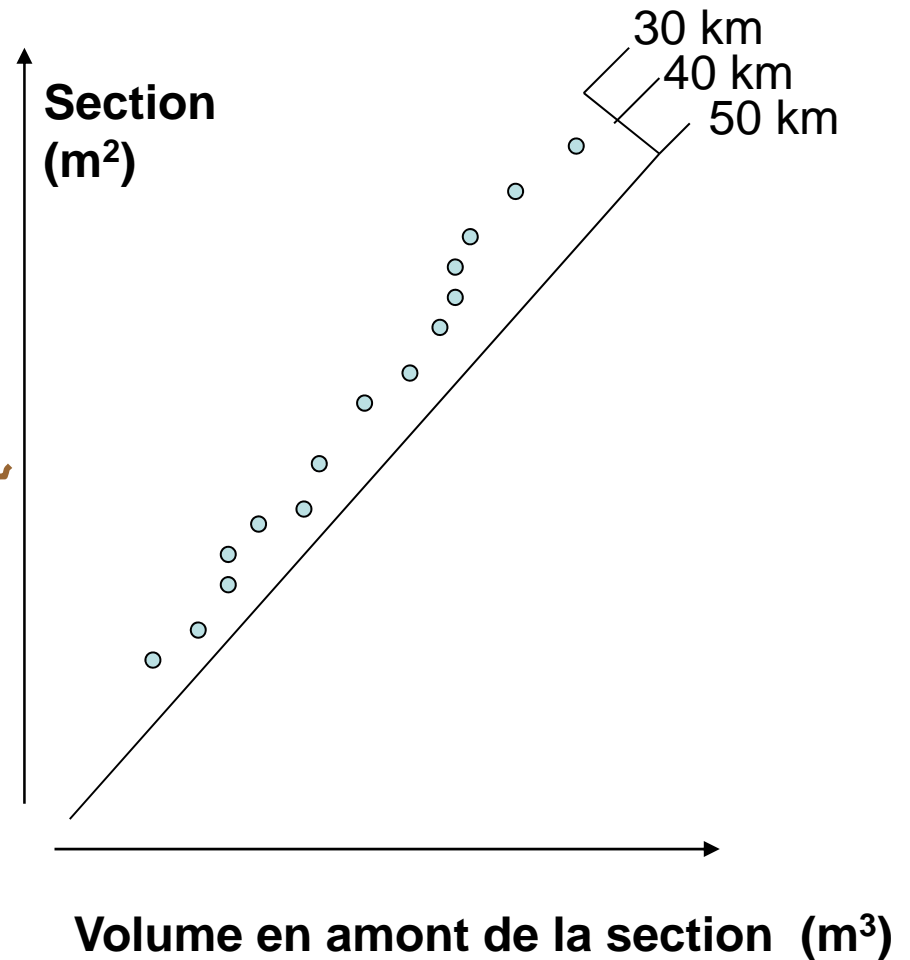
(dés)équilibre morphodynamique ?

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



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

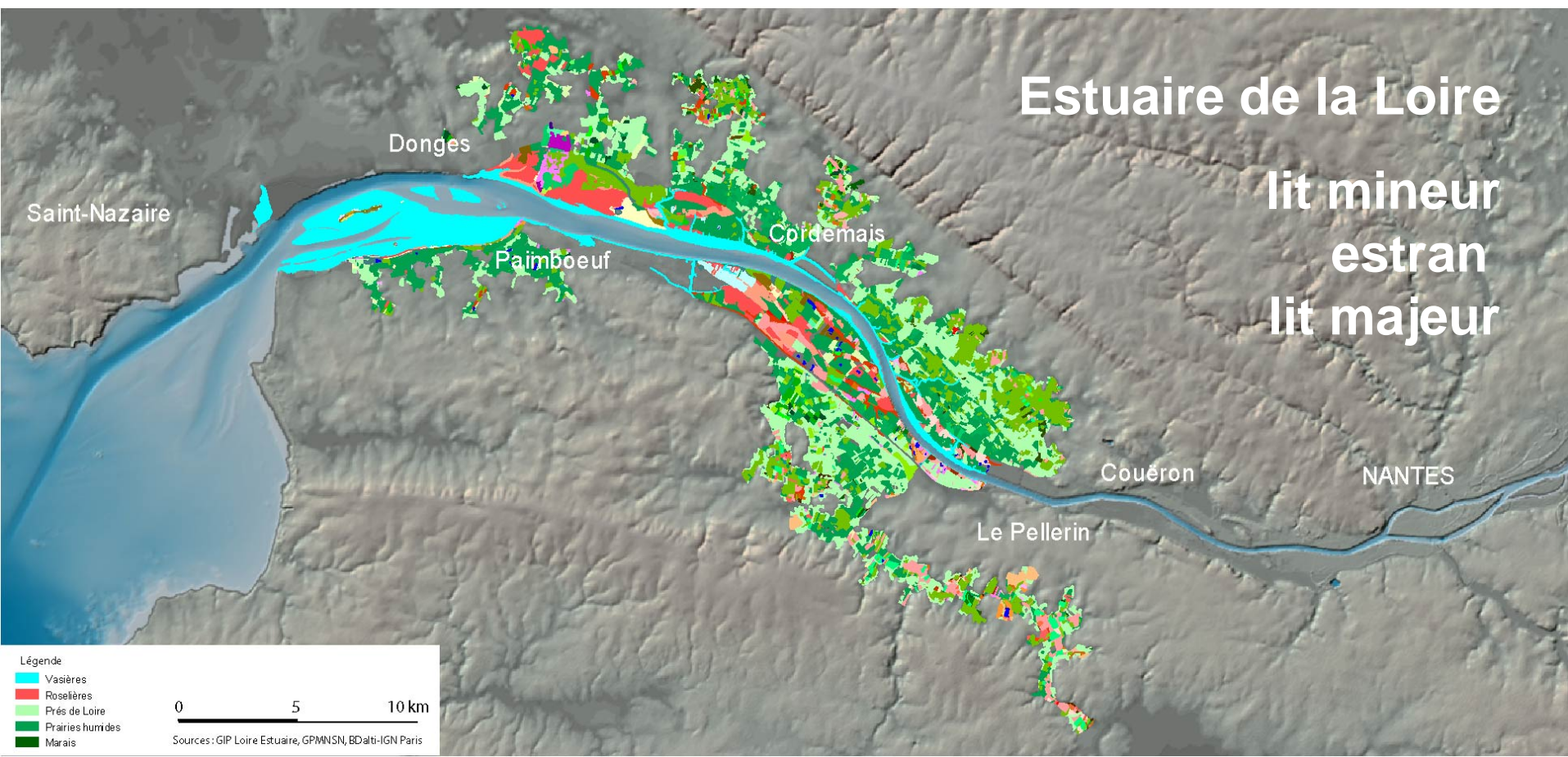
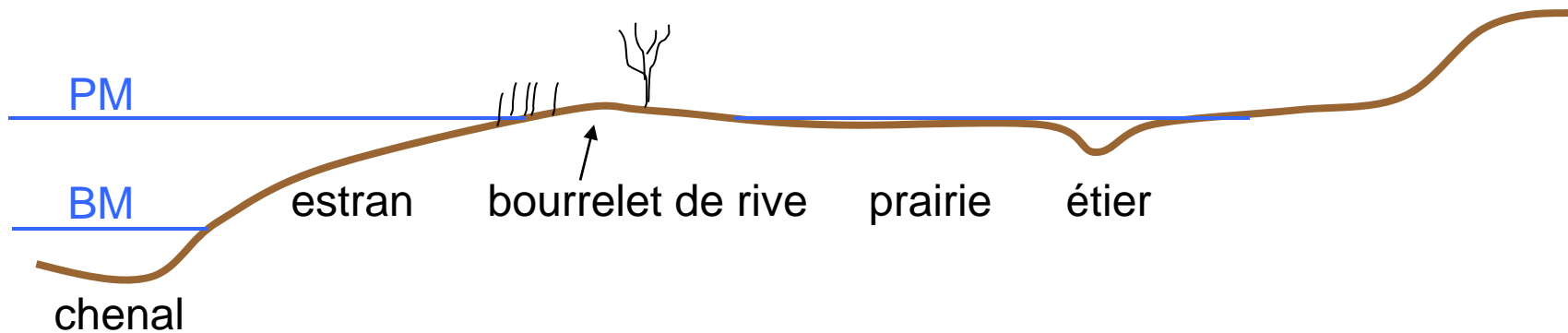
Questions posées

- **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



Un modèle d'estuaire « générique »

Paramètres caractérisant les estuaires (exemples):

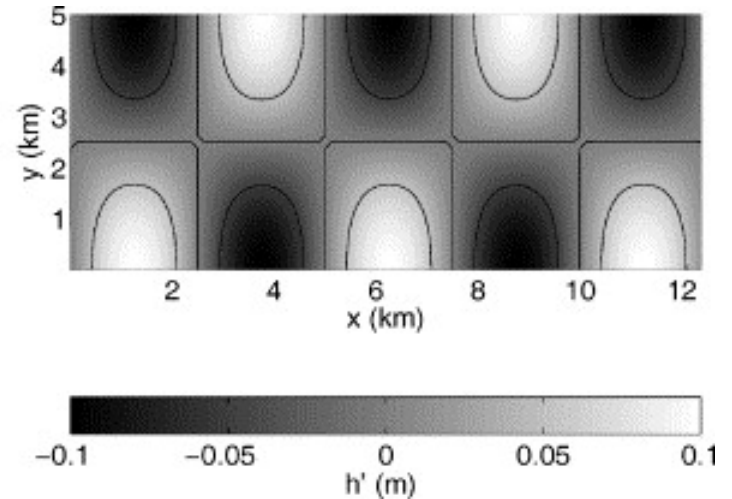
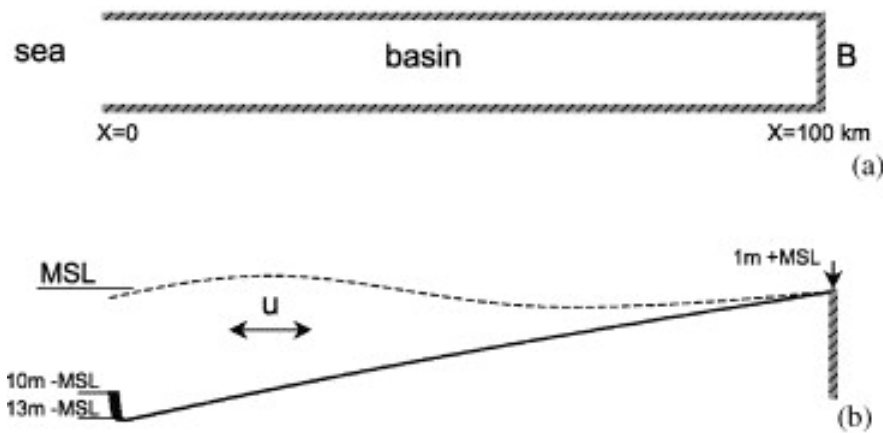
- marnage
- section à l'embouchure
- pente du chenal
- profil en travers (pentes transversales, prairies, végétation ...)
- apports liquides (moyenne, saisonnalité, var. interannuelle)
- apports solides (moyenne, saisonnalité, var. interannuelle, nature des matériaux)
- nature des fonds

Scénarios de forçage climatique:

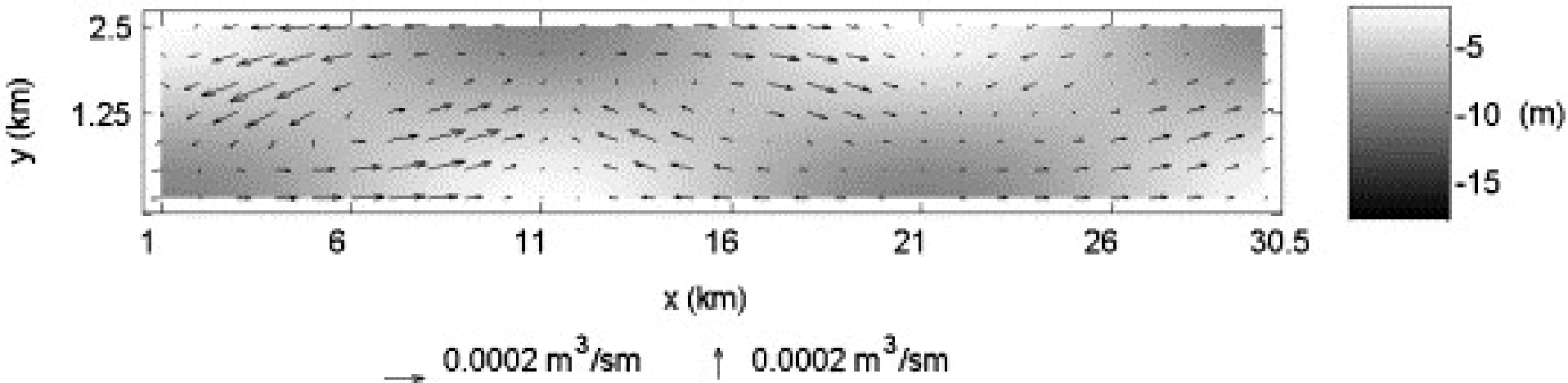
- niveau moyen de la mer (intensité, rythme d'élévation)
- régime de tempêtes/vagues
- variation des apports (liquides/solides) en amont

approche par modélisation : formation de bancs et chenaux en estuaire

Perturbation initiale périodique : étude des longueurs d'ondes dominantes en relation avec la largeur et la profondeur de l'estuaire, et avec les vitesses maximales



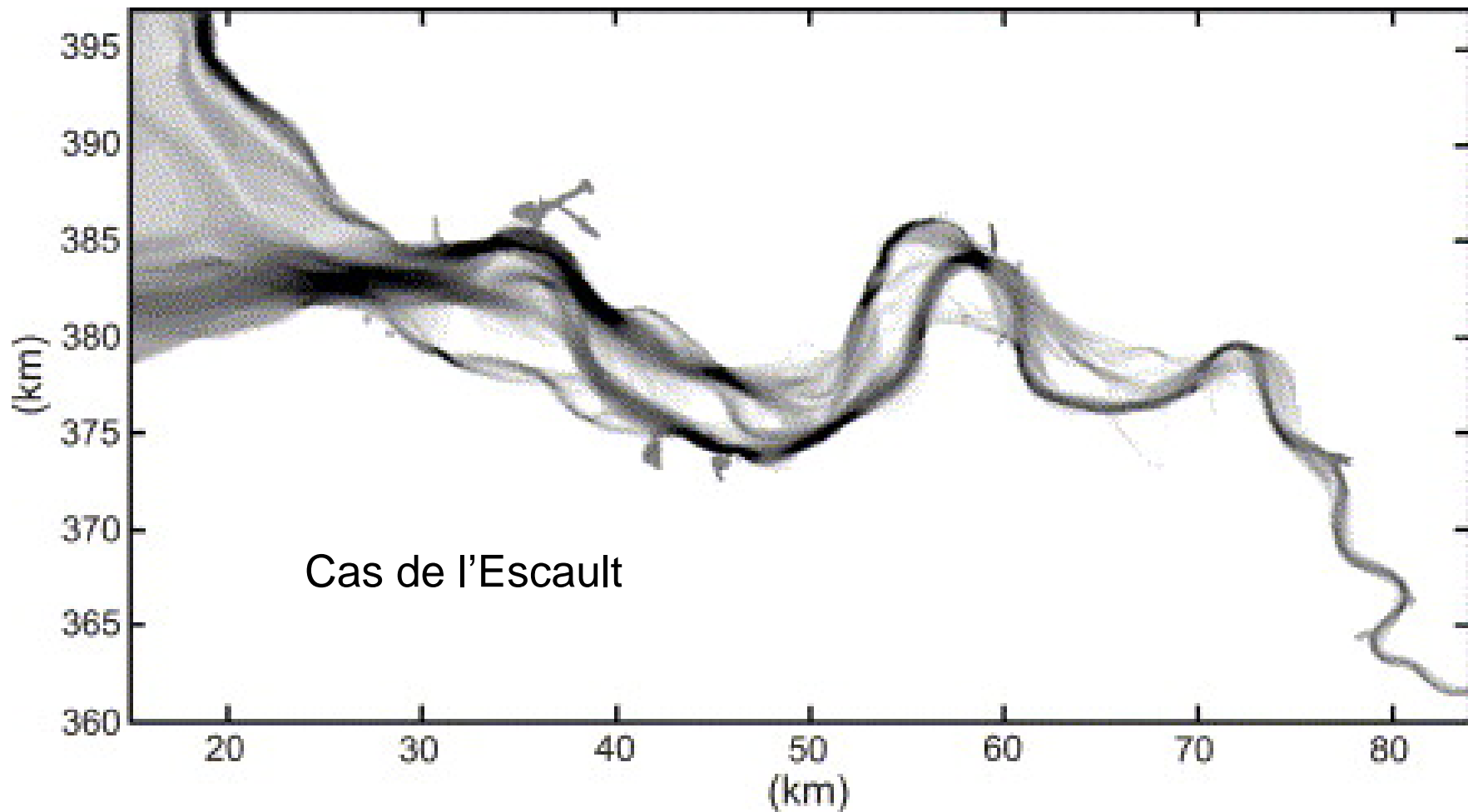
Mécanisme de formation des bancs et chenaux :
« positive feedback » entre courants de marée, transport sédimentaire et formes de fond



Transport sédimentaire résiduel sur une marée
Coeveld et al. 2003

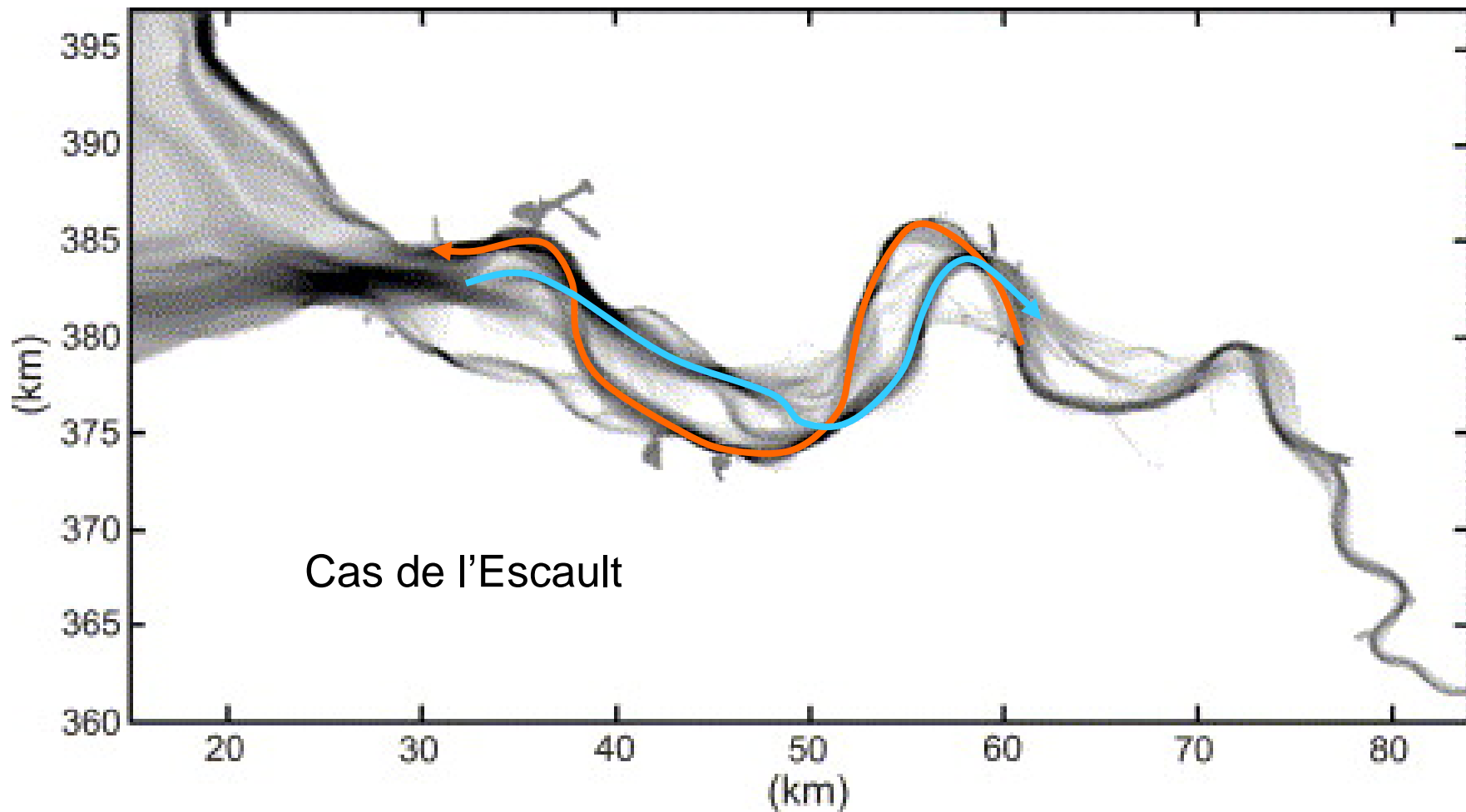
D'après Hibma et al., 2003

Formation de bancs et chenaux en estuaire



D'après Hibma et al., 2003

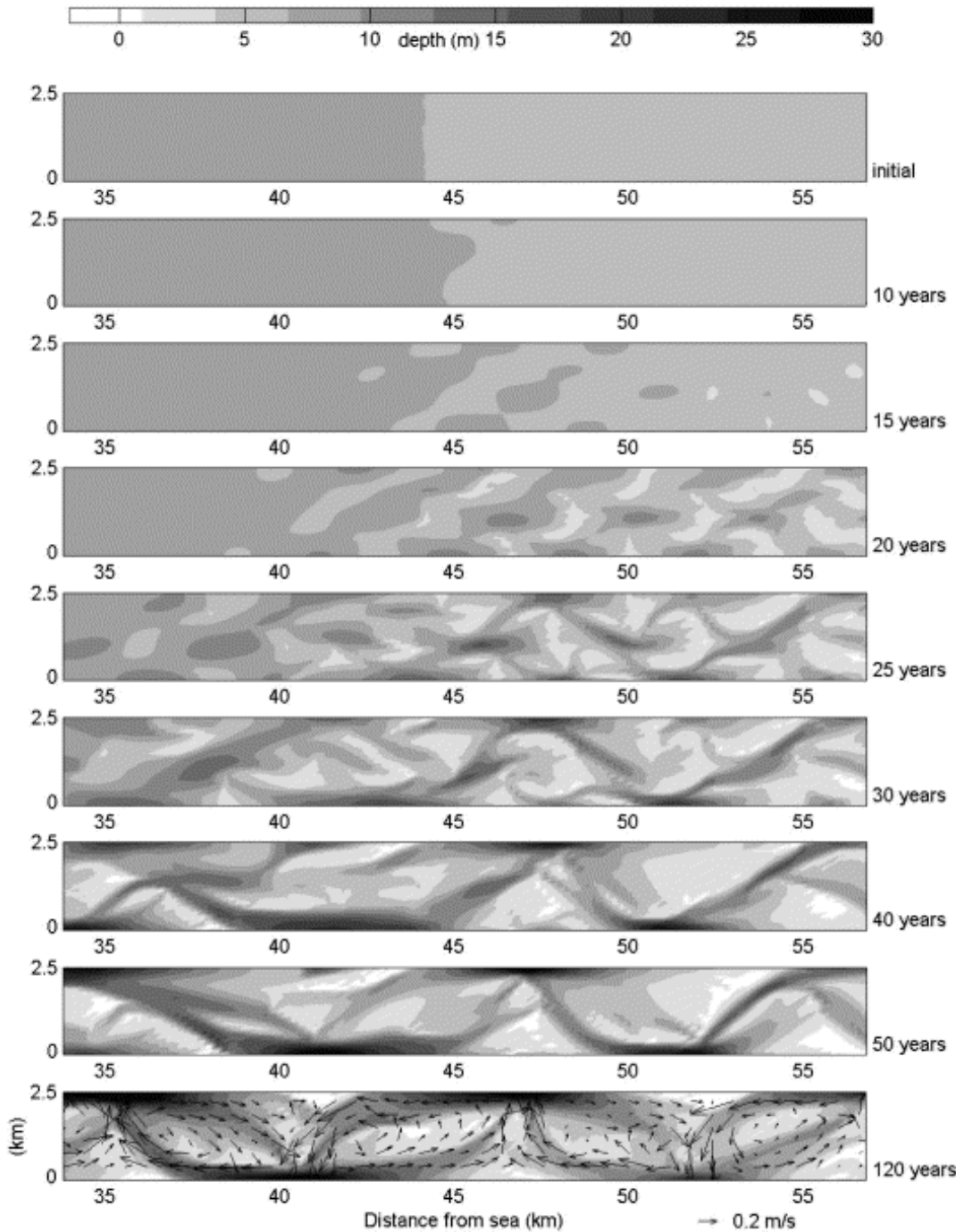
Formation de bancs et chenaux en estuaire



D'après Hibma et al., 2003

D'après Hibma et al., 2003

Perturbation initiale aléatoire



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

Les flèches représentent le courant résiduel de marée simulé.

Principe de la méthode : taux de croissance déduits par transformée de Fourier

Taux de croissance >0 : amplification

Taux de croissance <0 : atténuation

Équilibre morphodynamique : taux de croissance nul pour toutes les longueurs d'onde

Perturbation initiale périodique

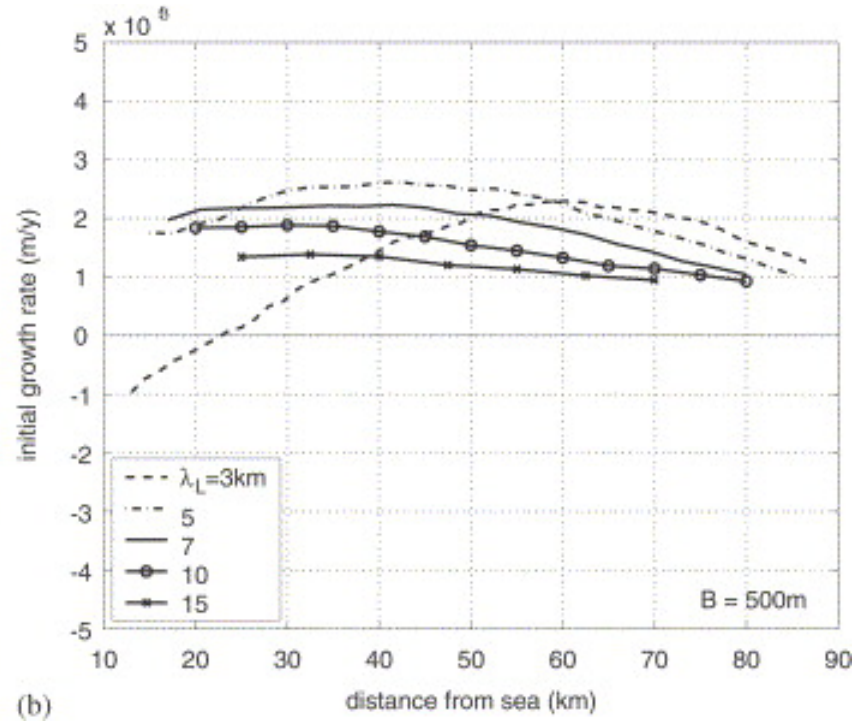
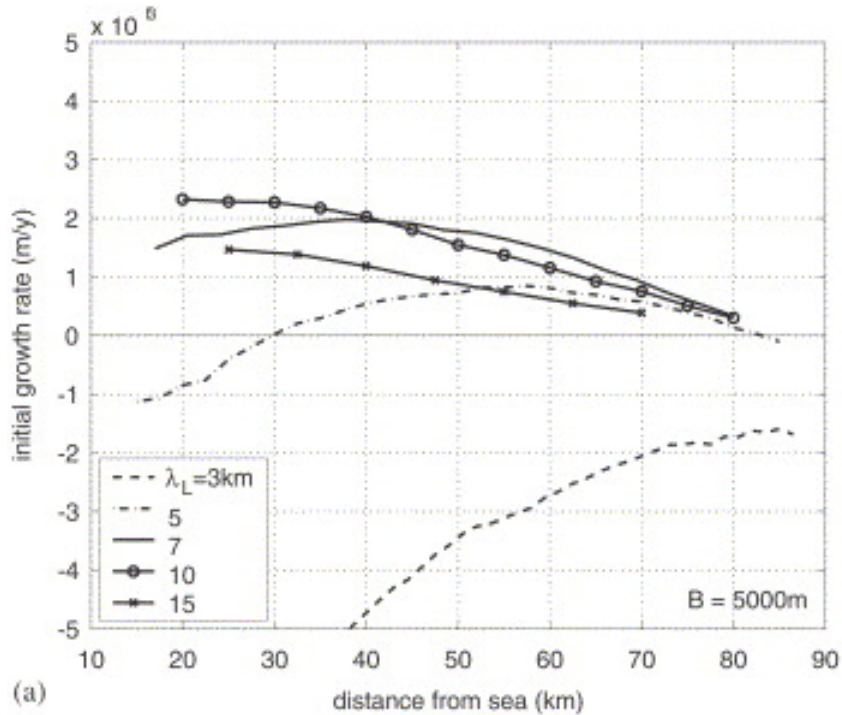
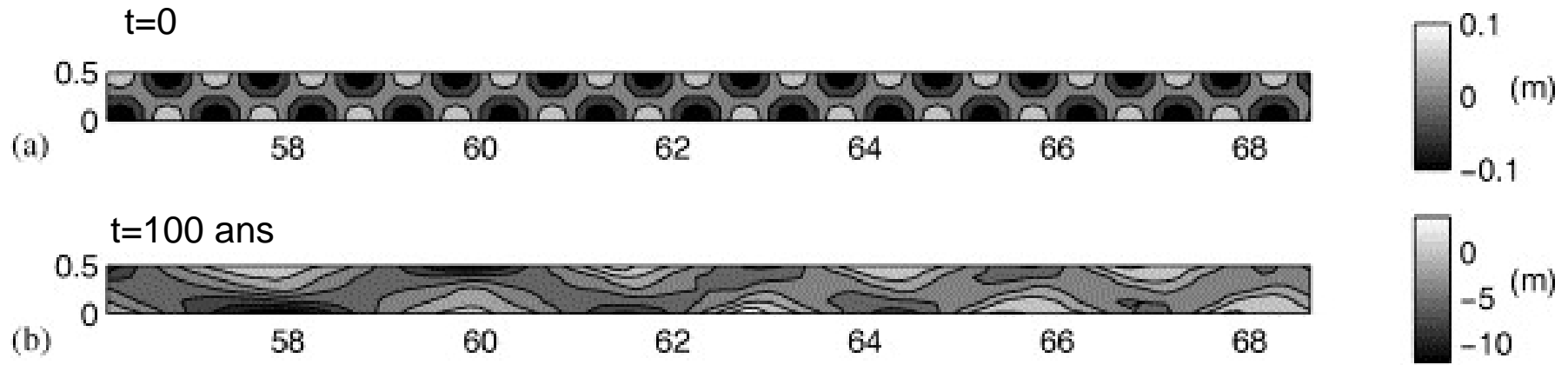


Fig. 3. Initial growth of alternating perturbations ($n = 1$) along the basin in (a) wide basin of 5km width and (b) narrow basin of 500 m width. D'après Hibma et al., 2003

Formation de bancs et chenaux en estuaire
Etude par modélisation
Hibma et al., 2003

Perturbation initiale périodique

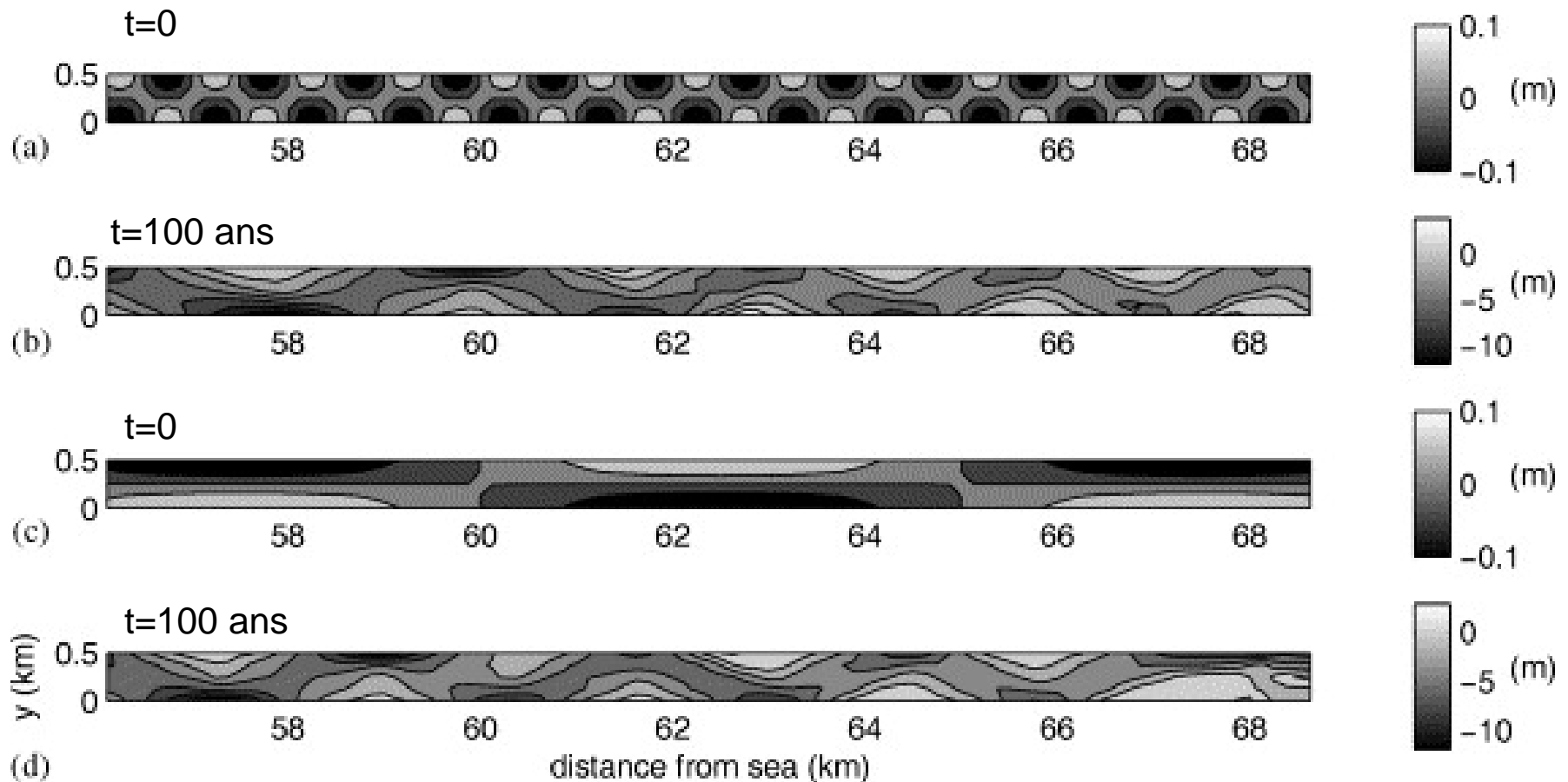


Formation de bancs et chenaux en estuaire

Etude par modélisation

Hibma et al., 2003

Perturbation initiale périodique

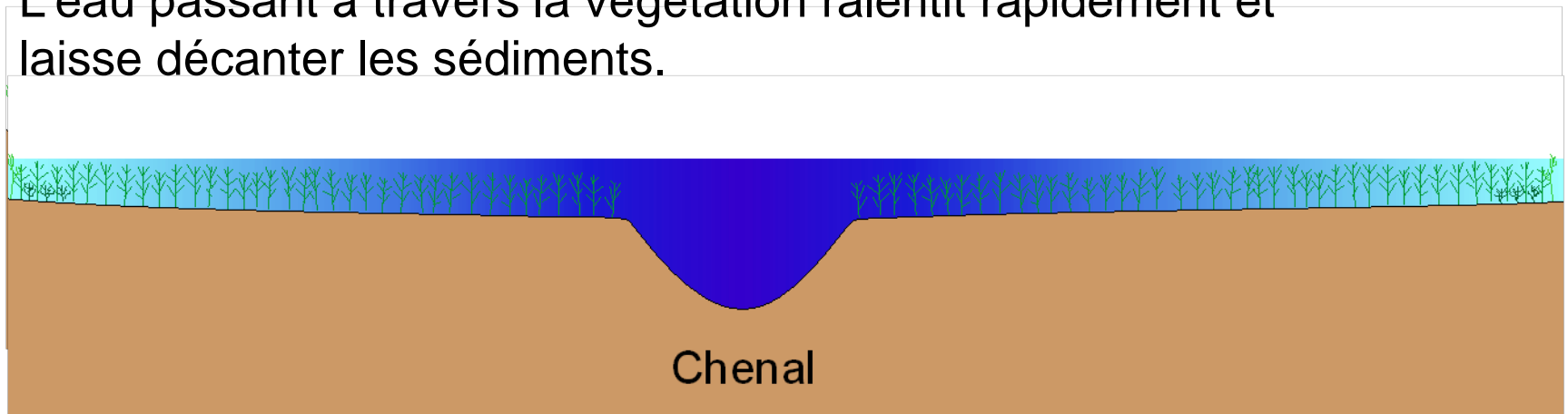


Situation d'équilibre indépendante de la configuration initiale

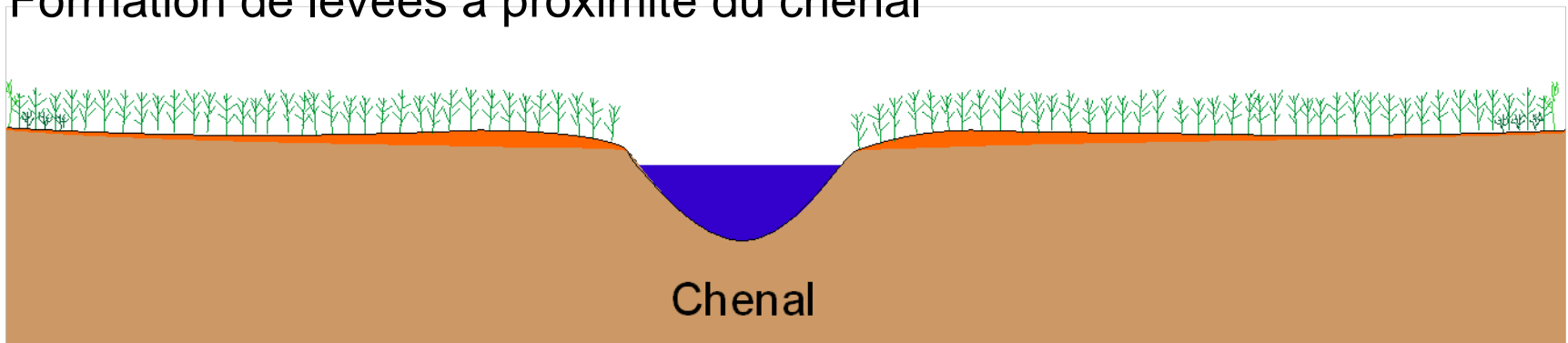
Dépôt de sédiment dans un marais

La source des sédiments est souvent un chenal de marée à courant rapide et turbulent.

L'eau passant à travers la végétation ralentit rapidement et laisse décanter les sédiments.



Formation de levées à proximité du chenal



Dynamique sédimentaire probable

(d'après Neumeier, 2007)

Conditions normales (beau temps)

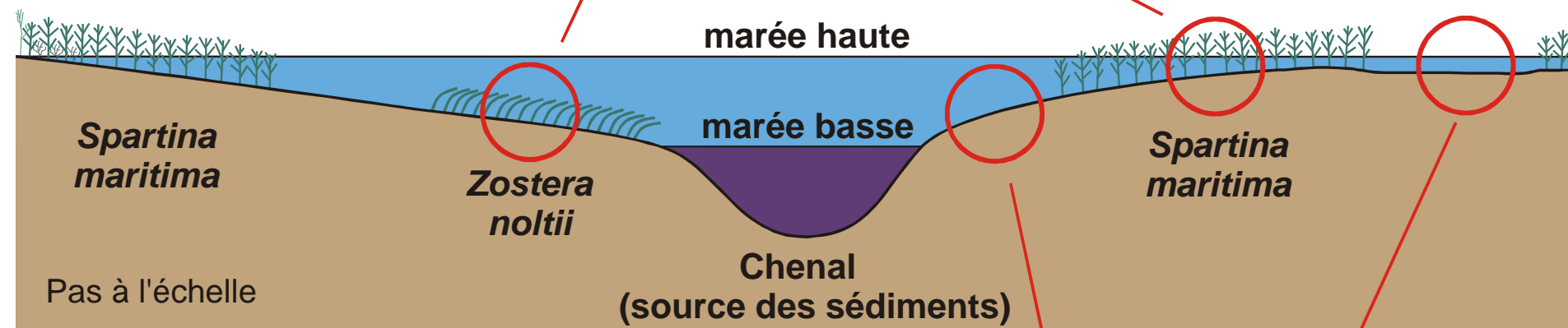
Conditions de haute énergie (tempêtes)

Conditions avec importante charge en suspension (après tempêtes / crues)

Piégeage modéré, principalement des sédiments fins

Protection de l'érosion par la végétation, piégeage des sédiments les plus grossiers

Piégeage efficace de tous les sédiments en suspension



Importante mobilité et dépôt de sédiments

Remobilisation des sédiments = érosion

Décantation des sédiments