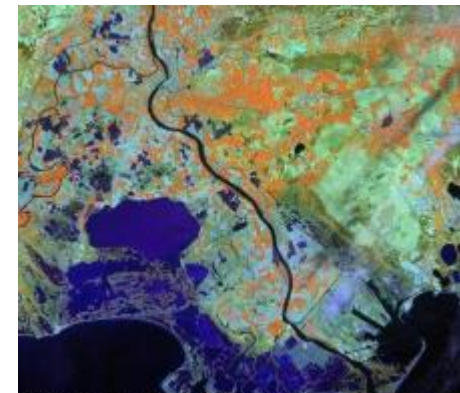


UE708 – Eaux de surface, eaux souterraines en milieu continental

Les zones de transition



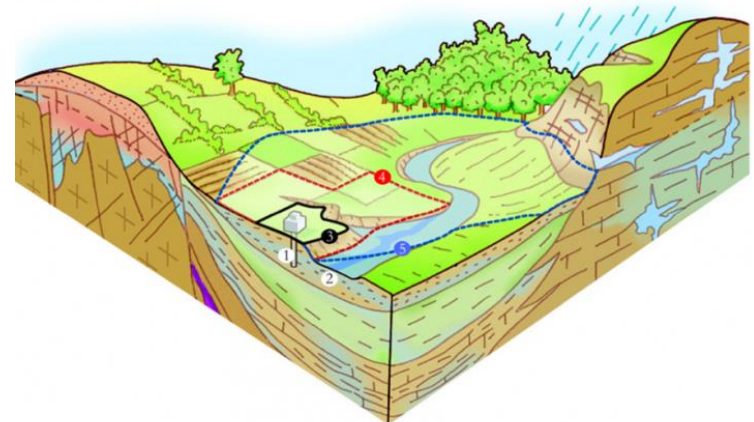
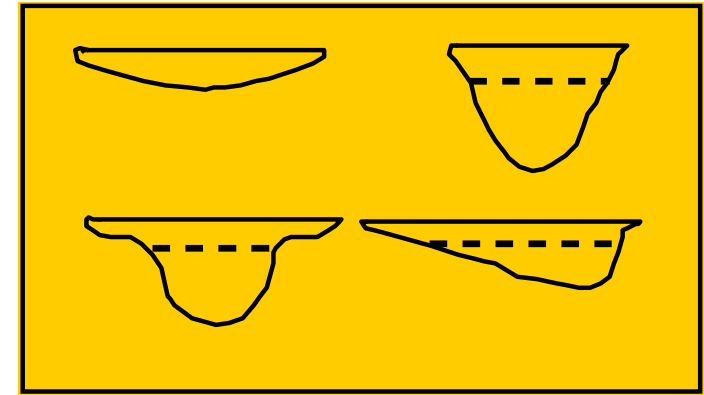
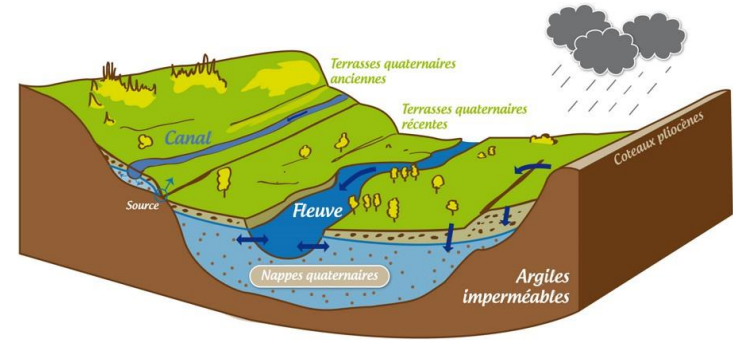
G. Masson, LIEC,
gerard.masson@univ-lorraine.fr



Avant-propos : DCE et masses d'eau

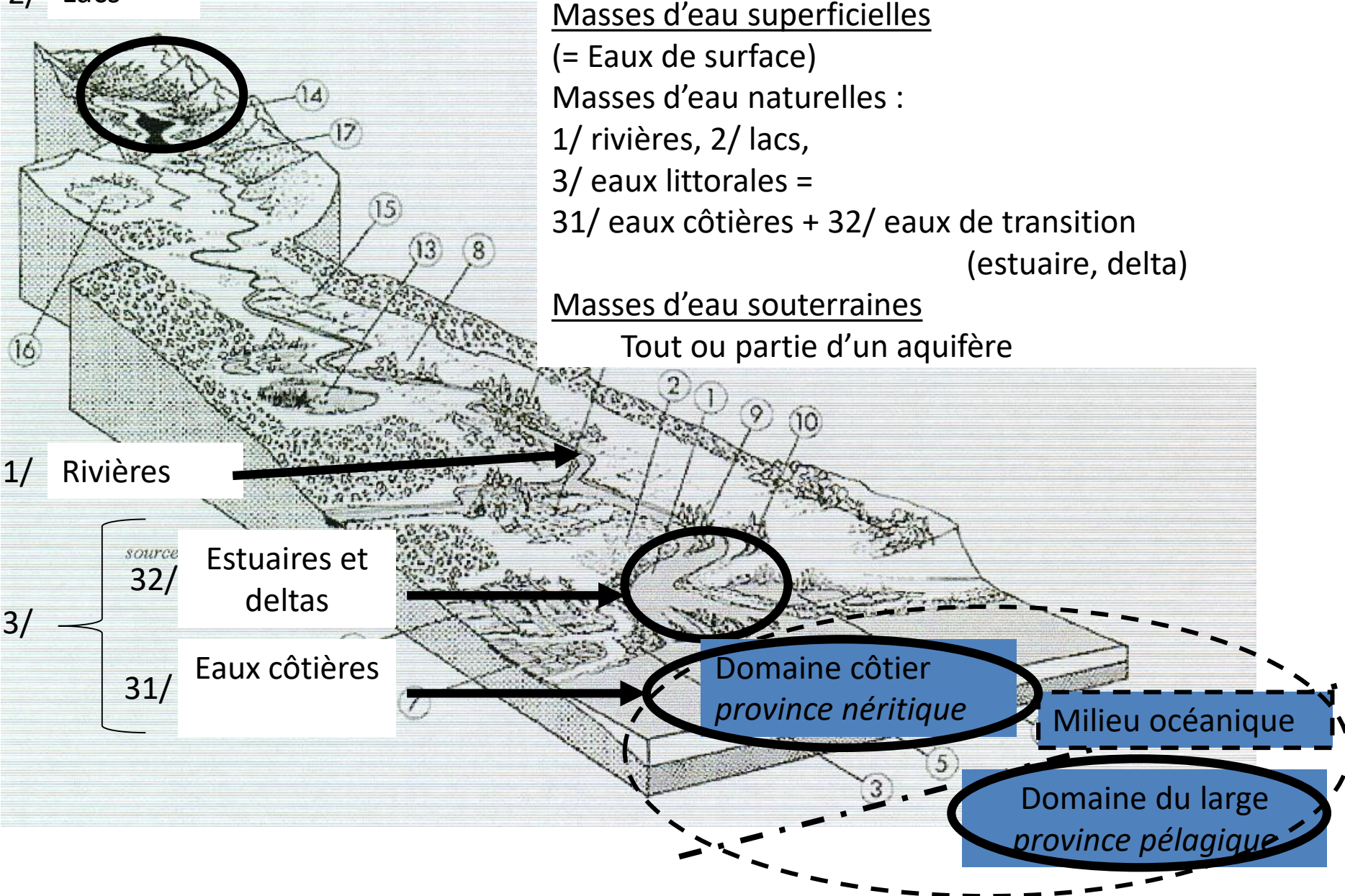
Typologie des masses d'eau

- Masses d'eau superficielles
(= Eaux de surface)
 - Masses d'eau naturelles :
 - rivières, lacs,
 - eaux littorales = eaux côtières
+ eaux de transition (estuaire, delta)
 - Masses d'eau fortement modifiées
 - Masses d'eau artificielles
- Masses d'eau souterraines
 - Tout ou partie d'un aquifère



DCE, masses d'eau

2/ Lacs



Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- 2/ Deltas
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- 23/ Typologie
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
 - 231/ deltas de type fleuve dominant
 - 232/ deltas de type houle dominante
 - 233/ deltas de type marée dominante
 - 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- 3/ Estuaire
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
- 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

Estuaires et deltas

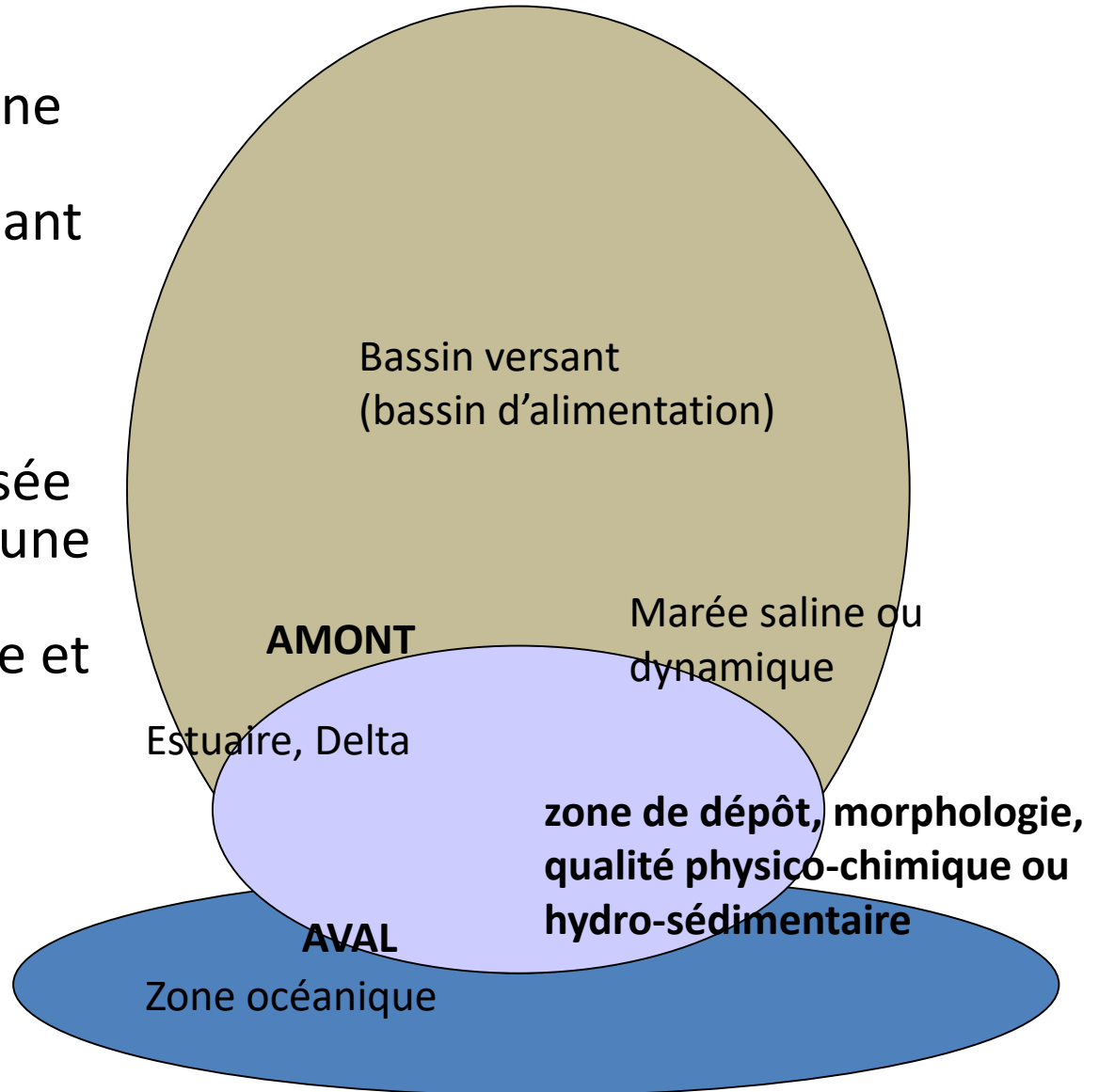
- **1/ Généralités**
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- 2/ Deltas
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- 23/ Typologie
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- 3/ Estuaire
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 32/ Marée
 - 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
 - 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

estuaires et deltas

- **1/ Généralités**
- Ensemble des interfaces entre les fleuves et les océans
- Zone de mélange d'eaux douce et marine
- Estuaire selon Pritchard (définition applicable à n'importe quelle embouchure, deltaïque marine ou estuarienne) : ***"un estuaire est un plan d'eau (ouvert d'un côté, et alimenté par une rivière de l'autre) où il se produit une dilution mesurable de l'eau de mer par l'eau douce »***
- Dictionnaire Larousse : Un delta est une zone d'accumulation alluviale triangulaire créée par un cours d'eau à son arrivée dans une mer à faible marée ou dans un lac
- propriétés spécifiques :
 - hydrologie (zone de dilution)
 - hydrodynamisme particulier (fleuve + mer ; gradient de densité)
 - sédimentologie (transport + érosion ; formation turbide) et géochimie originales (eaux douces à marines)

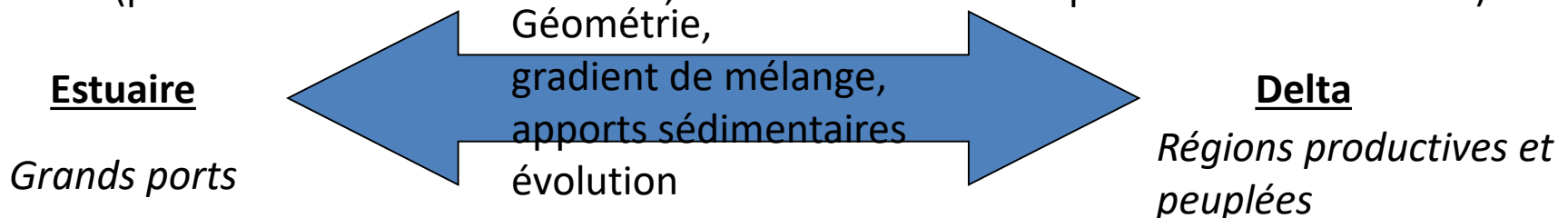
estuaires et deltas

- L'estuaire, ou le delta, une partie d'un ensemble englobant le bassin versant et une zone océanique
- frontière amont (marée saline ou dynamique)
- frontière aval (caractérisée par une zone de dépôt, une morphologie, une qualité physico-chimique et hydro-sédimentaire particulières)



Opposition estuaire, delta

- **Morphologie différente**
- un delta
 - une avancée de la côte liée à des accumulations fluviales qui gagnent sur la mer (bassin de réception), forme de la lettre grecque, des bras multiples
 - l'élément fluvial domine,
 - par son débit
 - ou par la faible dynamique océanique (la marée).
- un estuaire
 - une zone de retrait de la côte où la mer se mélange à l'eau fluviale ; embouchure unique, échancrure envahie par la mer;
 - l'élément marin > l'élément fluvial, à cause d'une marée relativement importante (masses d'eau oscillantes)
- En France, estuaire en Atlantique (marnage >3m), delta en Méditerranée (marnage <0,5m) ; marnage : différence de hauteur d'eau entre les niveaux atteints à pleine mer et à basse mer ;
- Loire (actuelle : forme d'estuaire avec un chenal unique ; quelques centaines d'années < : nombreuses îles et chenaux)
- Amazone (plusieurs bras comme le delta ; une embouchure unique comme un estuaire)



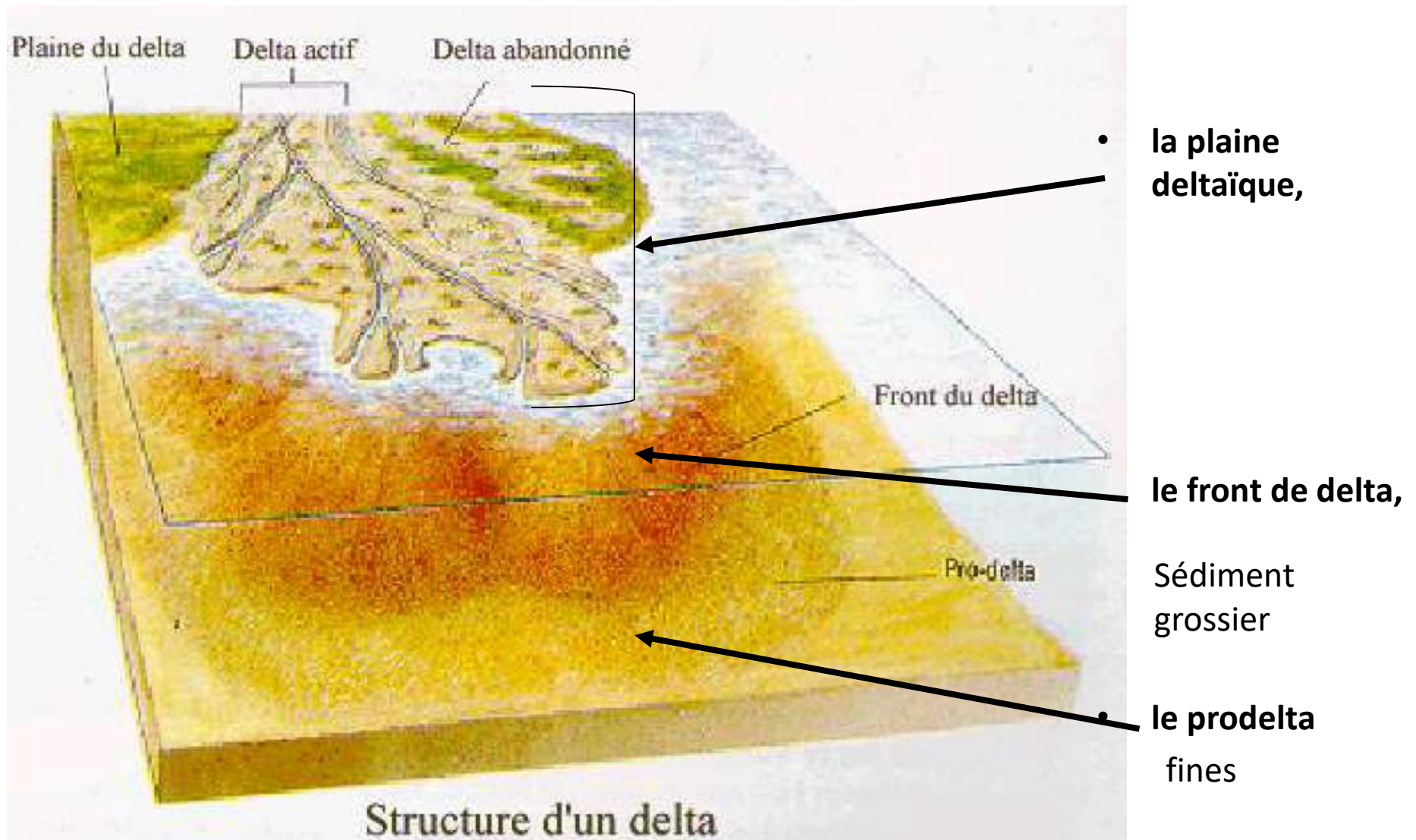
Estuaires et deltas

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- 23/ Typologie
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- 3/ Estuaire
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 32/ Marée
 - 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
 - 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

2/ Deltas

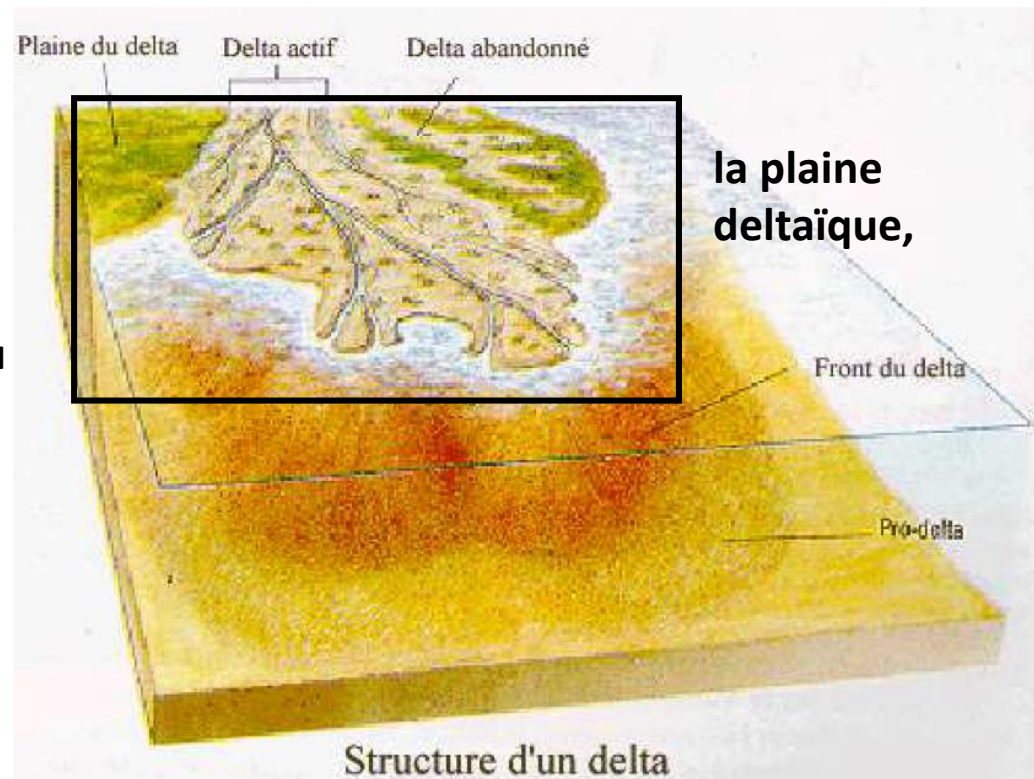
- **21/ résultat d'un conflit entre :**
 - accumulation de solides apportés par le cours d'eau
 - destruction par les agents hydrodynamiques liés au bassin de réception (milieux maritimes)
 - courants de marée,
 - action des vagues,
 - ...
- **22/ Structure :**
 - Morphologie : 3 espaces distincts d'amont en aval
 - Typologie : 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants

22/ Structure des deltas



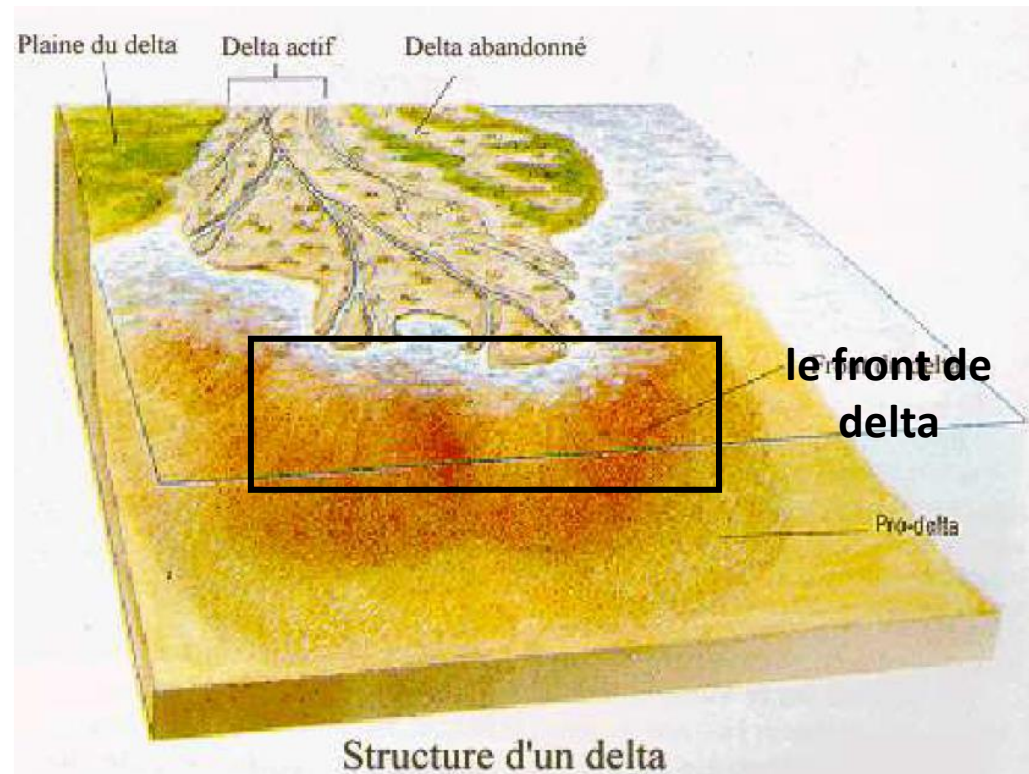
221/ La plaine deltaïque :

- étendue de terre, altitude très faible ;
- à l'amont, (partie la plus ancienne),
 - soumise exclusivement à l'action du fleuve ;
- à l'aval, jusqu'à la limite amont du front de delta, (trait de côte)
 - (épisodiquement) soumise aux influences marines (mers à marées)
- Présence de chenaux actifs ou abandonnés,
 - séparés
 - par des surfaces émergées,
 - par de la végétation
 - par des plans d'eau très peu profonds



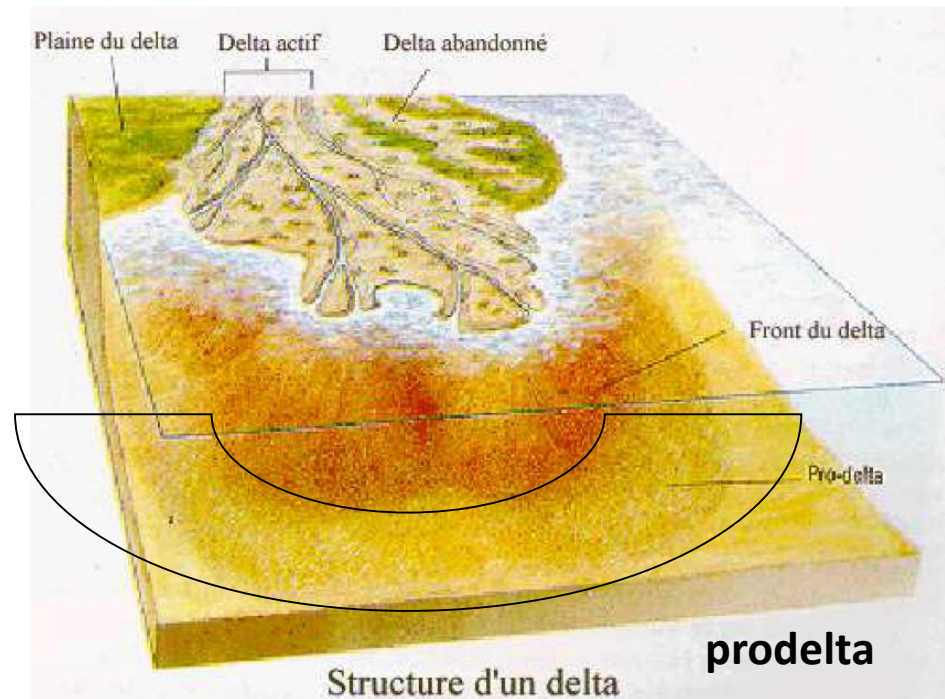
222/ Les fronts de delta :

- zones des courants fluviaux entrant dans la mer
- zones de dépôt sédimentaire
- zone de mobilisation et de dispersion (action des agents hydrodynamiques du bassin récepteur : vagues, marée, courants).
- Structures :
 - - chenaux de distribution,
 - - bordés de levées subaériennes
 - - prolongés vers le large par des levées immergées.
 - - les barres d'embouchures (= bancs sableux formés en bordure externe des chenaux de distribution)
- taux de sédimentation maximal du delta
- dépôts soumis aux vagues et aux courants marins



223/ prodelta

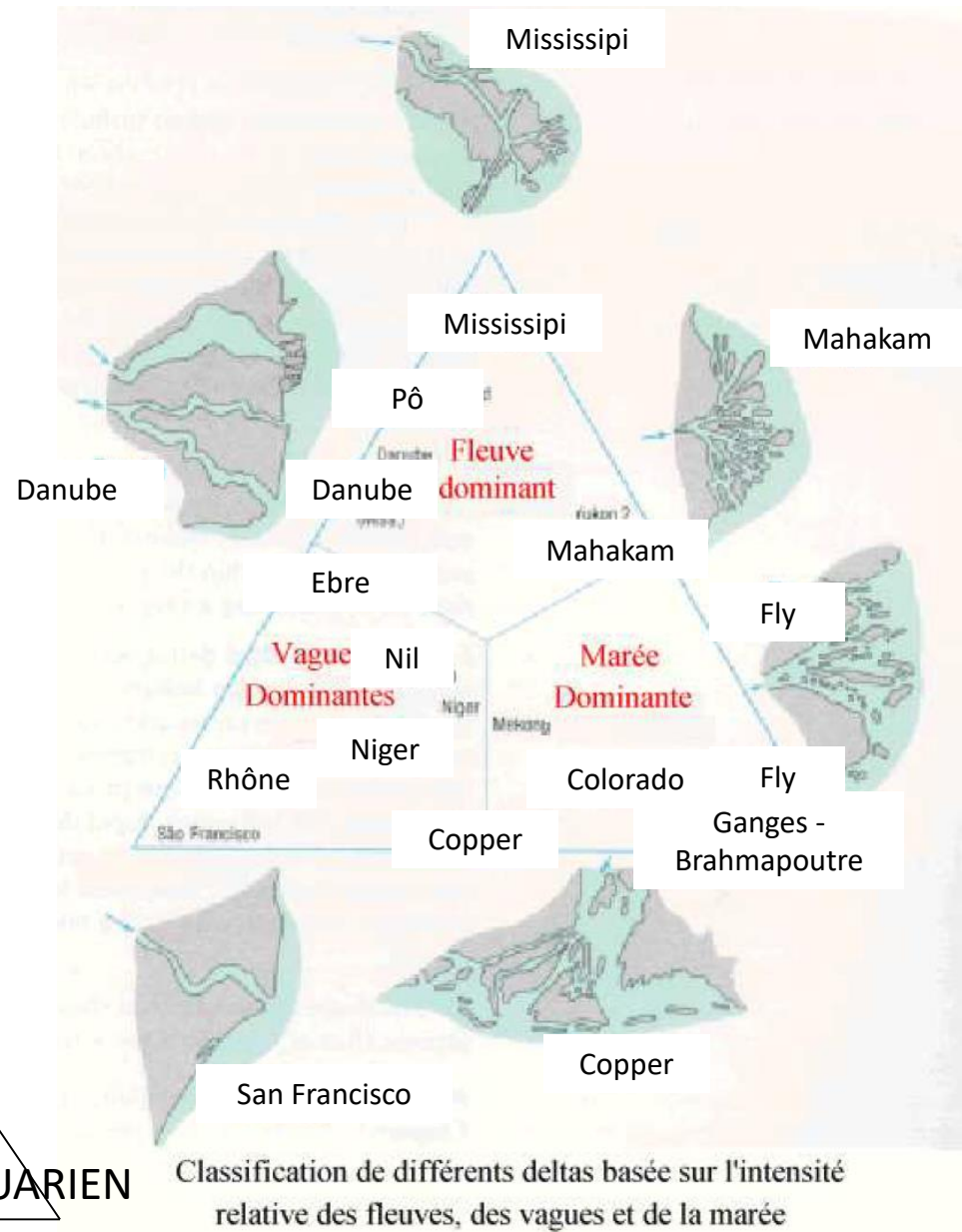
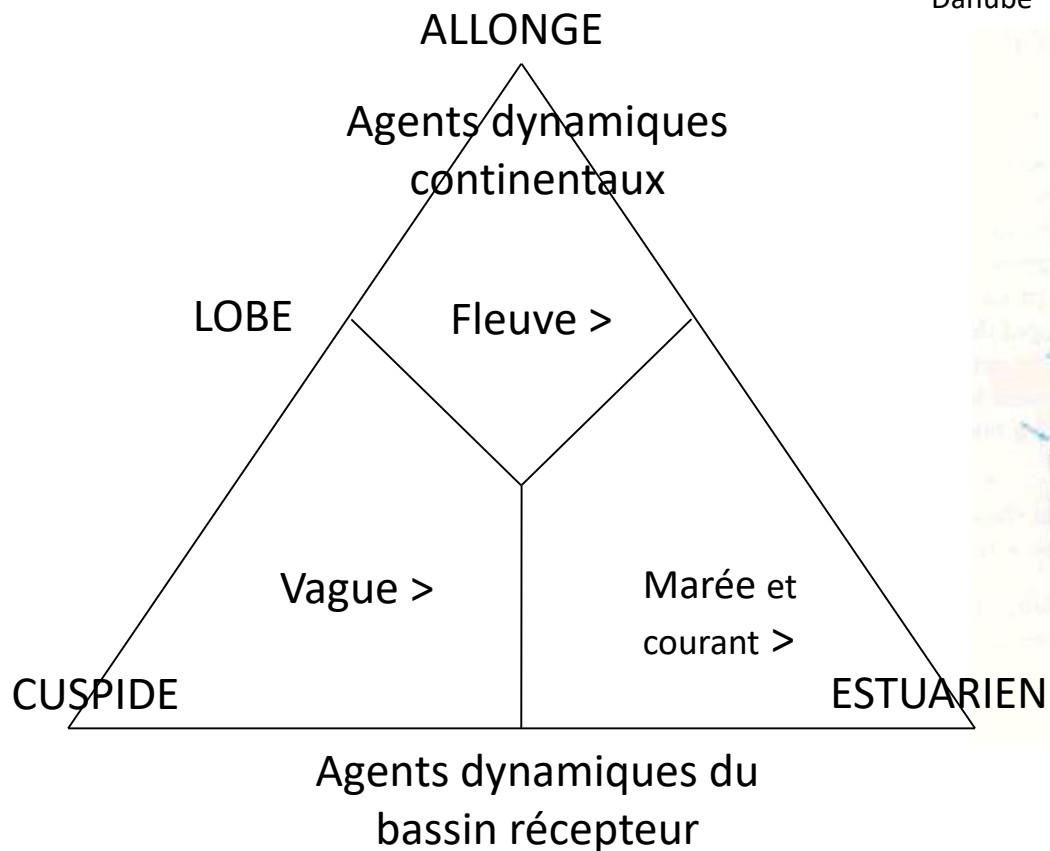
- zone essentiellement sous-marine,
- à l'aval des barres d'embouchures
- Non soumise à l'action des vagues, ni des marées (pas d'émersion)
- talus à fortes pentes
- dépôts beaucoup plus fins que ceux des barres d'embouchure
- Dépôt du Prodelta : remplacement, recouvrement progressif, vers le large, des dépôts marins du plateau continental (de nature essentiellement argileuse).



Estuaires et deltas

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- 3/ Estuaire
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 32/ Marée
 - 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
 - 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

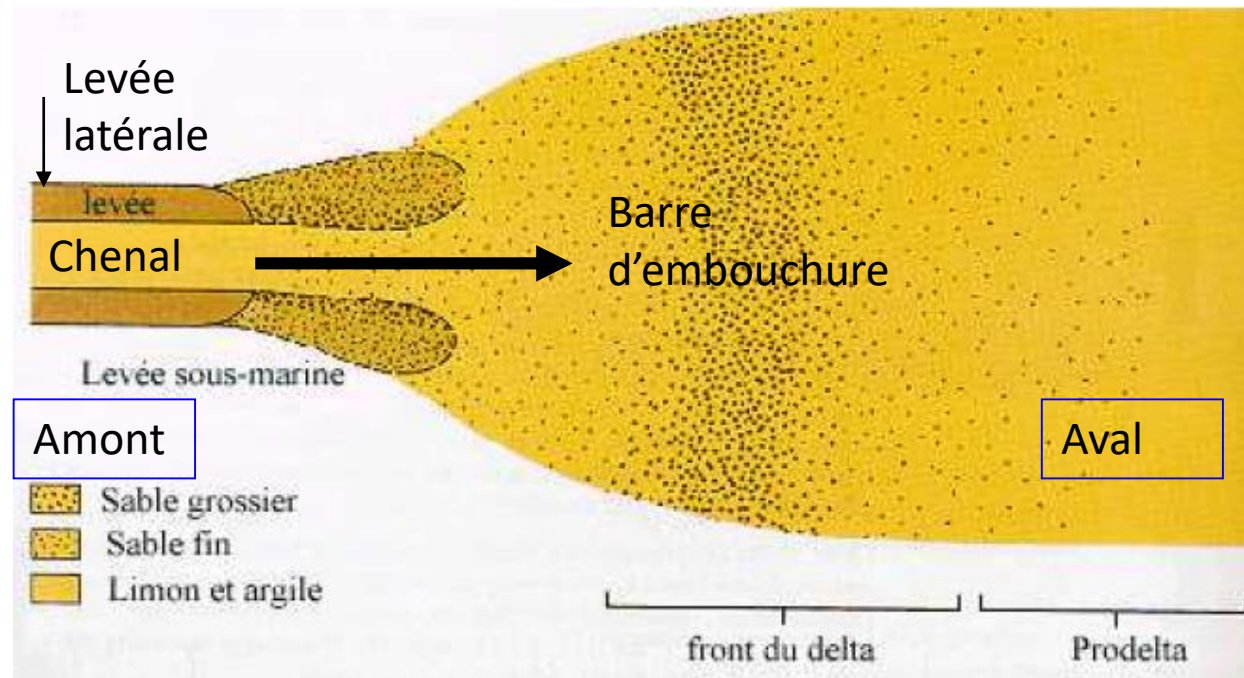
Typologie morphologique des deltas selon les forces dominantes



231/ Deltas de type fleuve dominant

- énergie constructive du fleuve > énergie de destruction du bassin (houle) >>> énergie de la marée (ex : Mississippi, Pô, Danube)
- morphologie : deux phénomènes :
 - formation d'un chenal par les plus gros sédiments (levées latérales)
 - formation d'une barre d'embouchure au front de la veine d'eau (Cf figure ci-dessous).
- Formation possible d'un coin salé

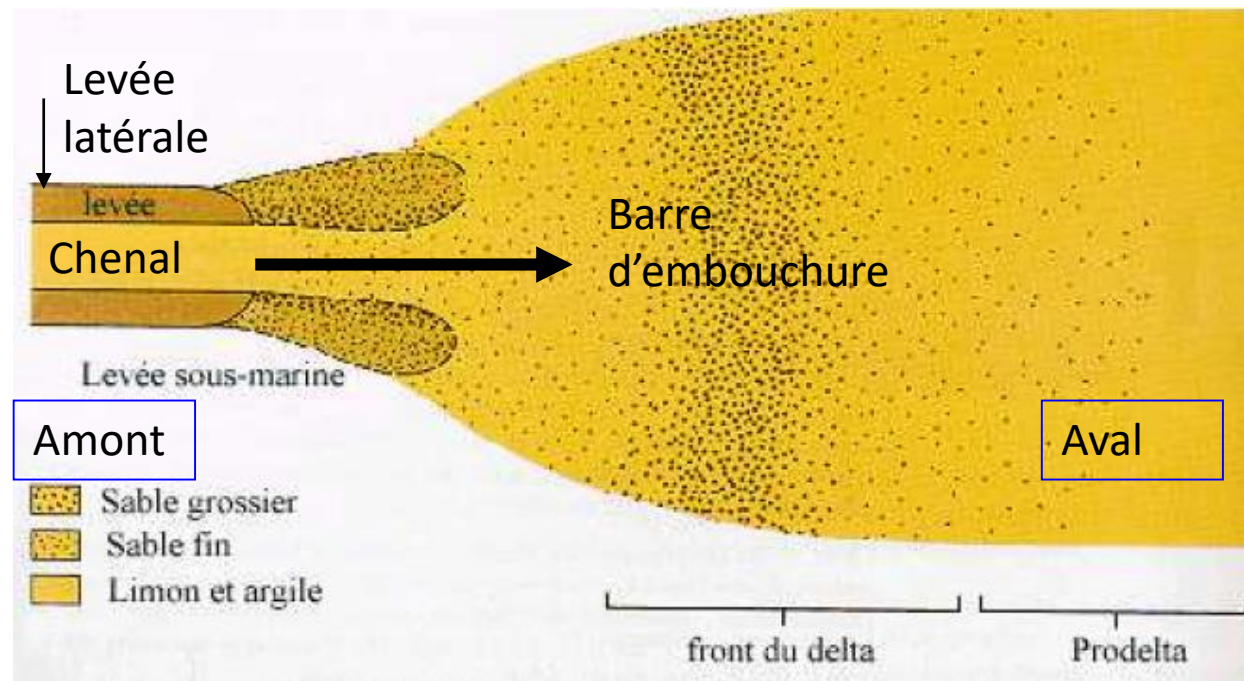
Figure : Delta de type fleuve >



231/ Deltas de type fleuve dominant (suite)

- Levées linéaires = Sédiments grossiers enfermés depuis l'embouchure jusqu'au large dans un chenal,
- En bout de chenal, barre d'embouchure formée par le dépôt de fines = remontée des fonds et diminution de la pente de la rivière.
- crues = risque de rupture des levées latérales
= construction d'un nouveau chenal
- delta en patte d'oiseau = répétition de ces phénomènes (démultiplication des chenaux + levées)

Figure : Delta de type fleuve >



FACTEURS SEDIMENTOLOGIQUES

PREDOMINANCE FLUVIATILE

Accumulation localisée des sables
à l'embouchure sous forme de barre
liée à la décélération des courants
fluviaux



Danube



Mississippi

delta en patte d'oiseau

- **Cas du delta du Mississippi : formation de lobes sédimentaires**

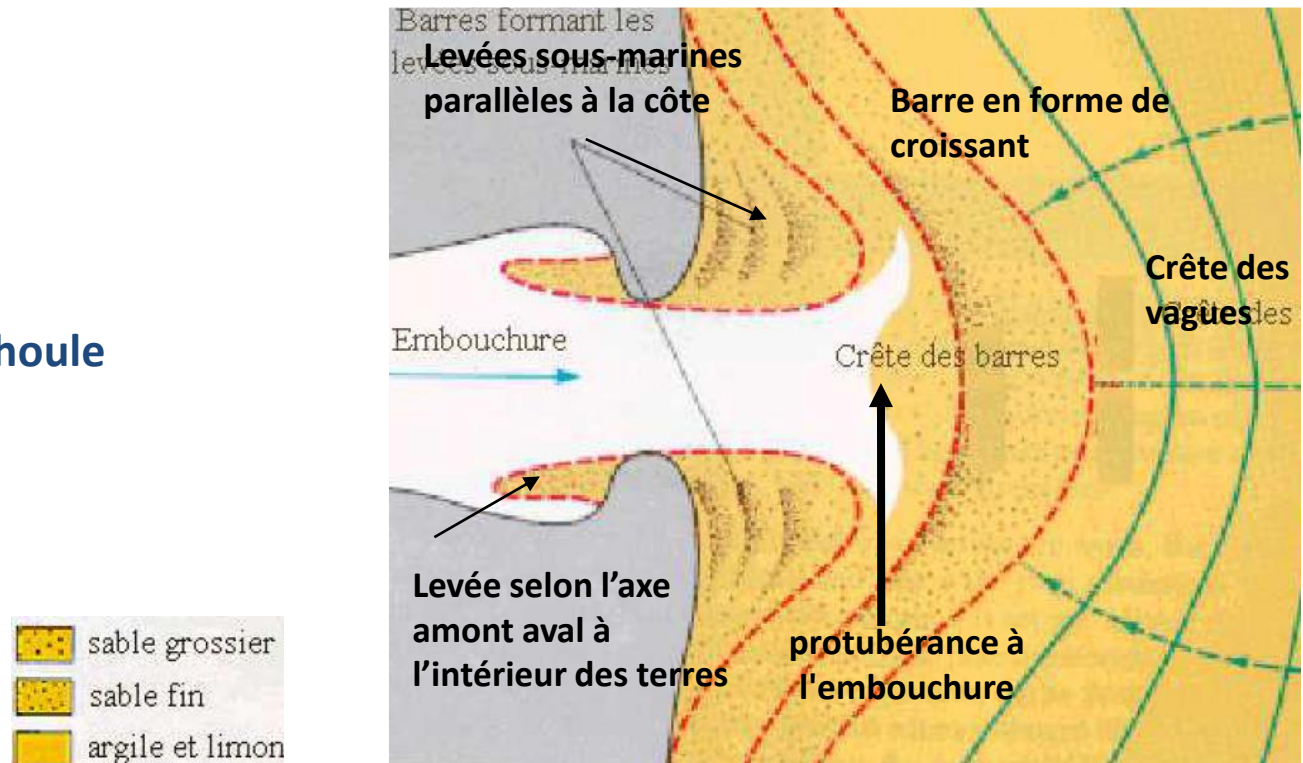


Vue radar du delta du Mississippi

233/ Deltas de type houle dominante

- Énergie marée < énergie constructive du fleuve < énergie de destruction du bassin par la houle (ex : Nil, Rhône)
- Avancée moindre vers la mer que les deltas de type fleuve dominant
- Cause :
 - Delta = milieu peu profond
 - = déferlement précoce des vagues à l'approche de l'embouchure
 - = mélange des eaux douces et salées (pas de stratification en densité).

Figure : delta de type houle dominante





Nil



233/ Deltas de type marée dominante

- Énergie marée > énergie du fleuve >>> énergie des vagues
(ex. : Gange)
- marnage > 4 mètres,
 - = courant de marées
 - = mélange des eaux douces et salées et dispersion des sédiments.
- Formation de crêtes subaquatiques ,
 - de l'embouchure jusqu'au large
 - parallèlement aux courants.
 - plusieurs km de long,
 - quelques centaines de m de large
 - Jusqu'à une vingtaine de m de haut.
- Au large certains bancs de sable
 - > au niveau de la mer
 - colonisés par la végétation, formant des îles rectilignes parallèles à l'axe amont aval
- Exemple. Delta du Gange Brahmapoutre : une série d'îles sur 90 km
- En présence de courants de dérive littorale plus au large
- = formation de rides remodelées orientées en barrières transverses, parallèles à la ligne de rivage.

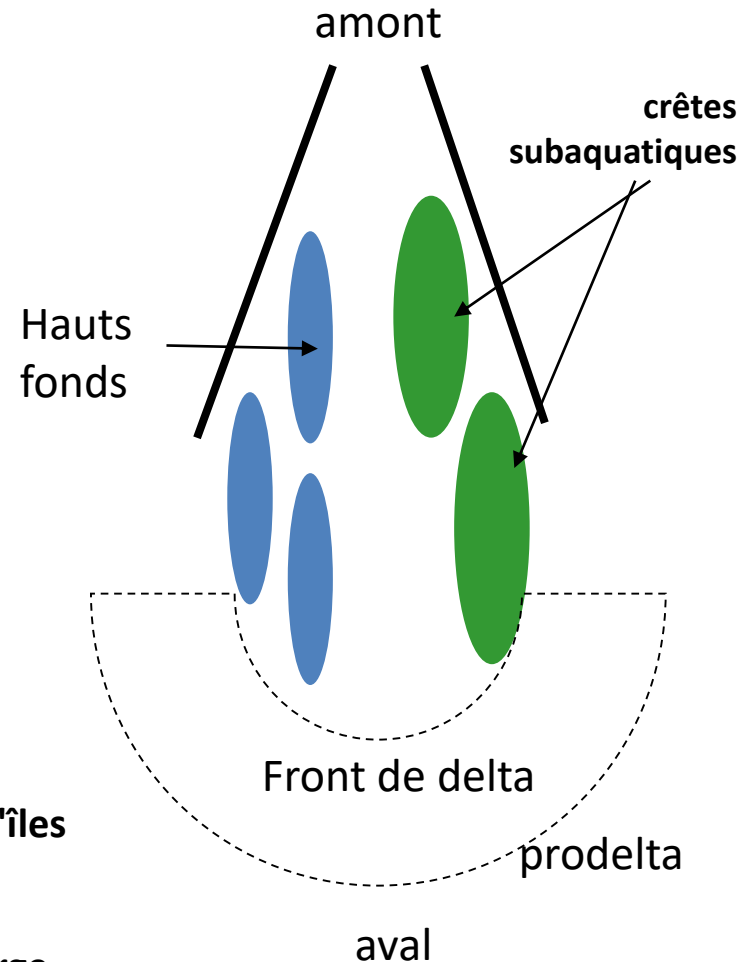


Figure : delta de type marée dominante

Ex delta de type marée dominante

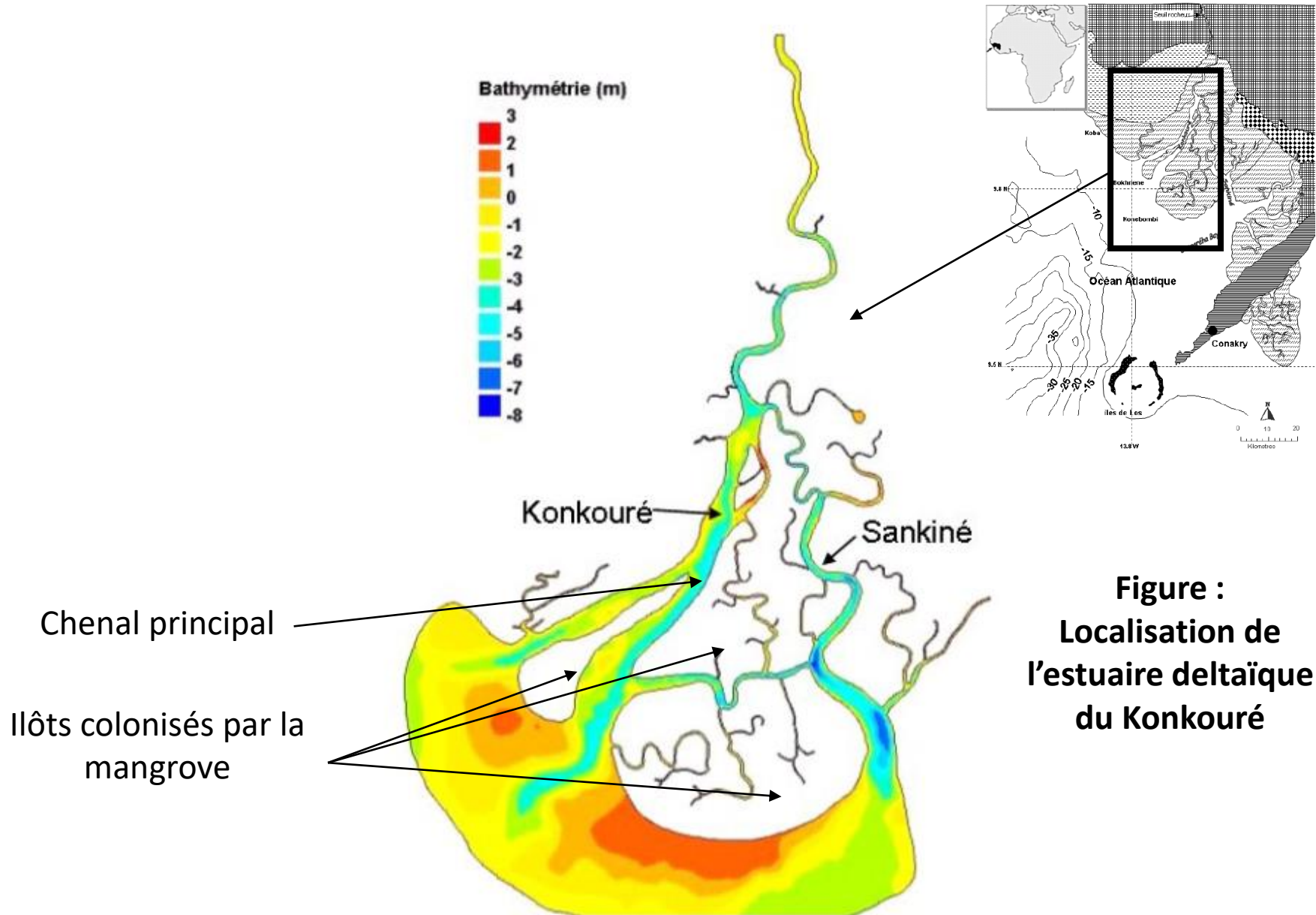
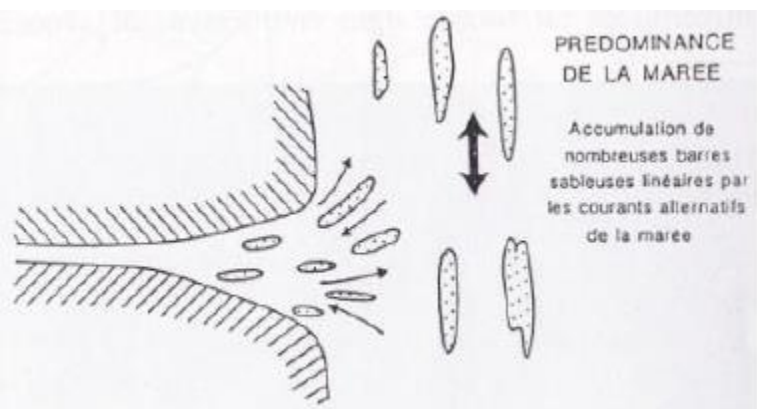


Figure :
Localisation de
l'estuaire deltaïque
du Konkouré



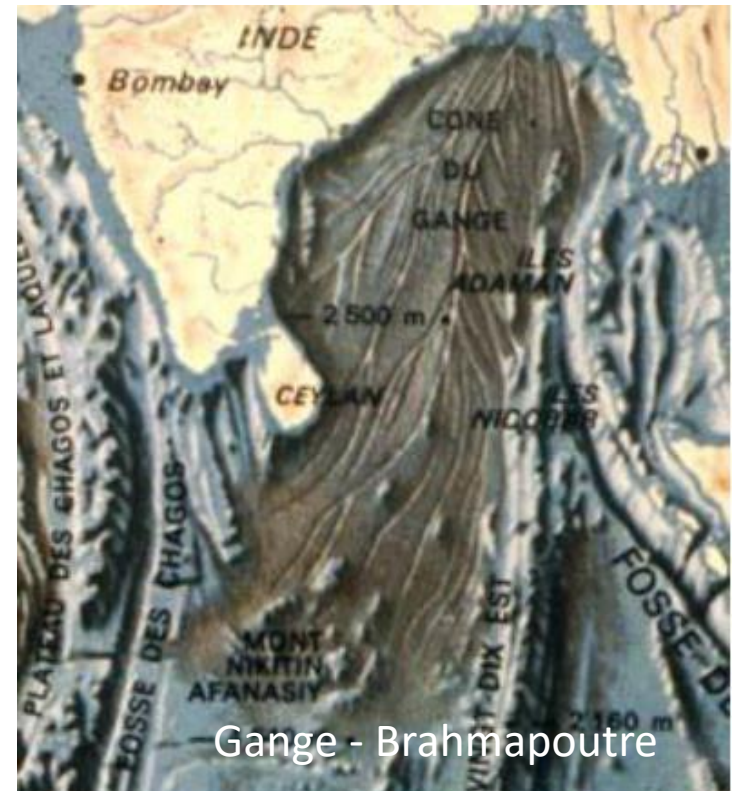
Gange - Brahmapoutre

Structure des deltas : genèse

- croissance deltaïque non continue
- Dépendante d'une forte crue,
- Migration latérale (= formation d'une nouvelle construction).
 - Cas des deltas composés d'une série de lobes sédimentaires plus ou moins développés et imbriqués.
 - delta du Mississippi : sept lobes sédimentaires
- Migration vers le large (enfoncement progressif du bassin de réception = phénomène de subsidence)
 - = accumulation de séries sédimentaires pouvant atteindre 10km d'épaisseur.
 - aspect du delta = $f(\text{taux de sédimentation/enfoncement})$
 - Sédimentation > subsidence, alors deltas multilobés latéralement : progression vers le large en construisant une série de lobes plus ou moins superposés.
 - superposition des sédiments d'origine continentale et marine = formation d'hydrocarbures



Mississippi



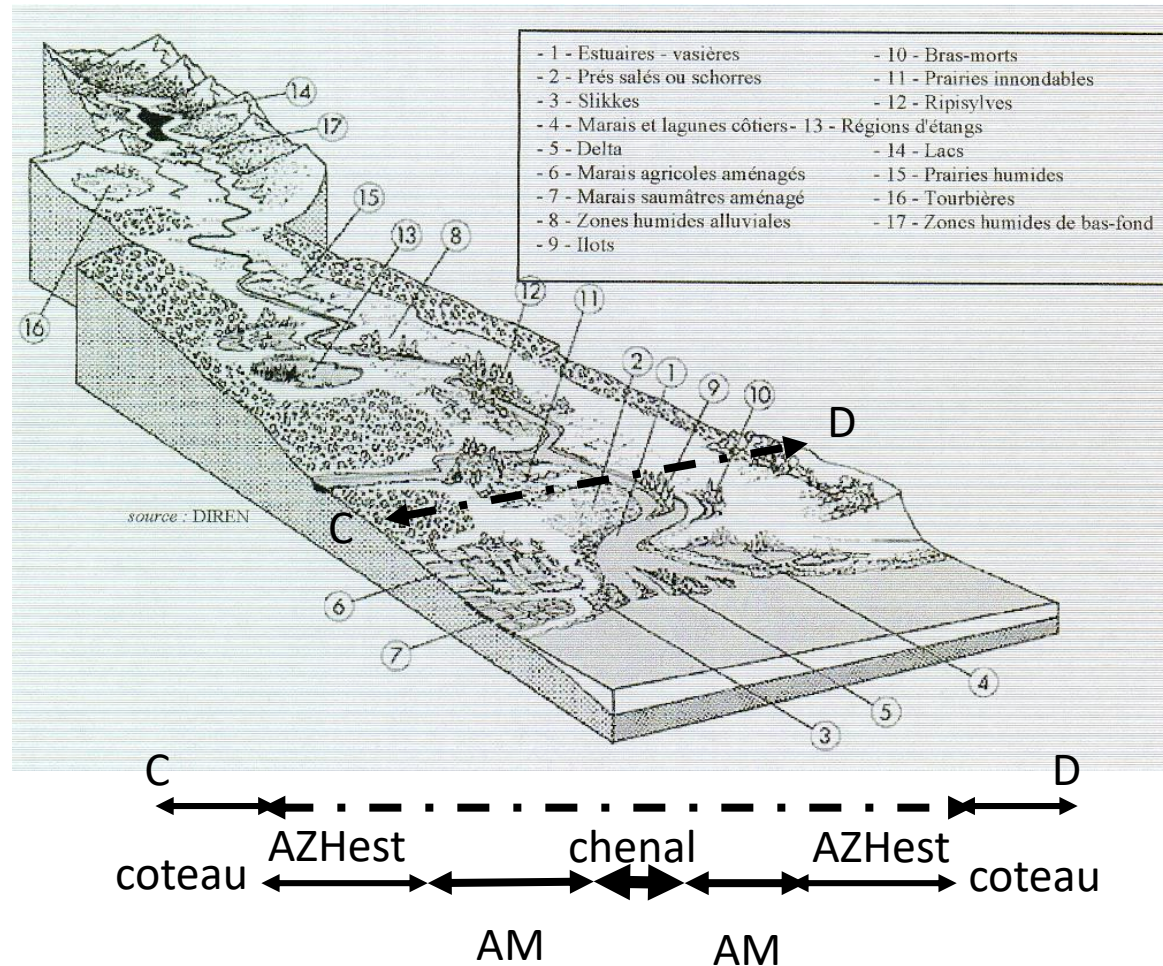
Gange - Brahmapoutre

Estuaires et deltas

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 32/ Marée
 - 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
 - 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

3/ Estuaire

- 31/ Morphologie
 - Interface fleuve /océan
 - 311/ Chenaux
 - 312/ Aires marnantes
 - zones humides intertidales du lit mineur
 - 313/ Autres zones humides estuariennes
 - Zones humides submersibles du lit majeur

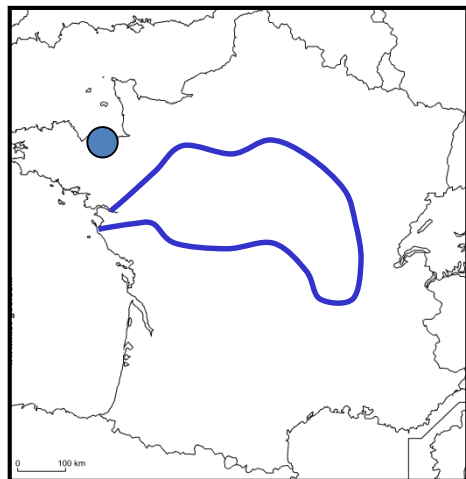


AM =Aires marnantes

AZHest = Autres zones humides d'estuaire

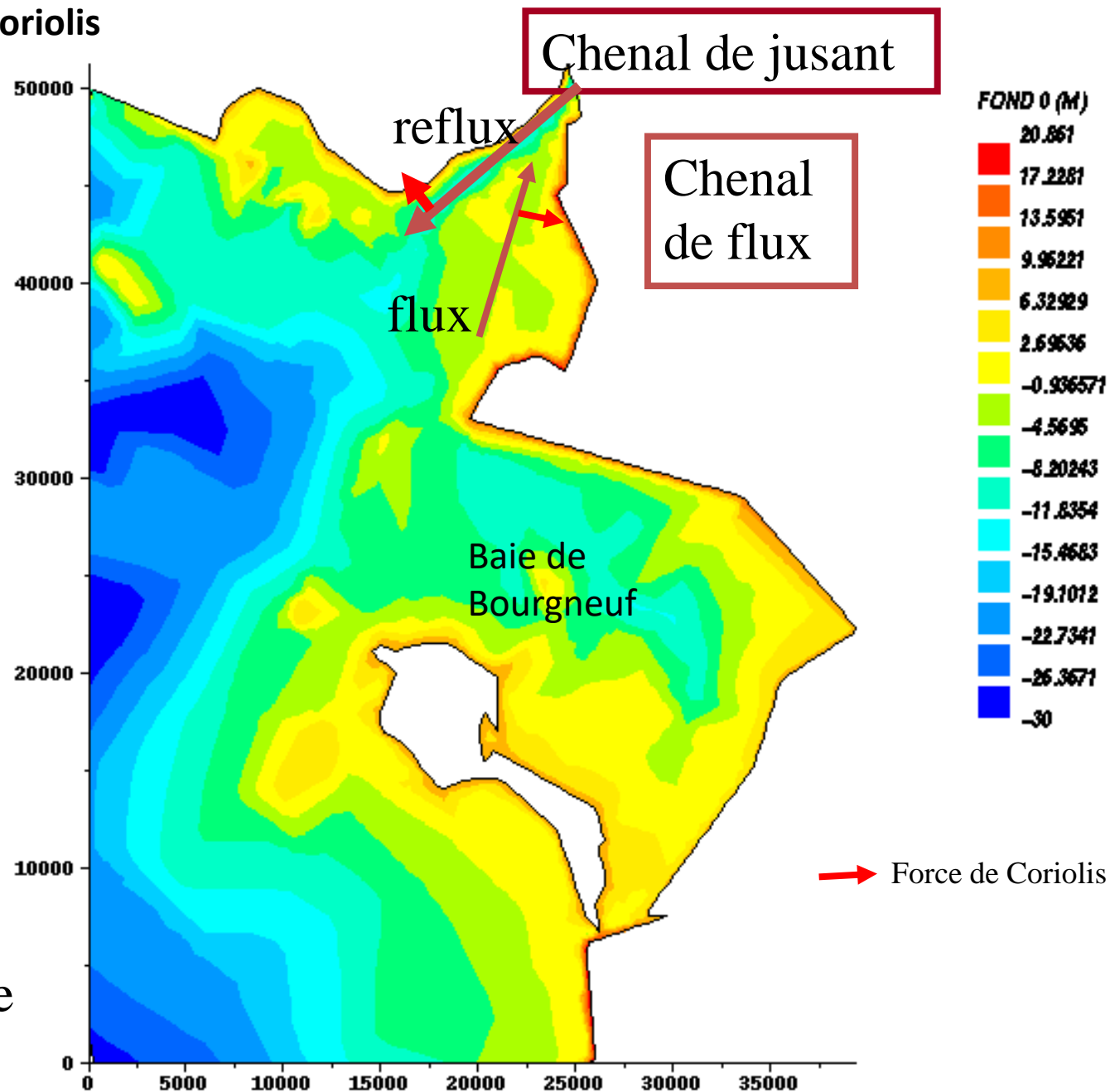
311/ Chenaux

Influence de la force de Coriolis



Le BV de la Loire :
1/5 de la
métropole

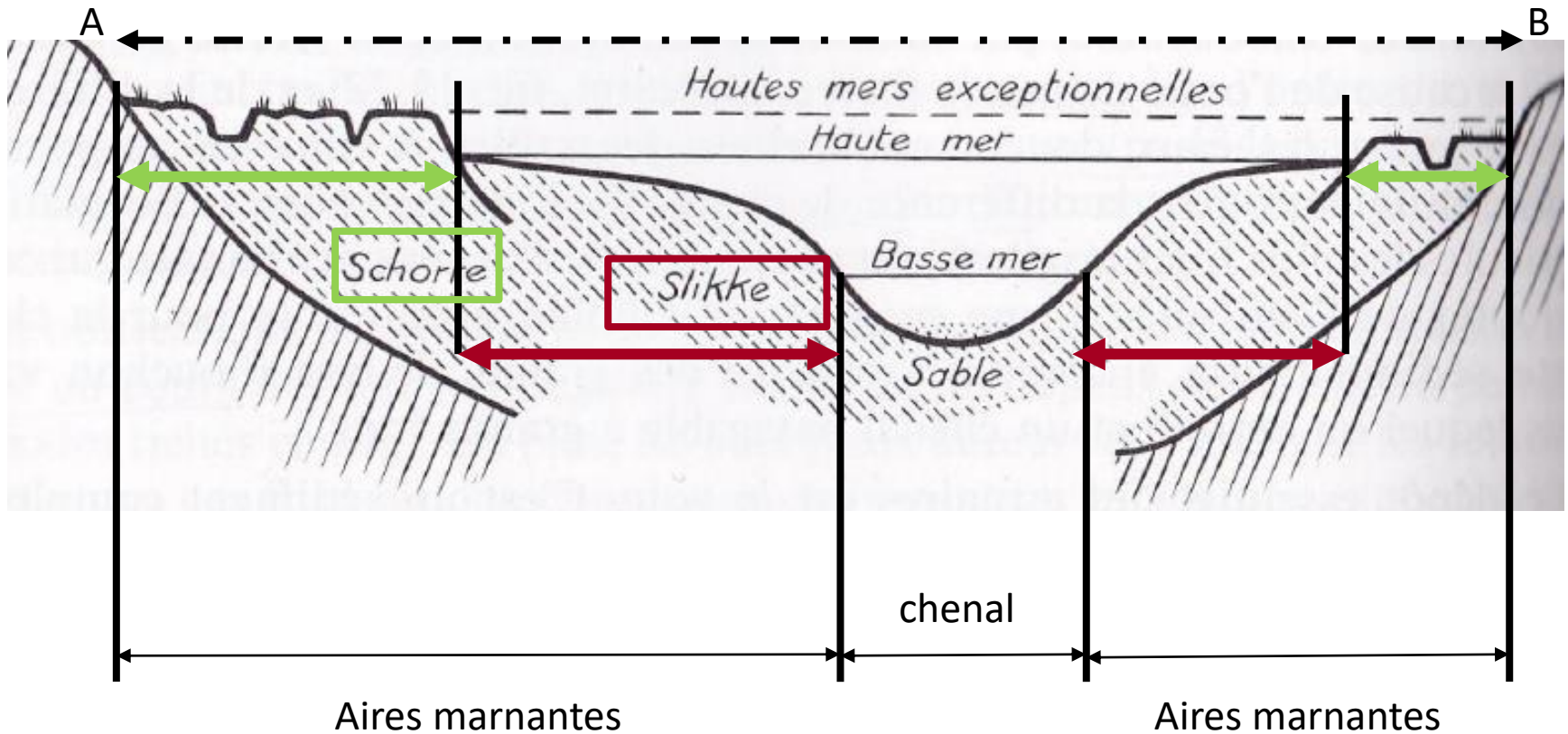
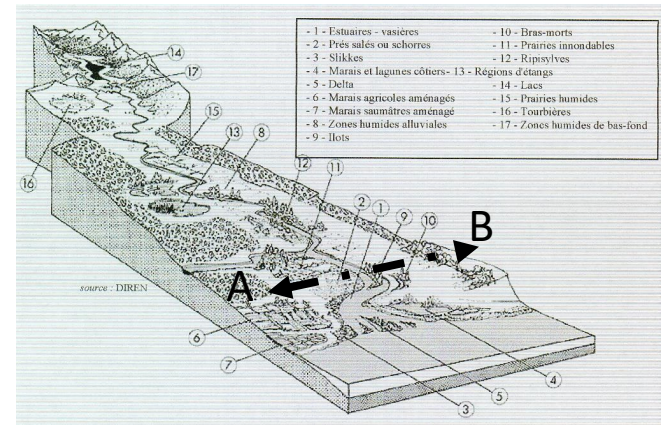
Figure :
La topographie
dans l'estuaire
externe de la Loire
et au delà



312/ Aires marnantes

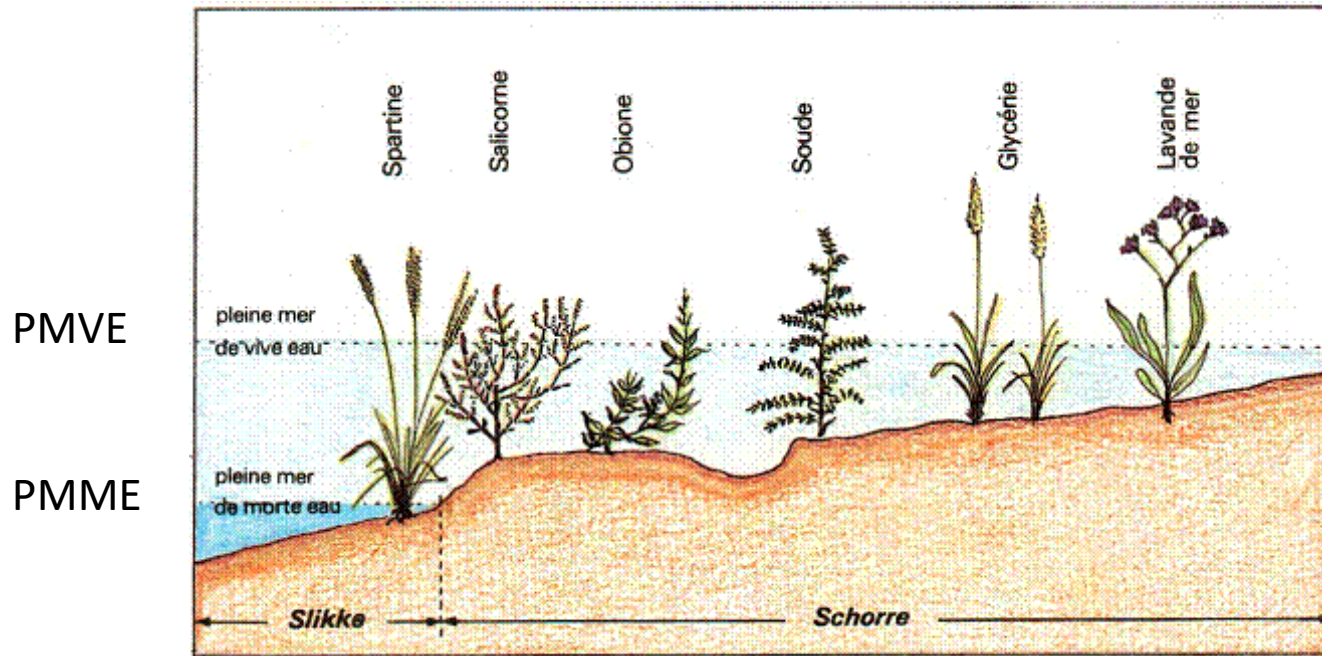
Le schorre et la slikke

Figure : Vue transversale dans l'estuaire aval



312/ Aires marnantes

Slikke et diatomées, + spartines ; Schorre et halophytes



PMVE

PMME

Slikke

et schorre



312/ Aires marnantes

Principaux types de surfaces marnantes



Débouché d'affluent et grande vasière sub-littorale.



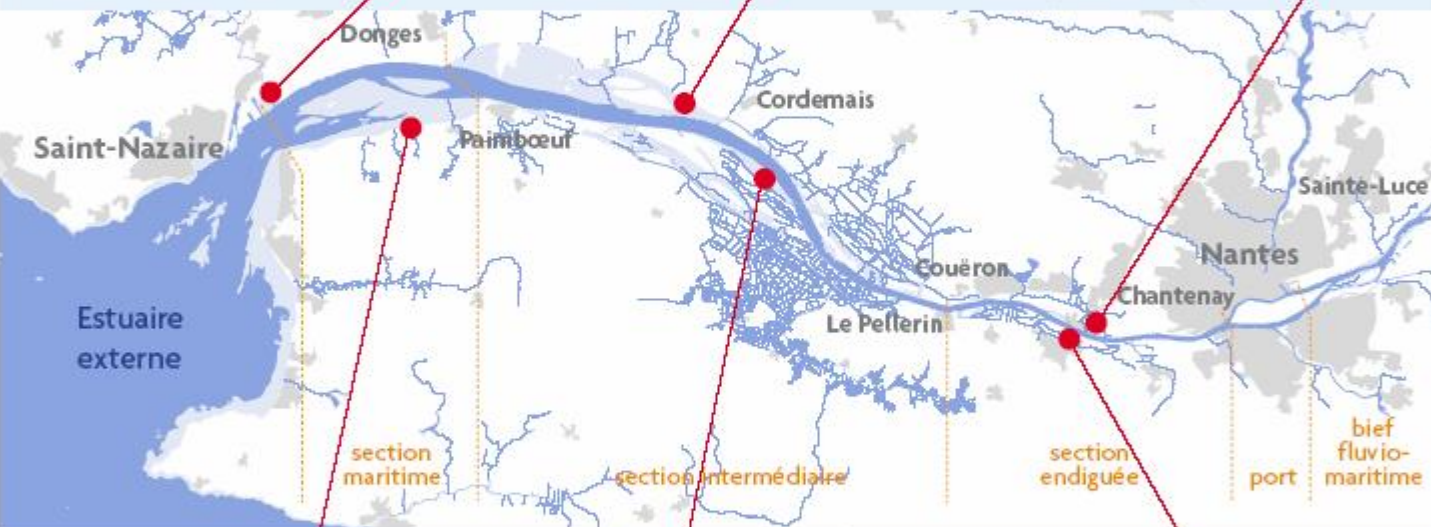
Étier de décharge des marais latéraux.



Pierres et enrochements de l'endiguement longitudinal.



Bancs sableux



Grande vasière plane avec ceintures végétales.



Plage de fond avec épis transversaux.



Ancien bras secondaire en cours de colmatage.

Zone fluviale

313/ Autres zones humides estuariennes



sur la cale de Blois en 1932



Une rigole



Une vanne à manivelle



Un canal



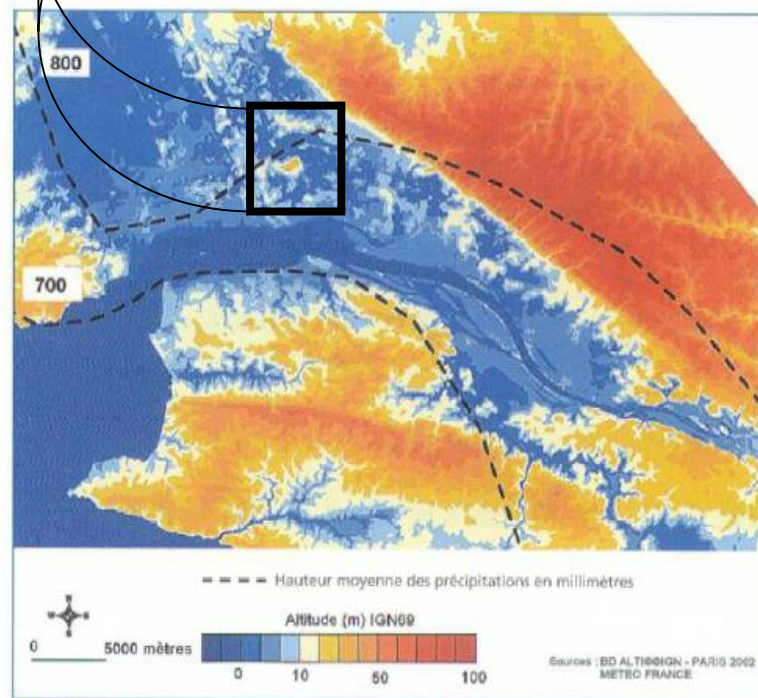
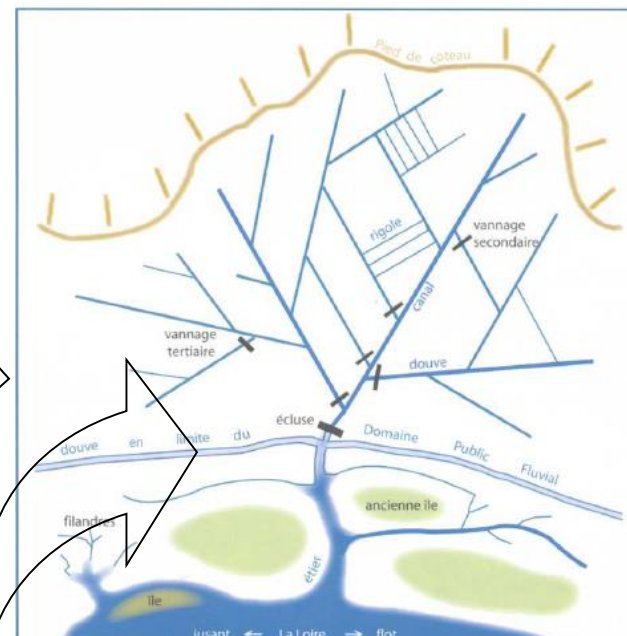
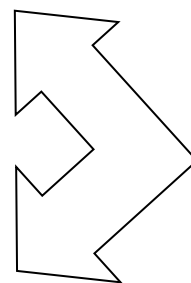
Une vanne verticale



Un étier



Une écluse ancienne



Relief et pluviosité sans contraste

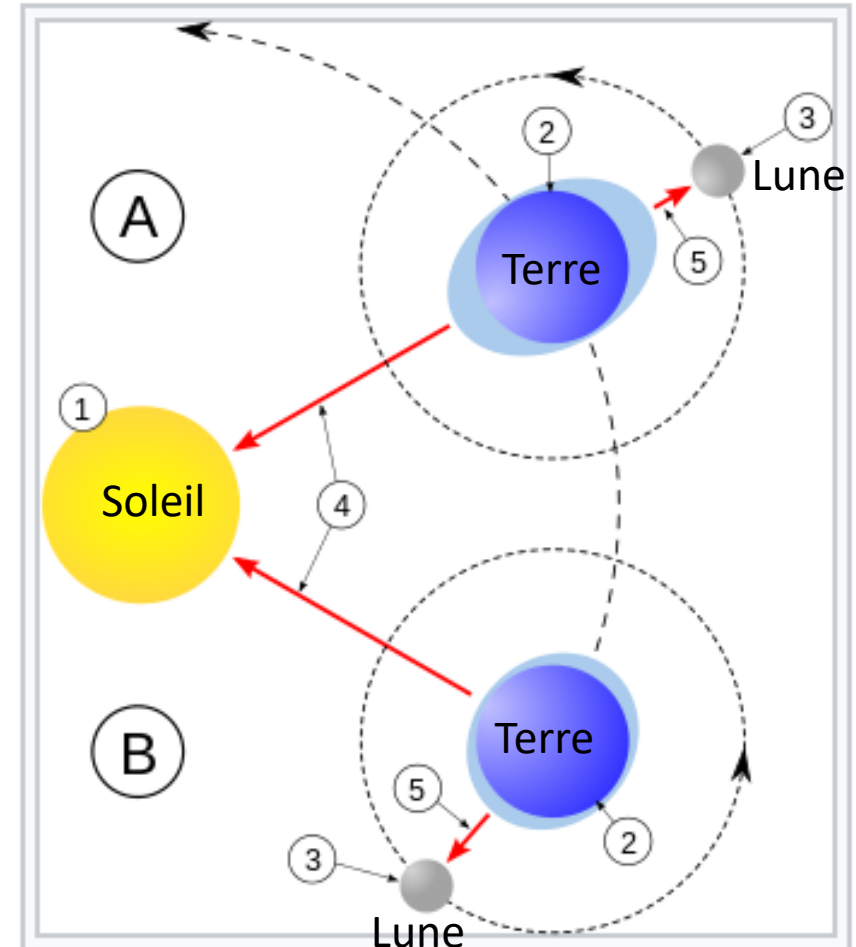
Les zones humides du lit majeur

Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 32/ Marée
 - 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
 - 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

3 Estuaire

- 31 Morphologie
- 32 Marée
 - 321 Marée dynamique
 - composantes semi-diurnes L & S : PM et BM ;
Amazone : 8 ondes différentes sur 1500km en amont de l'embouchure
 - marée barométrique ;
726mm de pression Hg, montée de 45cm, 779mm, baisse de 25cm (pr normale : 760mm)
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales



Mécanisme des marées :

A. Syzygie ; B. Quadrature

1. Soleil ; 2. Terre ; 3. Lune

4. Direction de l'attraction par le Soleil

5. Direction de l'attraction par la Lune.

La Loire et sa marée

m CM

Coefficient de marée

coefficient

ME

VE

ME

VE

ME

VE

ME

VE

Lune

Calendrier journalier

m CM

Vent S.W. 105 km/h - Pression 990 millibars

PM

Flux = Flot =
marée montante

Reflux = Jusant =
marée descendante

Observée

théorique

BM

Temps en heures

2 phases mensuelles de grandes-marées

La marée barométrique :
effets de la pression et du vent

FIGURE L1 A2 -2

Répartition longitudinale des volumes de flot et résiduels en marée moyenne (coeff. 75)

Cote
NGF

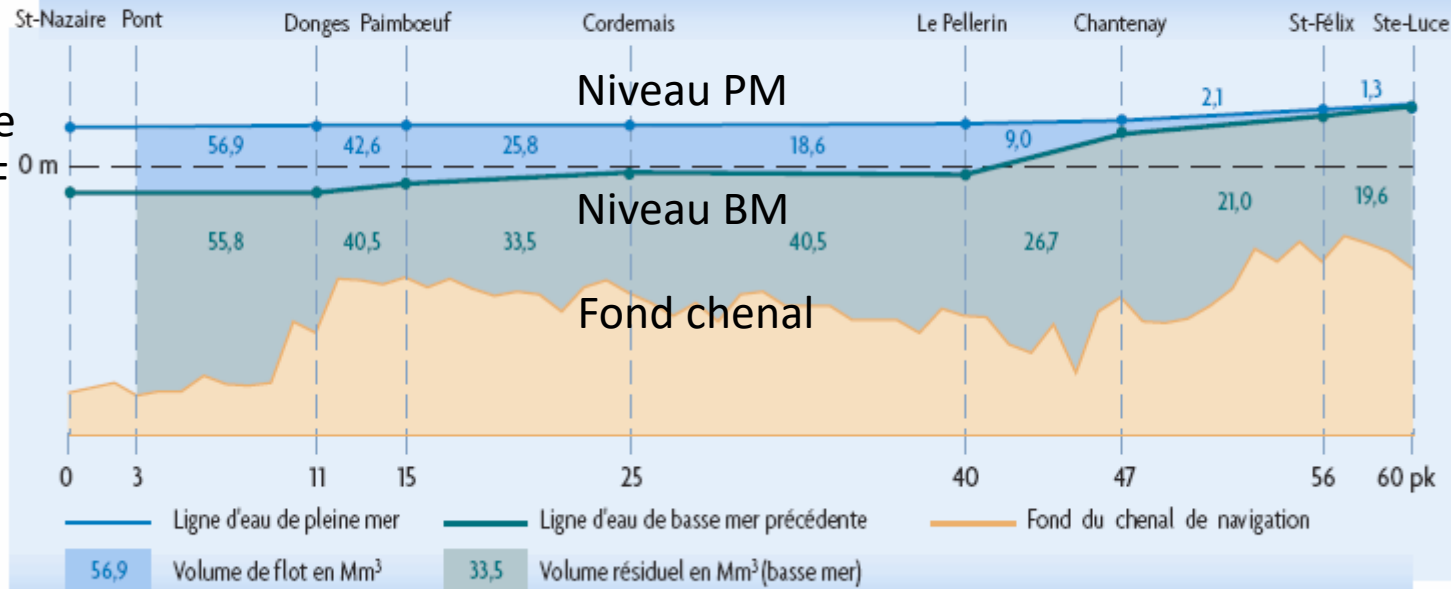


FIGURE L1 A2 -1

Volume de pleine mer (maximal)

Niveau PM

Volume de basse mer (minimal)

Niveau BM

Volume oscillant

Fond
chenal

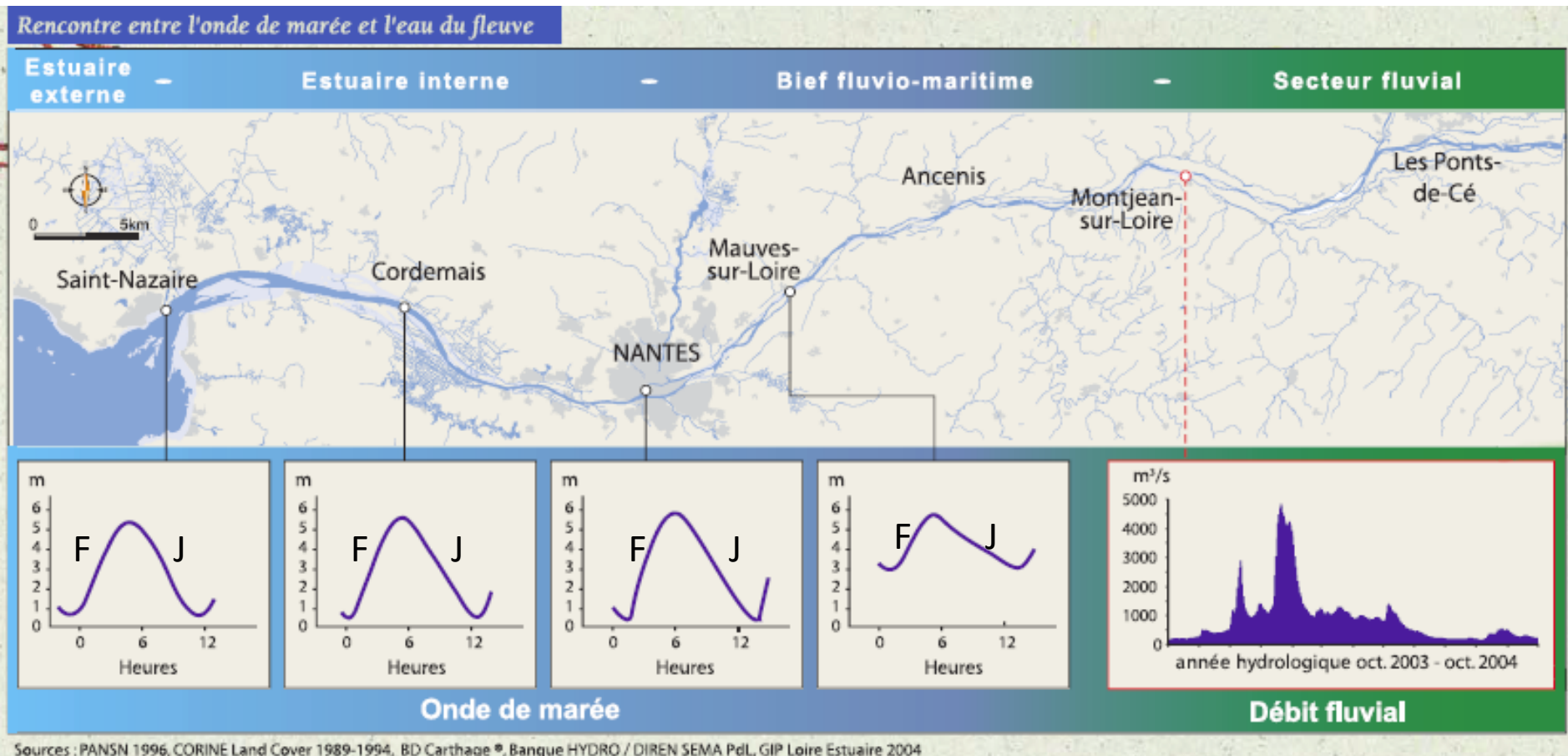
Source : CMB

Le volume oscillant

La marée dans la Basse Loire

AVAL

AMONT

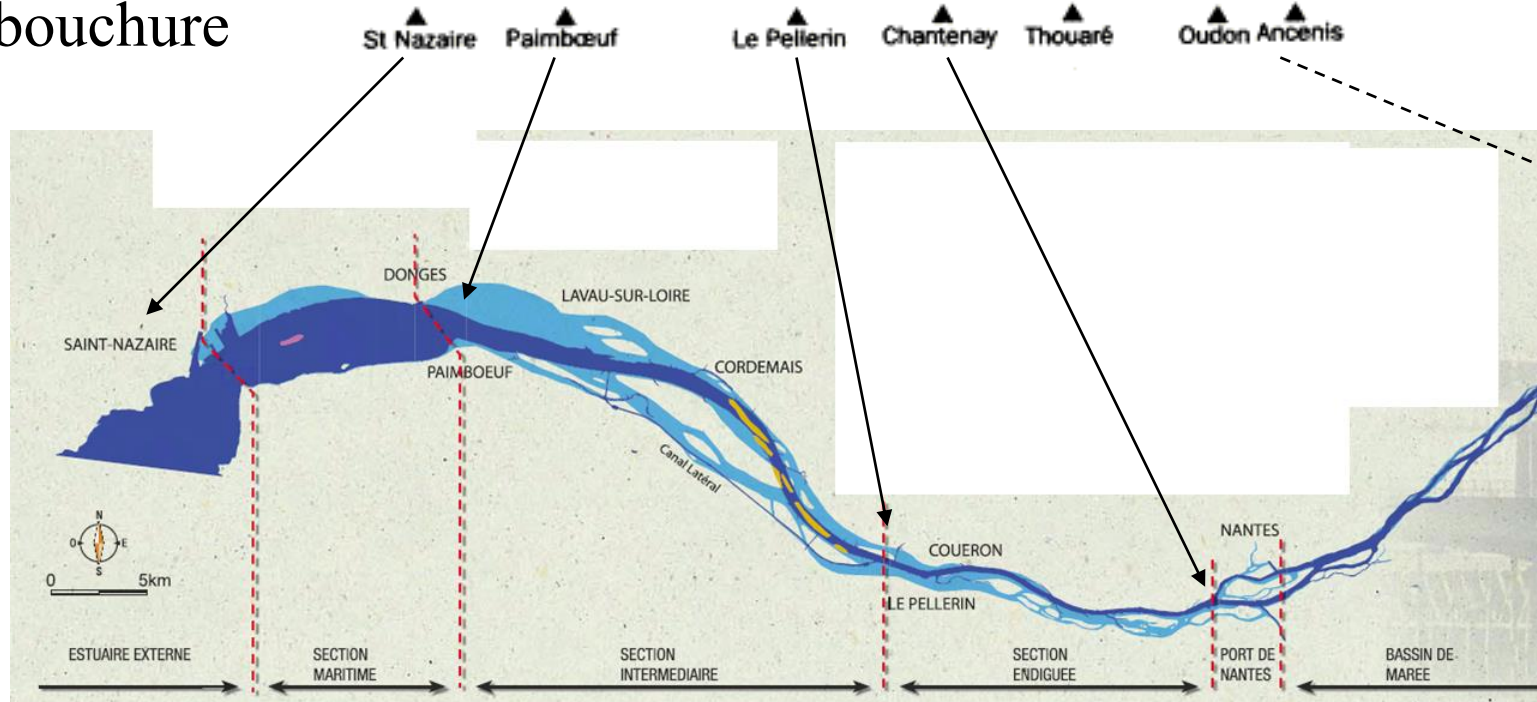
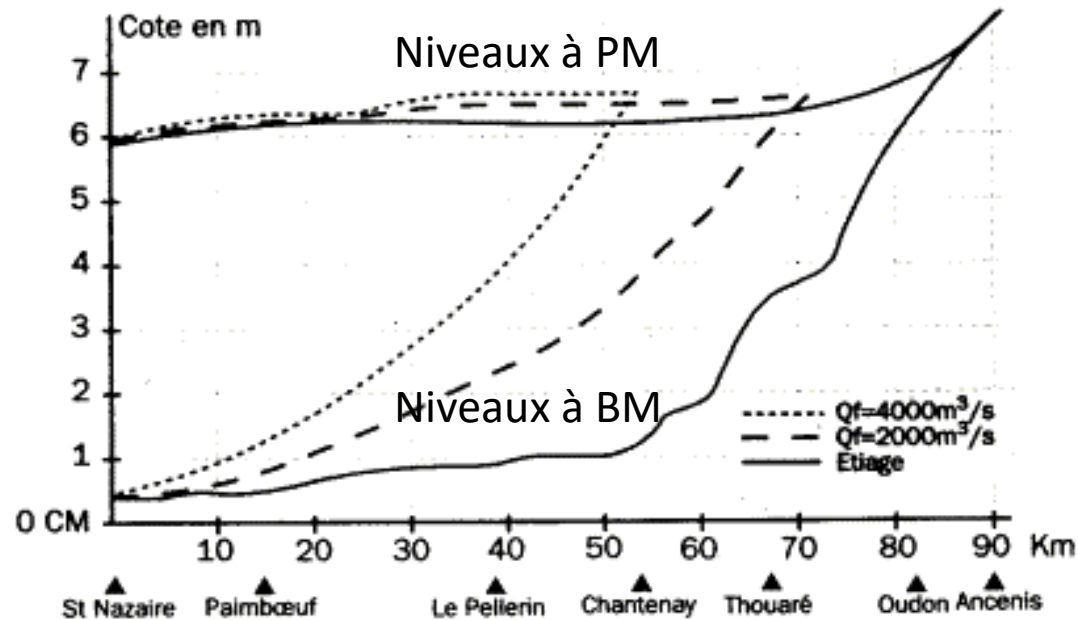


Un jusant (J) de plus en plus long en amont
(diminution de la durée du flot F)

Incidences de la marée

Courbes enveloppes des hauteurs à PM et BM, Variations selon le débit, la distance à l'embouchure

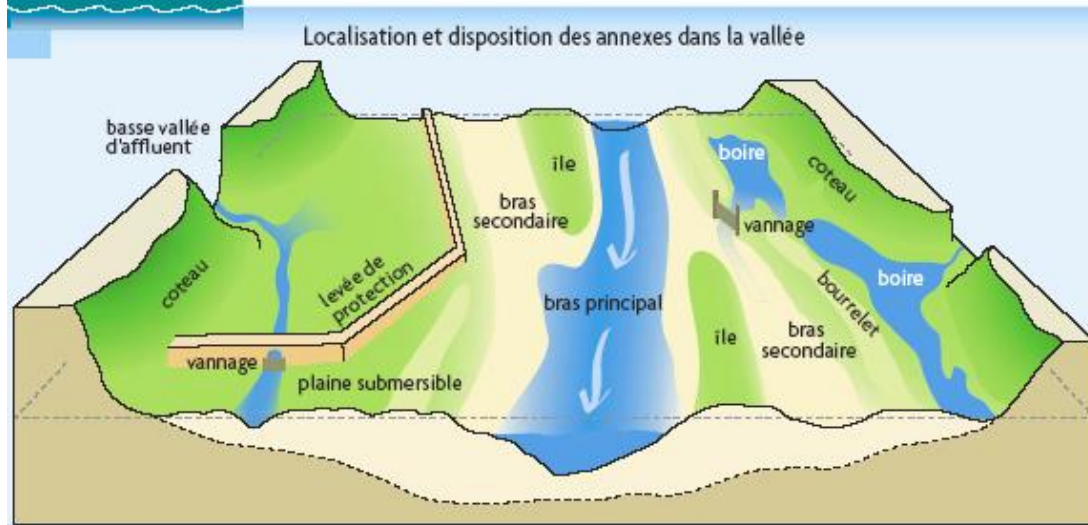
Propagation de la marée en crue
Variation des lieux géométriques PM et BM fonction du débit de la Loire (1976)
Marée VE



Connexions latérales

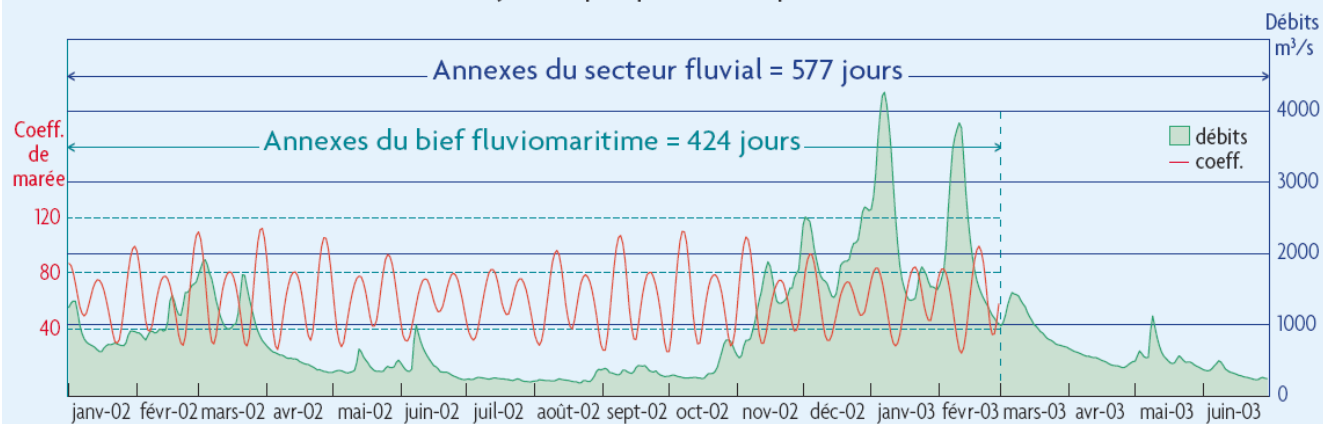


FIGURE L1 D2-1



GRAPHIQUE L1 D2-1

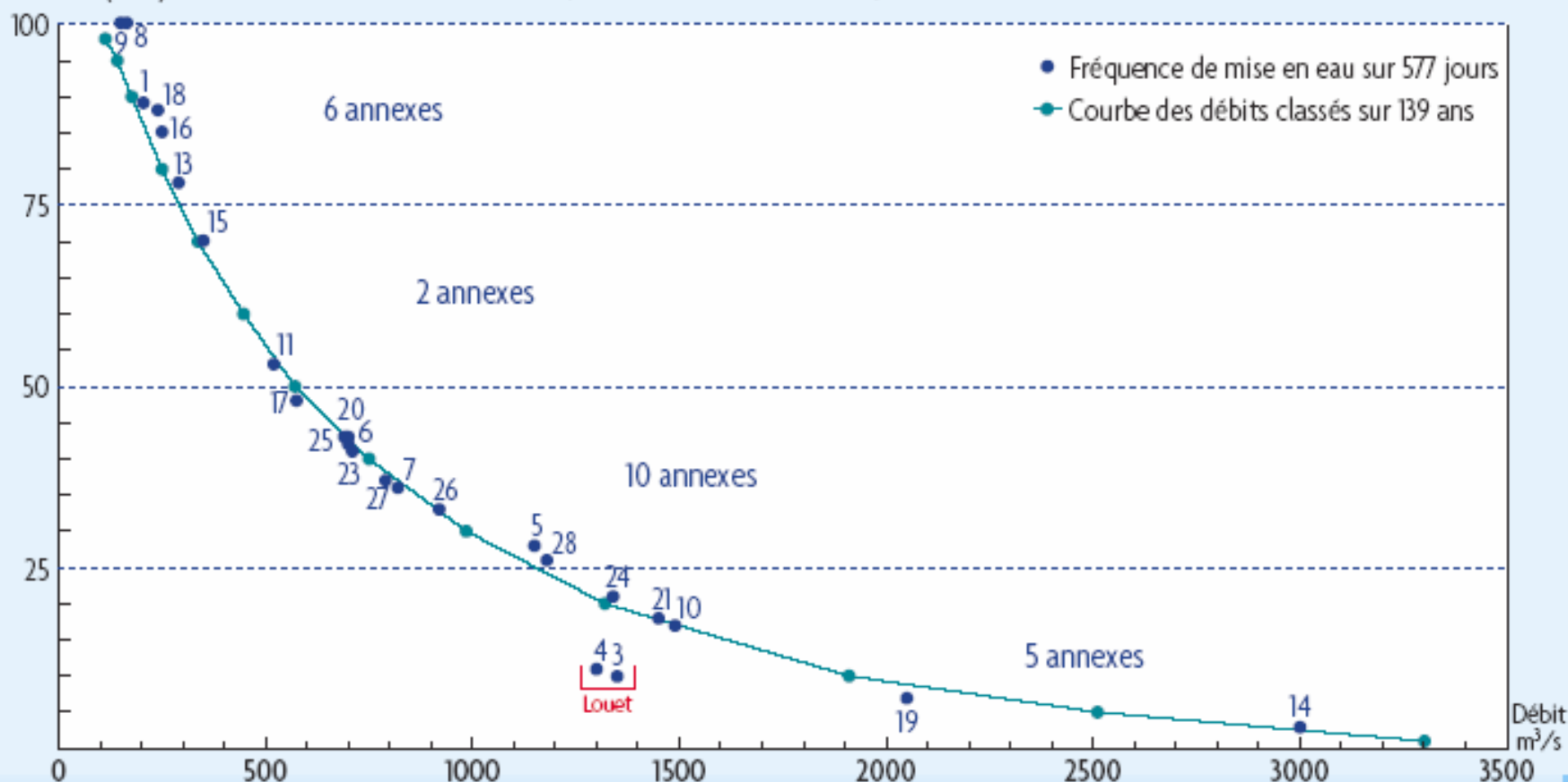
Conditions hydrauliques pendant les périodes étudiées



GRAPHIQUE L1 D2 -3

Fréquence de connexion (en %)

Fréquence de connexion (% du nombre de jours) en fonction du débit de la Loire

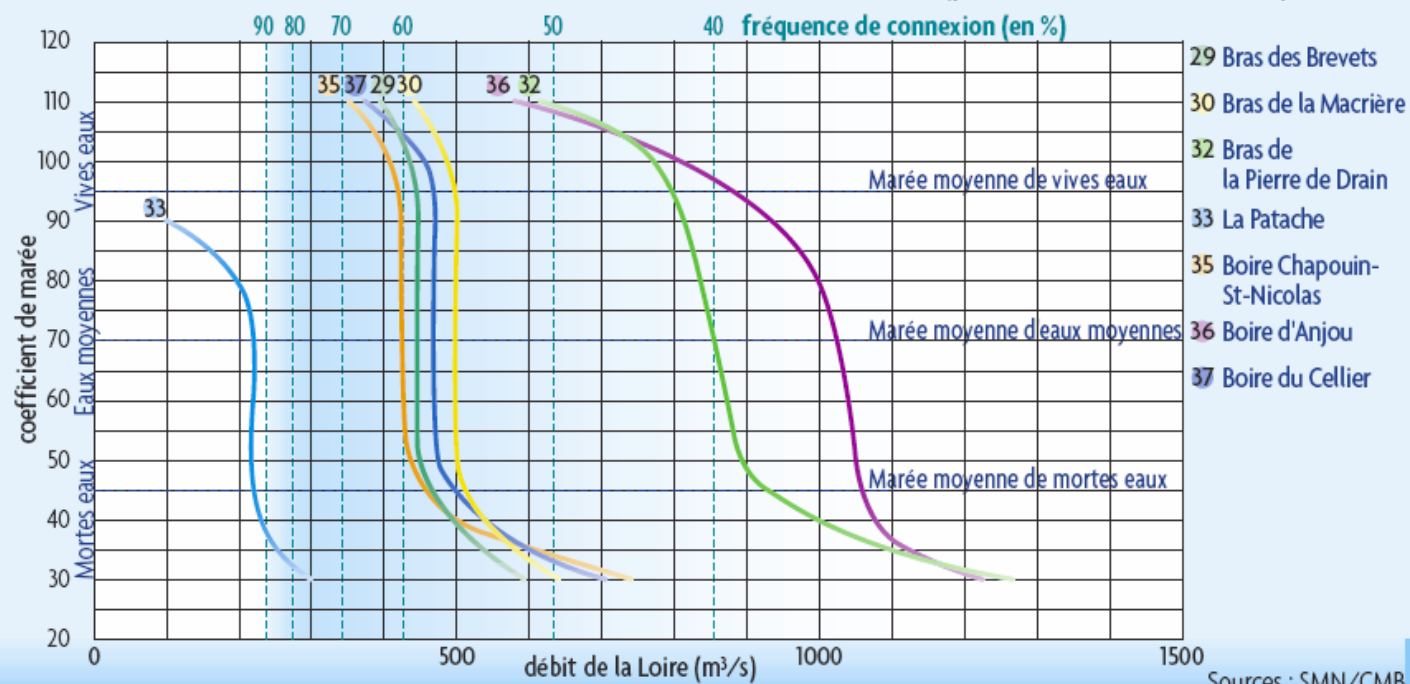


Sources : SMN/CMB



GRAPHIQUE L1 D2 - 5

Conditions de mise en eau de 7 annexes du secteur fluviomaritime (janvier 2002 - février 2003)



Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
- 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

L'estuaire une masse d'eau de transition marquée par des gradients de salinité

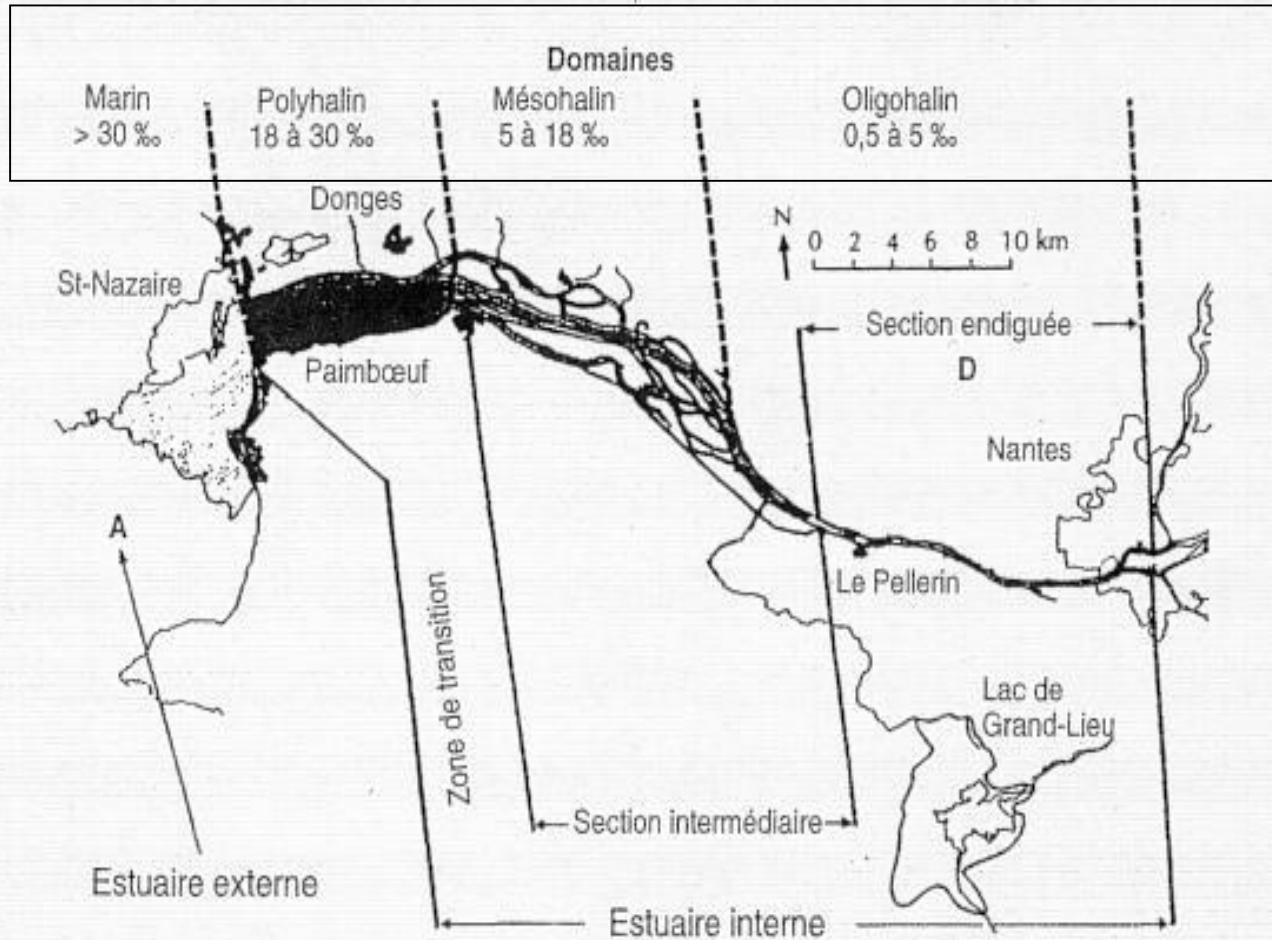
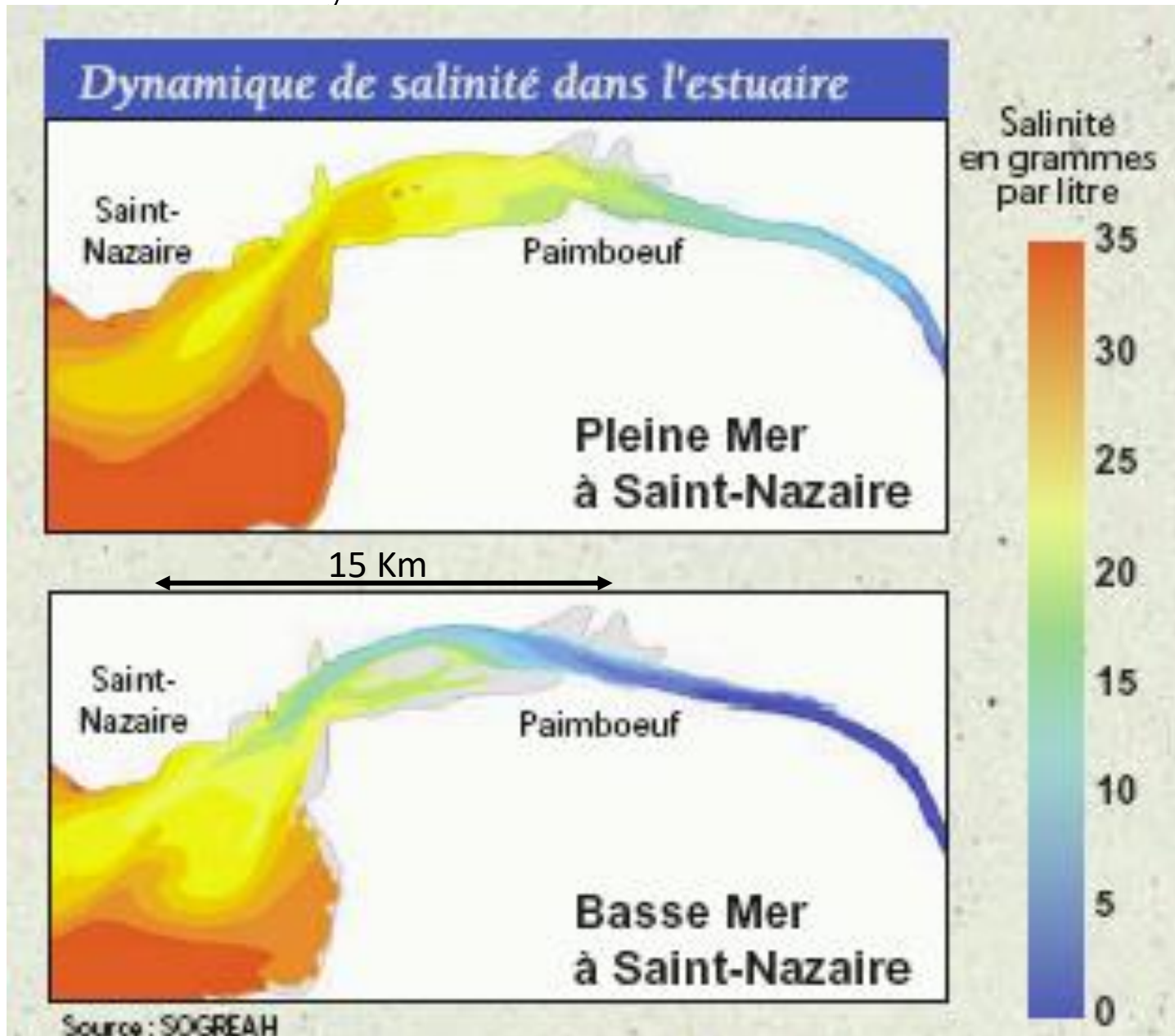


Figure 817 ■ Les différents secteurs hydrologiques d'un estuaire, celui de la Loire : succession des domaines oligohalin, mésohalin, polyhalin et marin.

Exemple de variation de la salinité superficielle au cours d'un cycle de marée dans l'estuaire de la Loire



Estuaire à coin salé

- puissance fleuve > puissance de la marée,
- Écoulement de l'eau douce en surface au dessus de l'eau salée
- Masse d'eau individualisée assez loin en mer ;
 - cas du Rhône, du Mississippi et des estuaires qui sont des branches de deltas
- pénétration du coin d'eau salée vers l'amont,
 - augmente avec la hauteur du niveau de la mer
 - diminue avec l'accroissement du débit du fleuve.

Estuaire à coin salé

- Stratification verticale (densité), brassage limité

AMONT

AVAL

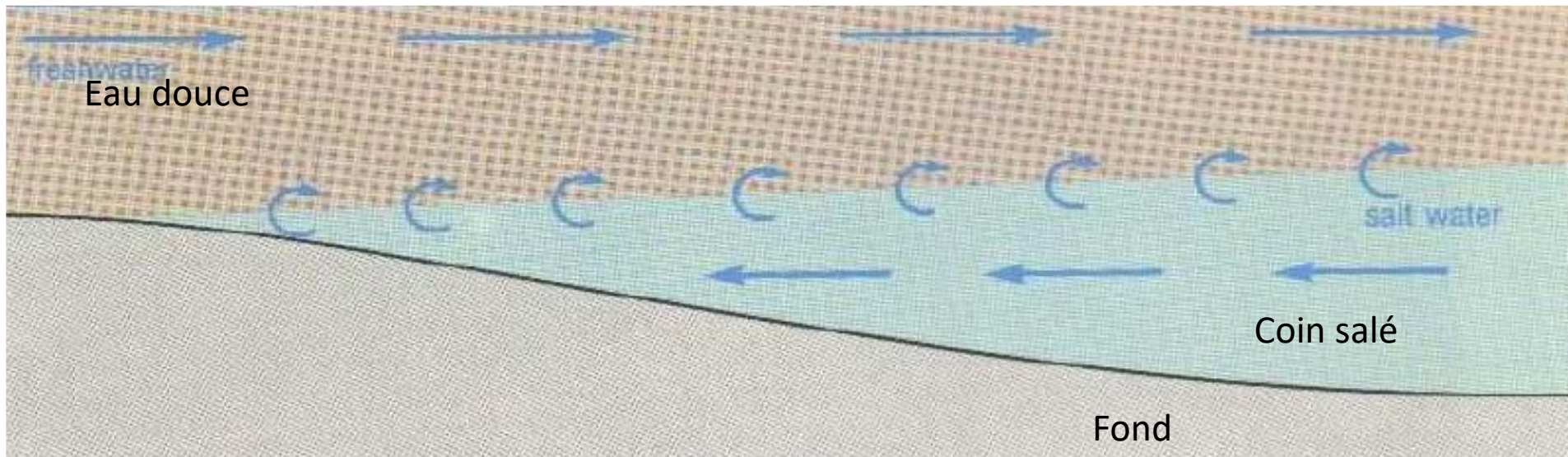
surface

Eau douce

salt water

Coin salé

Fond

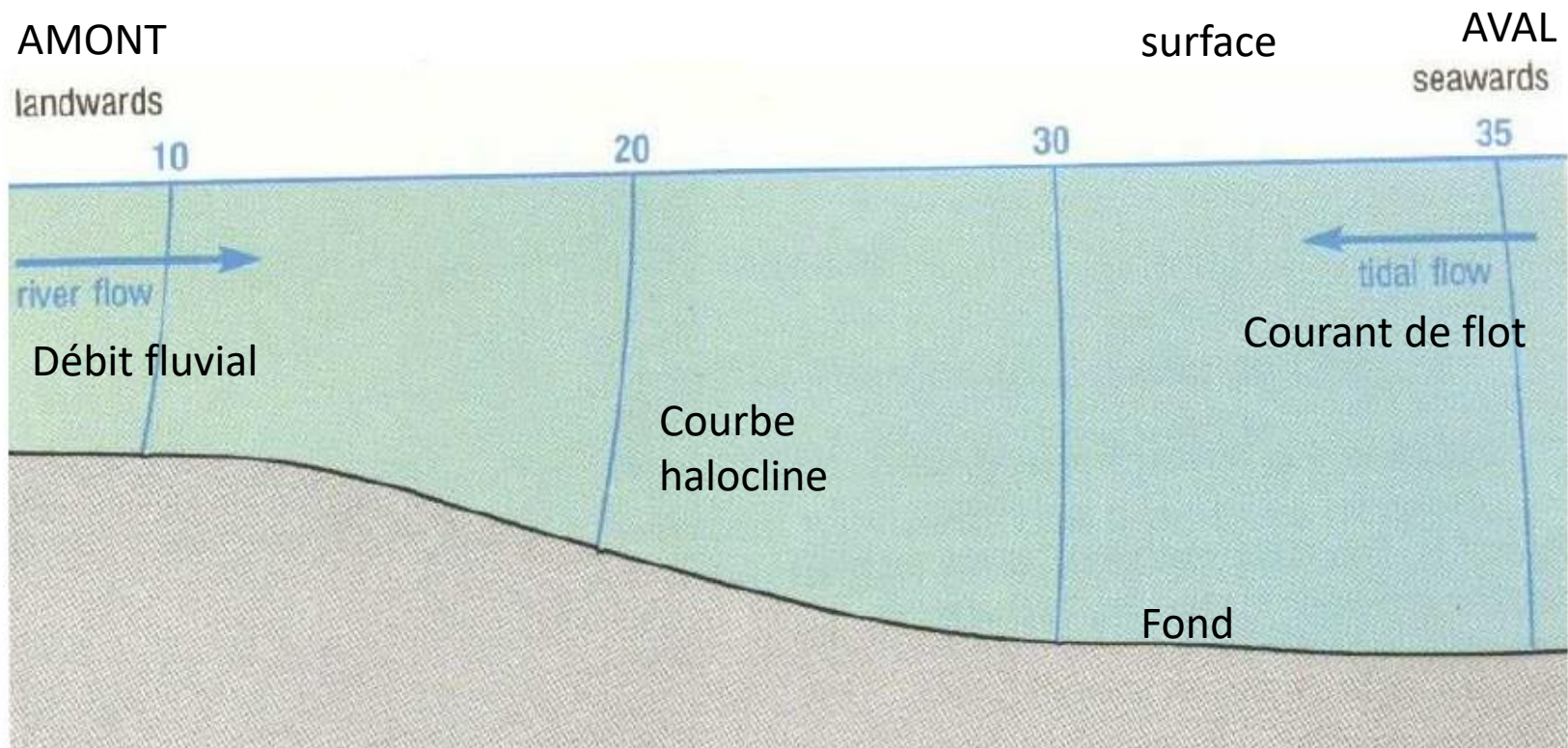


Estuaire bien mélangé

- embouchures avec transition progressive entre la mer et le fleuve
- salinité variable dans l'estuaire ;
 - au rythme de la marée ;
 - selon le débit fluvial,
- salinité pratiquement homogène à un instant donné
 - dans chaque section transversale de l'estuaire,
 - sans stratification verticale de densité

Estuaire bien mélangé

- La marée provoque le brassage et la formation de lignes haloclines verticales

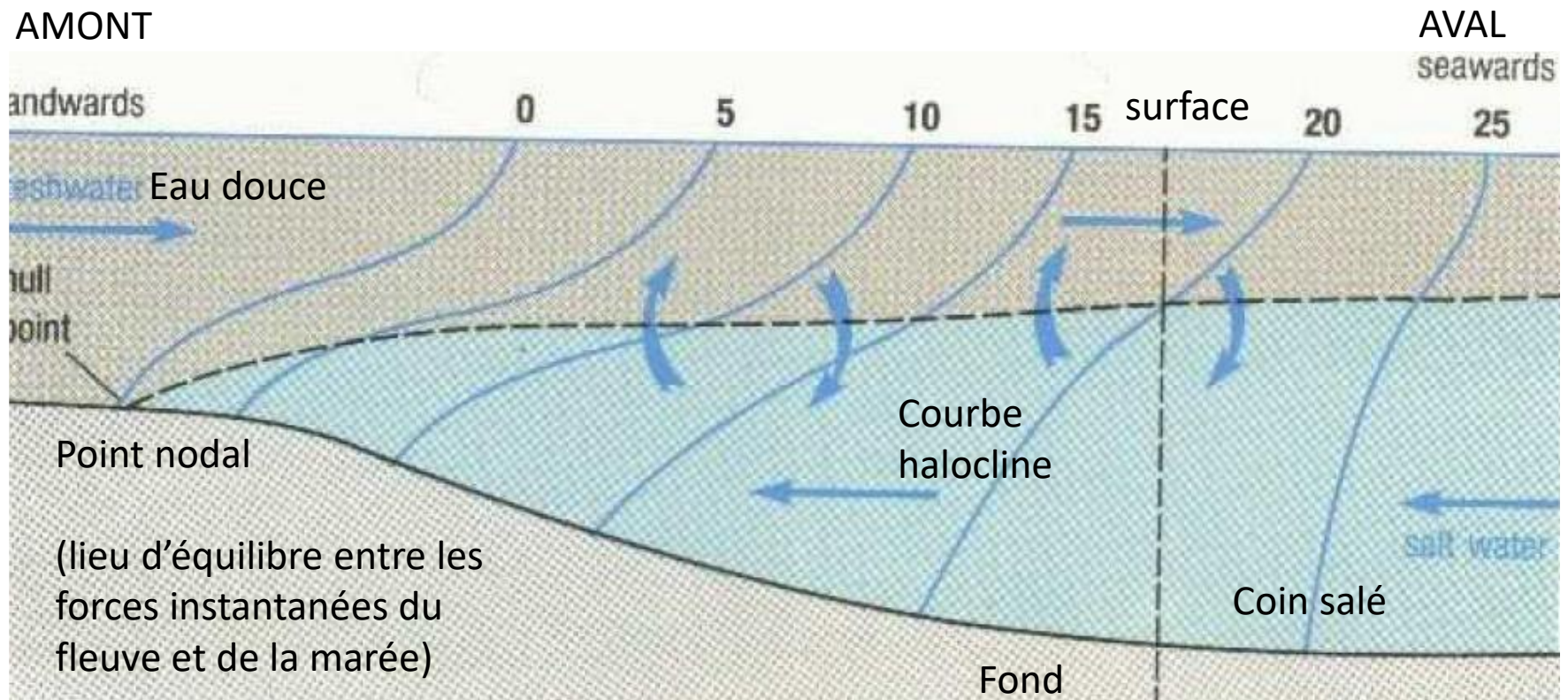


Estuaire partiellement mélangé

- cas le plus général ;
- salinité croissante de l'aval vers l'amont,
 - oscillant au rythme des marées et du débit du fleuve,
 - peu différente entre le fond et la surface,
- dans les types d'estuaires mélangés et partiellement mélangés :
- salinité résultante due
 - aux grands tourbillons verticaux
 - par frottement sur les rives ou sur les bancs de sable
 - par la différence de vitesse entre les différents chenaux de l'estuaire

Estuaire partiellement mélangé

- Courbes haloclines obliques



Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
- 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - **Nombre d'estuaire**
- 33/ Typologie
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

Nombre d'estuaire : N_e

$$N_e = VEO_0 * V_0^2 / g d_0 * Q_f * T$$

- VEO_0 = volume entrant dans l'estuaire au flot (m^3)
- V_0 = maximum de vitesse du flot à l'embouchure (m/s) ;
- g = accélération de la pesanteur (m/s^2) ;

$N_e < 0.08$: coin salé
 $0.08 < N_e < 0.5$: estuaire stratifié
 $0.5 < N_e$: estuaire mélangé

- d_0 = profondeur moyenne à l'embouchure (m) ;
- Q_f = débit fluvial (m^3/s) ;
- T = Période de la marée (en s)

Dans un même estuaire N_e varie selon les couples débit x marée.

Tableau III.3 : Nombre d'estuaire du Konkouré pour différentes situations hydrodynamiques.

type Hydrodynamique	Etiage					Crue	
	VE	VE	ME	ME	ME	ME	VE
<i>Campagne</i>	<i>26/03/01</i>	<i>12/06/02</i>	<i>03/04/01</i>	<i>23/01/02</i>	<i>20/02/02</i>	<i>26/09/01</i>	<i>16/10/01</i>
VEO_0 ($10^6 m^3$)	200	202.5	108	100	107	63	226.5
Q_f (m^3/s)	87	96	81	112	90	1001	765
d_0 (m)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	4	4
V_0	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1	1.1
N_e	3.10	2.85	1.15	0.77	1.03	0.04	0.20
	mélangé	mélangé	mélangé	mélangé	mélangé	Coin salé	stratifié

Estuaire du Konkouré.

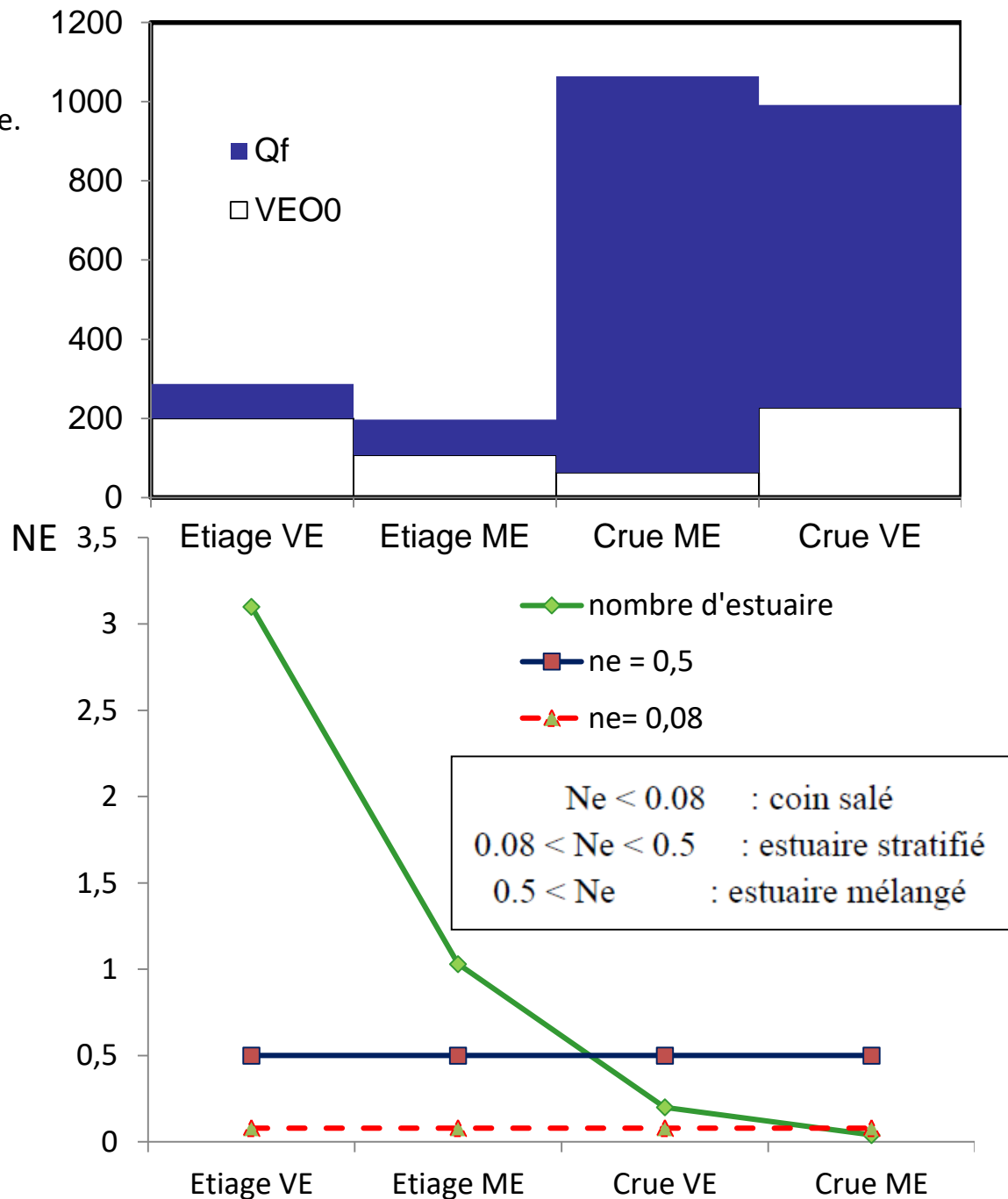
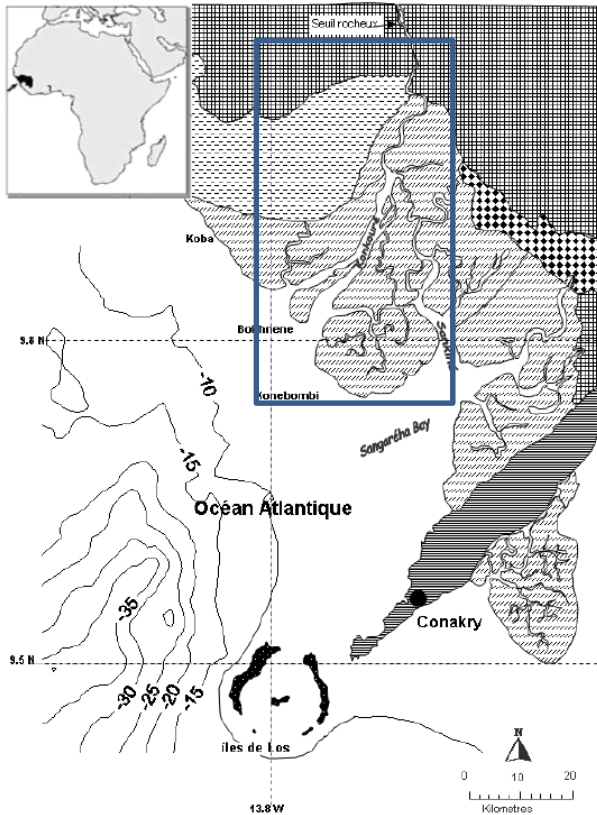
Débit fluvial, volume entrant, nombre d'estuaire.

Q_f = débit fluvial (m^3/s);

VEO_o = volume entrant dans l'estuaire pendant le flot (m^3)

VE = Vives eaux

ME = Mortes eaux



Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
- 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- **33/ Typologie**
- 34/ Formations turbides
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

33/ Typologie

Estuaires hypersynchrones :

➡ *dissipation par friction < à l'amplification par convergence*
amplitude de marée + courants associés augmentent dans l'estuaire d'aval en amont

Estuaires synchrones :

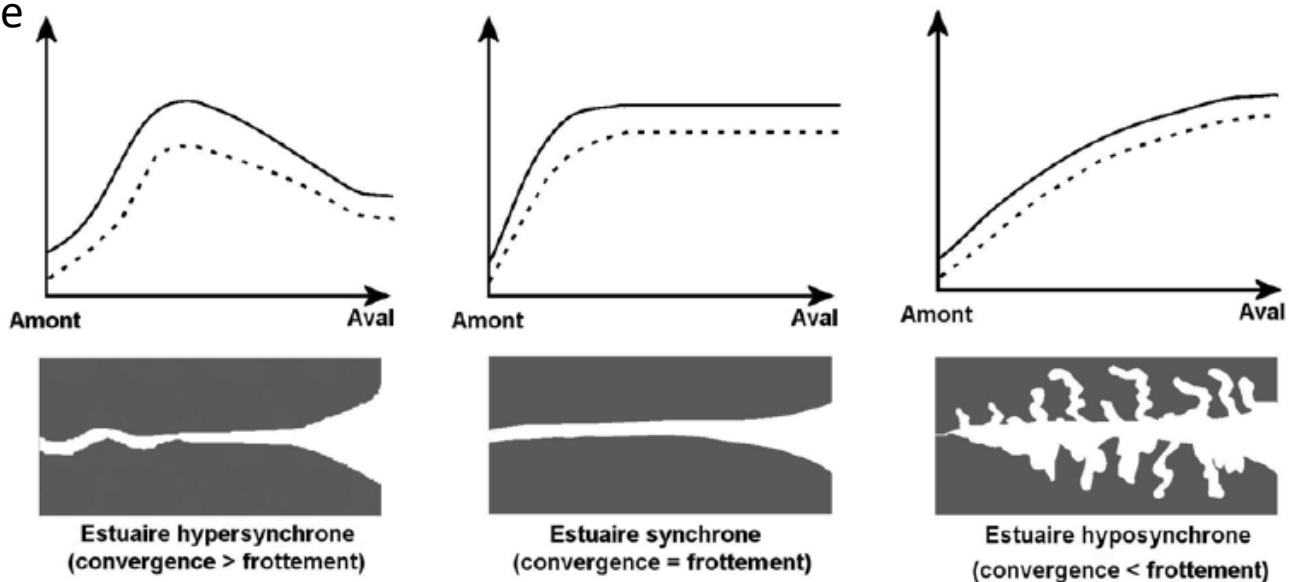
➡ *dissipation (frottement) = convergence*
amplitude de marée + courants associés constants d'amont en aval

Estuaires hyposynchrones :

➡ *dissipation par friction > à l'amplification par convergence*
amplitude de la marée + courants associés diminuent d'aval en amont

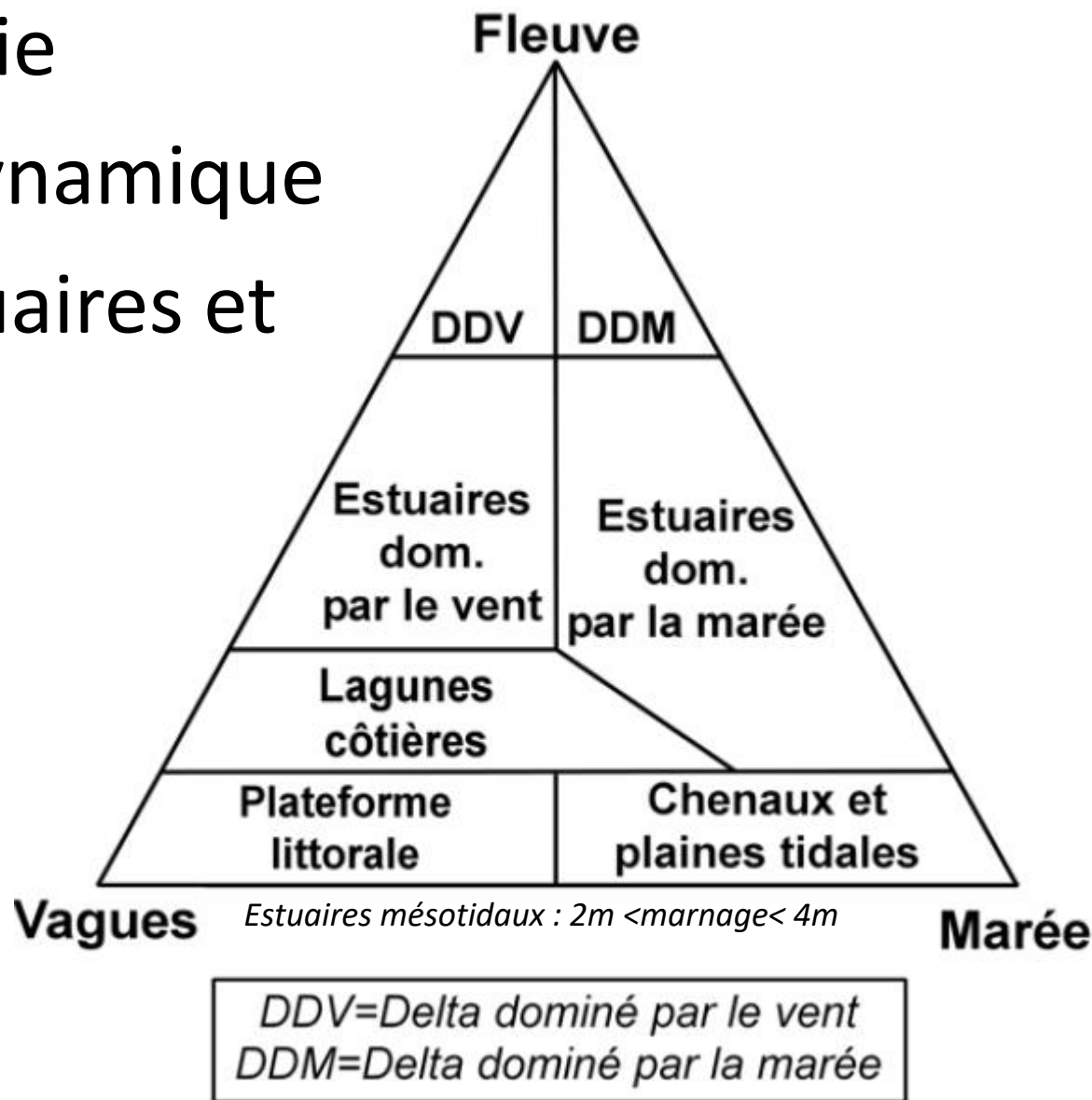
Amplitude
Vitesse

classification
de Le floch



— Amplitude de marée ... Vitesses de courants

Typologie hydrodynamique des estuaires et deltas



Estuaires et deltas • 32/ Marée

- 1/ Généralités
- Similitudes et oppositions entre estuaires et deltas
- **2/ Deltas**
- 21/ Le résultat d'un conflit
- 22/ Structure
 - 221 Plaine deltaïque
 - 222 Fronts de delta
 - 223 Prodelta
- **23/ Typologie**
- 3 catégories en fonction de la nature des agents prédominants
- 231/ deltas de type fleuve dominant
- 232/ deltas de type houle dominante
- 233/ deltas de type marée dominante
- 234/ (autres causes possibles : forme du BV, substrat géologique)
- **3/ Estuaire**
- 31/ Morphologie
 - 311/ Interface fleuve /océan
 - 312/ Chenaux
 - 313/ Surfaces marnantes
 - 314/ Autres zones humides estuariennes
- 321/ Marée dynamique
 - composantes L & S : PM et BM ;
 - marée barométrique ;
 - mois lunaire et marée : ME et VE ;
 - Volume oscillant
 - Gradients aval amont :
 - amplification du jusant
 - Courbes enveloppes
 - Incidences sur les connexions latérales
- 322/ Marée de salinité
 - Variation tidale superficielle
 - Mélange et stratification par densité
 - Estuaire à coin salé
 - Estuaire bien mélangé
 - Estuaire partiellement mélangé
 - Nombre d'estuaire
- **33/ Typologie**
- **34/ Formations turbides**
 - Flocculation
 - Bouchon vaseux
 - Crème de vase

34/ Formations turbides

Matières en suspension (MES)

- trois types de formations :
- bouchon vaseux : [MES] : quelques mg/l à quelques g/l (mouvements verticaux et horizontaux).
- vase fluide ou crème de vase, [MES] : quelques dizaines g/l (mouvement sur le fond et tassement)
- vase consolidée (forme le fond), peut résister à l'érosion. [MES] quelques centaines de g/l.