

LES ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

VII. MILIEUX LITTORAUX

I. MORPHOLOGIE SOUS-MARINE ET LITTORALE :

1. Zonation bathymétrique océanique globale : cas d'une marge passive : Le **domaine océanique** peut être zoné de la façon suivante (du plus proche au plus loin de la côte), basé sur la bathymétrie (c'est-à-dire la profondeur du fond des océans) – ici dans le cas d'une marge passive (**Fig.120**) :

- ❖ **Plateau continental = plateforme continentale** : zone de faible profondeur (jusqu'à **200 m environ**) et de faible pente ($< 1^\circ$) située entre le trait de côte et le talus continental.
- ❖ **Talus continental = Pente continentale** : zone d'augmentation brutale de la pente (quelques degrés) et donc de diminution brutale de la profondeur située en arrière du plateau continental.
- ❖ **Glacis continental** : zone de transition entre le talus et la plaine abyssale où se déposent des flux sédimentaires gravitaires en provenance du plateau.
- ❖ **Plaine abyssale** : zone de très faible pente, presque plane, de fortes profondeurs (> 4000 m).

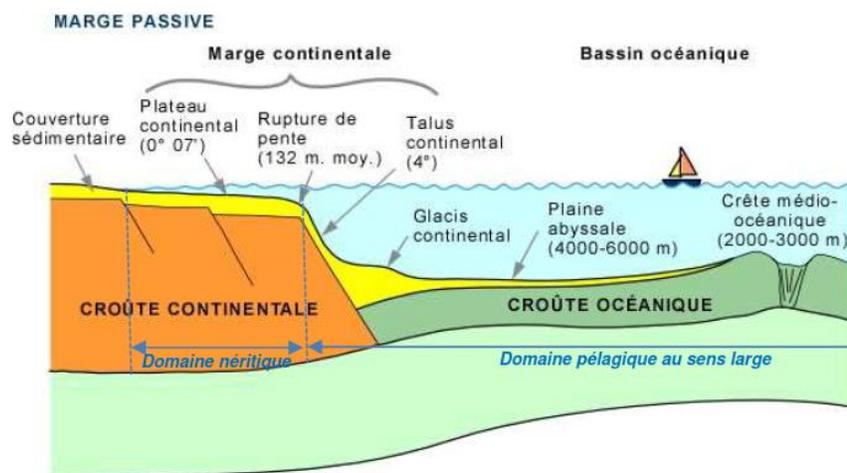


Fig.120. Le domaine océanique

2. Zonation sédimentaire océanique (répartition horizontale) : néritique, hémipélagique, pélagique : Les géologues distinguent **trois domaines de sédimentation (Fig.121) :**

- ❖ **Le domaine néritique :** domaine du plateau continental.
- ❖ **Le domaine hémipélagique (parfois pélagique bathyal) :** domaine du talus et du glacis continental.
- ❖ **Le domaine pélagique (parfois pélagique abyssal) :** domaine de la plaine abyssale.

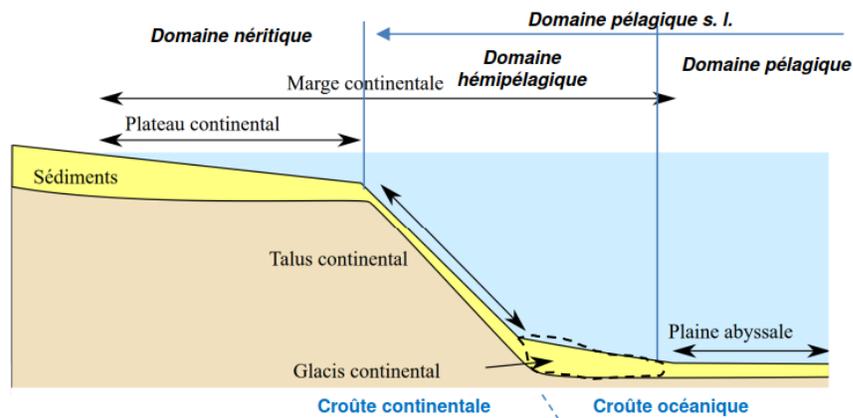


Fig.121. Les grands types d'environnements de la sédimentation marine
Zonation océanique globale : deux visions

3. Zonation hydrodynamique du domaine littoral : Le **domaine côtier** peut être zoné de la façon suivante (du plus proche au plus loin des terres émergées) (**Fig.123**) :

- ❖ **Arrière-plage = backshore = zone supratidale :** zone non atteinte par la mer (à l'exception des embruns) sauf en cas de tempêtes.
- ❖ **Estran = foreshore = zone intertidale :** zone de balancement des marées.

Le terme « plage » (= beach = shore) englobe généralement les deux ensembles précédents.

- ❖ **Avant-côte = shoreface = zone infratidale :** zone toujours inondée où l'action des vagues (de beau temps) se fait sentir sur les sédiments.
- ❖ **Large = offshore :** zone toujours inondée où l'action des vagues ne se fait pas sentir sur les sédiments, sauf en cas de tempête.

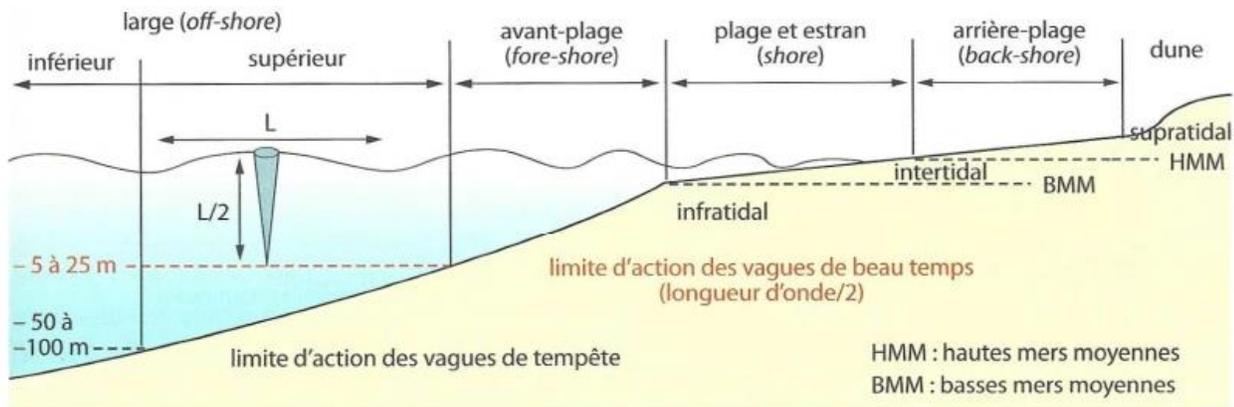


Fig.123. Zonation hydrodynamique du domaine littoral. D'après RENARD et al. (2018)

4. Zonation verticale du domaine benthique :

Les êtres vivants benthiques (fixés sur le fond) se répartissent en étages aux peuplements caractéristiques. Les limites entre les étages correspondent à des **variations des conditions écologiques du milieu**. Les petits fonds qui reçoivent suffisamment de lumière pour permettre le développement de **végétaux chlorophylliens**, constituent le système phytal qu'on divise en plusieurs étages (Fig.124):

a. L'étage adlittoral (continent émergé): zone non atteinte par la mer et peu par les embruns où se trouvent les premières traces de végétation terrestre (correspond typiquement aux dunes).

b. L'étage supralittoral : situé au-dessus des pleines mers de vive-eau qui est mouillé par les embruns.

c. L'étage médiolittoral : zone située entre le niveau des pleines mers de vive-eau et le niveau des basses-mers de morte-eau.

d. L'étage infralittoral : zone située sous le niveau des basses-mers de morte-eau où peuvent exister les organismes photosynthétiques **photophiles** (= qui exigent une intensité lumineuse importante pour se développer) et **des posidonies**.

e. L'étage circalittoral : zone située sous l'étage infralittoral où peuvent encore exister les **algues pluricellulaires sciaphiles** (plus tolérantes pour les faibles éclaircissements).

Les grandes fonds constituent le **système aphytal (aphotique)** caractérisé par l'**absence de lumière** et donc de **végétation chlorophyllienne** ; ils comprennent **trois étages** :

f. **L'étage bathyal** qui correspond aux peuplements occupant le talus continental et la pente qui se trouve au pied de ce talus

g. **L'étage abyssal** comprend les peuplements de la grande plaine où dominent les fonds meubles

h. **L'étage hadal** qui englobe les ravins et les fosses profondes.

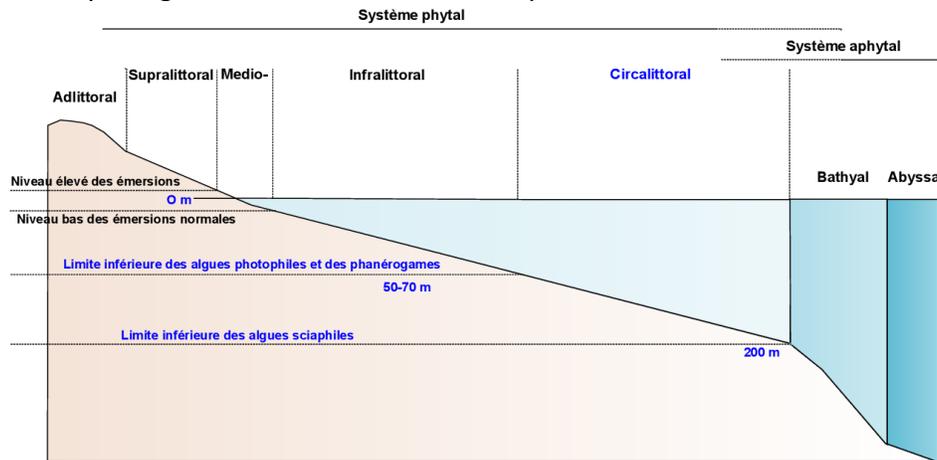


Fig.124. Zonation verticale du domaine benthique

II. LES AGENTS DYNAMIQUES MARINS

1. **La houle** : mouvement ondulatoire d'ensemble de la surface de la mer formé par des vents globaux dus à une dépression atmosphérique.

2. **Les vagues** : mouvement ondulatoire local de la surface de la mer formé par des vents locaux.

(!) Sur la côte, les vagues viennent s'échouer sur la plage ou les rochers en formant des rouleaux : ce sont **des vagues de déferlement**.

3. **Les marées** : mouvements oscillatoires de **montée et baisse du niveau marin** en réponse aux forces gravitationnelles s'exerçant sur la Terre liées à la Lune et, dans une moindre mesure, au Soleil.

Un cycle de marée ou cycle tidal s'étale sur environ 12 heures.

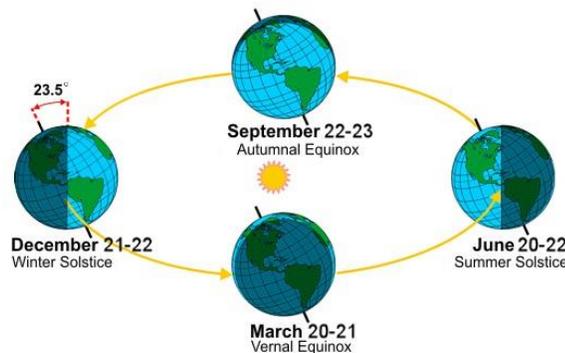
- ❖ Le plus bas niveau atteint par la mer lors d'un cycle de marée s'appelle **basse mer BM « marée basse »**, et le **plus haut niveau** atteint par la mer lors d'un cycle de marée s'appelle **pleine mer PM ou haute mer HM « marée haute »**.
- ❖ On appelle **marnage** la différence de hauteur entre basse mer et pleine mer.
- ❖ Le marnage varie au cours de l'année (on parle de marées de « fort » ou « faible » coefficient) ;

Le marnage est notamment important (Fig.125) :

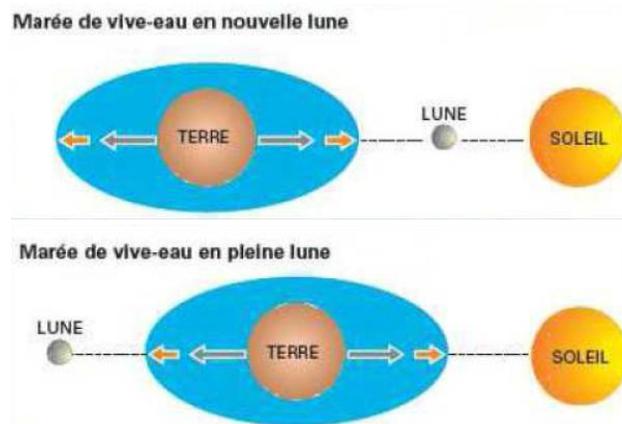
- Lors des **équinoxes** (*faibles marées lors des solstices*)

Un **équinoxe** est une période de l'année où **le soleil est perpendiculaire à l'équateur**. La **ligne Terre-Soleil** passe le plan de l'équateur terrestre sur le trajet du **Sud au Nord**, ou **inversement**. À l'heure de l'équinoxe, la **durée du jour** et de la **nuit** est à **peu près la même** partout sur la planète.

Les périodes d'équinoxe correspondent à des amplitudes de marée globalement fortes (**mars et septembre**), et inversement, en **période de solstice** sont **globalement faibles** (**juin et décembre**).



- Lorsque les astres **sont alignés** → *marées de vive-eau (ou vives eaux)*



- Faible marée si astres **en quadrature** → *marées de morte-eau (ou mortes eaux)*

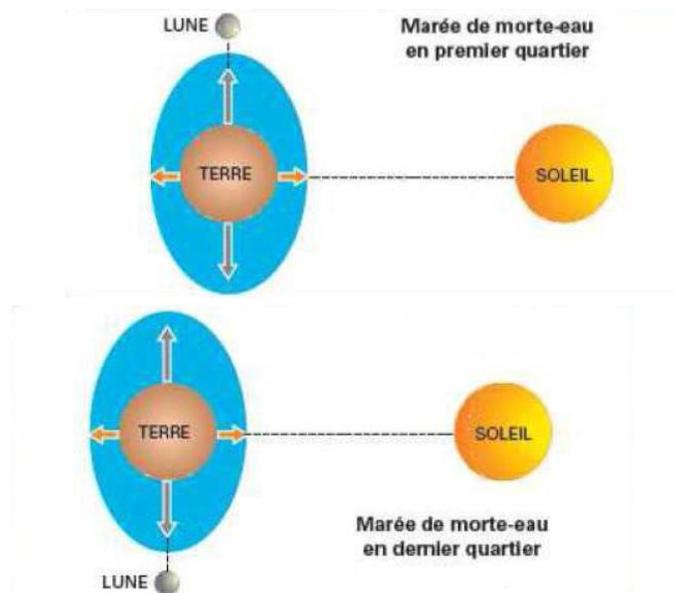


Fig.125. Les marées et l'effet du positionnement des astres sur leur intensité. D'après RENARD et al. (2018)

- Le cycle **morte-eau/vive-eau** ou **cycle semi-lunaire**, d'une durée de **14 jours** environ.
- le cycle **grande vive-eau/petite vive-eau** ou **cycle lunaire**, d'une durée de **28 jours** environ.

Les marées sont semi-diurnes, d'une période de **12h24**. Il s'agit d'un environnement **macrotidal** mais le **marnage en Manche Orientale** peut atteindre près de **dix mètres** lors des **marées d'équinoxes** :

Macrotidal = un milieu subissant des amplitudes de marée importantes (plus de 4 à 5 mètres).

4. Les courants :

a. Les courants océaniques : mouvements directionnels des masses d'eau gouvernés par la chaleur (masses d'eau chaudes vs. froids), les vents et d'éventuelles différences de salinité.

- a.1. Les **courants littoraux**, les courants de mers peu profondes,
- a.2. Les courants océaniques de surface (**courants longitudinaux**)
- a.3. les courants océaniques du fond (**courants de contour**)
- a.4. Les courants **ascendants d'upwelling**
- a.5. Les courants **de turbidité**
- a.6. La circulation globale

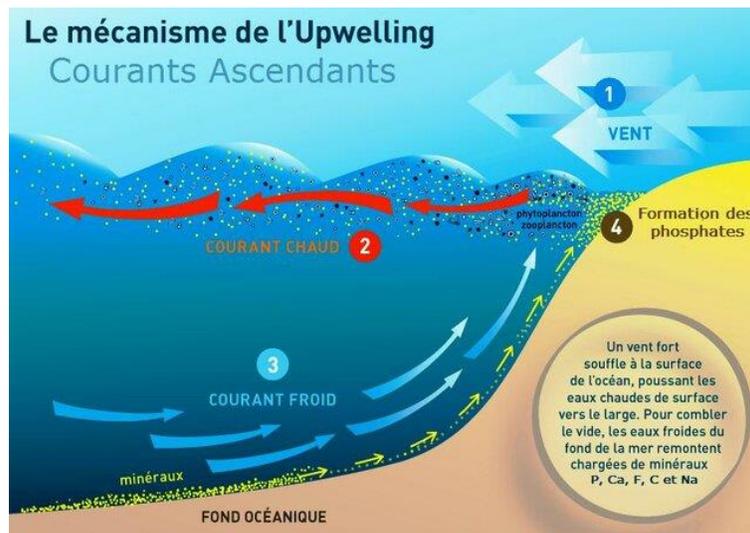


Fig.126. Les courants ascendants d'upwelling

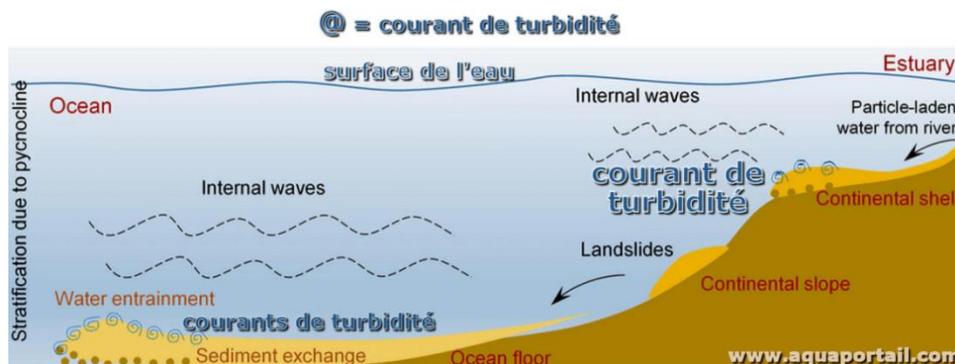


Fig.127. Les courants de turbidité

IV. MILIEUX LITTORAUX

A. Introduction : Le littoral comprend la ligne de côte et une bande immergée de largeur variable dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et qui correspond à la plate-forme littorale. La ligne de côte comprend les plages, les falaises et la partie du continent soumise plus ou moins directement à l'action de la mer: dunes littorales, marais côtiers, estuaires...(Fig.128).

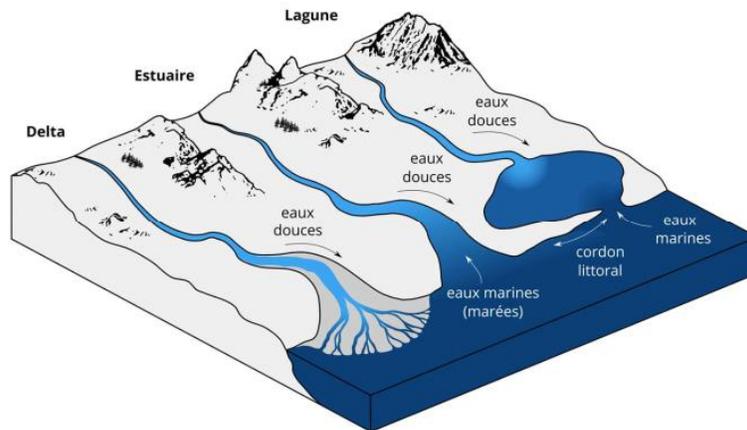


Fig.128. Les principaux milieux littoraux

LES LAGUNES

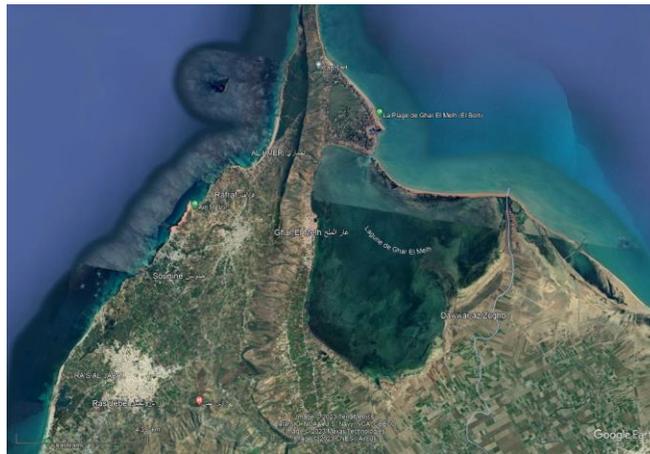
A. Introduction : Les lagunes sont des étendues d'eau en communication temporaire ou permanente avec la mer dont elles sont séparées par une barrière naturelle. Cette situation crée un milieu de faible énergie hydrodynamique qui, intéressant une tranche d'eau peu épaisse, est responsable d'une grande variabilité des facteurs physico-chimiques : température, salinité, oxygénation. . Les lagunes constituent des milieux margino-littoraux dans lesquels se déposent des sédiments fins d'origine aussi bien continentale que marine.

B. Sédiments : Les dépôts des lagunes consistent en sédiments fins, sables et vases, à litage horizontal bien marqué, mais souvent bioturbés. Ils sont souvent riches en matière organique et particulièrement en pelotes fécales. Les lamines peuvent présenter une succession rythmique par suite de la sensibilité de la nappe d'eau aux variations climatiques saisonnières. Les ripple marks sont fréquents.

Lorsque les apports terrigènes sont peu importants, la précipitation des carbonates devient le phénomène prépondérant (micrite). En climat aride, peut s'amorcer le dépôt des évaporites.

C. Les organismes : La composition biologique, très appauvrie par rapport à celle de la mer voisine, reflète fidèlement les caractères physico-chimiques de l'environnement lagunaire. Suivant les cas, la faune sera marine ou, plus fréquemment, typique des eaux saumâtres (mollusques, crustacés, insectes). Les organismes fouisseurs sont abondants. Périodiquement interviennent des mortalités massives de la faune aquatique par suite de conditions climatiques plus rigoureuses (échauffement des eaux, confinement, assèchement.....). Lorsque la salinité devient trop élevée, les organismes disparaissent et les sédiments seront azoïques.

L'envasement progressif de la lagune favorise l'installation de la végétation. C'est le cas de la mangrove.



Lagune de Ghar El Melh en Tunisie

La nature de la **sédimentation littorale, ou néritique**, dépend essentiellement des **apports détritiques** du continent et de la **productivité biologique**, ces deux facteurs dépendant eux-mêmes de la **latitude** et du **climat**.

- Dans les **régions tempérées et froides**, les matériaux détritiques dominant; leur composition est surtout **siliceuse**: on parle de **sédimentation silico-clastique**.
- Dans les **régions chaudes** nombreuses sont les organismes qui fixent le carbonate de calcium ; à leur mort, les éléments carbonatés s'accablent au point de constituer la matière principale du sédiment: on parle de **sédimentation littorale carbonatée**.

LA LIGINE DE COTE

1. La ligne de cote :

1.1 Les côtes rocheuses :

- Les côtes rocheuses et escarpées bordant des mers agitées sont des domaines d'érosion ou du moins d'absence de sédimentation.
- Les matériaux arrachés sont emportés par les courants littoraux puis s'accumulent dans des "retrants" protégés de la côte.
- Les organismes participent à l'érosion des côtes: les mollusques lithophages, certains annélides, perforent les roches dures. Des vers, des crustacés, des bivalves creusent des terriers dans les sédiments meubles.
- La mer agit également par voie chimique ; au-dessus du niveau de la mer apparaissent des cavités de dissolution surtout importantes dans les roches calcaires et qui sont dues à l'action des embruns chargés de sels (**les taffoni**).

1.2 Les plages :

- Les plages sont des lieux **d'accumulation de sables**, plus **rarement de galets**, situés le **long du rivage**.
- Le déferlement des vagues génèrent des courant locaux qui produisent le déplacement des sables et leur accumulation en une **barre de déferlement (Fig. 129 et 130)**, quelquefois plusieurs, **parallèle au rivage**.



Fig.129. Déferlement de vagues et jet de rive (swash)

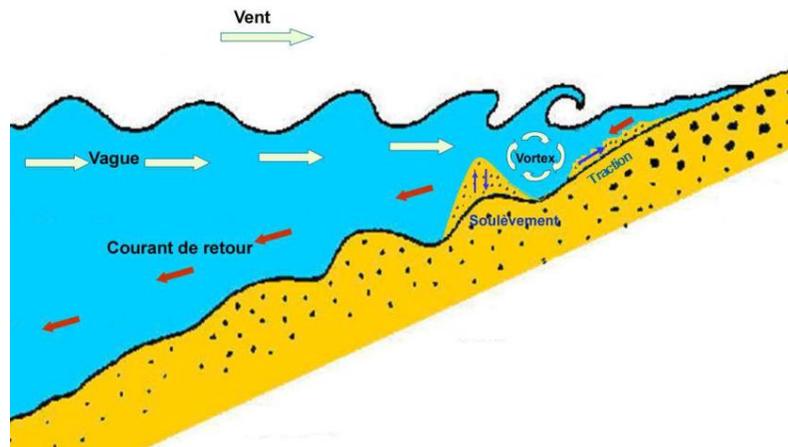


Fig. 130. Déplacement des matériaux dans la zone de déferlement

- Après déferlement de **vagues** sur les côtes, lorsque **la houle** est faible on a **une longueur d'onde (d) faible**, le courant de retour (**Back Swash**) sera plus faible et donc les particules se déposent sur le rivage, il y a un engraissement de la plage (**Fig.131**).
- Par contre si **(d) est forte (mer agitée)**, le courant de retour (**Back Swash**) sera plus fort et donc on aura un apport vers le large et la belle plage d'été devient plus étroite (**Fig. 131**).

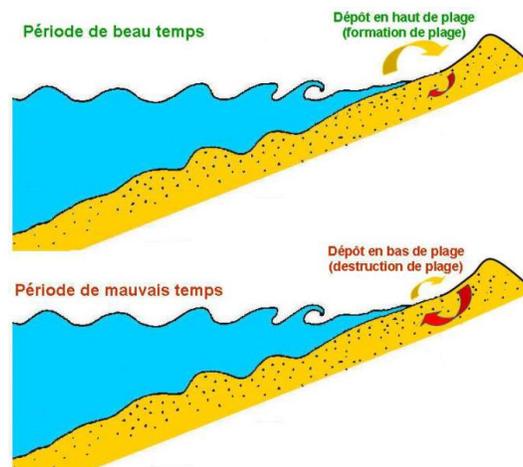


Fig.131. Formation et destruction d'une plage.

- Lorsque le front d'onde des vagues est **oblique par rapport à la ligne de côte**, il apparaît par réflexion un courant parallèle ou oblique à la côte appelé **la dérive littorale (Fig.132)**. Il en résulte des transports longitudinaux de sédiments et des conséquences morphologiques importantes.

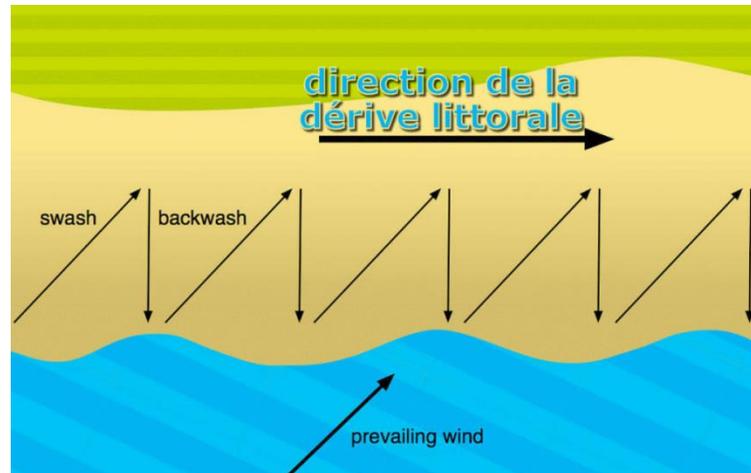


Fig.132. Dérive continentale

a. Les flèches littorales : la flèche se développe suite à la dérive littorale. Si la dérive littorale va en direction d'un angle droit dans les terres émergées, les sédiments continuent de s'accumuler dans leur direction d'origine, ce qui crée **une flèche sableuse (Fig.133)**.



Fig.133. Flèche littorale. L'embouchure d'Oued chlef

b. Les Tombolos : ils naissent également sous l'action des houles, entre les îles et les côtes. Les courants littoraux entraînent une dérive littorale permettant la jonction entre le continent et les îles (**Fig.134**).

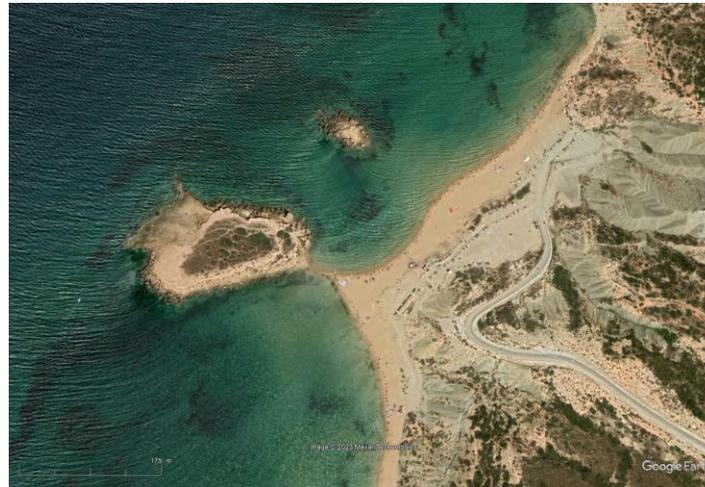


Fig.134. Tombolo. Plage de Sbeaat (Ain Temouchant)

Le continent et l'île étaient séparés, puis le sédiment s'est petit à petit accumulé derrière l'île, formant ainsi ce que l'on appelle **une queue de comète**. Finalement, cette longue flèche sableuse qui a grandi au fil des courants et marées a fini par relier Quiberon au continent, formant de fait **un tombolo (Fig.135)**.

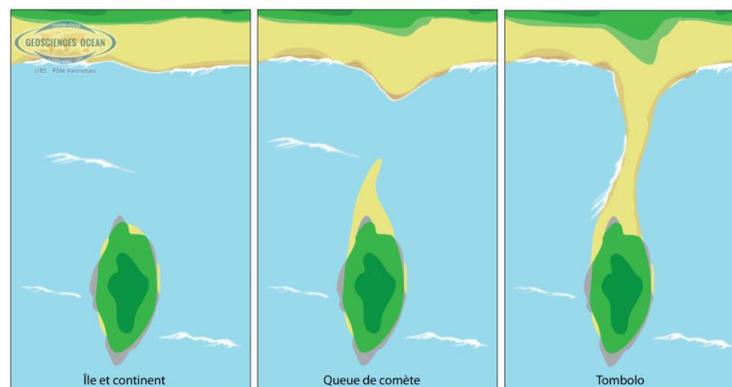


Fig.135. Schéma de la formation d'un tombolo

c. Queue de Comète : Elle se développe au large des côtes des îles de récifs (= Ecueil). L'écueil protège alors les dépôts sédimentaires à l'arrière formant ainsi la queue de Comète (**Fig.135**).

LES ESTUAIRES ET LES DELTAS

LES ESTUAIRES

A. Définition : Un **estuaire** est un **environnement de type côtier** à l'interface des domaines **continentaux** et **marins**. Ils sont caractéristiques **des zones tempérées** telles que par exemple, la Gironde et la Seine en France, St-Laurent au Canada et l'Amazone en Amérique du Sud.

Autrement dit, lorsque la mer tend à envahir le domaine fluvial, on parlera alors plutôt d'estuaire.

B. Sédimentation dans les estuaires et leurs caractéristiques :

1. composition d'un estuaire : au gré du balancement des marées se forme au milieu de l'estuaire un « *bouchon-vaseux* » : vase complexe fluviomarine. Leur sédimentation s'effectue sur les bancs et les berges (celle-ci retiennent au jaugeant les flocons à la manière d'une mousse de savon restée collée au verre) (Fig.136).

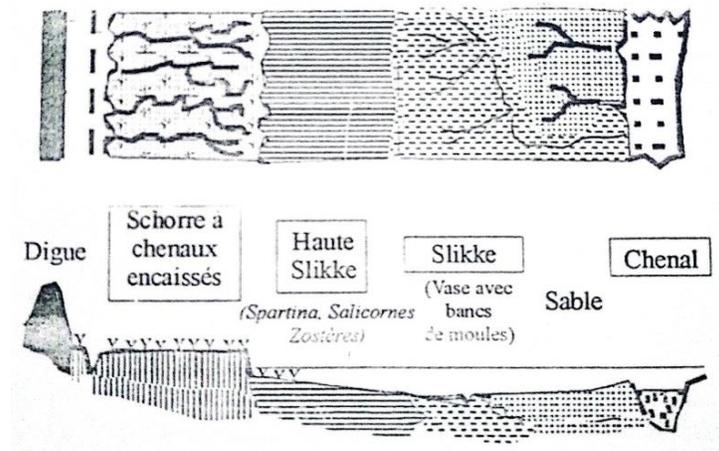


Fig.136. Plan et coupe schématisant les positions respectives de la « slikke » et du « schorre »

L'estuaire prend un profil convexe vers le ciel, à pente douce que l'on appelle la *slikke (tidal flats)*. Au centre de l'estuaire, se trouve un chenal plus ou moins large, sableux ou vaseux.

Les organismes fouisseurs sont nombreux (*annélides, bivalves*). Ce cycle produit ce que l'on appelle le « *tidal bedding* », à savoir la succession de :

- Une lamine sableuse pour le flot.
- Une lamine de boue pour l'étal de marée haute.
- Une lamine sableuse pour le jusant.
- À nouveau une lamine de boue pour l'étal de la marée basse.

Une autre caractéristique des *tidal flats* est le « *flaser bedding* » et le « *lenticular bedding* » : ces structures se forment par dépôt de boue dans les espaces entre les rides de courant.

- Si les courants de flux et de reflux ne sont pas parallèles, des rides d'interférence peuvent se former.
- Si les vitesses des deux courants sont différentes, deux systèmes de rides de longueur d'onde différentes se développent.

Sur les bords, s'étalent des étendues d'anciennes vases, consolidées et poreuses : le **schorre** (milieu **présalé**) ou **polders**, formant un tapis végétal assez abondant de **Salicornes** et de **Spartines**.

Le **schorre** (en Flamand, « **schor** ») terre que la mer ne couvre que lors des grandes marées) et il forme une grande prairie dite « **herbu** » (en Breton). Le lessivage des parties hautes, grâce aux pluies torrentielles diminuera la teneur en sel permettant l'installation d'une **végétation halophyte**, espacée d'abord puis continue (**Fig.137**).

Les grandes étendues de vases des estuaires (**vasière**) et les marais littoraux qui découvrent à marées basses sont très fréquentées par les hommes, de nombreux pêcheurs les parcourent à la recherche des Crustacées (crabes, crevettes et les mollusques) enfouies dans la vase ou le sable vaseux des bancs. Ces vastes étendues constituent de **vasières** de nos côtes.

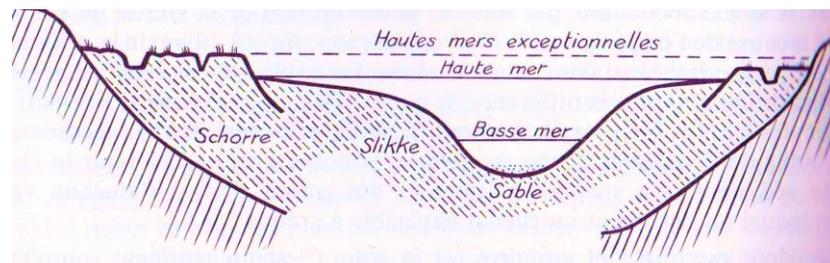


Fig.137. Sédimentation et dynamique des estuaires.

Les **flasers** ou « **flaser bedding** » peuvent être décrits comme des **stratifications en rides** dans lesquels les **drapages argileux** sont **préservés** dans les **creux** et en partie **sur les crêtes**. Le mécanisme de formations des flasers est le suivant : Pendant les **périodes de courants actifs**, le **sable se dépose** en construisant **des rides**, alors que pendant les **phases plus calmes**, les **argiles se déposent** par décantation. Au début du cycle suivant, seules les crêtes de rides sont érodées et la construction des nouvelles rides reprend (**Fig. 138, 139 et 141**).



Fig.138. Formation de flasers: les petites dépressions entre les rides sableuses (formées par des courants de marée) sont remplies par des argiles lors des phases de calme.

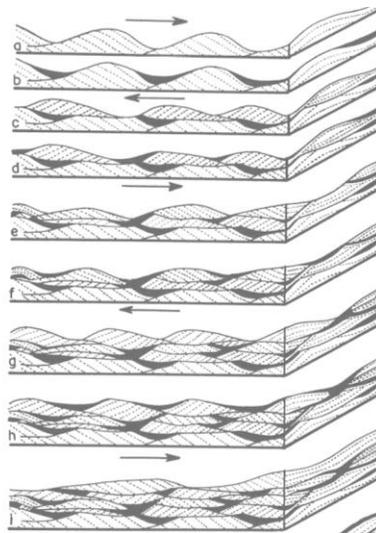


Fig.139. Diagramme montrant l'origine de la structure madrée à partir de trains successifs de ripple-marks.

Les flèches illustrent l'inversion du sens des courants de flot (a, e, i) et de jusant (c, g) séparés par les périodes d'étale (b, d, f, h).

En noir : dépôt pélitique.

En pointillé : les feuilletés élémentaires des rides.

Les stratifications lenticulaires ou « lenticular bedding » correspondent à des **dépôts argileux** dans lesquels **des lentilles de sables** sont **préservées**. Les **stratifications lenticulaires** forment

un **ensemble discontinu** à la fois selon une verticale et dans un plan horizontal. Ce type de dépôt se forme lorsque les conditions sont plus favorables au **dépôt des argiles** (ou boue) qu'à celui **des sables** (Fig.140 et 141).



Fig.140. Développement de lenticular bedding: de petites rides de sable coquillier reposent sur du sable plus fin. Plage de Grand Fort Philippe (France).

Les wavy bedding : les lits d'argiles et de sables alternent pour former des **niveaux continus**. Les lits argileux recouvrent alors les crêtes sableuses et les protègent (**Fig.142**).

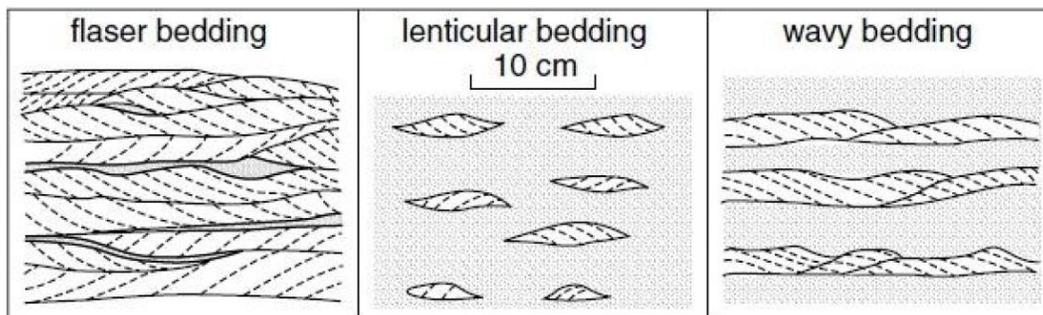


Fig.141. Flaser, lenticular (nodular) and wavy bedding

En fonction du pourcentage des sables et la boue

- **Flaser (Sable > argile)**. Caractérise les milieux à **énergie relativement élevée** (sand flats).
- **Wavy (Sable ≈ argile)**. Caractérise les milieux à **énergie forte à faible** (mixed flats).
- **Lenticular/nodular (Sable < argile)**. Caractérise les milieux à **faible énergie**.

Dans tous les cas, ces types de stratifications se forment dans des environnements où des conditions d'écoulement dynamique ou **l'action des vagues alternent** avec des **périodes de calme** comme c'est le cas des **milieux de balancement de marées ou milieux tidaux**.

2. Caractéristiques morphologiques des estuaires: L'estuaire est le siège de phénomènes alternants très particuliers de sédimentation et d'érosion. Les estuaires sont généralement des embouchures uniques et ils sont encombrés de bancs de sables, d'une barre, d'un mascaret, d'une flèche. Le dépôt essentiel des estuaires est **la vase**. La taille des grains de la vase peut être **inférieur à 0,001 mm**, c'est-à-dire être de l'ordre **colloïdal**.

3. Sédimentation : le dépôt essentiel des estuaires est la vase. C'est un sédiment complexe qui comprend :

3.1. une phase minérale inerte, constituée surtout par des poudres et du sable quartzeux ou calcaire, venus du fleuve et de la mer.

3.2. une phase active colloïdale, qui sert de liant à la précédente. Cette dernière phase est composée de 5 à 10 % de matières organiques venant du continent (pollen, humus) ou de la mer (plancton, diatomée, algon) et de fer 3 % (jusqu'à 6 % dans les régions tropicales riches en latérites) sous forme de pyrite, de sulfure ou d'hydroxyde.

4. Propriétés physiques et couleur : la vase sous forme naturelle se présente comme un ensemble visqueux (plastique) et homogène de couleur variée (noire, grise, bleue) à cause du fer et de la matière organique. Une de ces propriétés intéressante est la **thixotropie** (la possibilité de se liquifier brutalement sous l'effet d'une agitation mécanique) : la plupart des « **sables mouvants** » sont des vases thixotropiques d'où le danger d'enlèvement.

5. faunes et flores : la vase d'estuaire est habitée par des annélides et des lamellibranches (moules, huîtres, Cardium, Mys), des algues, des Naïdales (**Zostères, Spartina**) et lorsque le **climat (tropical)** le permet les **mangroves** et les palétuviers s'installent.

Il y a des êtres vivants particulièrement actifs : les bactéries. Au-dessous de leur surface y est anaérobie et à partir des sulfates alcalins. Certaines bactéries produisent de surface y est anaérobie et à partir des sulfates alcalins. Certaines bactéries produisent de l'hydrogène sulfure qui réagit sur l'hydroxyde de fer condensé par les ferro-bactéries pour donner des sulfures de fer. C'est à celui-ci que l'on doit la teinte (noire, bleue) des vases.

6. formation des vases : la formation des vases se déroule en deux temps ;

1^{er} temps : La sédimentation des flocons par suite de phénomènes électrostatiques. En présence d'un milieu hydrolysant (eau salée) provoque une coalescence des particules argileuses (en suspension) entre elles pour former des flocons : **floculation**.

2^{ème} temps : la sédimentation proprement dite de ces flocons : la salinité et la chaleur accélère le dépôt.

6.1. La tangué : est une **sorte de vase** complexe formée à l'abri dans les marais du **NE de la Bretagne**, en particulier au **Sud du Saint Michel**. Son dépôt est lié aux **transgressions marines** (mais le rôle de la mer semble secondaire dans son élaboration) C'est un **limon fin fluvio-lacustre, remanié**. Cette formation est rigide, mais fortement thixotropique (d'où le danger d'enlèvement) est caractérisée chimiquement par une proportion de **25-61 % de calcaire** qui ferait de la roche une véritable **marne (Fig.142)**.

La tangué est stratifiée, chaque lit correspond à l'apport d'une marée ou d'une série de marée de vive eau. Sa surface offre souvent des « **Ripple marks** » surtout quand elle renferme du sable et lorsqu'il y a un assèchement prolongé, on y observe des « **Mud cracks** ». La tangué se comporte comme un véritable calcaire on y observe de petits entonnoirs de dissolution qui accompagnent de **marigots (criches)** drainant **les schorres (Fig.142)**



Fig.142. Le schorre de Regnéville (Vue aérienne à marée basse (année 2015))

7. Séquence d'estuaire : cette **séquence est positive**. Elle est caractéristique des estuaires de fleuves dans lesquels les influences continentales (apports fluviaux contre-balançant celles de la mer ; c'est le cas des estuaires des grands fleuves français à « **bouchon-vaseux** » (Loire,

Gironde). C'est une séquence d'inondation et la mise en place des dépôts se fait par accrétion latérale de la séquence élémentaire du marais maritime (Fig.143).

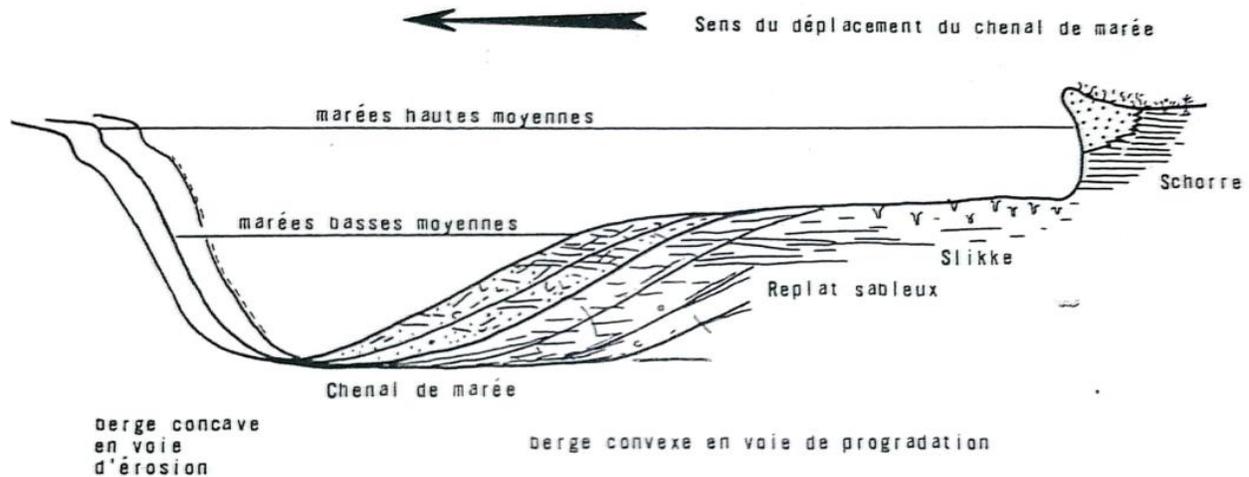


Fig.143. Mécanisme de mise en place des dépôts par accrétion latérale de la séquence élémentaire du marais maritime *séquence positive d'inondation*

Cette séquence serait donc intermédiaire entre la **séquence fluviatile** et celle de **marais maritime**. Sa puissance serait théoriquement **d'une quinzaine de mètres (15 m)**. Elle comporte de bas en haut (**Fig.144**) :

- Argiles et silt à laminae irrégulière, noduleuse du marais salé (ou schorre)
- Argiles et sables intensément bioturbés de la vasière (ou haute slikke)
- Sables laminés à bioturbation de la basse slikke
- Sables laminés du replat à arénicoles.
- Sables graveleux coquillers du chenal de marée à stratifications horizontales au sommet.

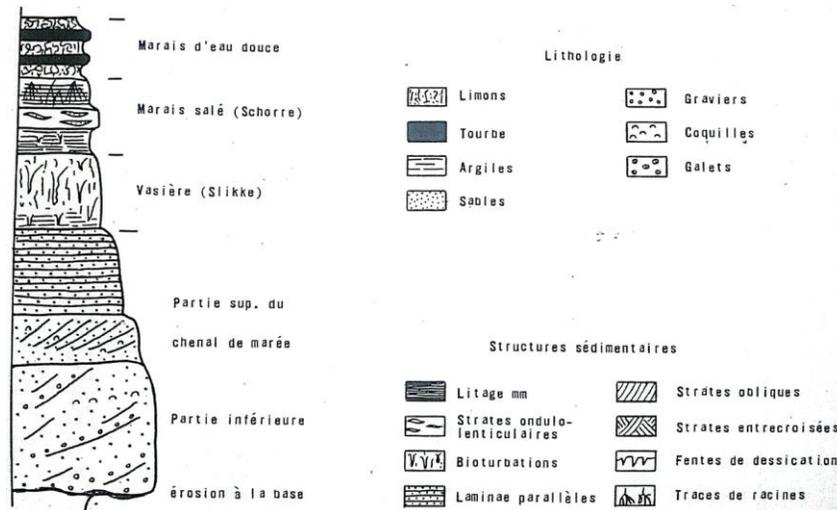


Fig.144. Caractéristiques lithologiques et structurales de la séquence élémentaire de marais maritime.

C. Conclusion sur les estuaires :

D'une manière générale l'étude des estuaires est très importante pour **l'étude des ports** et de **la pollution** étant donné que les accumulations sédimentaires et les matériaux pollués ont tendance à s'accumuler dans ces zones sensibles.

LES DELTAS

A. Généralités sur les deltas

Aujourd'hui un delta est généralement considéré comme une accumulation de sédiments se formant à **l'embouchure d'une rivière** à la transition avec un plan d'eau stationnaire (mer ou lac), la pente de la rivière n'étant alors plus suffisante pour assurer le transport des particules au-delà.

1. Définition : Un delta peut être défini comme une accumulation sédimentaire qui se forme lorsqu'un cours d'eau arrive dans un plan d'eau (océan, mer intérieure, lac, etc.). Cette accumulation est caractérisée par l'existence de corps sableux alternant avec des sédiments argileux. Le terme « **delta** » rappelle la **lettre grecque** qui figure cette morphologie.

2. Conditions favorables à la construction d'un delta : pour qu'un delta se développe : il faut que **l'apport sédimentaire** soit **plus rapide** que les **mécanismes de dispersion des sédiments** qui agissent **dans le bassin récepteur**.

Si la forme idéale est supposée ressembler à un éventail, elle est rarement atteinte car le développement du delta est influencé par :

- Un **bassin versant** qui **fournit les sédiments à partir du continent.**
- Un **cours d'eau** qui **les transporte.**
- Un **bassin récepteur** qui **les stocke.**

Par ailleurs, d'autres facteurs interviennent dans le bassin récepteur, parmi lesquels :

- Les vagues et les marées
- Les courants océaniques
- La configuration du plateau continentale, du talus et du bassin
- Le taux de subsidence, etc.

On doit aussi citer le contexte **tectonique et climatique**, dont on comprendra aisément l'importance.

3. Caractères de la sédimentation deltaïque :

L'entité géologique d'un appareil deltaïque peut se préciser selon les différents aspects retenus pour en faire l'étude. Le plus riche est celui des environnements, c'est-à-dire des aires géographiquement distinctes et possédant une unité hydrodynamique, écologique et sédimentaire. Selon cette notion, un delta se compose de :

- Un appareil collecteur composé du bassin versant et de son réseau hydrographique aboutissant au distributeur principal (cet ensemble est situé « en amont » du delta, mais la transition entre cet environnement à caractère fluvial et le delta est souvent graduelle) ;

Le delta est composé de **trois appareils (Fig.144 et 145 et 146) :**

- **La plaine deltaïque**
- **Le front du delta**

➤ Le prodelta.

a. La plaine deltaïque : les sédiments sont des faciès de plaine alluviale affectés par l'influence des marées. Des **barres sableuses** et des **galets** se déposent dans les **chenaux**. Les zones **inter-distributaires** sont constituées de **limons et argiles, riches en matière organique sous climat humide, en évaporites sous climat sec**. En **climat semi-aride** se développent des **encroûtements calcaires**, en **climat aride** peuvent se former des **dunes éoliennes** à partir des sables fluviatiles. Des dépôts sableux de rupture de levée accidentent la sédimentation fine dans les plaines de deltas à dominance fluviatile.

b. Le front deltaïque : C'est le lieu de **rencontre des eaux douces chargées de sédiments** et des **eaux salées**. La **sédimentation** diffère selon la **densité de l'eau du fleuve**, en fonction de la **charge et la taille des particules transportées**.

b.1. Si la densité de l'eau douce est voisine de celle de la mer, la charge se dépose rapidement en une barre de front de delta.

b.2. Si la densité d'eau douce est plus grande, la charge forme un courant de densité qui suit le fond et gagne le large.

b.3. Si la densité est plus faible, les **particules en suspension** forment un **nuage qui se disperse à la surface de l'eau de mer**.

Dans les **deltas à dominance de vagues**, les **sables sont remobilisés** par la mer et étalés en **barres parallèles** à la côte constituant une plage ou un **cordons isolant une lagune**. Dans les **deltas à dominance de marées**, les **barres sableuses** forment des **îles allongées** séparant les **chenaux tidaux**.

c. Le prodelta (talus deltaïque) : une zone pentée (**01-10°**) faisant la liaison avec le fond de la mer régional. Le prodelta est la partie **la plus externe** et la **plus profonde du delta**; il repose sur les **sédiments marins de la plate-forme littorale**. Il s'y dépose des **sédiments fins généralement bioturbés, très riches en matière organique d'origine continentale**.

L'**accumulation deltaïque** progresse sur la **plate-forme** et présente une **forte épaisseur** si la **marge est subsidente** ou lorsque la **progradation atteint la bordure de la plate-forme** et se poursuit sur le talus. Le **fluage des argiles prodeltaïques** écrasées par les **sables sus-jacents** et la pente entraînent la **formation de diapirs, de slumps et de failles normales listriques**, dispositif **structural favorable au piégeage des hydrocarbures**.

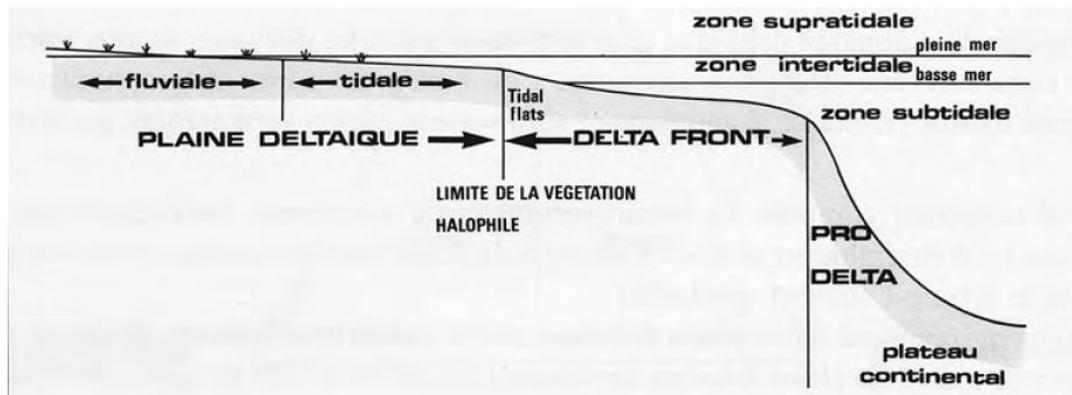
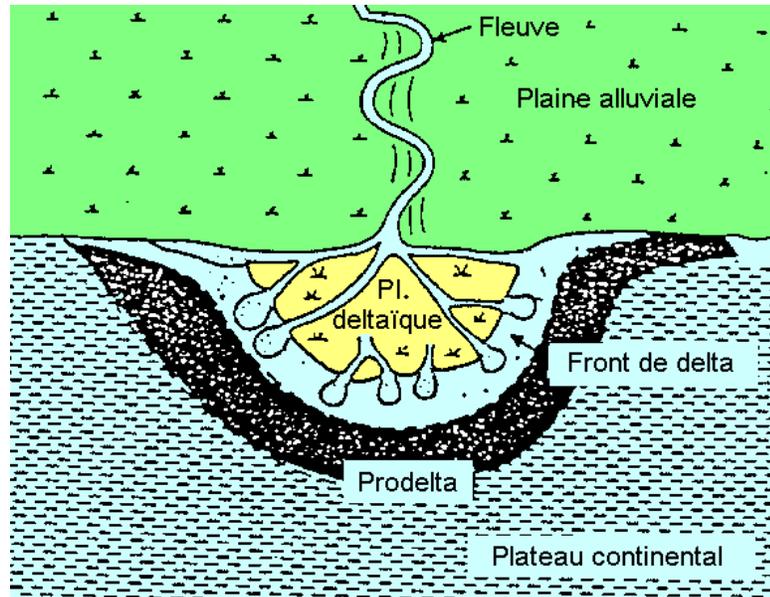


Fig.145. Schéma morphologique général d'un Delta

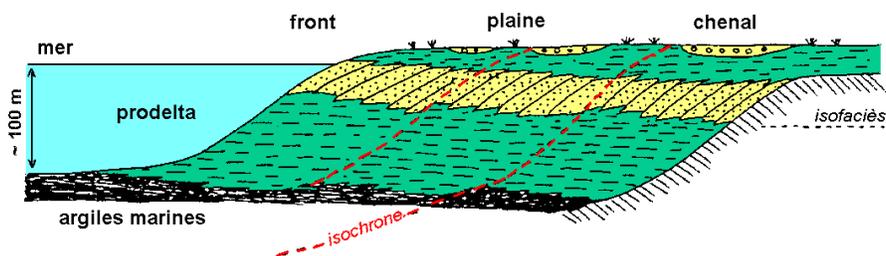


Fig.146. Profil longitudinal d'un delta, noter qu'un delta unitaire est toujours progadant et tend à combler tout l'espace disponible entre le fond du bassin et le niveau de la mer.

B. La classification des deltas :

1. Classification morphologique : Dans un premier temps, les deltas n'avaient été caractérisés que par des comparaisons morphologiques de leurs lignes côtières en relation avec les conditions physiques du bassin récepteur (classification de Bernard (1965), ou de Volker (1966)) (Fig.147).

On reconnaissait alors :

a. Les deltas de type allongé, en forme de **patte d’oiseau “bird foot”** encore nommé : **elongate** : (ex : Mississippi)

b. Les deltas de type lobé (lobate) : (ex : Nil)

c. Les deltas de type arqué (cusped) : (ex : Pô)

2. **Classification triangulaire** : Cette classification est liée à la progradation des appareils. On peut distinguer :

a. Les deltas **fortement constructifs** : actions fluviales prédominantes. Ils sont subdivisés en :

- *Type lobé (ex : Mississipi, lobe de la fourche)*
- *Type allongé (ex : Mississipi, lobe moderne)*

b. Les deltas **fortement destructifs** : actions marines prédominantes. Ils sont subdivisés en :

- *Type dominé par les vagues (ex : Rhône)*
- *Type dominé par les marées (ex : Golfe de Papua)*

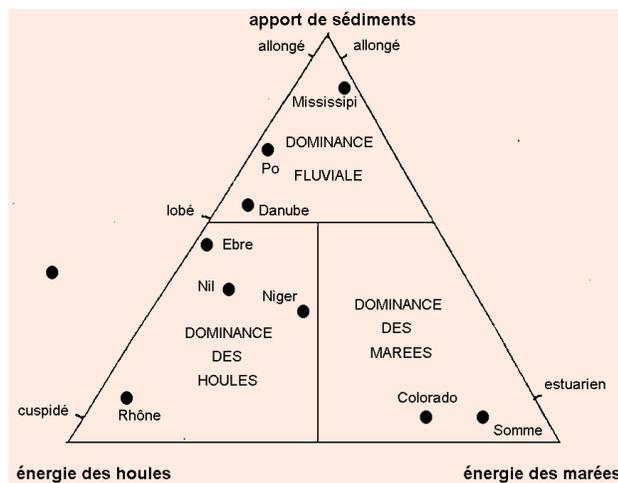


Fig.147. Différents types de delta

3. **Classification génétique de Galloway (1975)** : Galloway utilisant un **diagramme ternaire** basé sur le **régime hydrodynamique dominant** opérant sur le front du delta (**apports fluviaux,**

la houle ou les marées), qui joue un rôle déterminant sur leur morphologie, reflétait mieux la diversité, des systèmes actuels et des systèmes anciens. Cette classification permet surtout de traiter les systèmes à **influences mixtes, soit bi-composantes (fluvio-tidal, tidal-houle et houle-fluvial)**, placés **sur les côtés du triangle**, soit à **influences multiples** et situés dans **les polygones** subdivisant le triangle (**Fig.147**).

Chacun de ces processus crée des phénomènes sédimentaires caractéristiques qui engendrent une morphologie typique, selon la prédominance de l'un d'entre eux :

a. La prédominance de la marée (dominantes tidales) :

- Distributaires méandriiformes et embouchure évasées, bordés de replats de marrées avec barres tidales.
- Pas de levées ou de crevasses splays.

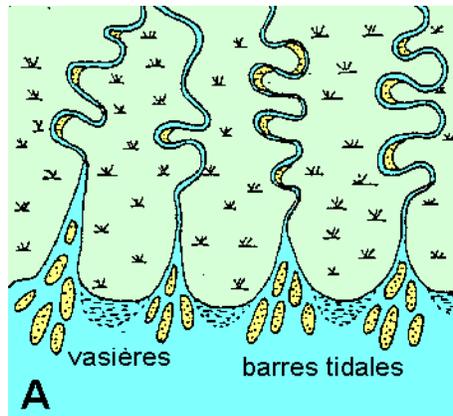


Fig.148. Delta à prédominance de la marée

b. La prédominance de la dynamique fluviale ou delta en patte d'oiseau :

- Morphologie lobée ou allongée
- Distributaires rectilignes bordés de levées et crevasses splays
- Barres d'embouchures lobées

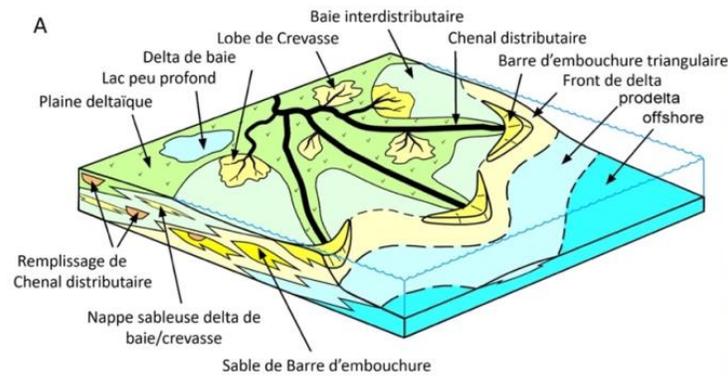


Fig.149. Delta à prédominance fluviale

c. La prédominance des effets de houle :

- Distributaires peu nombreux.
- Nombreux cordons de plage bordés de dépôts de shoreface.

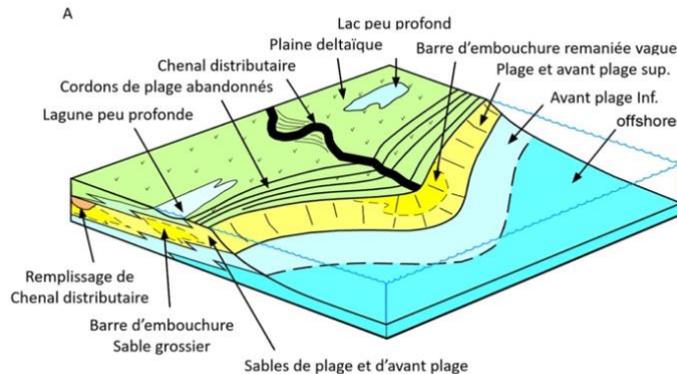
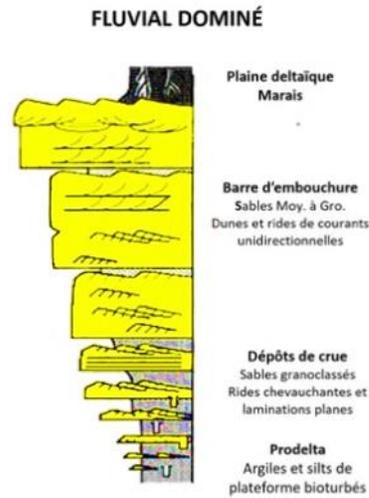


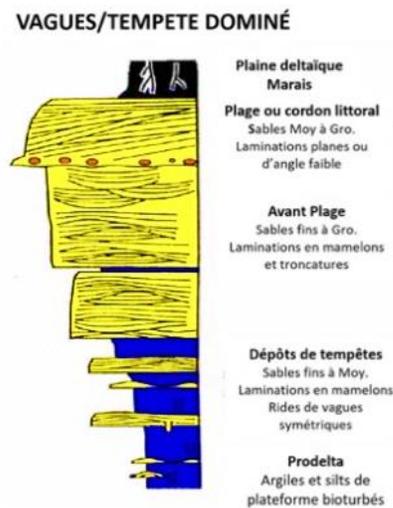
Fig.150. Prédominance des effets de houle

C. Dynamique, faciès et géométrie :

- **La prédominance de la dynamique fluviale** engendre un delta avec un chenal distributaire bordé de levées, avec accumulation importantes de sables à l'embouchure "*tributary mouth bars*".



- La prédominance des effets de la houle conduit à la création de cordons littoraux parallèles à la côte "*beach accretion ridges*".



- La prédominance des marées induit des embouchures évasées de type estuarien avec d'importants replats de marée "*tidal flats*" et des barres sableuses rectilignes dans l'embouchure "*tidal bars*".

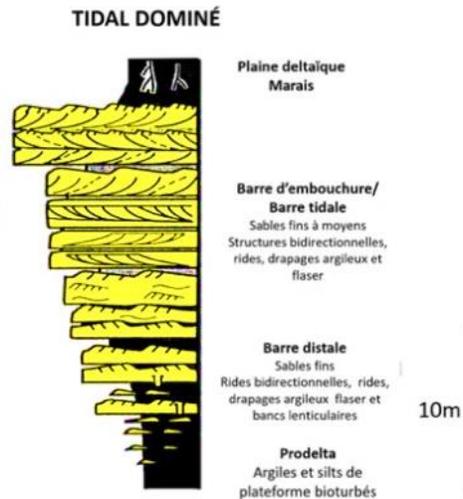


Fig. 151. Modèle de séquence de faciès des barres d'embouchures selon le processus dominant, noter qu'elles sont toutes granocroissantes et stratocroissantes (modifié d'après G.P. Allen)

D. Aspect stratigraphique : séquence :

L'environnement deltaïque est le **siège d'un taux de sédimentation particulièrement élevé** : **plusieurs dizaines de centimètres** de sédiments peuvent se déposer en l'espace d'une année. Aussi les deltas s'installent-ils dans des **zones de forte subsidence**.

Au cours de la **progression du delta**, les dépôts de ces **trois environnements se superposent verticalement** en formant une **séquence régressive granocroissante**. Les **sédiments fins de prodelta** sont surmontés par les **argiles sableuses et sables du front de delta**. Ceux-ci sont ensuite recouverts par les **sédiments de la plaine deltaïque** avec ses **chenaux sableux**, ses **argiles organiques** et **charbons des zones interchenaux**. Le sommet de la séquence est souvent marqué par **des charbons relativement épais et étendus (Fig.152)**.

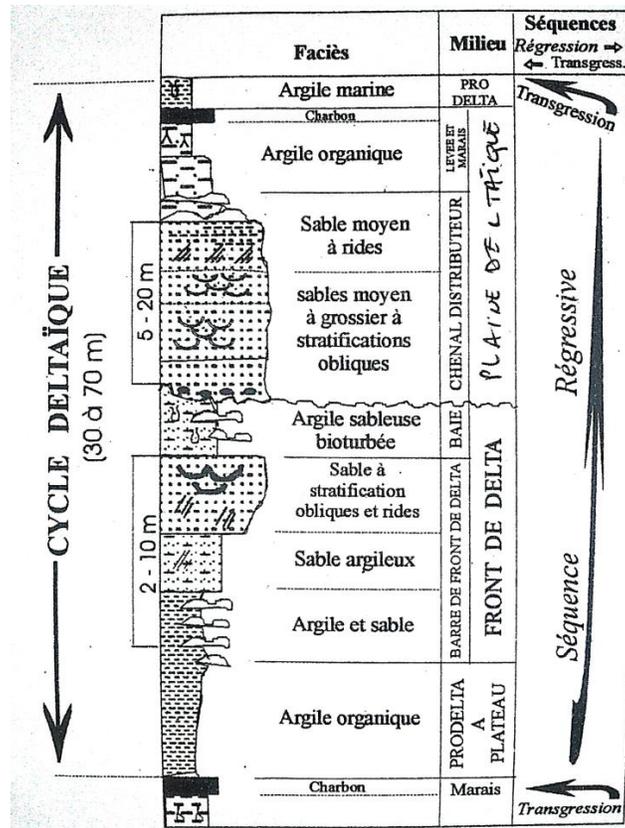


Fig. 152. Coupe sédimentologique théorique dans une séquence deltaïque

On peut ainsi avoir une succession de cycles deltaïques, chaque cycle successif correspond, sur une verticale (un forage par exemple), à une **séquence négative "coarsening-up"** (Fig.153).

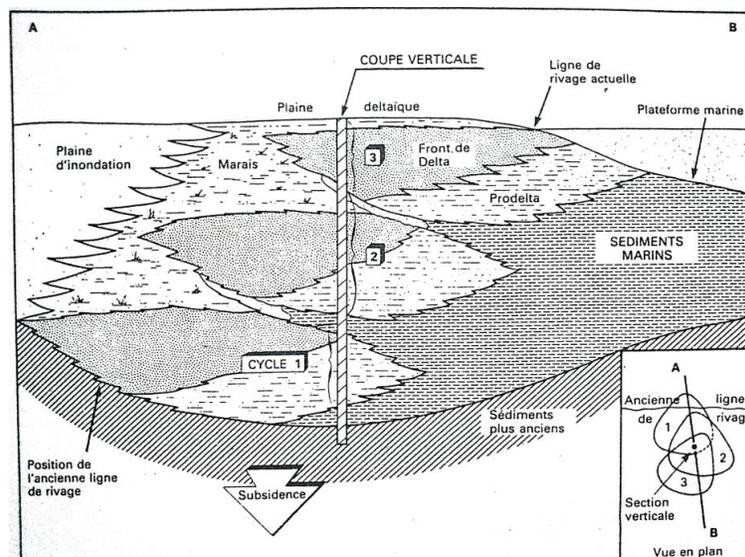


Fig.153. Cycles deltaïques successifs résultant d'une progradation

Les organismes :

Dans la partie subaérienne du delta, prolifèrent les **organismes dulcicoles** (Qui vit exclusivement **dans les eaux douces**) et les **organismes terrestres**. L'existence de nombreuses, étendues d'eau douce favorise **une abondante végétation** dont les systèmes racinaires peuvent se fossiliser *in situ*. Elle peut donner naissance à **des charbons ou à des lignites**.

Dans la **partie immergée du delta** s'opère un **mélange entre les eaux douces et les eaux marines**. La faune sera caractéristique **des milieux saumâtres**. Lorsque le **sédiment est fin**, s'installent des **organismes fouisseurs** responsables d'une intense **bioturbation des dépôts**. Au contraire, **le taux de sédimentation élevé** qui règne dans la zone **du front deltaïque**, ne permet guère l'établissement de peuplements durables.

Plus au large, **les vases du prodelta** sont favorables au développement d'une **faune benthique marine (ou lacustre) où dominent les formes fouisseuses**. Elles recueilleront également les restes **d'organismes pélagiques**.

7. Caractères sédimentologiques des zones deltaïques :

7.1. Zone de la plaine deltaïque :

- **Aire de sédimentation** : zone continentale fluviales et plaine tidale à salinité en générale faible parfois forte dans les lagunes supratidales.
- **Lithofaciès** : argiles rouges, argiles noires ligniteuses (marais) et grès grossiers à chenaux et dragées.
- **Stratofaciès** : assises massives de grès, lenticulaires (chenaux) et grandes combes argileuses.
- **Granulométrie** : grès à matrice argileuse, classement médiocre et tri unimodal.
- **Figures sédimentaires** : stratification en auges, stratifications obliques flexueuses, stratifications contournées, dragées de quartz, traces de racines et tigillites (Skolithos ou terriers).
- **Granoclassement** : positif avec de bas en haut : dragées, grès, silt.
- **Séquence type** : de bas en haut : grès massif à dragées, grès a stratifications en auges et feuillets silteux.
- **Biofaciès** : débris de végétaux, traces de racines, bois silicifiés, faunes terrestres.
- **Conditions redox** : très oxydantes ou très réductrices.

7.2. Zone du front deltaïque :

- **Aire de sédimentation** : zones tidales et infratidales *pro parte*.
- **Lithofaciès** : grès blancs, propres, massifs alternants avec des marnes rouges.
- **Stratofaciès** : bancs massifs et épais.
- **Granulométrie** : bon classement, tri unimodal.
- **Figures sédimentaires** : feuilletés, stratifications obliques et entrecroisées, slumping.
- **Granoclassement** : sans granoclassement.
- **Séquence type** : de bas en haut : grès à stratifications obliques, grès à stratifications entrecroisées, grès feuilletés.
- **Biofaciès** : débris végétaux silicifiés.
- **Conditions redox** : conditions oxydantes.

7.3. Zone prodeltaïque :

- **Aire de sédimentation** : zones tidales à infratidales *pro parte*. salinité normale à basse suivant le degré de confinement.
- **Lithofaciès** : alternance de marnes silteuses, de lumachelles ou de calcaires bioclastiques et de grès.
- **Stratofaciès** : petits bancs en général décimétriques.
- **Granulométrie** : bon classement, tri unimodal et ciment carbonaté dans les grès.
- **Figures sédimentaires** : figures de base de bancs, laminites, ripples.
- **Séquence type** : de bas en haut : carbonates, marnes silteuses, silt argileux à laminites, grès à ripples.
- **Biofaciès** : lamellibranches, brachiopods, lignite.
- **Conditions redox** : conditions réductrices modérées.

	plaine deltaïque	front deltaïque	Zone prodeltaïque
Aire de sédimentation	- Zone continentale fluviale et plaine tidale - Salinité faible à forte dans les lagunes supratidales	- zone tidale et infratidale <i>pro parte</i> - salinité basse à normale	- intertidal à infratidale <i>pro parte</i> - salinité normale à basse selon le degré de confinement
Lithofaciès	- argiles rouges, argiles noires ligniteuses (marais) et grès grossiers à chenaux et dragée	- grès blancs, propres. massifs alternants avec des marnes rouges	- alternance de marnes siliceuses, de lumachelles ou de calcaires bioclastiques et de grès
Stratofaciès	- assises massives de grès, lenticulaires (chenaux) et combes argileuses	- bancs massifs et épais	- petits bancs en général décimétriques
Granulométrie	- grès à matrice argileuse. - classement médiocre et tri unimodal	- bon classement - tri unimodal	- bon classement, - tri unimodal et ciment carbonaté dans les grès

Figures sédimentaires	- stratifications en auge - stratifications obliques flexueuses, stratifications contournées, - dragées de quartz, traces de racines et tigillites	- feuillets, stratifications obliques et entrecroisées. - slumping	- figures de base de bancs - laminites, - ripples
Granoclassement	- positif avec de bas en haut : dragées, grès, silt	- sans granoclassement	- de bas en haut: carbonates, marnes silteuses, silt argileux, silt à laminites, grès à ripple
Séquence type	- de bas en haut : grès massifs à dragées, grès à stratifications en auge, et feuillets silteux	- de bas en haut : grès à stratifications entrecroisées. grès feuilletés	de bas en haut : carbonates. marnes silteuses, silt are à laminites, grès à ripples
Biofaciès	- débris de végétaux, traces de racines, bois silicifiés, faunes Terrestres	- débris de végétaux silicifiés	- lamellibranches, - brachiopodes etc., - lignites
Conditions redox	- très oxydantes ou très réductrices	- conditions oxydantes	- conditions réductrices modérées

8. Exemple : Delta de Mahakam

8.1. Géométrie, de réservoirs et exploration des bassins deltaïques anciens : les séries Miocènes de la Mahakam :

Les bassins deltaïques se forment dans les zones où les systèmes fluviaux apportent des volumes importants de sédiments à un rivage (marin, lacustre).

a. Sur les marges continentales passives : ils sont localisés au débouché des principaux fleuves qui drainent des grandes zones continentales (**ex. Mississippi, Mahakam, Mékong, Niger, Amazone, etc...**). Les apports progradants créent une **subsidence isostasique** de la marge qui aboutit à des dépôts centres très épais.

La configuration est liée à l'interaction des phénomènes de :

- 1) *progradation (Fig.154 A),*
- 2) *Subsidence (Fig.154 B),*
- 3) *gravité (Fig.154 C et 155).*

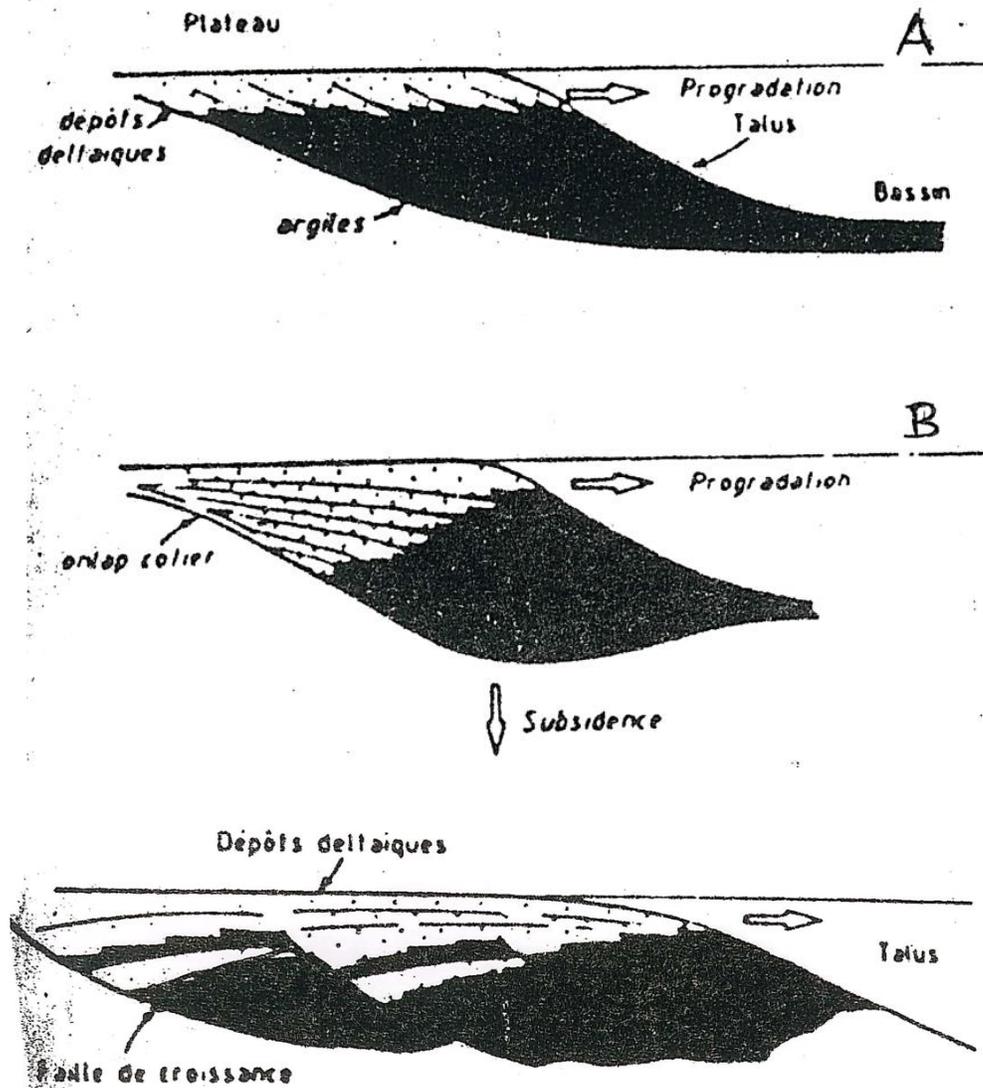


Fig. 154. Différents types de schémas stratigraphiques des bassins deltaïques sur marges passives, illustrant le rôle de la subsidence

1. Progradation (séquence régressive) : Elles débutent par des argiles brunes marines du prodelta. Elles se continuent par des grès fins à moyens, bioturbés qui correspondent aux barres du front de delta progradant sur les argiles marines. Elles peuvent être coiffées par de minces couches de charbon ou d'argiles riches en matière organique, résultat de l'installation de marais sur les dépôts du front de delta. Ceux-ci sont recouverts et entaillés par des grès moyens à grossiers, à stratifications obliques, remplissages des chenaux de la plaine deltaïque.

Les dépôts de chenaux sont bordés par les argiles à matière organique et par des lentilles sableuses fines d'éventails de crevasses. Ils marquent la partie proximale, régressive de la

séquence. La **couche de charbon** qui les recouvre **témoigne de l'abandon de la plaine deltaïque** par les apports fluviaux.

2. Subsidence : Si la subsidence continue et que la zone reste abandonnée, les charbons peuvent être recouverts, "**transgressés**", par des argiles marines, signes de l'approfondissement et de l'augmentation de la tranche d'eau (quelques dizaines de mètres). Un nouvel épisode régressif deltaïque régressif peut alors superposer à ces argiles de prodelta, base d'une nouvelle séquence. Par commodité, les cycles deltaïques sont généralement découpés en utilisant les niveaux de charbon.

b. Sur les zones actives : dans les zones tectoniquement actives, la configuration des bassins est très compliquée, reflétant le réseau des failles qui contrôlent la subsidence. Souvent, de tels bassins sont de petite taille, mais très nombreux, puisque la complexité tectonique engendre plusieurs zones subsidentes et plusieurs sources d'apports fluviaux. Ce type de bassin deltaïque est fréquent dans les zones de grabens et dans les zones de failles en décrochement.

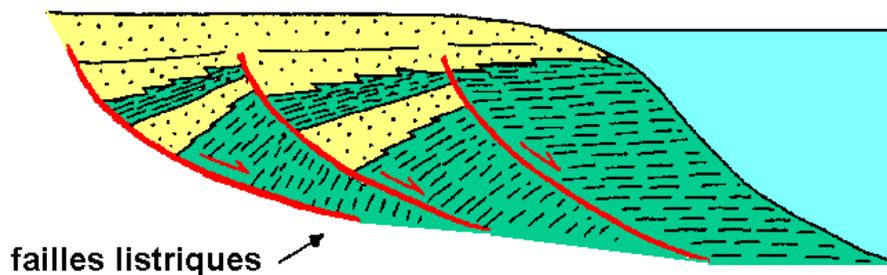


Fig.155. Effet des failles listriques sur la disposition des faciès deltaïques

8.2. Méthode d'étude de réservoir deltaïque

a. La sismique réflexion :

L'outil le plus efficace pour l'**exploration des bassins deltaïques** reste la **sismique réflexion**.

Cependant, l'emploi de cette méthode doit tenir compte des connaissances sédimentologiques, car la définition des zones à **potentiel sableux (donc la présence de réservoirs)** dépend de la bonne interprétation sédimentologique des coupes sismiques.

Une **séquence deltaïque** forme une **séquence relativement mince (30 à 70 m maximum)**. La plupart des cas, il n'est pas possible de la visualiser à l'échelle des coupes sismiques, car seuls des « événements » géologiques d'une certaine épaisseur (**< 50-100 m**) y sont décelables.

Ainsi, lorsque l'on observe des séquences progradantes en coupe sismique, celles-ci représentent la progradation du talus continental et non une séquence deltaïque. Ces dernières seront localisées dans les zones de réflexion parallèles surmontant les réflexions obliques du talus.

b. Dynamique du bassin : Selon les différents contextes géologiques et sédimentologiques, liés au rapport progradation/subsidence et à d'éventuels effets à l'argilocinèse ou aux failles synsédimentaires, les zones à fort potentiel en sable peuvent être définies.

c. Stratigraphie sismique : A partir des concepts de la stratigraphie sismique (Vail et al., 1977), il est possible, avec les coupes sismiques, de définir la géométrie du bassin avec ses grandes lignes stratigraphiques et ses évolutions paléogéographiques

d. Cartes paléogéographiques : L'établissement de cartes paléogéographiques pour différents niveaux stratigraphiques est très important, car elles permettent de mieux cerner les zones susceptibles de contenir des dépôts sableux.

e. Cartographie : La définition, puis la cartographie des grandes coupures et discordances stratigraphiques visibles en sismique seront aussi d'une importance capitale, car celles-ci permettront d'effectuer des corrélations entre puits éloignés, et de reconstituer l'évolution sédimentologique du bassin.

f. Corrélations : La superposition de nombreuses séquences deltaïques dans un bassin se traduit par la présence de nombreux dépôts gréseux qui forment autant de réservoirs potentiels traversés par un seul forage. Malheureusement, la plupart de ces unités gréseuses, dépôts de barres ou de chenaux, sont d'extension limitée, ce qui rend très difficile la corrélation ou le suivi d'un réservoir (ou système de réservoirs) entre deux puits voisins de quelques kilomètres.

Or il est très important d'établir des corrélations détaillées entre les forages, afin d'évaluer la volume des réserves, et de déterminer la meilleure implantation des puits producteurs.*

Lorsque les séries sont découpées en cycles deltaïques élémentaires, il est alors possible d'effectuer des corrélations entre puits rapprochés. Ces corrélations sont basées sur la définition, puis le suivi d'abord, des marqueurs principaux, puis des caractéristiques des cycles. Ainsi il est possible de déterminer la continuité ou la discontinuité des réservoirs entre deux forages.

g. Etablissement d'un modèle sédimentologique : Il est nécessaire d'établir un modèle sédimentologique des dépôts deltaïques, avec détermination de « marqueurs » formés par des dépôts continus à l'échelle du champ. Les meilleurs marqueurs sont les sédiments accumulés par des phénomènes géologiques affectant l'ensemble du champ pendant une même période, généralement les dépôts liés aux phases d'abandon et de transgression. Etant donné qu'un lobe deltaïque est habituellement du même ordre de grandeur qu'un champ (5-20 km), les niveaux ainsi formés sont considérés isochrones et continus sur l'ensemble du champ.

h. Méthode de la diagraphie : En fonction du climat, de la nature des apports et de la position dans le système deltaïque, ces niveaux d'abandon sont marqués par différents types de dépôts : charbon, carbonates, évaporites, argiles marines, etc... Il s'agit donc de les identifier sur les diagraphies puis de grouper les dépôts en cycles, reflétant des séquences deltaïques régressives encadrées par les dépôts de transgression et d'abandon.

Généralement, les séquences régressives sont relativement épaisses (quelques dizaines de mètres) ; par contre, les dépôts de la phase d'abandon (ex. Charbon) sont beaucoup plus minces- par manque d'apports- mais représentant un laps de temps beaucoup plus long (10 000 à plus de 50 000 ans).

L'analyse sédimentologique et la micropaléontologie peut fournir des indications précieuses, en localisant les niveaux transgressifs, bien que la durée d'un cycle deltaïque soit bien inférieure à toute résolution biostratigraphique.

i. Méthode des électrofaciès : Les analyses sédimentologiques des séries, deltaïques en subsurface sont basées surtout sur les méthodes des électrofaciès. Donc, on peut interpréter les diagraphies électriques en termes de faciès et séquences sédimentaires. Ce type d'analyse est basé sur :

1. la forme des courbes diagraphiques, qui permet de distinguer les chenaux des barres.
2. les variations des courbes, qui permettent de définir des cycles de faciès.

j. Méthodes directes : Toutes les méthodes de mesures géologiques indirectes doivent être étayé et calibré par l'observation directe des sédiments : carottes ou déblais de forages qui sont indispensable dans l'étude des séries sédimentaires en subsurface.

CONCLUSION SUR LES DELTAS

De point de vue agricole ou commerce

Les deltas ont joué, pendant tous les temps, un rôle important dans l'histoire humaine. L'existence conjointe de **terres alluviales fertiles** et des débouchés de rivières ont fourni l'assise à deux activités humaines importantes: **l'agriculture et le commerce**.

L'importance des deltas dans l'exploration pétrolière

Les deltas qui se sont avérés extrêmement **riches en hydrocarbures** sont devenus des sources importantes d'énergie et assurent un rôle économique très important dans la civilisation actuelle.

Parmi les réservoirs pétroliers d'origine détritique clastique, les accumulations sédimentaires liées aux embouchures des fleuves jouent un rôle primordial. C'est en particulier le cas des deltas qui constituent les réservoirs de très importants gisements d'hydrocarbures. Il suffit de citer les gisements **Miocènes et créacés de la Gulf Coast et le Tertiaire du delta du Niger** qui contient les **champs pétroliers du Sud du Nigéria**, pour se rendre compte de l'importance des séries deltaïques dans l'exploration des hydrocarbures.

Le fort potentiel en hydrocarbures de ces dépôts a pour origine **trois types de conditions** favorables présentes simultanément :

1. Les accumulations sédimentaires qui s'effectuent dans les zones d'embouchures fluviales et sont caractérisées par l'existence **de corps sableux alternant avec des sédiments argileux** ; ceci donne lieu à la **formation de réservoirs** bien développés et isolés dans les séries sédimentaires. Les dépôts **argileux riches en matière organique** peuvent jouer le rôle de **roche-mère** si la **maturation de la matière organique est convenable**.

2. Les apports importants de sels nutritifs par les fleuves qui engendrent dans les zones marines avoisinantes une très forte productivité biologique.

3. La sédimentation rapide caractéristique de ces zones qui permet **un piégeage** et une **préservation de cette matière organique** dans les sédiments.

Les deltas sont également associés aux **accumulations de matière végétale** donnant **la tourbe, le lignite ou la houille** selon le **type de végétation et le degré de transformation**. Les gisements

de charbon de l'Angleterre sont intercalés dans des formations de plaine deltaïque d'âge Carbonifère.

Environnements	Séquence lithologique simplifiée	Intérêt pétrolier	Séquences sédimentaires
Plaine deltaïque	Argile de marais supratidal	- Bonne roche mère - Bonne couverture	Séquences " <i>fining-up</i> " de corps sableux épais chenalisants se superposant ou se recoupant
	Barre d'accrétion latérale	- Excellent réservoir	
	Argile de marais intertidal	- Bonne roche mère - Bonne couverture	- Séquences composites " <i>fining-up</i> " surmontant d'autres séquences " <i>coarsening up</i> " d'épaisseur moyenne à faible
	Barre de chenal	- Réservoir médiocre à moyen	
Frontdelta	Argile de tidal flat	- Bonne roche mère - Bonne couverture	- Séquences " <i>coarsening-up</i> " parfois recoupées par des sables chenalisants peu épais. Empilement d'argiles et de sables.
	Barre sableuses	- Réservoir moyen à bon	
	Argiles sableuses	- Bonne roche mère - Couverture moyenne à médiocre	
Prodelta	Argile massive	- Roche mère moyenne - Excellente couverture	- Séquence argileuse monotone