

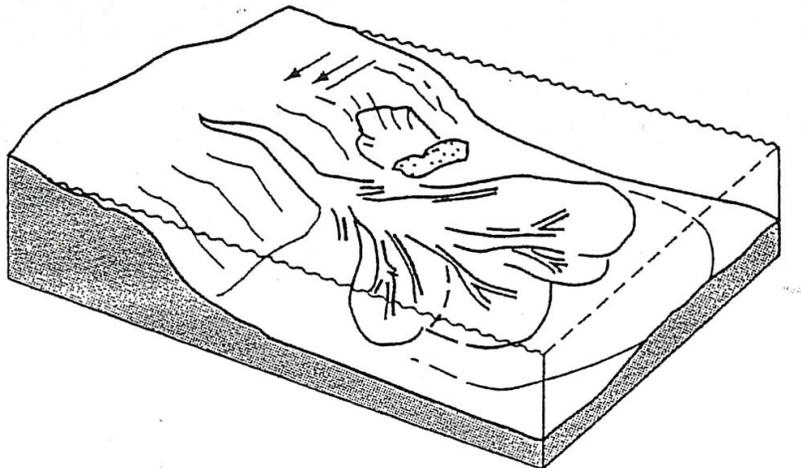
## LES ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

### VII. LES EVENTAILS SEDIMENTAIRES SOUS-MARINS (DEEP SEA FAN)

#### I. INTRODUCTION ET POSITION DES EVENTAILS DETRITIQUES :

Les canyons sous-marins jouent un rôle privilégié dans le transport de sédiments depuis les marges continentales vers le bassin où se construisent de larges complexes de sédimentation : *les éventails sous-marins*.

Les canyons sous-marins s'étendent depuis le **talus continental** jusqu'à la **plaine abyssale** (Fig.156). Ils offrent certaines analogies avec les **éventails alluviaux émergés**. La dispersion des sédiments est régie par un système comparable de chenaux divagants bordés de levées et séparés par des interchenaux. Ils constituent des appareils complexes, généralement ordonnés **d'amont en aval en mégaséquences sédimentaires**. Elles permettent l'identification d'unités proximales et distales.



*Fig.156. Vue 3D et position des canyons sous-marins depuis le talus continental jusqu'à la plaine abyssale*

#### II. FACTEURS DYNAMIQUES ET ORIGINE DES APPORTS SEDIMENTAIRES

Les éventails profonds, dans lesquels **prédominent les courants de turbidité**, se développent à partir d'une source sédimentaire localisée ers **le sommet de la marge**. Cette source est le plus souvent constituée ;

- Soit, par un **système fluviatile débouchant sur un système de canyons** (ex. éventails du Gange, du Niger, du Mississipi, du Rhône...) :
- Soit, par un **alluvionnement littoral et côtier** sans fleuve individualisé (ex. côte est des USA, côte de Californie, éventail Cap-Ferret dans le golfe de Gascogne) ;
- Soit, par **des produits de fonte glaciaire** (cône pléistocène du Saint Laurent, Canada).

### III. COMPOSITION DE L'APPAREIL DU CONE DETRITIQUE (Fig. 157) :

L'éventail détritique proprement dit se développe au large du talus en trois unités successives :

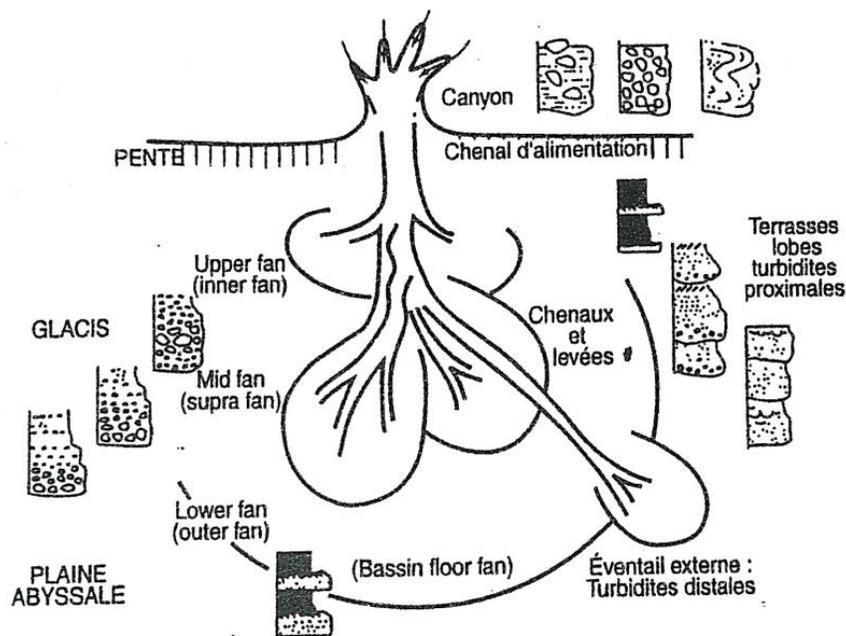


Fig. 157. Schéma 2D des éléments constitutifs d'un éventail sous-marin et les faciès associés

#### 1. L'éventail supérieur (*upper fan*) :

**a. Position :** Il se trouve à la suite du **chenal d'alimentation**.

**b. Composition :** généralement, il est formé par un **canyon à fortes pentes longitudinale et latérales**. L'éventail supérieur comprend principalement un chenal plus ou moins sinueux, fortement encaissé par rapport à ses berges, ou levées, qui peuvent le dominer d'une centaine de mètres et davantage (75 m dans le cas du Rhône).

**c. Dimensions :** la longueur du chenal peut varier entre quelques kilomètres et plusieurs centaines de km. Sa largeur de quelques centaines de mètres à plus de 25 km ;

**d. Dépôts :** les dépôts du chenal sont particulièrement diversifiés dans les éventails développés en bordure des chaînes de montagnes en voie de surrection, comme les piémonts alpins et pyrénéens au cours du Tertiaire. Ils comprennent alors :

- Vers l'amont des successions désordonnées de flots de débris et de graviers et cailloux, soumis le plus souvent à des reprises par érosion et se résolvant latéralement en slumps (Fig.156)
- Vers l'aval apparaît un début d'organisation, croissant vers la zone distale : sables et graviers à granoclassement inverse puis normal, par suite des actions de freinage contre le fond puis de la croissance du courant porteur ; dépôt à granoclassement normal lorsque la profondeur s'accroît et que l'énergie du flot de particules diminue ; enfin apparition d'une stratification.

**e. Intervalles :** Cette évolution des dépôts de chenal constitue un bon critère de polarité longitudinale. Les berges montrent une sédimentation plus homogène de turbidites fines (divisions (d) et (e) de Bouma), temporairement interrompues par des faciès plus grossiers de débordement ou de divagation.

**f. Les séquences :** les séquences successivement déposées dans l'éventail supérieur, dont l'épaisseur varie entre 10 et plus de 90 m, présentent une diminution générale des grains vers le haut (fining-up, fig.), lorsque la progradation sédimentaire conduit au comblement du chenal principal par des dépôts de plate-forme externe.

## 2. L'éventail moyen (mid fan) :

**a. Position et composition :** Il est caractérisé par le développement de plusieurs lobes sédimentaires progressant vers l'aval, nourris par les apports du chenal principal qui se résoud en un réseau de chenaux ramifiés, sinueux, parfois anastomosés, parfois déviés par la force de Coriolis. La pente moyenne diminue fortement dans ce domaine d'accumulation sédimentaire intense, dont la surface est souvent nettement convexe (ex. Cônes de l'Amazone, de l'Indus, du Rhône).

**b. Dépôts et divisions :** Le fond des chenaux est occupé, dans les appareils situés à l'aval des zones tectonisées, par des séquences de graviers et sables ou sables grossiers, avec des figures

**d'affouillement** et des **litages lenticulaires**. Les bordures des chenaux, ainsi que leurs berges peu saillantes, comprennent des **sables granoclassés et surmontés de silts argileux (divisions (a) et (e) de Bouma, turbidites proximales)**.

**c. Séquences et épaisseurs** : Ce dispositif évolue en **permanence par remplissage, abandon et migration latérale de chenaux (séquence de type fining-up ; Fig.158)**, par **incision des zones d'accumulation interchenaux grâce à de nouveaux chenaux divagants (séquences de type coarsening-up, Fig.158)**, par recouvrement et développement de nouveaux lobes au cours de la progradation, ou encore par dissection de lobes anciens à la faveur d'un régime transgressif.

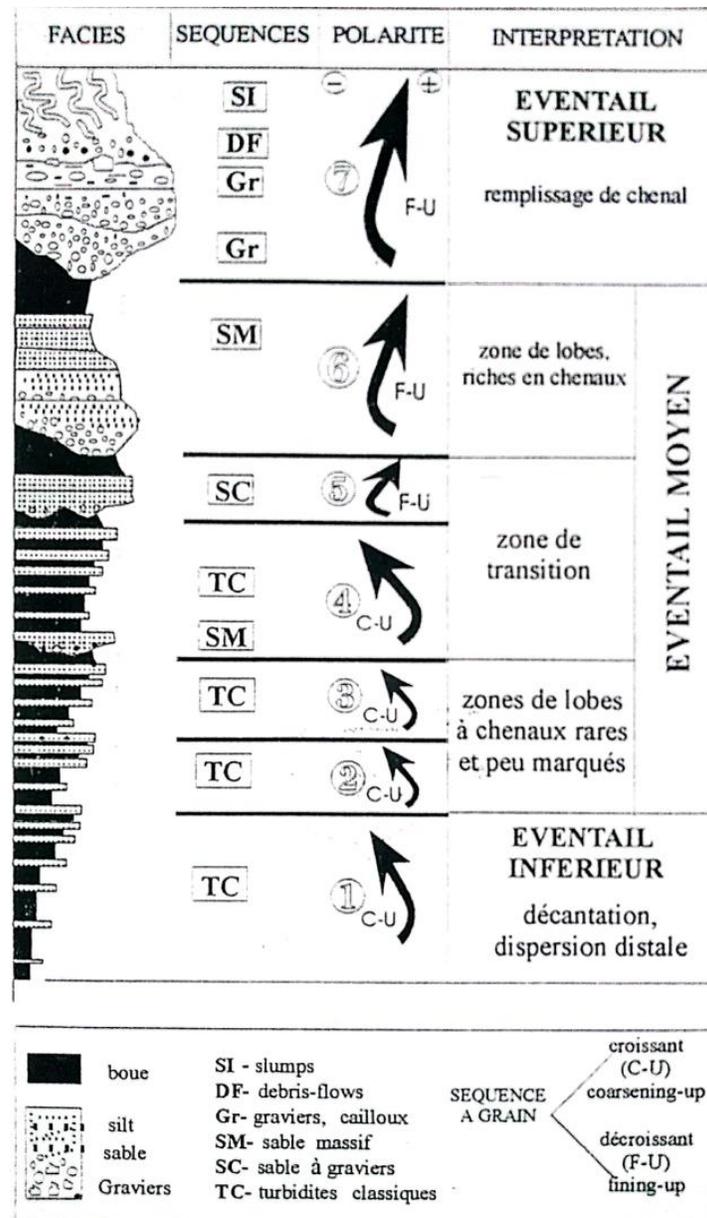
Les **séquences sableuses des lobes** constituent couramment des **ensembles de 10 à 50 m d'épaisseur**. Dans les éventails détritiques modernes riches en apports silto-argileux, comme au large du Mississippi ou du Rhône, le réseau de dispersion en chenaux est relativement peu développé ; les flots de débris riches en matrice fine et les slumps sont fréquents, au contraire du colmatage sableux.

### 3. L'éventail inférieur (*lower fan*) :

**a. Position** : A la partie aval du cône déritique, s'étend largement au pied du talus continental, en progressant au-dessus de la plaine abyssale adjacente (ex. des cônes du Gange et de l'Indus).

**b. Composition** : Sa pente est faible, sa surface légèrement concave peut être parcourue de rares chenaux mal individualisés.

**c. Dépôts, séquences et divisions** : Les **apports gravitaires** se limitent à **des turbidites distales (divisions c, e et parfois b de Bouma)**, alternant avec des **hémipélagites** qui tendent à croître en épaisseur et en fréquence vers l'aval. La **progradation** conduit au **recouvrement des dépôts plus ou moins rythmiques de l'éventail inférieur par les sédiments plus riches en sable de l'éventail moyen (tendance à la chenalisation et aux séquences granocroissantes)**.



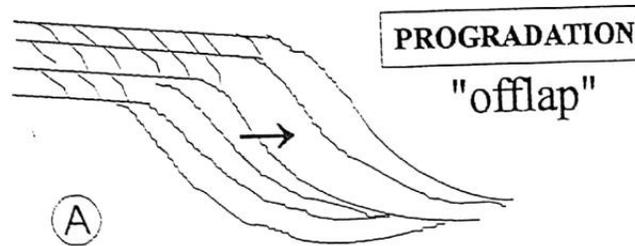
**Fig.158. Séquences sédimentaires schématisées dans un éventail détritique profond riche en apports sableux et soumis à une progradation active**

#### IV. EVOLUTION ET GEOMETRIE DES EVENTAILS DETRITIQUES : ROLE DE L'EUSTATISME

##### A. Dépôts en offlap ou progradation (Fig.159 A) :

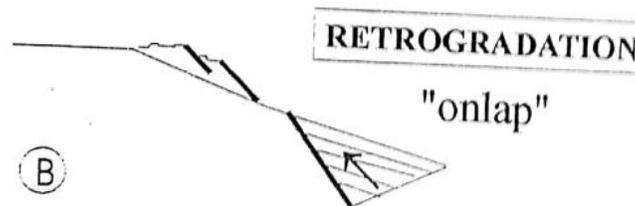
De nombreux éventails détritiques modernes présentent un régime de progradation (*dépôts en offlap, à biseaux descendant*). Ils sont particulièrement actifs en bordure des continents stables, dans les zones d'apports fluviaux importants et durant les périodes de bas niveau

marin (régression) du Quaternaire ; p. ex. les éventails du Rhône, du Nil, du Gange, du Niger et du Mississipi. **Les grands éventails progradants** sont extrêmement développés **en superficie et en épaisseur**.



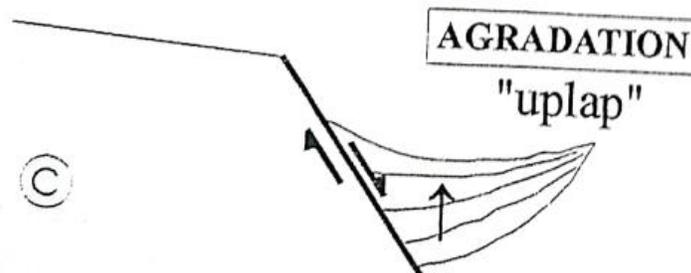
**B. Dépôts en onlap ou rétrogradation (Fig.159 B) :**

Les éventails soumis à des destructions dominantes, avec *des canyons vers l'amont et dépôts en biseaux ascendants (onlap)*, correspondent à des régimes de transgression, au cours desquels les sédiments du talus supérieur et de la plate-forme externe sont redistribués et participent à une progression sédimentaire en direction de la côte : p. ex. le tertiaire du golfe du Mexique.



**C. Dépôts en uplap ou aggradation (Fig.159 C) :**

Les éventails de colmatage (aggradation sédimentaire, dépôts en uplap), ils se développent surtout en épaisseur, sur les marges fortement failleés et subsidentes, et leur extension vers le large est modérée : ex : les marges californiennes ou de certains fossés anciens à remplissage de flyschs.

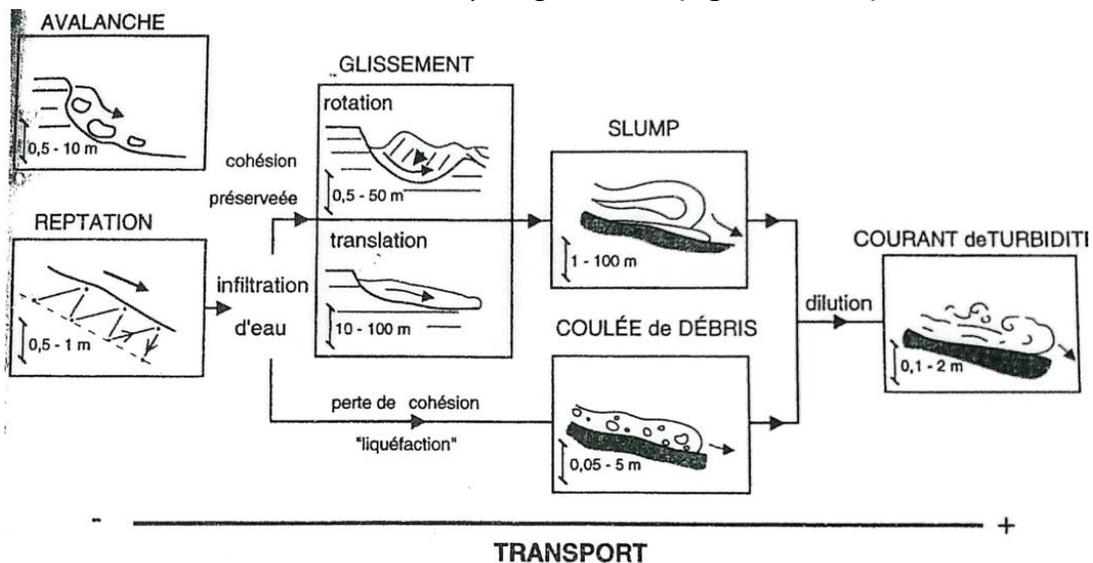


**V. LES GRANDS TYPES DE DEPOTS GRAVITAIRES ET MECANISMES**

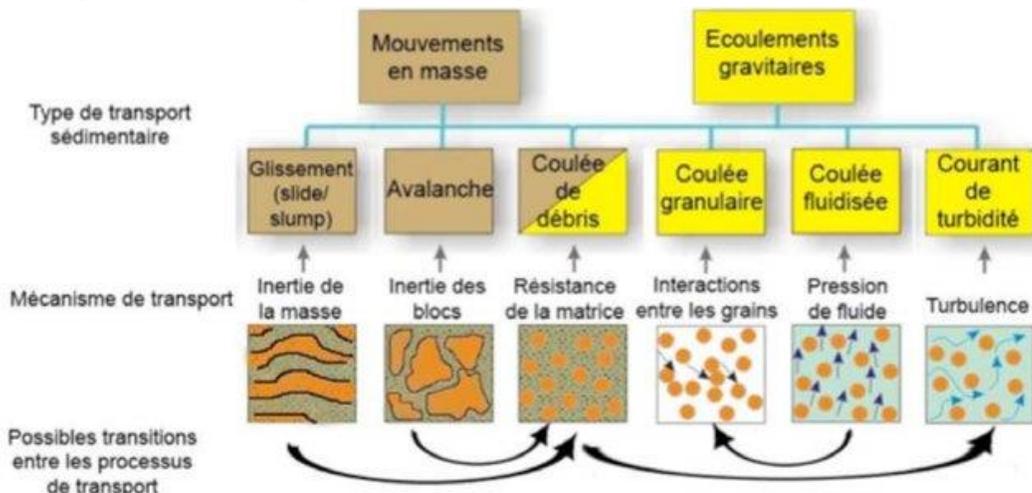
**A. Le déplacement en masse :**

Ce mode de déplacement est caractérisé par **de fortes concentrations en particules solides**, un **mouvement des solides en masse** et un **écoulement approximativement laminaire**. Il s'observe aussi bien **dans l'air que dans les masses d'eau** dans une grande variété de processus (Fig.160).

Les différents mécanismes mis en jeu lors du déplacement en masse laissent leur signature dans la structure interne des différents dépôts gravitaires (Fig.160 et 161):



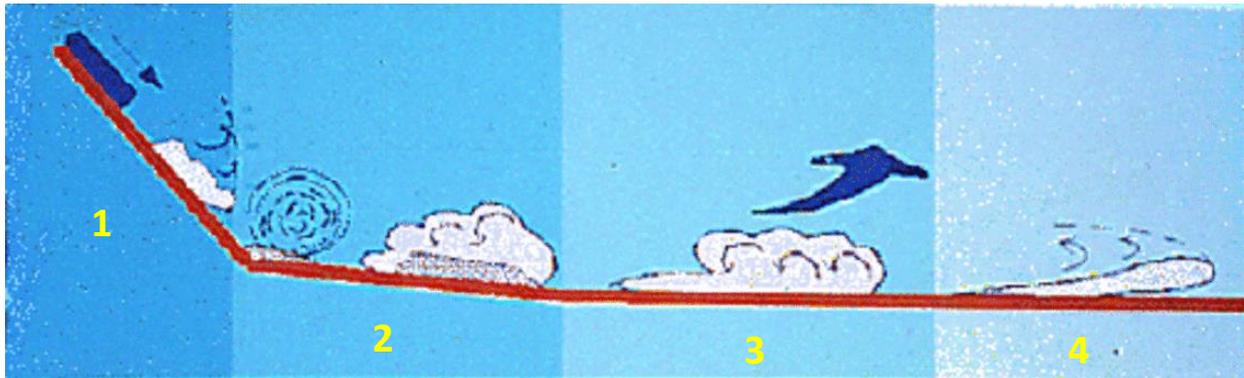
**Fig.160. Grandes lignes d'une classification des mouvements gravitaires**



**Fig.161. Classification des écoulements gravitaires sous-marins de Middleton et Hampton (1973) modifiée par Joanne (2008).**

**1. La reptation des sols (*soil creeping*) :** Les sols se déplacent suivant la pente sur les particules qui les composent sont soumises à des forces dont la résultante n'est pas selon une verticale. Ces forces comprennent le poids (force verticale) et une force perpendiculaire à la surface du sol qui enregistre les effets de contraction et d'expansion du sol. Il en résulte un déplacement en zigzag des particules.

**2. L'avalanche :** Elle implique des matériaux granulaires sans cohésion et se déclenche fréquemment lors de l'érosion des falaises, de l'effondrement d'une dune ou de la chute de séracs. Les dépôts résultants ont la forme de lobes allongés (**Fig.162**).



**Fig. 162. Evolution schématique d'une avalanche sous-marine**

**1 :** le glissement devient progressivement une coulée boueuse qui cannibalise les sédiments meubles rencontrés ; **2 :** écoulement confiné dans le chenal, dépôt des matériaux les plus grossiers, début de la turbulence et de la vraie phase « avalanche » et augmentation de l'épaisseur du courant ; **3 :** début des débordements, construction de levées de part et d'autre du chenal ; **4 :** l'érosion est faible, mort progressive de l'avalanche et dépôt d'une turbidite.

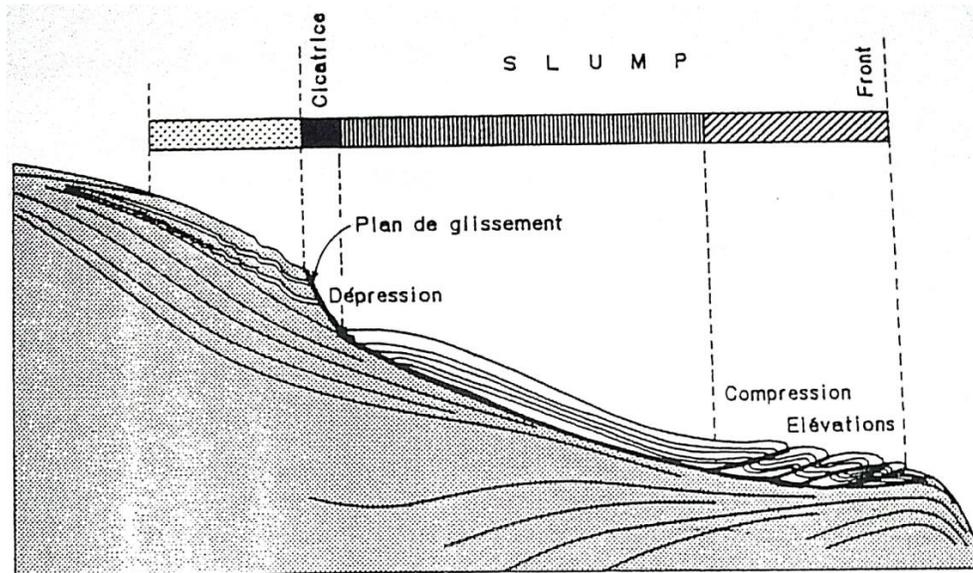
### 3. Les glissements et structures slumps :

**a. Définition :** les slumps et les glissements correspondent à des masses de sédiment qui ont glissé suivant des plans de cisaillement externes.

**b. Mécanisme :** le mécanisme de transport correspond à une préservation de la structure de la masse du sédiment avec une rupture suivant ces plans de cisaillement.

La masse du sédiment peut avoir gardé sa stratification originelle et montrer des traces de déformation exprimées par des replis et fractures internes. Le dépôt de sédiment se fait en masse, suite à une diminution de l'angle de la pente, de la pression des fluides interstitiels ou à un accroissement du frottement le long des plans de rupture.

**c. Structures et instabilités :** ces structures sont souvent associées à des milieux de sédimentation rapide ou à des zones favorisant les instabilités : (1) pentes ; (2) déformations ; (3) activité sismique.



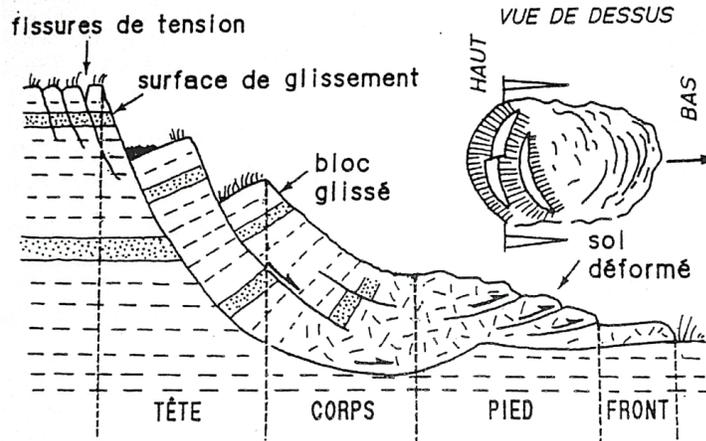
**Fig.163. Schéma illustrant la structure d'une masse mise en place par glissement**

**NB :** actuellement, on suspecte un mécanisme supplémentaire : la remontée de gaz hydratés activée par la chute de pression hydrostatique associée aux chutes du niveau marin. Ceci expliquerait la fréquence des coulées gravitaires dans les cortèges de bas niveau.

**d. Les structures de la masse glissée :** les structures observées lors du glissement d'une masse de sédiment dépendront largement de la cohésion de l'ensemble :

1) Un matériel avec une forte cohésion sera fragmenté et le transport donnera des structures chaotiques ;

2) Un matériel plus plastique sera déformé par des plis et de replis d'entraînement et évoluera vers des bancs contournés avec figures d'étirement et de compression (Fig.163 et 164).

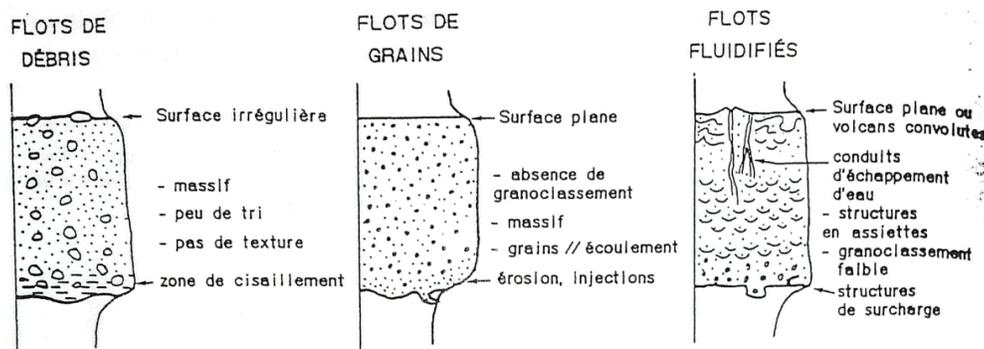


**Fig.164. Représentation schématique d'une coupe verticale et d'une vue en plan d'un glissement rotationnel**

## B. Les coulées :

Celles-ci correspondent au déplacement en masse d'un matériel dont la cohésion est faible. Les dépôts associés ne présentent pas de structures internes bien définies. Elles sont de **trois types différents** :

**1. Les coulées de débris « débris flow » :** Elles correspondent à **des mélanges de sédiment et d'eau** qui se **déplacent suivant des plans de cisaillement internes** à la coulée qui **délimitent des masses relativement rigides**. La **déformation** du matériel se fait **par perte de cohésion et remobilisation du sédiment à l'intérieur de la zone de cisaillement**. Les éléments (sable et gravier) sont transportés et soutenus par une matrice constituée d'argile et d'eau qui possède une force de cohésion limitée et une densité supérieure à celle de l'eau (**Fig.165**). Plus la coulée devient fluide et moins elle est capable de transporter des éléments de grande taille. Le dépôt, qui se fait en masse, est caractérisé par l'absence de texture.



**Fig.165. Principales caractéristiques des coulées : la cohésion joue un grand rôle dans l'organisation interne des dépôts.**

**2. Les coulées de grains « grain flow » :** Elles caractérisent un transport du sédiment dans lequel **les grains sont soumis à des forces de pression dispersives (Fig.165)**. De telles coulées ont une force suffisante pour **éroder leur substratum et se déposent en masse**. Elles sont caractérisées par **des grains épars qui flottent** dans une **matrice sableuse**. **Les figures de base de bancs** sont assez fréquentes ainsi que **des figures de charge et des structures internes de forme de disques**.

On observe ce type de coulées sur **les faces sous le vent des dunes éoliennes** ou **en milieu sous-marin dans la partie supérieure des vallées sous-marines**.

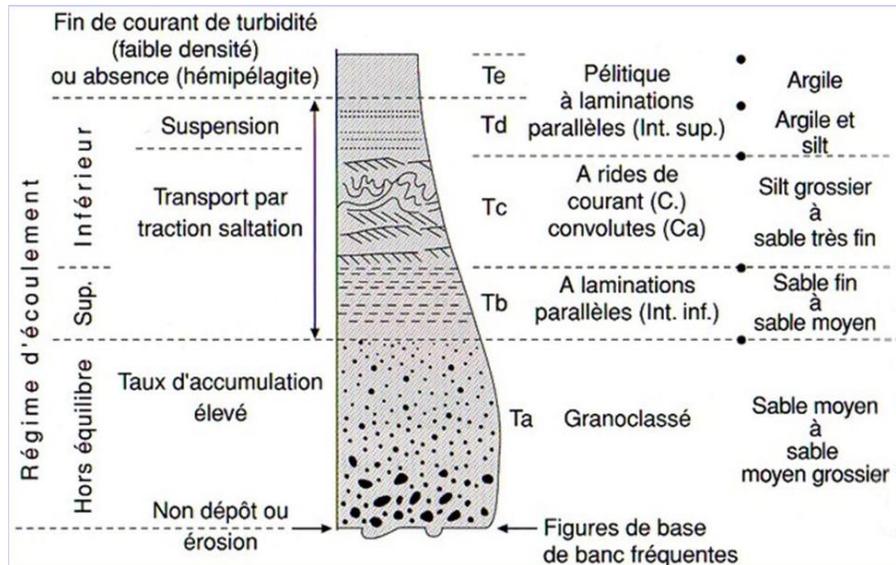
**3. Les coulées fluidifiées « fluidized flow » :** Elles représentent un sédiment dans lequel la **masse est liquifiée** par **l'injection d'un fluide (Fig.165)**. Dans ce cas, c'est l'excès de pression intergranulaire qui maintient les particules en suspension. Le transport se produit si la pression des fluides interstitiels est plus forte que la pression hydrostatique. Comme cette différence diminue avec le transport, le produit se produit rapidement par un gel de l'ensemble depuis la base vers le sommet. Le type de particules transportées correspond à du sable et des argiles. La concentration en sédiment est forte et le tri est faible.

**NB :** *Les trois différents types présentés ci-dessus appartiennent à un continuum et ces coulées constituent les précurseurs logiques des courants de turbidité.*

### **C. Les coulées turbiditiques (Fig.166) :**

Parmi les **courants gravitaires**, la connaissance des comportements physiques de l'écoulement est certainement la plus complète dans le cas **de courants de turbidité**.

**1. La séquence de Bouma (1962) (Fig.166) :** Cette séquence a constitué le premier modèle de faciès à **l'échelle de la couche**. Cette séquence remplit bien le rôle de norme, de guide et de prédiction lorsqu'elle est confrontée à l'observation de turbidites. Cependant, les dépôts gravitaires comprennent d'autres faciès qui contribuent également à la géométrie des éventails sous-marins.



**Fig.166. La séquence de Bouma, structures sédimentaires, régimes d'écoulements et granulométries associés**

A partir d'analyses de terrain qui confirmaient les données expérimentales que **Bouma** proposa une succession caractéristique de ces dépôts. Il différencia ainsi, au sein d'une turbidité élémentaire complète, **cinq intervalles définis** chacun par la **prédominance d'une structure élémentaire**. On s'intéresse beaucoup **aux figures de base de banc, indices des modes d'écoulement**.

**a. Limites et structures :** Toute turbidité est d'abord caractérisée par une **base nette** et une **limite supérieure très graduelle**. Sa base porte le plus souvent **des figures d'érosion de type flûte marks** ou **des traces d'objets**. Parfois, elle préserve **en moulage l'empreinte des traces organiques** qui existaient à la surface du substratum ou à l'intérieur des boues avant l'arrivée du courant de turbidité. Cette préservation témoigne alors d'une vitesse d'écoulement faible.

**b. Epaisseur de la séquence de turbidité :** L'épaisseur atteint au **maximum quelques décimètres**.

**c. Les intervalles :** Le corps de la turbidité est divisé de la **base vers le sommet** en **cinq intervalles** (Fig.166) :

- **L'intervalle "a" (Ta) :** correspond à un ensemble **dépourvu de structures internes**, en général **granoclassé** ou de **structure uniforme**. Il comprend des **sables de taille moyenne** de type **arénite**, assez souvent accompagnés de débris plus grossiers : **galets, graviers**.

- L'intervalle "b" (Tb) : est caractérisé par des **laminations parallèles** : **alternance de niveaux arénitiques de granulométrie plus ou moins fine**. Il est constitué de **sables de taille moyenne**, évoluant verticalement vers des **sables fins**. Le passage de l'intervalle "a" à l'intervalle "b" est souvent graduel.

- L'intervalle "c" (Tc) : se distingue par la **présence des rides de courant** dont la longueur varie entre 5 à 20 cm. Celles-ci peuvent être plus ou moins affectées par des **déformations plastiques (convolutes)**. Ce niveau comporte des **silts** et **des argiles**. Son contact avec l'intervalle "b" est souvent net.

- L'intervalle "d" (Td) : qui s'exprime par des **laminations planes et parallèles**, est constitué par des **pélites**. Sa base est souvent **nette**.

L'intervalle "e" (Te) : est constitué de **pélites sans structures sédimentaires discernables**. La transition avec l'intervalle précédent est **graduelle**. On considère généralement qu'une partie seulement de **ces pélites** est apportée par le **courant de turbidité**, l'autre correspond aux **apports par décantation** (reprise de la sédimentation pélagique).

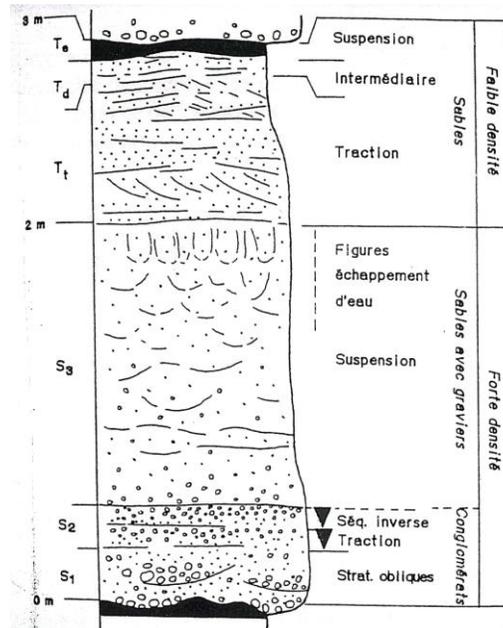
**d. L'approche dynamique** : chaque turbidité élémentaire est **granoclassée**, depuis les **faciès grossiers** jusqu'aux **faciès fins** et l'idée de granoclassement ne pas être réduite à l'intervalle "a". La séquence complète "Ta-e" n'est toutefois que rarement observée sur les affleurements :

L'approche dynamique de cette séquence reste **encore partielle** :

- Sa base érosive ou nette est en général interprétée comme la trace du passage de la tête du courant ;
- **L'intervalle "a"**, reste toutefois difficile à interpréter par l'absence de structures internes. Il faut **(1)** soit supposer que lors du dépôt, le tri lié aux turbulences était supprimé par une forte concentration de grains ; **(2)** ou que l'accumulation était tel que le réentraînement des grains et le tri résultant était négligeable ;
- **Les intervalles "b, c, et d"** correspondent aux structures construites par des **écoulements unidirectionnelles de puissances décroissantes**.
- **L'intervalle "e"** répond au processus **tantôt hémipélagique, tantôt turbiditique**.

## 2. La séquence de Lowe (1982) :

**a. Définition :** A côté des turbidites classiques (**séquence de Bouma**), cette séquence représente d'une part **des turbidites fines** et d'autre part **des turbidites épaisses**, voire des **sables massifs** (Lowe, 1982) (**Fig.167**).



**Fig.167. La séquence de Lowe, caractéristiques des turbidites massives (d'après Lowe, 1982)**

**b. Limites et structures :** la base de cette séquence est souvent marquée par de **profondes figures d'érosion, chenalantes de plusieurs mètres**. En général, seul l'**intervalle "Ta"** de la **séquence de Bouma** se distingue dans la masse du corps sédimentaire. Le **granoclassement** est peu marqué, si ce n'est absent, et les seules structures observables correspondent à des **figures d'échappement de fluides**.

**c. Dynamique et intervalles :** l'existence de ces séquences particulières a conduit à distinguer :

- **Les écoulements turbiditiques de faible densité :** comportent surtout de **particules argileuses** et **des grains de la granulométrie des sables** et donnent des **faciès "Tb-Te"**.
- **Les écoulements turbiditiques de forte densité :** comprennent en **plus des éléments de granulométrie fine, des sables grossiers et des cailloux ou blocs**.

Ces types de **courants de turbidité** constituent un mode de transport efficace des sédiments vers **les milieux profonds**, toutefois leurs mécanismes ne sont pas encore parfaitement compris.

## VI. SEDIMENTATION PROFONDE ET FACIES ASSOCIES ET LEURS MECANISMES

- A. Dépôts de courants de forte densité et vitesse
- B. Dépôts de courants de faible densité et vitesse : la sédimentation par décantation.
- C. Dépôts de courants contre le fond : dépôts de contourites.
- D. Dépôts de courants violents ou exceptionnels : dépôts d'inondites et de tempestites.

### A. Dépôts de courants de forte densité et vitesse :

L'existence de courants de densité est classiquement connue dans l'axe des canyons où ils déterminent divers processus d'érosion, de transport et dépôt.

#### 1. Les turbidites grossières : Séquence de Bouma (cf. supra) (Fig.166):

**2. Les turbidites fines (Fig. 168) :** elles correspondent à des masses de particules fines en suspension qui sont entraînées vers le large en légers nuages turbides (*lutite-flows*). Ces particules fines progressent lentement et sédimentent sur le talus, sur le glacis et dans les bassins adjacents aux marges. Le dépôt correspondant constitue des laminites. Celles-ci sont constituées de lamines parallèles, millimétriques à centimétriques, intercalées dans les hémipélagiques ou d'autres résédiments. Ces laminites sont périodiques ou apériodiques selon qu'elles résultent de crues saisonnières ou de reprises sédimentaires occasionnelles.

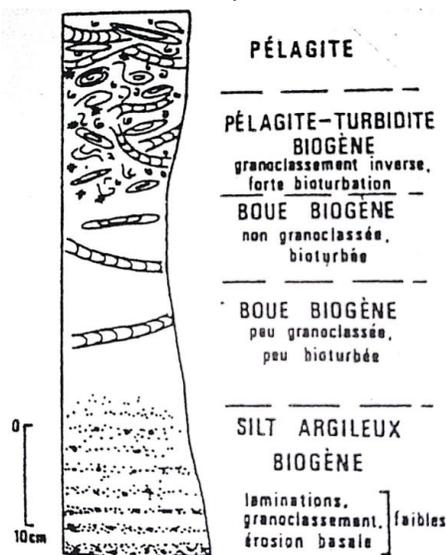


Fig. 168. Faciès type de turbidité à grains fins

## B. Dépôts de courants de faible densité et vitesse : la sédimentation par décantation.

**1. dynamique** : les dépôts par décantation s'effectuent dans un milieu calme où les actions hydrodynamiques sont nulles. La sédimentation s'opère par la chute lente des particules élémentaires et agrégats vers le fond, sans transport horizontal ou oblique brutal.

**2. Milieu de sédimentation** : cette sédimentation lente caractérise particulièrement les fonds marins du large. Elle est également commune dans divers milieux : les lacs, la partie aval des fleuves de faible pente, et les fonds marins protégés (lagunes, deltas, baies abritées)

**3. Le dépôt par décantation** : il intéresse particulièrement les tests planctoniques et les particules terrigènes silto-argileuses. La finesse de la sédimentation des argiles est souvent accélérée par leur regroupement (floculation) : en flocules électrochimiques, en complexes organo-minéraux ou en pelotes fécales rejetées par le zooplancton.

**4. Identification des dépôts marins par décantation** : les principaux caractères des dépôts marins par décantation sont :

- La vitesse de sédimentation **faible à très faible** (de l'ordre de **1 à 100 mm/1000 ans**) ;
- La **sédimentation est fine** et caractérisée par l'abondance relative des **tests d'origine planctonique**, des particules **terrigenes de petite taille et des minéraux formés sur place**.
- La fréquence de **la bioturbation**, à l'exception dans les **bassins anoxiques**.
- La **sédimentation est homogène** avec présence **d'alternance de faciès (horizon de calcaire, par exemple)**.
- L'absence de figures sédimentaires **contemporaines du dépôt** ou **due à l'érosion**.

**5. Classification des dépôts marins par décantation** : les dépôts marins du large en eau calme se répartissent en trois principales catégories :

**a. Boues pélagiques** marquées par la prépondérance des tests planctoniques (> 75%).

**b. Boues hémipélagiques** caractérisées par au moins **05 %** de tests, **40 %** de silt, et beaucoup d'argiles terrigènes.

c. **Boues pélagiques argileuses** (25-75% de restes planctoniques, plus de 60% d'argiles).

### 6. Contexte de sédimentation:

a. **Les pélagites (Fig.169 A)** : abondent dans les **domaines abyssaux**, loin des sources terrigènes directes, plutôt dans les **zones de haute productivité** et à l'**abri des dissolutions intenses** pour les **boues biogènes**, et plutôt dans les **secteurs soumis aux apports éoliens** ou aux **néoformations pour les argiles**. Parfois sont **associées** à des **sédiments métallifères** et à des **nodules polymétalliques** ; elles sont souvent **d'aspect homogène, oxydées, pauvres en matière organique** et de **structures sédimentaires**.

b. **Les hémipélagites (Fig.169 B)** : s'accumulent préférentiellement sur les **marges continentales** et dans les **bassins adjacents**, ainsi que dans les **mers de dimensions moyennes** (ex : **Méditerranée**) marquées par **d'abondants apports terrigènes**. Elles sont caractérisées par un **classement granulométrique médiocre**, typique d'un **dépôt par décantation assez rapide**. On leur rattache communément l'ensemble des dépôts issus **d'une double contribution dominante**, d'une part **terrignè fine** et d'autre part **planctonique**. La prédominance de l'une et de l'autre famille de composant, au cours du temps, conduit à des faciès plus ou moins alternants.

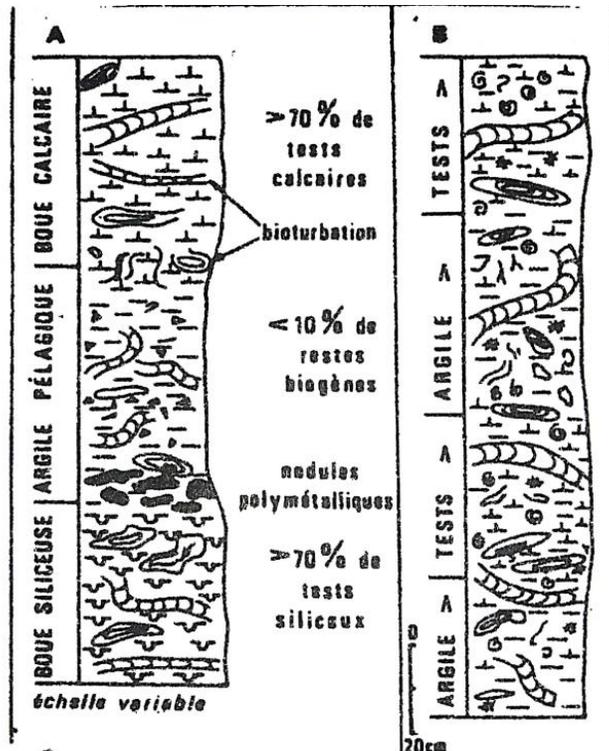


Fig.169. Faciès type de pélagites (A) et d'hémipélagites (B)

**Cas particuliers : Les périodites :**

**1. Définition :** on appelle **périodites**, lorsque la **rythmicité des lits sédimentaires** est très **marquée**. A titre d'exemple : **les alternances de marnes et de calcaires**. Ces dépôts rythmiques s'observent particulièrement dans les bassins à sédimentation relativement rapide et à bioturbation modérée.

**2. Cause :** la cause des alternances est **d'origine allocyclique**, notamment de **nature climatique lorsqu'elles présentent une vaste extension géographique**. La périodicité peut se présenter à diverses échelles liée aux **variations des paramètres orbitaux** de la terre selon la **théorie de Milankovitch**. Il s'agit par exemple d'une alternance de **périodes humides** favorables aux apports **argileux terrigènes**, et des **périodes plus sèches** où s'exprime mieux la **production planctonique carbonatée**.

**D'autres causes autocycliques** peuvent engendrer la formation des périodites :

- **Remontées temporaires d'eaux profondes**, conséquences des variations du niveau de la mer ou du niveau de la compensation des carbonates sur la production ou la conservation des tests calcaires.
- Fluctuations cycliques du taux atmosphériques du **CO<sub>2</sub>** nécessaire à la formation du calcaire.

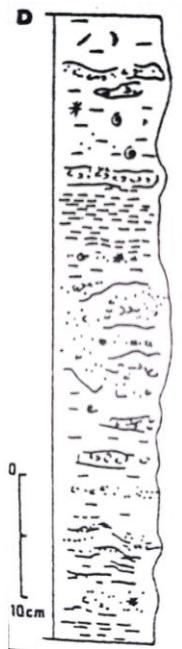
**C. Dépôts de courants contre le fond : dépôts de contourites (Fig.170) :**

**1. Définition et dynamique :** les dépôts de **contourites** sont des **dépôts silto-argileux** engendrés par des **courants de fond** des "**courants de contour**". Ce **grand courant profond**, parfois appelé "**courant géotrophique**". La **surface des contourites** est parcourue par des **rides asymétriques de courants**. De nombreuses **rides sédimentaires géantes (sediment drifts)** à contourites ont été reconnues dans **l'Atlantique Nord**.

**2. Identification des contourites :** dans les **séries anciennes**, les contourites posent divers problèmes, car les dépôts ont pu être modifiés par la diagenèse et la tectonique. Il est peut être **difficile de distinguer** des **faciès à contourites**, à **turbidites** et des **faciès à hémipélagites**, particulièrement à **l'aval des talus continentaux**.

**Les critères essentiels de reconnaissance** des **contourites**, par rapport aux **turbidites** et aux **hémipélagites**, sont les suivants :

- Succession verticale irrégulière de faciès sédimentaires différents, avec granoclasement positifs et négatifs mais absence de séquence ordonnée.
- Bioturbation plus ou moins continue au fur et à mesure du dépôt, avec préservation des figures de courant.
- Origine à la fois locale et allochtone des composants sédimentaires.



**Fig.170. Faciès type de contourite à grains fins**

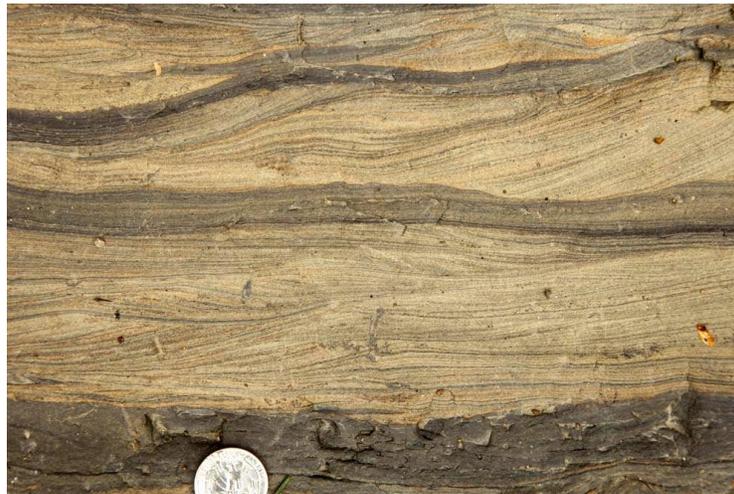
#### **D. Dépôts de courants violents ou exceptionnels : dépôts d'inondites et de tempestites (Fig.173) :**

On a étudié précédemment que l'action quotidienne des vents, des courants fluviaux et côtiers, des marées, vagues et houles, livre des dépôts variés et très communs dans la nature. Ils sont surtout sableux, riches en figures sédimentaires ; ils sont agencés fréquemment en cycles successifs, à court terme et très partiellement livrés à la conservation (fossilisation). A ces dépôts communs, rythmés ou non, peuvent s'ajouter d'autres dépôts plus rares, déterminés par des événements exceptionnels généralement responsables **d'une érosion** marquée des **substrats**. Ils sont de deux types :

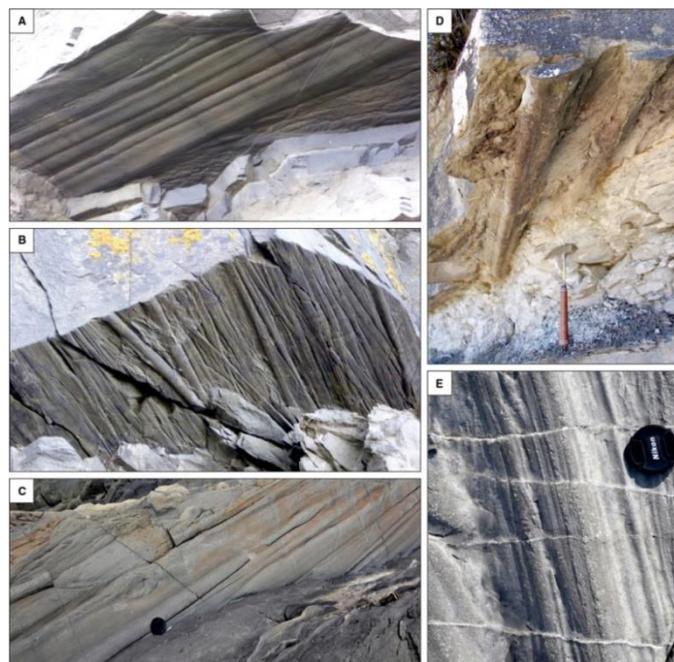
**a. les dépôts d'inondations (= inondites) :** La séquence élémentaire est caractérisée par un granoclasement à la base comme les turbidités ; ils s'en distinguent par l'absence de laminations parallèles fines ("Td" de la séquence de Bouma) au-dessus de l'horizon à rides

asymétriques de courant. La présence de **bioturbation typiques des milieux émergés (empreintes de racines et terriers aériens, paléosols)** termine la séquence élémentaire. Ces dépôts se réalisent **dans les plaines alluviales, les lagunes deltaïques ou littorales.**

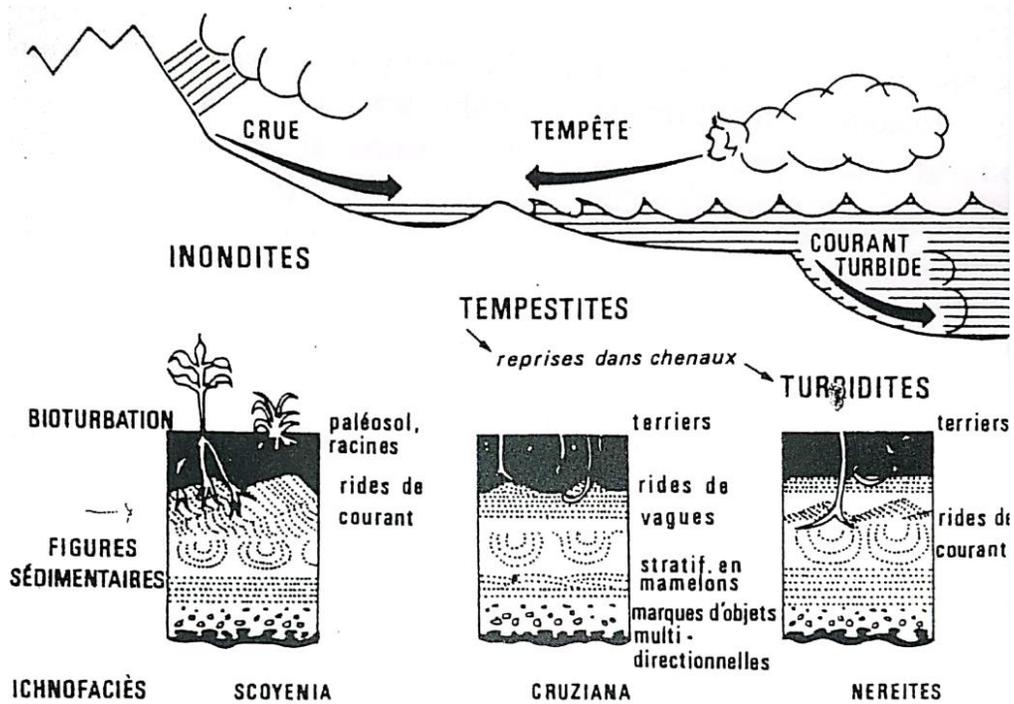
**b. Les dépôts de tempêtes (= *tempestites*) :** Ils se distinguent généralement **des turbidités et des inondites par des figures multidirectionnelles de courants (*groove-cast*) (Fig.172) et l'absence de figure de charge à la base de la séquence, puis par une stratification oblique en mamelons (= *HCS, Hummocky cross-stratification*) (Fig.171) et des rides symétriques de vagues au-dessus. Les dépôts sommitaux sont bioturbés par des fossiles de faible profondeur.**



**Fig.171. Hummocky cross-stratification (HCS)**

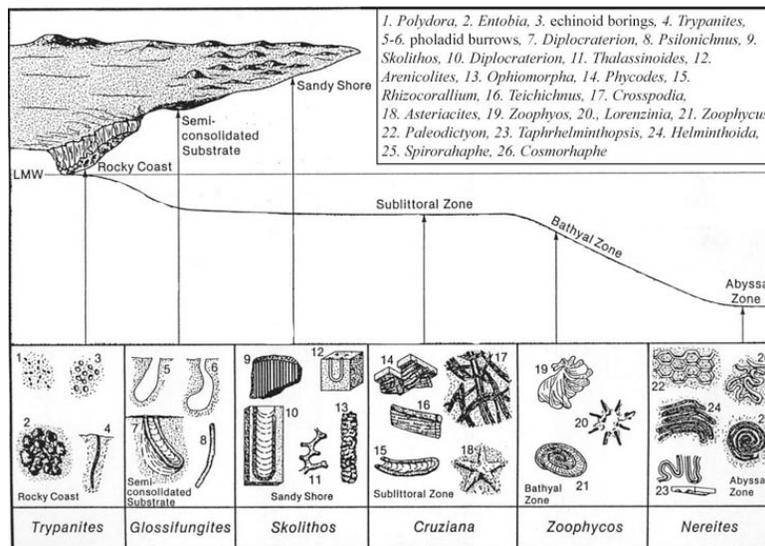


**Fig.172. Figures multidirectionnelles de courants (*groove-cast*)**



**Fig.173. Principaux caractères distinctifs de dépôts d'inondation, de tempêtes et de courants de turbidités**

**NB :** Ces dépôts sont caractérisés par une certaine zonation conduit à regrouper les organismes en fonction de leur profondeur de vie et à mettre l'aspect des traces avec les facteurs du milieu (turbulence, courants, matière nutritives en suspension) (Fig.174).



**Fig.174. Exemple de zonation bathymétrique basée sur l'observation de traces fossiles**

<i>Scoyenia Ichnofaciès</i>	<i>Cruziana Ichnofacies</i>	<i>Nereites Ichnofacies</i>
- Dépôt lacustre ou fluviatile), zones alluviales de lac, plaines d'inondation, mares ou étangs, interdunes humides	- Environnements marins peu profonds, depuis la zone d'action des vagues vers des milieux plus calme en offshore. Energie modérée à faible. - Environnements de dépôt typique: baies, estuaires, lagons, marais tidaux, plate-forme côtières.	- Environnement abyssal à bathyal (fond océanique entre 200 et 2000 m de profondeur), eaux oxygénées mais calmes, interrompues par des courants de fond ou de turbidités (turbidites avec séquence complète de Bouma), boues pélagiques.

**c. D'autre événement exceptionnel :** une autre **origine événementielle** est la perturbation du plan d'eau par **un tremblement de terre**, une **explosion volcanique** ou **un glissement sous-marin**. *C'est le tsunami*. Il y a alors une onde de choc soudaine et déplacement rapide (**800 km/h**) d'une vague très haute (jusqu'à plusieurs dizaines de m). Il pourra se former des *séismites* ou *des tsunamites*.

## LES FLYSCHS ET LES MOLASSES

*(Deux formations liées à la surrection des chaînes de montagnes)*

### I. INTRODUCTION :

Leur formation est liée à la tectonique.

### II. LE FLYSCH :

**1. Lithologie du Flysch:** Au point de vue lithologique il convient de constater, en premier lieu, que le terme flysch s'applique à **des formations détritiques**.

Un Flysch n'est ni une formation essentiellement gréseuse ou conglomératique (comme l'est souvent la molasse), ni une formation franchement argileuse. Dans l'ensemble le **Flysch** résulte toujours de **l'alternance (Fig.175)**, le plus souvent **très régulière et très monotone, de bancs ou de lits de grès**, plus accessoirement de **conglomérats et de brèches**, avec **des schistes argileux** ou **argilo-calcaires**. Il en ressort **une stratification régulière, rythmique**, qu'on peut suivre souvent sur des distances considérables.



**Fig.175. Dépôts de flyschs dans la région de Beni Haoua (wilaya de chlef)**

Dans la différenciation vis-à-vis d'autres formations, J. TERCIER (1947) notait un autre caractère fondamental du flysch ; **son épaisseur**. En effet partout où le Flysch affleure largement, on constate qu'il accuse le plus souvent **une grande épaisseur**, presque toujours de **l'ordre de plusieurs centaines de mètres** et parfois de **plusieurs milliers de mètres**.

Autre **caractère pétrographique majeur du faciès Flysch**, son **origine exclusivement marine**, attesté par la présence en son sein **d'organismes tous marin**, à l'exclusion évidemment des **faunes et des flores remaniées, apportées par la sédimentation terrigène**.

S. DZULINSKI et A.J. SMITH ont donné une **remarquable description** du Flysch qui se caractérise, dans une **épaisse formation de sédiments marins** par les faits suivants :

- 1.** Alternance rythmique de sédiments de granulométrie fine, schistes, marnes, argiles (pélites) et de sédiments grossiers, conglomérats (rudites), grès et (ou) calcarénites (arénites) ;
- 2.** Classement moyen à mauvais des grès (fraction arénitique) qui renferme un pourcentage variable d'argile (fraction lutitique) ;
- 3.** Sous-faciès à l'intérieur d'une mégaséquence de faciès Flysch, dans lesquels prédomine soit la fraction fine, soit la fraction grossière. Ceci conduit à distinguer :

- Un Flysch normal (fraction arénitique = fraction lutitique) :
- Un Flysch gréseux ou Sandy flysch ;
- Un flysch marneux.

**4.** Fréquence de figures **de base dans les bancs gréseux, d'origine inorganique** mais aussi parfois **d'origine organique**. Par contre **vers le sommet** des couches, **les niveaux gréseux ont tendance à passer sans transition aux pélites**.

**5.** Granoclassement (*graded bedding*) fréquent dans les bancs gréseux.

**6.** Apparente homogénéité des séries terrigènes qui ne présentent pas de rapides variations (latérales ou verticales).

**7.** Structures directionnelles reconnues sur des aires étendues et apportant une indication sur la direction et même le sens de transport des sédiments.

**8.** Rareté des fossils

- Les couches marneuses renferment des organismes (surtout des foraminifères) ou benthiques d'eau profonde.
- Les couches gréseuses montrent parfois des fossiles resédimentés (redéposés) dépourvus d'intérêt stratigraphique.

**9.** dépôts particuliers de slumps, slide, "*pebbly mudstone*", "*pebbly sandstone*", masses **conglomératique et bréchiques** ainsi que **des blocs exotiques** de dimension considérable, au sein de masse argileuses : **olistolithes, olistostromes, klippes sédimentaires....**

**10.** Absence de stratification entrecroisée de grande ampleur, ainsi que rareté des rides (*ripple marks*).

**11.** Absence de figures sédimentaires suggérant des **conditions de dépôts subaériennes**, telles que **craquelures de dessiccation, empreintes d'animaux terrestres**.

D'autres auteurs ont ajouté des caractéristiques lithologiques supplémentaires :

12. Caractère carbonaté apparaissant à des degrés divers.

13. Épigenèse prémétamorphique (anchimétamorphisme) des roches du Flysch, ce qui les rapproche d'ensembles déjà métamorphiques plutôt que d'ensembles franchement sédimentaires.

**3. Sédimentation du flysch:** L'existence de **dépôts pélagiques stratifiés** dans la masse du flysch, conjuguée à la **présence d'organismes de milieu marin ouvert** et des traces fossiles caractéristiques **d'environnement profond**, selon **A. SEILACHER (1936)**, suggère **l'origine profonde de la sédimentation du flysch**.

### III. LES MOLASSES :

Elles proviennent de **la destruction des chaînes nouvellement érigées**. Ce sont des grès à éléments détritiques peu évolués (débris de roches, quartz, mica, feldspath, calcite, minéraux lourds abondants).

**Ex :** séries molassiques de l'Ahnet.

#### 1. Caractéristiques lithologiques :

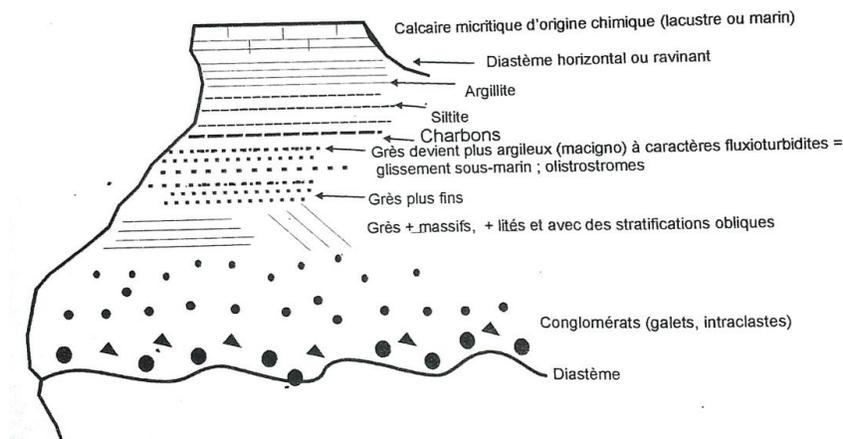
**a. Type lithologique de faciès :** les **molasses sont plus détritiques**, il y a un développement plus important depuis **les conglomérats souvent mal classés**, avec des éléments **souvent assez peu érodés**, voire même **anguleux**.

#### b. Dans les arénites :

- Calcarénites, grès, arkose ; pour ces arénites on trouve ce qu'on appelle les molasses ss : c'est un grès feldspathique à ciment calcaire, à chlorite ce qui donne à la roche sa couleur verdâtre.
- Les marnes, argillites sont abondantes.
- Il y a des calcaires non détritiques qui sont souvent des **calcaires lacustres**, certains y ajouterais d'autres faciès telles que les évaporites.

**2. Stratonomie :** leur épaisseur qui est généralement très proportionnelle. Dans les chaînes de montagnes sont plus importante que les flyschs (ex : dans les Alpes entre **4000 à 6000 m d'épaisseur**).

**3. Caractères sédimentologiques :** Ceci nous conduit à définir la séquence-type (fig.) On note également la **présence fréquente des niveaux charbonneux**. Le **sommet** des dépôts de molasse est **ondulé ou raviné**: c'est une séquence **tronquée** : la partie supérieure a été décapée avant la séquence suivante.



**Fig. 176. La séquence élémentaire d'une molasse**