جامعة مولاي إسماعيل
UNIVERSITÉ MOULAY ISMAÏL

كلية العلوم
FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT DE GÉOLOGIE

****

FILIÈRE SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

****

ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

LE DOMAINE MARIN



Professeur Mostafa BERKHLI

****

Année Universitaire 2019-20

PLAN

I. INTRODUCTION

II. MORPHOLOGIE

III. LES AGENTS DYNAMIQUES MARINS

IV. CHIMISME ET TEMPERATURE DES EAUX MARINES

V. LES ZONES DE VIE DU MILIEU MARIN

VI. LA SEDIMENTATION LITTORALE SILICO-CLASTIQUE

VII. SEDIMENTATION DE PLATE-FORME CARBONATEE

- A. LES PLATES-FORMES CARBONATEES TEMPEREES
- B. LES PLATES-FORMES CARBONATEES TROPICALES

VIII. LES RECIFS

IX. SEDIMENTATION DU TALUS ET DU GLACIS

X. DEPOTS DE BASSIN

XI. FACTEURS CONTROLANT LA SEDIMENTATION EN MILIEU MARIN

I. INTRODUCTION

- Le domaine marin comprend:

  - les mers et les océans recouvrant en grande partie une croûte océanique (Atlantique, Pacifique...) et;

  - les mers épicontinentales sur croûte continentale (cas de la Mer du Nord).

- Le domaine marin couvre près des 3/4 de la surface du globe.

- Sa salinité est assez homogène et voisine les 36‰.

- La distance au continent et la profondeur de l'eau permettent de définir plusieurs zones caractérisées par leur hydrodynamisme et leur type de sédimentation.

II. MORPHOLOGIE

Trois grandes zones morphologiques sont distinguées (Berkhli, 1993) :

- ***la plate-forme continentale,***
- ***le talus et***
- ***le bassin***

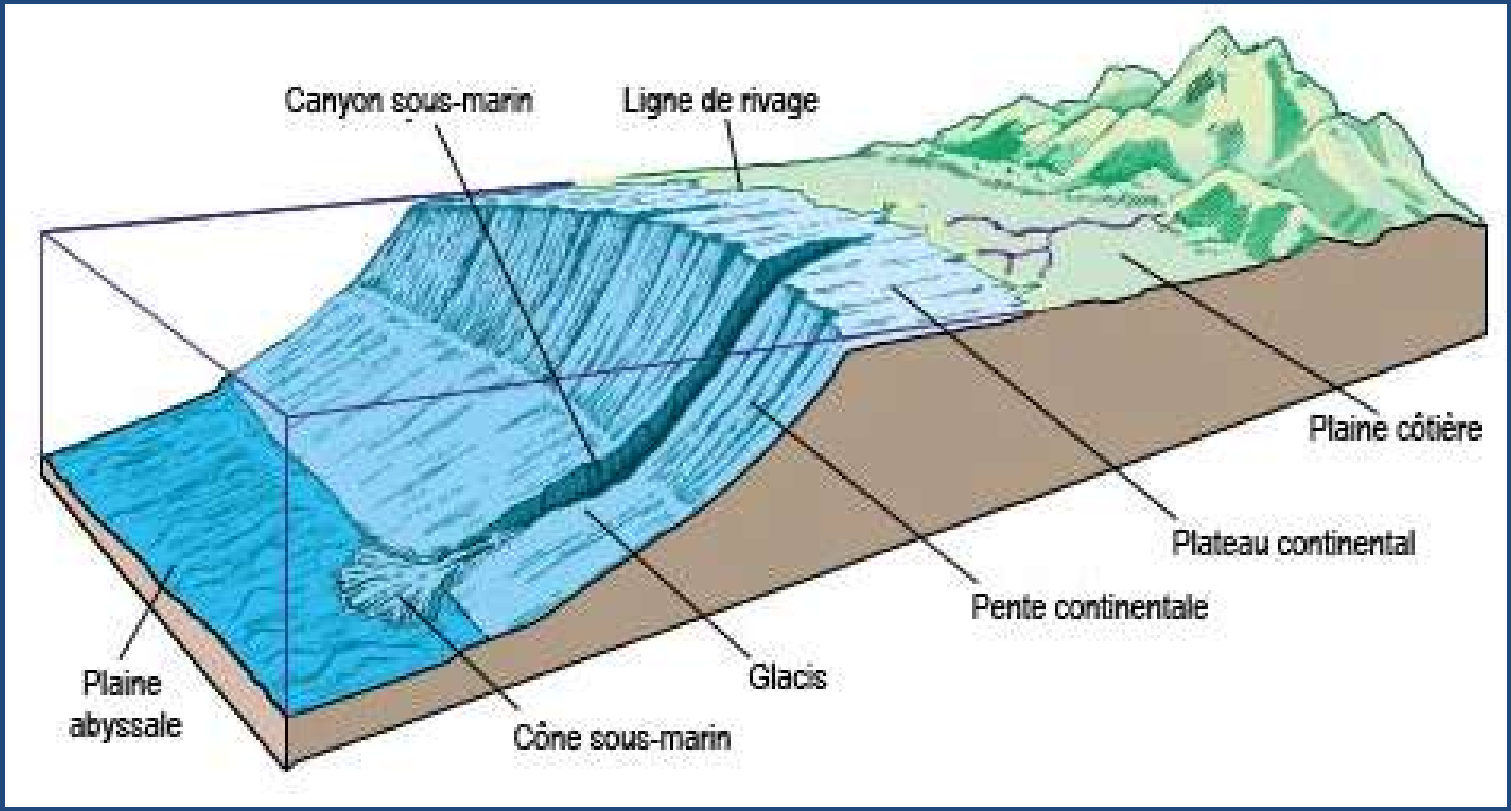


Fig. 1. Morphologie de milieu marin

1. La plate-forme continentale

Elle comprend :

- **La plate-forme interne** = domaine marin ± restreint. La tranche d'eau y est généralement faible. Les organismes benthiques y sont très diversifiés alors que le plancton y est très rare. On y distingue :

✓ ***Un milieu supratidal***: situé au-dessus du NMHM, mais soumis temporairement à leur invasion;

✓ ***Un milieu intertidal*** ou zone de battement des marées normales: faciès d'émersion caractérisés par des bird eyes (ou structures fenêtrées), les cimentations précoces

✓ ***Un milieu subtidal***, situé sous le NBM.

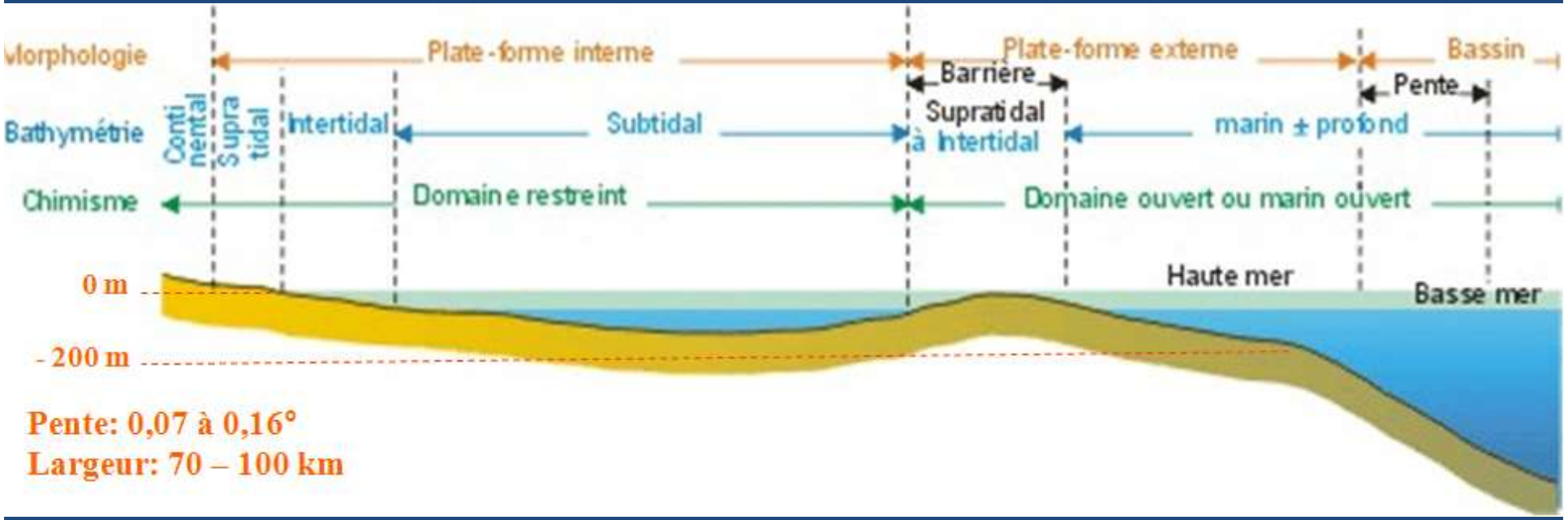


Fig.2. Répartition des environnements de dépôt sur une plate-forme avec barrière

- ***La barrière*:** élément morphologique plus ou moins continu, absorbe la plus grande partie de l'énergie des houles et des vagues. Elle peut être édifiée par des organismes constructeurs tels que les Rudistes, les Polypiers, etc.

- ***La plate-forme externe* :** énergie généralement faible à peu élevée. L'activité biologique sur le fond est intense, mais limitée à la zone photique. L'association Foraminifères benthiques et planctoniques dans les sédiments sera fréquente. La zone proximale soumise à l'action des vagues reçoit les dépôts de démantèlement de la barrière.

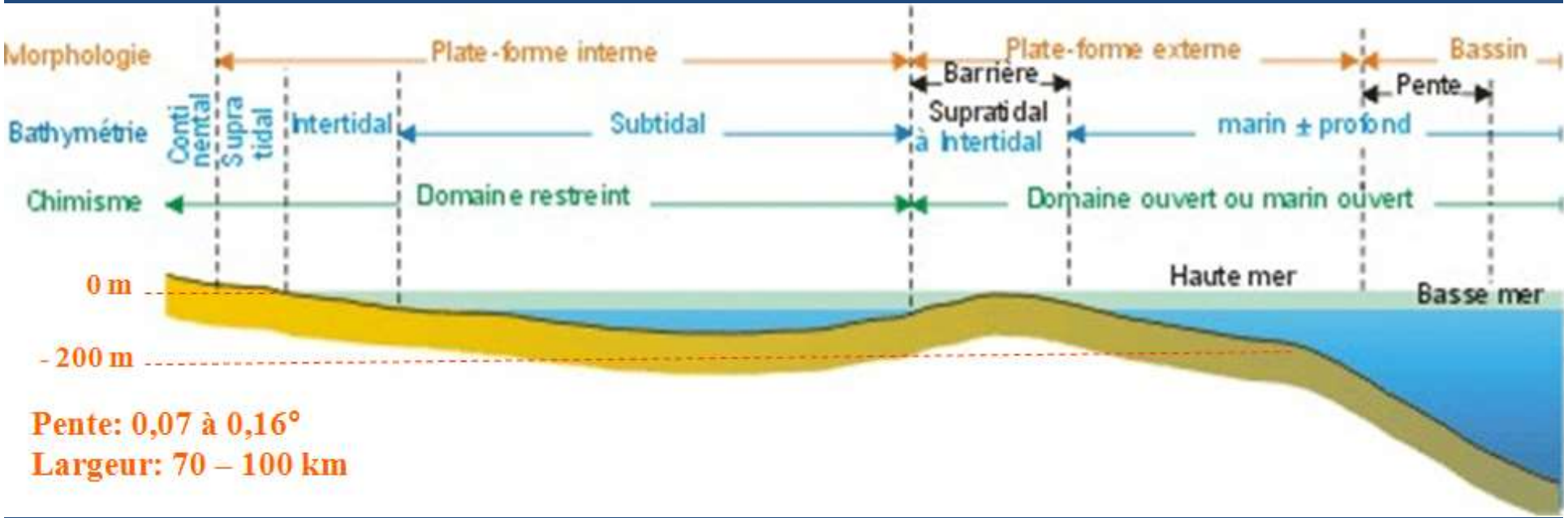
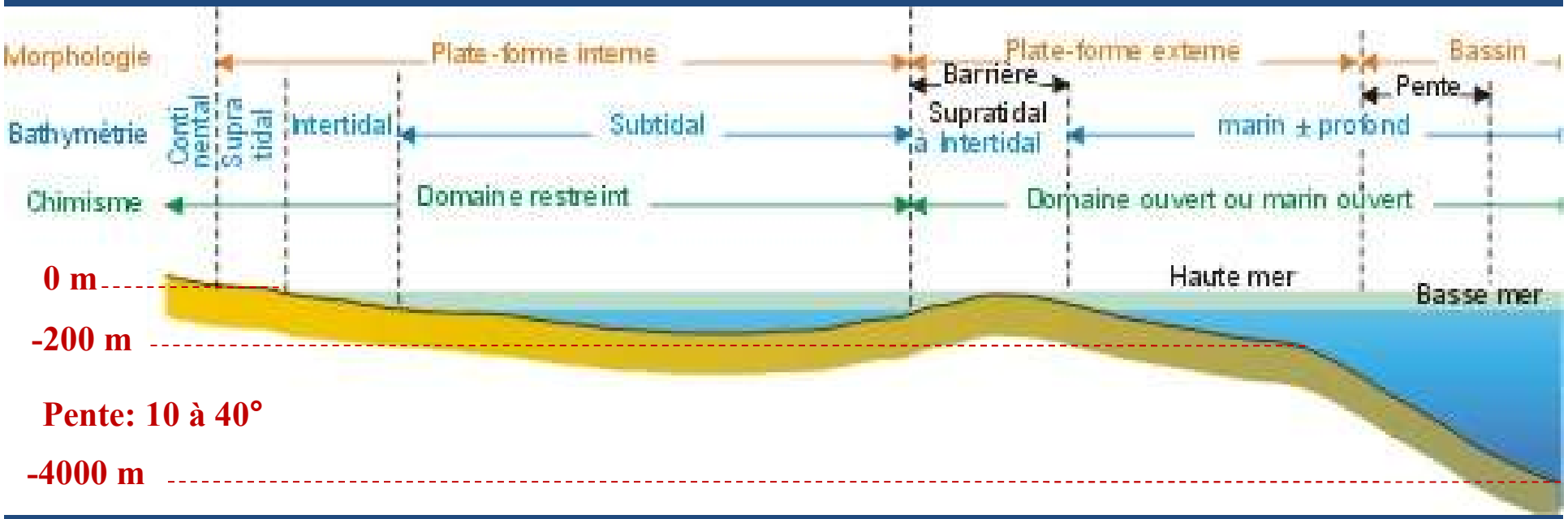


Fig.2. Répartition des environnements de dépôt sur une plate-forme avec barrière

2. La pente (ou talus)



- Elle peut être entaillée par des **canyons**: transite des turbidites.
- Seuls peuvent survivre les **organismes fixés** sur le substratum tels que des encroûtant ou des Coraux profonds.
- Au pied du talus, le **glacis** descend avec une inclinaison comparable à celle du plateau **(Pente: 0,07 à 0,16°)**, jusqu'à une profondeur de **5000 m**. Les canyons s'y terminent parfois par des **deltas** parcourus par des chenaux divergents, en éventail (**cônes sous-marins**).

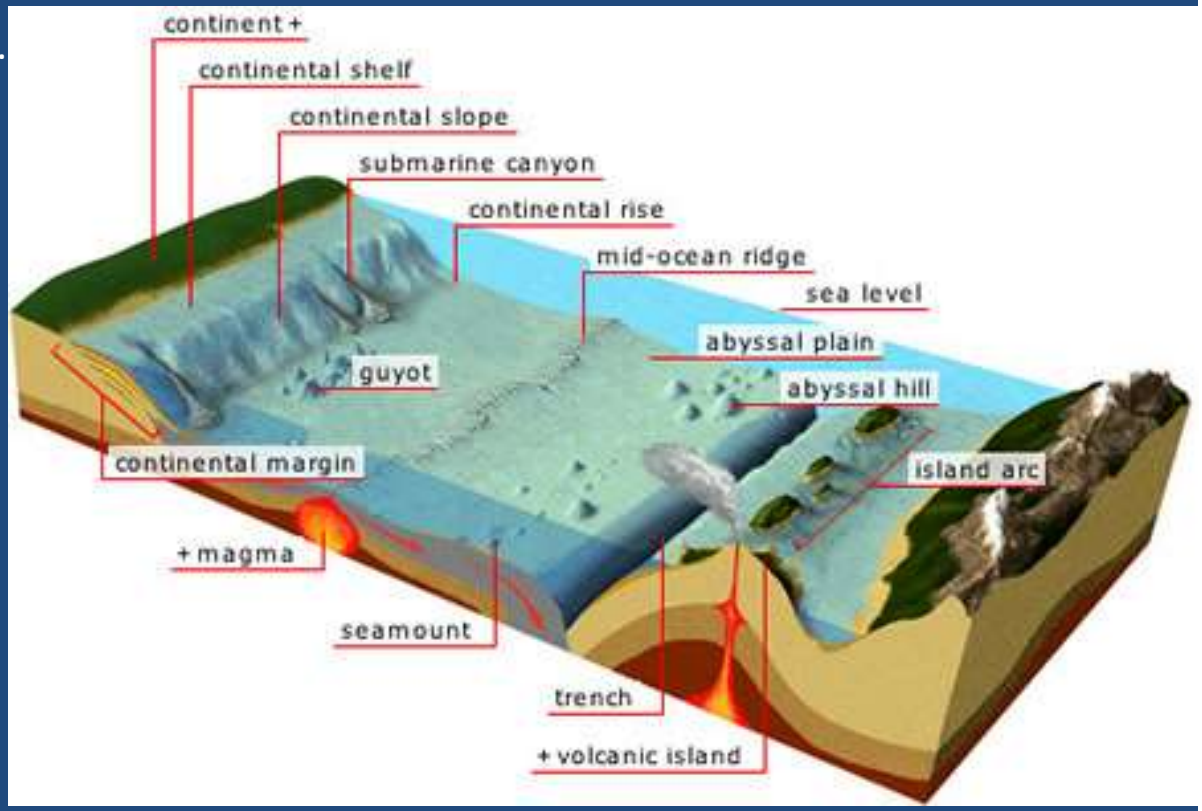
3. Le bassin océanique

Il comprend :

- ***La plaine abyssale*: -4000 à -5000 m.**
- ***Les rides ou dorsales océaniques actives* :**

  - 1/3 de la surface des océans,
  - s'élèvent depuis -5000 à -2500 m et peuvent même émerger (îles Açores).

- ***Les fosses océaniques* : zones de subductions** : -6000 m et peuvent atteindre -11000m



4. Limites du modèle

La définition des environnements sédimentaires s'appuie sur un profil morphologique idéal. Ce modèle est en réalité rarement observé dans la nature et admet de nombreuses variations des aires de dépôts. D'autre part, son caractère unidirectionnel traduit une hypothèse de cylindrisme que les observations de terrain ne permettent pas, à elles seules, de mettre en évidence (Berkhli, 1993).

III. LES AGENTS DYNAMIQUES MARINS

1. les marées et les courants de marées

- L'action de la lune est dominante, l'attraction du soleil ne représente que 45% de celle de la lune: les marées suivent le **cycle lunaire**, soit 29 jours environ, pendant lequel il y a **deux périodes** de vives eaux et deux de mortes eaux.
- La masse d'eau oscille selon une **période T= ½ jour lunaire (1jL ~ 24h 50mn)**.
- Pendant **~ 6h** la mer monte, elle reste **étale** pendant quelques minutes (**marée haute**) (**~12mn**);
- puis elle redescend pendant **6h**, reste **étale** pendant quelques minutes (**marée basse**) (**~12mn**), et le cycle recommence (**cycle semi-diurne**);
- Le marnage est faible en haute mer, il augmente sur les côtes surtout par phénomène de résonance;
- il est faible dans les mers et fort dans les océans plus vastes
- Le résultat essentiel des mouvements liés aux marées est la **répartition uniforme des matériaux** dans la zone littorale, essentiellement entre les niveaux des hautes et des basses eaux.

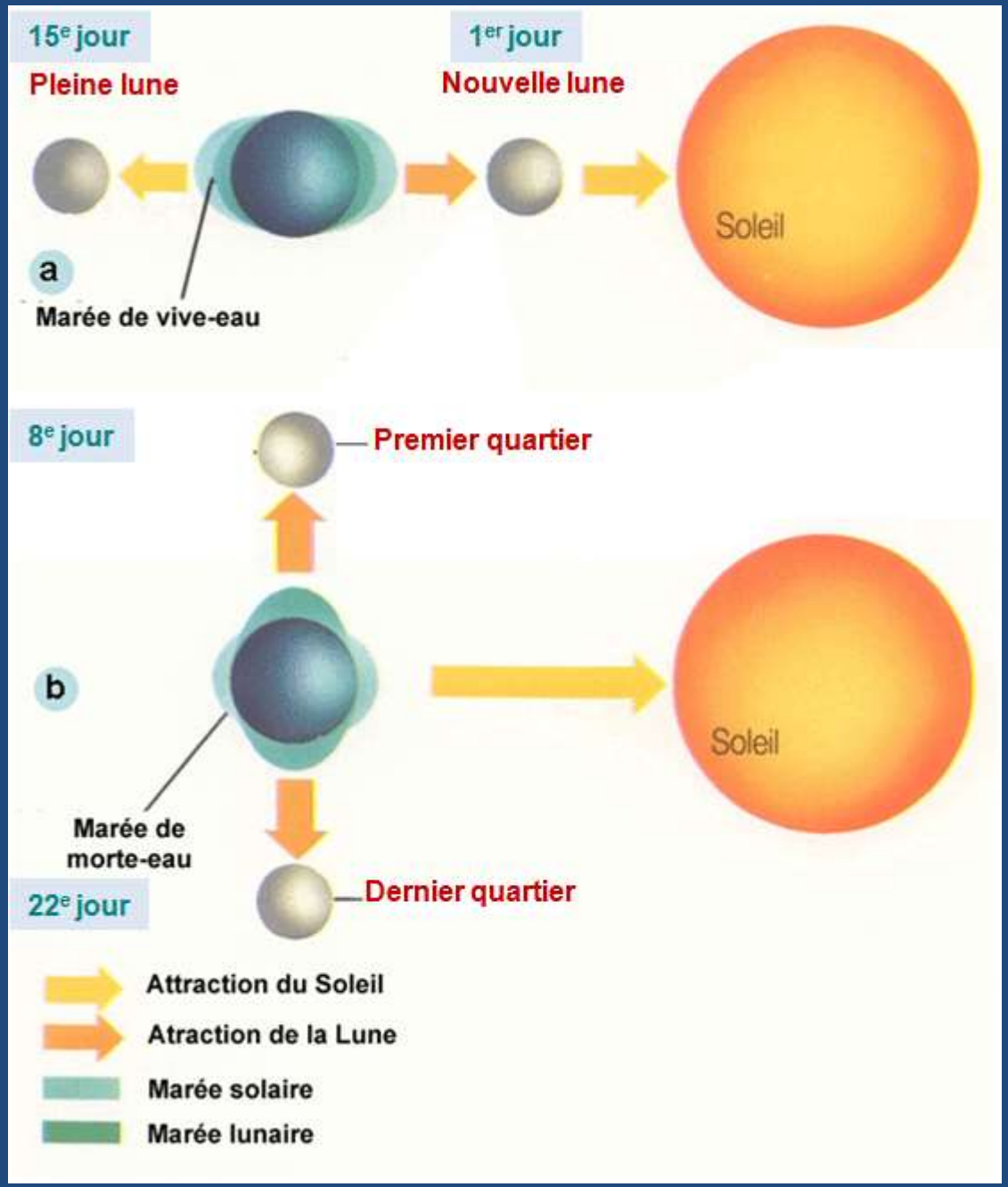


Fig. 3. Mécanisme des marées; a: le bourrelet de marée est formé par l'attraction conjointe de la lune (en vert) et du soleil (en bleu): il s'agit de marées de vives eaux; b: la force d'attraction du soleil atténue celle de la lune: ce sont des marées de mortes eaux

Calcul de l'effet de marée:

On note **d** la distance Terre-Lune, **m** la masse de la Lune, **r** le rayon de la Terre.



Accélération due à la Lune en O :

$$A_1 = \frac{G.m}{d^2}$$

Accélération due à la Lune en A (r est petit devant d):

$$A_2 = \frac{G.m}{(d - r)^2} = \frac{G.m}{d^2\left(1 - \frac{r}{d}\right)^2} \approx \frac{G.m}{d^2\left(1 - \frac{2r}{d}\right)} \approx \frac{G.m}{d^2} \times \left(1 + \frac{2r}{d}\right) = \frac{G.m}{d^2} + \frac{G.m.2r}{d^3}$$

Accélération différentielle :

$$A_2 - A_1 = \frac{G.m.2r}{d^3}$$

Les effets de marée de la lune sur la terre sont proportionnels à la masse de la lune, au rayon de la terre et inversement proportionnels au cube de la distance Terre-Lune.

Comparaison des effets de marée dus au Soleil et dus à la Lune

- Masse du Soleil = masse de la Lune x 27 000 000
- Distance moyenne du Soleil (à la Terre) = distance moyenne de la Lune (à la Terre) x 389
- Les forces de marée sont inversement proportionnelles au cube de la distance :389 au cube, cela donne près de 60 000 000.
- La masse du Soleil ne compense donc pas sa distance, l'effet de marée du Soleil est environ 2,2 fois plus faible que celui dû à la Lune (60 000 000 / 27 000 000)

Du modèle à la réalité:

Entre ces explications et la réalité, il existe de très nombreuses différences :

- Dans le modèle, la Terre est totalement recouverte d'eau. **Dans la réalité** la forme des bassins et des côtes modifie énormément le **régime des marées**.
- Dans le modèle, il y a marée haute quand la Lune passe dans le plan du méridien du lieu (au-dessus de l'horizon ou à l'opposé). **Dans la réalité**, il y a plusieurs heures d'écart entre les deux et ce temps dépend du port, **l'eau ne se déplaçant pas instantanément**.
- La Lune suit une orbite elliptique autour de la Terre et sa distance varie de 356 000 km à 407 000 kilomètres environ. Quand la Lune est plus proche, son **attraction est plus grande**, il faut donc en tenir compte.
- L'axe de la Terre est incliné par rapport au plan de son orbite, ce qui induit des variations en fonction de la date (**marées d'équinoxes**).
- Les marées les plus faibles de l'année se produisent normalement aux **solstices**, les plus fortes aux **équinoxes**.

2. Les vagues et les houles

- le vent en surface va générer des vagues
- en dehors de la zone ventée, propagation de la houle (ondulation)
- à la côte, la vague déferle en fonction du rapport H/λ (hauteur vague/longueur d'onde de vagues)

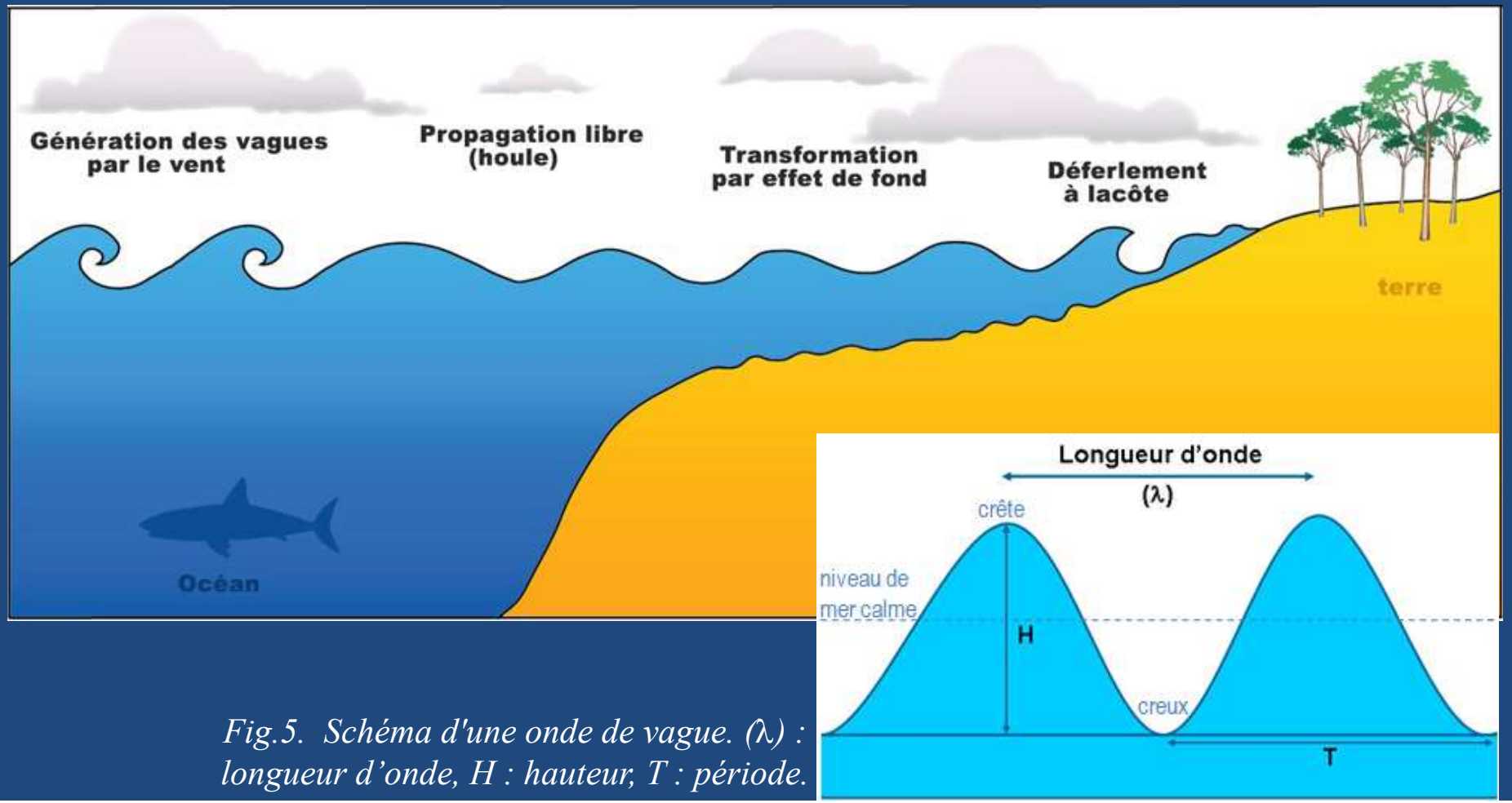


Fig.5. Schéma d'une onde de vague. (λ) : longueur d'onde, H : hauteur, T : période.

Dérive de Stokes

- En profondeur (à cause de la viscosité en particulier), pas de déplacement, mais un mouvement circulaire ;
- En surface, une dérive horizontale, dans le sens du vent : dérive de Stokes

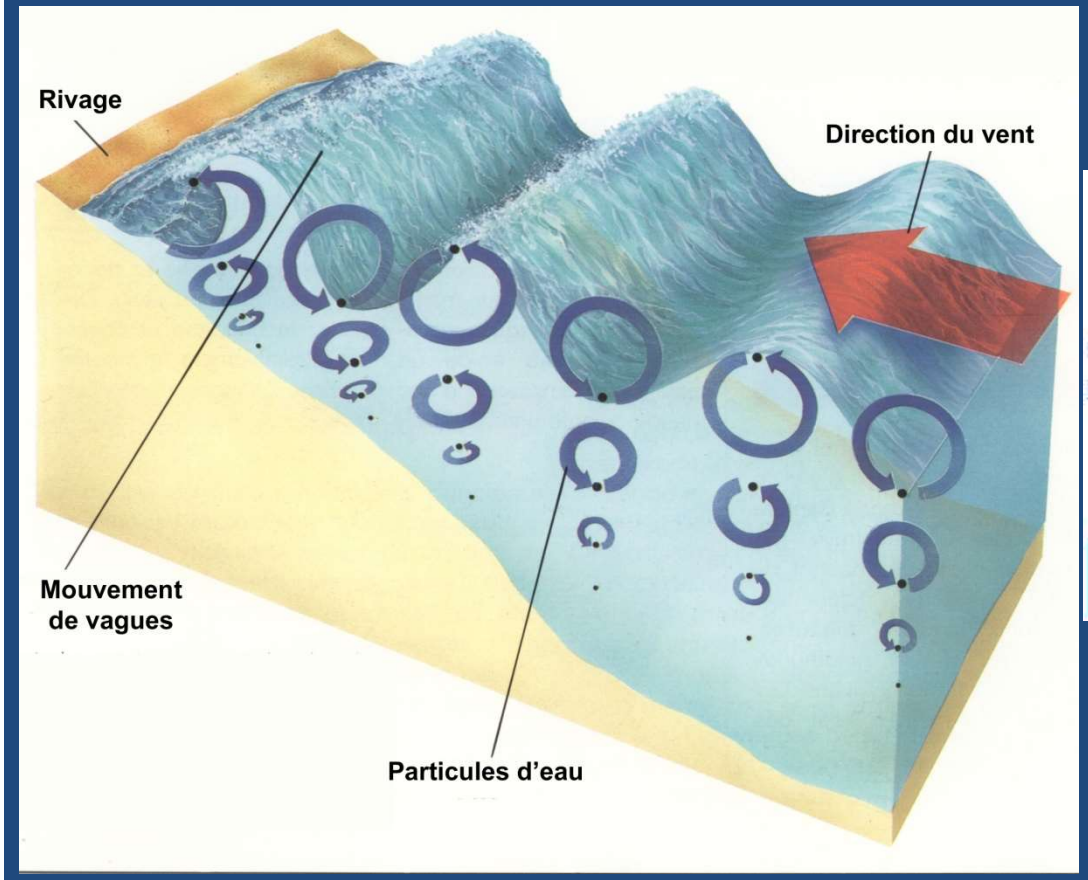


Fig. 4. Formation de vagues et de houles

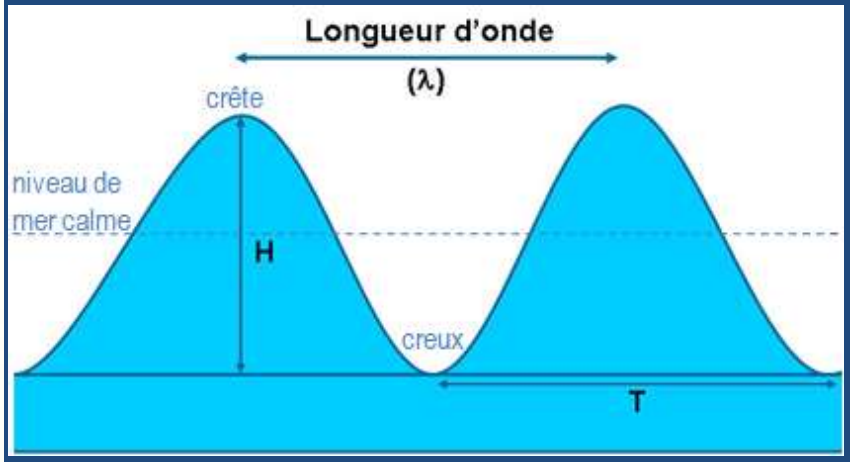
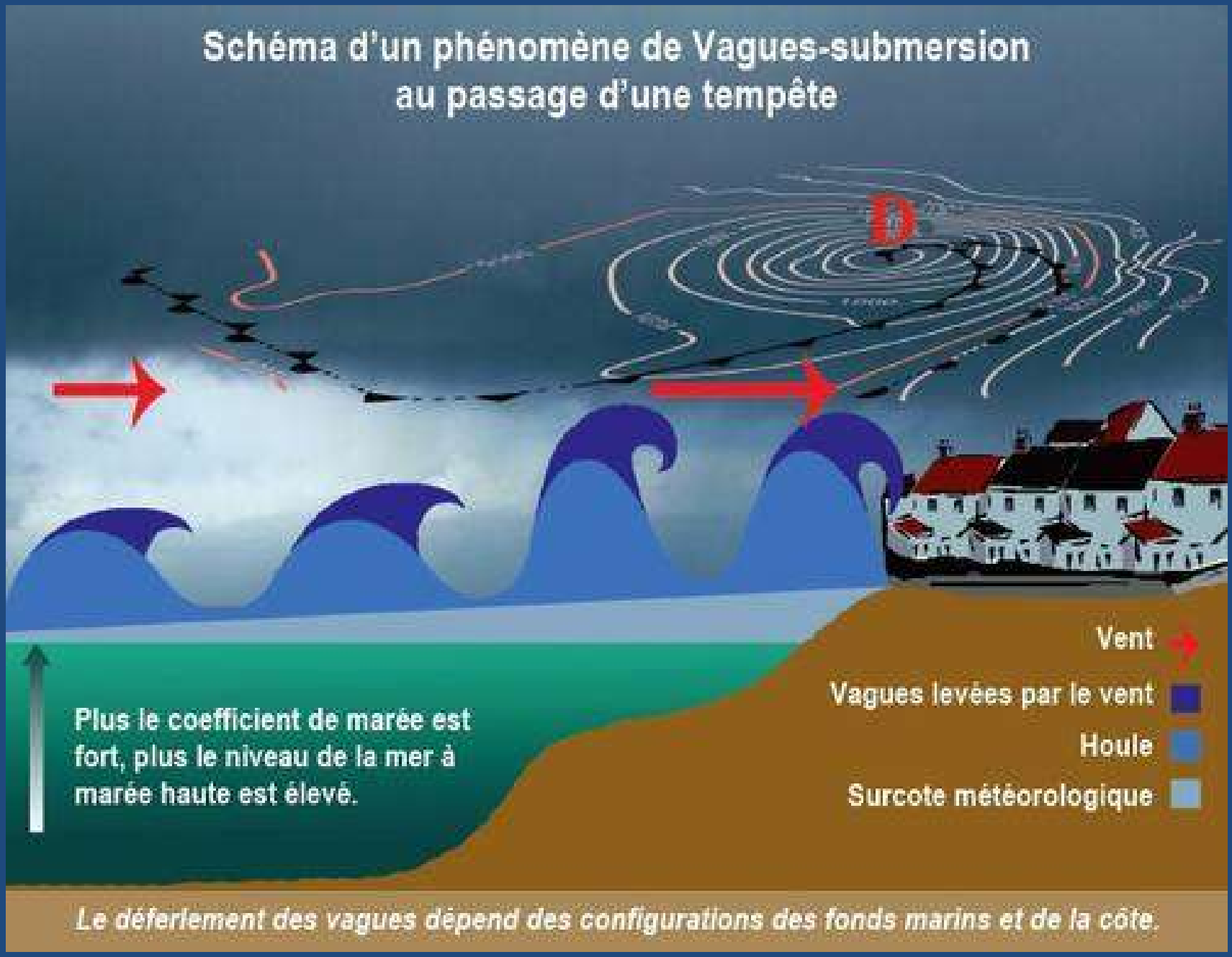
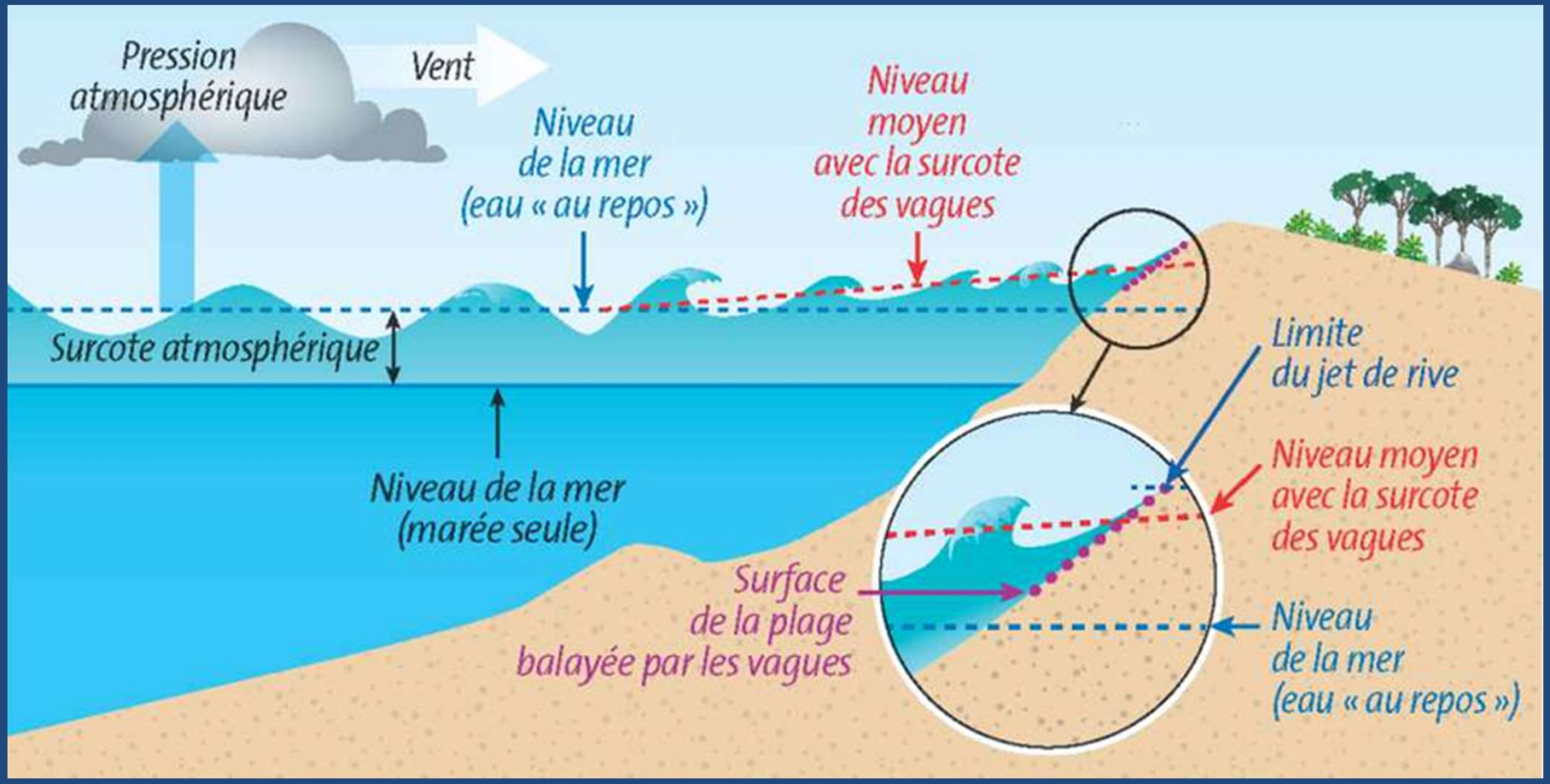


Fig.5. Schéma d'une onde de vague. (λ) : longueur d'onde, H : hauteur, T : période.


Schéma d'un phénomène de Vagues-submersion
au passage d'une tempête
Plus le coefficient de marée est fort, plus le niveau de la mer à marée haute est élevé.
Vent
Vagues levées par le vent
Houle
Surcote météorologique
Le déferlement des vagues dépend des configurations des fonds marins et de la côte.



Principaux phénomènes physiques contrôlant le niveau d'eau ; ce schéma n'est pas à l'échelle. Source : BRGM.

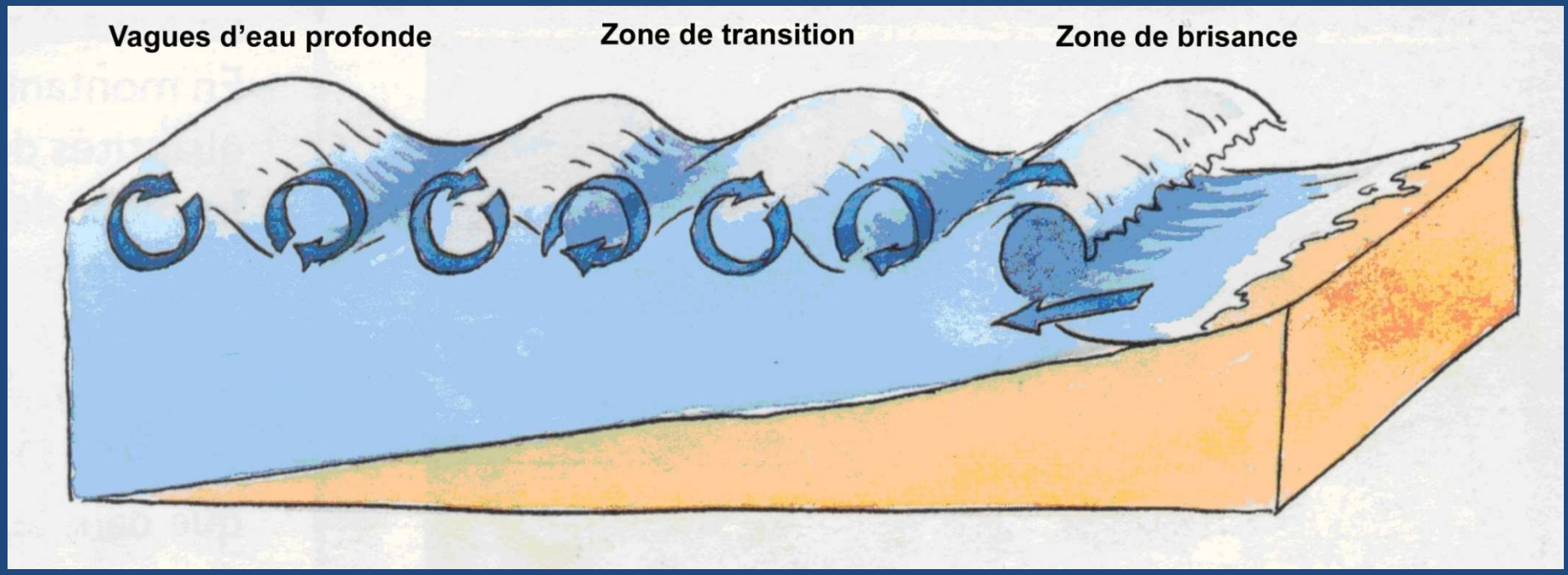
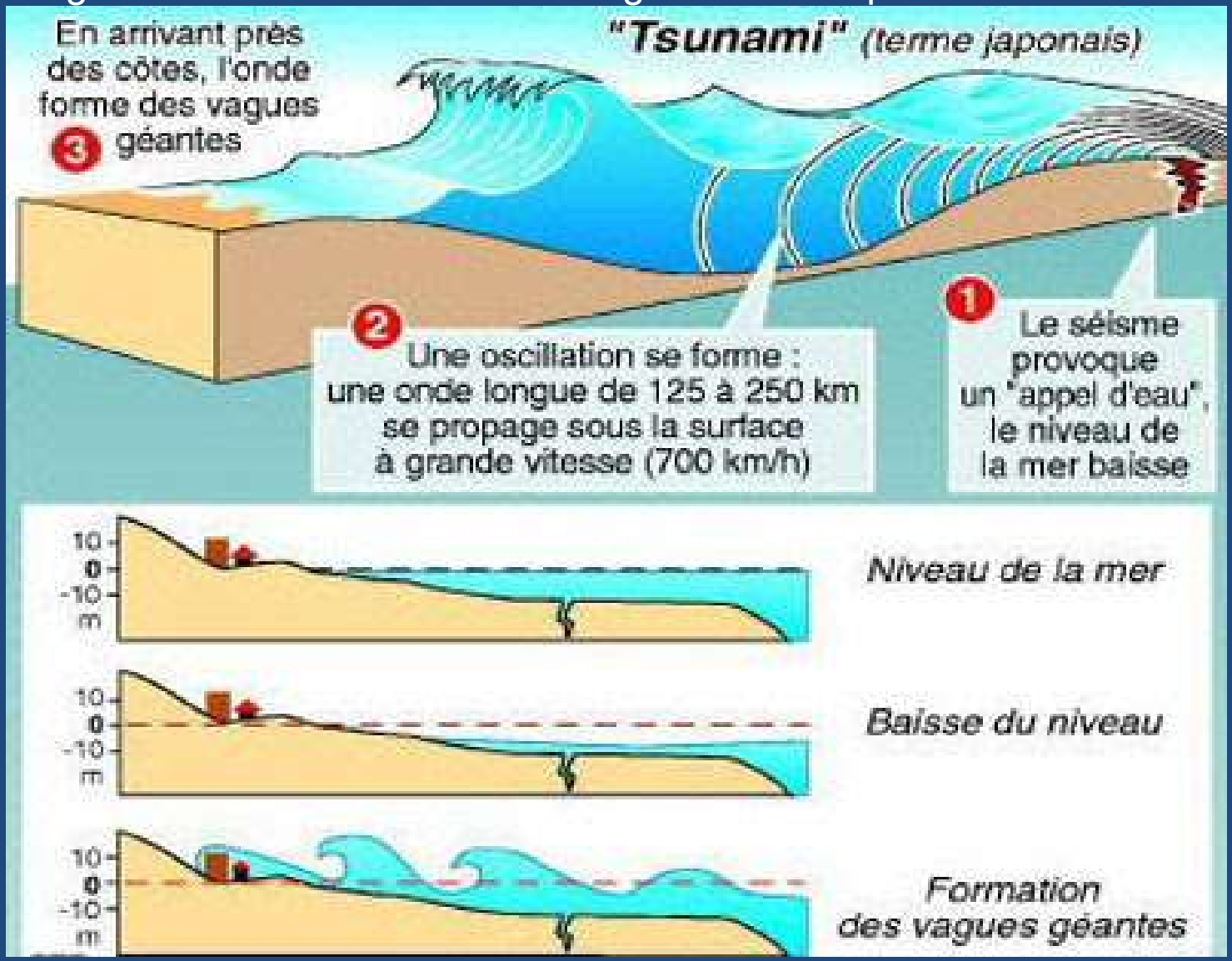


Fig. 6. Propagation de vagues en profondeur variable : augmentation de l'amplitude, diminution de la longueur d'onde, zone de brisance.

Formation d'un Tsunami

Les ***tsunamis*** sont des oscillations générées par des tremblements de terre ou des glissements de terrain. Leur longueur d'onde peut atteindre 150 km.



3. Les courants

a. Les courants littoraux, les courants de mers peu profondes,

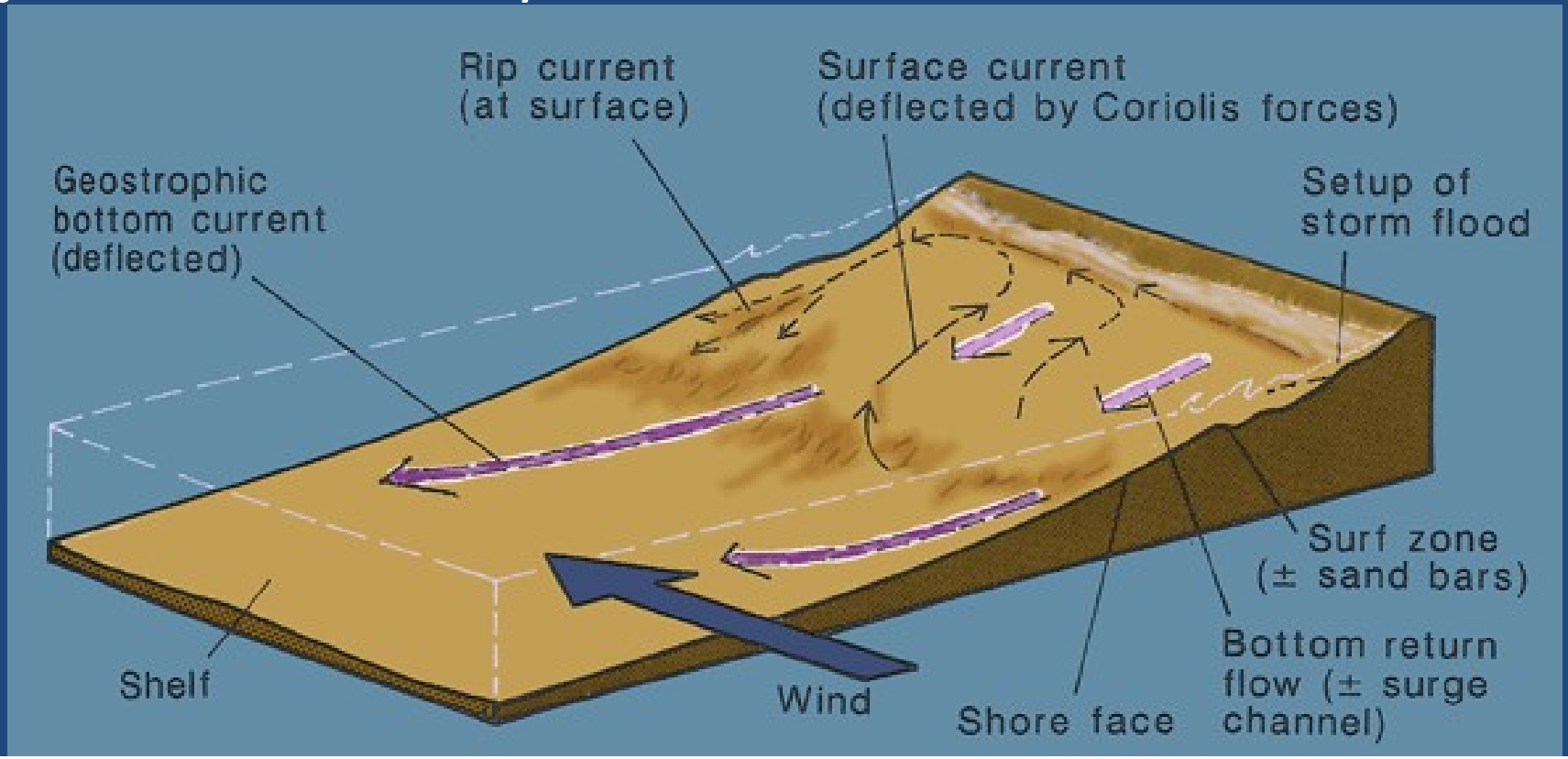
b. Les courants océaniques,

c. Les courants ascendants «upwelling»,

d. Les échanges entre mers et océans,

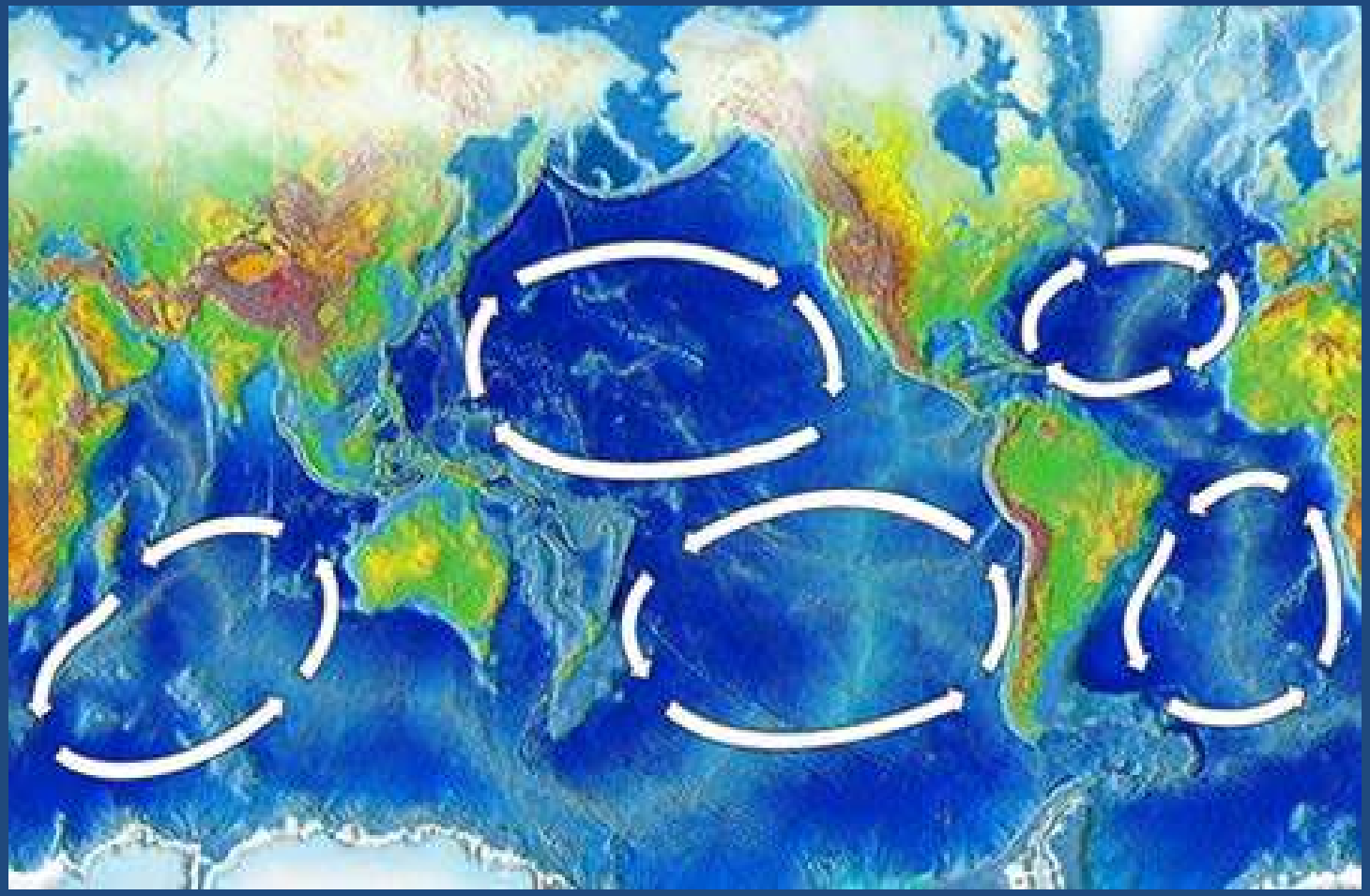
e. Les courants de turbidité,

f. Les courants de tempêtes.



Les gyres

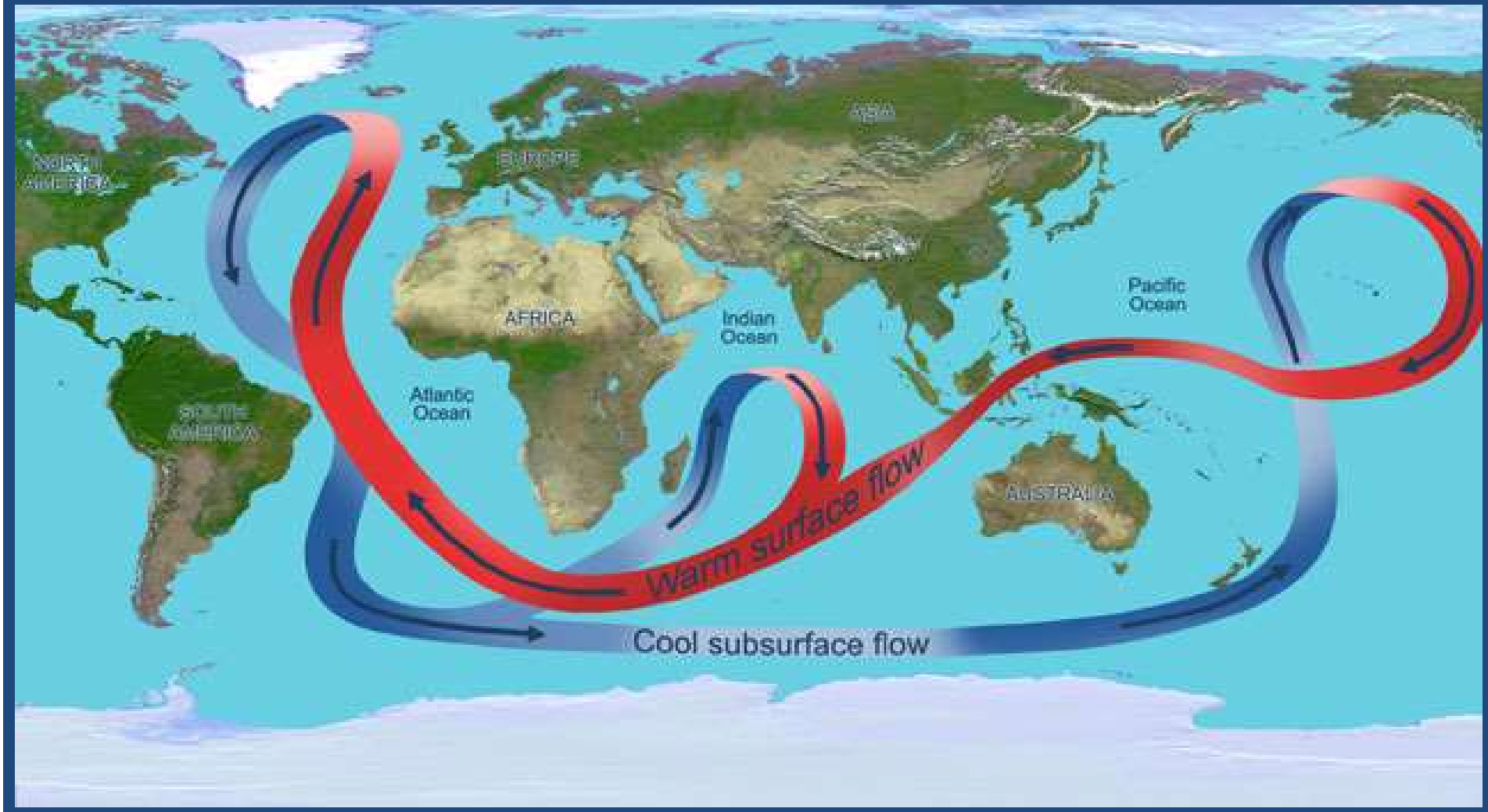
une gyre océanique est un tourbillon océanique formé par une série de courants (courants géostrophiques)



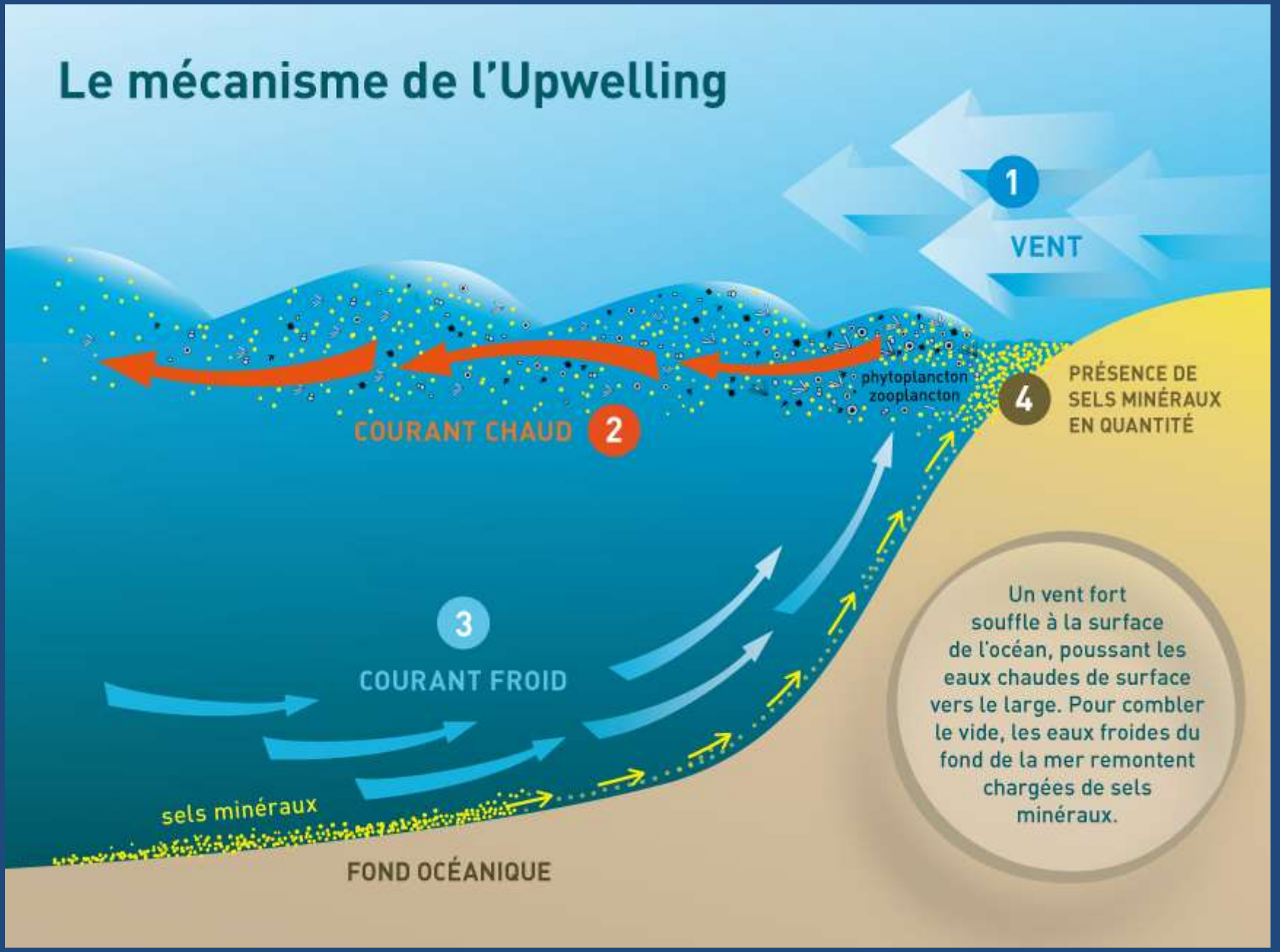
Gyre subtropical de l'Atlantique nord = Gulf Stream, courant du Labrador, courant du Groenland oriental, courant de l'Atlantique nord, courant équatorial de l'Atlantique nord

Circulation thermohaline

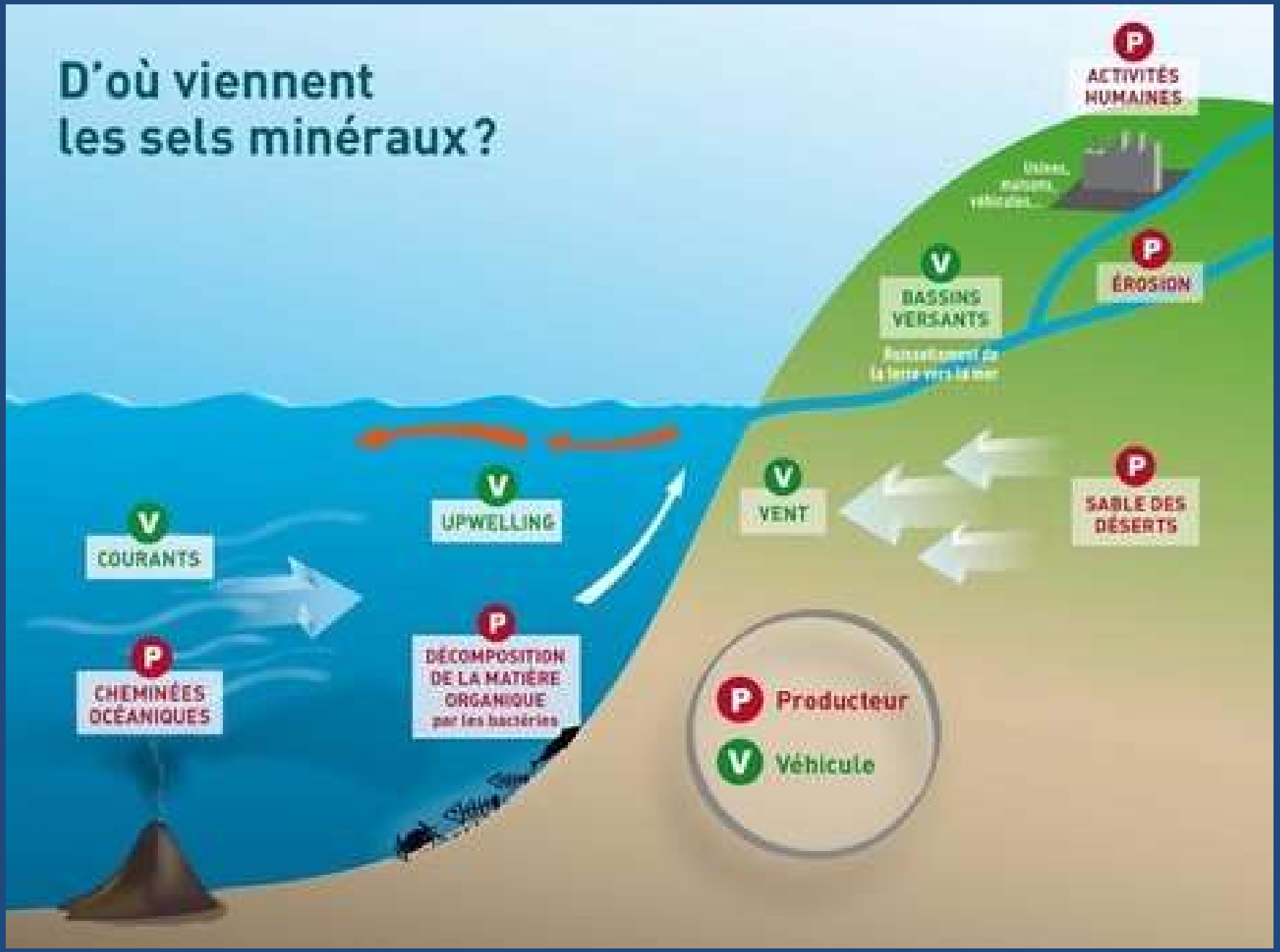
Le moteur est une différence de température et de salinité



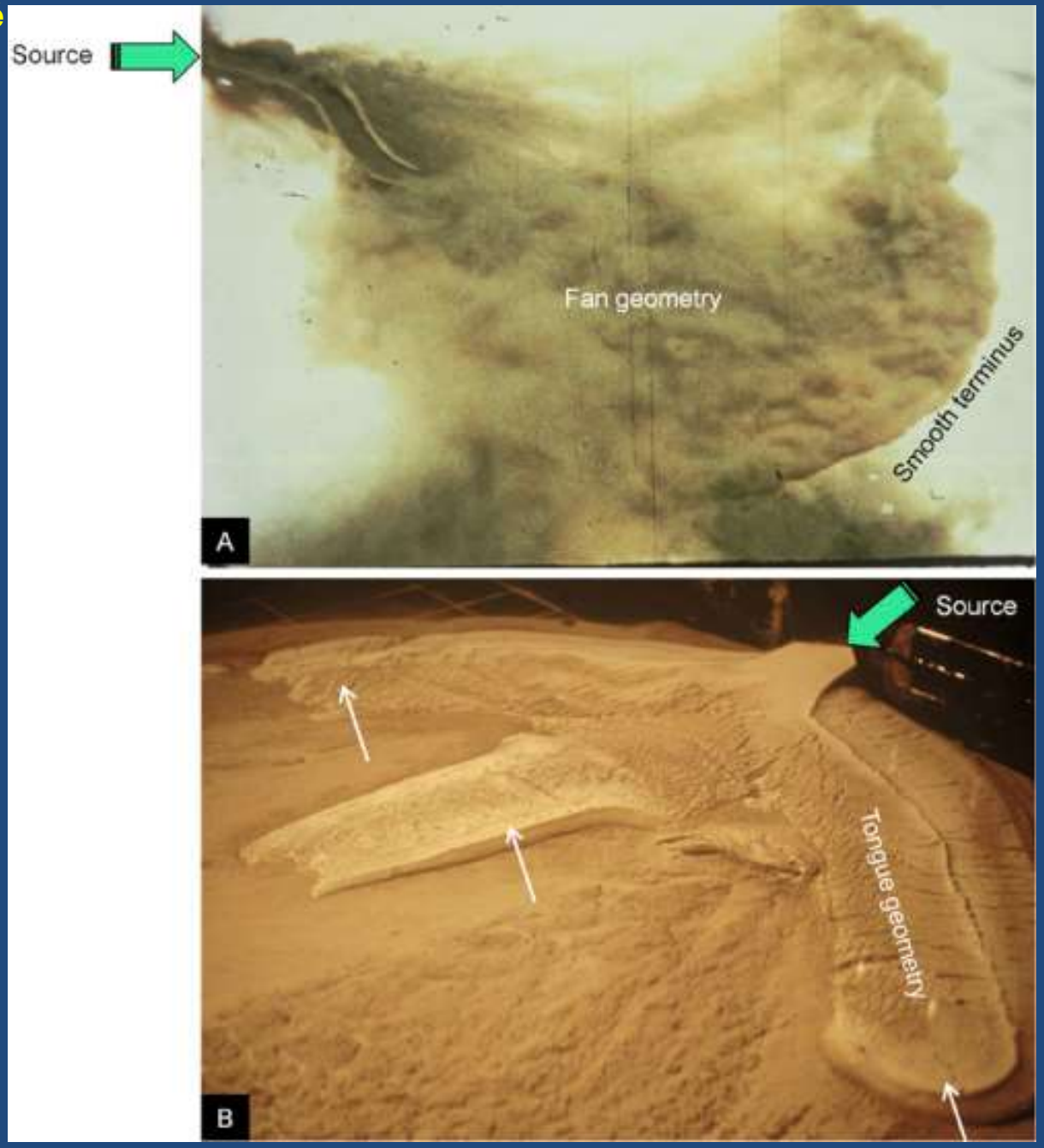
Courants océaniques



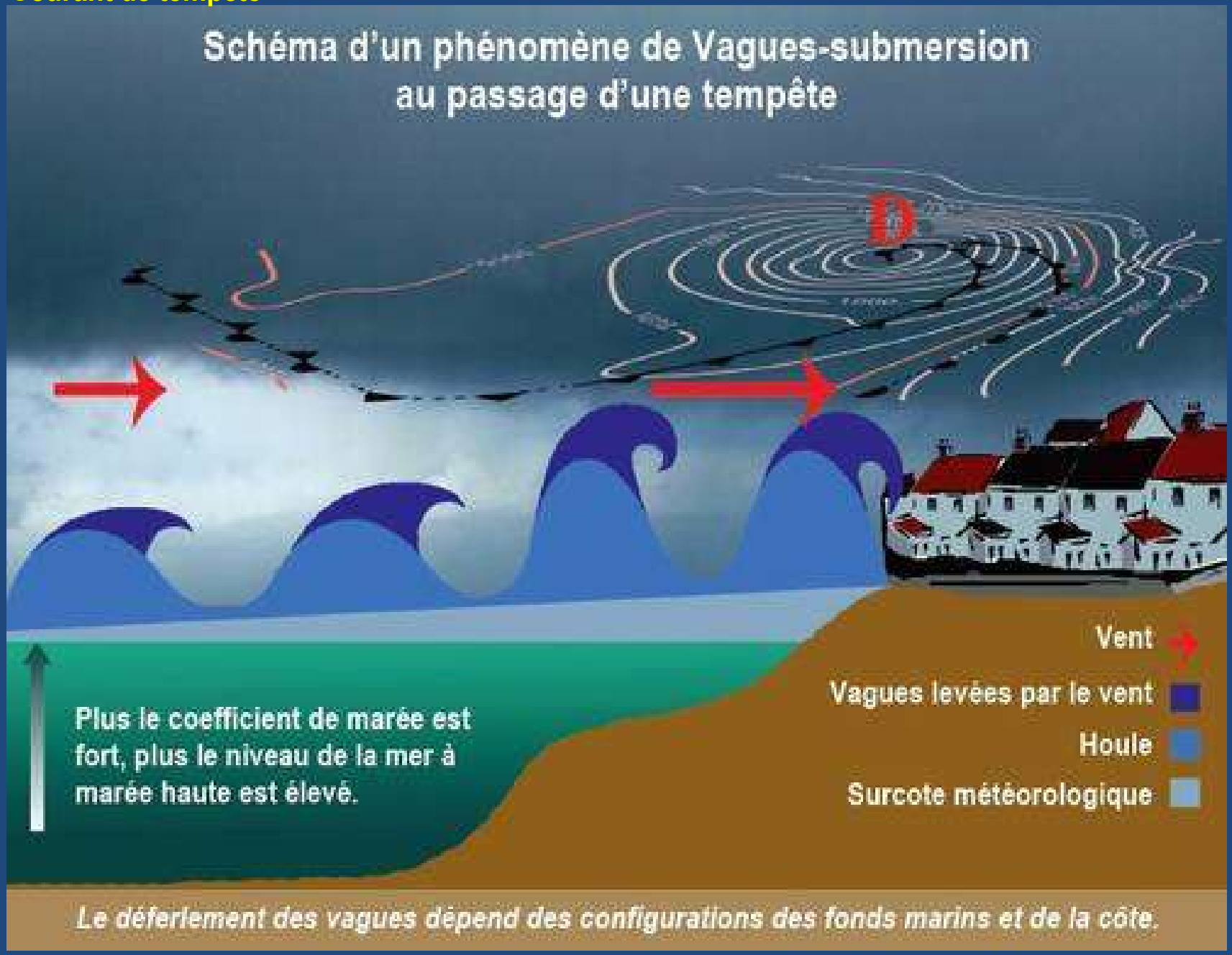
Courants ascendants «upwelling»


D'où viennent
les sels minéraux ?
P
ACTIVITÉS
HUMAINES
Usines,
maisons,
véhicules...
V
BASSINS
VERSANTS
Ruissellement de
la terre vers la mer
P
ÉROSION
V
UPWELLING
V
VENT
P
SABLE DES
DÉSERTS
V
COURANTS
P
CHEMINÉES
OCÉANIQUES
P
DÉCOMPOSITION
DE LA MATIÈRE
ORGANIQUE
par les bactéries
P Producteur
V Véhicule

Courant de turbidité



Courant de tempête



IV. CHIMISME ET TEMPERATURE DES EAUX MARINES

1. Composition chimique

- Sels dissous et gaz ;

- O_2 et CO_2 jouent un rôle déterminant dans l'activité biologique et le faciès des sédiments;

- Les sels minéraux dissous proviennent de l'altération continentale et de l'hydro-thermalisme.

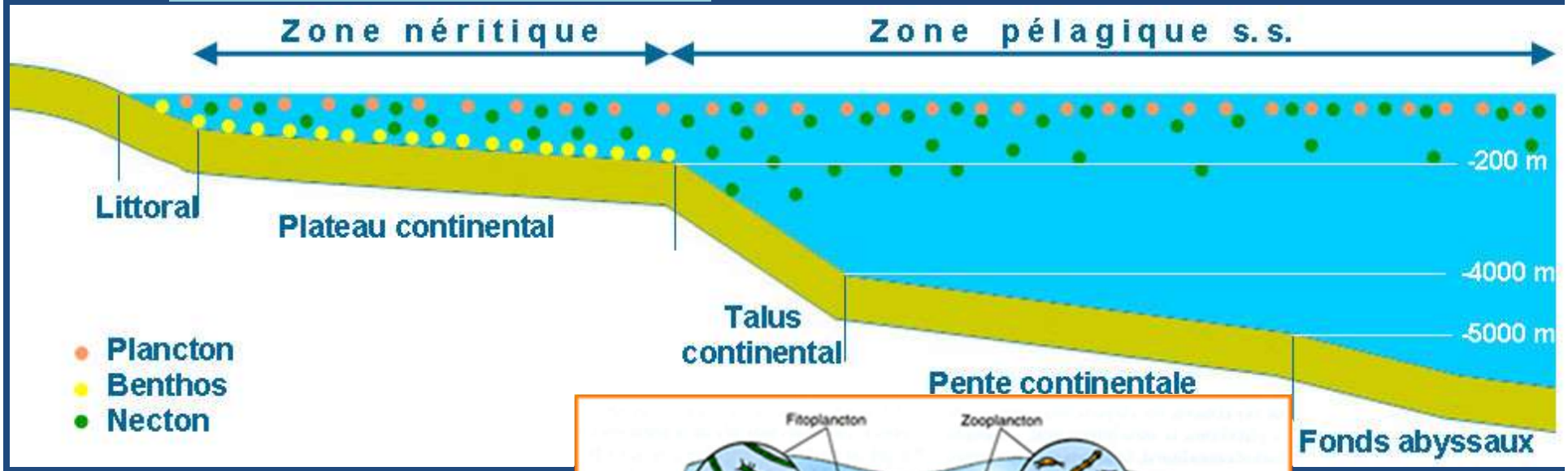
2. Température

- Elle varie en surface en fonction de la latitude et des saisons,

- Elle voisine 0°c à partir de -3000 m.

V. LES ZONES DE VIE DU MILIEU MARIN

1. Répartition des organismes



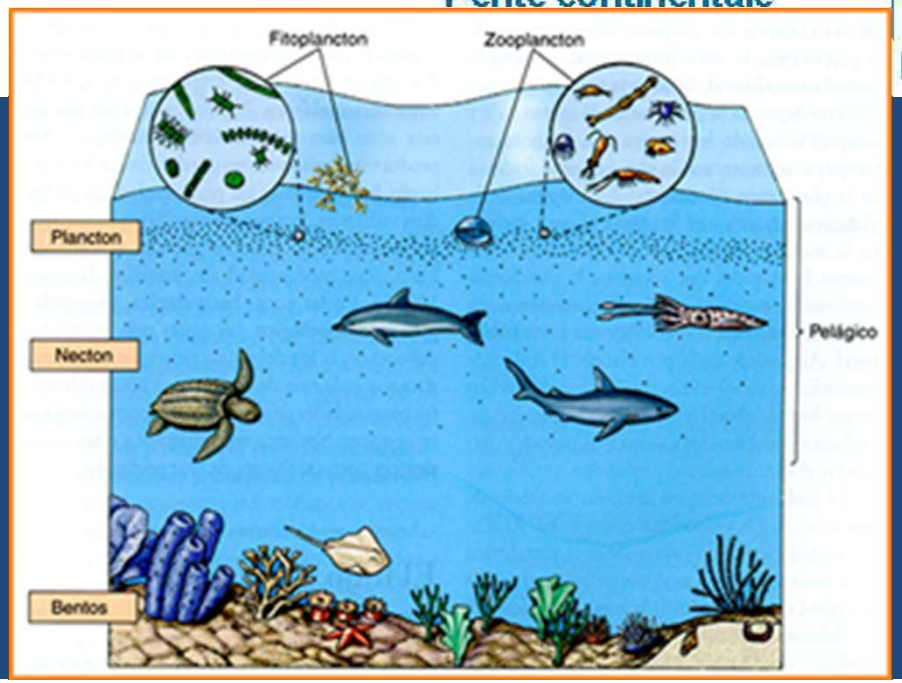


Fig.7. Répartition des organismes en domaine marin

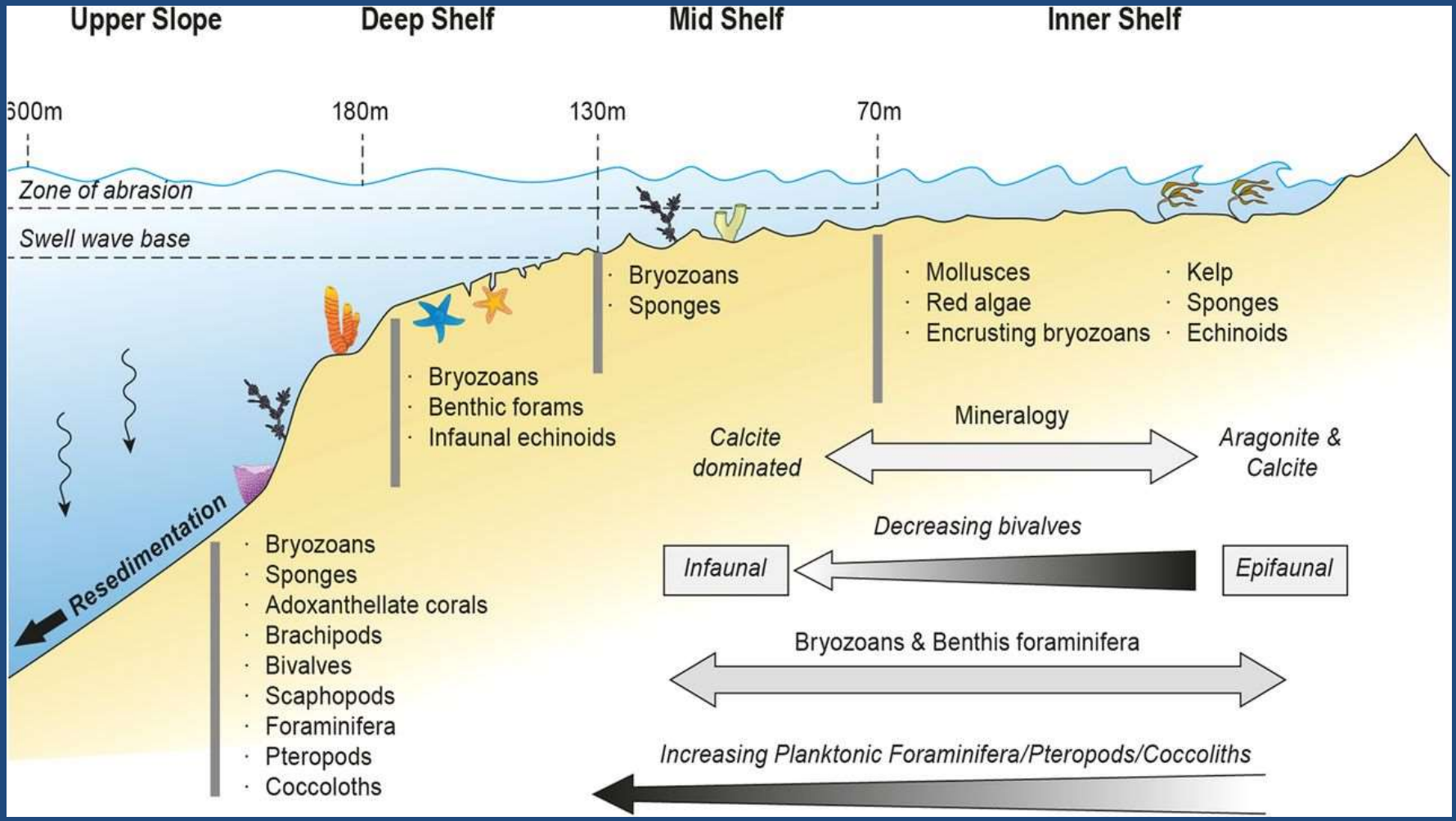


Fig. 7bis. Zonation biologique et espèces de la plate-forme australienne sud (Boreen et al. 1993).

2. Rôle des organismes

- Le benthos littoral et le phytoplancton dégagent de l'**oxygène** par photosynthèse et enrichissent de ce gaz la couche d'eau superficielle;
- Le zooplancton et le necton, et les organismes chlorophylliens en l'absence de lumière, sont des consommateurs d'**oxygène** par respiration: il y a donc un équilibre biologique dans la masse d'eau ;
- Plancton et benthos peuvent prélever certains ions et les combiner dans leur coquille, test ou squelette: Ca^{2+}, Si^{4+}, $CaCO^{3}$, … ;
- A la mort des organismes, ces corps s'**accumulent** sur le fond et forment des roches: **calcaire**, **radiolarite**, …
- Les organismes fournissent également la **matière organique**, qui par décomposition donnent des roches carbonées: **pétrole**, **gaz**.

VI. LA SEDIMENTATION LITTORALE SILICO-CLASTIQUE

1. Les milieux littoraux

- Le littoral = ligne de côte + la plate-forme littorale.
- La ligne de côte = plages + falaises + la partie du continent soumise ± directement à l'action de la mer: dunes littorales, marais côtiers, estuaires...

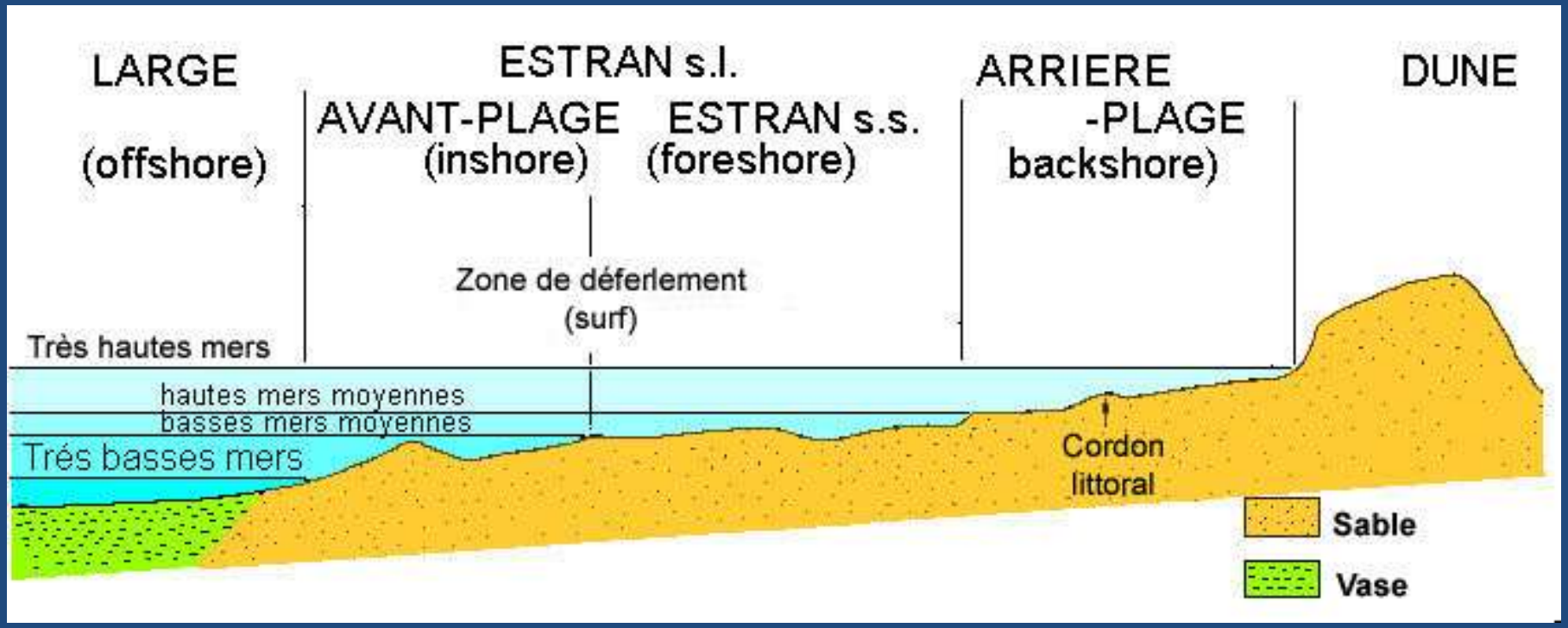


Fig. 8. Zonation des milieux littoraux néritiques.

2. La ligne de côte

a. Les côtes rocheuses

- Erosion et absence de dépôt;
- Les matériaux arrachés sont emportés par les courants littoraux puis s'accumulent dans des "rentrants" protégés de la côte.
- Les organismes participent à l'érosion des côtes: les mollusques lithophages, certaines 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.



A: cordon de galets en haut de plage; la mer est à gauche de l'image; B: détail du cordon reposant sur le sable de la plage; remarquer les marques de ruissellement ("rill marks") sur le sable.

b. Les plages

- 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, quelquefois plusieurs, parallèle au rivage (Fig. 9).

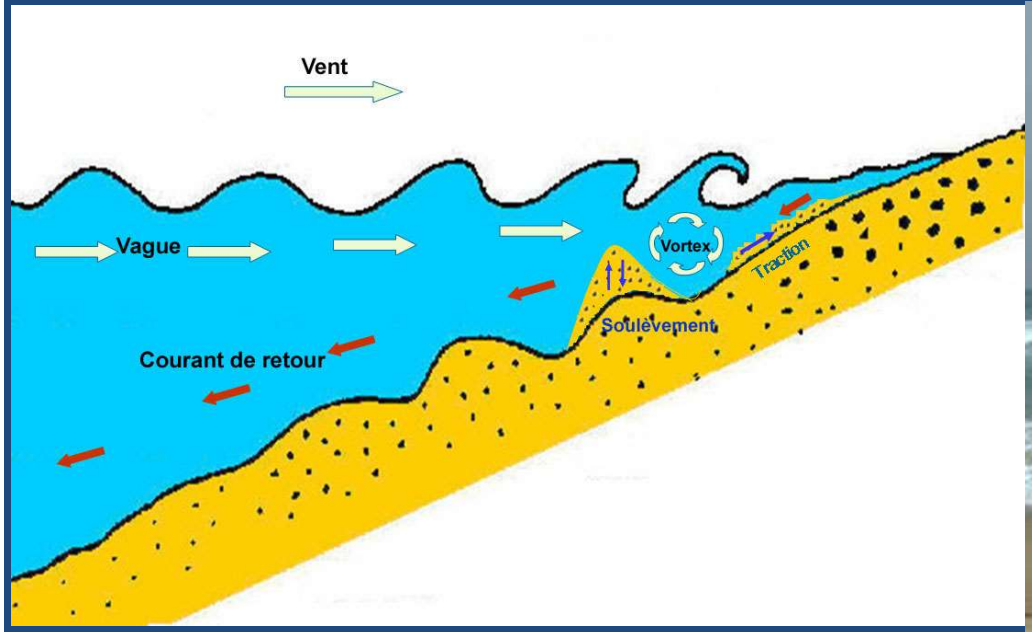
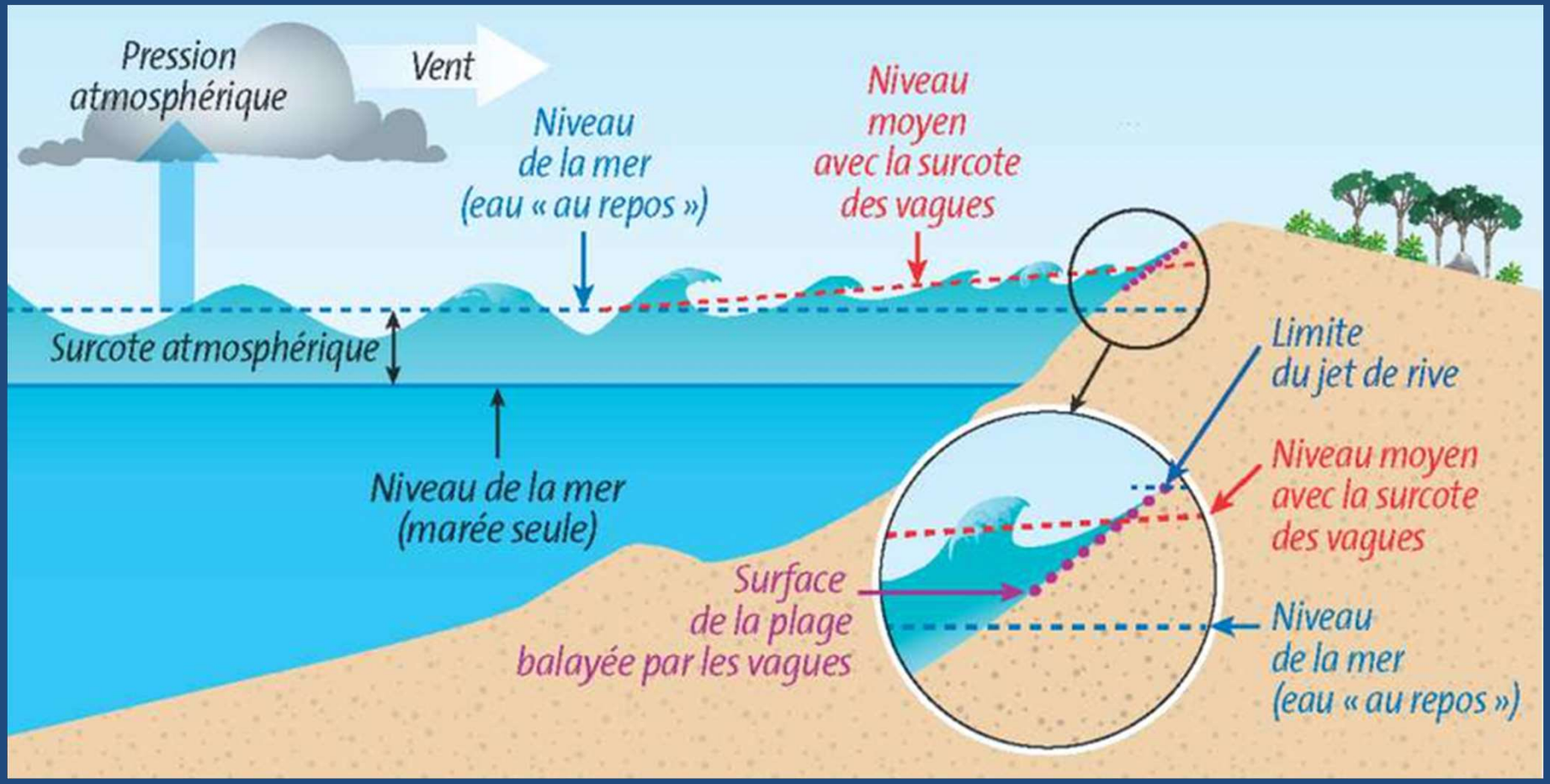


Fig. 9. Déplacement des matériaux dans la zone de déferlement.



Fig.10. Déferlement de vagues sur la côte atlantique du Maroc (plage de Moulay Bouselham,).



Principaux phénomènes physiques contrôlant le niveau d'eau ; ce schéma n'est pas à l'échelle. Source : BRGM.



Déferlement de vagues et jet de rive

Après déferlement de vagues sur les côtes, lorsque la houle est faible on a une longueur d'onde (λ) 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.11). Par contre si (λ) 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. 11).

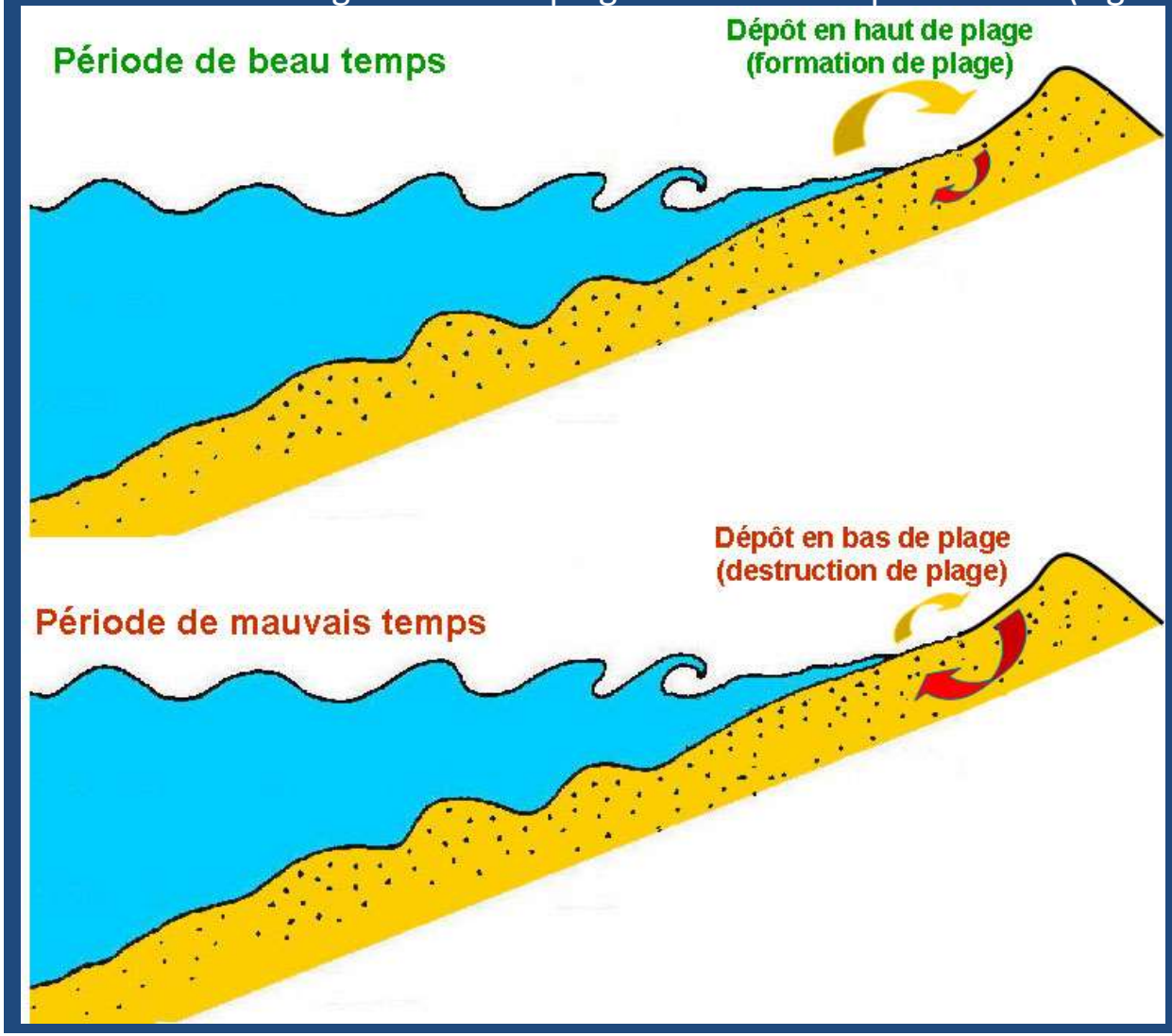


Fig. 11. Formation et destruction d'une plage.

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***. Il en résulte des transports longitudinaux de sédiments et des conséquences morphologiques importantes (Fig. 11) :



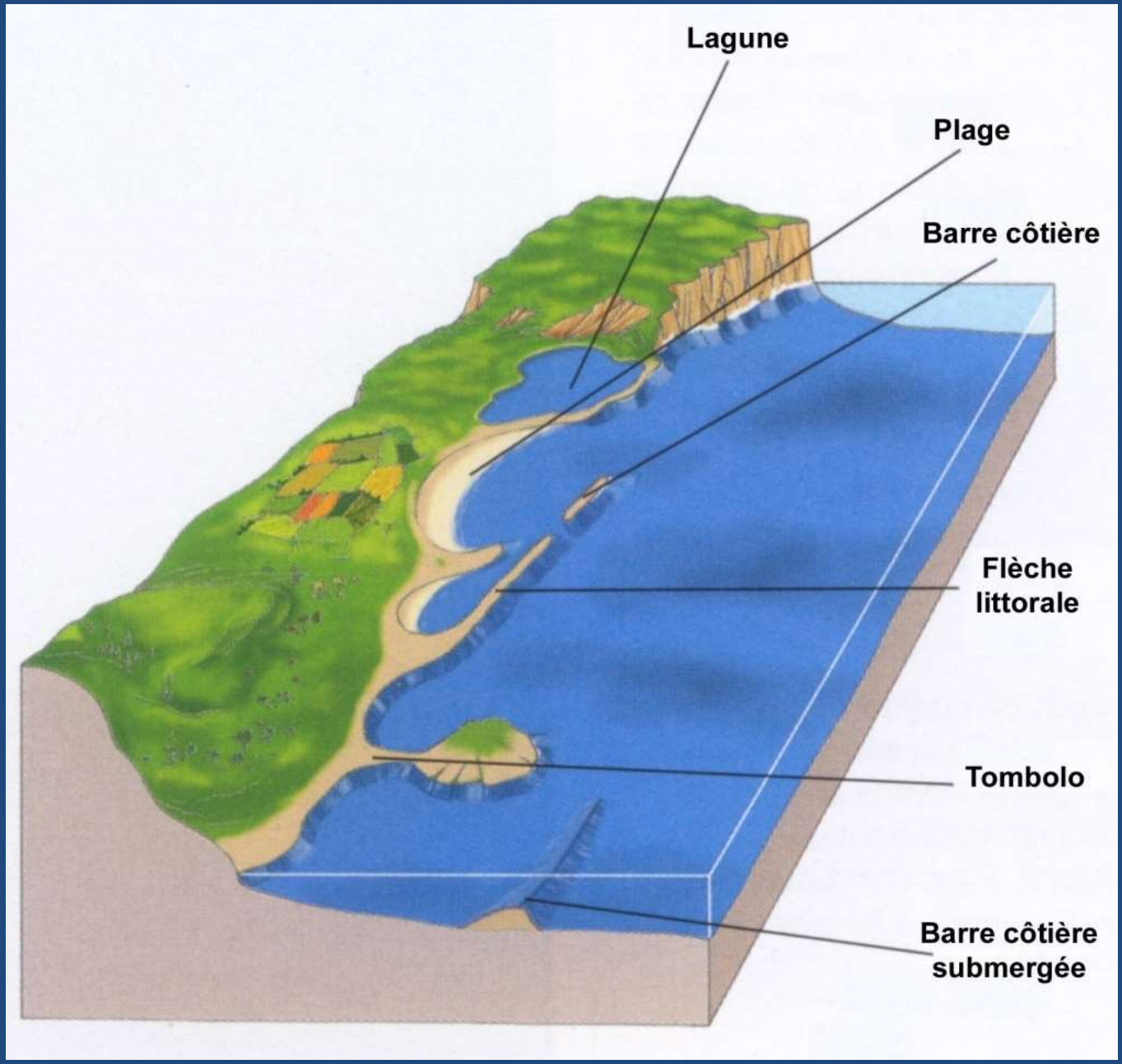


Fig. 12. Zone côtière à plage, flèche littorale, tombolo et barres côtières

- ***Flèche littorale***

Flèche littorale, My Bouselhame, Maroc



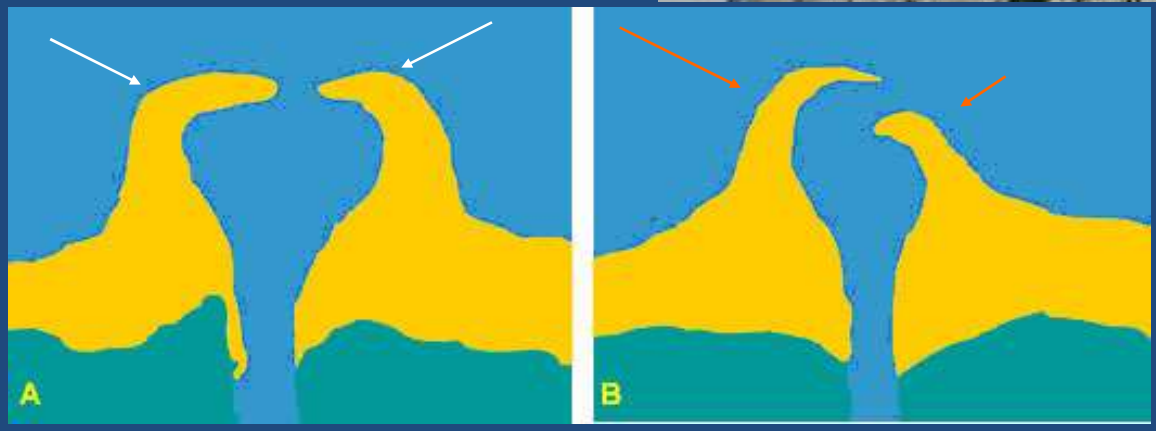


Fig. 13. Flèches littorales. A : flèches littorales en tenaille, B : flèches littorales en bec de Perroquet.

- ***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.

- ***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.12, 14B).



Fig. 14. A: Flèche sableuse aux Sables d'Or et B: tombolo derrière l'îlot Saint-Michel (Bretagne).

De plus en plus l'intervention humaine a tendance de supprimer ces transites littoraux qui peuvent être une des causes d'inondation en période de crue ou de tempête par fermeture partielle des embouchures de rivières. Pour l'étude de ces transites littoraux, on peut utiliser :

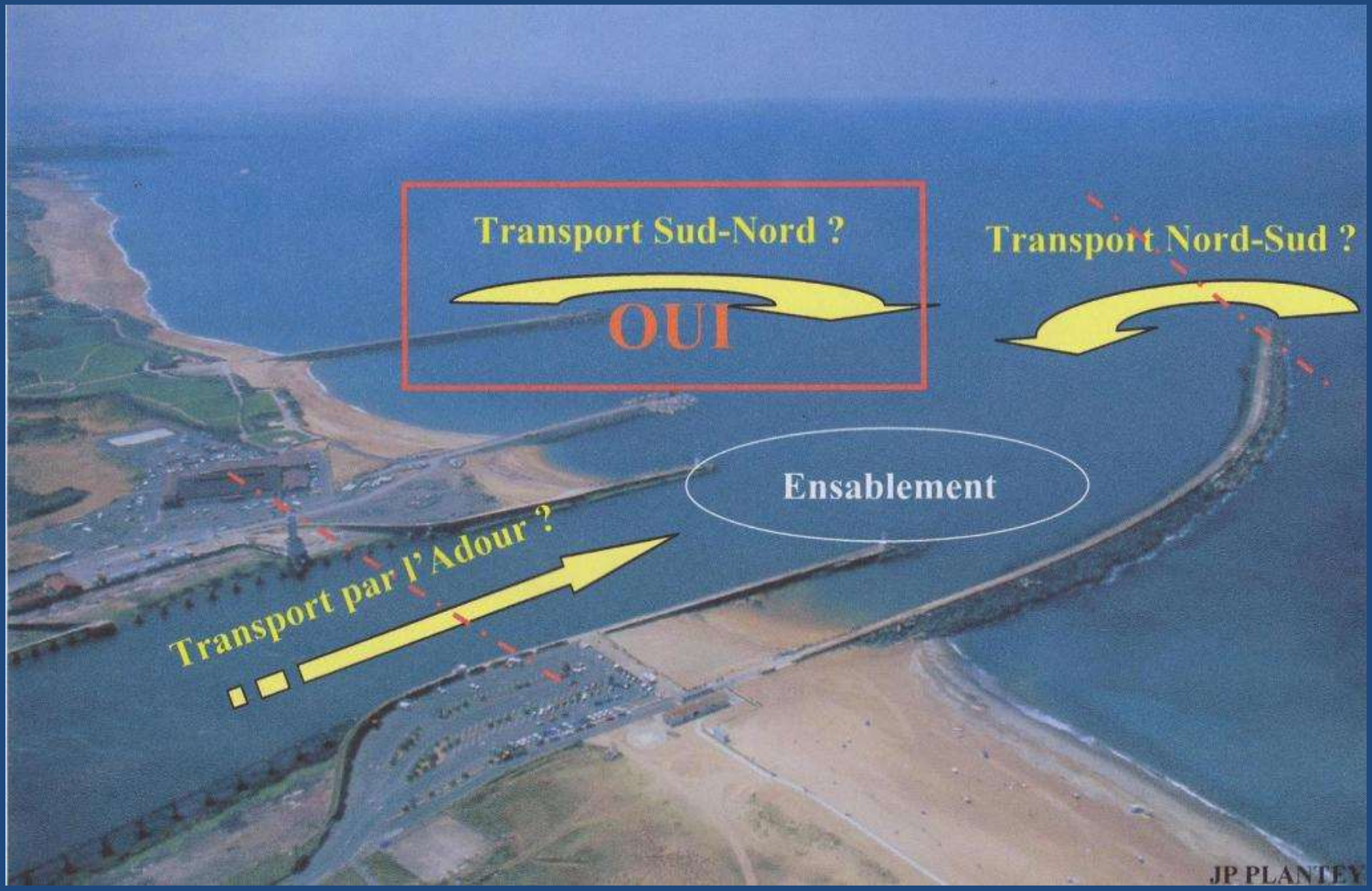
- Le marquage des sédiments par des grains luminescents ;
- Défense frontale : construction d’un mur en béton;
- Défense transversale: implantation d’épis en bois.



Enrochement



Implantation d’épis en bois


Transport Sud-Nord ?
OUI
Transport Nord-Sud ?
Ensablement
Transport par l'Adour ?
JP PLANTEY

- ***Zonation***

  En direction du large l'hydrodynamisme diminue et la taille des matériaux également. Le type des sédiments dépend de la nature de la côte (Fig. 9-10) :

- ***En dune côtière :***

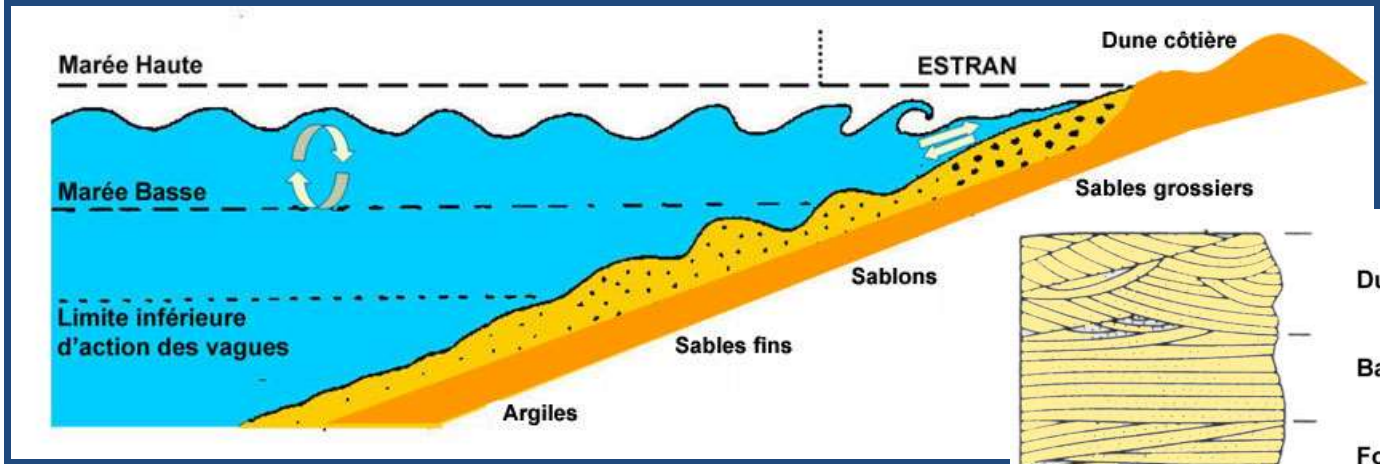


Fig. 15. Répartition des éléments détritiques sur une plage en fonction de l'hydrodynamisme dans le cas d'une côte à dune

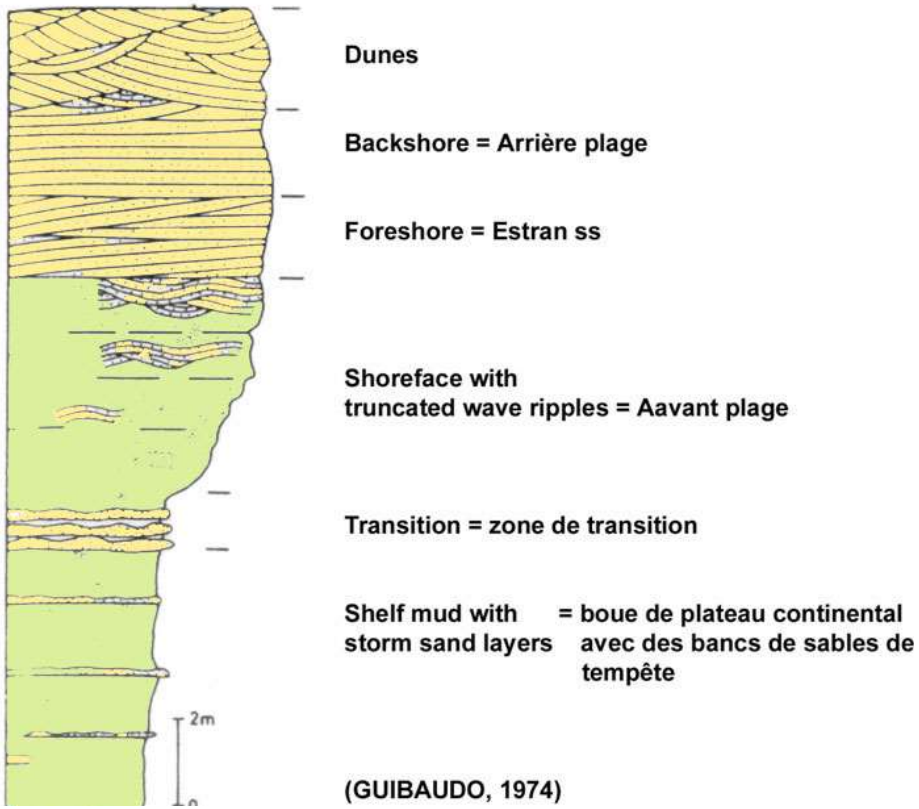


Fig. 16. Séquence de zone littorale, dune côtière (Guibaudo, 1974)

- ***Côte à falaise***

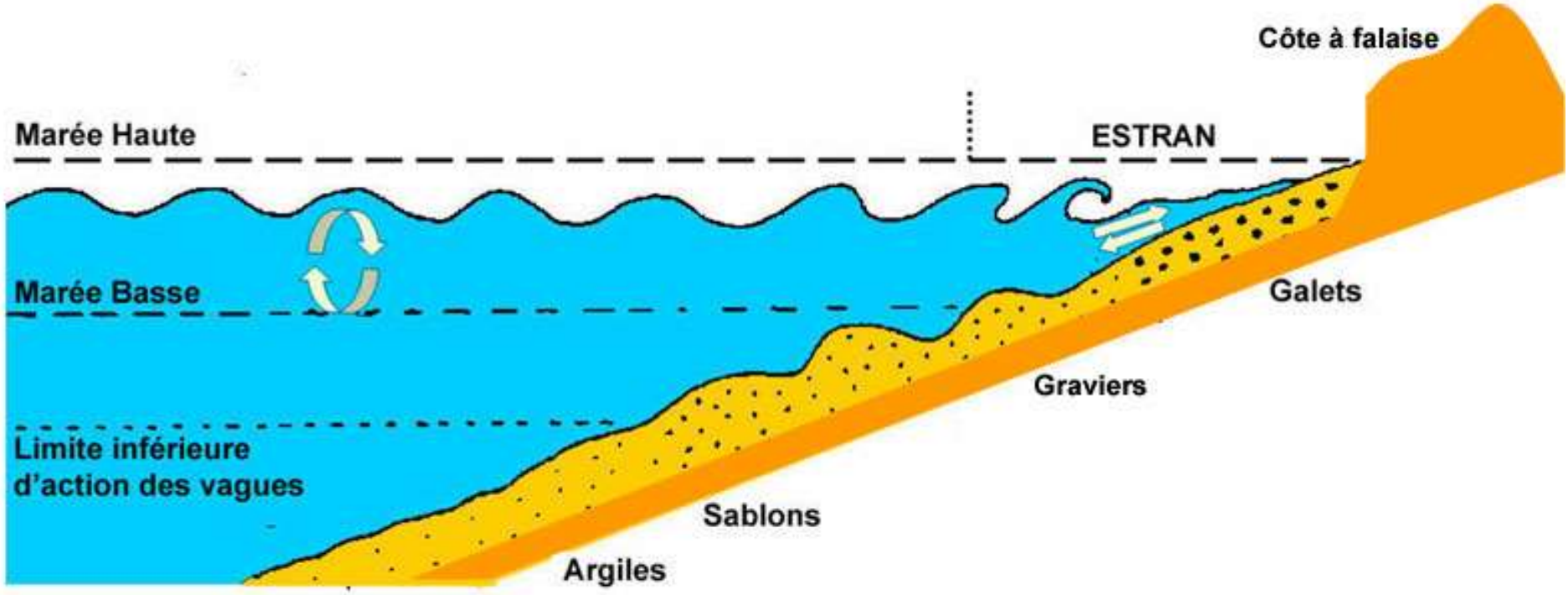


Fig. 17. Répartition des éléments détritiques sur une plage en fonction de l'hydrodynamisme dans le cas d'une côte à falaise

Les vasières

Dans les parties protégées du littoral, l'hydrodynamisme est plus faible et les particules fines se déposent (les estuaires et les fond de baies). La morphologie est particulière; deux zones sont distinguées:

- **Le *schorre*** = zone supratidale: marécages garnis de végétation herbacée et parcourus de chenaux tidaux. Il s'y dépose un sédiment silto-argileux laminé, riche en matière organique appelé tangue.



Marais maritimes. A: vue générale montrant un chenal à marée basse (Ile Grande, Bretagne); B: détail d'un chenal à marée haute (Paimpol, Bretagne).

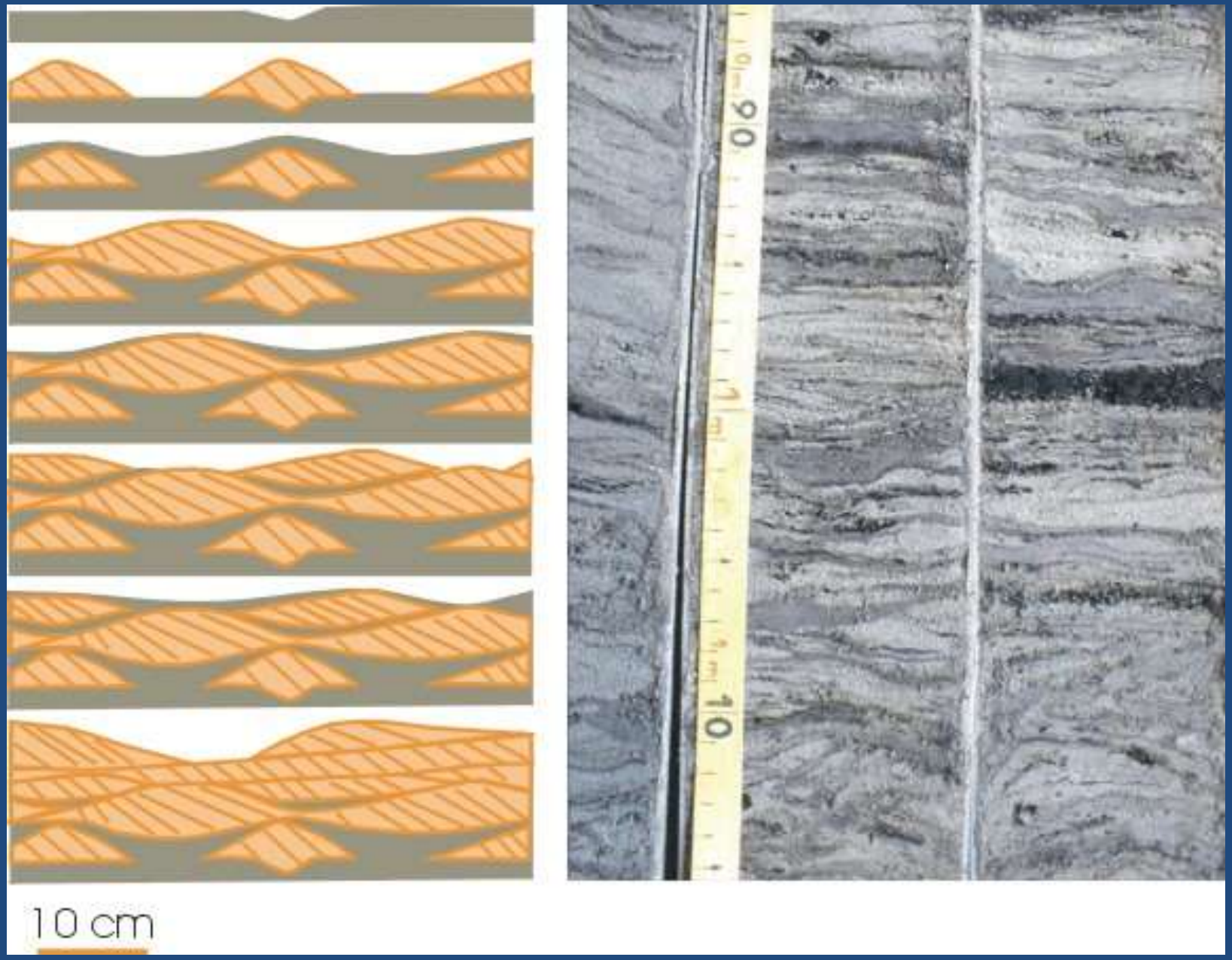


Alternance de dépôts argilo-sableux (gris) et de tourbe (noir) dans un sondage recoupant l'Holocène de la plaine maritime belge

- **La *slikke*** (*tidal flats*) contient la vase de la zone intertidale : traversée par des chenaux à courant de jusant où se déposent des dépôts sabloneux à structures hydrodynamiques traduisant la cyclicité des marées. 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 et ,
- 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.



A gauche: formation de lenticular, wavy, puis de flaser bedding, dans un régime où l'apport de sédiments fins (vert) diminue progressivement au dépend des sédiments plus grossiers (orange). A droite: lenticular et wavy bedding dans des sédiments holocènes de la Mer du Nord.

3. La plate-forme continentale

3.1. Faciès et structures sédimentaires

- plate-forme continentale = zone subtidale
- Les **sables** donnent des **grès** à structures de courant souvent bidirectionnelles. Les litages sont plans parallèles, plans faiblement obliques, en auge et entrecroisés, structures en mamelon (HCS)
- Les **vasières** littorales donnent des **siltites** et **shales** généralement noires, rouges après oxydation, et riches en bioturbations ou débris de coquilles.

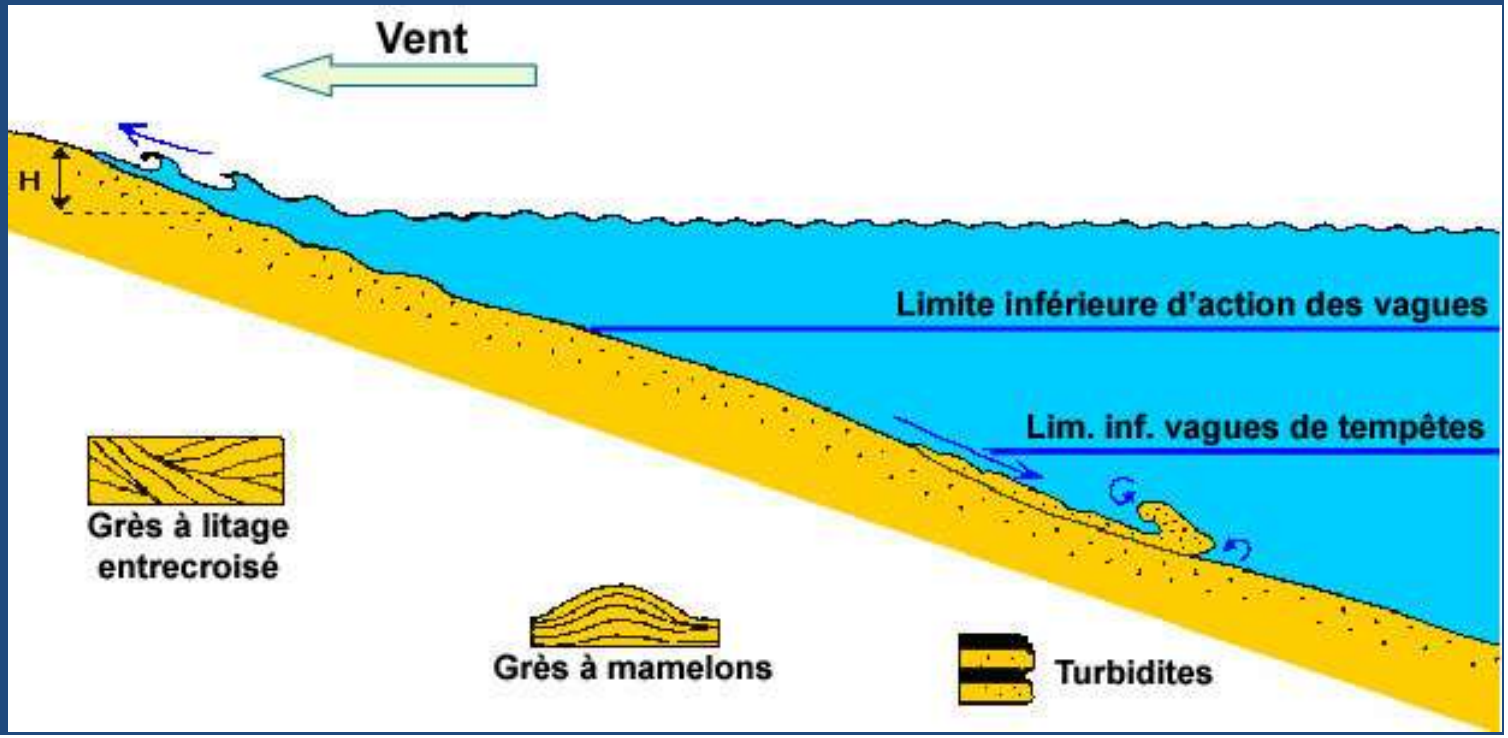


Fig. 18. Roches formées sur une plate-forme pentée soumise à l'action des vagues.

3.2. Les séquences sédimentaires

- L'accumulation sédimentaire en un point donné d'une PFC est régit surtout par les variations de la hauteur de la tranche d'eau au cours du temps. Celles-ci sont contrôlées par:
- les pulsations de l'expansion océanique,
- le glacio-eustatisme,
- l'importance et le rythme de la subsidence,
- le contexte tectonique des bordures océaniques, etc.
- Résultat: dépôt de séquences à tendance transgressive, régressive ou aggradante (Fig. 19).

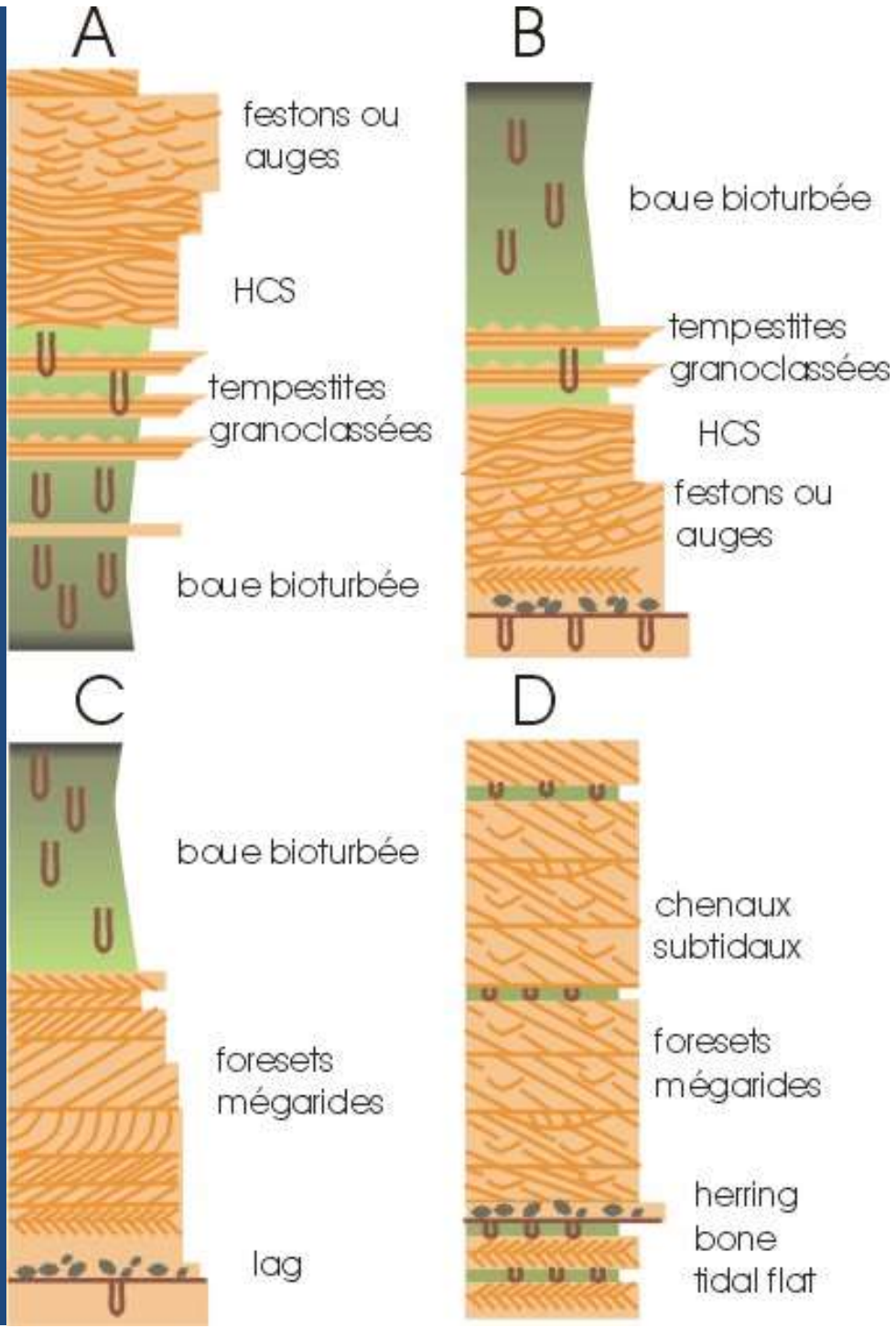


Fig. 19. Quatre séquences typiques de plate-forme siliciclastique. A: plate-forme progradante (régressive) de type "storm-dominated"; B: plate-forme rétrogradante (transgressive) de type "storm-dominated"; C: plate-forme rétrogradante (transgressive) de type "tide-dominated"; D: plate-forme aggradante de type intermédiaire.

Eléments diagnostiques des dépôts sableux de plate-forme

- Association avec des dépôts côtiers, voire des dépôts de bassin;
- Faciès: corps sableux lenticulaires (parfois de grande dimension) au sein de sédiments plus fins (argiles, shales). Sédiments matures, souvent bien classés: quartz, fragments de coquilles, glauconite. Nombreuses figures sédimentaires dont: HCS, stratification inclinée à grande et petite échelle, lits granoclassés (tempestites), etc. ;
- La séquence progradante type est la suivante: boues bioturbées, boues à niveaux sableux de tempêtes, sables à HCS, mégarides à stratifications en auges ou inclinée;
- Fossiles: caractère marin ouvert, non restreint.

3.3. Les tempestites

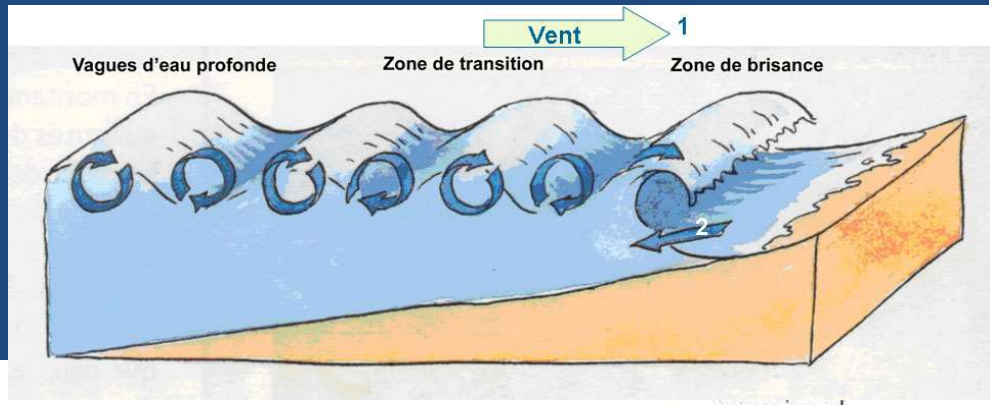


Fig. 20. Formation d'un courant géostrophique induit par la tempête. (1) le vent souffle en direction de la côte; (2) il cesse et l'eau reflue en profondeur.

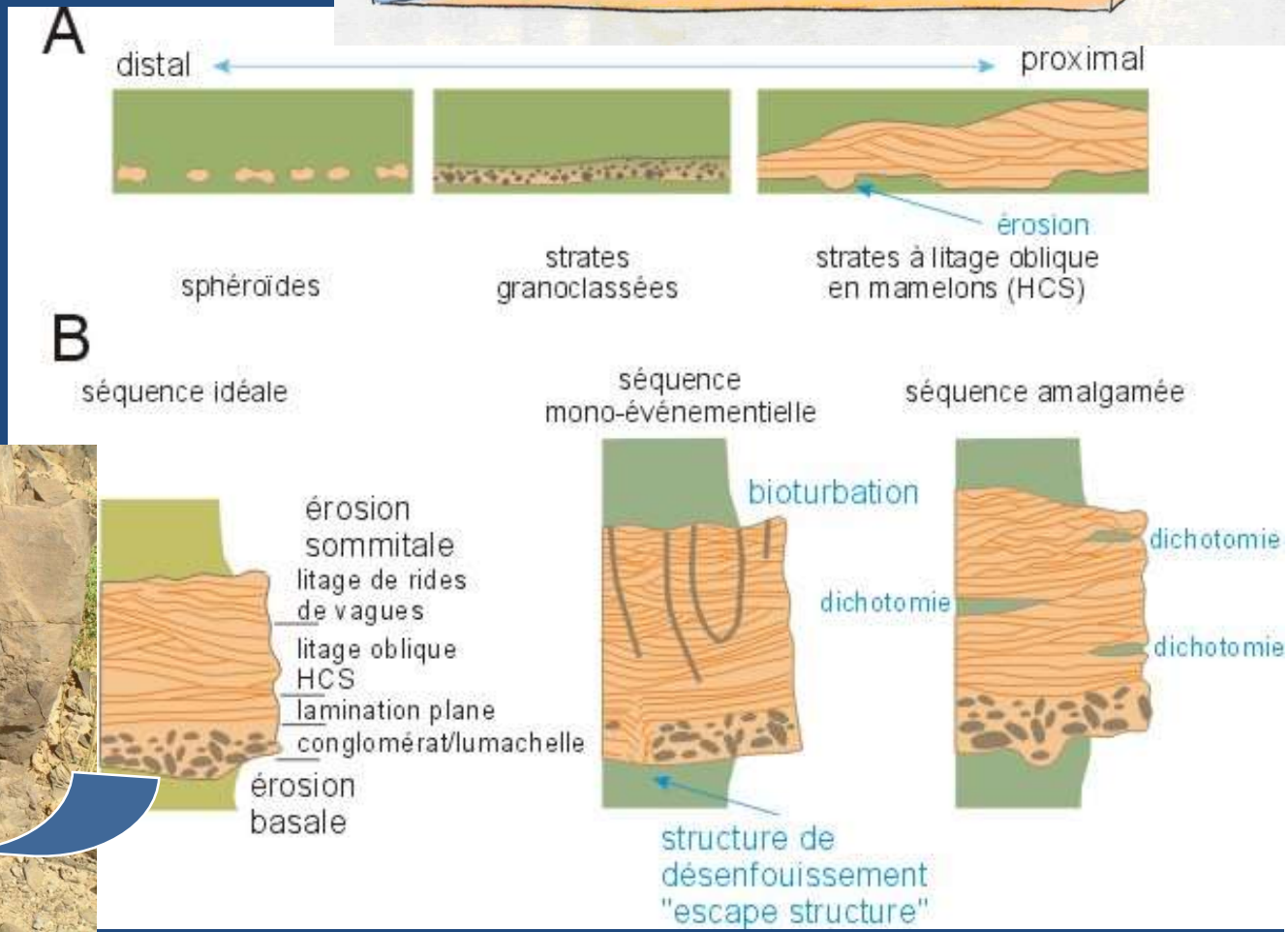


Fig. 21. A: position relative des trois principaux faciès des tempestites au sein d'un épandage sableux. B: séquences élémentaires à l'échelle de la strate pour plusieurs types de tempestites



Eléments diagnostiques des tempestites

- contexte général de plate-forme;
- base érosive à figures de base de banc de type sillons;
- présence de stratifications en mamelons et souvent absence de rides de courant.



Tempestites carbonatées amalgamées, Viséen supérieur, Bassin de Jerada, Maroc oriental (Berkhli, 1993).



Stratifications en mamelon (hummocky cross stratification : HCS), Mississippien de la région d'Agouraï, Maroc central (Berkhli, 1999)

VII. SEDIMENTATION DE PLATE-FORME CARBONATEE

Deux modèles peuvent être distingués:

- **FORAMOL** : association de foraminifères et de mollusques qui s'étend entre 60° et l'équateur ;
- **CHLOROZOAN** : chlorophytes + zoanthaires (Algues vertes, Coraux, …). Se limite aux latitudes inférieures à 30° et disparaît sous la zone photique.

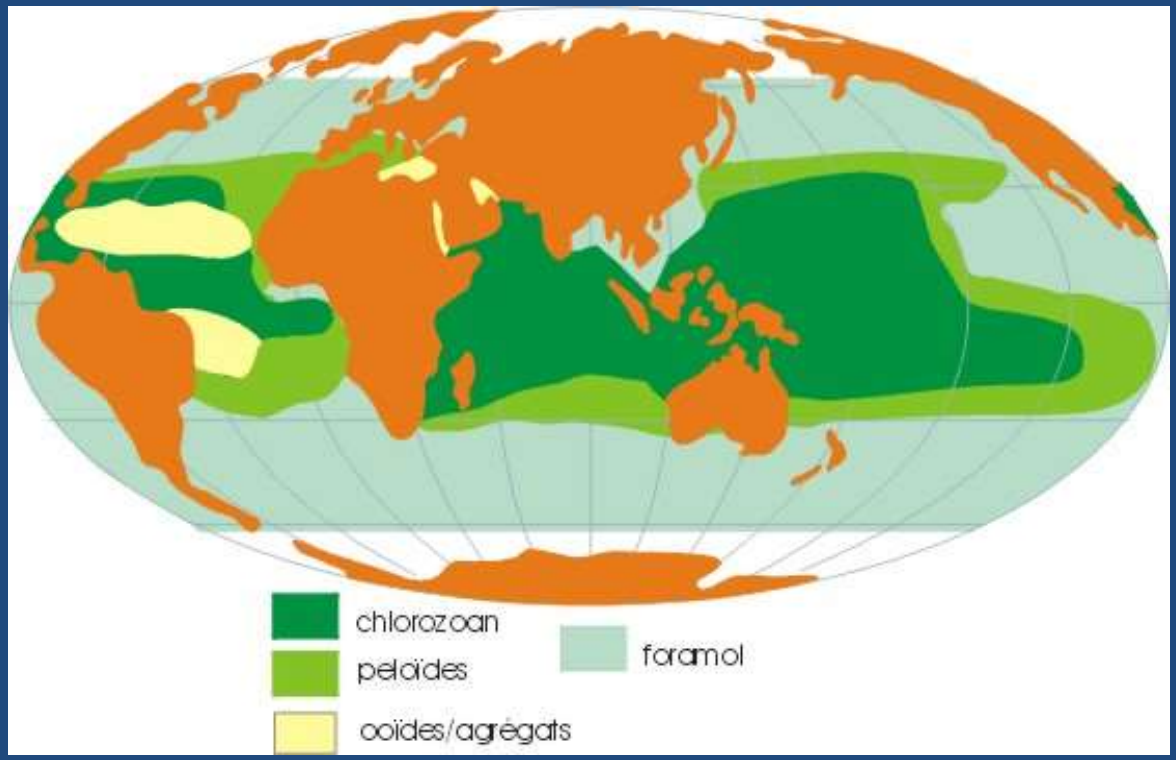


Fig. 25 - répartition des assemblages "foramol" et "chlorozoan" dans les mers et les océans et comparaison avec la répartition de grains caractéristiques

A. LES PLATES-FORMES CARBONATEES TEMPEREES

- Elles sont actuellement nettement moins connues que leurs homologues tropicales.
- les principaux groupes d'organismes représentés dans les sédiments y sont:
- **Les animaux**: les mollusques, les foraminifères benthiques, les échinodermes, les bryozoaires, les ostracodes, les spicules (calcaires) d'éponges, les tubes de vers et les coraux hermatypiques,
- **Les plantes**: les algues rouges (*Lithothamnium*).
- Les **foraminifères** et les **mollusques** étant généralement **dominants**.
- En ce qui concerne les **grains non squelettiques** (péloïdes, ooïdes, aggrégats,...), ils semblent être largement liés à l'association **chlorozoan**, sauf peut-être pour les péloïdes qui peuvent déborder sur l'association foramole.
- La **micrite** est constituée d'**aragonite** et de **calcite magnésienne** dans le domaine **tropical**, tandis qu'en domaine tempéré, l'aragonite devient beaucoup plus rare.
- La **cimentation** est faible en milieu tempéré.

B. LES PLATES-FORMES CARBONATEES TROPICALES

1. Les facteurs du milieu

L'action différentielle de certains facteurs de l'environnement sur les plates-formes carbonatées permet de définir un certain nombre de sous-environnements (Fig.2). Ces facteurs particuliers sont:

a. La morphologie de la plate-forme

- contrôlée essentiellement par l'**existence**, l'**absence** ou la localisation variable d'une **barrière** ou d'un haut-fond plus ou moins continu (Fig. 26, 27);
- Cette barrière revêt une géométrie et une nature variable et complexe;
- Elle a une influence directe sur le niveau d'**énergie**, le **chimisme** des eaux (salinité, oxygénation) et **l'activité biologique**;
- Elle entraîne la distinction entre un milieu de plate-forme **interne** et un milieu de plate-forme **externe** ou de **bassin**.
- En l'absence de rupture de pente nette, la profondeur augmente de façon progressive depuis le littoral jusqu'au bassin: on parle alors de **rampe**.

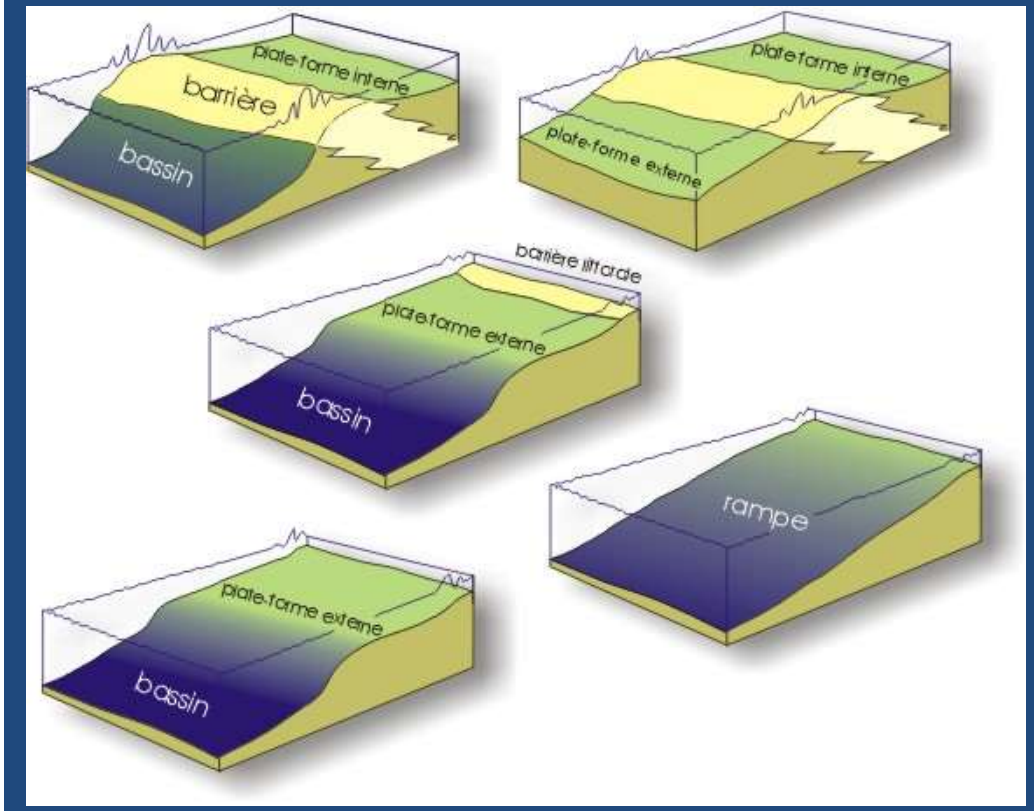


Fig. 22. Morphologie des rampes et plates-formes carbonatées

PLATE-FORME AVEC BARRIERE	RAMPE
rupture de pente	pas de rupture de pente
présence d'une barrière continue	pas de barrière continue
énergie forte près de la barrière, diminue vers le rivage	énergie forte près du rivage, formation de bancs ("shoals")
barrière=surtout framestones	bioconstructions=surtout bafflestones, bindstones
turbidites, blocs exotiques provenant de la barrière	peu de turbidites, pas d'olistolithes, tempestites
sédiments lagunaires cycliques de grande extension géographique	sédiments restreints peu étendus, non cycliques.

Fig. 23. Exemples de différences sédimentologiques entre rampe et plate-forme s.s.

b. *Les facteurs dynamiques*

- vents, courants de vagues et de marées ⇒ Tri granulométrique
- Granulométrie et certains types de figures sédimentaires ⇒ Energie du milieu.

c. *Le chimisme des eaux*

La sursalure, le manque d'oxygénation des eaux entraînent de profondes modifications dans le contenu faunistique, ce qui peut conduire à distinguer:

- un milieu ouvert: la circulation des eaux marines n'est pas entravée;
- un milieu restreint: la circulation des eaux marines est entravée et en conséquence leur qualité subit des modifications plus ou moins importantes.

d. *L'influence de la lumière*

La pénétration de la lumière permet également de distinguer :

- un domaine photique et
- un domaine aphotique

e. Le contenu en nutriments des eaux

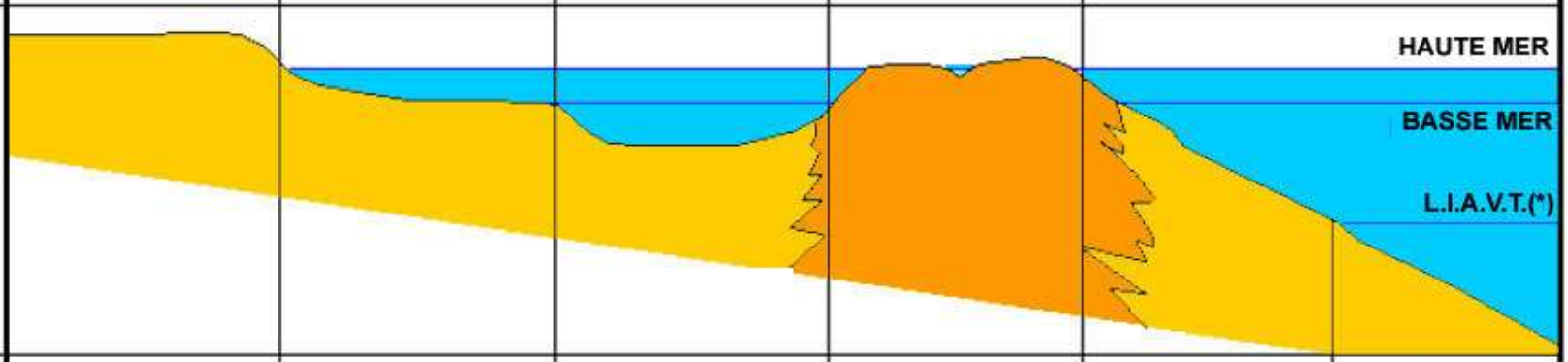
Il permet de distinguer :

- un environnement **oligotrophique**: coraux, **facteur limitant** : **nutriments**
- ,, ,, ,, ,, ,,, ,, ,, **mésotrophique**: coraux + algues, facteur limitant: **espace disponible**,
- ,, ,, ,, **eutrophique**: algues, facteur limitant: **lumière** + **profondeur de zone photique,**
- ,, ,, ,, ,, ,, **hypertrophique**: bactéries + matière organique, facteur limitant: **oxygène**.



Fig. 24. Communautés organiques et nutriments dans les eaux tropicales et équatoriales.

2. Les grands environnements de dépôt

MILIEUX	PLATE-FORME INTERNE			BARRIERE	PLATE-FORME EXTERNE	
ETAGE	Supratidal (supralittoral)	Intertidal (médiolittoral)	Subtidal (infralittoral)	Barre ou Barrière (Récif)	Marin ouvert (circalittoral)	
						
ENERGIE	variable	moyenne à basse	basse	trés forte	moyenne	basse
FAUNE	limnique saumâtre ou sursalée	benthique oligospécifique	benthique plus variée	constructeurs ou désert oolithique	benthique et Bryozoaires Echinodermes	pélagique
FLORE	Characées	Cynobactéries Stromatolites	Algues vertes Oncolites	Algues rouges		

(*) Limite Inférieur d'Action des Vagues de Tempêtes

Fig. 25. Zonation d'une plate-forme carbonatée avec barrière

3. Critères de caractérisation des milieux de dépôt

a. Critères liés aux facteurs biologiques

- **Cas de plate-forme à barrière:**

ces critères peuvent contribuer à distinguer les zones internes par rapport au reste du profil.

- **Cas de rampe:**

- La distinction entre plate-forme interne et externe est parfois difficile.

- Le passage peut être graduel et correspondre à une **limite d'énergie** entre un milieu peu profond et un milieu plus profond.

- La distinction entre ces milieux différents est alors basée sur **la fréquence** et l'oligospécificité d'**organismes benthiques** et d'**algues**, plus forte en plate-forme interne.

***b. Critères liés aux facteurs physiques (dynamisme des eaux)*:**

- Le niveau d'**énergie** est estimé en général en fonction de la **taille**, de la **densité** et de **l'angularité des grains** d'une part et de la présence ou non d'un **matériau fin** d'autre part (boue primaire).
- Les **variations du niveau d'énergie** seront définies par **estimation** de la **proportion** relative du matériau fin et des **grains**, en relation avec leurs caractéristiques **morphologiques** initiales.
- Dans le cas de plate-forme à barrière, le gradient des niveaux d'énergie est discontinu: la **plate-forme externe** et la **barrière** présentent des niveaux d'**énergie forts**, comparables à ceux de l'intertidal, alors que ceux de la **plate-forme interne** sont **faibles**.

VIII. LES RECIFS

A. TERMINOLOGIE

- Ils se développent dans les **eaux chaudes** et **claires**.
- Ils présentent des zones construites par des organismes (**Bioherme**) et des zones d'accumulation sédimentaire par des courants (**Biostrome**).
- Ils sont situés soit en bord de côte (récifs **fringeants**) soit plus au large (récifs **barrières**) (Fig. 30).

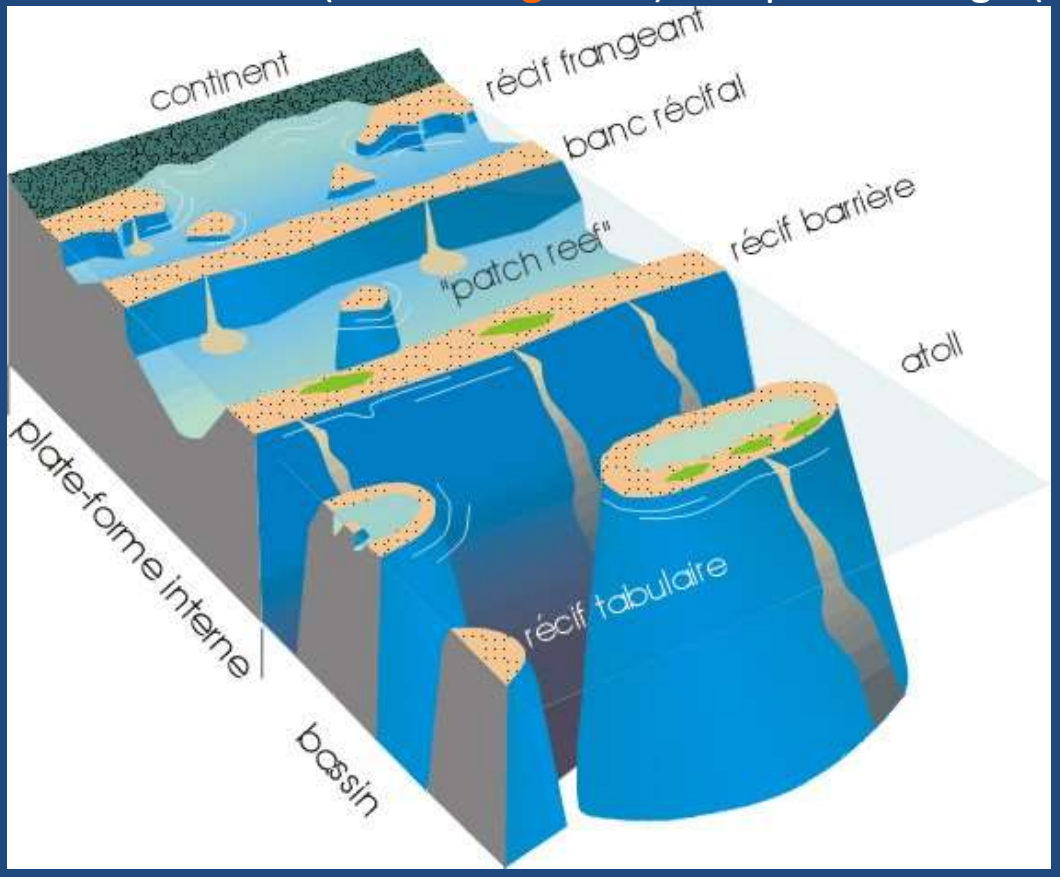


Fig. 27. Types de constructions récifales. D'après James & Macintyre, 1985, modifié.

- les "**bioconstructions**" = structures construites d'origine organique et;
- les "**bioaccumulations**" où des facteurs physiques sont responsables du dépôt (lumachelles, etc.).
- Dans les **bioconstructions**, on peut faire la part de **bioherme** et de **monticule récifal** .
- **Un bioherme** correspond à une ***bioconstruction*** calcaire en lentille ou en dôme édifiée sur place par des organismes constructeurs (Madréporaires, algues, bryozoaires, spongiaires, coraux, lamellibranches, …) édifiant une ***charpente rigide*** (susceptible de résister à l'action des vagues ou des courants).
- **Un monticule récifal** correspond à toute ***bioconstruction***, de forme grossièrement lenticulaire, ***sans charpente rigide***. Quatre types peuvent être distingués :
  - ***monticule microbien*** ("microbial mounds"),
  - ***monticule micritique*** ("mud mounds"),
  - ***monticule squelettique*** ("skeletal mounds"),
  - ***monticule à éponge*** ("sponge mounds").
- **Un biostrome** correspond à toute ***bioaccumulation*** formée d'éléments calcaires coralliens triés et accumulés par les courants sous forme de lits bien stratifiés. Il ne présente pas de relation spatiale directe avec le bioherme. Les lits de calcarénites peuvent alterner avec des boues micritiques et témoignent alors de variations hydrodynamiques lors de la mise en place des sédiments carbonatés.

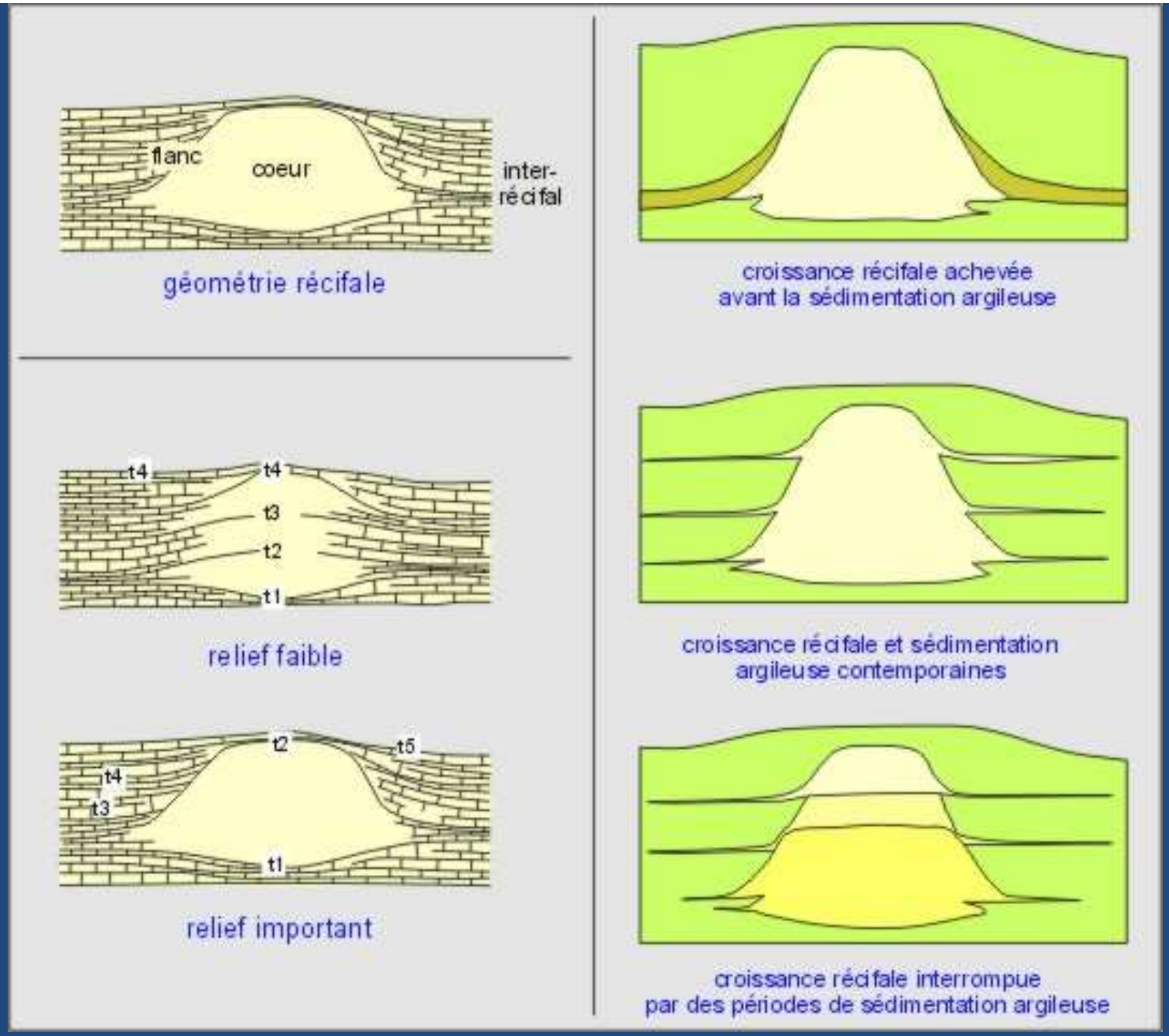


Fig. 28. "Récifs": concepts élémentaires. D'après James & Macintyre (1985), modifié.

Photo 8. Exemple de coraux, Carbonifère du Maroc central (Berkhli, 1999)



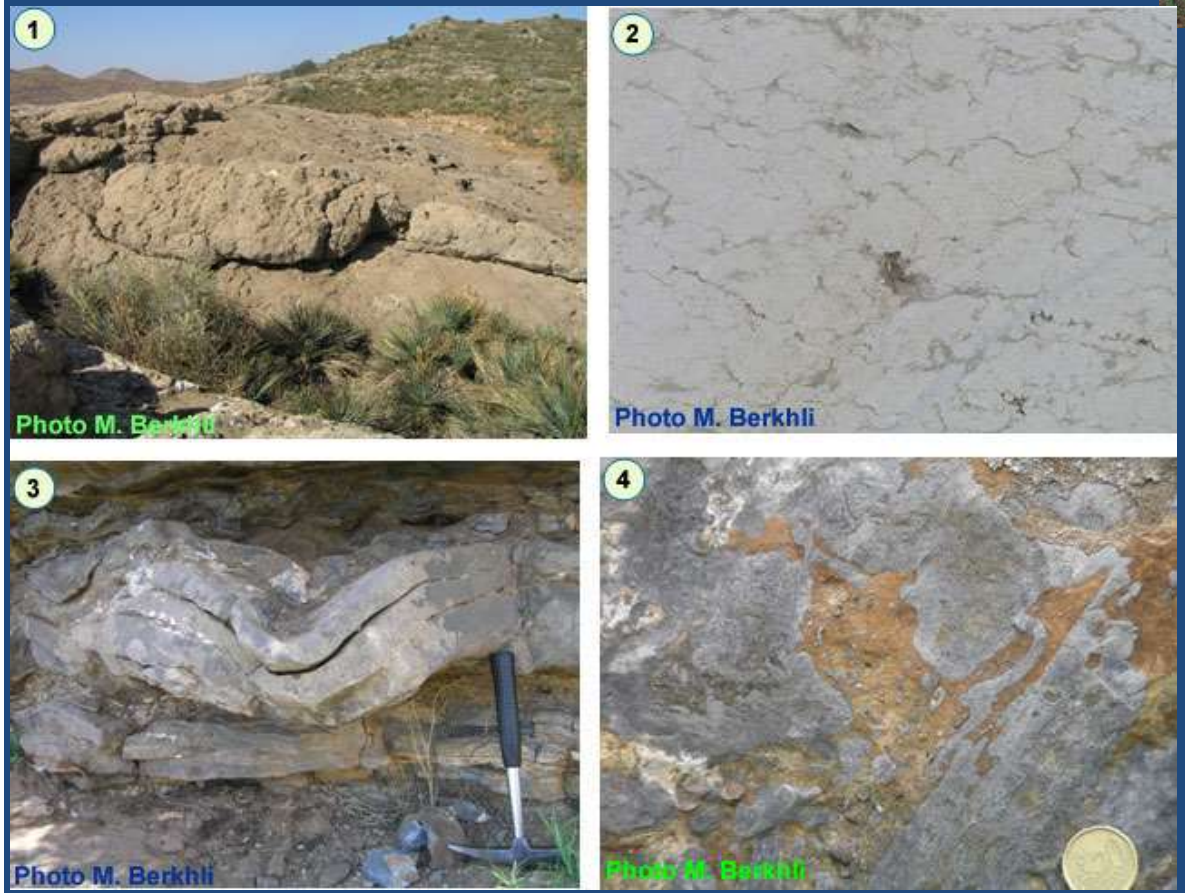


Photo. 9. Monticule microbien. 1. Microbialithe (Viséen supérieur, Maroc central) ; 2 : structure vacuolaire de microbialithe (1) ; 3 : stromatolithes (Maroc central) ; 4 : stromatactis (calcaire du Viséen supérieur, Cordoba, SW de l'Espagne)

B. CROISSANCE DE BIOCONSTRUCTION

L'établissement et la croissance d'une **bioconstruction** nécessitent :

- une production de ***carbonate*** in-situ;
- une certaine ***stabilisation du substrat***;
- une construction d'une ***charpente*** résistante à l'action des vagues. .

Trois grands processus de production de boue et/ou de ciment carbonaté ont été recensés dans la nature (Fig. 29):

- la **cimentation**: précipitation physico-chimique de carbonate,
- la **biominéralisation**: précipitation sous le contrôle de processus vitaux, à l'intérieur ou à l'extérieur de cellules vivantes ,
- l'**organominéralisation**: précipitation de carbonate à l'intervention de molécules issues de la dégradation de la matière organique

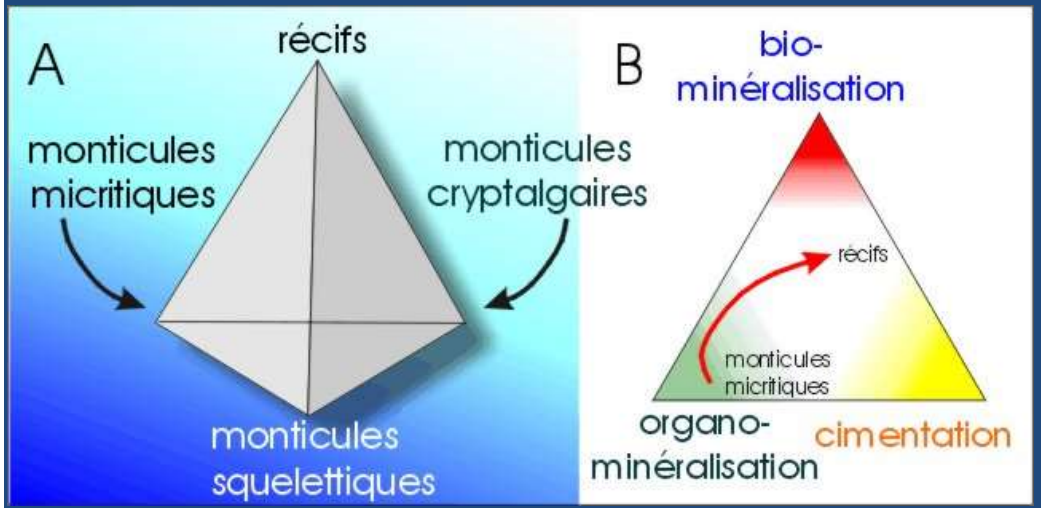


Fig. 29. A: types de bioconstructions; B: les différents processus de production/cimentation carbonatée. La flèche rouge correspond à un changement dans l'importance relative des processus de production carbonatée au cours de l'évolution d'un monticule micritique vers un récif.

C. EDIFICATION DE BIOCONTRUCTION

L'édification d'une bioconstruction comprend les phases suivantes :

- ***la stabilisation***: correspond à la fixation du substrat par un certain nombre d'espèces ubiquistes (crinoïdes, bryozoaires branchus, éponges...);
- ***la colonisation***: phase de courte durée, marquée par l'apparition d'espèces constructrices, certaines déjà caractéristiques;
- ***la diversification***: on observe une nette augmentation du nombre d'espèces et l'apparition de communautés différenciées et spécialisées; cette phase forme la majeure partie des édifices;
- ***la domination***: caractérisée par une nette diminution du nombre d'espèces. Quelques organismes, généralement encroûtants dominent. Cette phase semble toujours liée à l'entrée de l'édifice dans une zone bathymétrique où il subit nettement l'action des vagues.

IX. SEDIMENTATION DU TALUS ET DU GLACIS (EVENTAILS DETRITIQUES PROFONDS OU DEEP SEA FANS)

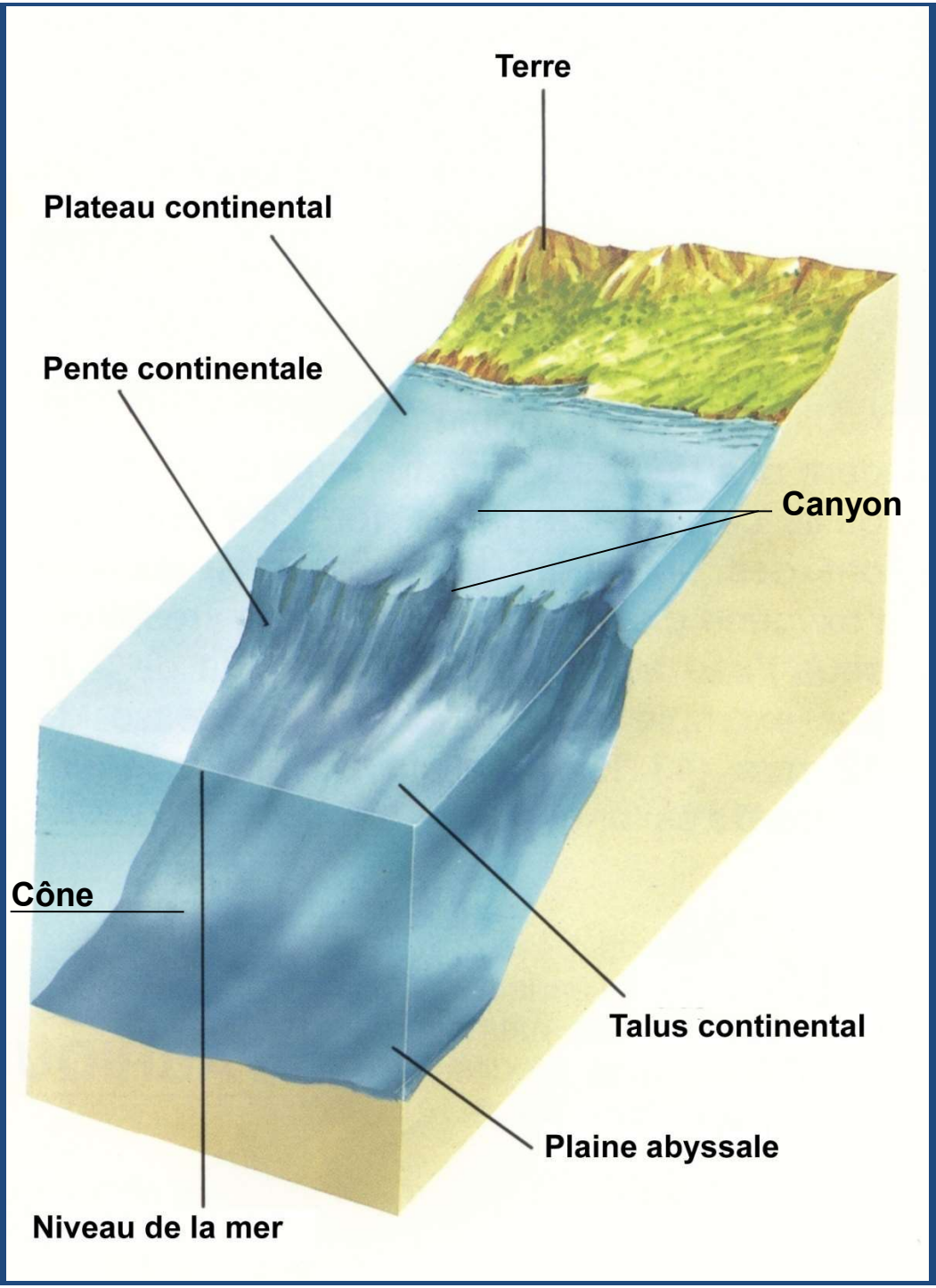
1. Morphologie

Les éventails sédimentaires sous-marins s'étendent depuis les talus continentaux jusqu'aux plaines abyssales adjacents.

L'éventail comprend:

- **Un canyon**

  Il constitue la zone de transit des sédiments entre la source et les zones profondes. Ces dimensions varient de quelques km à des centaines de km de longueur, et de quelques centaines à des milliers de mètres de largeur. Il est souvent multiple, dendriforme ou convergent. La pente longitudinale est plus raide en amont et de plus en plus faible vers le bas.


Terre
Plateau continental
Pente continentale
Canyon
Cône
Talus continental
Plaine abyssale
Niveau de la mer

Un cône avec:

- ***Le cône interne***
- ***Le cône moyen***
- ***Le cône externe***

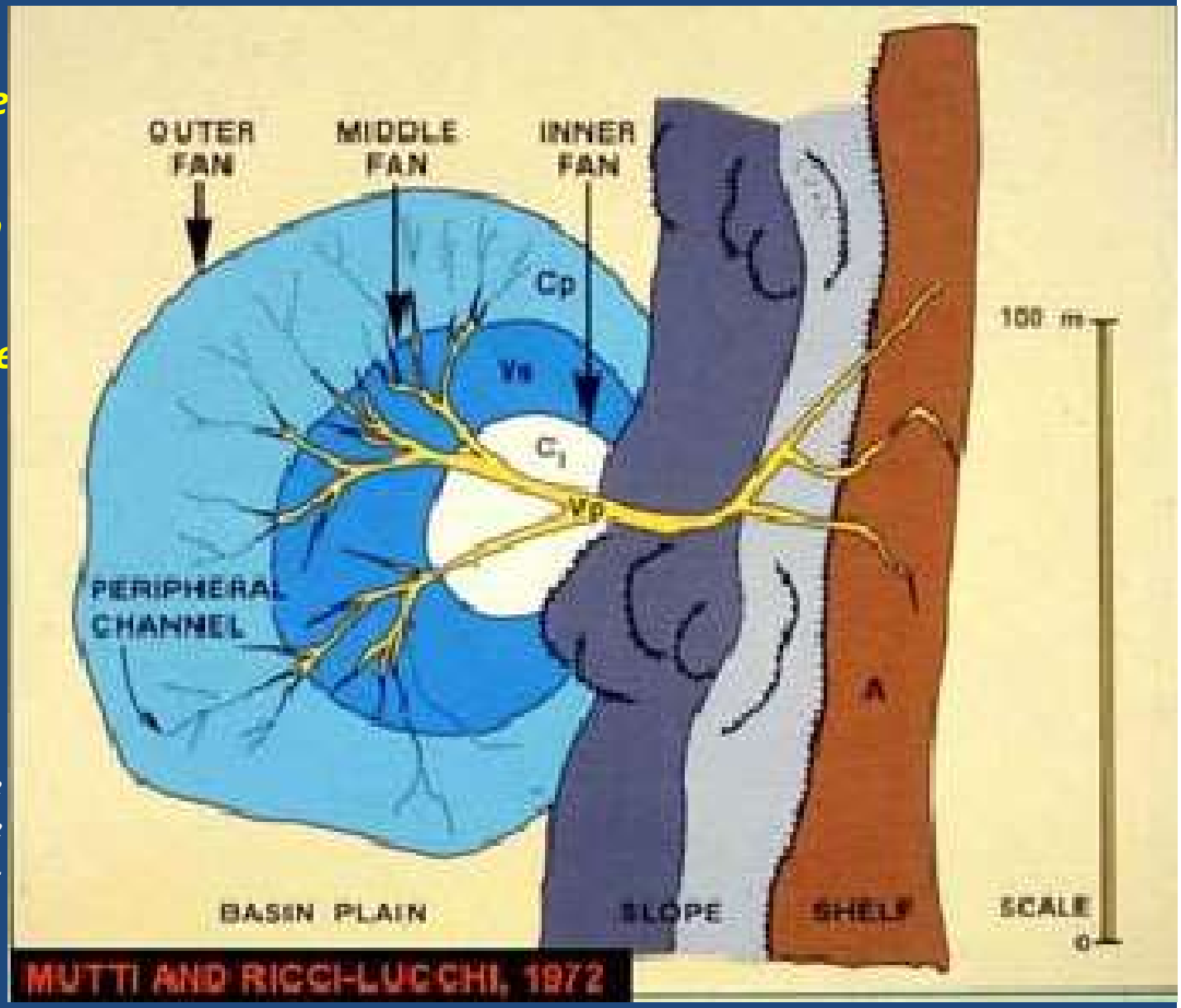
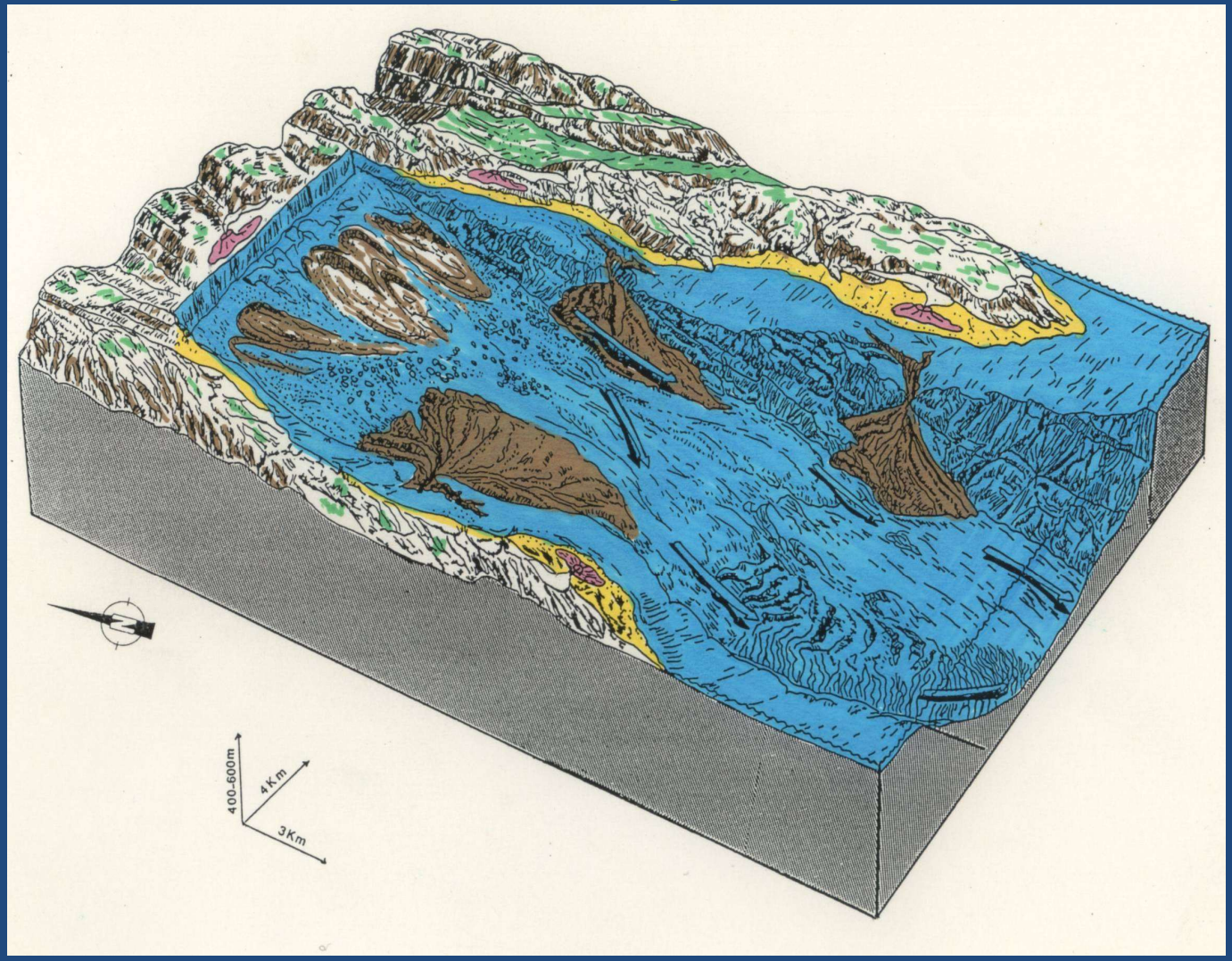


Fig. 30. Morphologie d'éventail détritique profond (Mutti & Ricci-Lucchi, 1972)

- ***Le cône interne:*** Il présente généralement un profil convexe et un relief très accidenté. Il comporte souvent un seul chenal. Les dépôts résultent typiquement de coulées boueuses et de courants de turbidité à densité élevée, généralement chenalisés.
- ***Le cône moyen:*** Le chenal principal se ramifie en chenaux en tresses, dépourvus de levées. Ils sont de largeur et de profondeur plus faible que le (ou les) chenal (aux) du cône supérieur.
- ***Le cône externe:*** Il est caractérisé par l'absence de chenaux et il est à profil plan à concave. Il correspond à la zone d'épandage des courants de turbidité.

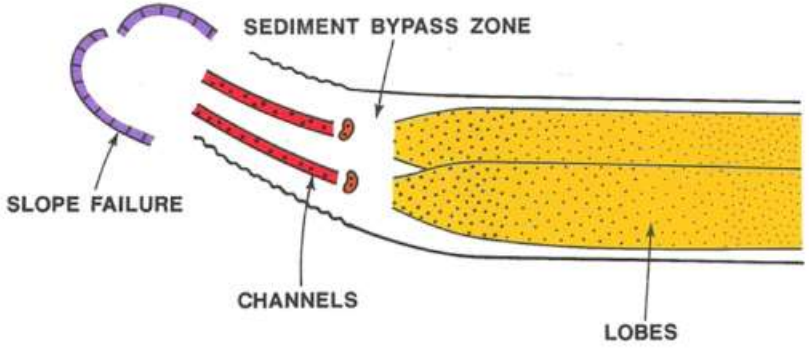
Cas particuliers

- Cônes sous-marins **sans canyons**
- Cônes sous-marins à **turbidites longitudinales**.

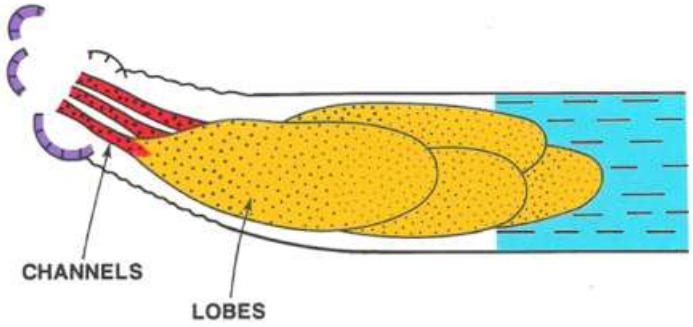


Modèle de dépôt du bassin de Debdou au Namurien (Berkhli, 1993)

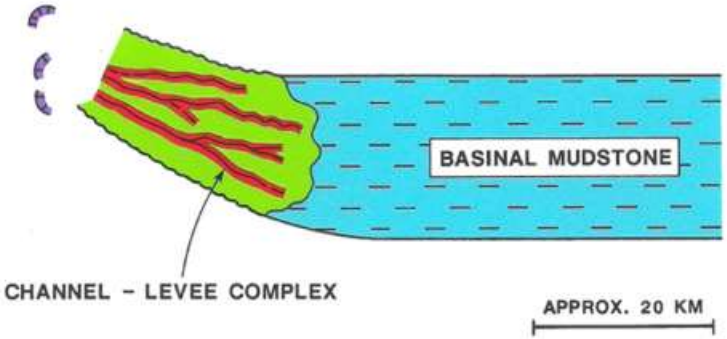
TYPE I: CHANNELS WITH DETACHED LOBES

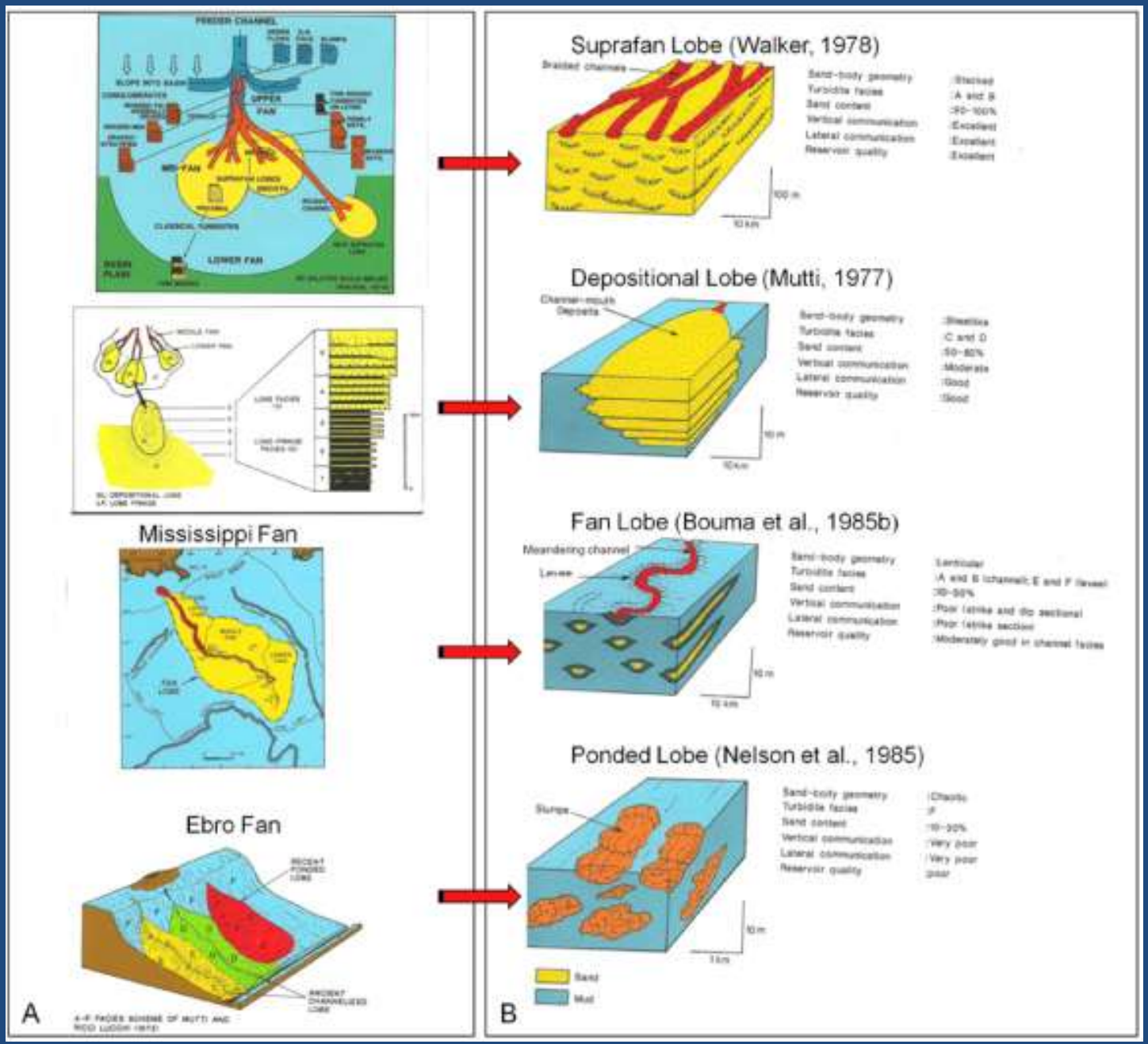


TYPE II: CHANNELS WITH ATTACHED LOBES



TYPE III: CHANNEL-LEVEE COMPLEX WITHOUT LOBES




Suprafan Lobe (Walker, 1978)
Depositional Lobe (Mutti, 1977)
Fan Lobe (Bouma et al., 1985b)
Ponded Lobe (Nelson et al., 1985)
Mississippi Fan
Ebro Fan
A
B
Sand
Mud

2. Les dépôts gravitaires et resédimentation

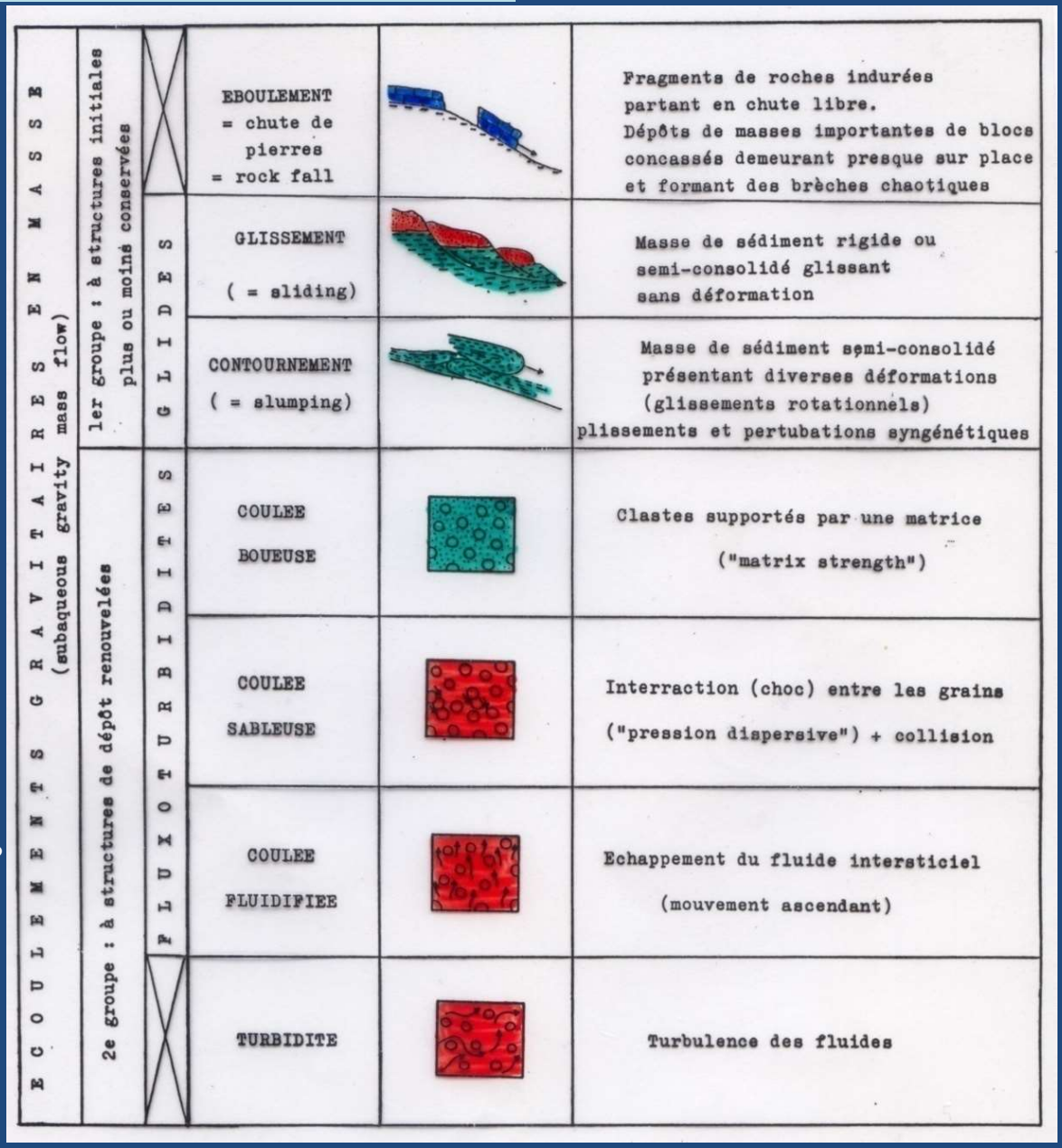
Ils peuvent être subdivisés en trois types :

a - éboulements (ou rockfalls),

b - glissements et slumps,

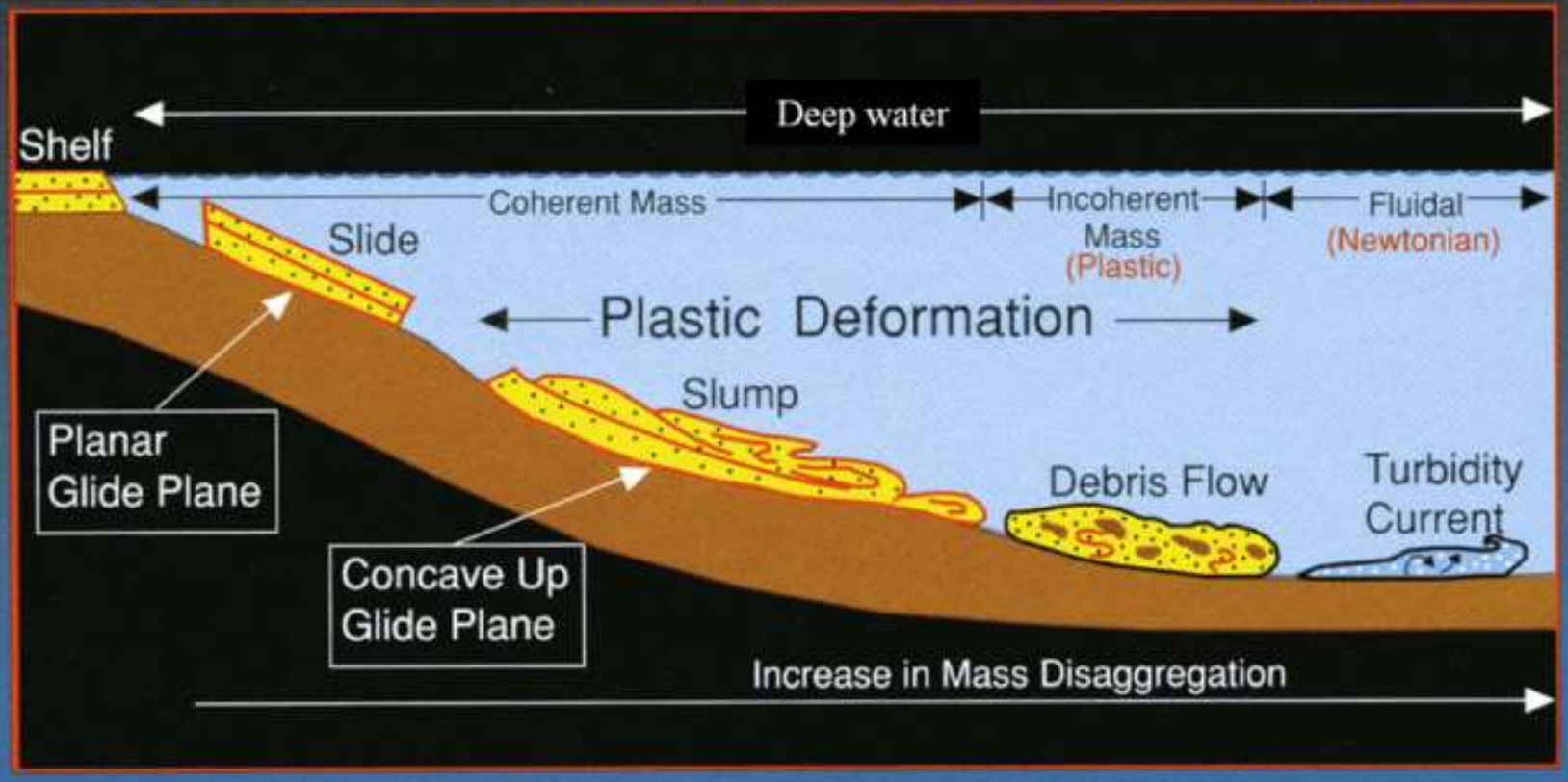
c - écoulements gravitaires.

Le passage d'un type de transport à l'autre dans l'ordre (a), (b), (c) n'est possible que si les clastes sont mélangés à de l'argile et si l'énergie est très élevée



Les différents types d'écoulements gravitaires (d'après Dott, 1963; Boirie & Souquet, 1979; Flugel, 1982)

Gravity-Driven Downslope Processes in Deep Water



A

B	Sediment concentration: 100% by volume	25-100%	1-23%
C	Mass-transport processes Mechanical behavior: Elastic and plastic		Viscous fluid
D	Sandy mass-transport deposits (SMTD): Sand concentration: > 20% by volume		Turbidite

a. Eboulements

Ils correspondent à la chute de corps lithifiés massifs (plusieurs km3) le long de falaises côtières ou de pentes marines raides et d'escarpements de failles, et à leur accumulation en bas de pentes.

Ils sont caractérisés par :

- des unités de dépôt montrant généralement des limites nettes, mais le plus souvent non stratifiées ;
- des clastes anguleux à subanguleux ;
- une épaisseur d'accumulation généralement très importante ;
- une taille des clastes variant de celle des sables à celle de blocs de plusieurs dizaines de mètres. Quand celle-ci est égale ou supérieure à 4 m, les clastes sont appelés des olistolithes (Abbate *et al.*, 1970) ;
- la présence habituelle d'une porosité intergranulaire ;
- des lithologies variées pour la matrice.

Les séquences résultant d'éboulements sous-marins sont le plus souvent reliées à des destructions de récifs ou de bordures de plates-formes.

b. Glissements sous-aquatiques et slumps

- Il s'agit de glissements de sédiments semi-consolidés en masse (Photo 8) le long de pentes à angle variable (quelques degrés). Le transport se fait sur des distances très courtes. La structure interne de la masse glissée est plus ou moins désorganisée selon le mode de fonctionnement qu'elle a subi (Lewis, 1971 ; Cook, 1979).
- Ces glissements peuvent souvent engendrer des coulées de débris ou de boue (Einsele, 1992).



Photo 8. Slump, Mississippien de la Formation de M'Taoutoult (Maroc central) (Berkhli, 1999)

c. Ecoulements gravitaires

Ils se produisent dans des mélanges de sédiments et de fluides dont la cohérence est détruite et où les grains se déplacent individuellement dans le milieu fluide (Hampton, 1972 ; Middleton & Hampton, 1973, 1976). On distingue quatre catégories selon le mécanisme de transport et les dépôts qui en résultent (Fig. 27):

- Coulées sableuses (grain flows) ;
- Coulées en masse liquéfiées (liquefied mass flows) ;
- Coulées de débris (debris flow) (Photo 9);
- Courants de turbidité.

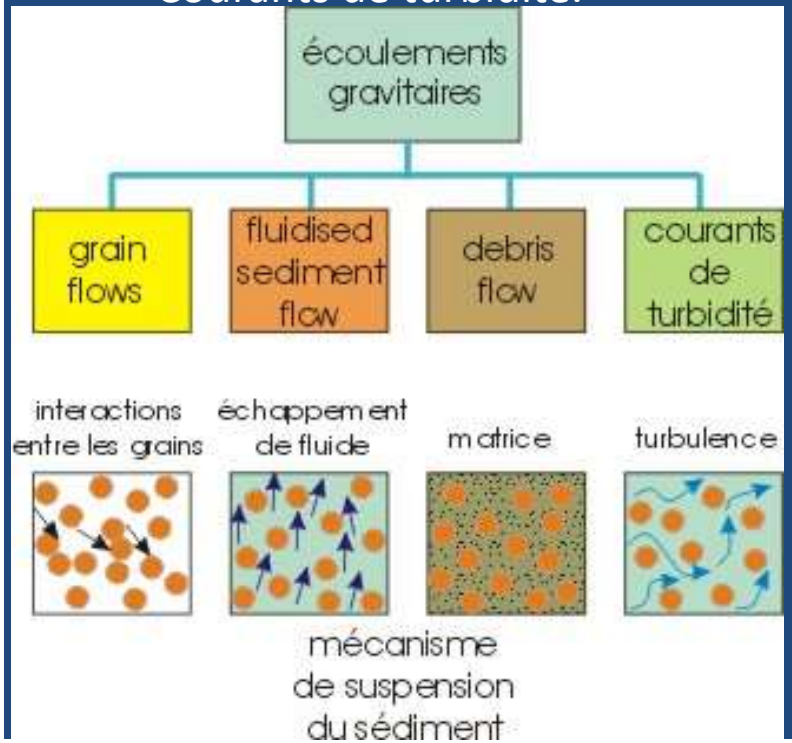




Photo 9. Coulée de débris (Debris flow), Viséen du bassin de Jerada, Maroc oreintal (Berkhli, 1993)

Fig. 27. Classification des écoulements gravitaires en fonction des interactions entre grains et fluide.

Leurs dépôts peuvent s'agencer en plusieurs types de **séquences** (Fig. 28) :

- les **dépôts conglomératiques** qui résultent de coulées de débris (débrites) représentant les faciès gravitaires les plus grossiers (Mullins & Cook, 1986) ;
- les **turbidites grossières** qui résultent des coulées sableuses (grain flows);
- les turbidites gréseuses ou **turbidites classiques** de Bouma (1962) ;
- les **turbidites de boue** qui résultent de coulées de masse fluidifiées. Elles sont représentées par la séquence de Piper & Stow (1991).

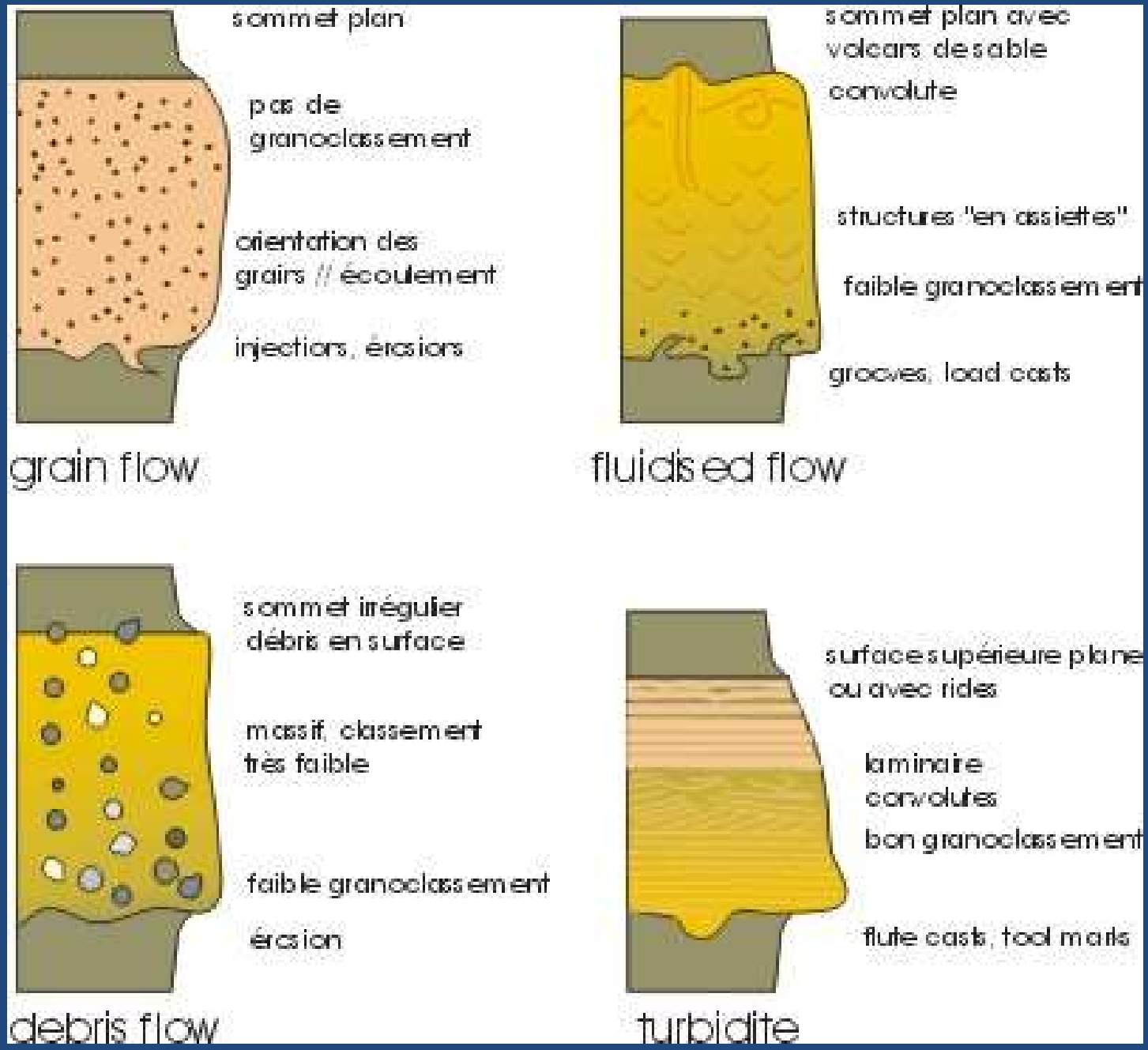


Fig. 28. Lithologie, texture et figures sédimentaires des quatre types d'écoulements gravitaires.

3. Naissance d'une turbidite classique

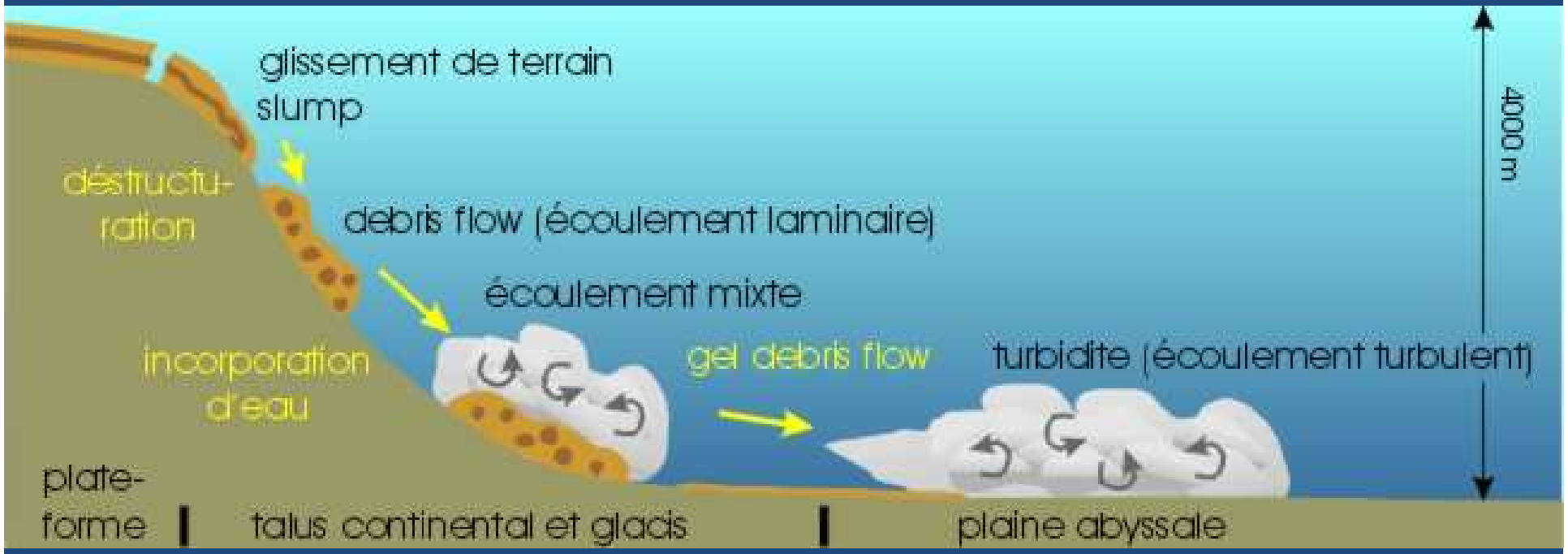
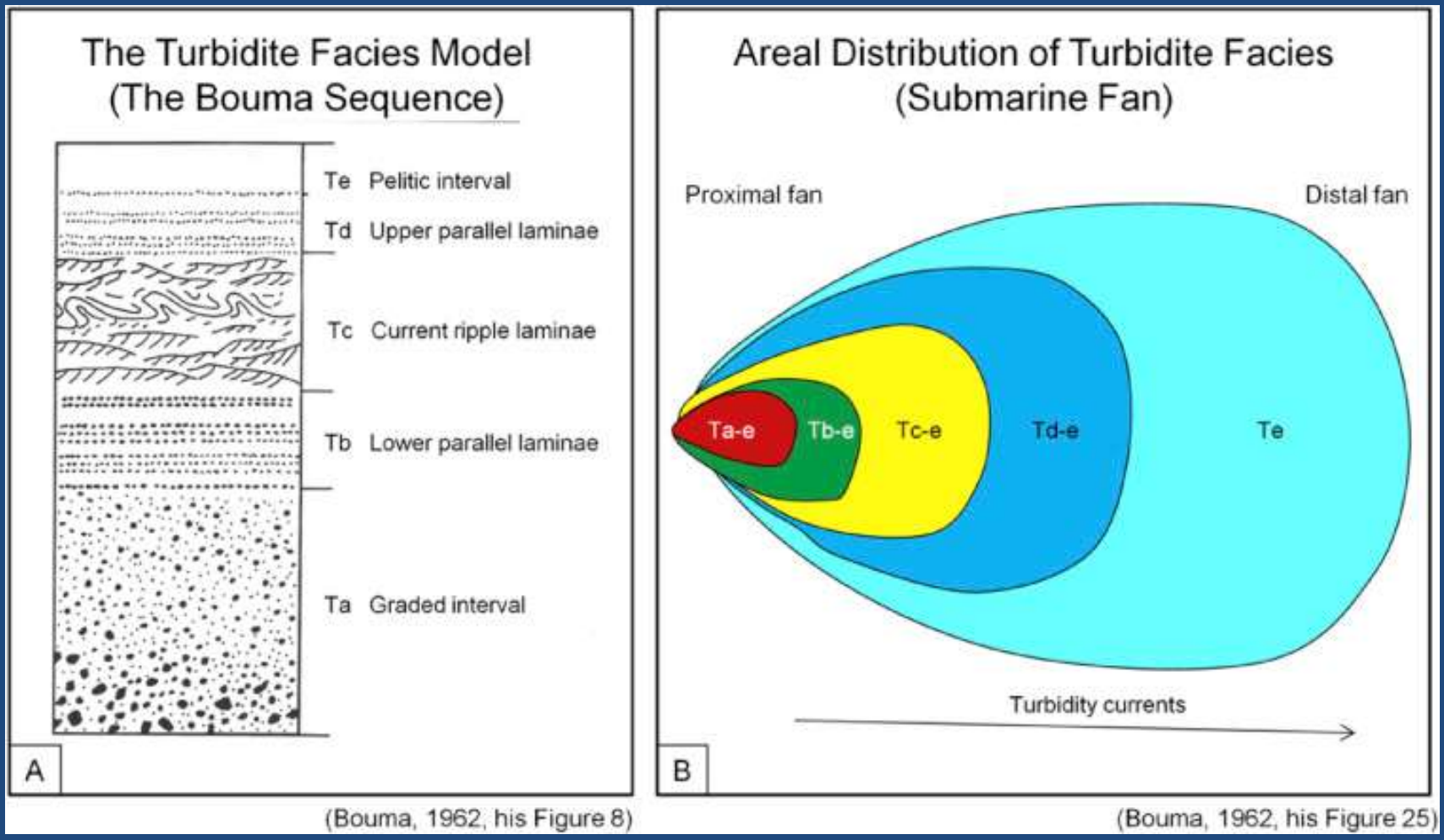


Fig. 29. Naissance d'une turbidite

a. Séquence turbiditique

La séquence complète, déposée au niveau des lobes du cône, comprend 5 termes (Fig. 30):

- **Le terme A** : plus grossier et granoclassé. Il présente une base ravinante pouvant présenter sur sa semelle des figures de base de bancs qui témoignent d'un dépôt gravitaire tractif (flut-casts, grouve-casts, prod-casts,…). Ces figues peuvent indiquer le sens ou la direction d'apport sédimentaire (photo 10) ;
- **Le terme B** : moins grossier, présente des laiminations planes et parallèles;
- **Le terme C** : fin, présente des convolutes ;
- **Le terme D** : plus fin, contient des lamines planes et/ou des rides de courants qui peuvent être associées à des figures d'échappement d'eau ;
- **Le terme E** : arigilitique ou marneux. Il est interprété comme étant le "bruit de fond" de la sédimentation.



(Bouma, 1962, his Figure 8)

(Bouma, 1962, his Figure 25)

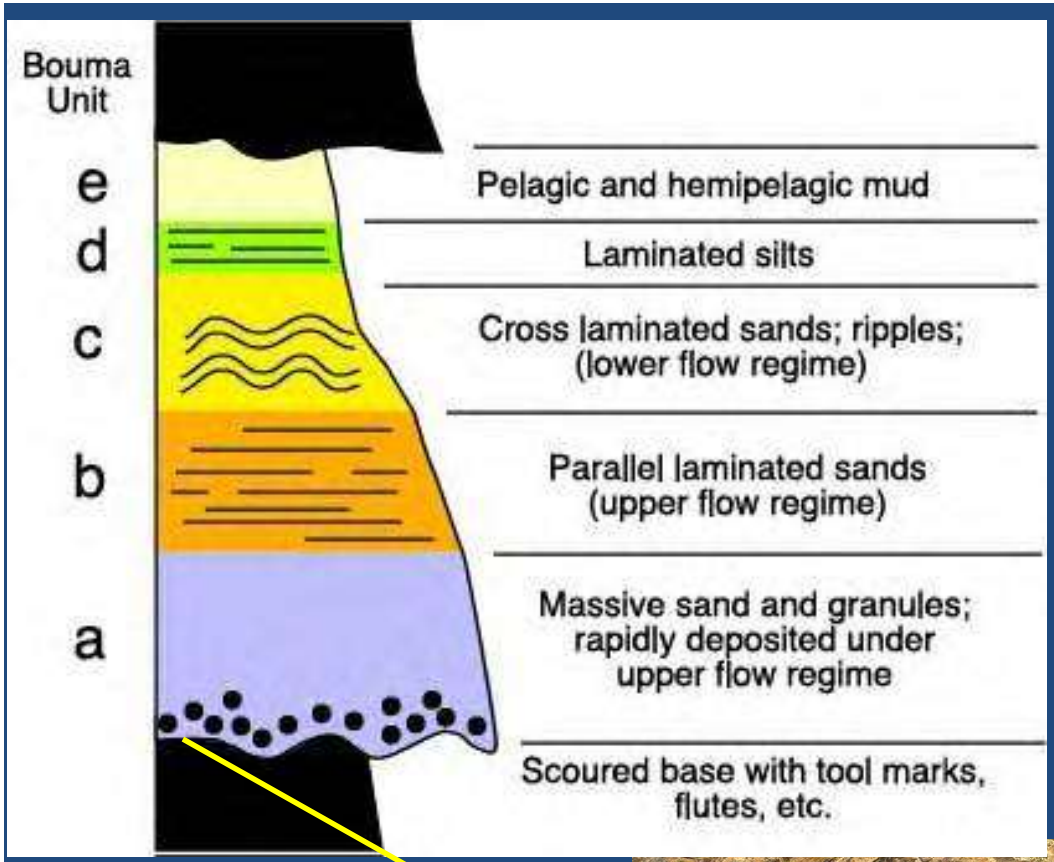


Fig. 30. Séquence turbiditique classique (BOUMA, 1962)



Séquence turbiditique, Viséen du bassin de Tafilalet, Anti-Atlas oriental - Maroc



Photo 10. Flut-casts sur la semelle d'un banc de grès (Viséen du Maroc central) (Berkhli, 1999). Le sens du courant est de la pointe vers l'arrière (flèche).

b. *Faciès turbiditiques*

L'organisation de la **séquence turbiditique** change en fonction de sa position dans le cône sous-marin et donc de la **vitesse du courant**. Dans la partie amont, les faciès "A" sont ceux de **coulées de débris**, les faciès "B" très riches en sable ressemblent à ceux des **courants de traction**, les faciès "C" sont les **turbidites classiques** à séquence de Bouma complète (Fig. 31), de type a-b-c-d-e, les faciès "D" riches en particules fines présentent des **séquences de Bouma tronquées** à la base, de type b-c-d-e, c-d-e ou d-e.

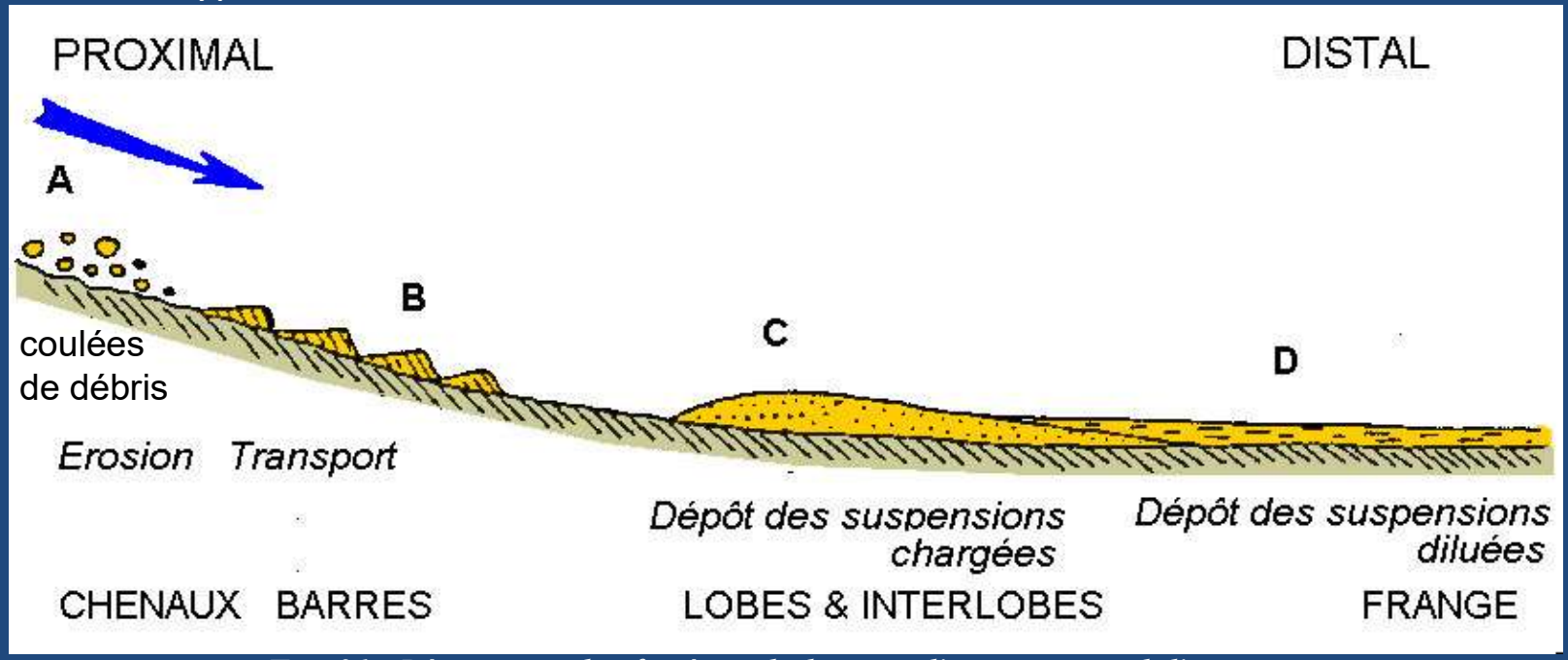


Fig. 31. Répartition des faciès turbiditiques d'amont en aval d'un cône, d'après la nomenclature de Mutti et Ricci-Lucchi.

4. Distribution de dépôts de cône sous-marins

La distribution des faciès turbiditiques d'amont en aval d'un cône est comme suit (Fig. 31, 32) :

a. Canyon

Il est caractérisé par :

- Des éboulements provenant de parois de canyons ;
- Des écoulements de débris (debris flow) ;
- Des coulées boueuses ou sableuses ;
- Des cailloutis en lits désordonnés ;
- Des slumps.

b. Cône interne ou supérieur

Il est marqué par :

- Des slumps ;
- Des coulées boueuses, généralement chenalisées ;
- Des dépôts de levées et de terrasses à graviers et cailloux organisés en séquences à granoclassement inverse puis normal, puis des séquences granoclassées et stratifiées.

c. *Cône moyen*

Il est caractérisé par :

- Des sables et graviers organisés en séquences granoclassées ;
- Des sables massifs ;
- Des turbidites proximales à litages épais (dépôt de lobes) et à figures de paléocourants qui deviennent divergentes.

d. Cône externe ou inférieur

- Il est marqué par des **turbidites classiques distales** à litage fin.
- Vers le large et dans les zones interchenales, il y a développement d'**hémipélagites**.

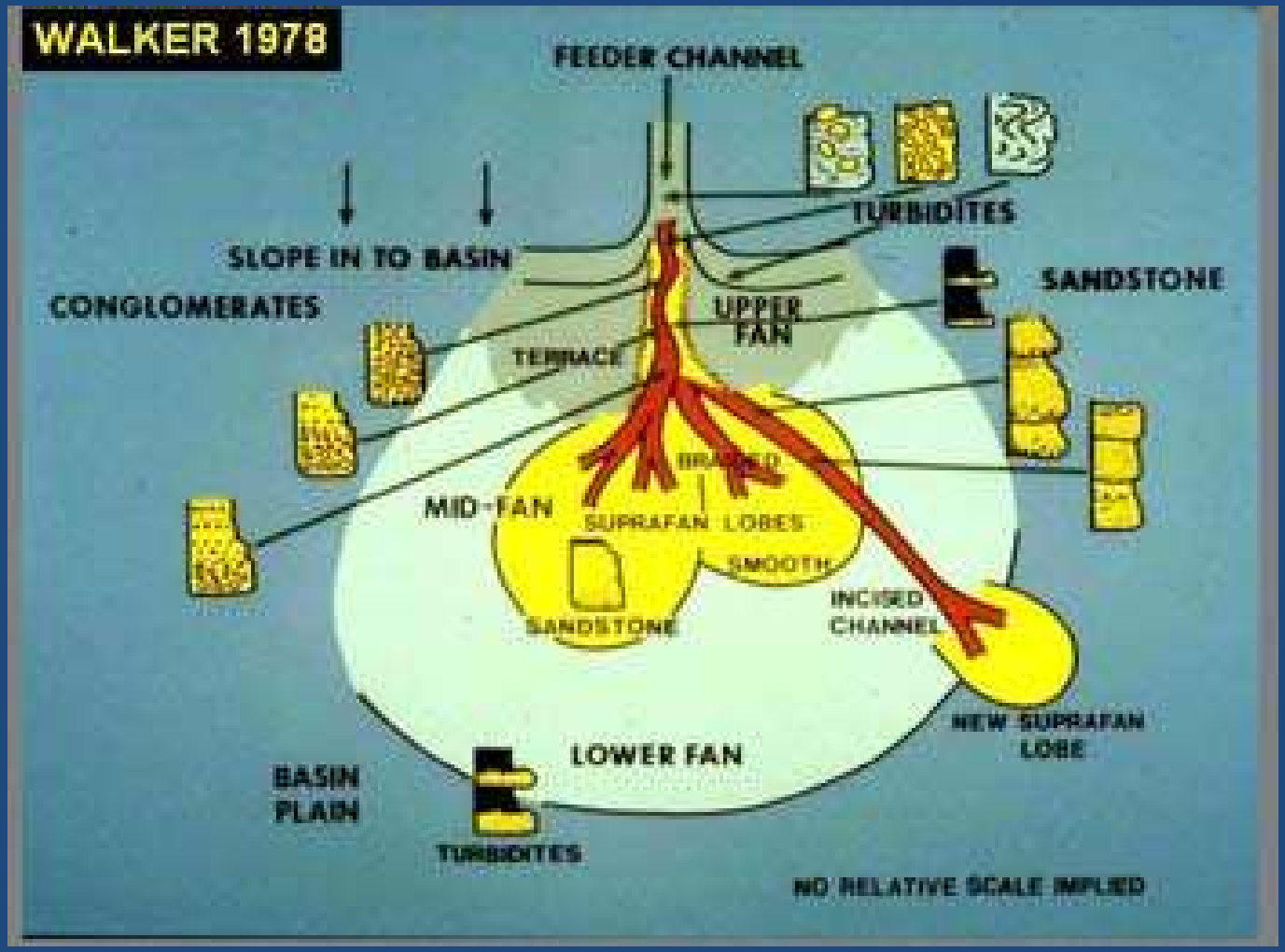
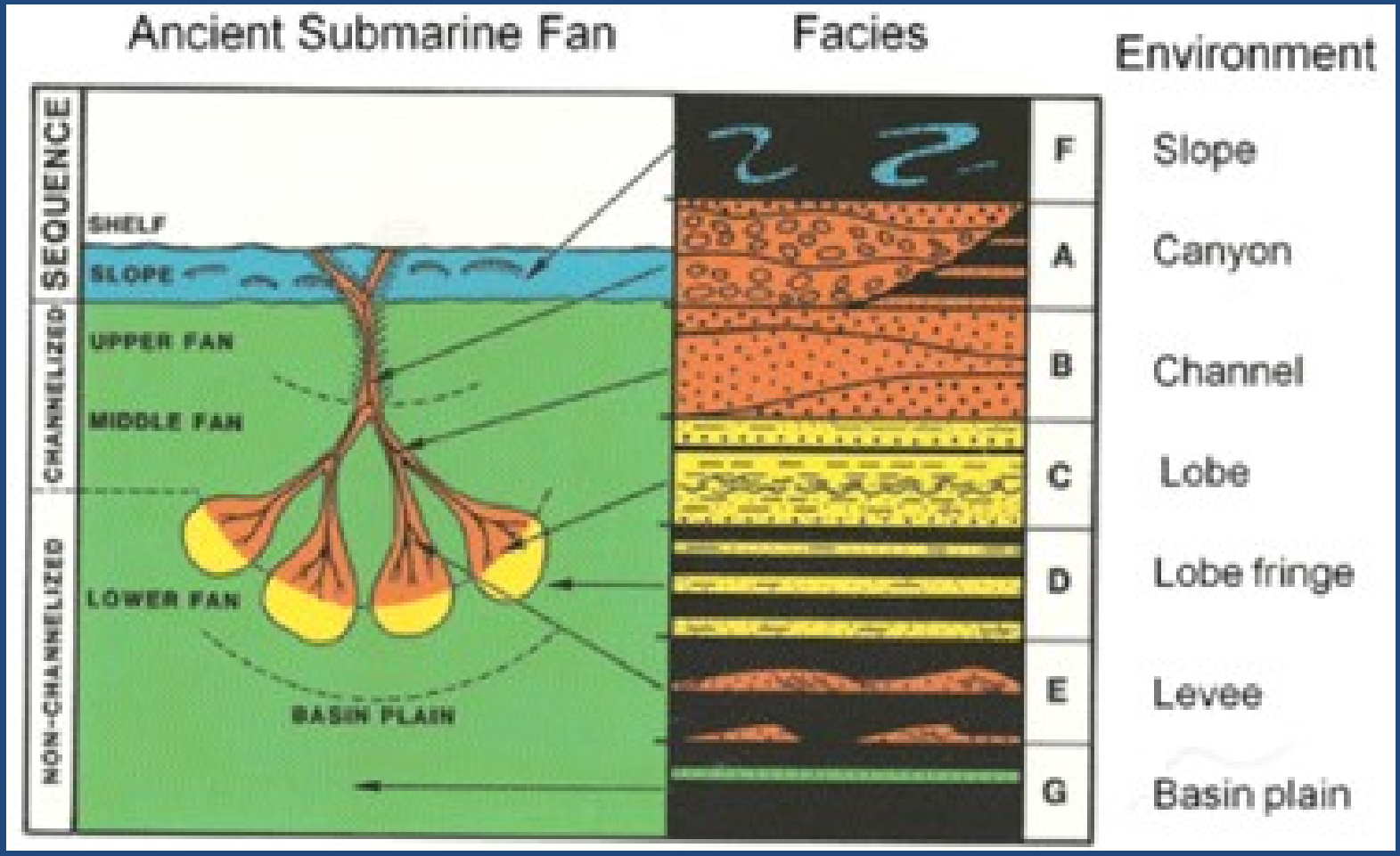


Fig. 32. Distribution de faciès sédimentaires de long d'un éventail détritique profond (Walker, 1978)


Ancient Submarine Fan
Facies
Environment
SEQUENCE
CHANNELIZED
NON-CHANNELIZED
SHELF
SLOPE
UPPER FAN
MIDDLE FAN
LOWER FAN
BASIN PLAIN
F
A
B
C
D
E
G
Slope
Canyon
Channel
Lobe
Lobe fringe
Levee
Basin plain

5. Séquences sédimentaires d'éventail détritique profond

Dans le cas le plus général la progradation vers le large du cône sous-marin peut produire une séquence constituée de corps sédimentaires de plus en plus grossiers et épais, comprenant de bas en haut (Fig. 33) :

- Des dépôts plus fins et minces **hémipélagiques** ou des **tractionnites** ;
- Des **turbidites minces** non chenalisées de **cône externe** (Photo 11) ;
- Des **turbidites plus épaisses** et plus ou moins complètes passant à des sables à graviers puis à des sables massifs de **cône moyen** ;
- Des **turbidites grossiers chenalisées** et des dépôts de **coulées boueuses** et des **slumps** de **cône interne** ou supérieur.



Photo 11. Turbidites viséennes d'Adarouch (Maroc central). Plusieurs séquences de turbidites distales avec des termes Tbe. Le terme b est finement laminaire (Berkhli, 1999).

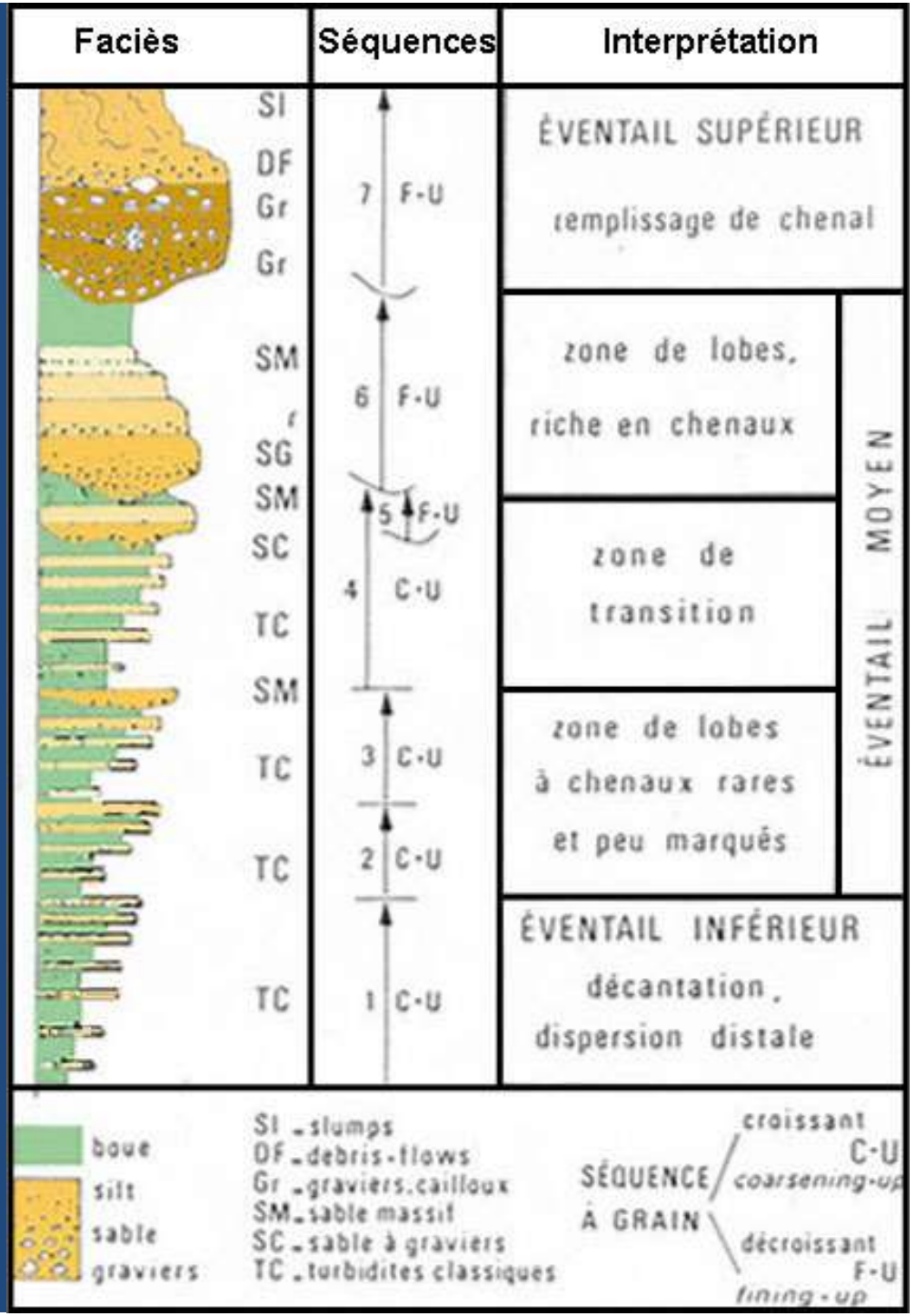
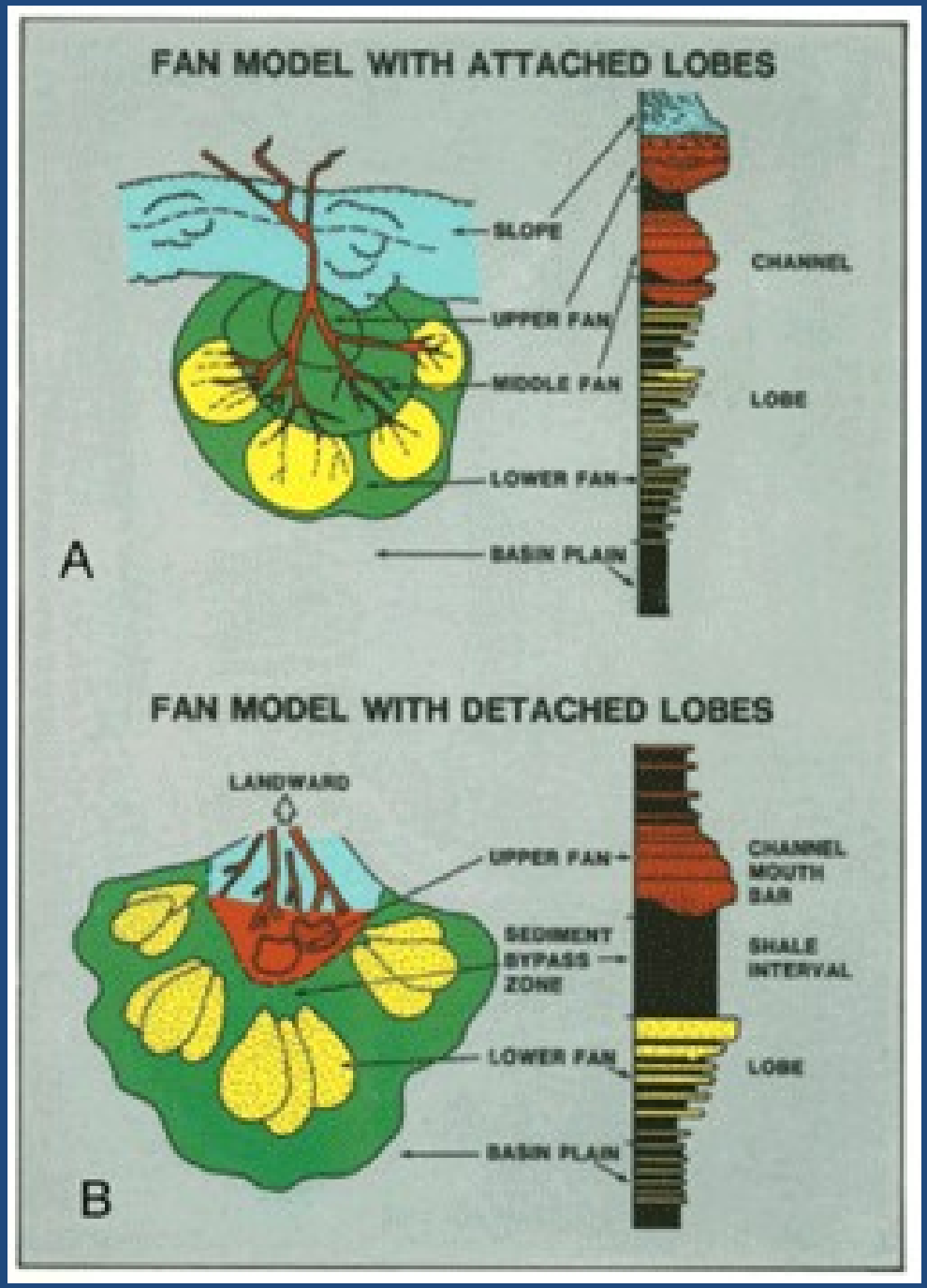
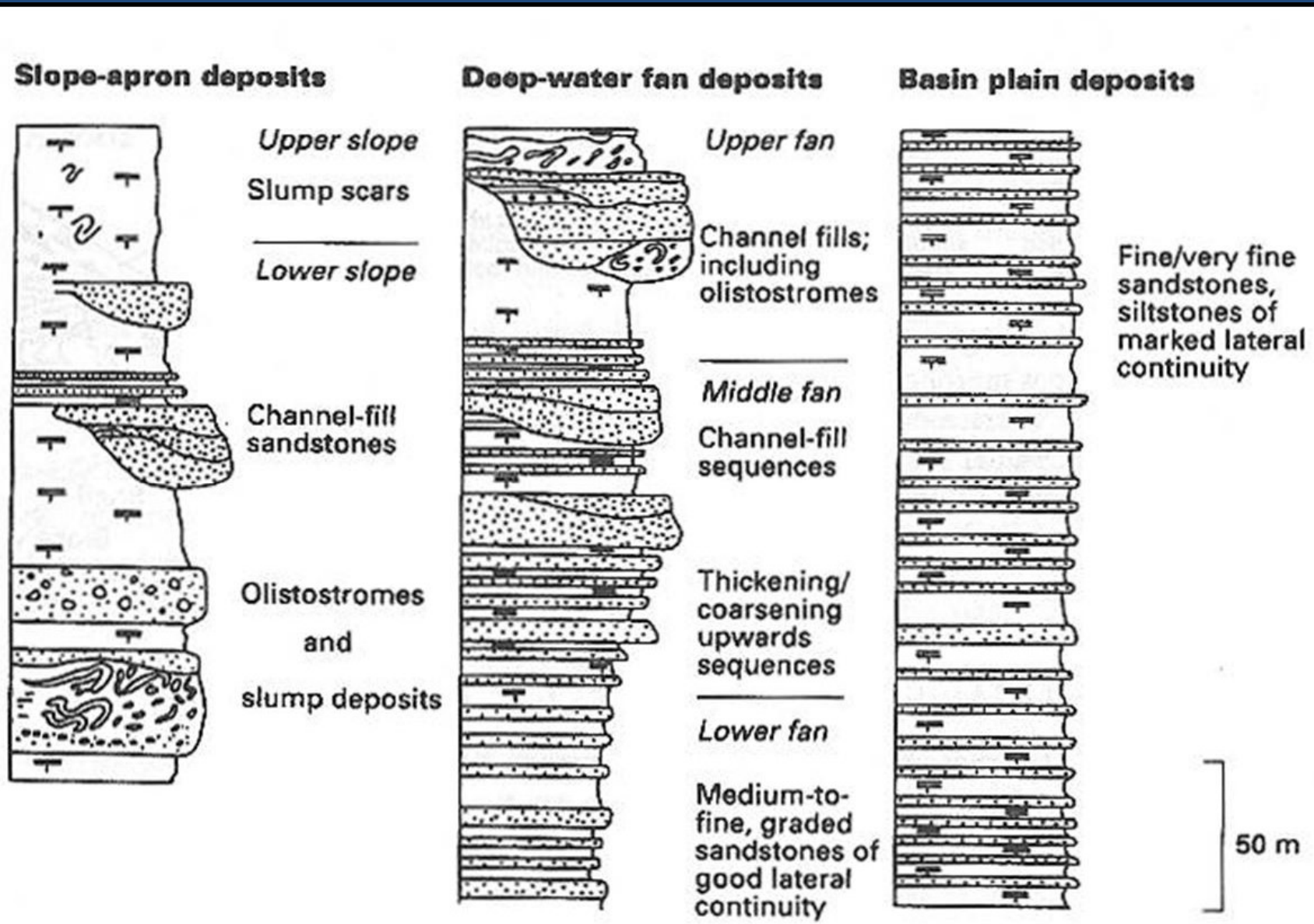


Fig. 33. Séquences sédimentaires schématiques d'un éventail détritique profond riche en apport sableux et soumis à une progradation active (d'après Walker, 1978)


FAN MODEL WITH ATTACHED LOBES
SLOPE
UPPER FAN
MIDDLE FAN
LOWER FAN
BASIN PLAIN
CHANNEL
LOBE
A
FAN MODEL WITH DETACHED LOBES
LANDWARD
UPPER FAN
SEDIMENT BYPASS ZONE
LOWER FAN
BASIN PLAIN
CHANNEL MOUTH BAR
SHALE INTERVAL
LOBE
B


Slope-apron deposits
Deep-water fan deposits
Basin plain deposits
Upper slope
Slump scars
Lower slope
Channel-fill sandstones
Olistostromes and slump deposits
Upper fan
Channel fills; including olistostromes
Middle fan
Channel-fill sequences
Thickening/ coarsening upwards sequences
Lower fan
Medium-to-fine, graded sandstones of good lateral continuity
Fine/very fine sandstones, siltstones of marked lateral continuity
50 m

X. DEPOTS DE BASSIN

Le domaine de bassins et de fosses océaniques comprend : les bassins océaniques s.s., les dorsales et les fosses océaniques.

1. Sédimentation pélagique ou abyssale

Au niveau des bassins océaniques la sédimentation est relativement active. Si l'on excepte la sédimentation spasmodique due aux courants de turbidité, seules les particules transportées en suspension parviennent au grand large: poussières cosmiques et continentales, cendres volcaniques apportées par le vent, colloïdes et argiles venues des fleuves et des côtes et déposées par les courants auxquels s'ajoutent les matériaux glaciaires apportés par les glaces flottantes et les vents. Les éléments planctoniques sont essentiellement des débris carbonatés et siliceux. La nature du sédiment accumulé sur le fond dépend de la nature et de l'abondance du plancton, de la température et de la profondeur de l'eau qui agissent sur la dissolution de la calcite et de la silice.

L'essentiel de la sédimentation des mers profondes est formée de boues constituées par des éléments minéraux et des squelettes de microorganismes où la phase active (colloïdes organiques ou animaux instables) est très faiblement représentée, contrairement aux vases littorales. C'est la sédimentation pélagique ou abyssale **:**

- ***Les boues calcaires* :** elles sont formées par le dépôt du squelettes calcaires d'organismes planctoniques. Ces boues n'existent pas dans la zone des dépôts terrigènes où les squelettes sont disposés au milieu des sables et des argiles. Elles ne se sédimentent pas non plus aux très grandes profondeurs car au cours de leur lente descente les tests se dissolvent (**CCD** affranchie). Au fur et à mesure que la température diminue et la pression augmente, les teneurs en CO2 s'élève et la dissolution s'accélère. Le niveau à partir duquel la dissolution augmente brusquement est appelé **Lysocline** (Fig. 34). Celui où la dissolution est totale est le niveau de compensation des carbonates (NCC ou CCD : Calcite Compensation Depth). La CCD située vers 5000 m dans l'atlantique est moins profonde dans le pacifique (4200 à 4500 m).

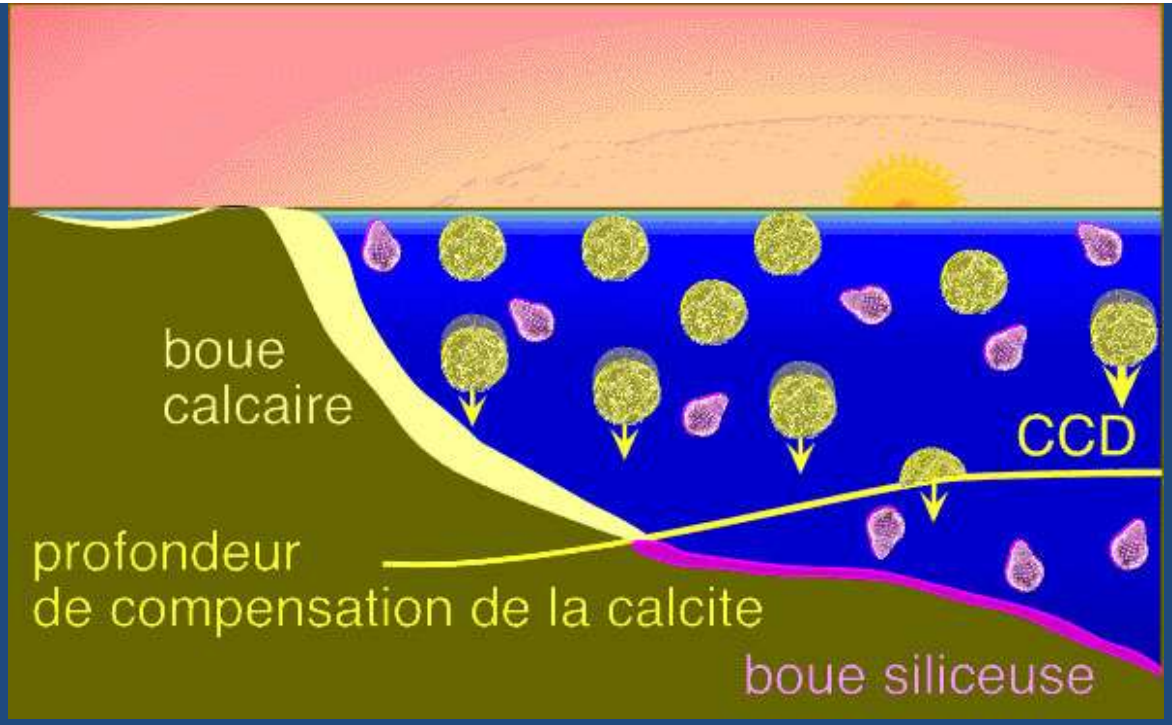


Fig.34. Sédimentation pélagique : niveau de compensation des carbonates (CCD)

Les boues calcaires se déposent sur les fonds au-dessus de la CCD qui ne reçoivent pas d'apports terrigènes importants. Selon la nature des organismes, on distingue:

- **les boues à Foraminifères**, abondantes dans l'Atlantique;
- **les boues à coccolites**, petites plaques de Coccolithophoridés d'une dizaine de microns, plus petites donc plus solubles que les tests de Foraminifères;
- **les boues à Ptéropodes**, coquilles très fines de mollusques pélagiques, très facilement dissoutes (elles ne déposent pas au delà de -2000m).

- ***Les boues siliceuses*** : la dissolution des tests siliceux est grande dans les eaux superficielles sous-saturées en silice. Comme la solubilité de la silice diminue lorsque la température s'abaisse et que la pression augmente, la sédimentation siliceuse prévaut au-dessous de la CCD à condition que la production de silice par le plancton ait été suffisamment importante en surface.

  Les boues siliceuses sont constituées par les restes d'organismes planctoniques à tests siliceux végétaux (Diatomées) ou animaux (Radiolaires). On distingue:

  - ***Les boues à diatomées***, prédominent dans les mers froides (ceinture péri-arctique, pacifique nord) ;
  - ***Les boues à radiolaires***, importantes dans le pacifique au niveau de l'équateur (océans Pacifique et Indien).

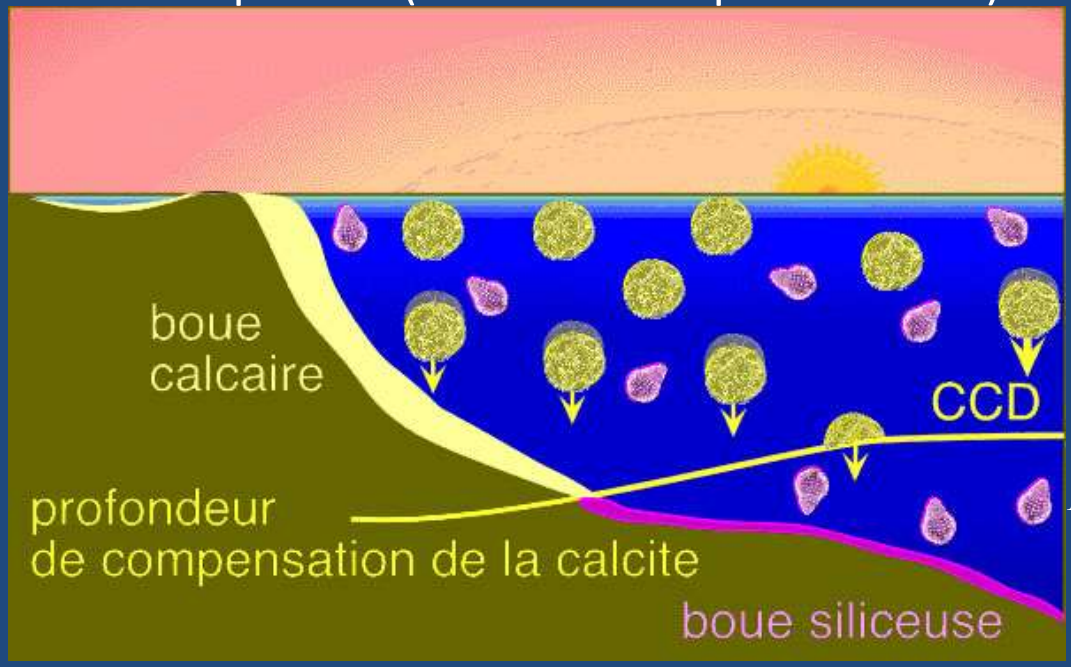


Fig.34. Sédimentation pélagique : niveau de compensation des carbonates (CCD)

- ***Les boues argileuses et organiques,*** sédiments de couleur rouge brun, composés de minéraux argileux (85%), de granules cosmiques, de poussières volcaniques et de micronodules. Les minéraux argileux proviennent de l'érosion continentale. En revanche, l'argile rouge des grands fonds, riche en fer et en manganèse, contient de nombreux minéraux néoformés. Elles peuvent être associées à des nodules polymétalliques. Les phénomènes hydrothermaux, nombreux à proximité des rides médio-océaniques et des points chauds, fournissent de nombreux éléments chimiques sous forme de sulfures et d'oxydes.

  Des vases riches en **matière organique** s'accumulent dans les **bassins anoxiques**. La matière organique est un sapropèle issu de la décomposition des constituants organiques du plancton. Ces vases donnent après diagenèse des black shales. La Mer Noire constitue un exemple actuel de bassin marin anoxique.





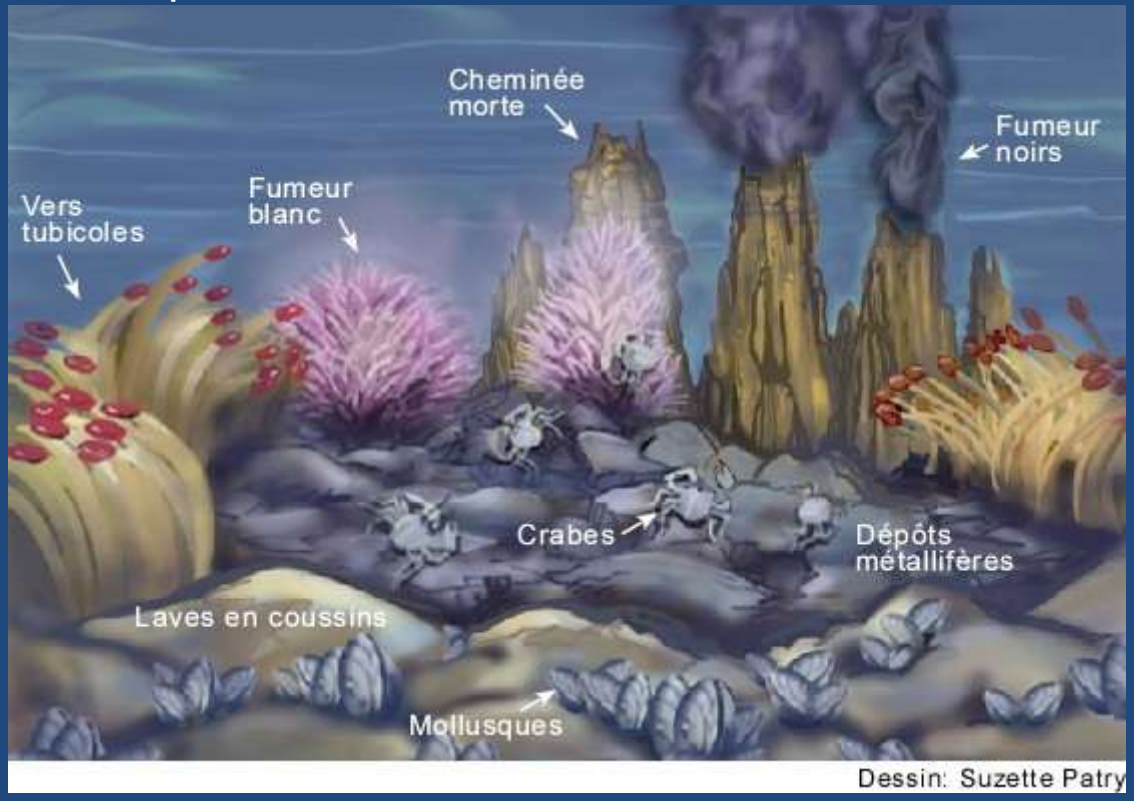
Nodules polymétalliques

On distingue :

- ***Les boues argileuses***, constituées par l'accumulation de minéraux des argiles (illites, chlorites, kaolinites) sous climat chaud, smectites (sous climat tempéré) abondantes dans le pacifique nord ;
- ***Les vases organiques noires***, se déposent en milieu confiné réducteur (ex. rift).
- ***Les sédiments hydrothermaux*** au niveau des rides, ce sont des sulfures et des oxydes métalliques (Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Zn, …) qui forment des encroûtements et participent à la genèse des nodules polymétalliques ;
- ***Les poussières volcaniques*** ;
- ***Les poussières désertiques*** ;
- ***Les poussières cosmiques et les micrométéorites*** (30000t/an) ;
- ***Les sédiments glacio-marins.***

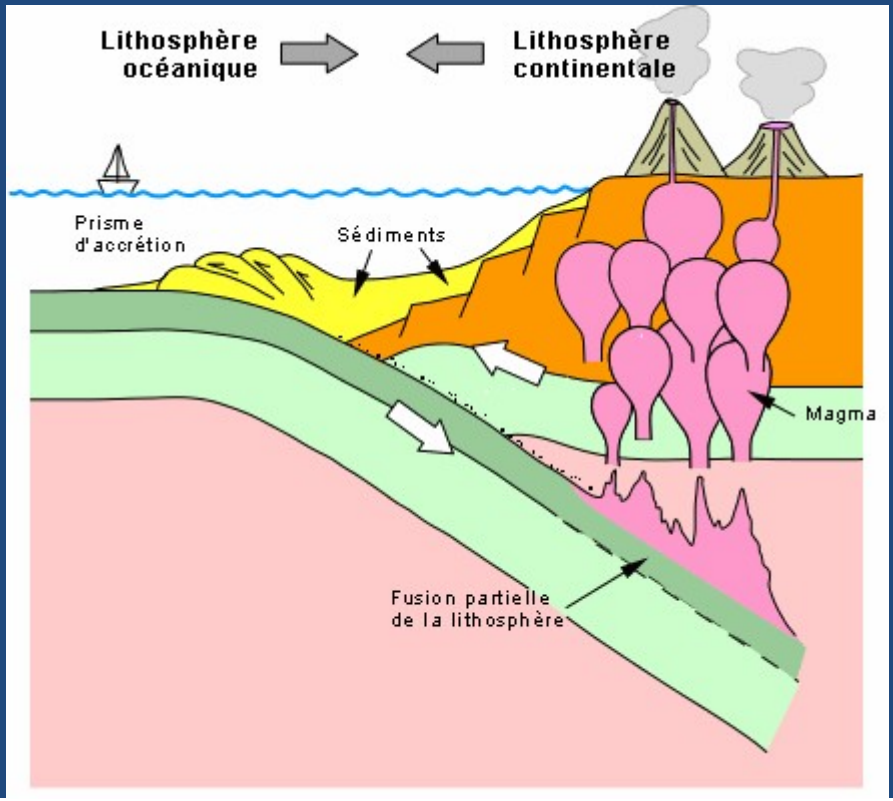
2. Les dorsales océaniques

La sédimentation se fait essentiellement par décantation (tests d'organismes planctoniques surtout) et à moindre mesure par voie éolienne (argiles et silts terrigènes) et parfois des produits du volcanisme et de l'hydrothermalisme peuvent s'ajouter. Le taux de sédimentation est généralement faible dans l'axe des dorsales et plus important sur leurs flancs où les processus de resédimentation peuvent être couplés aux processus de décantation.



3. Les fosses océaniques

Elles sont caractérisées par des dépôts terrigènes (par décantation ou resédimentation) et des dépôts volcanoclastiques. Les dépôts biogènes sont d'importance secondaires et les dépôts chimiques sont rares. Parfois leur forte profondeur provoque la dissolution des carbonates (CCD) par variation des condtions physiques (T.P.) de l'eau.



XI. FACTEURS CONTROLANT LA SEDIMENTATION EN MILIEU MARIN

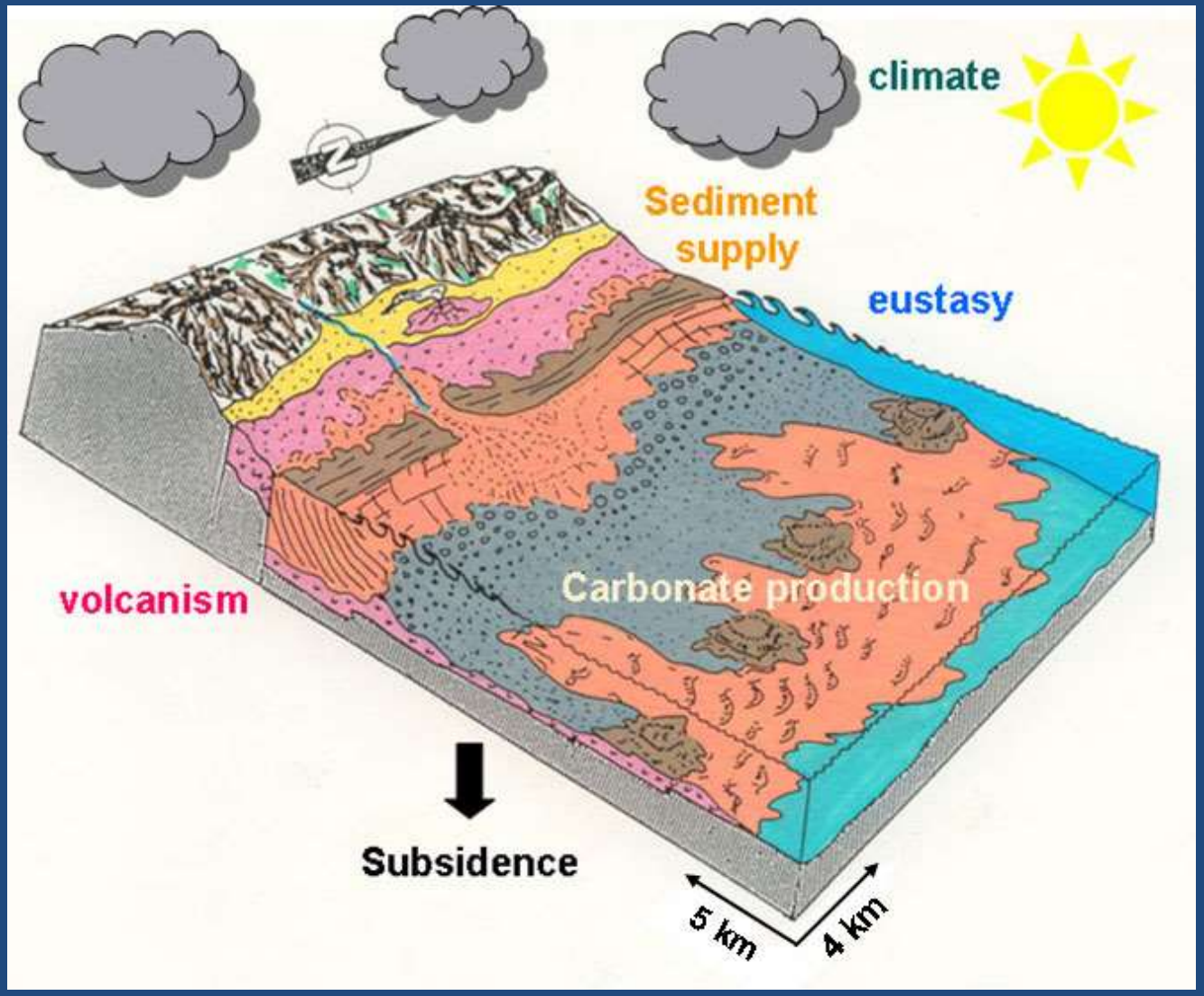


Fig.35. Modèle sédimentaire et facteurs contrôlant la sédimentation, basin de Jerada Maroc oriental au Carbonifère inférieur (Berkhli, 1993)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

