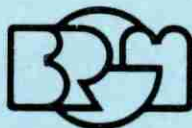


J.R



DÉPARTEMENT FORMATION

Document public

**STRUCTURE
DE LA TERRE
GÉODYNAMIQUE
INTERNE**

22

B. R. G. M.
11. SEP. 1985
BIBLIOTHÈQUE

82-SGN. 616. C0

SERVICE COOPÉRATION

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES



**BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC A CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

DEPARTEMENT FORMATION
SERVICE COOPERATION

STRUCTURE DE LA TERRE

Cours de Géodynamique interne

Géodynamique externe

Jacques BENEITO

22

1982

STRUCTURE DE LA TERRE

GEODYNAMIQUE INTERNE

DEFINITION ET DIVISION DE LA GEOLOGIE

LA TERRE

- I Formation et aperçu de son histoire géologique
- II Structure interne de la terre
- III Structure externe - Croûte terrestre
- IV La dérive des continents
- V La théorie des plaques

CONSEQUENCES DU MOUVEMENT DES PLAQUES

- I Tremblements de terre
- II Le volcanisme
- III Orogenèse
- IV Tectogenèse

LE PROBLEME DU TEMPS EN GEOLOGIE

- I Introduction
- II Datation absolue
- III Identité paléontologique
Datation relative - Ordre géométrique stratigraphique

EROSION ET MORPHOLOGIE

- I Altération superficielle
- II Influence du vent
- III Influence des glaciers
- IV Action des eaux

DEFINITION ET DIVISION DE LA GEOLOGIE

La géologie étudie les matériaux constituant la partie observable du globe terrestre. Elle fait appel à la :

- MINERALOGIE - Etude des minéraux
- PETROGRAPHIE ou LITHOLOGIE - Etude de l'association des minéraux
- STRATIGRAPHIE - Etude des relations mutuelles des strates qui constituent une grande partie de l'écorce terrestre
- TECTONIQUE - Etude des déformations
- PALEONTOLOGIE - Etude des vestiges organiques
- GEOGRAPHIE PHYSIQUE - Etude du visage actuel de la terre
- GEODYNAMIQUE - Etude des phénomènes géologiques actuels
- GEOLOGIE HISTORIQUE - Etude des transformations de la terre dans le passé
- PALEOGEOGRAPHIE - Etude des géographies anciennes
- GEOLOGIE APPLIQUEE - ou économique - Recherche des substances minérales - Travaux d'art, etc...
 - avec : GEOTECHNIQUE - Travaux d'Art
 - HYDROGEOLOGIE - Eau
 - GEOPHYSIQUE - Anomalies physiques
 - GITOLOGIE - Gisements
 - GEOSTATISTIQUE - Statistiques
 - GEOCHIMIE - Anomalies chimiques
 - etc...

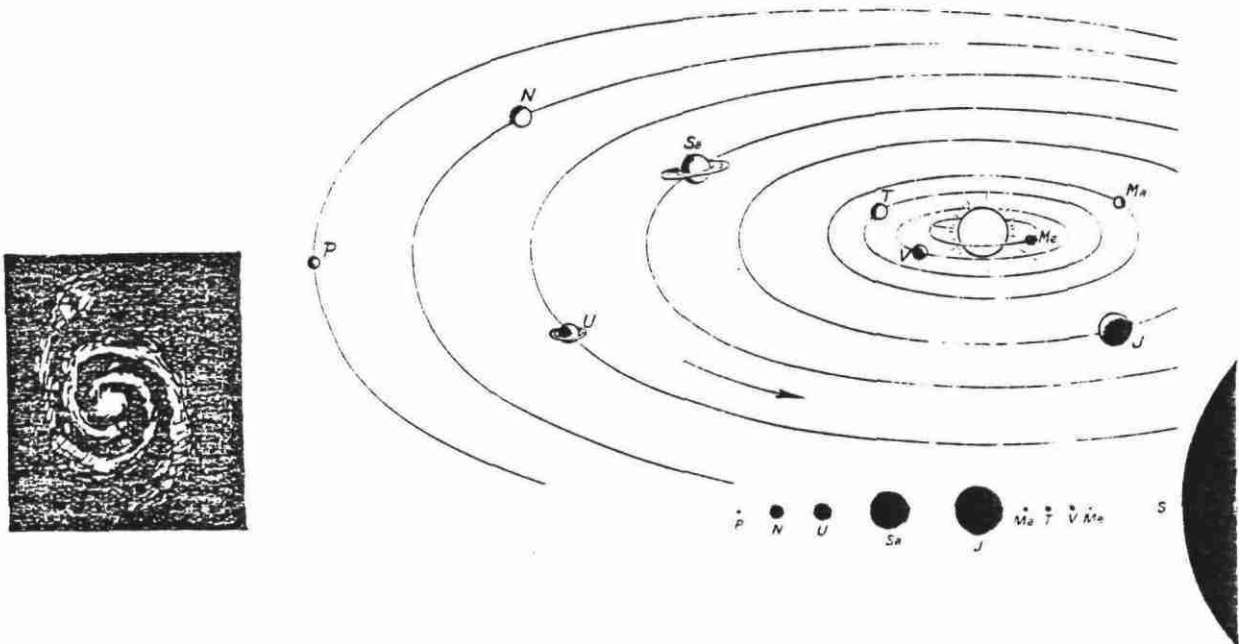
LA TERRE

I - FORMATION ET APERCU DE SON HISTOIRE GEOLOGIQUE

- Une nébuleuse : nuage de gaz et de poussières en rotation, se contractant pour donner le système solaire avec ses neuf planètes.

Création il y a environ 4.700 MA, et une durée d'environ 100 MA (MA = Million d'Années).

Le système solaire



— Le système solaire

La révolution des planètes autour du Soleil s'effectue dans le même sens. Leurs orbites sont sensiblement dans le même plan. Me : Mercure ; V : Vénus ; T : Terre ; Ma : Mars ; J : Jupiter ; S : Saturne ; U : Uranus ; N : Neptune ; P : Pluton (ni l'échelle des dimensions ni celle des distances ne sont respectées). Entre Mars et Jupiter gravite un essaim de plus de 2 000 très petites planètes, les astéroïdes, dont le diamètre est en général inférieur à 1 km. En bas à droite, les dimensions respectives des planètes comparées à celle du Soleil (l'échelle des distances n'est pas respectée).

4.600 MA - La terre = condensation d'un nuage formé essentiellement d'H et He avec 3 % d'éléments plus lourds.

- . Cette décantation planétaire fait de la terre une planète tellurique
- . Une phase de différenciation chimique où les matériaux se sont superposés par ordre de densité et affinités sélectives pour :

Le fer - éléments sidérophiles - concentrés dans le noyau.

Le soufre - éléments chalcophiles - du manteau

La silice - éléments lithophiles - dans l'écorce

TABLEAU I. - PROPORTIONS RELATIVES DE QUELQUES ÉLÉMENTS DANS LA MATIÈRE INTERSTELLAIRE (gaz et poussière)

hydrogène	2,5.10 ¹⁰	beryllium	0,45	néon	3.10 ⁶	soufre	4.10 ⁵
deutérium	4.10 ⁵	bore	4	sodium	5.10 ⁴	silicium	6.10 ⁴
hélium-3	4.10 ⁵	carbone	10 ⁷	magnésium	10 ⁶	fer	8.10 ⁵
hélium-4	2.10 ⁹	azote	3.10 ⁶	aluminium	8.10 ⁴		
lithium	25	oxygène	2.10 ⁷	silicium	10 ⁶		

C'est ce qu'on appelle la composition « universelle ». Elle représente une bonne moyenne de la composition chimique de l'ensemble de notre galaxie et aussi de l'ensemble des galaxies voisines de la nôtre (H. REEVES *La Recherche*, n° 60, 1975).

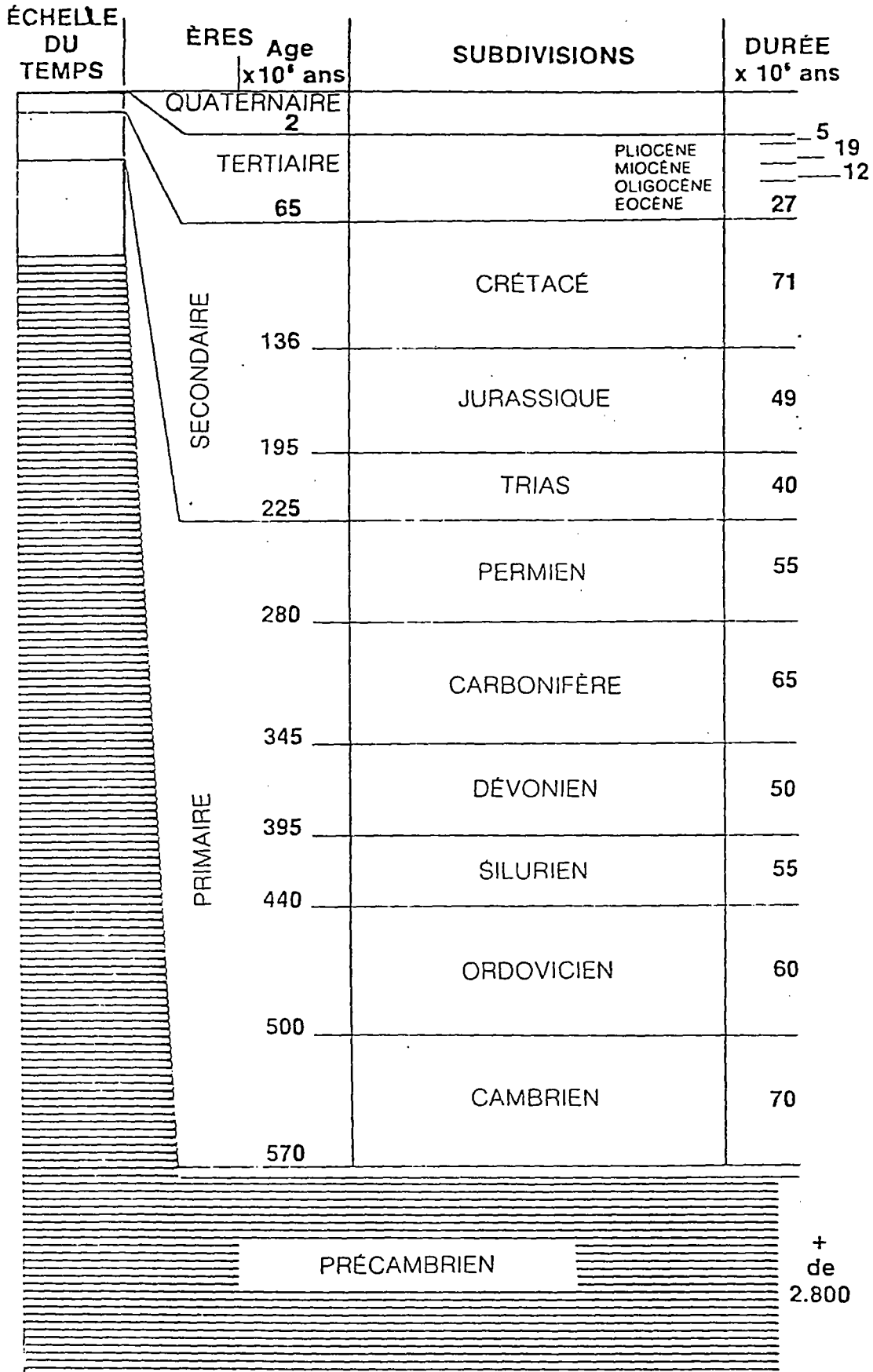
- Concentration d'éléments radioactifs de courte période (²⁶Al) provoquant l'échauffement puis la fusion de l'écorce.
- Consolidation périphérique au contact des couches plus froides d'une atmosphère secondaire tenue.

Vers 1.200 - 1.400° - Cristallisation des premiers minéraux (olivine - pyroxènes)

700 - 900° - Les feldspaths et le processus s'accélère.

- 4.000 MA - Croûte silicatée - sans eau liquide, bombardée d'une pluie de météorites (Lune). Ere cataclysmique avec magmatisme sous-cristal générateur de volcanisme et moteur tectonique avec formation d'une atmosphère secondaire de vapeur d'eau.
- 3.600 MA - Formation des océans - Processus d'érosion et sédimentation
Surcharge des creux - déformation
Premiers organismes Anaérobies.
- 3.000 MA - Photosynthèse chlorophyllienne → Algues bleues → oxygène de l'hydrosphère - Période d'oxydation hydrosphérique.
- 1.700 MA - L'oxygène passe dans l'atmosphère
5 % vers 700 MA (Paléozoïque)
10 % vers 400 MA (Devonien)
21 % vers 100 MA (crétacé et actuellement)
d'océanique l'oxydation devient atmosphérique.
- 1.000 MA - Formation de l'ozonosphère → protection du rayonnement solaire.
Processus de respiration
Fixation de CO² sous formes de carbonates - Coquilles, squelettes, etc...
- 400 MA - Sortie des eaux - Végétaux puis premiers vertébrés.

ÉCHELLE GÉOLOGIQUE DU TEMPS*



4.500 10⁶ ans : âge approximatif de la croûte terrestre

TABLEAU II - LA TERRE : DONNÉES GÉNÉRALES	
Distance moyenne Terre Soleil	149 504 000 km
Distance moyenne Terre Lune	384 000 km
Rayon équatorial de la Terre	6 378,388 km
Rayon polaire de la Terre	6 356,912 km
Volume de la Terre ¹	$1,083 \cdot 10^{27} \text{ cm}^3 = 1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$
Densité moyenne de la Terre ¹	$5,517 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Masse de la Terre ¹	$5,977 \cdot 10^{27} \text{ g} = 5,977 \cdot 10^{21} \text{ tonnes}$
Surface de la Terre	$5,101 \cdot 10^{18} \text{ cm}^2 = 510,1 \text{ Mkm}^2$
Surface des continents ²	$1,4894 \cdot 10^{18} \text{ cm}^2 = 148,94 \text{ Mkm}^2$
Surface des océans ²	$3,6116 \cdot 10^{18} \text{ cm}^2 = 361,16 \text{ Mkm}^2$
Volume des océans ²	$1,3722 \cdot 10^{24} \text{ cm}^3 = 1,372,2 \text{ Mkm}^3$
Masse des océans ²	$1,422 \cdot 10^{24} \text{ g} = 1,422 \cdot 10^{18} \text{ tonnes}$
Masse de l'atmosphère ²	$(5,136 \pm 0,007) \cdot 10^{21} \text{ g} = 5,136 \cdot 10^{15} \text{ tonnes}$
Masse de la glace actuelle ³	$30.000 \text{ teratonnes}^* = 3 \cdot 10^{22} \text{ grammes}$
Volume de la glace actuelle	33 Mkm^3 (dont 26 de glace continentale)

* 1 teratonne = 10^{12} tonnes ; 1 Mkm³ = 10^6 km³
 Un million d'années (10⁶) = 1 mégan = 1 Ma
 Un milliard d'années (10⁹) = 1 gigan = 1 Ga

II - STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE

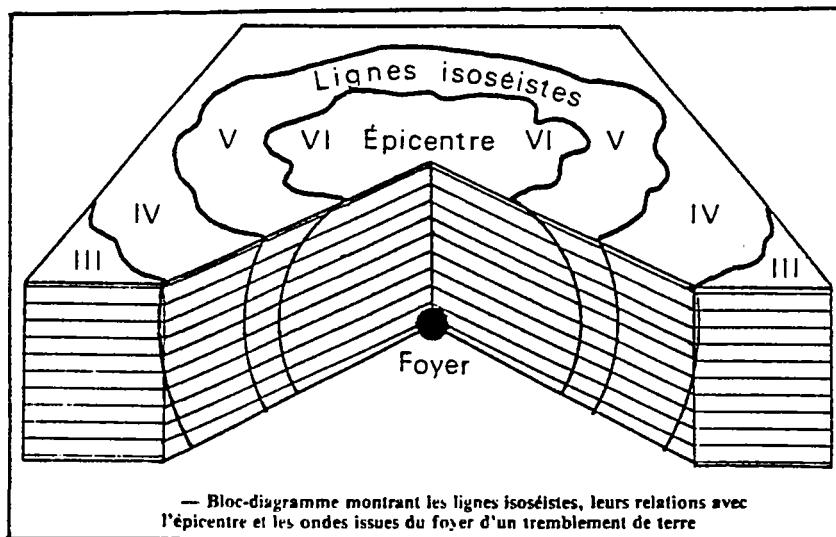
Deux méthodes complémentaires pour aborder cette étude :

- 1°) A partir du système solaire - Calculs astronomiques → vitesse de rotation, masse, etc...

Densité de la terre = 5,5 - Densité des roches accessibles = 2,5 à 3,5

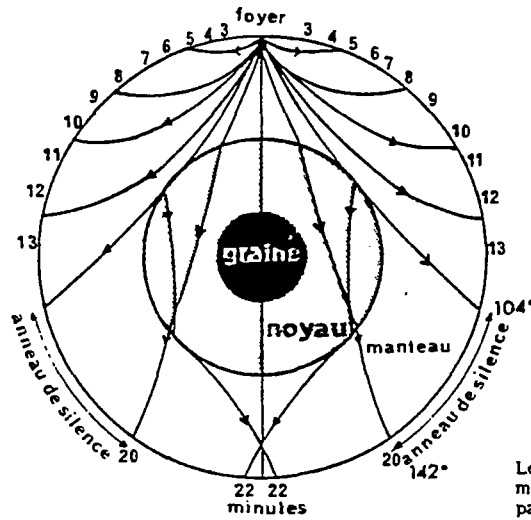
- 2°) Analyse des informations directes - Ondes sismiques des tremblements de terre naturels
 - Explosions atomiques
 - Gravimétriques
 - Thermiques

Informations sismiques - Seisme ou tremblements de terre = ébranlement brutal du sol provoqué en profondeur.
 Foyer ou hypocentre = lieu précis où se produit le mouvement.
 Epicentre = point situé en surface immédiatement au-dessus du foyer.



— Bloc-diagramme montrant les lignes isoséistes, leurs relations avec l'épicentre et les ondes issues du foyer d'un tremblement de terre

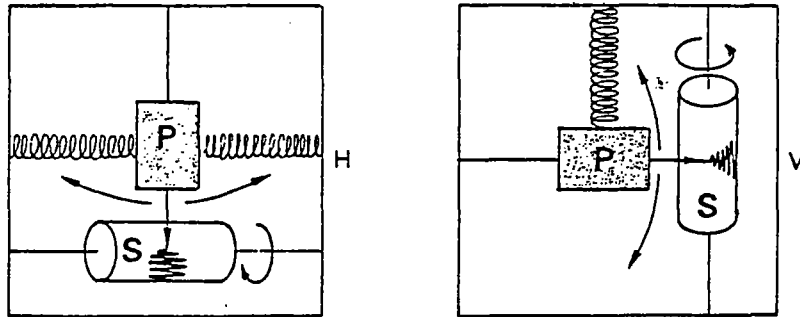
Les analyses des trains d'ondes font apparaître qu'ils subissent des réflexions et des réfractions.



— L'anneau de silence et la calotte antipode

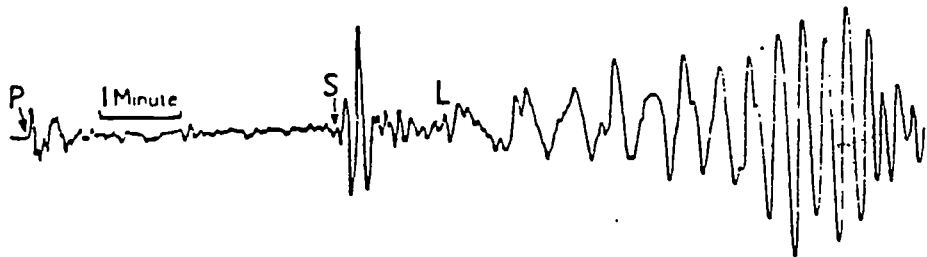
Les chiffres indiquent les temps de parcours en minutes. On n'a pas dessiné de réflexions pour ne pas compliquer le dessin.

Le sismographe est l'appareil qui permet d'enregistrer ces ondes. Ces enregistrements permettent de déterminer la vitesse de ces ondes et la nature du milieu conducteur - l'origine, etc...



— Sismographes

H - sismographe dont le pendule vertical (P) enregistre sur un cylindre tournant un sismogramme S correspondant à des secousses horizontales. V - sismographe dont le pendule horizontal (P) enregistre des secousses verticales. Lorsque survient un séisme, c'est le bâti qui se déplace, le pendule restant initialement immobile par son inertie.



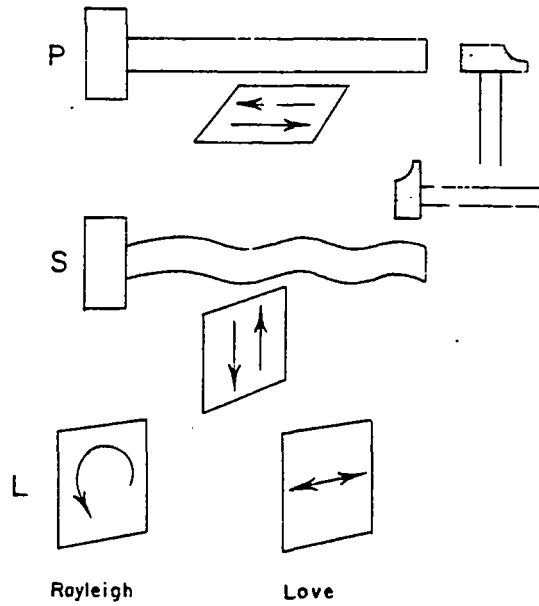
— Sismogramme de l'enregistrement à Pulkovo, Russie, d'un tremblement de terre d'Asie Mineure (9 février 1909)

L'intervalle de temps entre l'arrivée des ondes P et S est de 3 minutes 45 secondes, ce qui correspond à une distance de 2 250 km de l'épicentre.

Ces ondes sont classées en :

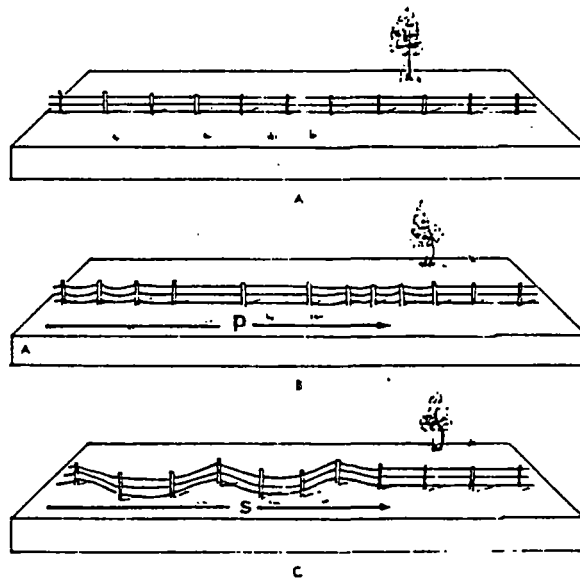
- Ondes longitudinales - Ondes P
- Ondes transversales - Ondes S
- Ondes circulaires dites de Rayleigh } Ondes L
- Ondes de torsion dites de LOVE }

Les tremblements de terre ou séismes



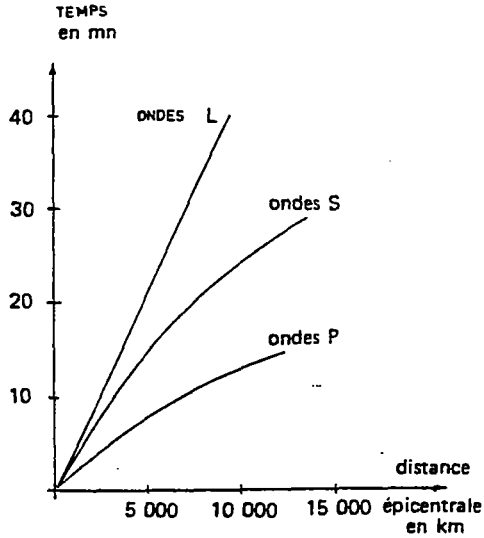
— Schématisation des ondes sismiques

P = ondes primaires, de compression.
S = ondes secondaires, de cisaillement.
L = ondes longues de Rayleigh (circulaires) et de Love (de torsion).

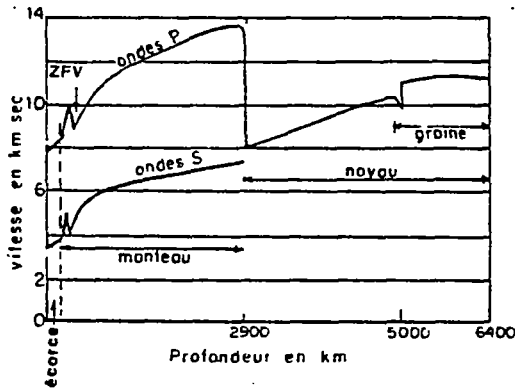


— Barrière tordue par un tremblement de terre figure schématique

a) état initial ;
b) déformations dues à des ondes de compression (P) ;
c) déformations dues à des ondes de cisaillement (S) polarisées dans le plan horizontal (d'après ZUMBERGE).

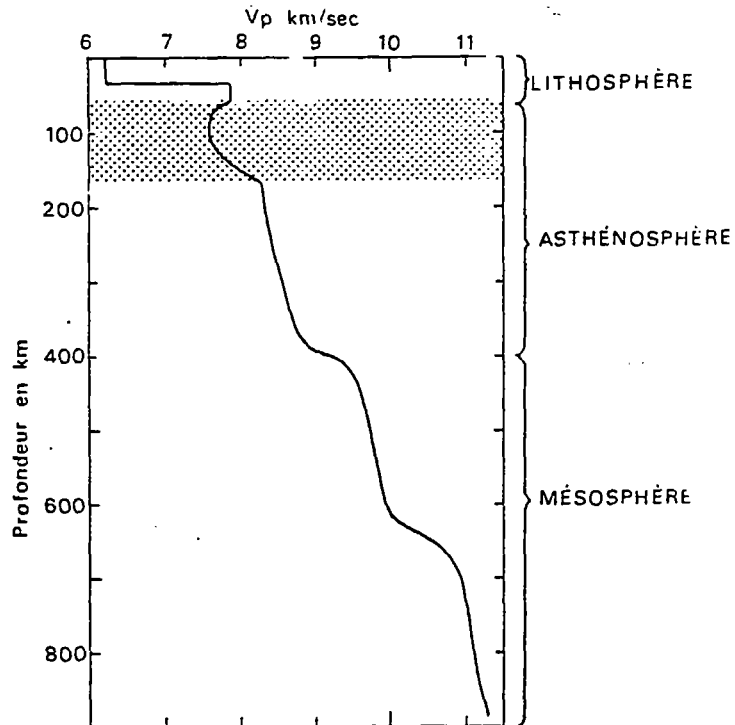


Courbe (dite hodographe) de vitesses des ondes.



Vitesse de transmission des tremblements de terre en fonction de la profondeur

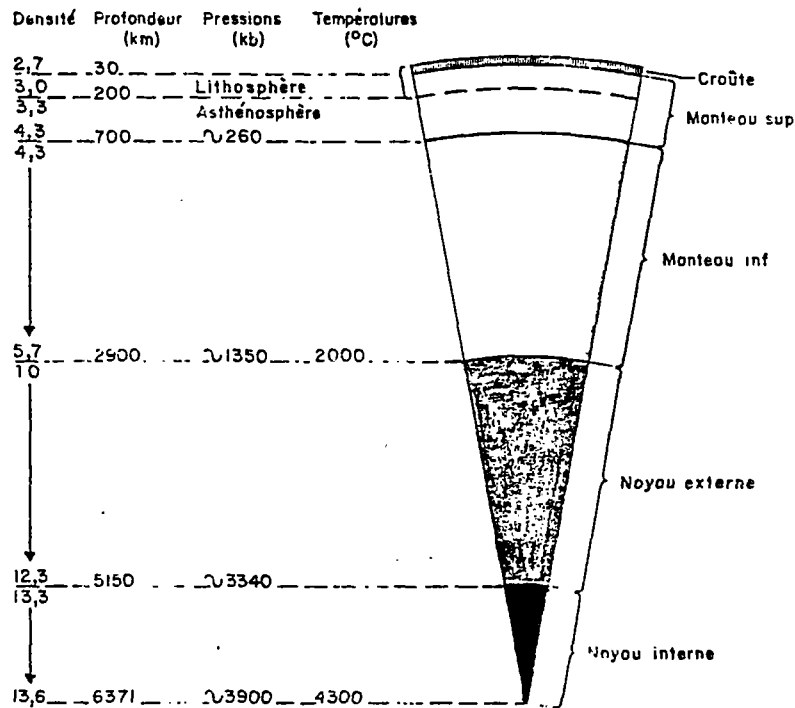
Les variations brusques de vitesse (surfaces de discontinuité), correspondent à des modifications de la structure de la Terre (voir chap. 2).
ZFV : zone à faible vitesse.



— Vitesse des ondes P dans le manteau supérieur

D'après JULIAN et ANDERSON, 1968, simplifiée et interprétée. Noter l'épaisseur de la zone à faible vitesse (ZFV) ou *low velocity layer* (LVL) (pointillés) et l'extension des différentes « sphères ».

L'interprétation des sismogrammes permet d'établir une coupe théorique de la terre - épaisseur des enveloppes - état physique, etc...



— Section de la Terre.

La croûte ne représente que 0,5 % de la masse de la terre. La *croûte continentale* a 30 km environ d'épaisseur, 17 km supérieurs à composition moyenne de granite et 13 km inférieurs à composition de gabbro-charnockite. La *croûte océanique*, amincie à 5 km environ, a une composition basaltique qu'on a longtemps homologuée à la croûte inférieure continentale.

Entre la croûte et le Manteau est la discontinuité de Mohorovicic ou *MoHo*. Le Manteau correspond à près de la moitié du rayon de la Terre, à 68,3 % de son volume et 67,2 % de la masse. Sa partie supérieure, < 200 km, aurait une composition de pyroxène de densité 3. La partie inférieure du Manteau Supérieur, de - 200 à - 700 km et à densité grandissant rapidement de 3 à 4,3, pourrait avoir des polymorphes de haute densité de Forsterite et des pyroxènes. Le Manteau inférieur, de - 700 à - 2 900 km, à densité croissante de 4,3 à 5,7, pourrait avoir des oxydes lourds, périclase (MgO) et stishovite (SiO₂) nés de la réaction $MgSiO_3 \rightarrow MgO + SiO_2$.

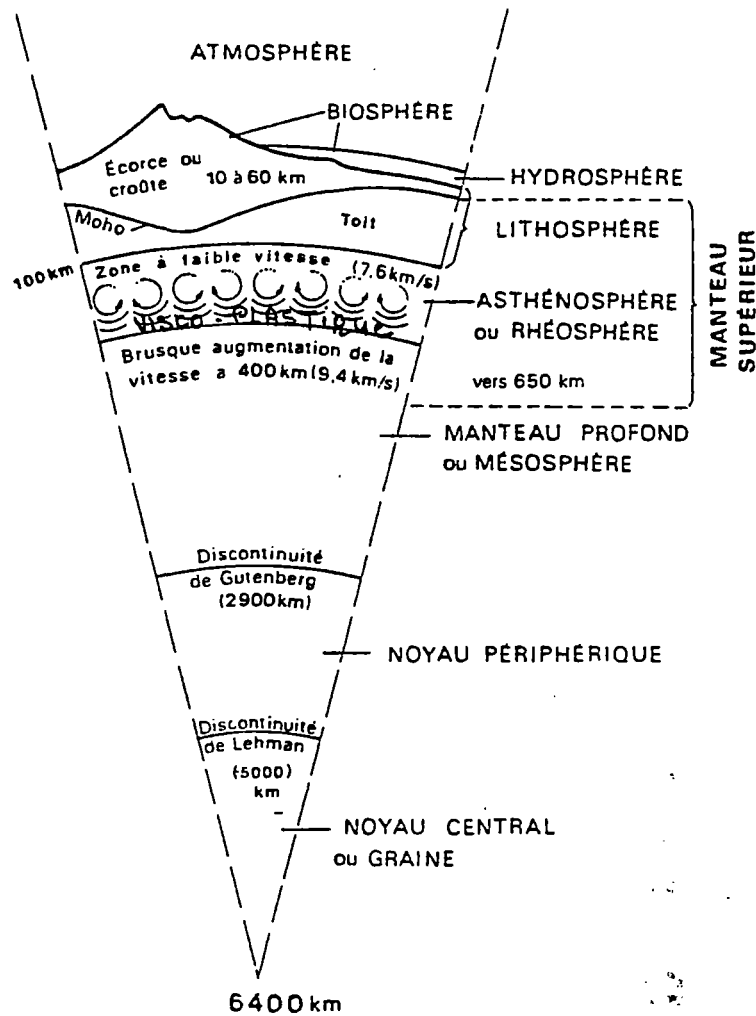
Le Noyau est séparé du Manteau par la discontinuité de Gutenberg-Wiechert. Bien que ne représentant que 16 % du volume de la Terre, il lui fournit 32 % de sa masse.

Le Noyau externe, de - 2 900 à 5 150 km, et de densité croissante de 10 à 12,3, est liquide et ne laisse pas transiter les ondes S. Sa composition serait à base de 80 % Fe-Ni (ex. NiFe d'Edouard Suess) et 20 % Si.

Le Noyau interne ou graine serait solide et à base de métaux Fe-Si, de densité 13,6.

La Lithosphère est l'ensemble croûte + Manteau Supérieur (< 200 km) à comportement de solide cassant et divisible en plaques élémentaires, mobiles les unes par rapport aux autres. L'Asthénosphère est la partie profonde du Manteau Supérieur (- 200 à - 700 km) à comportement visqueux. Dans ces nouvelles conceptions, la définition de la lithosphère diffère de ce qu'elle était jusqu'ici où elle était restreinte à la seule croûte terrestre.

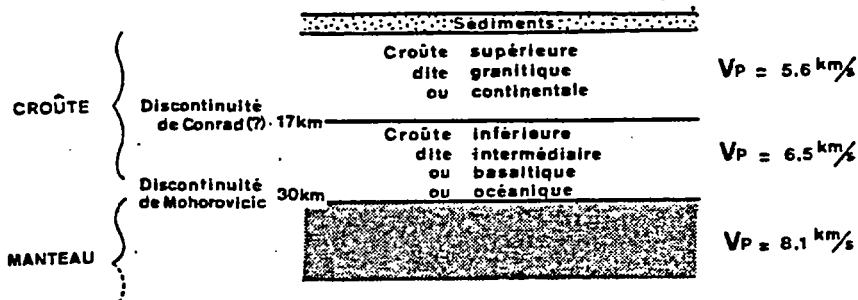
Structure théorique de la terre :



— Structure de la Terre

L'échelle n'est pas respectée ; pour la structure plus détaillée de l'écorce, se reporter à la fig. 11, p. 35.

La biosphère participe à la fois de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère. La lithosphère rigide (plaques) est mobile sur l'asthénosphère qui offre une plus faible résistance aux contraintes : zone probable de compensation isostatique, mouvements de convection (rhéosphère). La vitesse des ondes P y est d'abord plus faible dans une couche épaisse d'une centaine de km (jusque vers 200 km), puis s'accroît lentement jusqu'à 400 km. A cette profondeur, la vitesse s'élève brusquement, le manteau est de nouveau rigide. On appelle asthénosphère cette zone plus plastique incluse dans le manteau supérieur rigide.



— Schéma de la constitution de la croûte au niveau d'un continent.

Informations gravimétriques - La gravité se mesure à l'aide d'une balance dite de torsion.

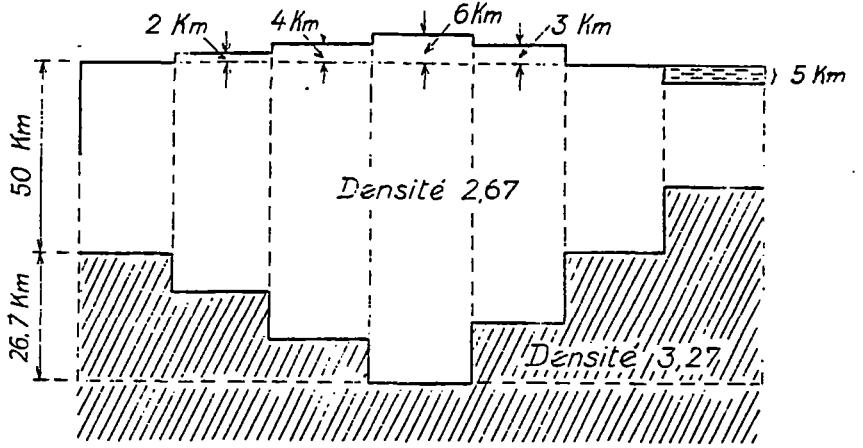
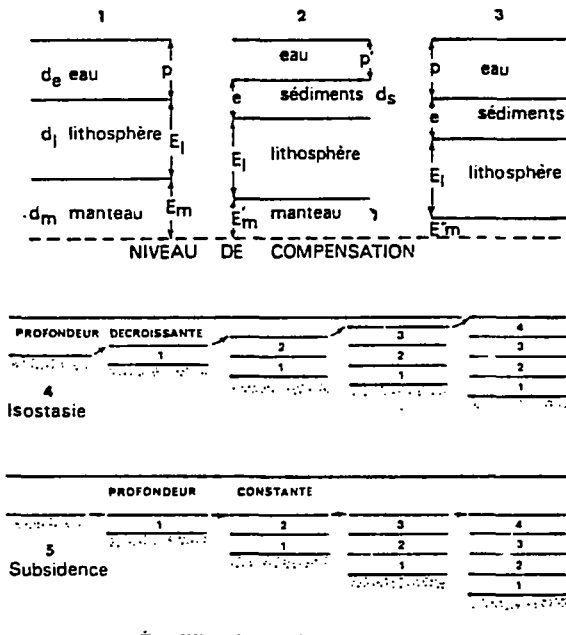
L'étude de la gravité conduit à mieux connaître les formes du globe et la constitution de ses enveloppes externes ainsi que leur dynamisme.

L'ISOSTASIE -

On appelle théorie de l'ISOSTASIE les hypothèses qui interprètent les compensations en profondeur des reliefs superficiels.

Mise en évidence de mouvements verticaux de grande ampleur dans les enveloppes du globe.

Soulèvement de l'écorce terrestre = isostasie
 Enfouissement de l'écorce terrestre = subsidence



Représentation de l'équilibre isostatique suivant l'hypothèse d'Airy. La croûte sialique est plus épaisse sous les montagnes que sous les marges continentales.

Équilibre isostatique ou subsidence après le dépôt de sédiments :

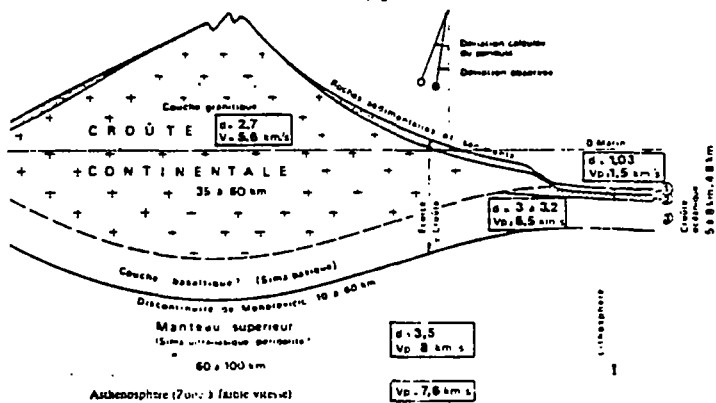
1. modèle initial avant sédimentation ;
2. réajustement isostatique après le dépôt de l'épaisseur e de sédiments ;
3. réajustement après subsidence : la profondeur de sédimentation reste constante.

d_e : densité de l'eau de mer ; d_s : densité de sédiments ; d_l : densité de la lithosphère ; d_m : densité du manteau. Evaluation de la montée réelle du fond après réajustement isostatique : on écrit l'état d'équilibre des masses au-dessus du niveau de compensation entre 1 et 2.

$$pd_e + E_l d_l + E_m d_m = p' d_e + ed_s + E_l d_l + E'_m d_m = (p - \Delta p) d_e + ed_s + E_l d_e + (E'_m - \Delta p) d_m$$

$$\Delta p = e \times \frac{d_s}{d_e + d_m} = 0,5 e$$

- si $d_s = 2$, $d_e = 1$ et $d_m = 3$.
 4. sédimentation et isostasie ;
 5. sédimentation et subsidence.



Structure des couches superficielles de la Terre dans une zone où la croûte océanique est solidaire de la croûte continentale, par exemple croûte atlantique - craton africain.

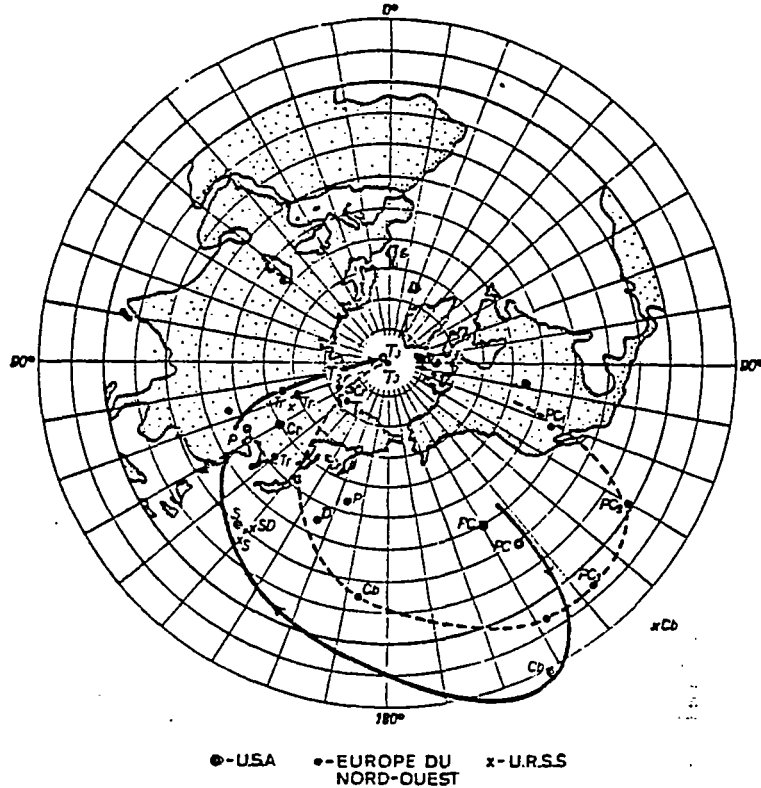
La croûte continentale, essentiellement granitique, serait basaltique à sa base. La croûte océanique comprend successivement :

- 1. une couche de sédiments meubles d'épaisseur variable (300 m en moyenne) ;
- 2. une couche d'épanchements volcaniques surmontée ou non de sédiments consolidés (socle ou *basement*, en anglais) (2 km en moyenne) ;
- 3. une couche basaltique dite couche océanique (5 km environ) plus épaisse sous les dorsales (voir fig. 50).

La discontinuité de Mohorovicic (Moho) correspond à une discontinuité physique : augmentation de densité, liée à des phases cristallines stables à haute pression. La nature minéralogique exacte n'est pas connue (éclogite, péridotite ?). Le Moho sépare l'écorce ou croûte du toit du manteau supérieur rigide. On appelle lithosphère l'ensemble écorce et toit. La lithosphère constitue l'armature des plaques, mobiles sur l'asthénosphère (voir p. 36).

A une toute autre échelle, la déviation d'un pendule, plus faible que la déviation théorique, indique un déficit de masse au droit des montagnes (voir isostasie, p. 39).

Informations magnétiques - Des informations paléomagnétiques montrent le déplacement des continents - Ceci est déduit de la "Migration des Pôles".



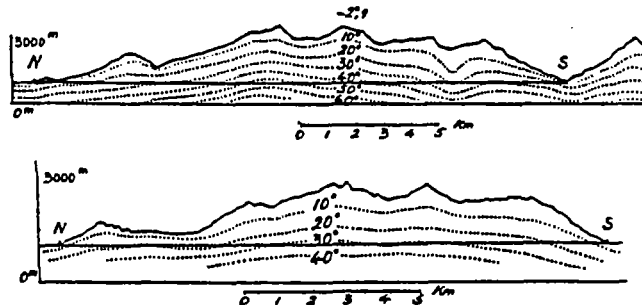
MIGRATION

- du "Pôle Nord américain"
- - - - - du "Pôle Nord européen"

— Migration des pôles magnétiques au cours de l'histoire de la Terre (d'après KOMAROV).

- Pc : Précambrien récent (Protérozoïque); Pc 1 : Torridonien inférieur;
- Pc 2 : Torridonien moyen; Pc 3 : Torridonien supérieur;
- Cb : Cambrien;
- S : Ordovicien-Silurien; D : Dévonien; P : Permien; Tr : Trias;
- Cr : Crétacé; T 1 : Eocène; T 2 : Oligocène; T 3 : Néogène et Quaternaire.

Informations thermiques - Augmentation de la température avec la profondeur.
Gradient géothermique = élévation de la température de un degré centigrade par 30 à 35 m d'approfondissement.



— Isothermes des tunnels.
Simplon (en haut) et Saint-Gothard (en bas) (A. HEIM).

Sondages profonds de 4.356 m t° = 133
3.000 m t° = 140

III - STRUCTURE EXTERNE - CROUTE TERRESTRE

1°) Structures continentales -

Les boucliers - sont de vastes étendues très anciennes (antérieures à 600 MA) généralement intensément plissées, métamorphisées, granitisées.

Les plates-formes - sont les secteurs des boucliers recouverts par des terrains sédimentaires marins parfois épais de 10 à 15 km (subsidence) - et pas plissés - Sillon Aulacogène. Le rebord de cette plate-forme s'appelle ligne de GLINT.

Les chaînes de montagne - sont composées de terrains marins qui sont plissés, granitisés et métamorphisés.

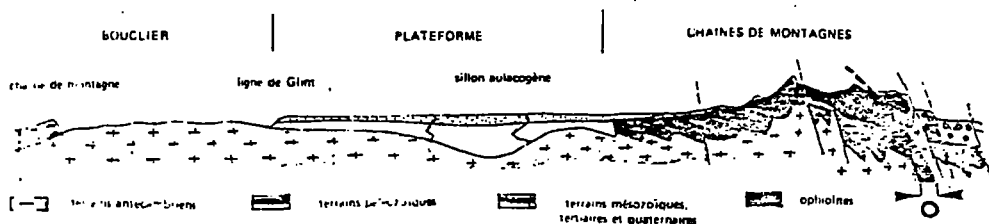


Diagramme d'un continent. Les reliefs, à droite, correspondent à l'orogénèse alpine (voir ch. 15). Sous les terrains mésozoïques (voir ch. 13), les terrains paléozoïques sont supposés avoir été déformés par un seul plissement (alors qu'en Europe, deux orogénèses se sont succédées au paléozoïque). En blanc et à droite, bassin sédimentaire intra-montagneux à bords effondrés. On notera en O la suture océanique (ophiolites et sédiments océaniques associés) (voir ch. 4, Fig. 4.10 et 11) (voir aussi la coupe des Alpes, Fig. 15.59).

2°) Structures océaniques -

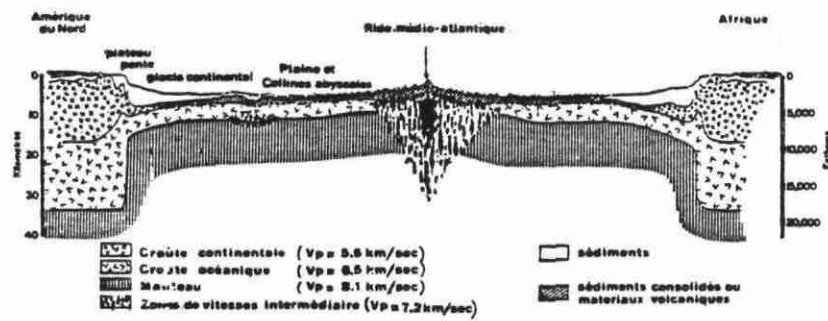
Le plateau continental - est la bordure du continent dont les structures sont immergées.

Le talus continental - (ou pente) correspond au domaine de transition entre le continent et l'océan.

Le glacis continental - est situé au pied du talus. Ils s'y déposent les matériaux venant du continent.

La plaine abyssale - est une étendue pratiquement plane (5.000 m) nappée de sédiments fins.

La crête médio-océanique - ou ride - est le relief considérable que l'on rencontre généralement au centre des océans. Elle est continue sur plusieurs milliers de kilomètres.



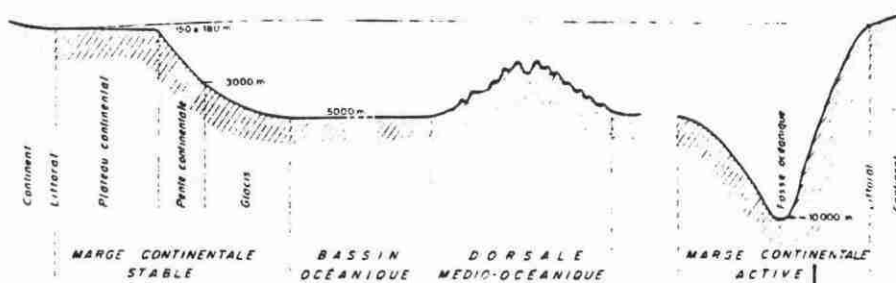
— Coupe générale de l'Atlantique nord (d'après HEEZEN et al.).

La zone de vitesse intermédiaire au niveau de la ride médio-atlantique correspond probablement à une remontée du manteau supérieur d'où naît la croûte océanique (cf. fig. 12.1, 12.5).

3°) Les marges continentales -

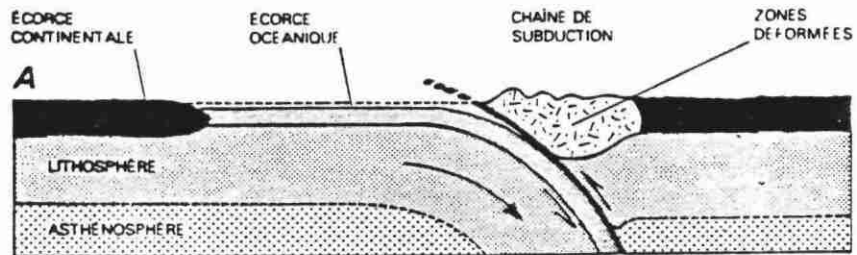
Marge continentale passive - (stable) - La structure est continue. Le plateau continental est généralement étendu et la profondeur des océans est faible. Il n'y a pas de mouvements de terrain et le continent a un relief peu accentué.

Marge continentale active - La structure de l'écorce terrestre n'est pas continue. La croûte océanique s'enfonce sous la croûte continentale. C'est une zone de SUBDUCTION. On trouve dans ces régions des fosses océaniques (10.000 m) des volcans actifs et des séismes.



— Morphologie du fond des océans

A gauche : marge stable. A droite : marge active (le bassin océanique n'a pas été figuré).

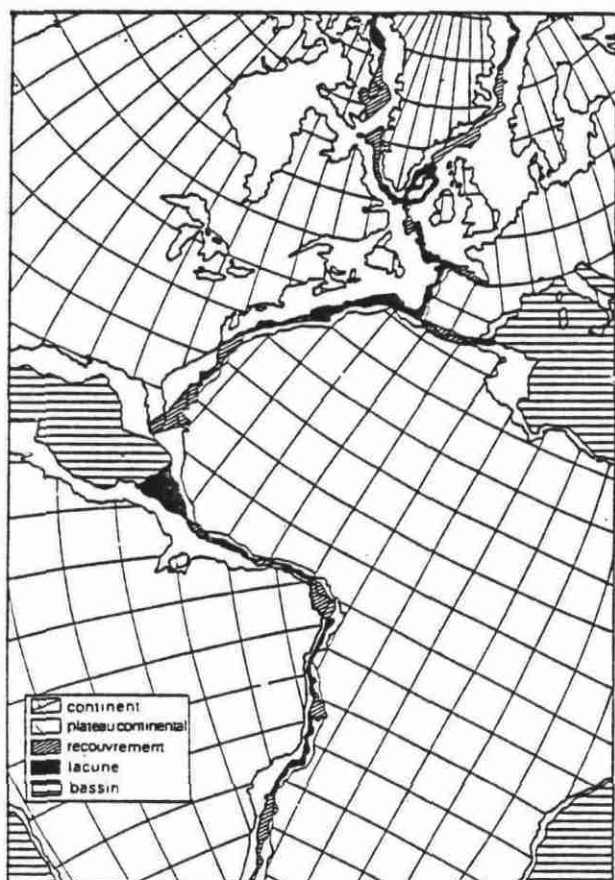


IV - LA DERIVE DES CONTINENTS

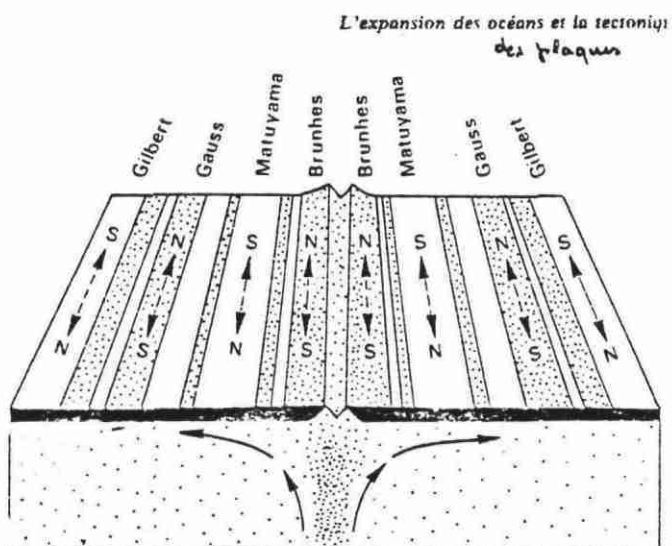
Les continents n'ont pas toujours été à la même place. Ils sont en constant déplacement. C'est la Dérive des Continents.

1°) Arguments -

- Morphologiques - L'Amérique du Nord et du Sud d'une part et l'Europe et l'Afrique d'autre part s'emboîtent aisément les unes dans les autres.
- Structuraux - La chaîne Calédonienne européenne se prolonge parfaitement en Amérique par les Appalaches.
- Paléontologiques - Fossiles semblables sur les deux continents.
- Magnétiques - L'étude de la magnétite des sédiments de bassins océaniques renforce l'hypothèse de la dérive.



— Rassemblement des continents de part et d'autre de l'Atlantique (d'après BULLARD, EVERETT et SMITH, 1962).



— Paléomagnétisme plio-quaternaire

Les grandes périodes du paléomagnétisme plio-quaternaire de part et d'autre de la ride médio-atlantique. On retrouve, enregistrées dans la magnétite contenue dans les basaltes de la croûte océanique, des anomalies magnétiques correspondant aux polarités suivantes : Brunhes normale (actuel à 0,7 millions d'années) ; Matuyama inverse (0,7 à 2,5 m.a.) ; Gauss normale (2,5 à 3,3 m.a.) ; Gilbert inverse (3,3 à 5,3 m.a.). A l'intérieur de chaque période un ou plusieurs « événements » correspondent à de brèves inversions de polarité.

Taux d'expansion pour l'Atlantique Nord :

72 à 63 MA - 2,5 cm/année

53 à 9 MA - infér. à 1 cm/année

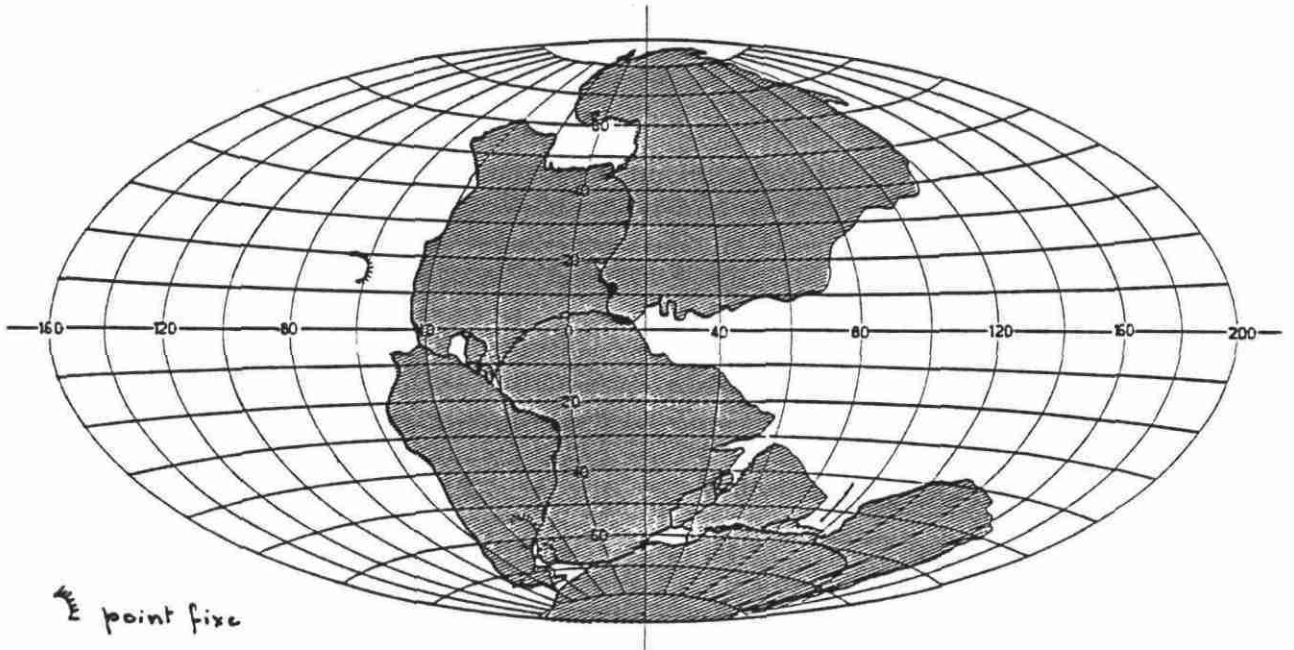
9 à actuel - 1 cm/année

2°) Historique -

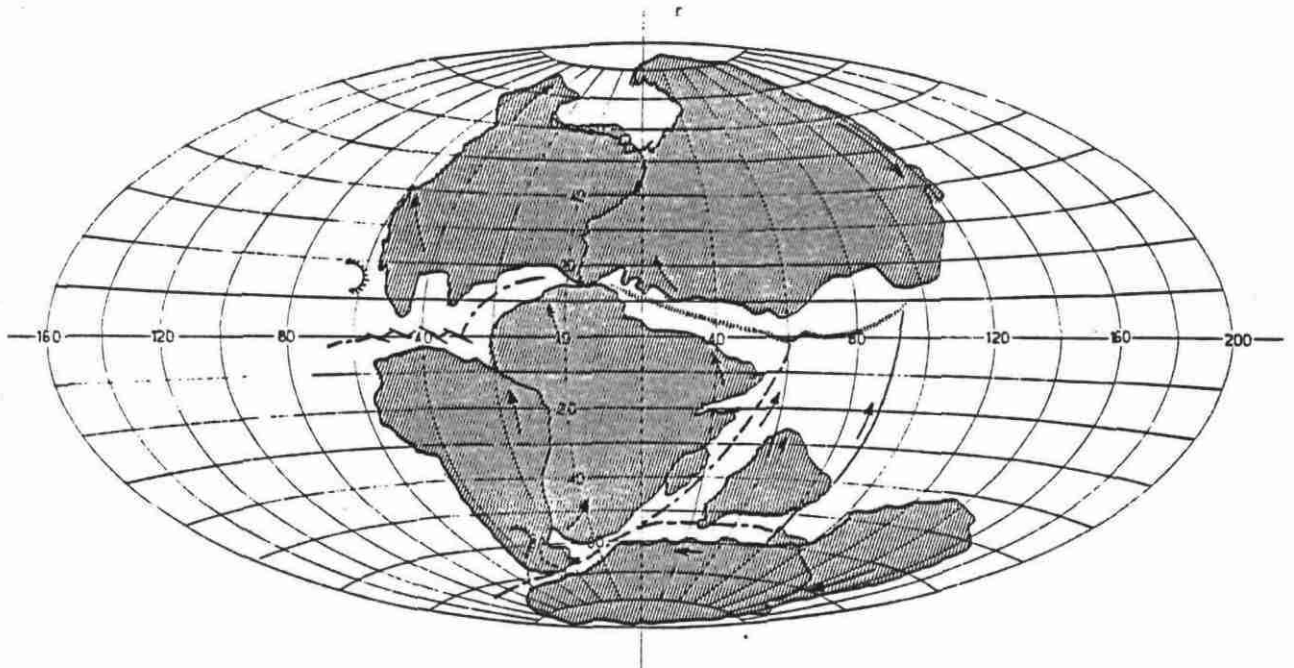
Il y a 200 MA un seul continent existait. Depuis il s'est produit les événements suivants :

- Séparation de l'Amérique du bloc Europe/Afrique.
- Migration de l'Antartique initialement accolée à l'Afrique.
- Migration de l'Inde et de l'Australie initialement solidaires de Madagascar.

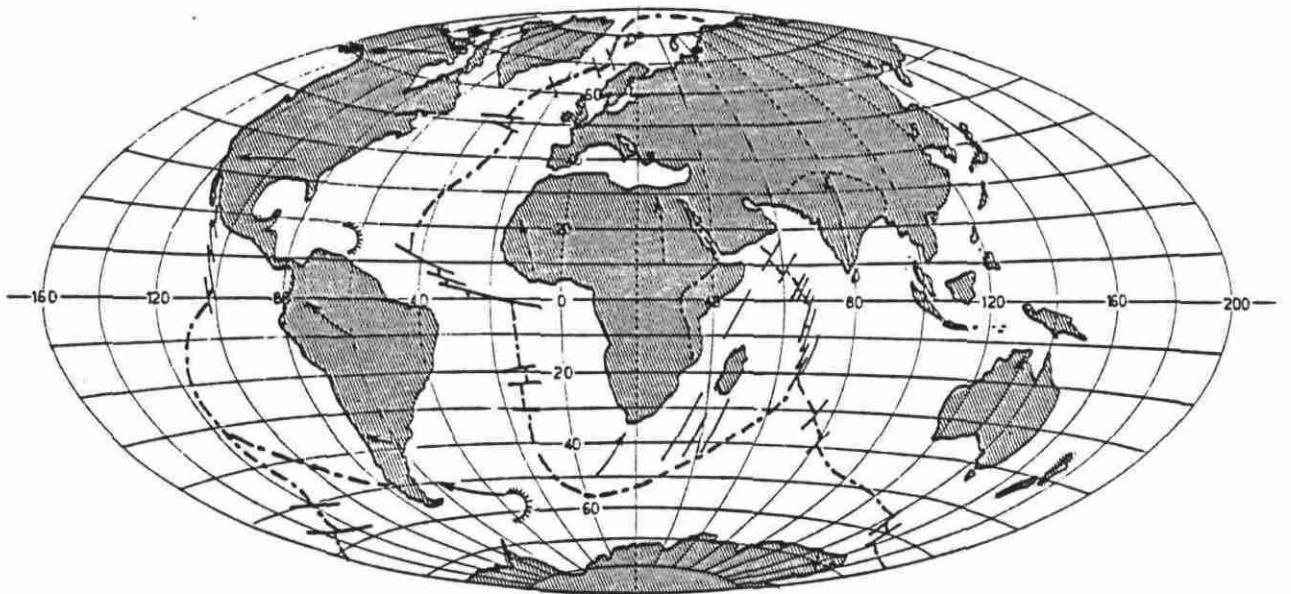
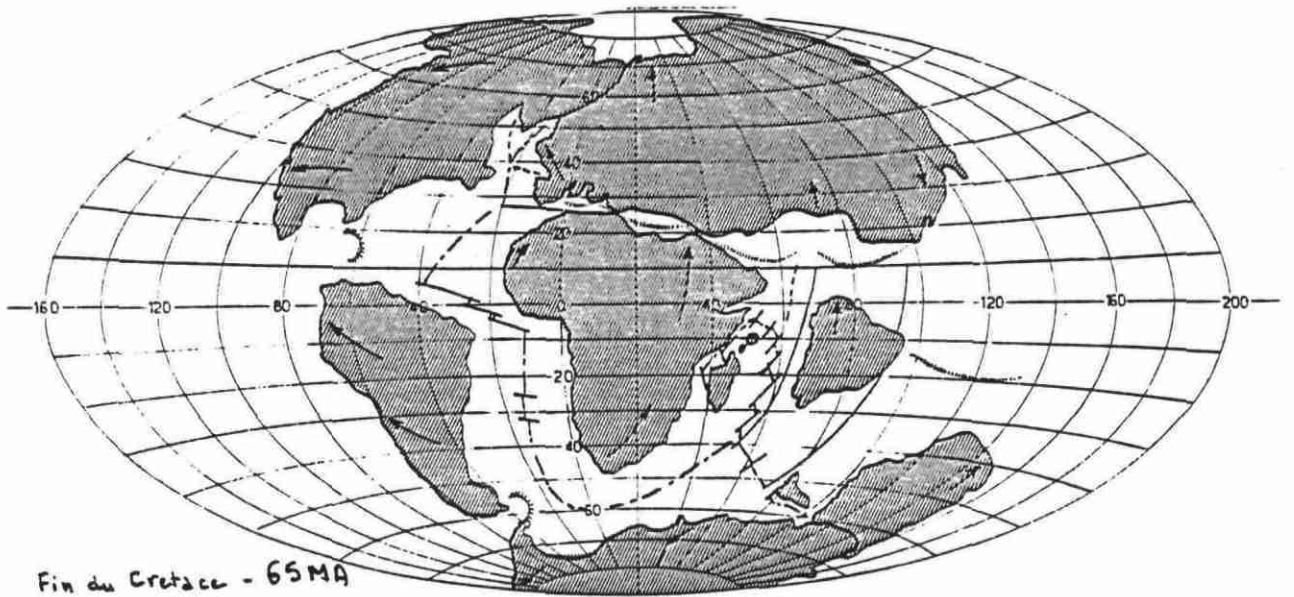
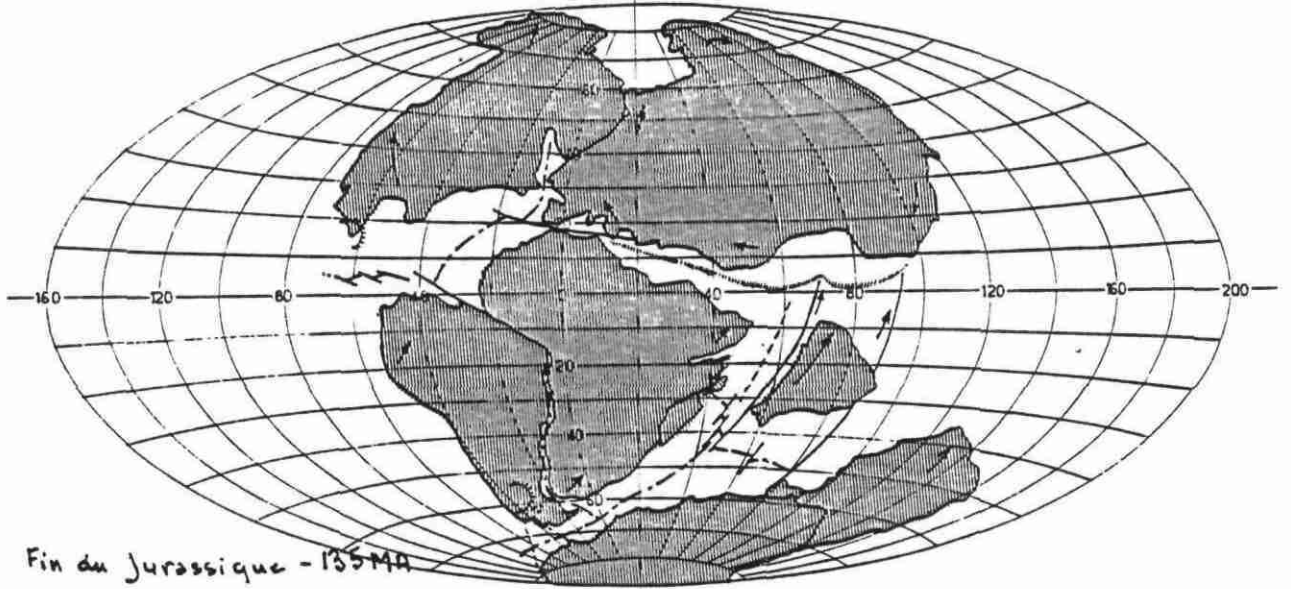
L'Inde en entrant en collision avec l'Asie a formé l'Himalaya.



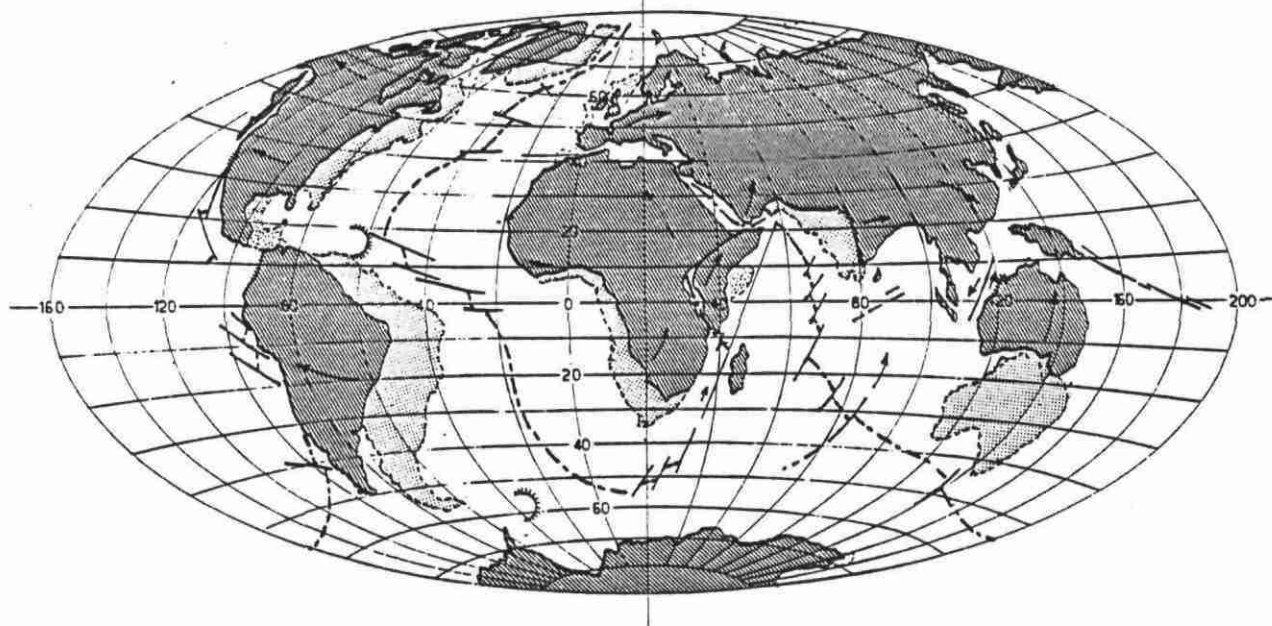
A - Le continent unique ou Pangée au Trias il y a 200 millions d'années



B - Aspect des continents et des océans à la fin du Trias il y a 180 millions d'années



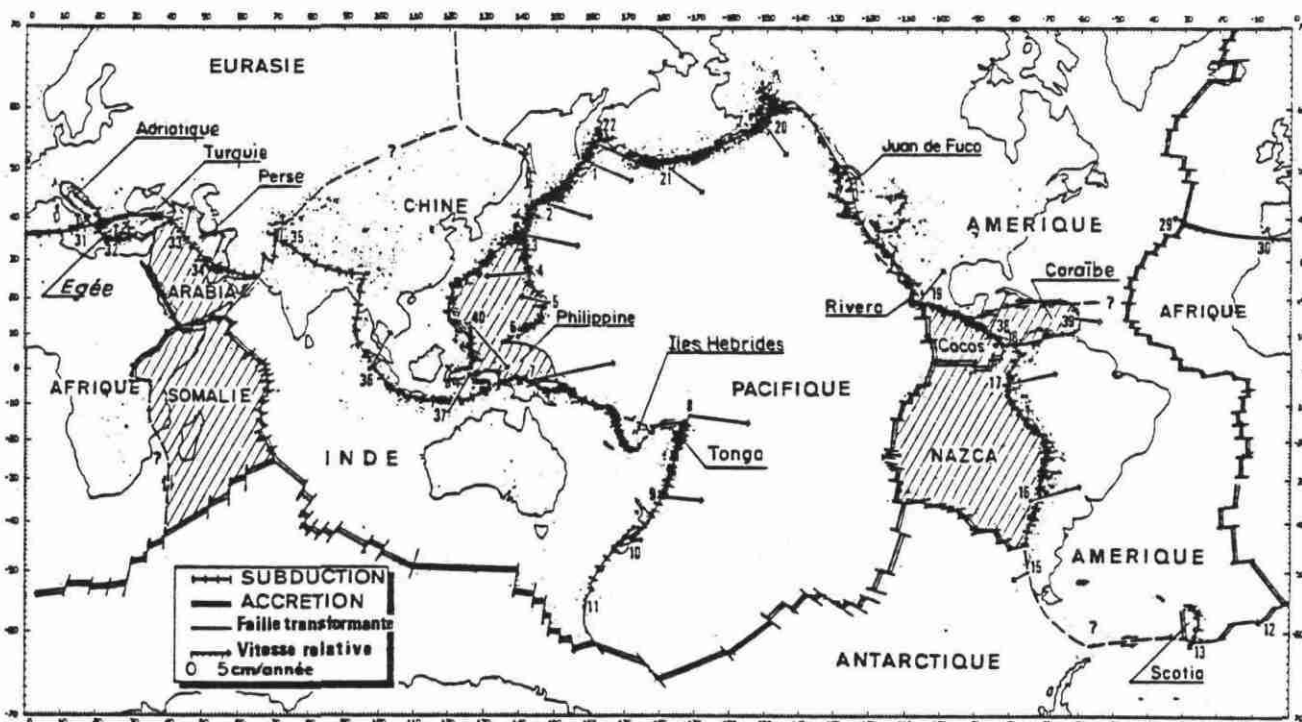
E - Disposition actuelle des continents et des océans



F - Les continents et les océans dans 50 millions d'années

V - THEORIE DES PLAQUES

La croûte terrestre est constituée par plusieurs plaques. Chaque plaque est limitée d'un côté par la ride médio-océanique (accrétion - poussée) et de l'autre par la zone de subduction (marge active).



— Répartition des plaques à la surface du globe (d'après X. LE PICHON, J. FRANCHETEAU, J. BONNIN, 1973).

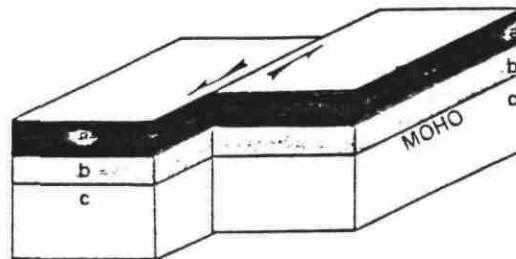
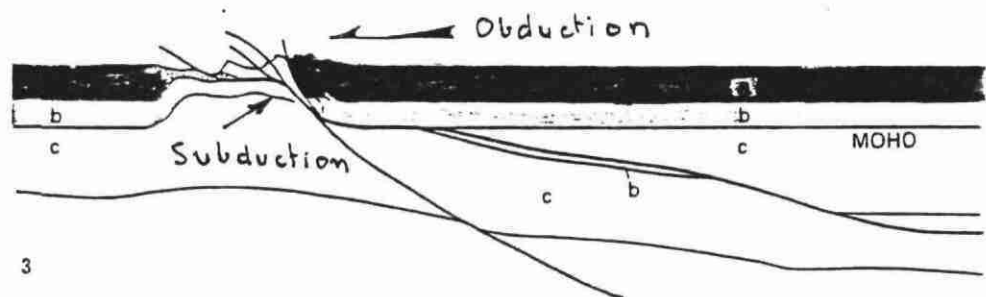
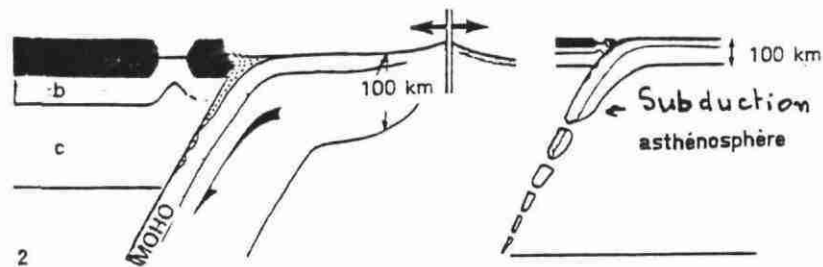
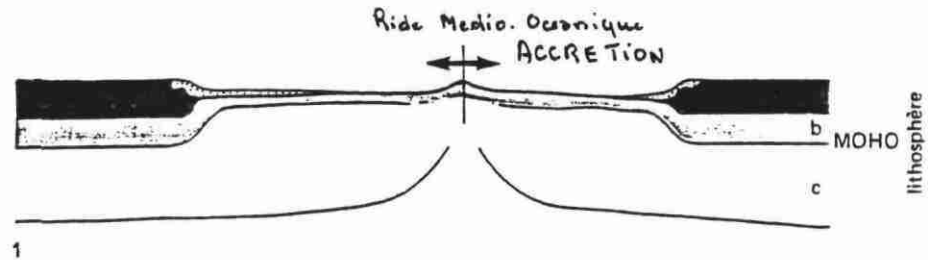
On notera :

- les divisions nouvelles apparues dans le Pacifique et le domaine indien (notamment, la distinction d'une sous-plaque arabe et d'une sous-plaque des Somalies par l'ouverture de la Mer Rouge et le début d'ouverture des rifts est-africains) ;
- la complexité du domaine mésogéen ; par comparaison avec les cartes structurales de celui-ci (cf. fig. 7-2-), on voit qu'il s'agit le plus souvent de « néoplaques » liées à la néotectonique sans liaison avec la genèse alpine des chaînes concernées (cf. p. 454).

L'état actuel de la surface du globe comporte ainsi à la fois des traits permanents et des traits récents, notamment au niveau de la ceinture orogénique mésogéenne.

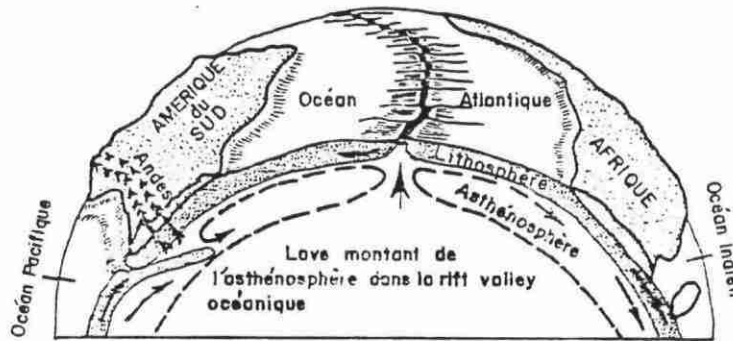
Les plaques jouent selon quatre mouvements principaux :

- Ecartement - de la ride médio-océanique - Accrétion, formation simultanée d'une croûte océanique (Basaltique).
- Résorption - au niveau d'un arc - Subduction (type Pacifique).
- Résorption - au niveau d'une chaîne de montagnes (type Alpes).
- Glissement - (type Californien) - Deux fragments continentaux glissant l'un contre l'autre - Deux fragments océaniques ou un océanique et un continental peuvent le faire.



Mouvements au contact de plaques.

- a : Croûte supérieure continentale ; couche 2 au niveau de l'arc insulaire du schéma 2 ;
- b : Croûte inférieure continentale (couche 3) et croûte océanique (couche 2 et 3) ;
- c : Manteau supérieur.

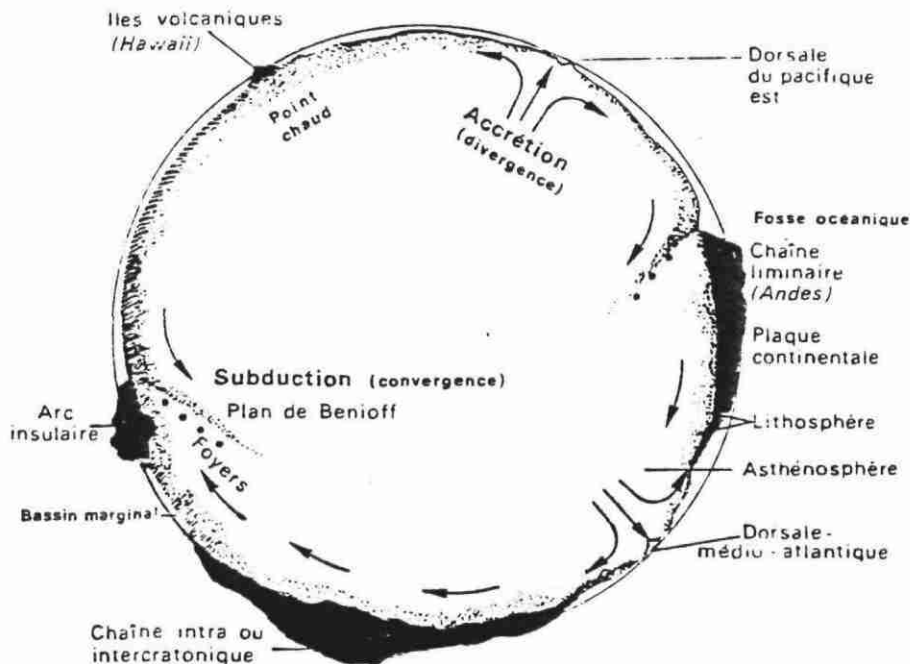


- Plaques de lithosphère avec une limite divergente et une limite convergente (d'après P. Wyllie, 1973).

Le moteur des mouvements et la production d'énergie mécanique seraient le fait de courants de convection dans l'asthénosphère, avec transfert de chaleur d'une zone chaude profonde vers une zone froide plus superficielle. ce qui implique bien la production d'énergie mécanique dont une partie seulement serait absorbée par les frottements freinant les courants.

Mais ces courants caractérisent les fluides alors que le Manteau est solide. Ces faits contradictoires ne s'harmonisent qu'en admettant une viscosité très élevée du Manteau ($= 10^{21}$ poises) et, dans ce cas, à la fois, un comportement instantané de solide (transfert des séismes) et un comportement très lent de fluide (équilibre isostasique, courants de convection très larges) (quelques 1000 km) et très lents (quelques mm/an). Les courants de convection ne peuvent se produire que si le gradient thermique est supérieur au gradient adiabatique (variation de température de la matière, liée à la variation de pression en l'absence d'échanges thermiques), un gradient adiabatique de l'ordre de $1,6 \text{ }^\circ\text{C/km}$.

Au voisinage des conditions de fusion, les courants ascendants doivent être beaucoup plus visqueux (plus chauds et à forte proportion de matière fondue) que la matière environnante. Ils doivent avoir tendance à s'individualiser en asthénolites.



- Section schématique du globe montrant la disposition des plaques (d'après S. UYEDA, *La Recherche*, 1973, modifié)

Les plaques se forment à partir des dorsales. Alors que la croûte atlantique en expansion est solidaire des continents adjacents, la croûte pacifique s'enfonce par subduction dans le manteau supérieur (asthénosphère) par les plans de Benioff, jalonnés par les foyers sismiques intermédiaires et profonds.

CONSEQUENCES DU MOUVEMENT DES PLAQUES

I - TREMBLEMENTS DE TERRE OU SEISMES

- 1 - L'HYPOCENTRE (du grec Hupo, au-dessous, et de centre) d'un séisme est le point, à profondeur variable, où se produit l'ébranlement et où se libère l'énergie. On l'appelle aussi le foyer du séisme ; selon sa profondeur, le tremblement de terre est dit superficiel (jusqu'à 60 km de profondeur), intermédiaire (de 60 à 300 km) ou profond (supérieur à 300 km).

L'EPICENTRE est le point correspondant le plus proche sur la surface terrestre et où la secousse est maximale.

- 2 - L'INTENSITE d'un séisme est une notion relative, basée essentiellement sur les dégâts causés. On le mesure, à l'aide de l'échelle de MERCALLI qui comprend 12 degrés.

La magnitude est une donnée mesurable ; elle est fonction du choc initial et de la profondeur du foyer ; elle est mesurée à l'aide de l'échelle de RICHTER.

On mesure l'amplitude maximale en microns du séisme, à 100 km de l'épicentre, ceci à l'aide d'un sismographe.

La magnitude est égale au logarithme décimal de cette amplitude mesurée.

Suivant le lieu, il existe plusieurs intensités pour un même séisme, mais il ne peut être caractérisé que par une seule magnitude.

- 3 - LES GRANDES ZONES SISMIQUES DU GLOBE :

Ce sont des zones où la croûte montre des discontinuités importantes.

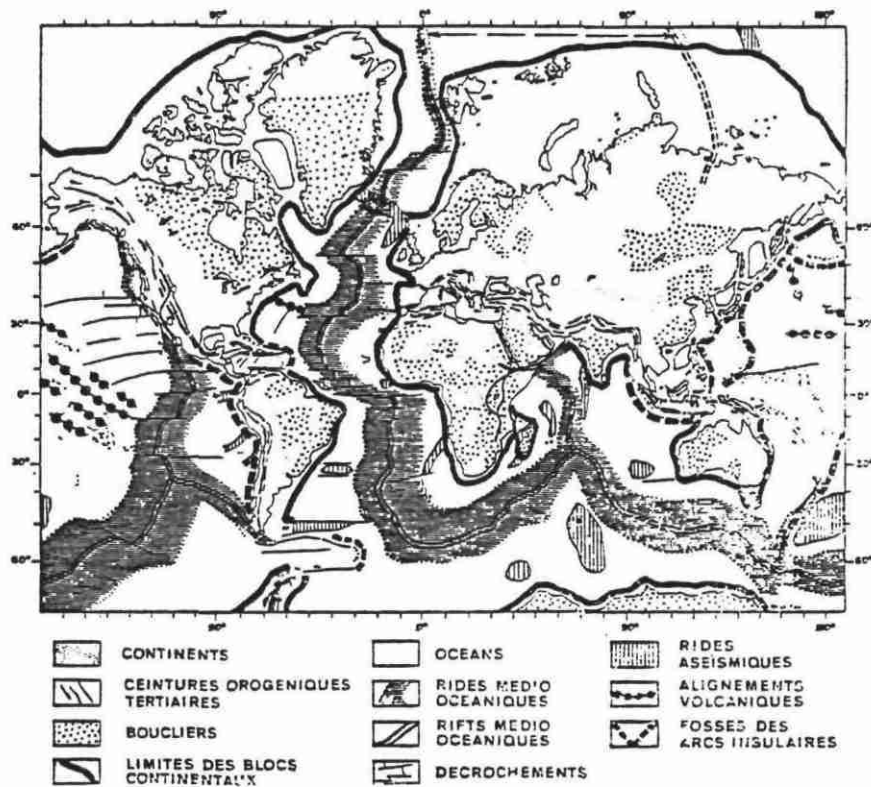
Ce sont :

a) Les zones de collisions de plaques :

- collision de deux plaques océaniques (arcs insulaires péripacifiques, Antilles).
- collision de deux plaques continentales (Afrique - Europe - Inde contre Asie).
- subduction d'une plaque océanique sous une plaque continentale (Chili - Pérou, Bolivie, Amérique Centrale).

b) Les zones de faille active (exemple : la faille de San Andrés en Californie).

Voir page suivante.



— Carte des grands ensembles structuraux du globe (d'après HEEZEN).

On remarquera :

- la généralité des rides médio-océaniques crevées en leur axe par un rift médian; lorsqu'elles se raccordent à une bordure continentale, elles passent à des structures en graben (Afrique orientale, Islande) ou à des zones de décrochements (Californie, Nouvelle Zélande);
- le champ de fractures transversales dans l'Atlantique équatorial (décrochements senestres) et dans le Pacifique du Nord-Est (décrochements dextres);
- la limite des masses continentales, soit de type atlantique (limite des blocs continentaux), soit de type pacifique (fosses des arcs insulaires).

II - LE VOLCANISME

- 1 - Un volcan est un appareil qui met en relation la surface du globe avec des zones internes où les roches sont à une température permettant leur fusion.

Le terme de volcan évoque le plus souvent l'image d'une montagne conique dont le sommet a une forme de cratère.

Il existe des volcans actifs : ceux-ci, lorsqu'ils ne sont pas en période de rémission, laissent échapper des panaches de fumée, voire des éruptions si l'activité est plus importante.

Beaucoup de volcans sont dit éteints car leur phase de repos dure depuis fort longtemps. Toutefois, il semble impossible d'affirmer qu'un volcan est définitivement éteint.

- 2 - Principaux types d'éruptions : par l'intermédiaire d'
 - éruptions punctiformes (appareils volcaniques)
 - éruptions fissurales.

Ce dernier type d'éruption se présente essentiellement sous deux formes.

- a) sans explosion : Le magma monte à la surface en se servant des failles ou diaclases préexistantes, parfois même entre des couches sédimentaires.

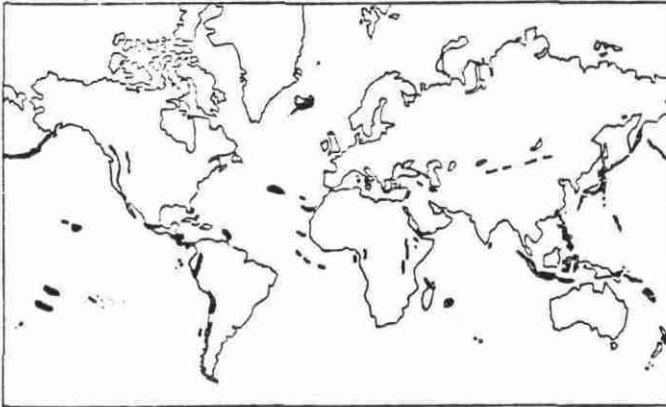
On donne le nom de NECK (aiguille cylindrique ou conique) à un remplissage de cheminée volcanique dégagé par l'érosion lorsqu'il s'agit de matériaux hétérogènes le plus souvent bréchique. Si le remplissage est fait de lave homogène solidifiée, on parlera de DYKE (murs verticaux).

On réserve le terme de sill à une coulée de lave interstratifiée (filon-couche) si l'insertion dans les roches sédimentaires constitue un vaste ensemble, on parlera de laccolites (ces filons-couches et laccolites constituent des roches dites de semi-profondeur dont nous reparlerons lors de l'étude des roches magmatiques).

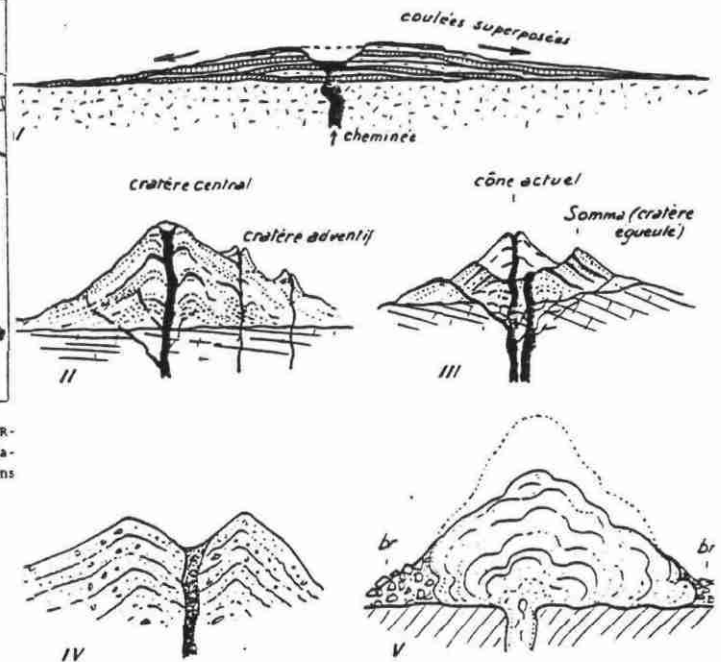
- b) avec explosions : Il s'agit du volcanisme fissural très actif au fond des océans ; les épanchements de laves forment alors la croûte océanique et cette activité fissurale est à l'origine de l'expansion du fond des océans.

- 3 - L'ascension du magma se fait dans tous les cas à partir de l'asthénosphère, par des fissures de la lithosphère ; ce magma est souvent stocké, au cours de sa montée, dans des chambres magmatiques situées à des profondeurs variables, où elle peut être "contaminée", par des roches encaissantes d'où modification de l'acidité) ; elle peut aussi y subir une "différenciation" ce qui provoque ultérieurement une succession de produits différents provenant du même magma et constituant ainsi une série ou lignée magmatique.

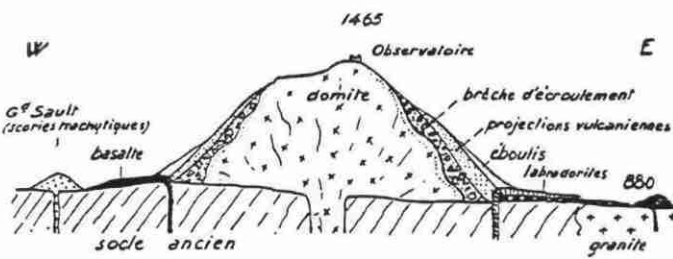
FORMES	DESSIN	EXEMPLES	PRODUITS EMIS			FONCTIONNEMENT
			GAZ	COULEES	PROJECTIONS	
TYPE HAWAÏEN (domaine des coulées)	I	MAUNA-LOA KILANEA (Iles Hawaï)	Pas d'émission particulières de gaz.	Laves très fluides en coulées superposées, basaltiques.	Pratiquement inexistantes ou rares	Cône très étalé avec, en son centre un cratère de grandes dimensions occupé par un lac de lave en fusion. Les éruptions sont dues au débordement de ce lac et les laves sont parfois projetées sous forme de "rideau de feu".
TYPE STROMBOLIEN (domaine des projections)	II	STROMBOLI (Ile Lipari) PUYS DE LA VACHE ET DE LASSOLAS (Massif Central Français)	Les gaz ont du mal à s'échapper du magma visqueux.	Laves semi-fluides très abondantes, formant, en se refroidissant, des "cheires" (sorte de chaos basaltique).	- Bombes (en fuseau, en "croûte de pain"). - Lapilli - Jamais de cendres.	Cône très régulier, formé de l'alternance de laves et de produits de projection. Parfois, les laves débordent du cratère entraînant des projections, elles détruisent ainsi le bord du cratère qui reste "égueulé".
TYPE VULCANIEN (domaine des nuées)	III	VULCANO (Ile Lipari) PUY PARION (Massif Central Français) VESUVE (Italie Sud)	Gaz sous pression dans la cheminée obstruée par un bouchon de lave solidifié de la précédente émission.	Lave visqueuse s'écoulant difficilement.	Cendres bombes et lapilli en énorme quantité.	Après l'émission précédente, le sommet de la cheminée est bouché par des laves solidifiées. Laves et gaz sont donc sous pression, ce qui entraîne des explosions fréquentes et la projection dans l'atmosphère d'épais nuages de poussières brûlantes. Ces explosions donnent naissance à des cratères, lacs Maars ou caldeiras. Ce sont les volcans les plus meurtriers.
TYPE PELEEN (domaine des extrusions)	V	Montagne PELEE (Martinique) PUY-DE-DOME (Massif Central Français)	Gaz, mêlés à des cendres et formant des nuées "ardentes" ; celles-ci s'échappent à très haute température par des fissures latérales.	Lave très visqueuse ne s'écoulant pas et formant des aiguilles d'extrusion.	Cendres mêlées aux gaz par fissures latérales. Pas de projections de matériaux grossiers.	Eruptions très violentes dues au fait que la cheminée, ici aussi, est obstruée par un bouchon de laves ; des nuées ardentes s'échappent par des fissures latérales, dévalent les flancs de l'appareil volcanique et provoquent des destructions considérables. L'éruption se termine par l'apparition au sommet du volcan d'une aiguille de lave solide.



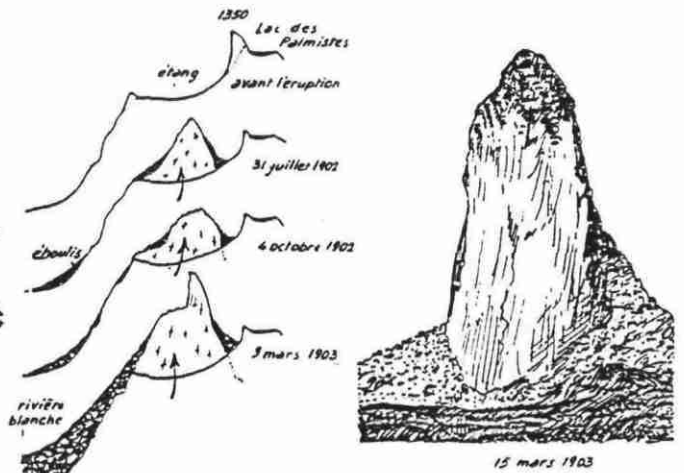
— Répartition mondiale des volcans en activité (G. MERCALLI). La grosseur des taches noires correspond à l'ampleur de l'activité volcanique. Remarquer le « cercle de feu du Pacifique ». Une carte des régions sismiques donnerait des résultats assez analogues.



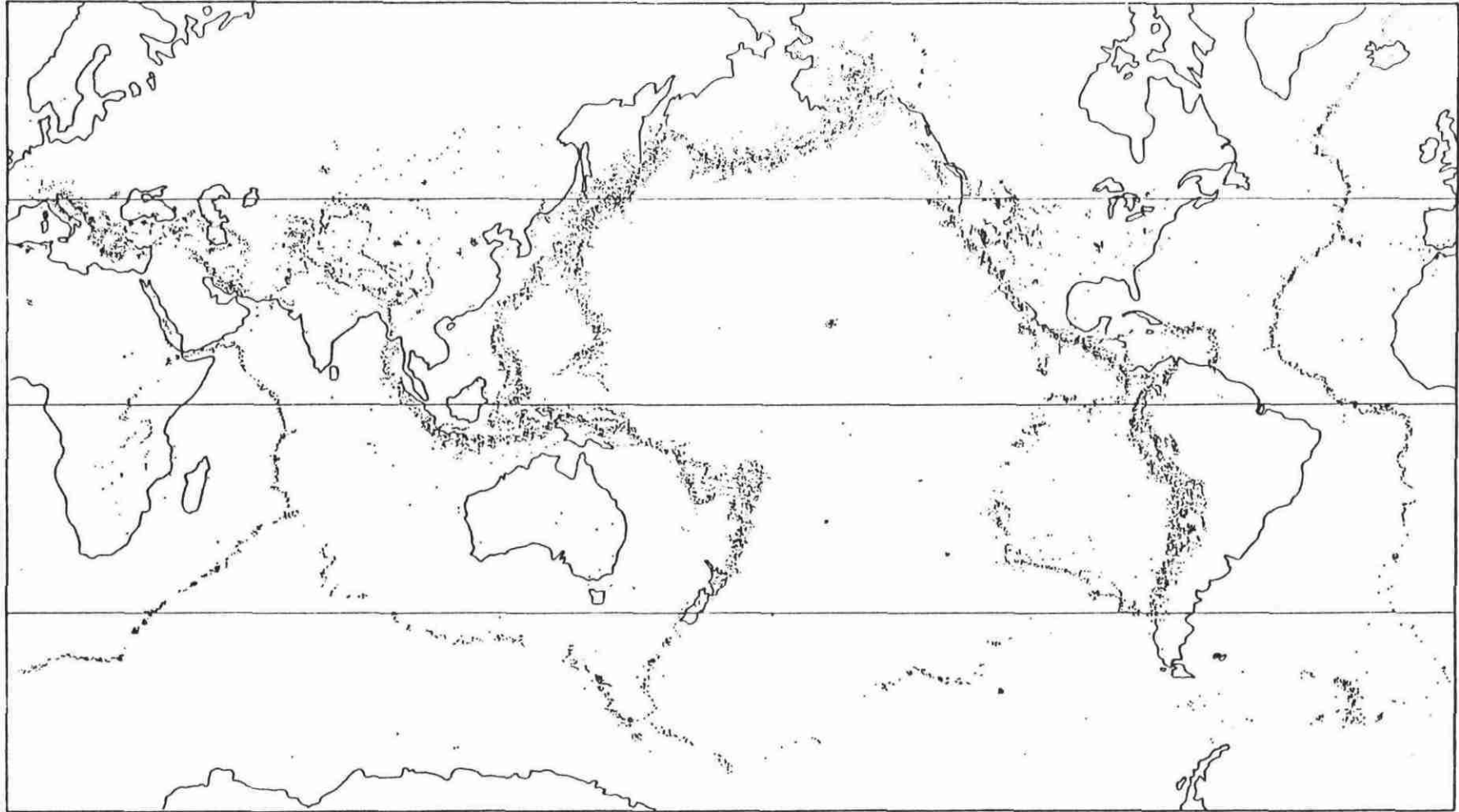
— Différents types de volcans actuels. I, type hawaïen. II, type strombolien. III, type mixte (Vésuve). IV, type vulcanien ou explosif. V, type péleén ou cumulo-volcan (br, brèches d'écroulement).



Coupe du volcan péleén du Puy-de-Dôme (Ph. GLANCEAUD).



— Eruption de la Montagne Pelée en 1902. Les phases de l'ascension de l'aiguille terminale d'andésite (A. LACROIX).



Répartition des épicentres des séismes les plus fréquents, d'après Barazangi et Dorman, 1969.

III - OROGENESE

Le mobilisme de l'écorce terrestre provoque, à une échelle de temps géologique, des déformations intenses conduisant à des reliefs montagneux dans certaines zones du globe.

Les chaînes de montagnes les plus récentes sont situées soit à la limite des masses continentales et des aires océaniques (chaînes liminaires), soit entre des masses continentales, à l'emplacement d'anciennes aires océaniques disparues (chaînes intercratoniques).

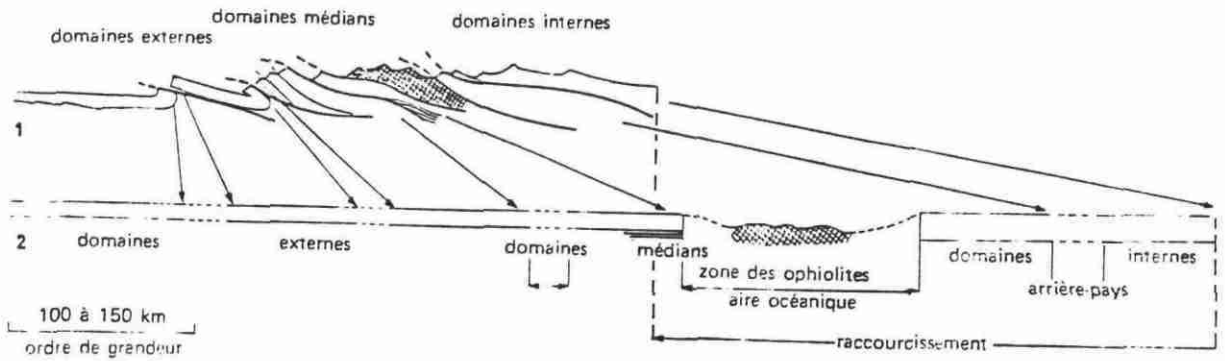
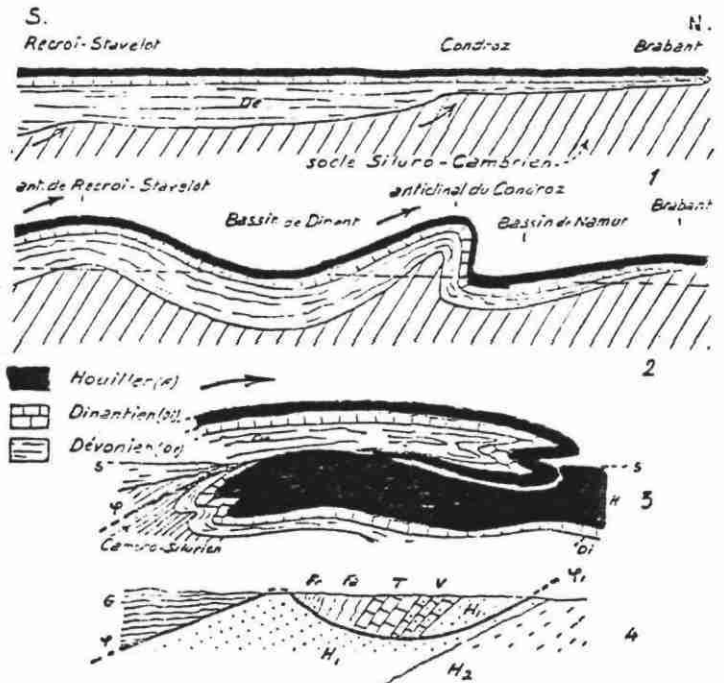


Schéma d'organisation d'une chaîne intercratonique.

1. Telle qu'elle est observée. A associer avec les figures 8.2 et 15.59.
2. Schéma paléogéographique avant toute déformation.



Les deux types de déformations (1 : discontinue, 2 : continue) des massifs rocheux.



Structure du bassin houiller franco-belge. 1, disposition des terrains avant les plissements hercyniens. 2, disposition des terrains au début des plissements hercyniens. 3, paroxysme hercynien, amenant l'anticlinal du Condroz et le bassin de Dinant en recouvrement sur le bassin de Namur (SS, surface actuelle du sol). 4, état actuel du bord Sud du synclinal de Namur à Landelies (A. BRIARD). (z, grande faille; z', faille de la Tombe; G, Dévonien inf. et Gédinnien; Fr, Frasnieu; Fa, Faménien; T, Tournaisien; V, Viséen; H1, houiller inf.; H2, houiller supérieur).

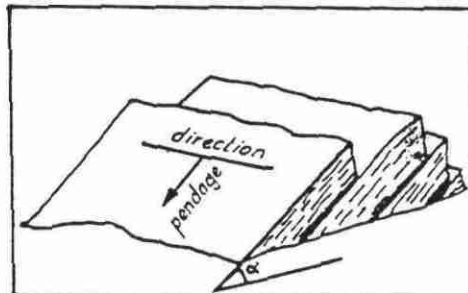
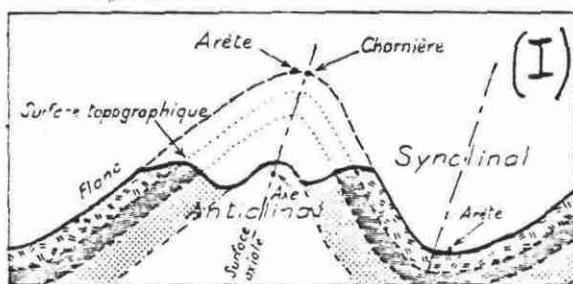
On appelle orogénèse la naissance des reliefs et tectogénèse celle des déformations. Les chaînes de montagnes sont le résultat de l'orogénèse, elle-même directement liée à la tectogénèse.

IV - TECTOGENESE

La tectonique rassemble les phénomènes géologiques qui entraînent la déformation des couches de terrain postérieurement à leur formation.

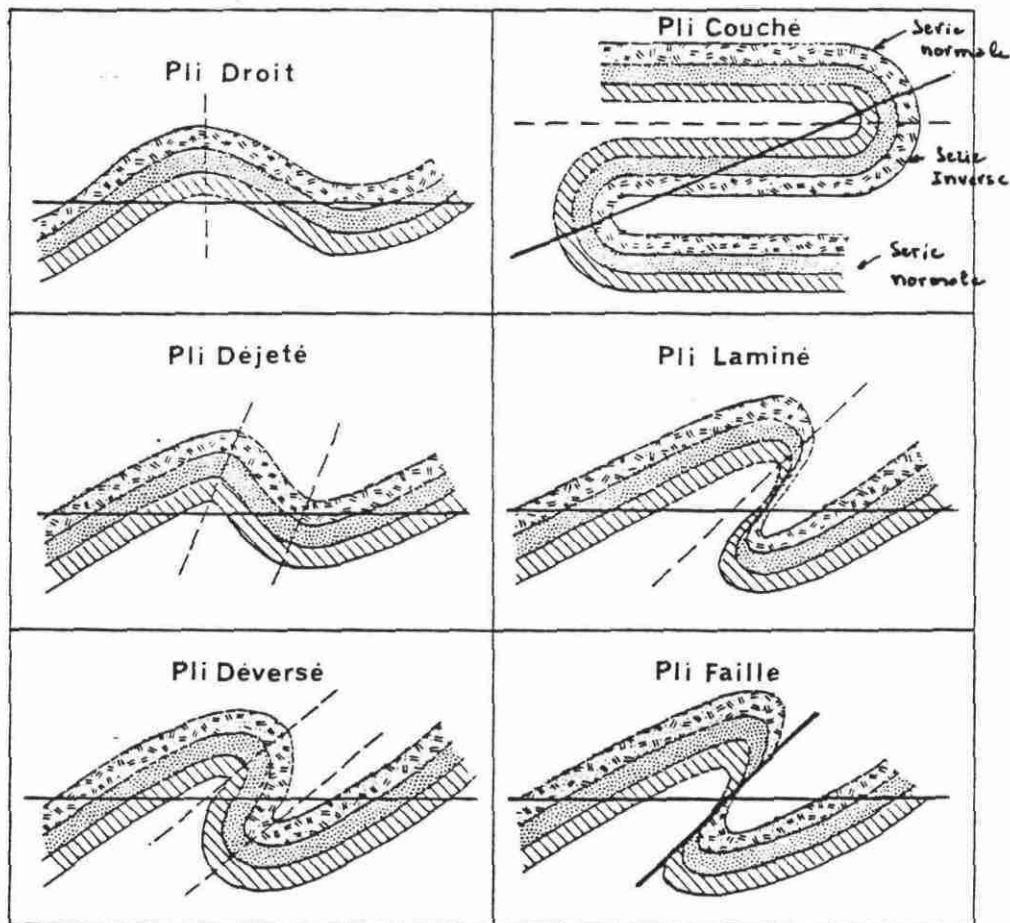
1°) Les plis -

Un pli est une déformation souple comprenant un anticlinal et un synclinal (I).

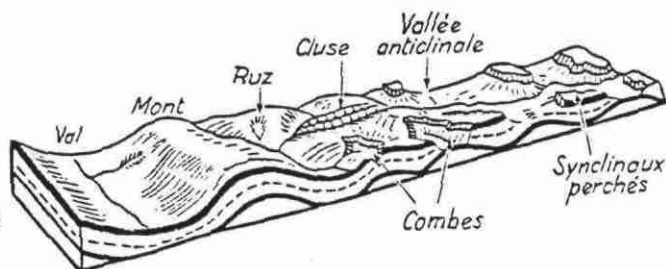


- Schéma d'un pli simple

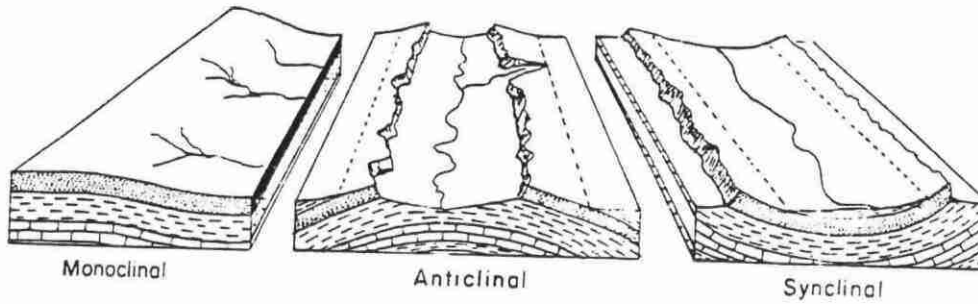
- Direction et pendage des couches



- Principaux types de plis



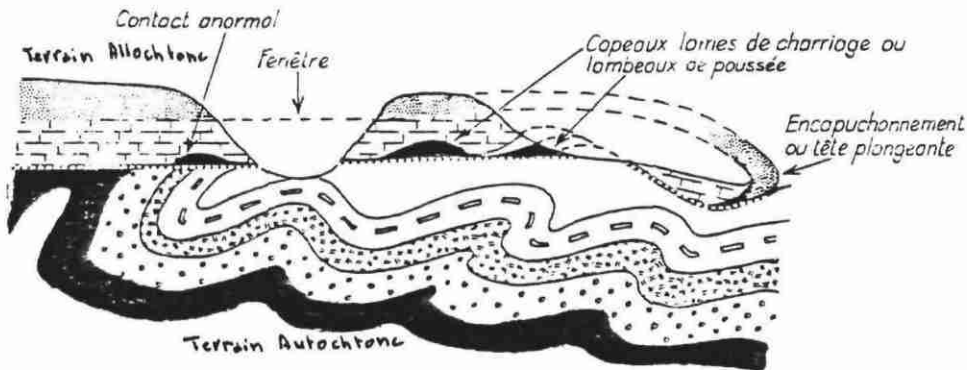
- Formes de relief plissé
A gauche, relief conforme ;
A droite, relief inverse.



Monoclinal ou flexure. Cours d'eau conséquents.
 Anticlinal. Cours d'eau subséquent et obsequent dans une combe déblayée par l'érosion.
 Synclinal. Dégagé et perché (voir fig. 69).

A) Nappe de charriage :

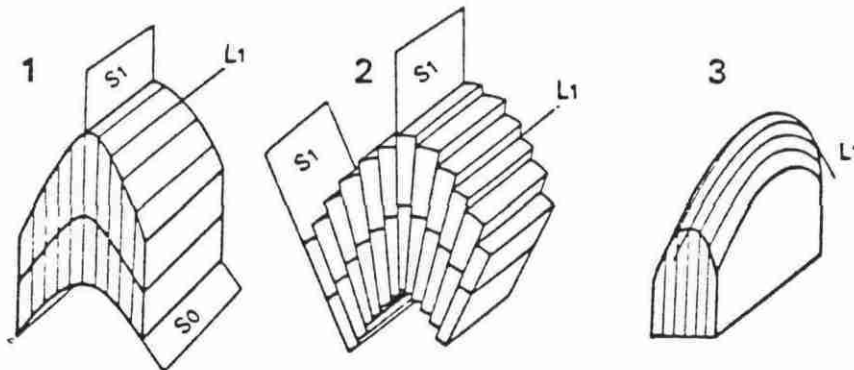
Une nappe de charriage est un pli faillé qui a subi un déplacement de grande amplitude. Dans les Alpes les déplacements de nappes atteignent 100 km.



— Schéma d'une nappe de charriage

B) Microplissements :

Ce sont des plis à l'échelle décimétrique à métrique.
 On les observe surtout dans les terrains métamorphiques.



— Allure de la schistosité S1 et de la linéation d'intersection L1 dans un pli

Le pli est cylindrique (1,2) ou non ; la schistosité est de flux, en restant parallèle à elle-même (1,3), ou de fracture, en étant en éventail (2). (D'après M. MATTAUER, *Les matériaux de l'écorce terrestre*, Paris, Hermann.)

2°) Les failles -

Une faille est une cassure de l'écorce terrestre qui comporte un mouvement des deux compartiments.

Lorsqu'il n'y a pas de mouvements, les cassures s'appellent des diaclases.

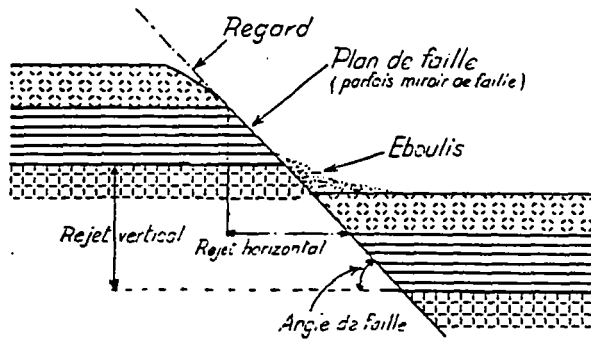
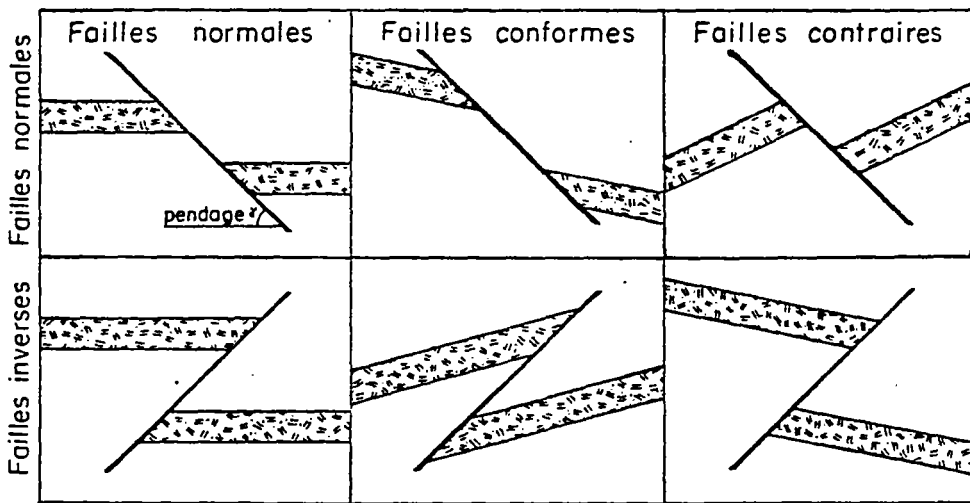
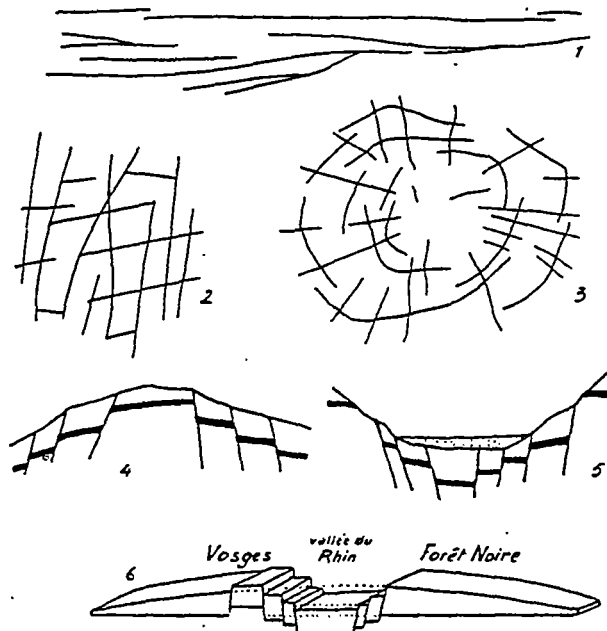


Fig. 58. — Schéma d'une faille



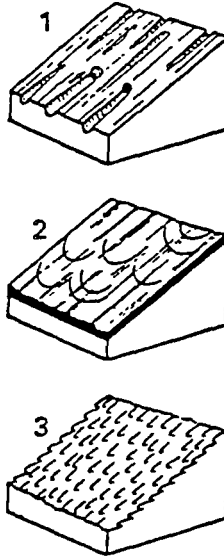
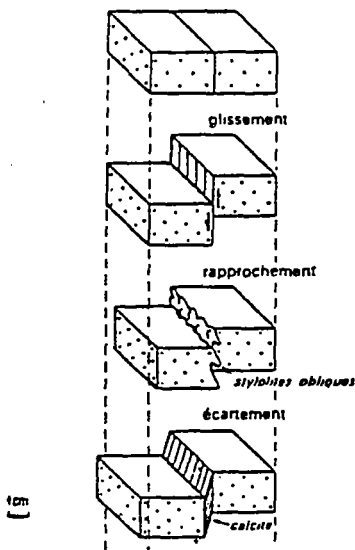
— Principaux types de failles

A) Groupement de failles :



— Groupement des failles. 1, faisceaux. 2, réseaux conjugués. 3, fossé d'effondrement. 4, « horst ». 5, fossé d'effondrement (coupe). 6, le fossé d'effondrement alsatique.

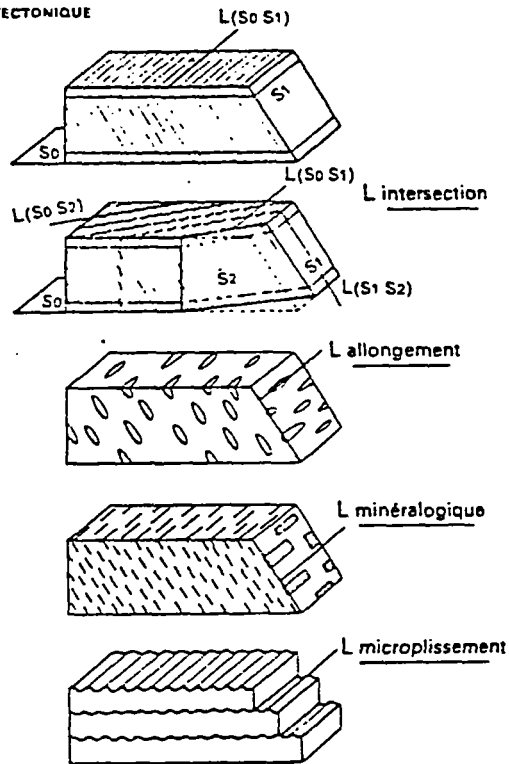
B) Microfailles - microcassures :



— Schéma montrant trois types de microcassures

Trois aspects possibles d'une cassure avec : 1) stries formées par un élément striateur creusant des rainures dans la roche ; 2) enduits de calcite ; 3) joints stylolithiques. Il s'agit successivement d'une faille inverse avec : 1) glissement et frottement, 2) écartement, 3) rapprochement et dissolution. (D'après M. MATTAUER, *Les matériaux de l'écorce terrestre*, Paris, Hermann.)

LA MICROTTECTONIQUE



... — Bloc diagramme montrant l'allure des différents types de linéation

L.S. : stratification ; S1 : première schistosité ; S2 : deuxième schistosité. (D'après M. MATTAUER, *Les matériaux de l'écorce terrestre*, Paris, Hermann.)

LE PROBLEME DU TEMPS EN GEOLOGIE STRATIGRAPHIE

I - INTRODUCTION

Existence de nombreux mouvements à la surface de la terre :

- . Transgression marine Sédimentation
- . Régression marine Erosion
- . Orogenèse Formation des chaînes de montagnes
- . Plissements
- . Granitisation
- . Métamorphisme

Le problème est de dater tous ces phénomènes dans le temps.

Plusieurs types de datation.

II - DATATION ABSOLUE

On appelle géochronologie absolue l'ensemble des méthodes de datation des minéraux et des roches cristallisées par les techniques radiométriques basées sur la désintégration radio-active d'éléments instables.

RG/Sr - K/Ar - Carbone 14 etc...

III - IDENTITE PALEONTOLOGIQUE

Deux couches ou deux séries de couches de même contenu paléontologique ont le même âge.

Pour qu'un fossile soit un bon fossile stratigraphique, il faut qu'il réunisse au moins deux conditions :

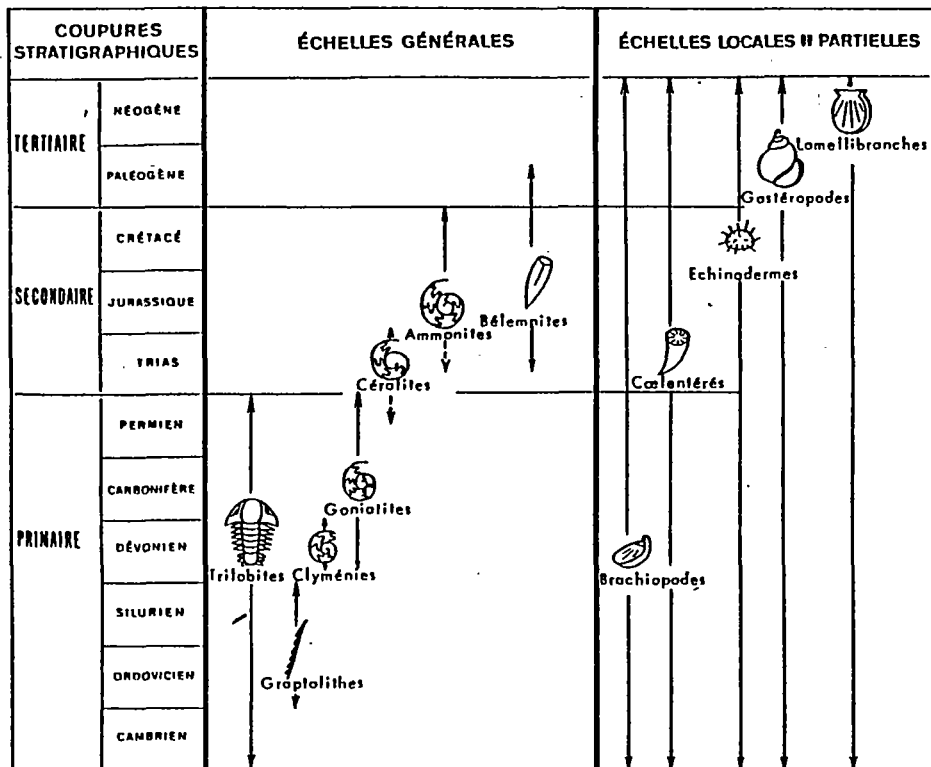
- un développement rapide (extinction - mutation)
- une grande répartition géographique.

Un fossile de faciès est un fossile dont on connaît le mode de vie et qui nous renseigne sur les conditions de formation du sédiment où il se trouve.

Une zone est l'ensemble des couches possédant le même fossile.

Les zones sont regroupées en étage. Les étages sont différents pour chaque pays et sont définis selon les caractères paléontologiques et lithologiques.

Les étages sont regroupés en ères. La limite de ces ères fait appel à des phénomènes plus généraux.

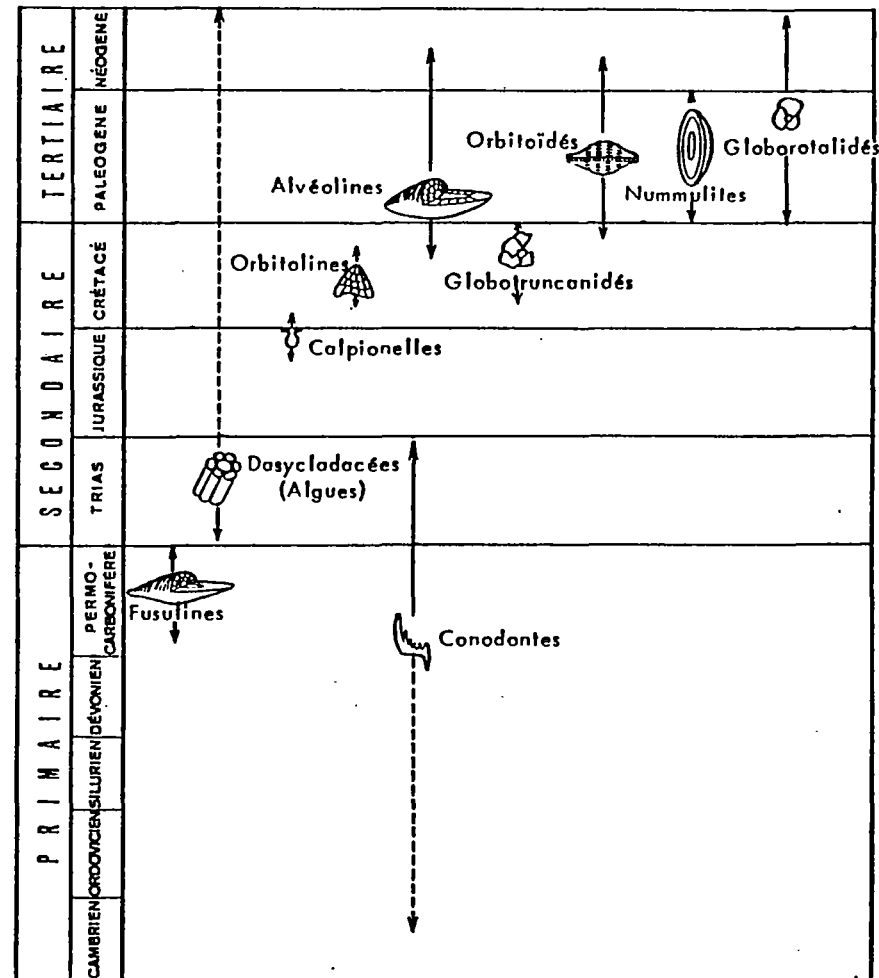


— Tableau des principaux groupes d'Invertébrés utilisés en stratigraphie.

On remarquera l'extension limitée dans le temps des différents groupes utilisés pour les échelles générales.

Pour les échelles locales ou partielles, le schéma d'une des formes du groupe utilisé est placé en face des systèmes où il est particulièrement utile : Brachiopodes au Primaire, notamment au Dévonien; Cœlentérés au Secondaire, notamment au Trias et au Jurassique; Echinodermes au Secondaire, notamment au Crétacé; Gastéropodes au Tertiaire, notamment au Paléogène; Lamellibranches au Tertiaire, notamment au Néogène. Mais il va de soi que ces groupes sont représentés depuis le début du Primaire et que, çà et là, ils peuvent servir à fonder des échelles particulières à différentes époques.

Rappelons en effet que tous les groupes d'Invertébrés sont représentés dès le début du Primaire, souvent par des formes primitives qui vont se diversifiant dans le temps.



— Tableau des principales formes de microfossiles utilisés en stratigraphie.

On notera que, à partir de la fin du Jurassique, il existe, à chaque moment, diverses échelles de microfaunes ou microflores; au contraire, pour les périodes antérieures, les connaissances sont discontinues; mais les études récentes tendent à compléter ce tableau qui n'est que très schématique

Erathème ère	Système période	Série époque	Etage âge	Stratotypes	
QUATERNAIRE	HOLOCÈNE : Récent PLÉISTOCÈNE				
		1,5-2 M. A.			
TERTIAIRE	NÉOGÈNE	<i>Pasadénienne</i>	PLIOCÈNE 7 M. A.	Astien Plaisancien Pannonien	sables jaunes d'Asti (I) marnes bleues de Plaisance (I) de Pannonia (H)
		<i>Rhodanienne</i>	MIOCÈNE 26 M. A.	Messinien Tortonien Helvétien Burdigalien Aquitainien	formation de Messine (I) marnes bleues de Tortona (I) molasse marine de Suisse faluns du Bordelais (F) faluns et grès d'Aquitaine (F)
	PALÉOGÈNE	<i>Pyrénéenne</i>	OLIGOCÈNE 37-38 M. A.	Chattien	sables glauconieux de Kassel (D)
			Stampien Sannoisien	sables d'Etampes (F) marnes de Sannois (F)	
		ÉOCÈNE 53-54 M. A.	Priabonien	Calcaires de Priabona (I)	
			Lutétien Yprésien	calcaire grossier de Paris (F) argile des Flandres d'Ypres (B)	
	65 M. A.	<i>Laramienne</i>	PALÉOCÈNE	Sparnacien Thanétien	argiles d'Epernay (F) sables glauconieux de Thanet (G. B.)
			Montien Danien	calcaire de Mons (B) calcaire du Danemark	
	SECONDAIRE	CRÉTACÉ	Supérieur	Maastrichtien	craie - tuffeau de Maastricht (NL)
				70	
Campanien				craie de Champagne saintongaise (F)	
76					
Santonien				craie de Saintonge (F)	
82					
Coniacien			craie de Cognac (F)		
88					
Turonien			craie - tuffeau de Touraine (F)		
94					
100 M. A.		Cénomancien	sables du Mans (Cenomanum) (F)		
136 M. A. ?		<i>Néocimérienne</i>	Inférieur	Albien	sables verts de l'Aube (F)
				106	
			Aptien	calcaires et marnes d'Apt (F)	
	112				
Supérieur	Barrémien	calcaires et marnes de Barrême (F)			
	118				
Hauterivien	marnes d'Hauterive (CH)				
124					
Valanginien	marnes de Valangin (CH)				
130					
Berriasien	marnes de Berrias (F)				
JURASSIQUE		Supérieur	Tithonique	de Tithon, époux d'Eos, l'Aurore	
			146		
		Kimméridgien	marnes noires de Kimmeridge (GB)		
		152			
		157 M. A.	Oxfordien	marnes noires d'Oxford (GB)	
Moyen	Callovien	calcaires gréseux de Kelleways (GB)			
	162				
	Bathonien	calcaires oolitiques de Bath (GB)			
167					
172 M. A.	Bajocien	calcaires oolitiques de Bayeux (F)			

Echelle stratigraphique internationale.
Les principales phases orogéniques sont en italiques.

Problème du temps en géologie

Erathème ère	Système période	Série époque	Etage âge	Stratotypes
JURASSIQUE	Inférieur		Aalénien	marnes noires d'Aalen (D)
			Toarcien	marnes de Thouars (F)
			Pliensbachien	marnes de Pliensbach (D)
			Sinemurien	calcaires noires de Semur (F)
190-195 M. A.	<i>Cimérienne</i>	Hettangien	grès d'Hettange (F)	
		Rhétien	schistes et calcaires des Alpes rhétiques (CH)	
TRIAS	Supérieur	Norien	calcaires des Alpes noriques (A)	
	205 M. A.	Carnien	calcaires des Alpes carniques (I)	
225 M. A. ?	Moyen	Ladinien	du pays Ladin (CH)	
	215 M. A.	Anisien	nom de la rivière Enns (A)	
PERMIEN	Inférieur	Werfénien	grès et schistes de Werfen (A)	
	<i>Palatine</i>			
280 M. A.	Supérieur	Thuringien	schistes et calcaires de Thuringe (D)	
	240 M. A.			
280 M. A.	Moyen	Saxonien	grès de Saxe (D)	
	260 M. A.			
CARBONIFÈRE	Inférieur	Autunien	schistes d'Autun (F)	
	<i>Saolienne</i>			
	Supérieur	Stéphanien	bassin houiller de St-Etienne (F)	
		290-295	Westphalien	houiller productif de Westphalie (D)
325 M. A.	Namurien	houiller sans houille de Namur (B)		
	310-315	Viséen	calcaires de Visé (B)	
345 M. A. ?	Inférieur	Tournaisien	calcaires de Tournai (B)	
	335-340			
DÉVONIEN	Supérieur	Famennien	schistes de la Famenne (B)	
	353			
	359 M. A.	Frasnien	schistes et calcaires de Frasnes (B)	
	Moyen	Givetien	schistes et calcaires de Givet (F)	
370 M. A.	Couvinien	schistes et calcaires de Couvin (B)		
	<i>Acadienne</i>	Emsien	Grauwackes d'Ems (B)	
395 M. A. ?	Inférieur	Siegénien	couches de Siegen (D)	
	374	Gédinnien	poudingue et arkose de Gédinne (B)	
390				
	<i>Calédonienne</i>			
SILURIEN	(ex-Gothlandien)	Downtonien	grès, schistes et marnes de Downton (Galles, G. B.)	
	430-440 M. A. ?	Ludlovien	schistes de Ludlow (Galles, G. B.)	
Wenlockien		calcaires de Wenlock (Galles, G. B.)		
Llandovérien	schistes et grès de Llandovery (Galles, G. B.)			
ORDOVICIEN	<i>Taconique</i>			
	Supérieur	Ashgillien	schistes d'Ashgill-Lake district (G. B.)	
445 M. A. ?	Caradocien	grès et calcaires de Caer Caradoc (Galles, G. B.)		
	Inférieur	Llandellien	calcaires de Llandeilo (Galles, G. B.)	
500 M. A. ?	Llanvirnien	schistes de Llanvirn (Galles, G. B.)		
	Skiddavien	schistes de Skiddaw-Lake district (G. B.)		
Tremadocien	schistes de Tremadoc (Galles, G. B.)			
CAMBRIEN	<i>Sarde</i>			
	Supérieur	Postdamien	grès de Postdam (N. Y., U. S. A.)	
515 M. A.	Moyen	Acadien	grès et schistes d'Acadie New Scotland (C.N.)	
	540 M. A.			
570 M. A. ?	Inférieur	Géorgien	calcaires de Georgia (N. Y., U. S. A.)	
<i>Cadomienne-Assyntique</i>				
PRÉCAMBRIEN	Québec	Grands lacs	Colorado	
		Keewenaw		
PROTÉROZOIQUE	Greenvillien			
	1 300 M. A.			
2 500 M. A.	Elsonien			
	1 700 M. A.			
ARCHÉEN	Hudsonien	Animikie	Algonkien	
	Kéroranien	Timiskaming	Archéen	
		2 700 M. A.		
		Keewatin		

P
R
É
C
A
M
B
R
I
E
N

IV - DATATION RELATIVE

ORDRE GEOMETRIQUE STRATIGRAPHIQUE

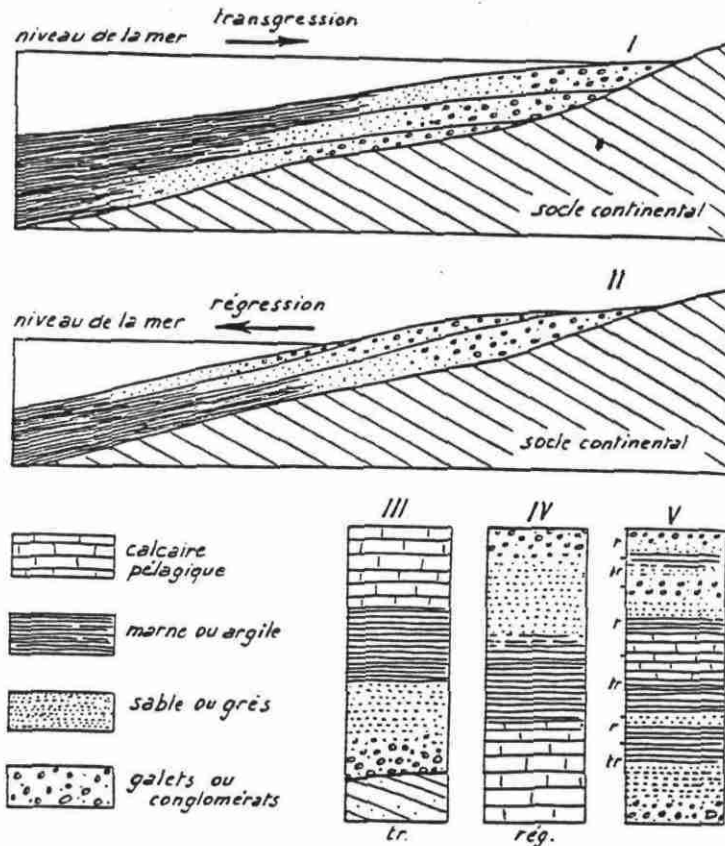
C'est une chronologie datation d'un phénomène par rapport à un autre.

1°) Cycle sédimentaire -

Il est composé d'une transgression et d'une régression.

Transgression - C'est l'arrivée de la mer dans un lieu donné
Sédimentation.

Régression - C'est le départ de la mer.



— Transgressions et régressions. I, schéma d'une transgression. II, schéma d'une régression. III, coupe dans une série transgressive. IV, coupe dans une série régressive. V, succession de transgressions et de régressions, dans une série complexe (cycle sédimentaire).

Dans une transgression les sédiments les plus grossiers se déposent d'abord. Dans une régression ils se déposent en dernier lieu.

2°) Principe de superposition -

Une couche sédimentaire est plus récente que celle qu'elle recouvre.

Exception pour :

Terrasses alluviales

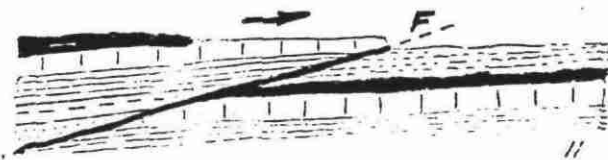


Terrasses emboîtées

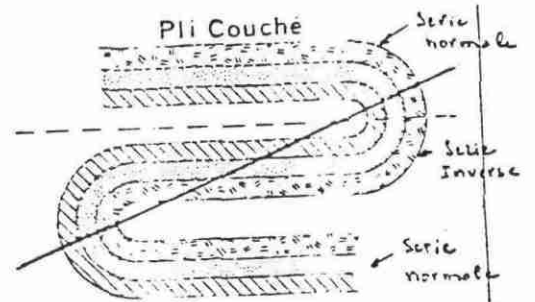


Terrasses distinctes

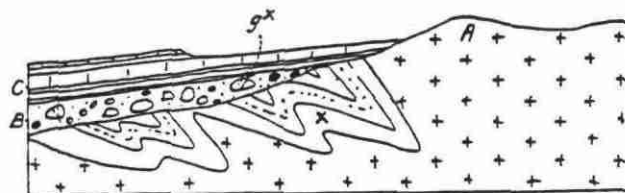
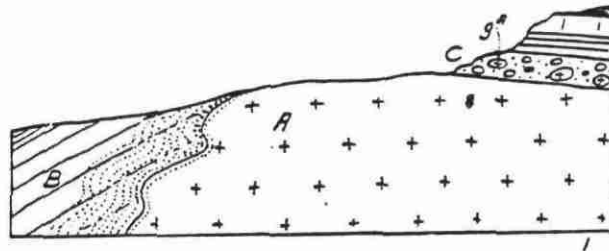
Faille inverse



Pli couche



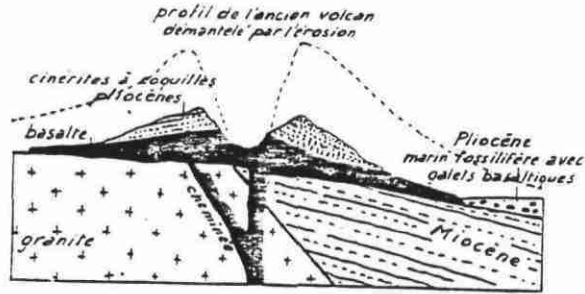
Age des séries cristallines



I. - Age des séries cristallines. I. Etablissement de l'âge d'un massif granitique. L'âge du granite A est compris entre l'âge du terrain le plus récent (B) qu'il a métamorphisé (limite inf.), et l'âge du conglomérat (C) qui en contient des galets (gA) (limite sup.).

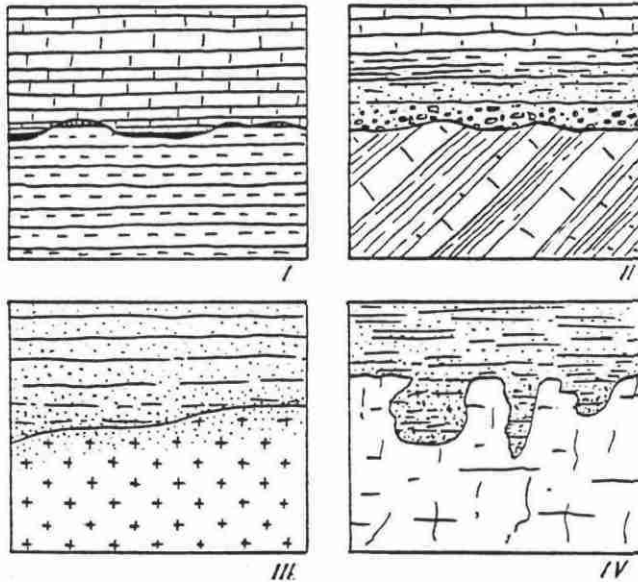
II. Etablissement de l'âge d'un complexe cristallophyllien (X) : on a pu établir (ce qui n'est pas toujours facile) que X est du Dévonien transformé par métamorphisme; or, le terrain B, qui est du Carbonifère sup., renferme des galets de X (gX); le métamorphisme général est donc d'âge carbonifère inf. ou moyen.

Age des séries volcaniques



— Détermination de l'âge des roches volcaniques.
Le volcan est ici pliocène supérieur
(type des volcans du Massif Central).

Discordances

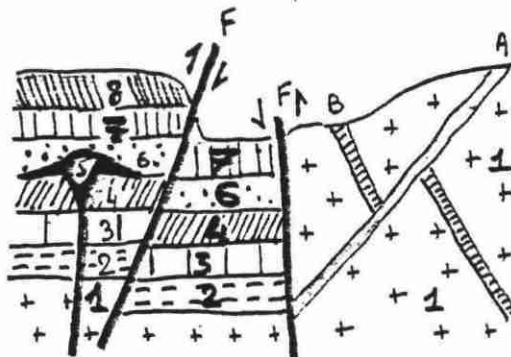


— *Discordance de stratification.* I, discordance simple. II, discordance angulaire. III, discordance sur un granite décomposé (en haut, arkose). IV, discordance des produits de décalcification dans les anfractuosités d'un calcaire.

Histoire géologique d'un cas

LEGENDE

- 1 - Granite
- 2 - 3 - 4 - 6 - 7 -
Terrains sédiment.
- 5 - 8 - Coulées volcan.
- A - B - Filons
- F - Failles



CHRONOLOGIE

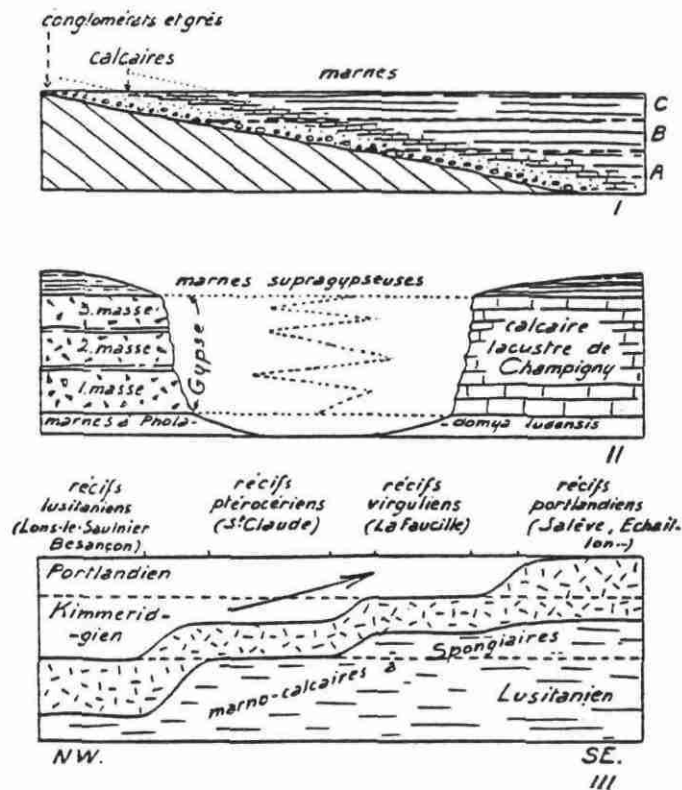
- 1 - Formation du granite
- 2 - Formation des terrains 2-3-4
- 3 - Volcanisme 5
- 4 - Sédimentation 6-7
- 5 - Volcanisme 8
- 6 - Failles

Filons - B antérieur à A

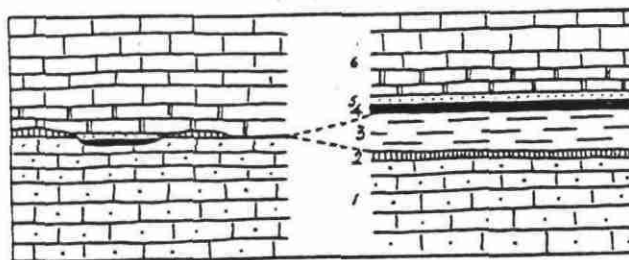
3°) Principe de continuité -

Une couche sédimentaire de même nature est de même âge en tous ses points.

- Exception :
- . les changements de faciès
 - . variation des faciès dans l'espace
 - . variation de faciès dans le temps
 - . lacune stratigraphique.



- Etablissement du synchronisme des couches. I, continuité des couches troublée par une transgression (les faciès sont obliques aux étages A, B, C). II, variation des faciès dans l'espace : passage des gypses de Montmartre au travertin de Champigny dans la vallée de la Marne. III, variations de faciès dans le temps : migration des récifs de Polypiers dans le Jurassique du Jura français (M. GIGNOUX).



- Lacune stratigraphique.
Série lacuneuse (discordance simple, à gauche, la couche 3 manque).
Série complète, continue, à droite.

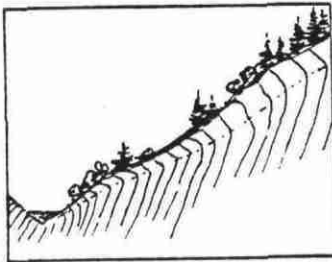
EROSION ET MORPHOLOGIE

I - ALTERATION SUPERFICIELLE

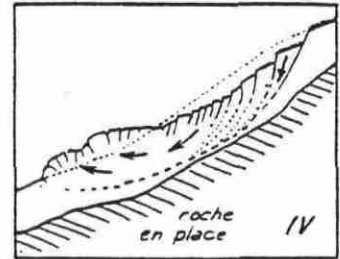
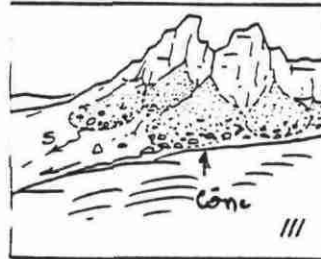
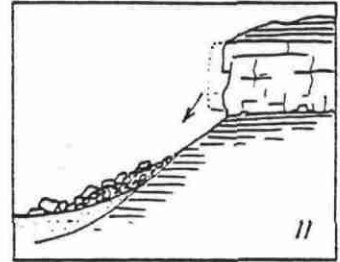
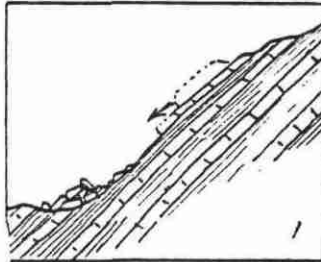
1°) Désagrégation mécanique -

- Conséquence de : - variations de température (milieu désertique)
- gel
- racines d'arbres, etc...

Les blocs individualisés vont s'accumuler dans les cônes d'éboulis.



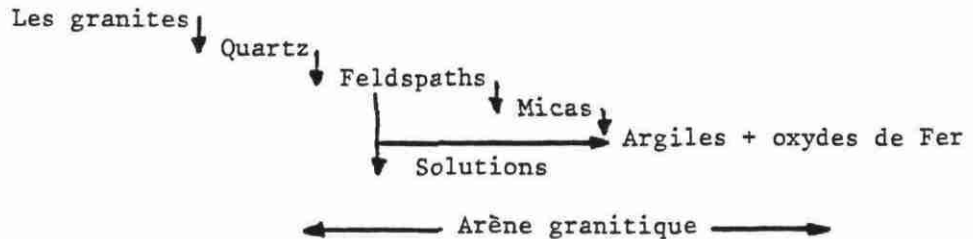
- Fauçage (balancement superficiel, Hakenwerfen) des couches sur un versant de vallée. En pointillé, la trace du plan suivant lequel se produisent des cassures, puis le glissement du terrain.

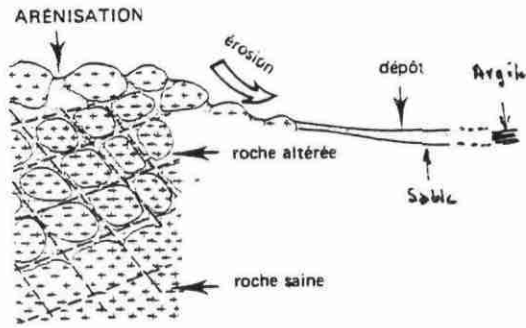


- Dégénération du terrain. I. Clivage de couches. II, écroulement de falaise. III. éboulis; S = sources d'éboulis. IV. glissement de terrain (en pays argileux).

2°) Altération chimique -

Les calcaires pourront être dissous par l'eau de pluie chargée de CO_2 .

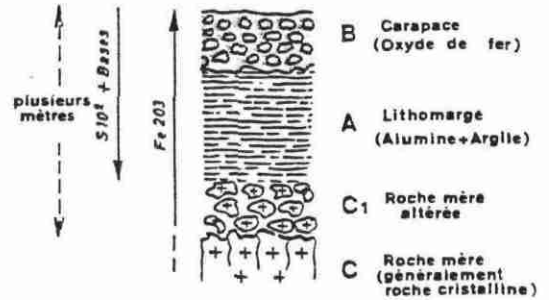




Le phénomène d'arénisation d'un massif de granite.

Les granites se pourrissent par l'eau pour former des boules.

L'Arène se forme en pays tempéré. En pays équatorial, le granite s'altère pour former des LATERITES.



— Schéma d'une cuirasse latéritique.

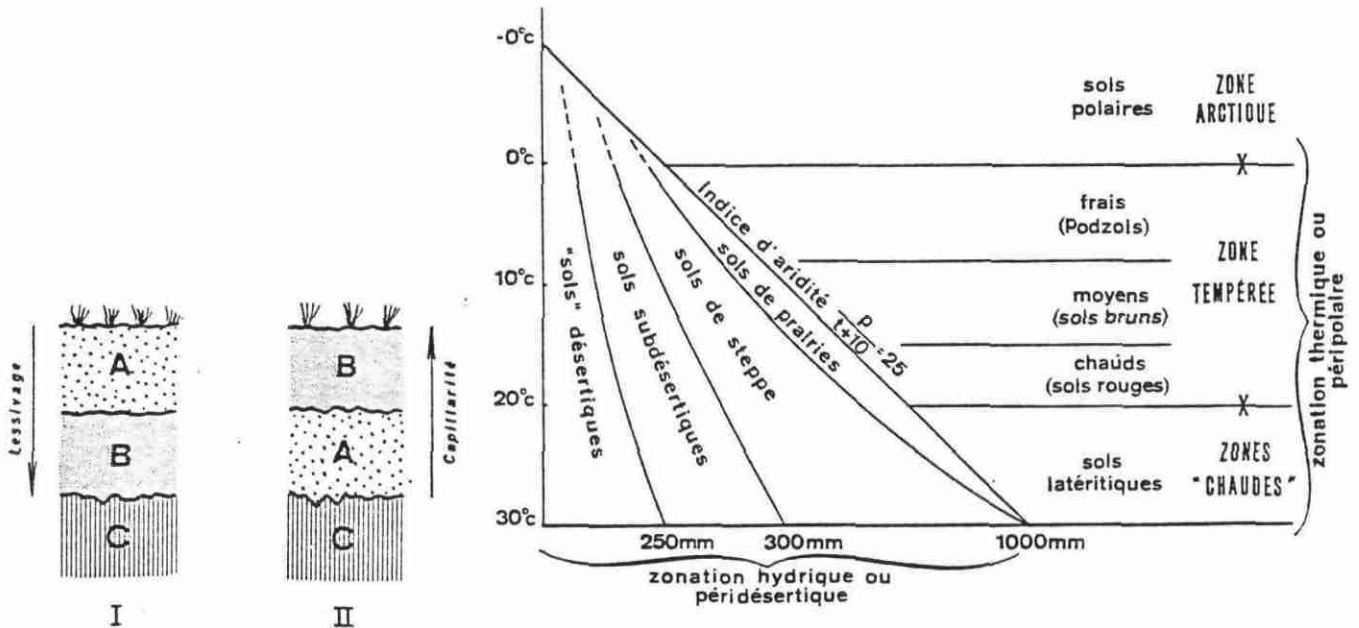
3°) Influence des climats -

En climat froid l'influence du gel est dominante.

En climat chaud et sec - variations de température dominante.

En climat chaud et humide - variations chimiques.

En climat tempéré - tous les facteurs jouent.



— Schéma de la structure des sols.

I — Sols à prédominance de circulation descendante : l'horizon d'accumulation B est profond et l'horizon de lessivage A superficiel.

II — Sols à prédominance de circulation ascendante : l'horizon d'accumulation B est superficiel et l'horizon de lessivage A profond.

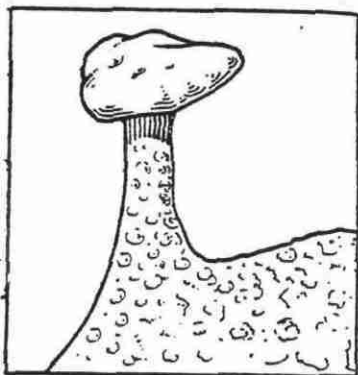
Le premier type correspond aux sols de pays pluvieux, le deuxième type aux sols de pays secs.

— Schéma de la zonation des sols en fonction des températures et des précipitations (d'après B. GÉZE).

II - INFLUENCE DU VENT

1°) Erosion -

Dans les régions où la végétation est rare, les grains de sable soulevés par le vent peuvent éroder les roches jusqu'à une hauteur de trois mètres. Erosion en forme de champignon.

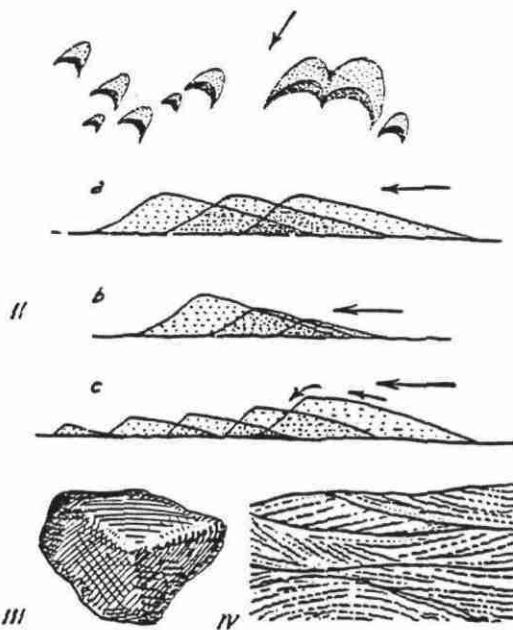


« Champignon » volcanique modelé par le vent, en Arménie. (Dessin d'après une photographie de M. Abdabian, professeur à l'Université d'État d'Arménie.)



La « Table du Diable », à St-Mihiel (Meuse); forme d'usure éolienne.

2°) Dépôt - Les dunes



— Action du vent. I. Dunes en croissants (plan) (environs de Boukhara). II, progression des dunes (coupe). Différents types suivant que la masse du sable reste constante (a), croît (b), diminue progressivement (c). La flèche indique la direction des vents dominants. III, galet à facettes. IV, structure en stratification entrecroisée des sables dunaires.

Les dunes sont des dépôts édifiés par le vent :

- . Dunes côtières
- . Dunes continentales (jusqu'à 400 m de hauteur)

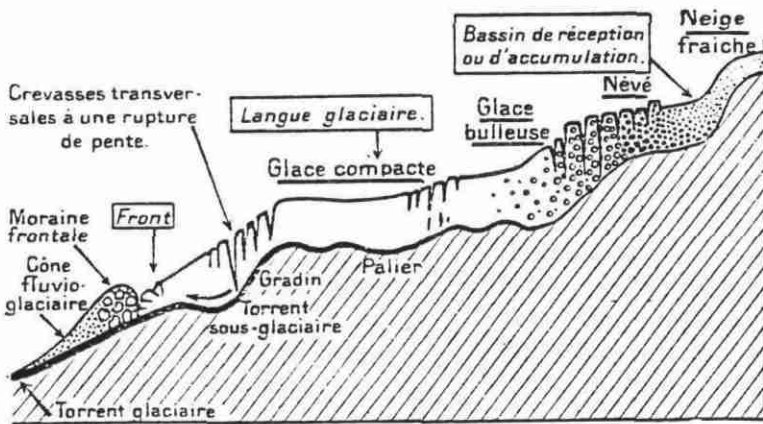
Le Loess

- Il s'agit de particules très fines (quartz, calcaire, argile) transportées par le vent et arrêtées par les herbes. Le loess peut être transporté sur 1.000 km de distance et se déposer sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

Poussières volcaniques

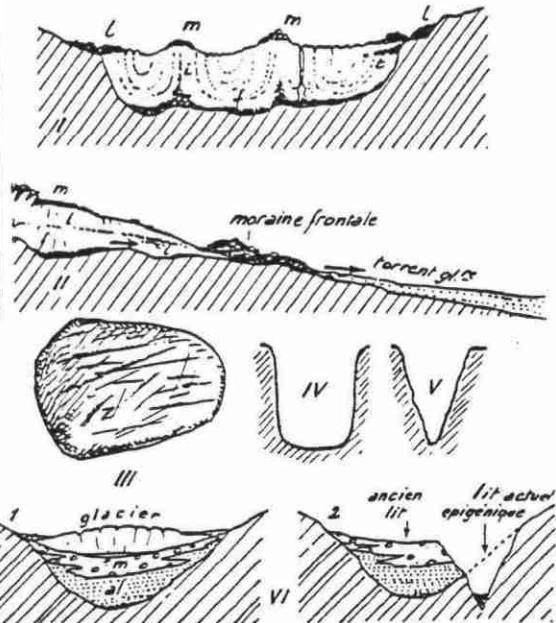
- Explosion du Krakatoa en 1883 → 18 milliards de m³ de cendres répartis sur 750.000 km².

III - INFLUENCE DES GLACIERS



- Coupe longitudinale d'un glacier alpin.

Les glaciers de vallées se déplacent et rabotent les parois (vallée en U) en déposant des blocs hétérogènes de roches (moraines).



- **Glaciers.** I, coupe schématique transversale d'un tronç glaciaire. II, coupe longitudinale du même : m, moraines médianes; l, moraines latérales; i, moraines internes; t, moraines transversales; f, moraine de fond. III, galet poli et strié. IV, profil transversal d'une vallée glaciaire, en U. V, profil d'une vallée torrentielle, en V. VI, explication schématique d'une épigénie : 1, la vallée occupée par l'ancien glacier; 2, le glacier s'est retiré, le torrent glaciaire creuse son lit épigénique dans ses propres alluvions



- Un glacier (massif du Mont-Blanc). b, bassin d'alimentation avec « rimaye » au contact du rocher; m', moraine médiane; m'', moraine latérale; m''', moraine frontale; t, torrent glaciaire.

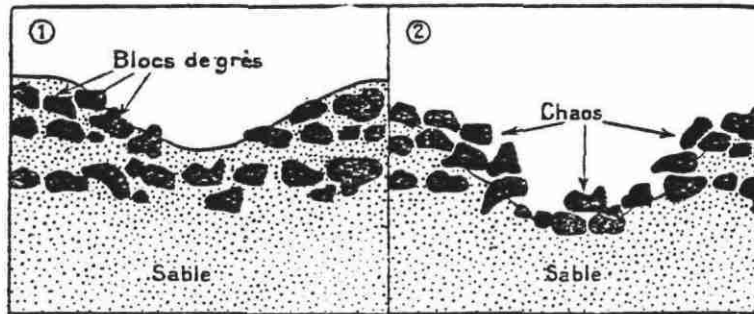
Lorsque le glacier régresse (augmentation de température) la glace fond et laisse une moraine frontale derrière laquelle il peut se former un lac.

IV - ACTION DES EAUX

1°) Eaux sauvages -

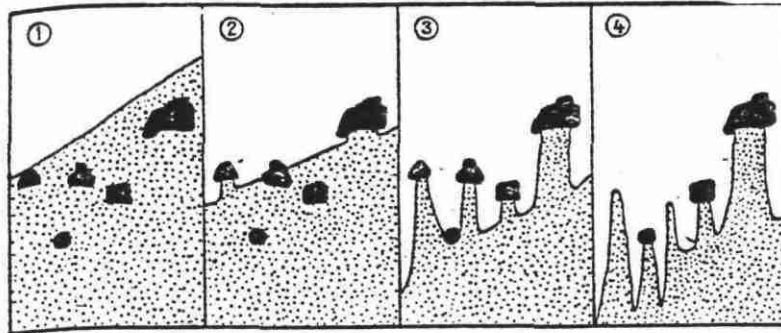
Les eaux sauvages provoquent un ravinement et entraînement de la terre et des petits cailloux si la végétation est rare. Ces eaux peuvent créer des paysages particuliers.

Les chaos - de grès ou de granites



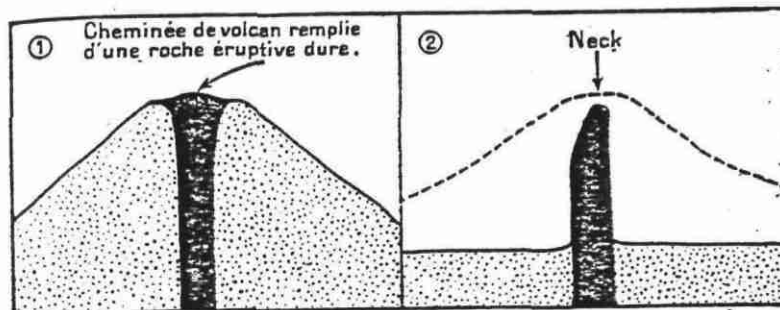
- Formation d'un chaos de grès dans la forêt de Fontainebleau. Les eaux sauvages emportent le sable. Les blocs de grès apparaissent en surface. Aux flancs des vallées, ils basculent et s'accumulent les uns sur les autres.

Les cheminées de fées -



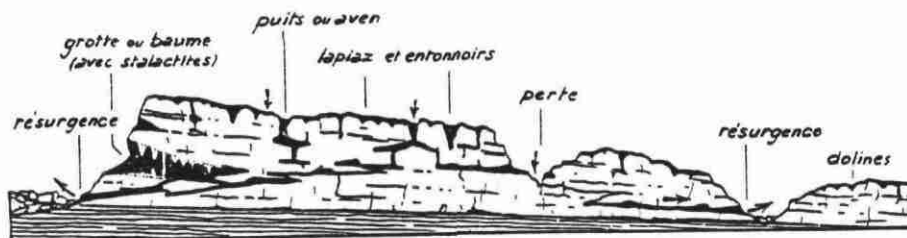
- Formation des « pyramides de fées ». Dans les terrains tendres, mais consistants (argile, par exemple), les eaux de pluie ravinent les pentes. Les blocs compacts et plats protègent les terres sous-jacentes. Ils restent perchés au sommet de colonnes que l'on nomme *pyramides* ou *cheminées de fées*. Dans les Alpes, des pyramides de fées atteignent 20 et 30 mètres de hauteur ; aux États-Unis, on en connaît de plus de 100 mètres.

Les necks -



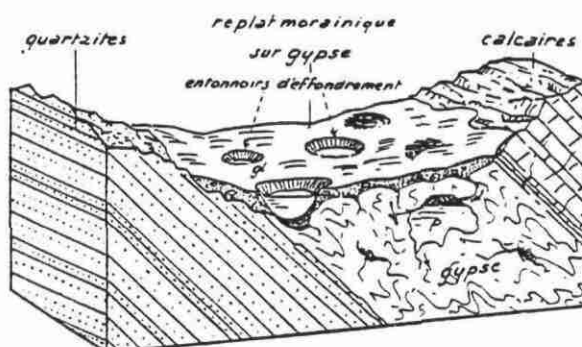
Formation d'un neck. Les eaux sauvages font disparaître les roches relativement tendres de certains cônes volcaniques autour de la roche dure de la cheminée.

Les lapiaz - Les eaux sauvages forment aussi des ciselures dans les calcaires.



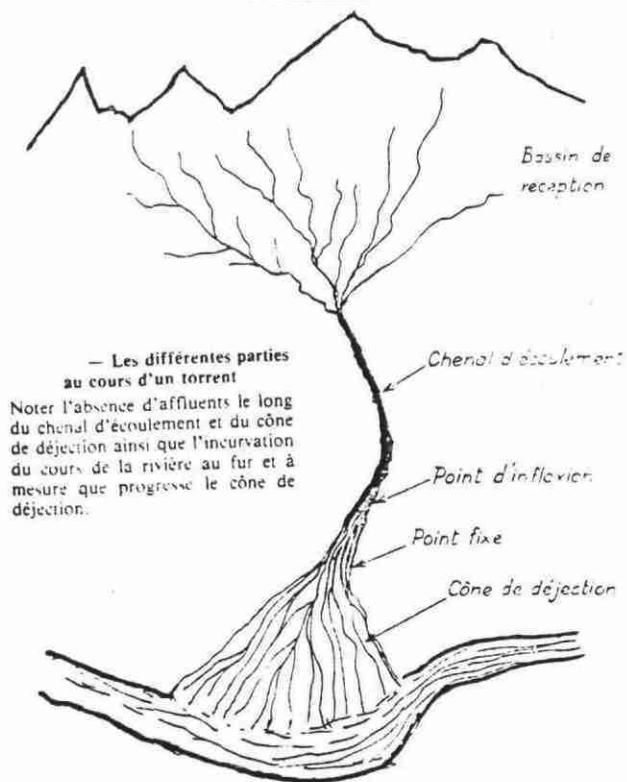
- Altération des calcaires. Différentes modalités de l'érosion atmosphérique dans un plateau calcaire superposé à des couches marno-calcaires imperméables.

Les entonnoirs d'effondrement -

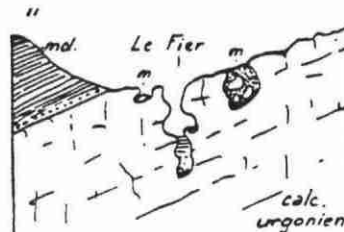


- Circulation de l'eau dans les gypses (ici gypses du Trias alpin). Des poches d'eaux séléniteuses (p) se forment en profondeur et l'effondrement du plafond de ces poches donne lieu aux entonnoirs visibles en surface. Lorsque le fond de ces entonnoirs est colmaté par des terrains argileux (ex. moraines, gl), de petits étangs prennent naissance.

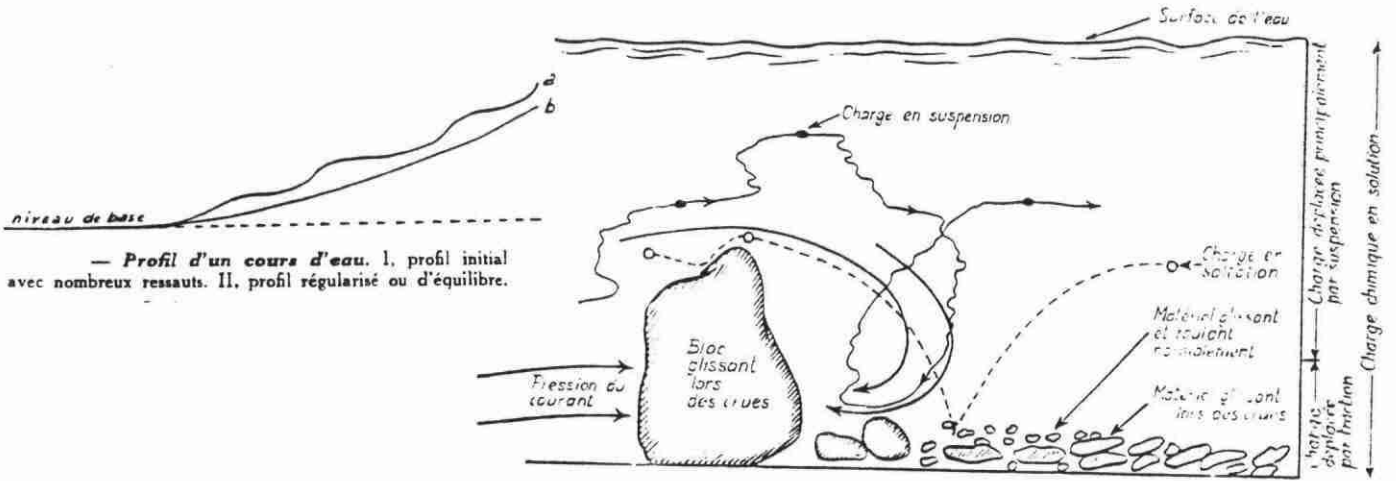
2°) Torrents -



Dans les bassins de réception, les eaux se rassemblent. Elles traversent le chenal d'écoulement et arrachent des blocs. Ceux-ci se cassent et les matériaux (galets - sable) viennent se déposer dans le cône de déjection. Ici on a un classement : les galets se déposent d'abord au fond, puis les sables grossiers au-dessus, enfin les sables fins. A chaque crue, les sédiments sont emportés, repris par les eaux, donnant ainsi une stratification entrecroisée.



une gorge dans un calcaire (gorges du Fier, Haute-Savoie). Le torrent procède par marmites de géants (m); on voit, à côté du lit actuel, une ancienne marmite remplie d'alluvions.

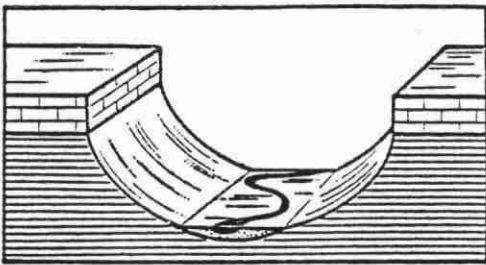


— Le transport dans un cours d'eau
 Solution, suspension, glissement sur le fond. La taille des particules mises en mouvement dans les deux derniers cas dépend de la vitesse et de la turbulence du courant.

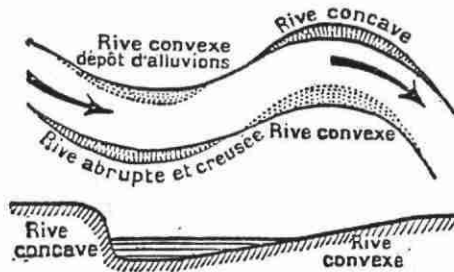
3°) Rivières et fleuves -

Erosion

- L'érosion due aux rivières donne des vallées en forme de V. Les matériaux transportés sont fins (faiblesse de la vitesse de la rivière). L'érosion va donner plusieurs types de vallées selon la roche encaissante.

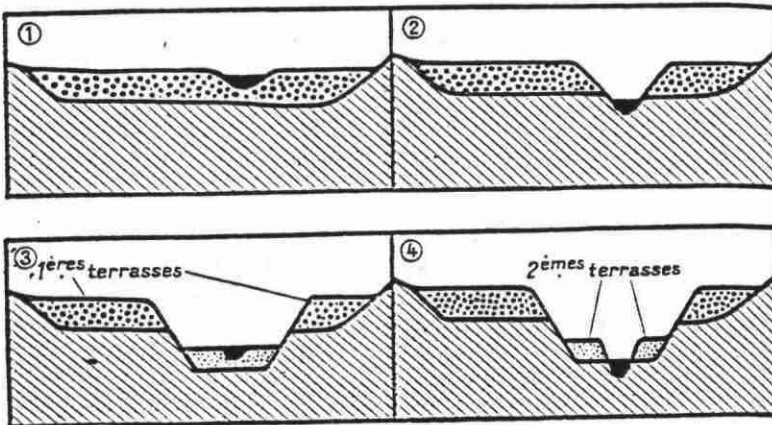


— Profil transversal composite, en terrains calcaires (en haut), argileux (à la base).



— Le fleuve use la rive concave; il alluvionne sur la rive convexe.

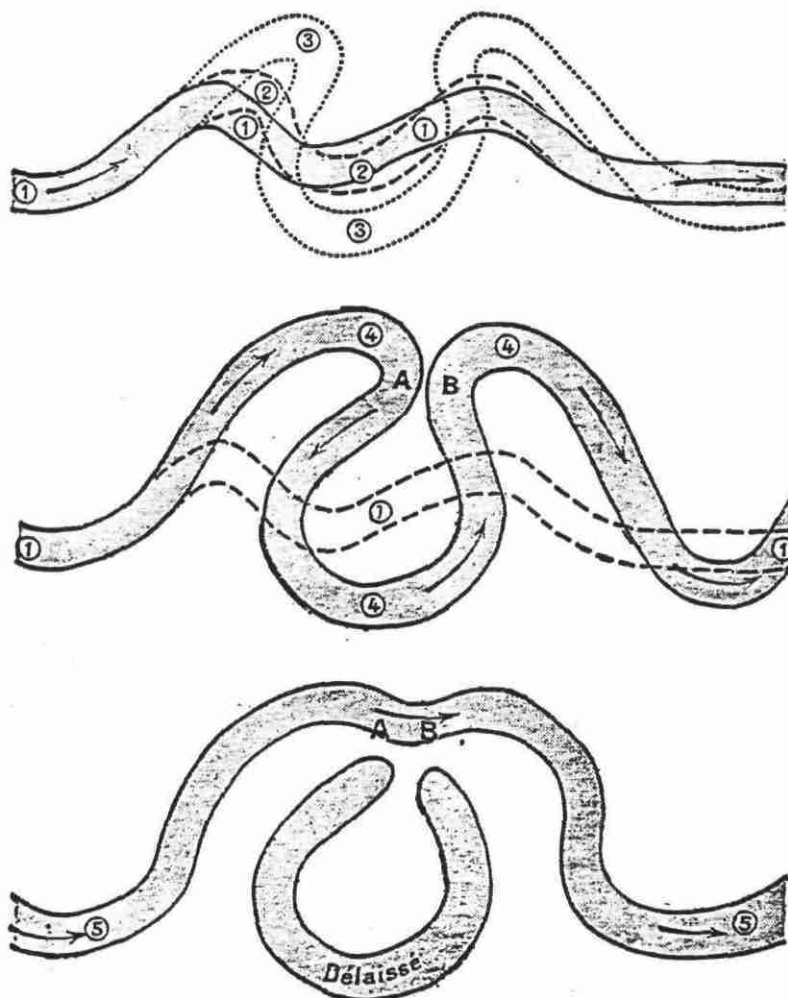
Sédimentation - Abaissement du niveau de base nouvelle érosion des sédiments antérieurement déposés par la rivière d'où ces reliques en terrasses.



— Formation des terrasses d'alluvions sur les flancs d'une vallée.

- (1) La rivière serpente dans une vallée large à fond plat, recouverte de ses alluvions.
- (2) Par suite d'un abaissement de l'embouchure, et par conséquent d'une augmentation de pente, la rivière recommence à creuser.
- (3) Pour la seconde fois, la rivière alluvionne dans une vallée dont le fond est redevenu large et plat.
- (4) Par suite d'un nouvel abaissement du niveau de base, la rivière recommence à creuser.

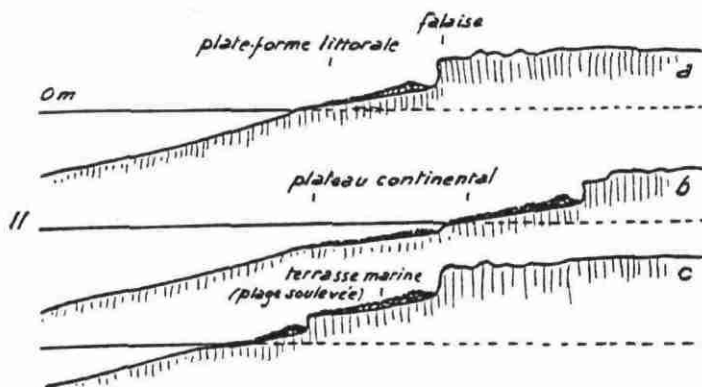
Erosion et sédimentation -



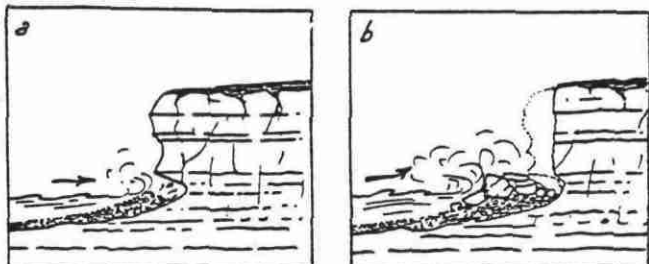
- Evolution des méandres :

- 1° Par suite de l'érosion continue sur les rives concaves, de l'alluvionnement sur les rives convexes, les méandres s'accroissent et se déplacent.
- 2° Un méandre se ferme sur lui-même. Les eaux passeront par la plus forte pente AB ; le courant abandonnera le méandre.
- 3° Le méandre est abandonné et forme un « délaissé ».

4° Marines (mers - océans) -



Le ressac et la puissance des vagues chargées de galets et sable sapent les côtes rocheuses
 → recul des côtes → plate-forme littorale.



- *L'érosion marine.* I, attaque et démolition progressive d'une falaise calcaire par la mer. Sapée à sa base par les vagues (a), la falaise finit par s'écrouler (b). II, évolution des côtes : a, formation de la plate-forme littorale; b, formation du plateau continental par enfoncement progressif de la côte; c, formation d'une plage soulevée et de terrasses marines par soulèvement général.

ANNEXE

QU'EST-CE QUE LA PALEONTOLOGIE ?

paléo	:	ancien
on-ontos	:	vie
logos	:	étude

Les fossiles étaient généralement considérés jusqu'à Buffon (1707-1788) comme des "fantaisies de la nature" ; celui-ci comprit leur importance comme restes d'êtres vivants disparus.

Le chapitre précédent a montré qu'ils avaient une place primordiale pour l'établissement de la stratigraphie, la reconnaissance du fossile. Sa détermination correcte a donc une très grande importance.

Pour arriver à distinguer les divers fossiles trouvés, les premiers chercheurs les décrivirent, en firent des représentations dessinées et leur donnèrent un nom. Ces noms furent copiés sur les noms actuels de la Zoologie et de la Botanique. Chaque fossile a comme chaque être vivant un nom de genre et un nom d'espèce (en latin).

Par exemple un Ours se dit URSUS. Les diverses sortes d'ours ont des noms d'espèces différents, l'ours des Cavernes est URSUS SPELEUS. (1)

(1) Le troisième nom qui se trouve après le nom du fossile est celui de l'auteur qui l'a décrit (souvent écrit en abrégé), par ex : le MICRASTER CORTESTUDINARIUM Goldfuss, est un Oursin genre MICRASTER, en forme de cœur de Tortue (CORTESTUDINARIUM) décrit par le géologue GOLDFUSS.

Les genres sont regroupés dans des Familles (dans le cas présent URSIDES) puis les Familles dans un Ordre (CARNIVORES), ceux-ci dans une Classe (MAMMIFERE) puis un embranchement (VERTEBRES) et un Règne (ANIMAL).

Il a fallu créer de nouvelles Classes, Familles etc. en complétant celles utilisées pour le monde vivant actuel car certains fossiles ne pouvaient s'y rattacher. En particulier ceux représentant des groupes disparus depuis longtemps de la surface de la terre par exemple les TRILOBITES, ceux présentant des caractères intermédiaires entre deux catégories (Fossiles d'animaux présentant à la fois des caractères de reptiles et d'oiseaux).

Mais ce travail de classement est souvent remis en question : d'une part on découvre encore des fossiles nouveaux (non encore décrits) et d'autre part on s'aperçoit que les premiers critères utilisés ne sont pas toujours valables et on en cherche de meilleurs (on a d'abord décrit les Brachiopodes d'après leur forme externe mais on s'est aperçu qu'un aspect extérieur très ressemblant cachait une structure interne différente). Cette dernière intervient maintenant dans la détermination.

PHENOMENE DE FOSSILISATION

La condition essentielle à la fossilisation de restes d'animaux et végétaux ayant vécu avant l'époque actuelle, est l'enfouissement à l'abri de l'air.

Les parties dures (os, carapaces, coquilles) sont le plus facilement fossilisées.

Pour les parties molles des individus, les vestiges sont très rares du fait de leur facilité de décomposition.

Citons cependant :

- les insectes conservés dans l'ambre du Tertiaire de la Baltique, dont l'état est aussi frais que ceux que l'on inclut actuellement dans la matière plastique.

- Des Rhinocéros momifiés, "confits" dans des hydrocarbures tertiaires.

- Des Mammouths dans les glaces quaternaires de la Sibérie (on retrouve même dans leur estomac l'herbe qu'ils avaient mangée avant leur mort et dans les vaisseaux, des caillots de sang).

La fossilifisation peut se faire de différentes façons :

- incrustation de carbonate de chaux recouvrant en pellicule des débris organiques (tufs et travertins).

- Conservation pure et simple des vestiges par enfouissement dans le sédiment qui, à la longue, devient une roche (dure ou meuble). On peut trouver de cette façon des coquilles fossiles vieilles de plusieurs millions d'années et dont l'aspect est presque aussi frais que celles des plages actuelles. Le plus souvent, il y a remplacement, molécule par molécule, de la substance de l'organisme par une substance différente : pyrite, (Ammonites du Lias), silice (troncs d'arbres entiers en agate), calcite remplaçant l'aragonite. C'est le phénomène d'épigénie ou de minéralisation.

Les végétaux, le plus souvent ont été fossilisés par carbonisation, après leur enfouissage dans la vase des lagunes marécageuses ou d'estuaires.

- Au sein du sédiment, il peut y avoir dissolution de l'organisme mort. Dans le cas d'une coquille, on ne retrouvera que les moules internes et externes, la coquille elle-même étant remplacée par une cavité.

ERE PRIMAIRE

De 600 à 200 millions d'années

D'abord recouverte par l'océan, au Cambrien, Silurien et Dévonien, l'Europe est le siège au Carbonifère de l'érection de la chaîne hercynienne accompagnée d'éruptions volcaniques. La houille se forme pendant ce temps dans des marécages. Au Permien cette chaîne montagneuse est érodée (on dit pénéplanée).

La faune de l'ère primaire est très variée. Tous les groupes d'Invertébrés sont déjà représentés au Cambrien. Les Foraminifères montrent des grosses formes : les Fusulines (2 cm environ). Echinodermes et Coelentérés existent.

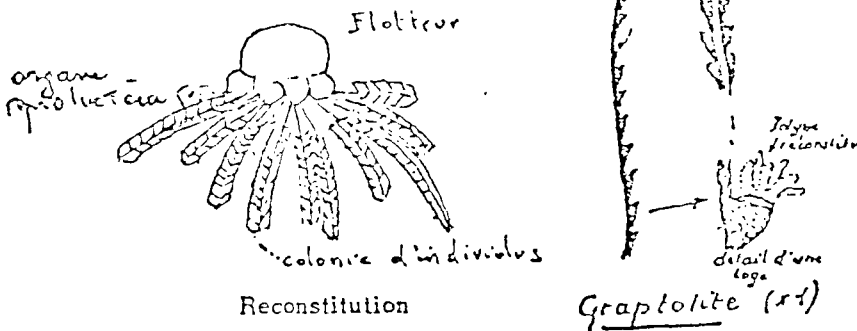


Fig.9 - Graptolites

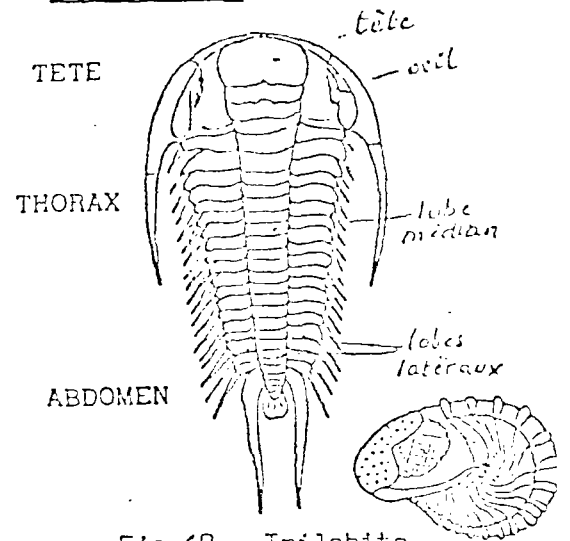
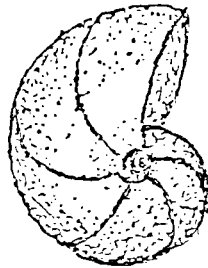


Fig.10 - Trilobite

Les Graptolites sont des animaux vivent en groupes (ou colonies) comme les Polypiers, Fossiles caractéristiques du Silurien ils disparaissent ensuite.

Les Trilobites étaient des animaux proches des Crustacés. Fossiles caractéristiques des terrains cambro-silurien, ils sont malheureusement assez rares. Découverts assez récemment dans la Montagne Noire, ils n'étaient guère connus en France que dans l'Anjou.

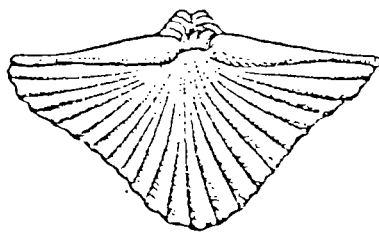
La flore du Primaire est surtout remarquable au Carbonifère. Dans les terrains houillers on a trouvé un grand nombre de Fougères vraies et de Fougères à graines qui atteignaient la taille des arbres actuels. Elles formaient des forêts luxuriantes dont les débris en s'accumulant donnèrent la houille.



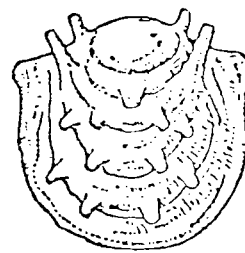
Nautilus ($\times \frac{1}{2}$)



Orthocère ($\times \frac{1}{2}$)



Spirifer ($\times 1$)



Productus ($\times 1$)

Fig.11 - Autres Fossiles du Primaire

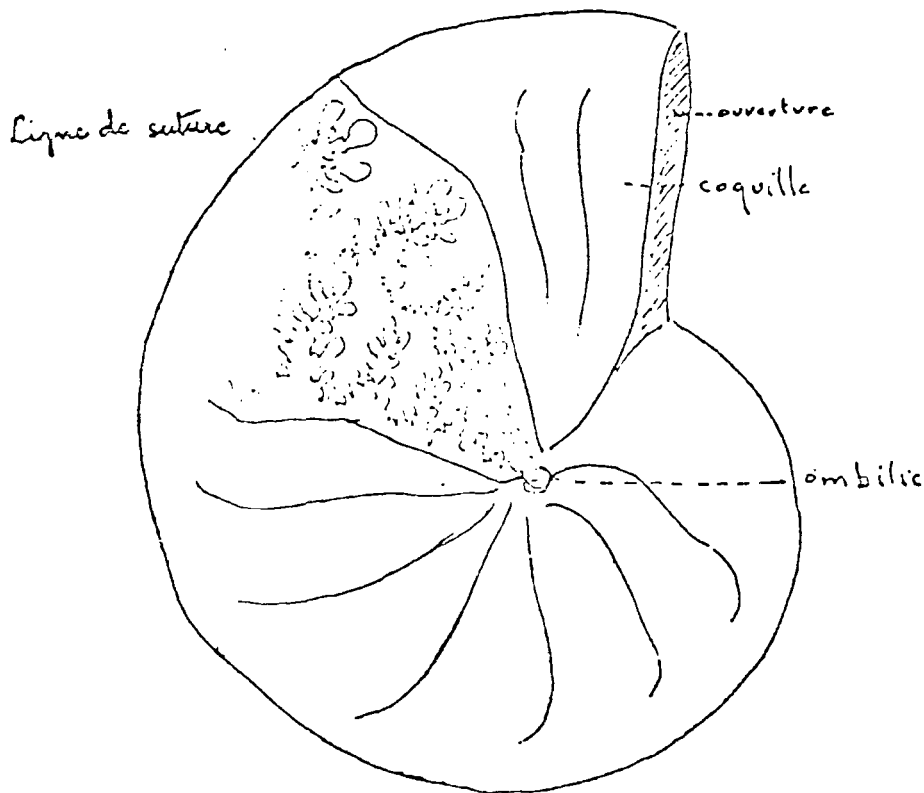
NB - Les fossiles ne donneront pas lieu à une interrogation de contrôle. Ils sont simplement indiqués à titre d'information.

ERE SECONDAIRE

De 200 à 70 millions d'années

La France est occupée au Sud-Est par des mers profondes "géosynclinales", au Nord par des mers peu profondes "épicontinentales".

Dans ces mers la faune est abondante et le groupe principal en nombre d'espèces et en valeur stratigraphique est celui des Ammonites. Elles commencent au Lias et disparaissent totalement à la fin du Crétacé. Leur vie courte en font d'excellents fossiles stratigraphiques.



Leur détermination fait appel à leur mode d'enroulement, leur ornementation (cotes, tubercules, etc.) et à la forme des cloisons qui séparent des loges comme dans le Nautilé actuel.

Le Secondaire est l'ère d'extension des grands Reptiles : Brontosaures, Plesiosaures qui pesaient plus de 20 tonnes et

Fig. 12 - Ammonite

dont les dimensions monstrueuses plongent dans la stupeur ceux qui visitent pour la première fois le Museum d'Histoire Naturelle.

Ces reptiles sont carnivores ou herbivores certains sont marins d'autres vivent sur terre, un certain nombre pouvait voler.

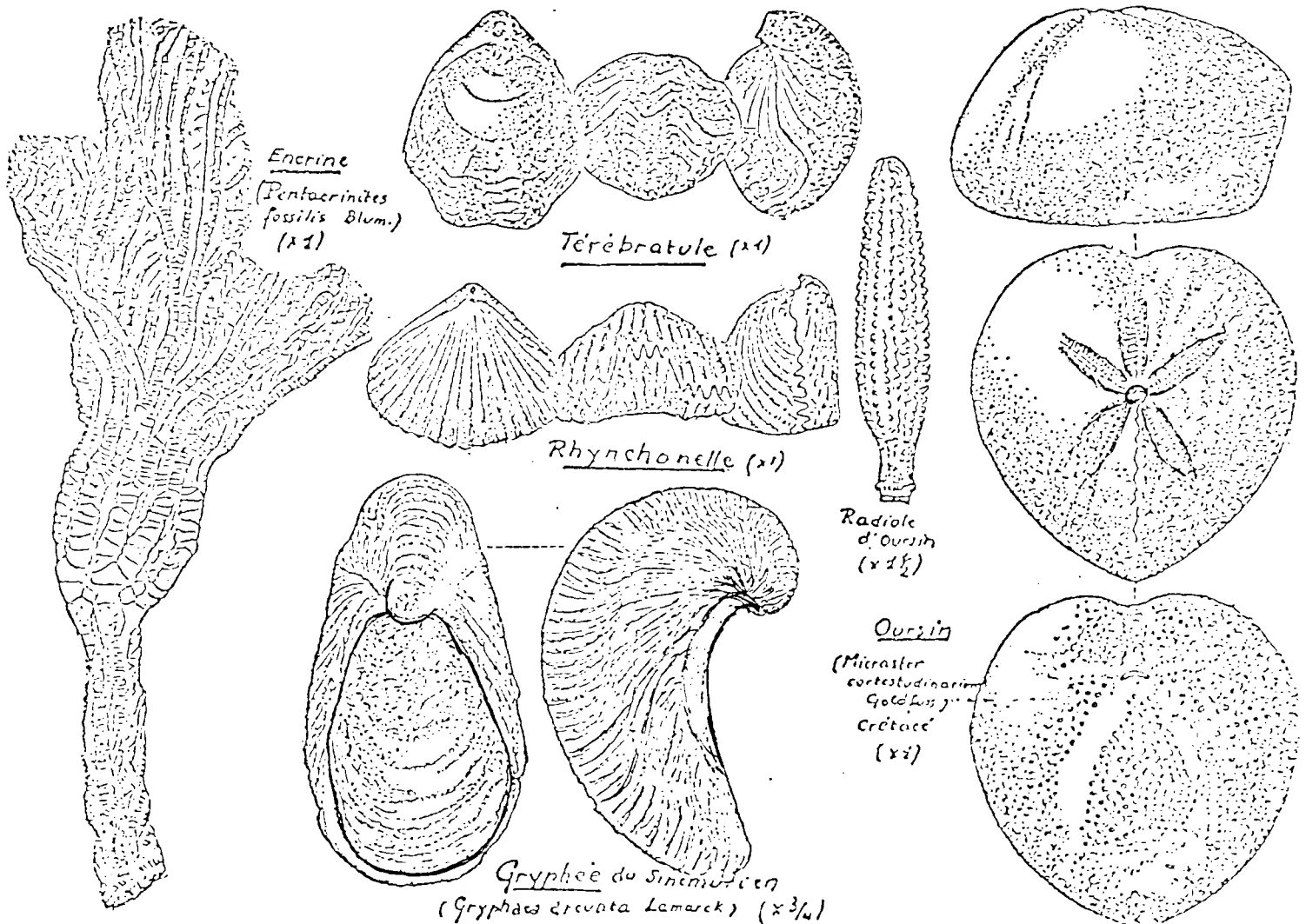


Fig.13 - Quelques fossiles du Secondaire

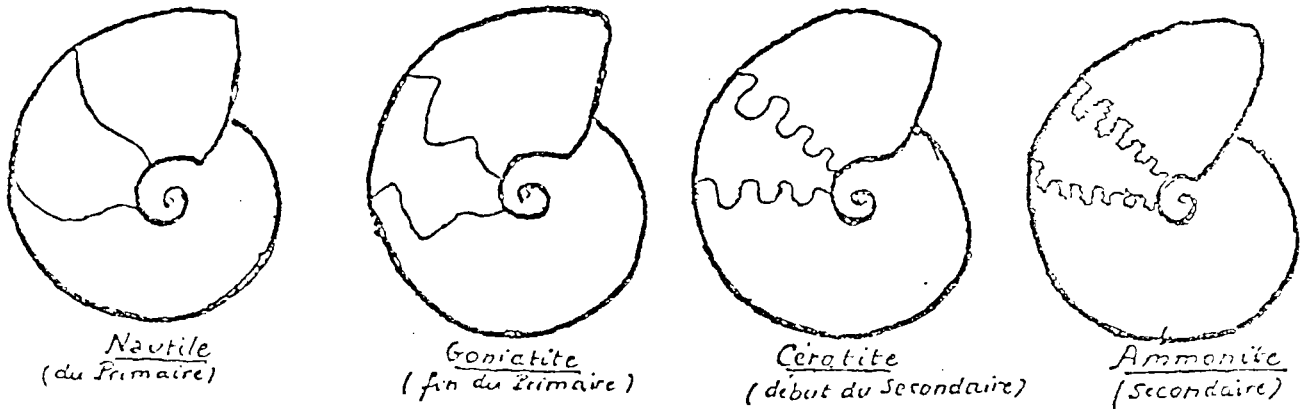


Fig. 14 Evolution des cloisons des Céphalopodes

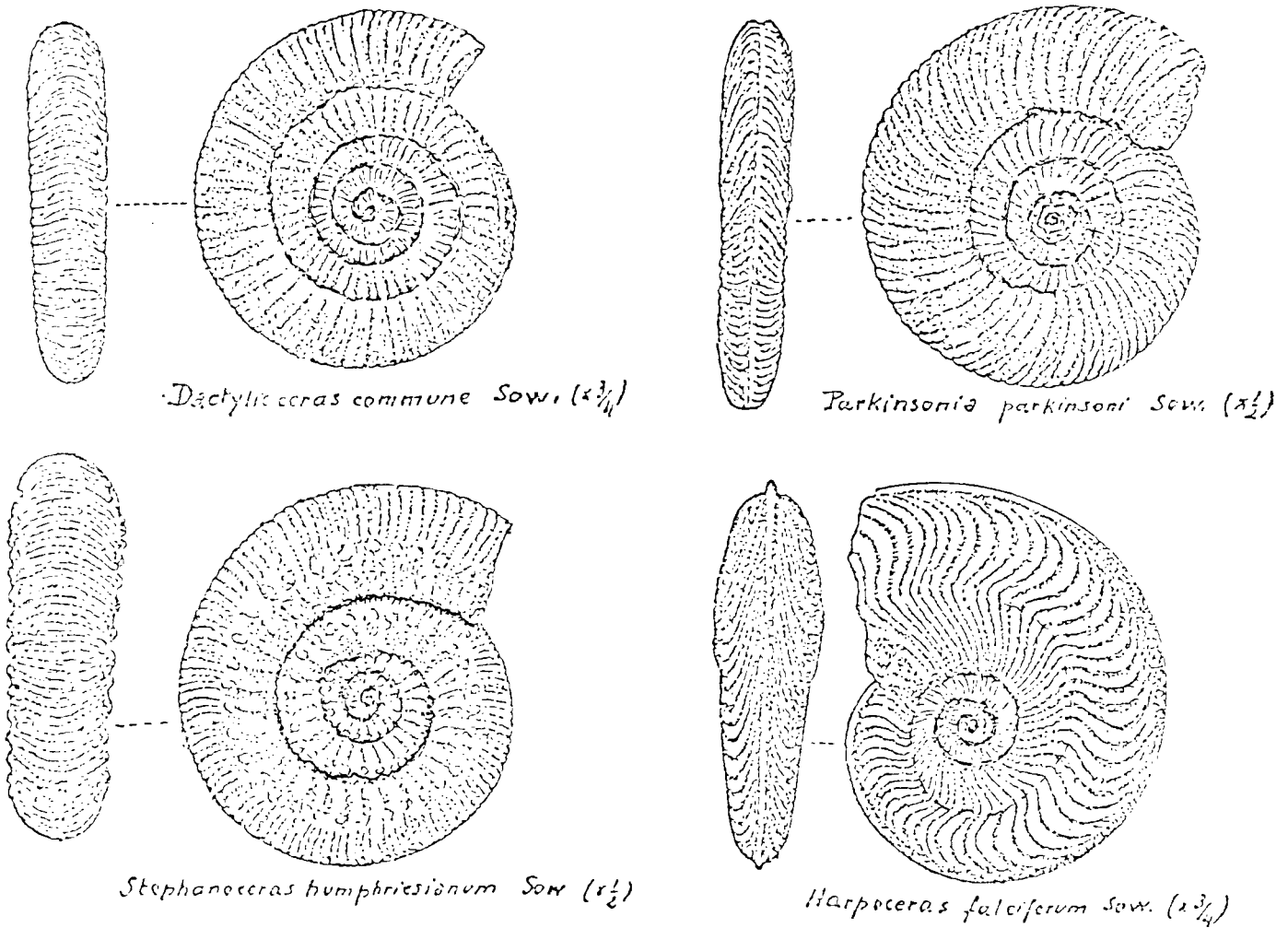


Fig. 15 Ammonites

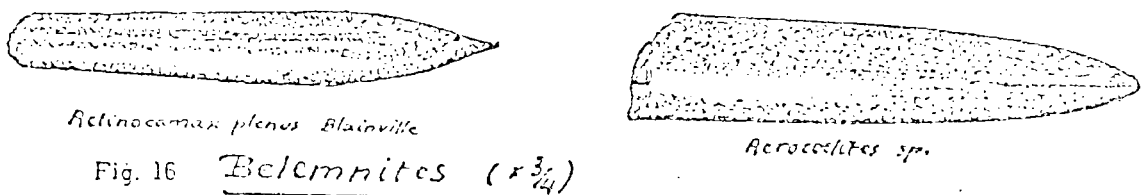


Fig. 16 Belemnites ($\times \frac{3}{4}$)

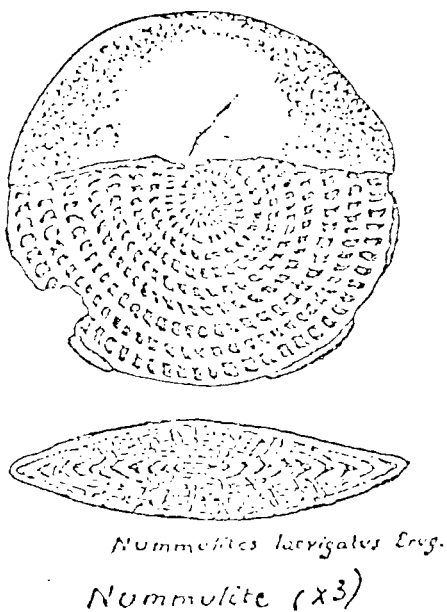
Belemnites sp.

ERE TERTIAIRE

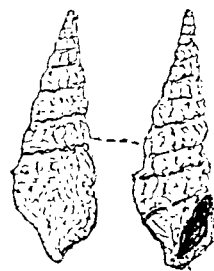
De 70 à 2 millions d'années

Tandis que les Pyrénées puis les Alpes se plissent les mers tertiaires envahissent les bassins parisien, aquitain, et rhodanien.

Faunes et flores se rapprochent des faunes et des flores actuelles en particulier l'ère tertiaire est celle des Mammifères qui commencent avec des formes réduites à cerveau petit et ne sont pas spécialisés (régime omnivore) puis apparaissent des formes plus grandes qui ont une denture de plus en plus spécialisée en herbivore ou carnivore. La spécialisation intervient aussi dans la modification des membres qui sont de plus en plus adaptés à la course : réduction du nombre de doigts, allongement de la patte. C'est ainsi que le Cheval actuel avec 1 seul doigt à chaque patte, semble avoir pour ancêtre Ochippus à 5 doigts et dents non spécialisées.

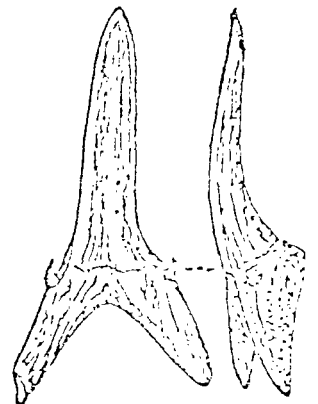


Turitella cauta Sol.
(x1)



Batillaria concava Sow.
(x1)

Gastéropodes



Odontaspis macrota Linné
Müller (x1½)

Dent de requin

Fig. 17 - Quelques fossiles du Tertiaire

ERE QUATERNAIRE

De 2 millions d'années à nos jours

Le Quaternaire est marqué par l'apparition de l'Homme et est caractérisé par la présence de nombreuses glaciations. On en compte 5 dans les Alpes : Donau - Gunz - Mindel - Riss - Wurm. Les deux dernières ont donné en France des moraines importantes.

Dès le début du Quaternaire (2 millions d'années environ) apparaissent des Anthropoïdes qui utilisent des galets comme outils et savent faire du feu. Découverts à Java, en Chine, et en Afrique ces formes ont des fémurs humains mais des dents très proches de celles de l'orang-outan.

Vers 100 000 avant J.C. apparaît l'homme de Neanderthal qui a un outillage en silex et vit dans des grottes. Il disparaît vers 30 000 avant J.C.

L'Homo sapiens prend alors une grande extension, mais les fouilles récentes de Palestine montrent qu'il a existé avec l'Homme de Neanderthal et peut-être même avant. C'est lui qui est responsable de l'outillage perfectionné qui constitue les périodes que l'on a appelées AURIGNACIEN et MAGDALENIEN ainsi que les peintures qui ornent certaines grottes.

L'homme se fixe et devient cultivateur vers 6 000 avant J.C. Poteries, métaux, textiles apparaissent puis l'écriture est inventée en Mésopotamie 4 000 avant J.C.