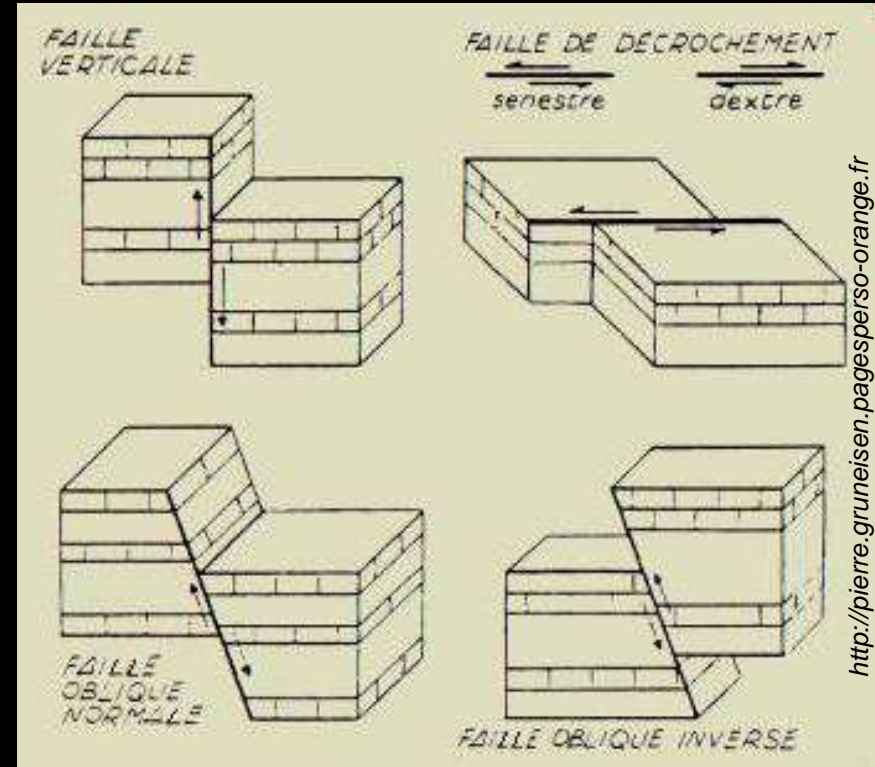


Géologie structurale

Pli à St Jean de Luz ©Manumanu
www.intellego.fr/doc/19985

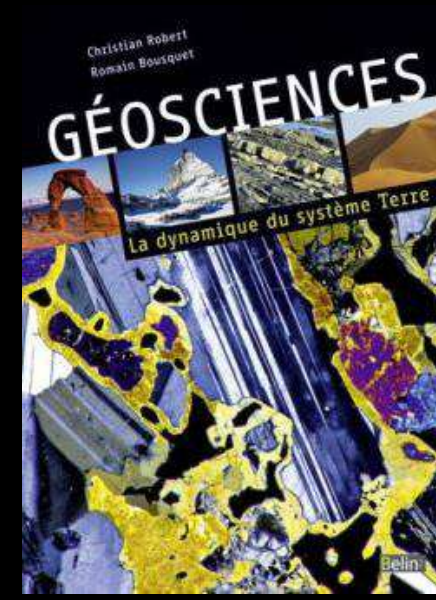
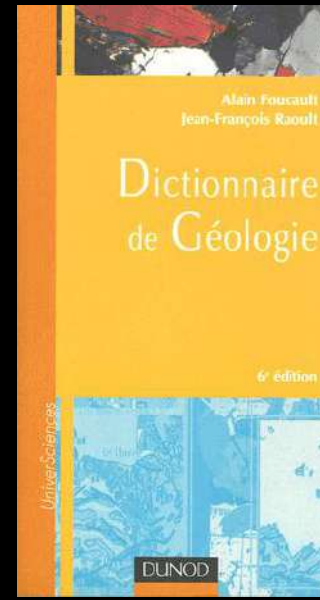
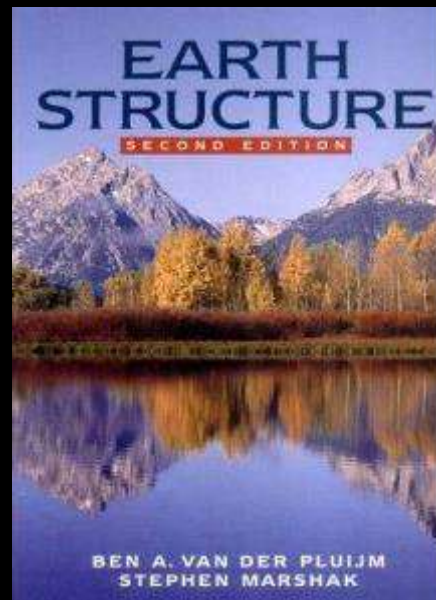
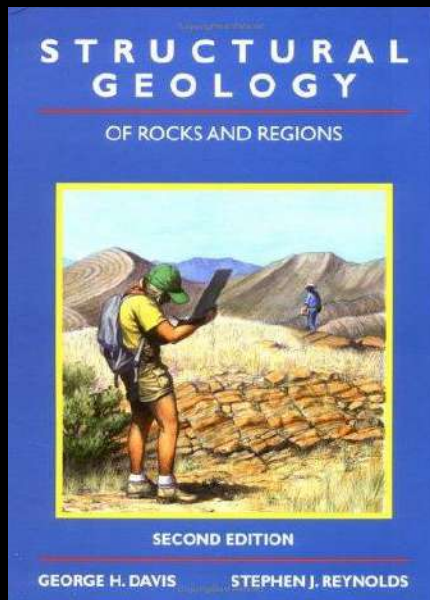
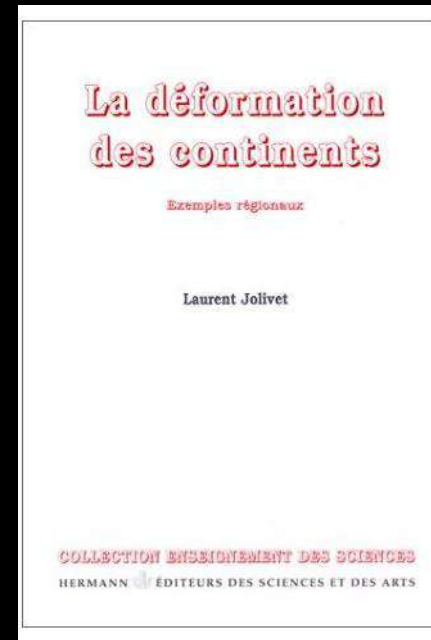
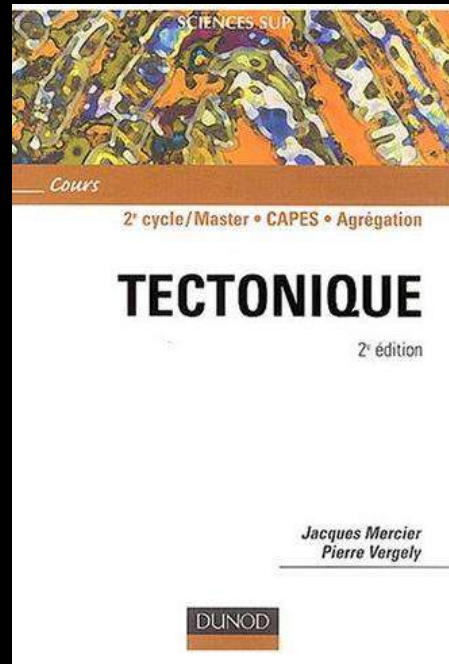
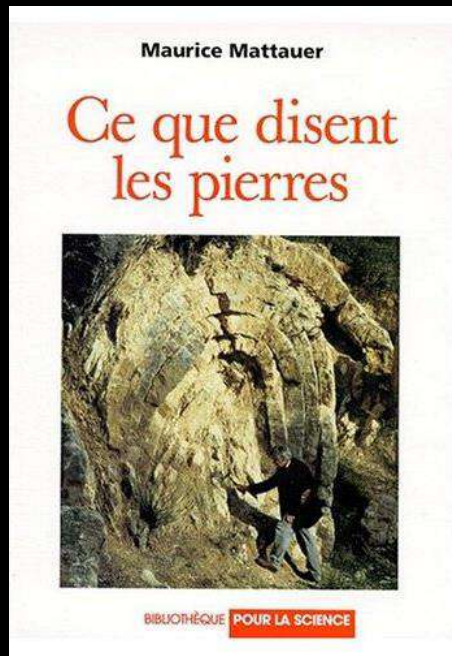


ROBIN FENTIMEN

Une discipline faisant appel à des qualités:

- D'observation (voir, regarder, observer, décrire, analyser et interpréter)
- De visualisation des objets en 2D et 3D
- De représentation (blocs diagrammes, cartes, schémas, coupes géologiques)

Ouvrages conseillés



1- Introduction à la tectonique

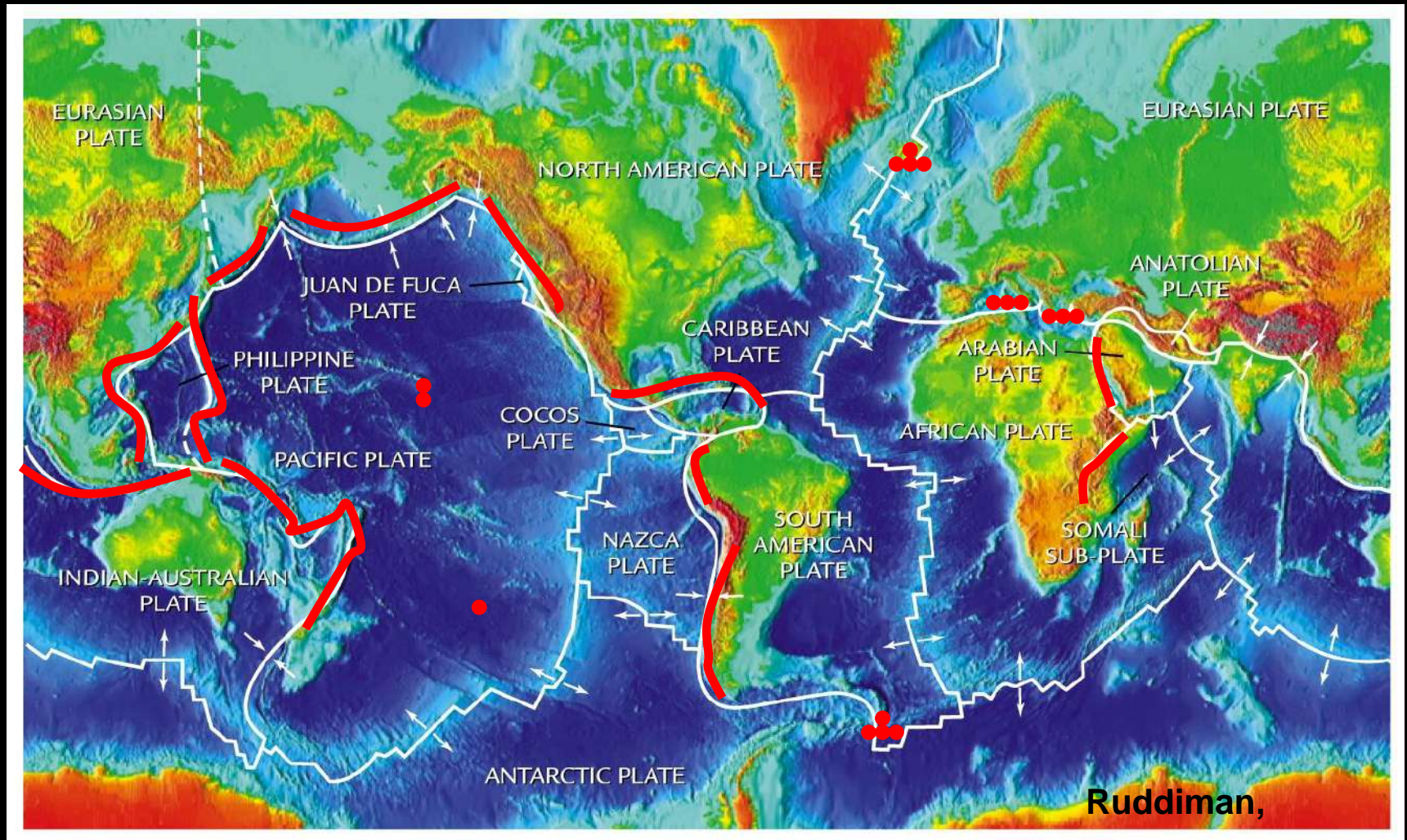
2- Structures tectoniques: les plis

3- Structures tectoniques: les failles

4- Schistosité

5- Techniques de cartographie

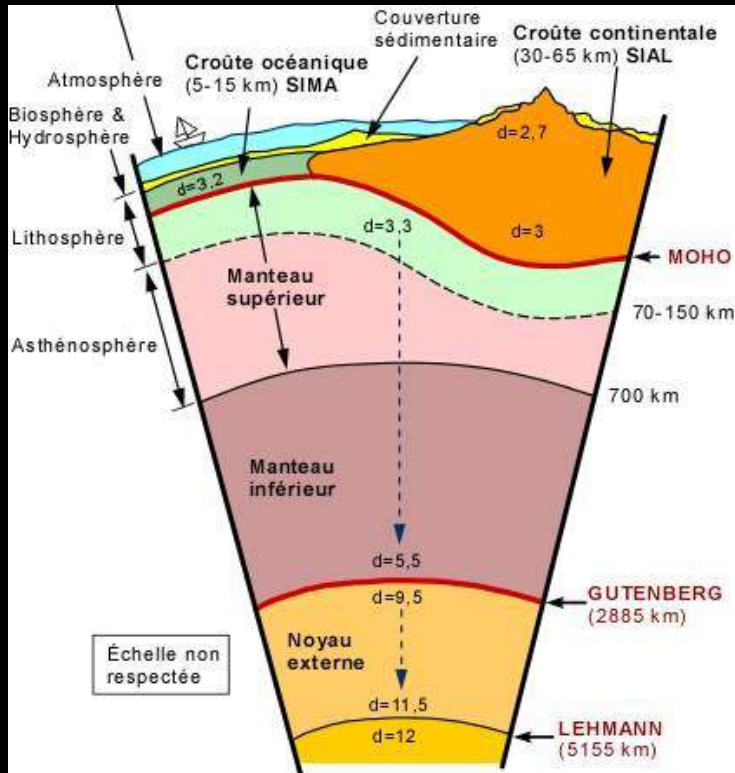
6- Exemples des grandes structures géologiques



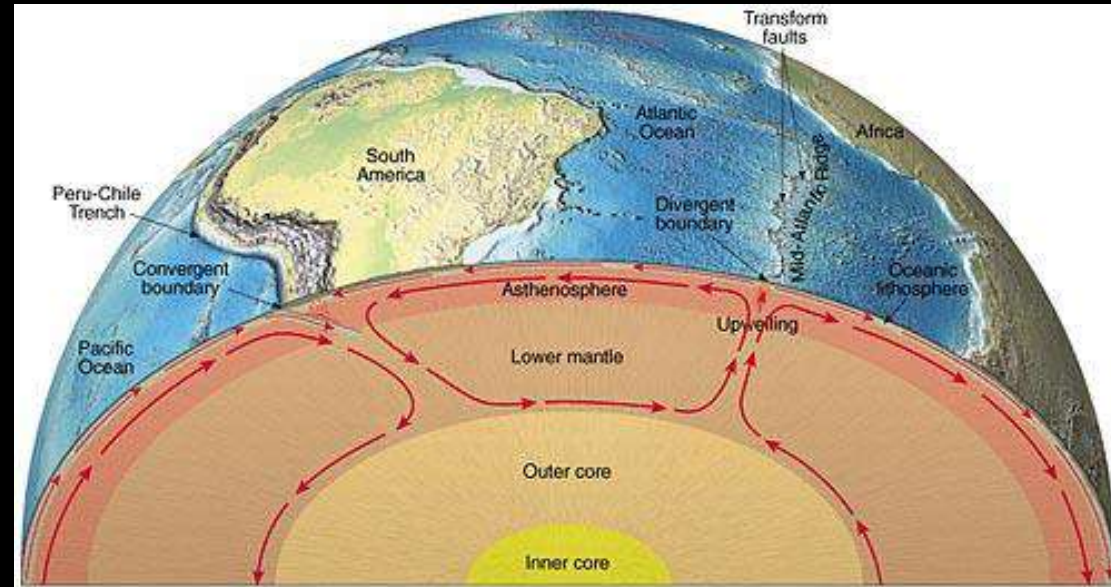
Existence de plaques rigides induit la cohabitation de plusieurs zones:

- Calmes: au milieu d'une plaque par exemple
- Actives: aux frontières des plaques

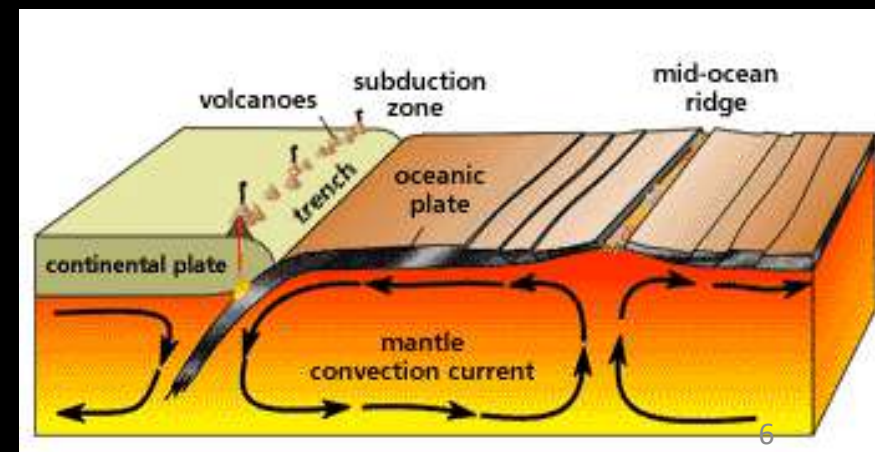
La convection mantellique =
moteur des mouvements
crustaux



<http://www.geowiki.fr>

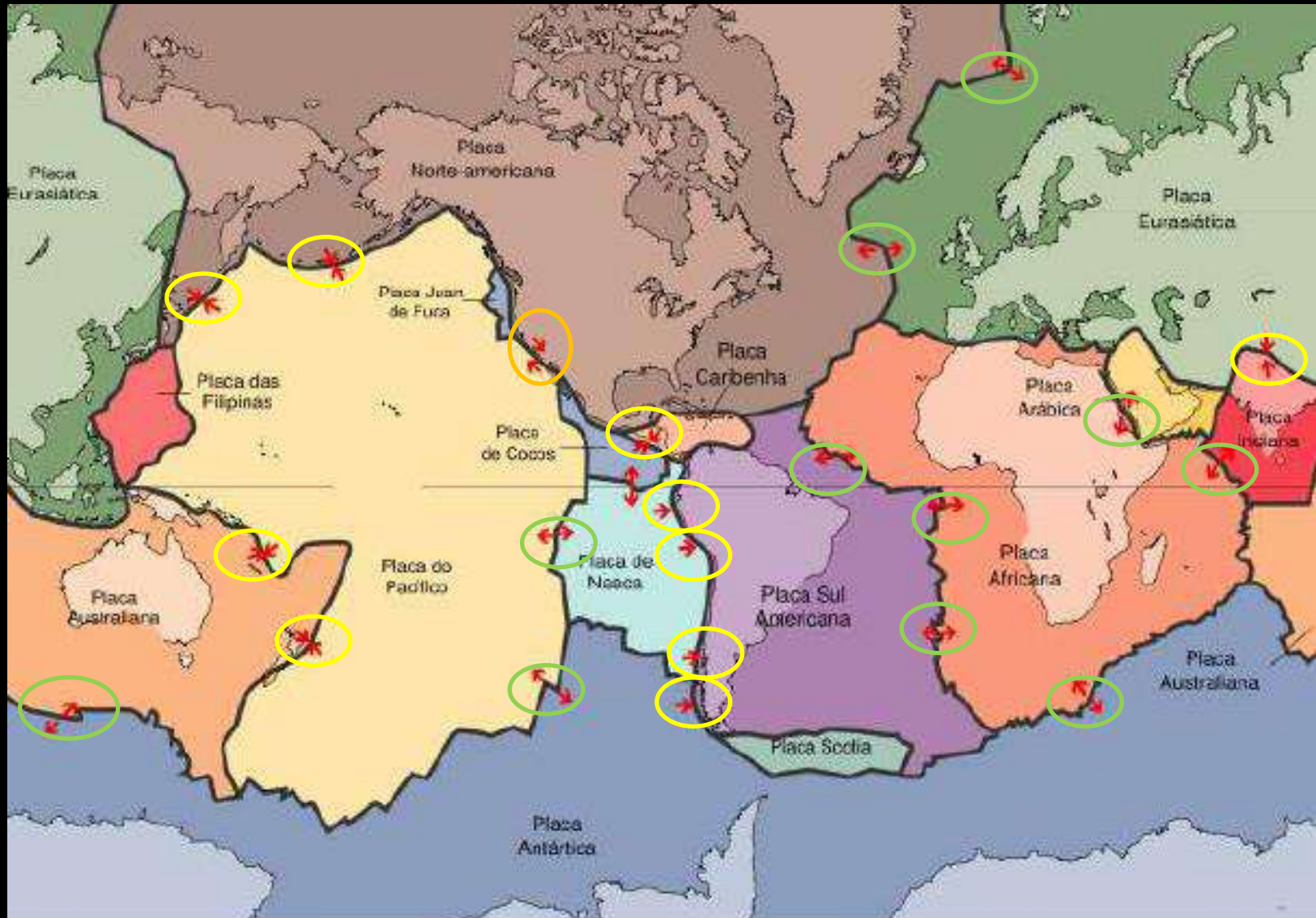


<http://sites.google.com/site/reifkecare/physical-earth-science>

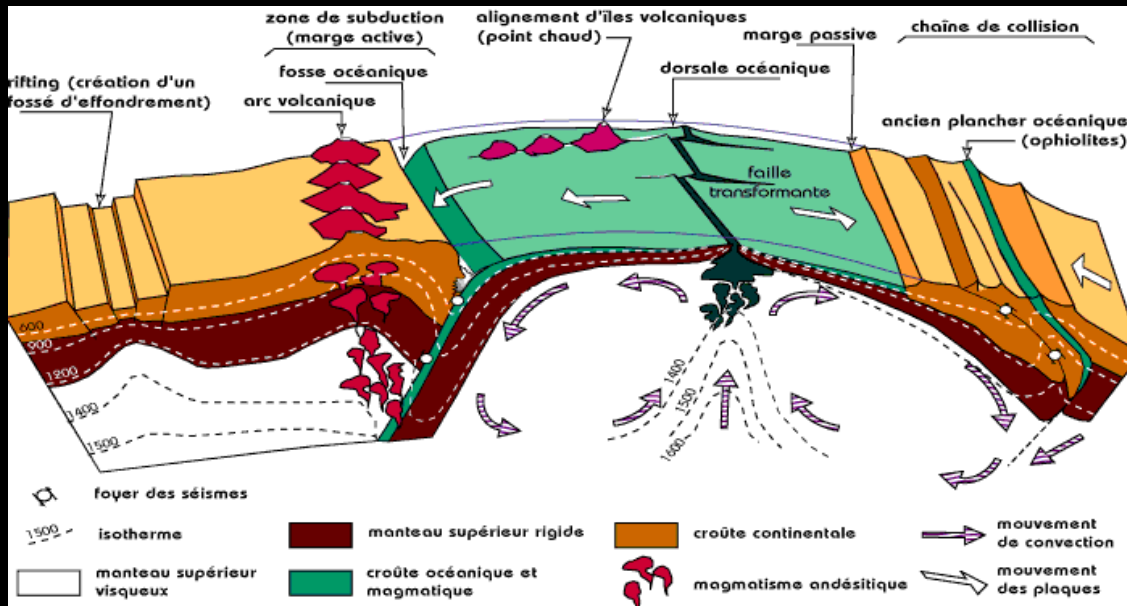
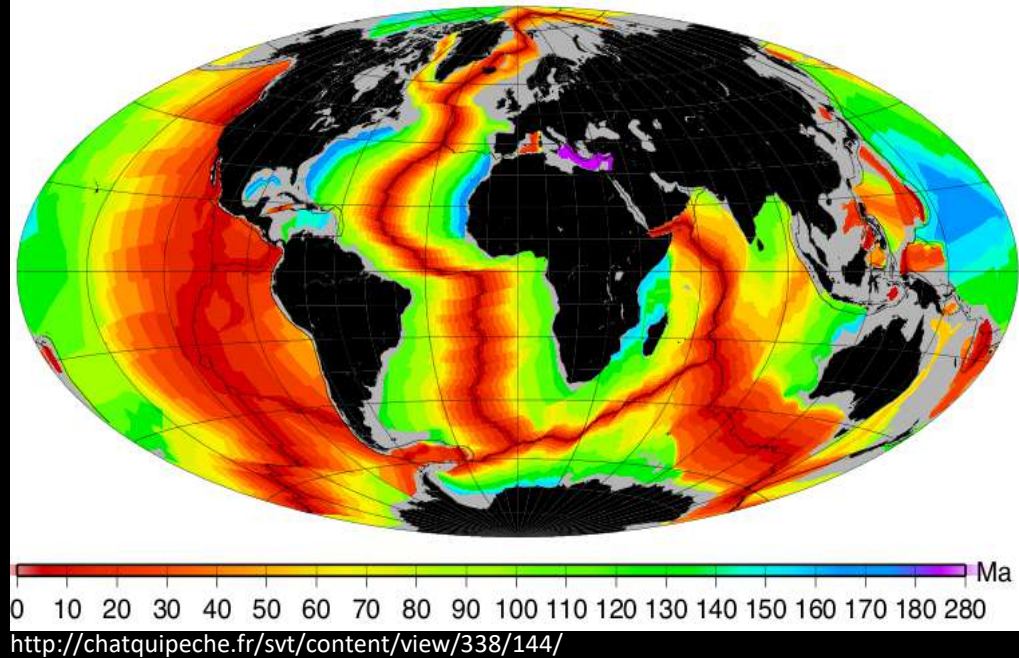


<http://www.heritage.nf.ca/environment/geology.html>

3 types de frontières: **Convergence**; **Divergence**; **Coulissage**



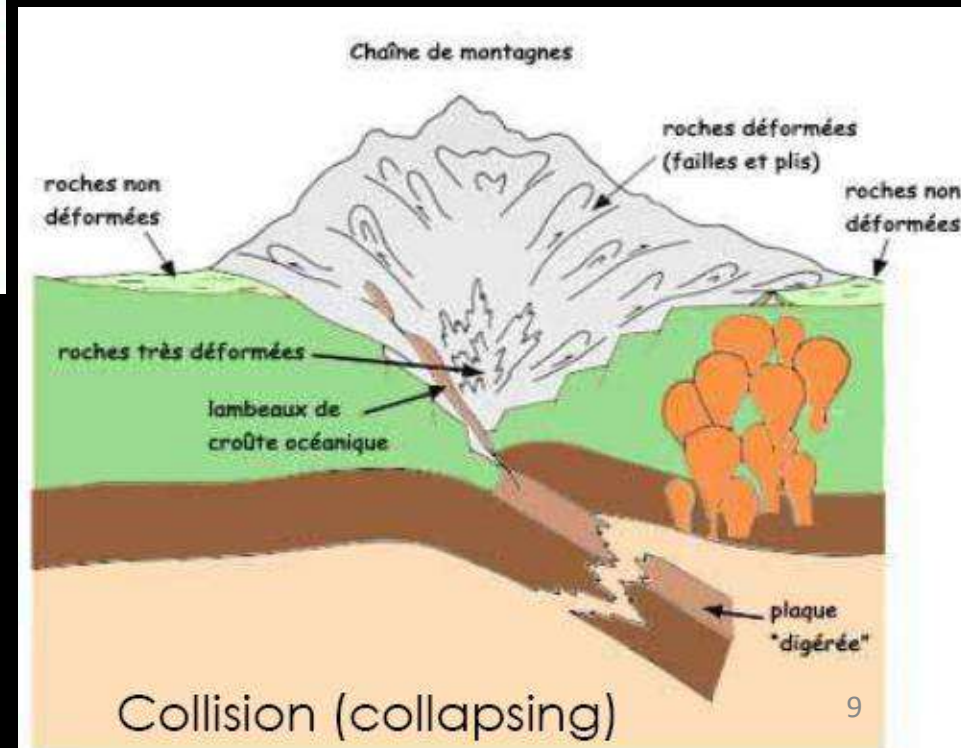
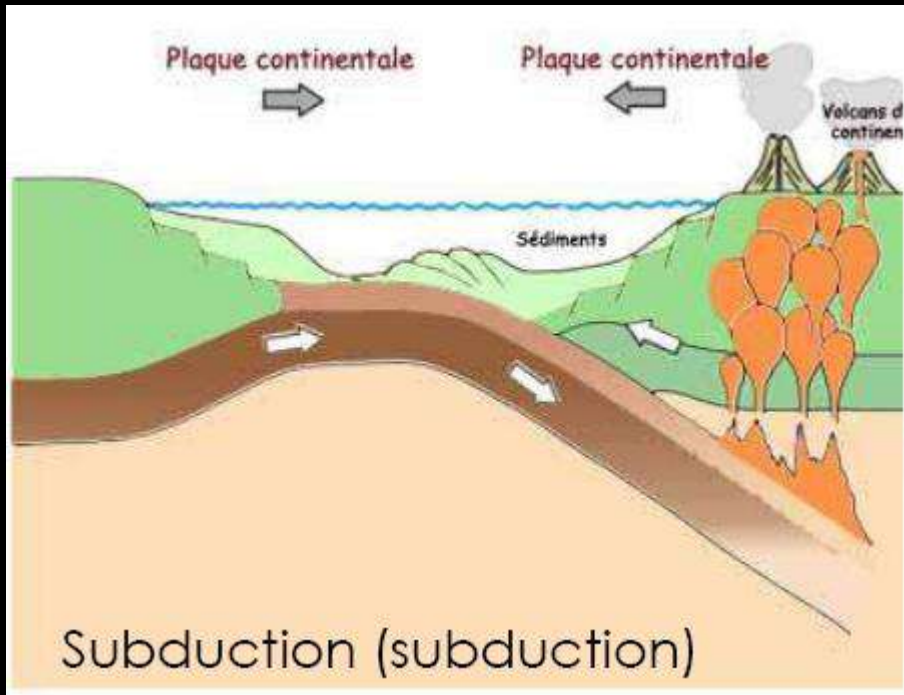
Les mouvements de **divergence** sont localisés au niveau des dorsales océaniques où se forme une nouvelle lithosphère océanique par remontée de l'asthénosphère



Introduction à la tectonique

Rappels

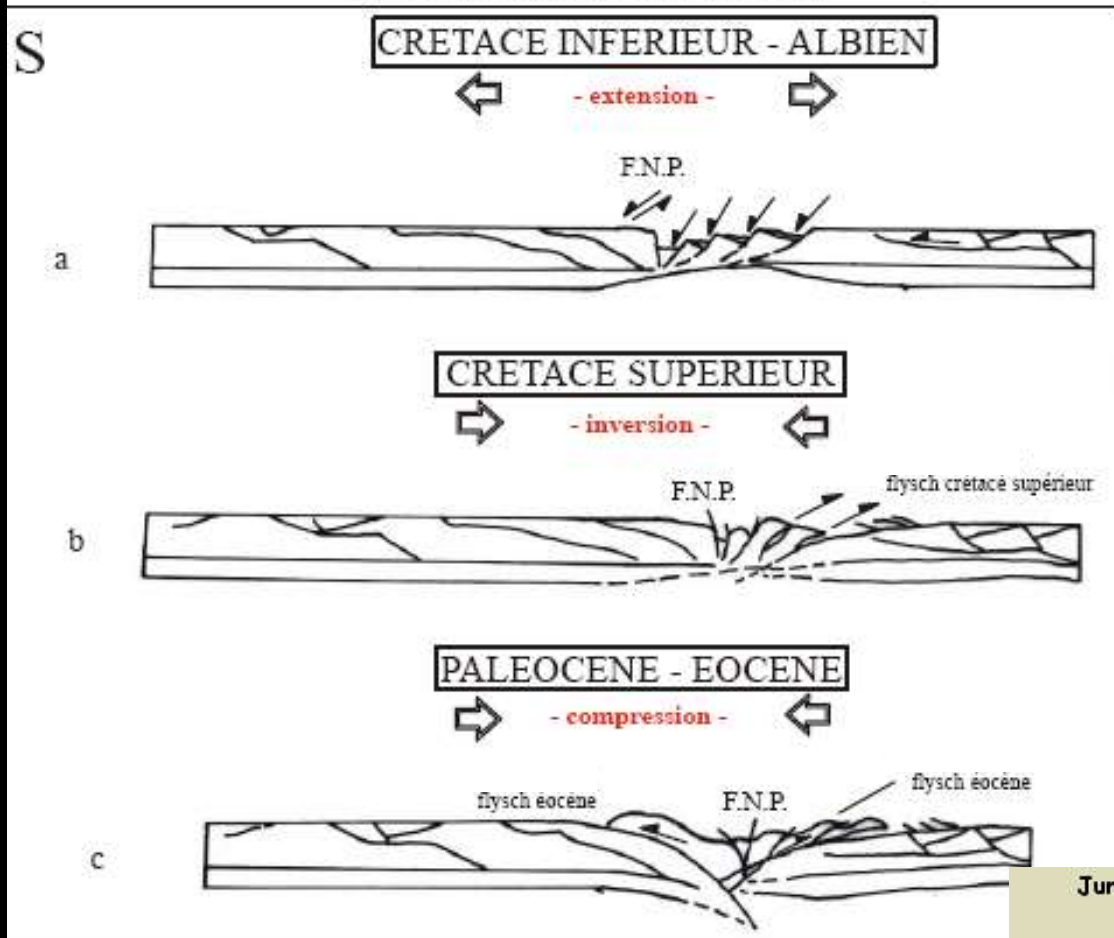
Les zones de convergence = Sites des déformations les plus intenses



Introduction à la tectonique

Rappels

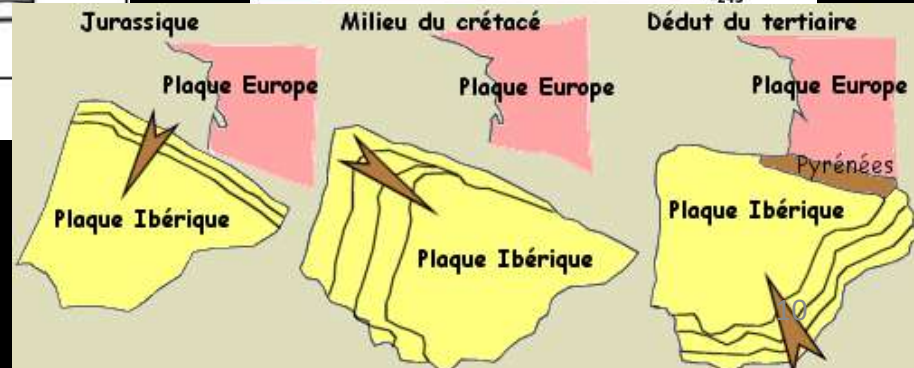
Exemple des bassins pyrénéens



(d'après Desegaulx *et al.*, 1990; modifié).

Ère	Période	Epoque	Etage	Age (en Ma)	
Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		0	
		Pléistocène		-0,01	
	Tertiaire	Néogène	Sup.	Gélaïcien	-1,8
			Moy.	Plaisancien	-3,4
			Inf.	Zancléen	-5,3
			Sup.	Messinien	-6,5
			Tortonien	-11	
		Miocène	Serravallien	-14,5	
			Langhien	-16	
			Burdigalien	-20	
			Aquitainien	-23,5	
			Chattien	-28	
	Paléogène	Oligocène	Rupélien	-34	
			Sup.	Priabonien	-37
			Moy.	Bartonien	-40
		Eocène	Lutétien	-46	
			Yprésien	-53	
		Paléocène	Thanétien	-59	
			Danien	-65	
			Maastrichtien	-72	
	Mésozoïque ou secondaire	Crétacé	Supérieur	Campanien	-83
			Santonien	-87	
			Coniacien	-88	
Turonien			-91		
Cénomanién			-96		
Albien			-108		
Aptien			-114		
Barrémien			-116		
Hauterivién			-122		
Valanginién			-130		
Bérriasien		-135			
Jurassique		Supérieur	Tithonien	-141	
		Kimmeridgien	-146		
		Oxfordien	-154		
		Callovien	-160		
		Bathonien	-167		
		Eajocien	-176		
		Aalénien	-180		
		Triasien	-187		
		Supérieur	Pliensbachien	-194	
		Sinemurien	-201		
Inférieur		Hettangien	-205		
Trias		Supérieur	Rhétien	-220	
	Norien	-230			
	Carnien	-235			
	Ladinien	-240			
	Anisien	-245			
	Moyen	Scythien	-245		
	Inférieur				

Cycle orogénique alpin



F.N.P = Faille Nord Pyrénéenne
 Flysch = formation sédimentaire composée essentiellement d'une succession de turbidites (dépôts de canyons)

Pic de Gabiéto



Le Marboré



Introduction à la tectonique

1- Généralités

1.1- Définitions

La tectonique (tectonics):

Discipline des Sciences de la Terre qui traite des déformations de l'écorce terrestre. Elle est appelée également **Géologie Structurale**, Le terme « structure » faisant référence à la géométrie et à l'organisation des roches



<http://www.visoterra.com/voyage-maroc/photo-plis.html>

1.1- Définitions

- **Domaine « Cassant »**

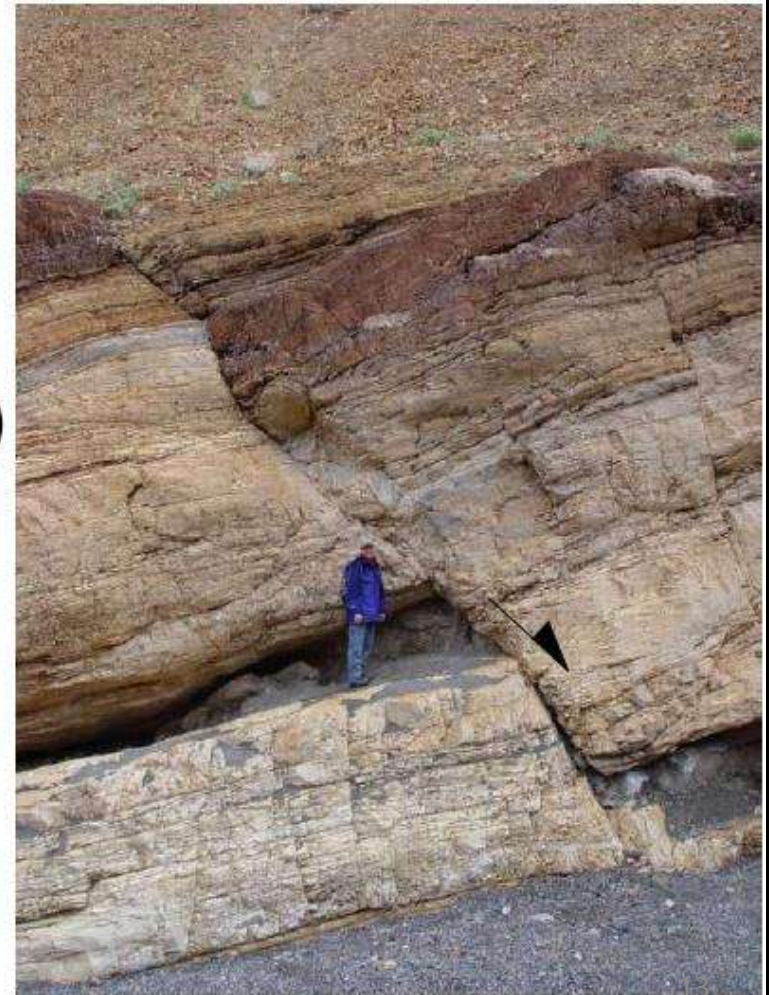


**Série sédimentaire
 S_0 horizontale
(Position d'origine)**

**Rupture
(disruption)**



Éch. : métrique



1- Généralités

1.1- Définitions

- **Domaine Souple**



**Série sédimentaire
 S_0 horizontale
(Position d'origine)**

**Plissement
(fold)**



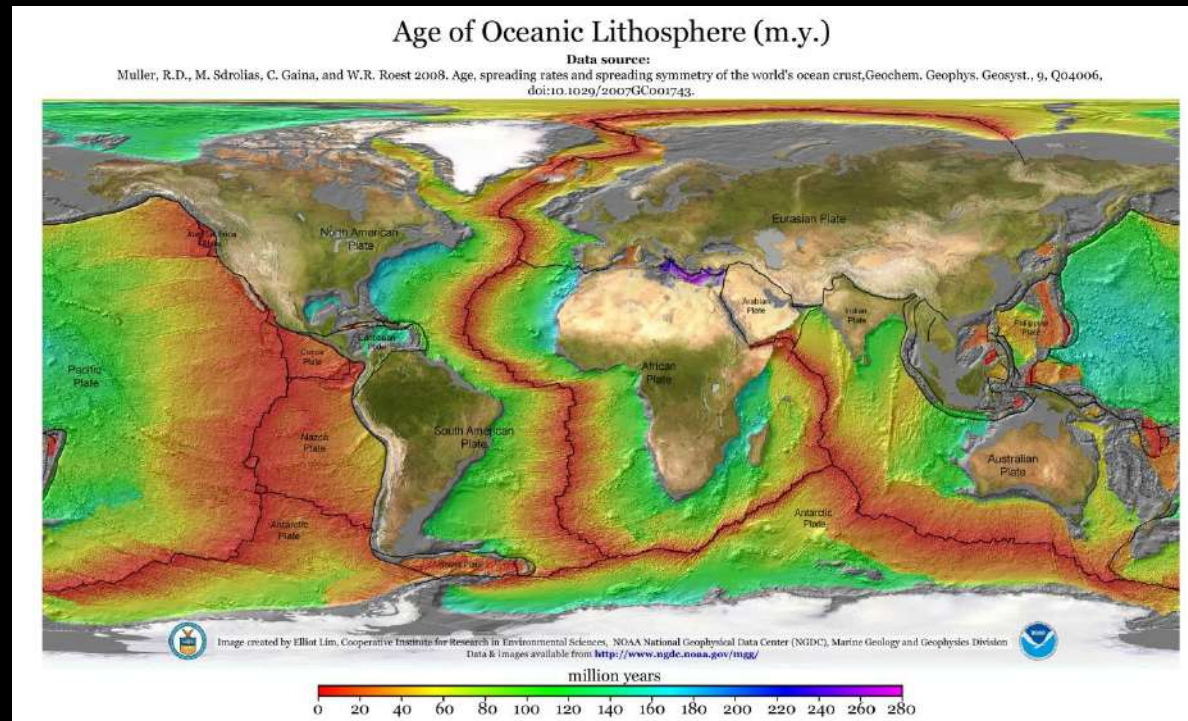
Éch. : >100m



1.1- Définitions

La tectonique des plaques (Plate tectonics):

La tectonique des plaques est un modèle actuel du fonctionnement interne de la Terre. Elle est l'expression en surface de la convection qui se déroule dans le manteau terrestre.



1- Généralités

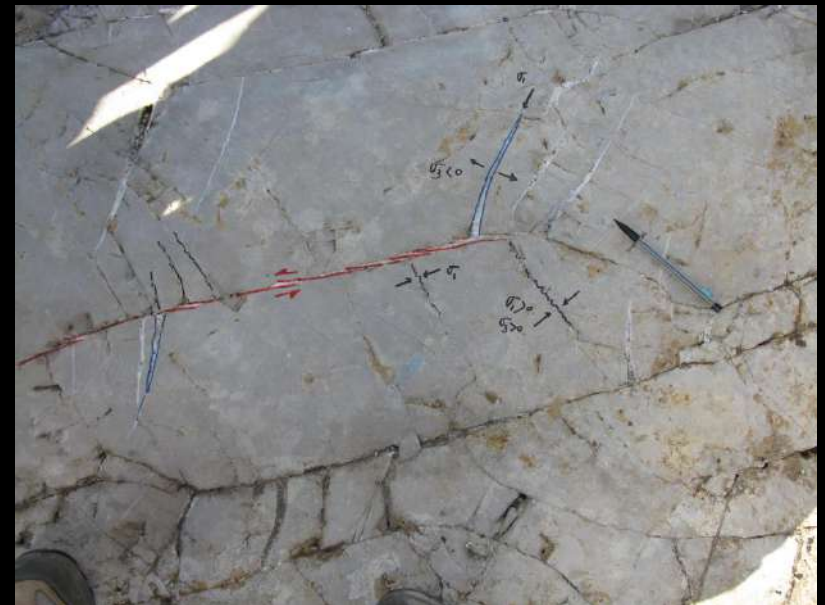
1.1- Définitions

La microtectonique (Microtectonics):

Etude des déformations ayant affecté des roches ou des terrains à l'échelle du mm, cm ou dm



Photographe: Claude G. Genest



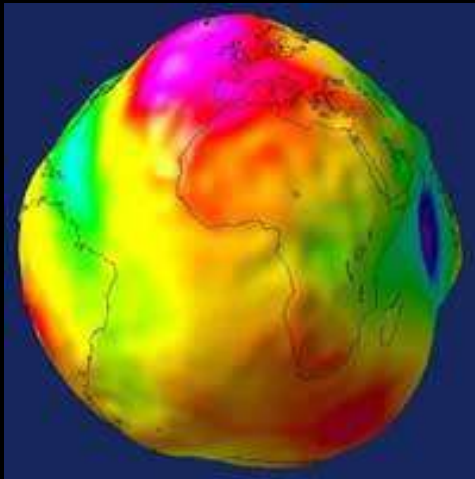
<http://beta.geodiversite.net/media179>

1- Généralités

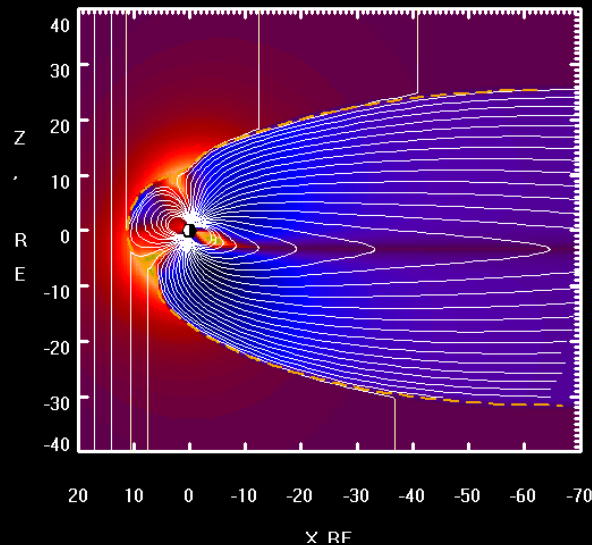
1.1- Définitions

La géophysique (Geophysics):

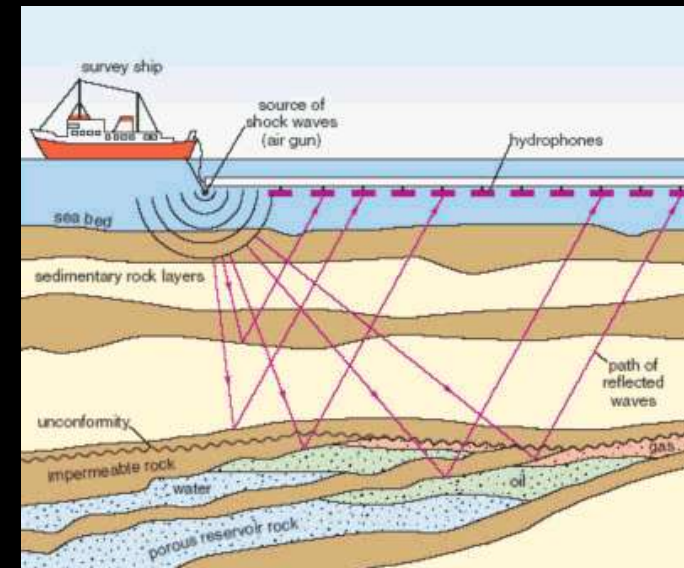
Science appliquant les méthodes de la physique à l'étude de la terre, de ses enveloppes liquide ou gazeuse, de son action à distance (champ magnétique, gravité)



<http://education.ign.fr/43/dossiers/mesurer-la-terre.htm>



<http://modelweb.gsfc.nasa.gov/magnetos/data-based/animati3.gif>



http://wermac.org/others/oil_and_gas_exploration.html

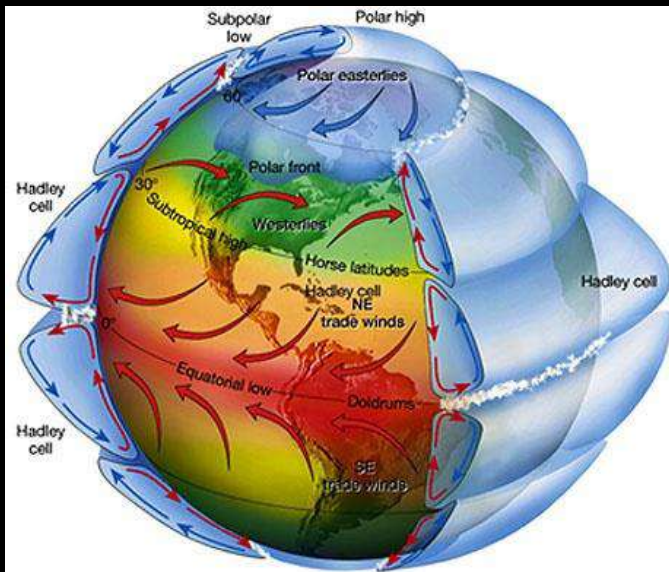
Introduction à la tectonique

1- Généralités

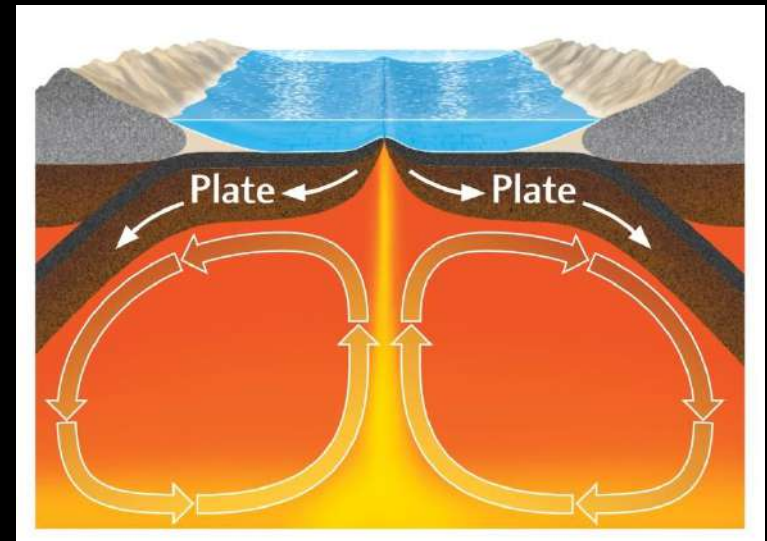
1.1- Définitions

Géodynamique (Geodynamics): Discipline des Sciences de la Terre qui met l'accent sur les forces mises en jeu dans les phénomènes géologiques:

La géodynamique externe: ce sont les manifestations physiques d'ordre météorologiques, ou qui y sont liées



http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1c.html



<http://hays.outcrop.org/GSCI340/lecture4.html>

La géodynamique interne: ce sont les forces tectoniques induites par les mouvements convectifs lents du manteau, et les déplacements consécutifs de l'écorce terrestre

1- Généralités

1.1- Définitions

Sismologie (Seismology):

Etude des tremblements de terre naturels ou artificiels

Orogénèse (Orogenesis):

Tout processus conduisant à la formation de reliefs

Introduction à la tectonique

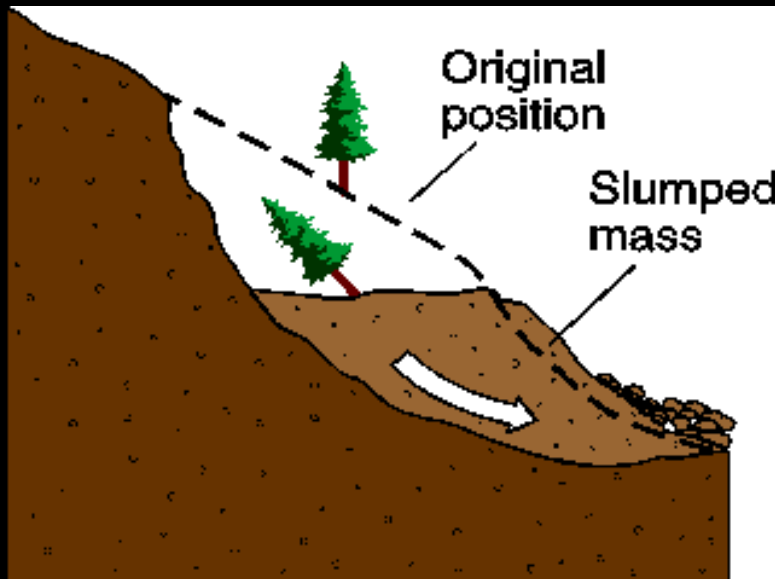
1- Généralités

1.2- Limites du domaine de la tectonique

i.e. ce qui est exclus mais souvent étudiés par les tectoniciens

Ex: Les slumps

Plis créés par gravité dans un sédiment non consolidé



<http://www.em.gov.bc.ca/MINING/GEOSCIENCE/SURFICIALGEOLOGYANDHAZARDS/LANDSLIDES>



<http://eas.unl.edu/~dloope/NavajoSlumpsWeb/NavajoSlumps.html>

Introduction à la tectonique

2- Outils

2.1- Les classiques et indispensables



Marteau



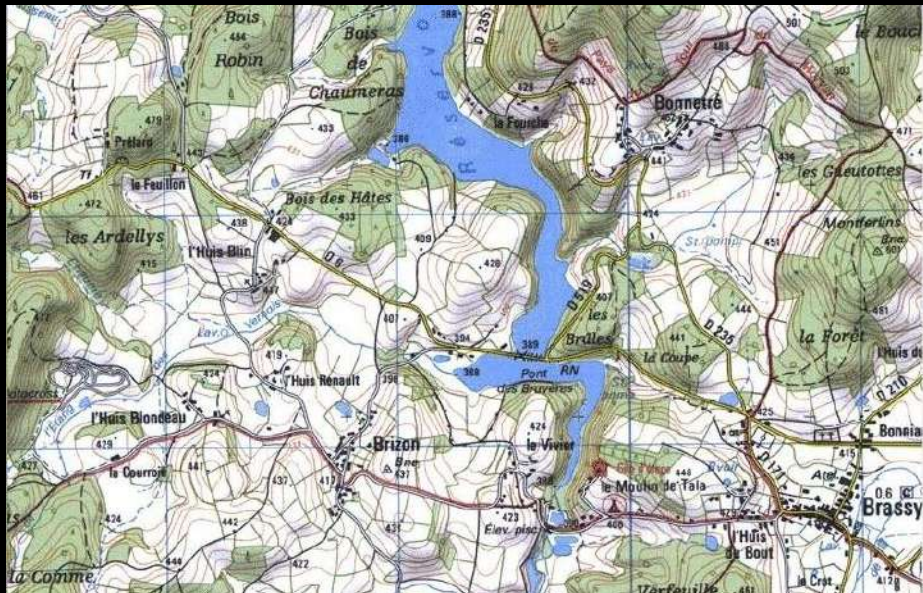
Loupe



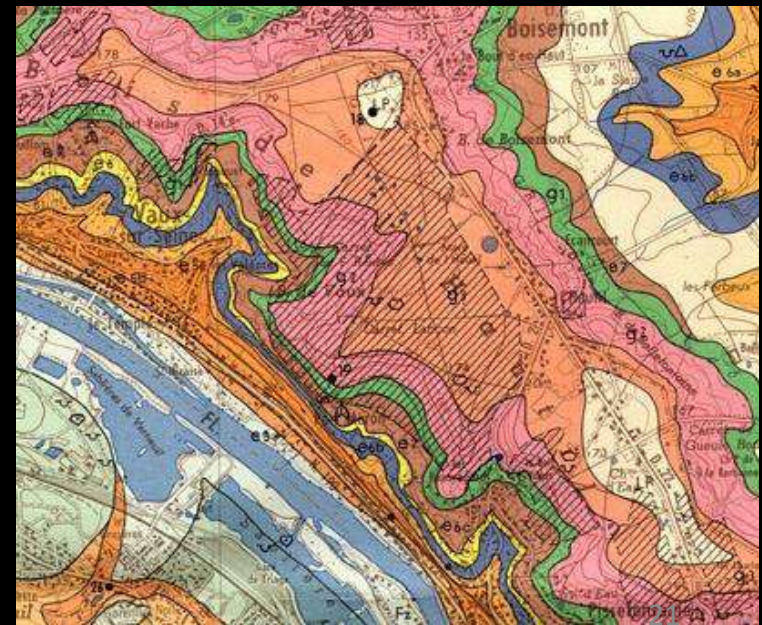
Boussole
Clinomètre



Carnet de terrain



Carte topographique



Carte géologique

Le terrain



2- Outils

2.2- Autres méthodes

Méthodes directes

Photos aériennes et satellites



<http://www.trekearth.com/gallery>

Sud Iran - Zone sismique très active - avancée de la plaque arabique vers la plaque eurasienne - plusieurs failles km

2.2- Autres méthodes

Méthodes directes

Photos aériennes et satellites



<http://p.o.lagrange.pagesperso-orange.fr/images4/failles.html>

Faille de San Andreas (vue satellite et aérienne)

Introduction à la tectonique

2- Outils

2.2- Autres méthodes

Méthodes directes



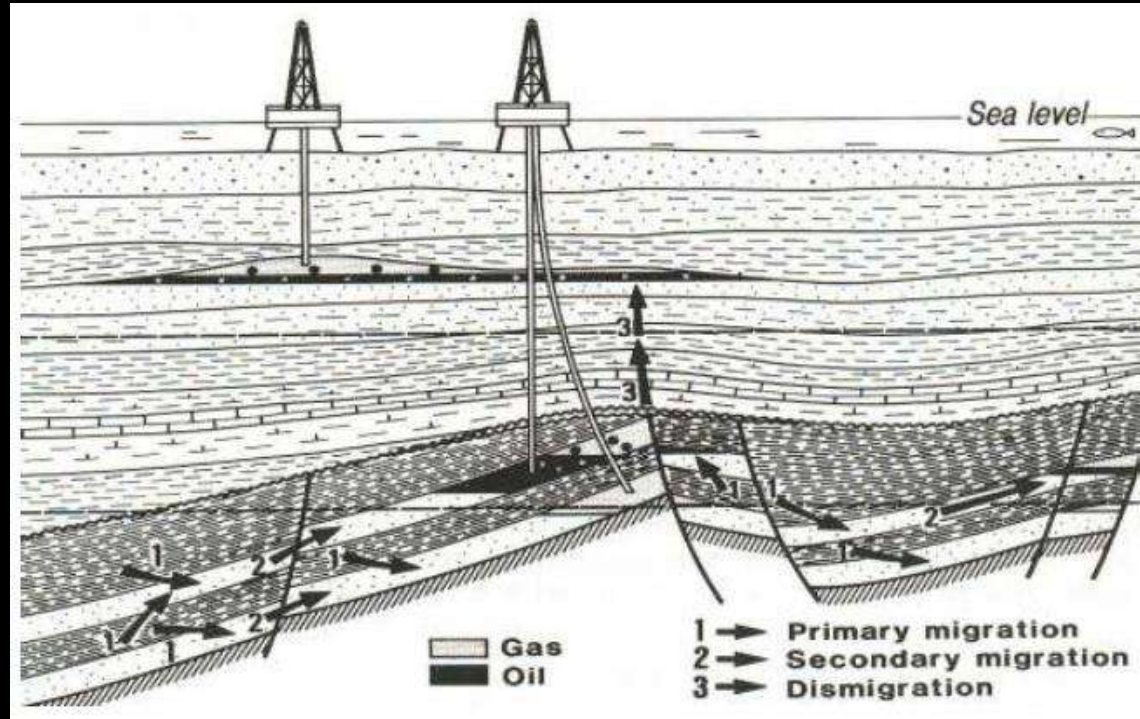
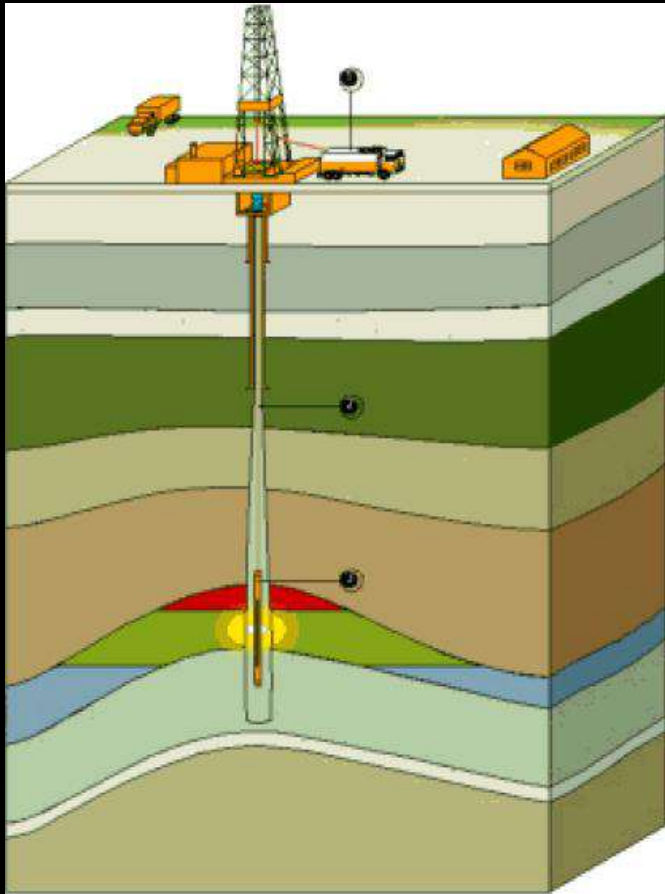
Faïlle transformante de Piqiang (vue satellite et aérienne)

2- Outils

2.2- Autres méthodes

Méthodes indirectes sous la surface du sol

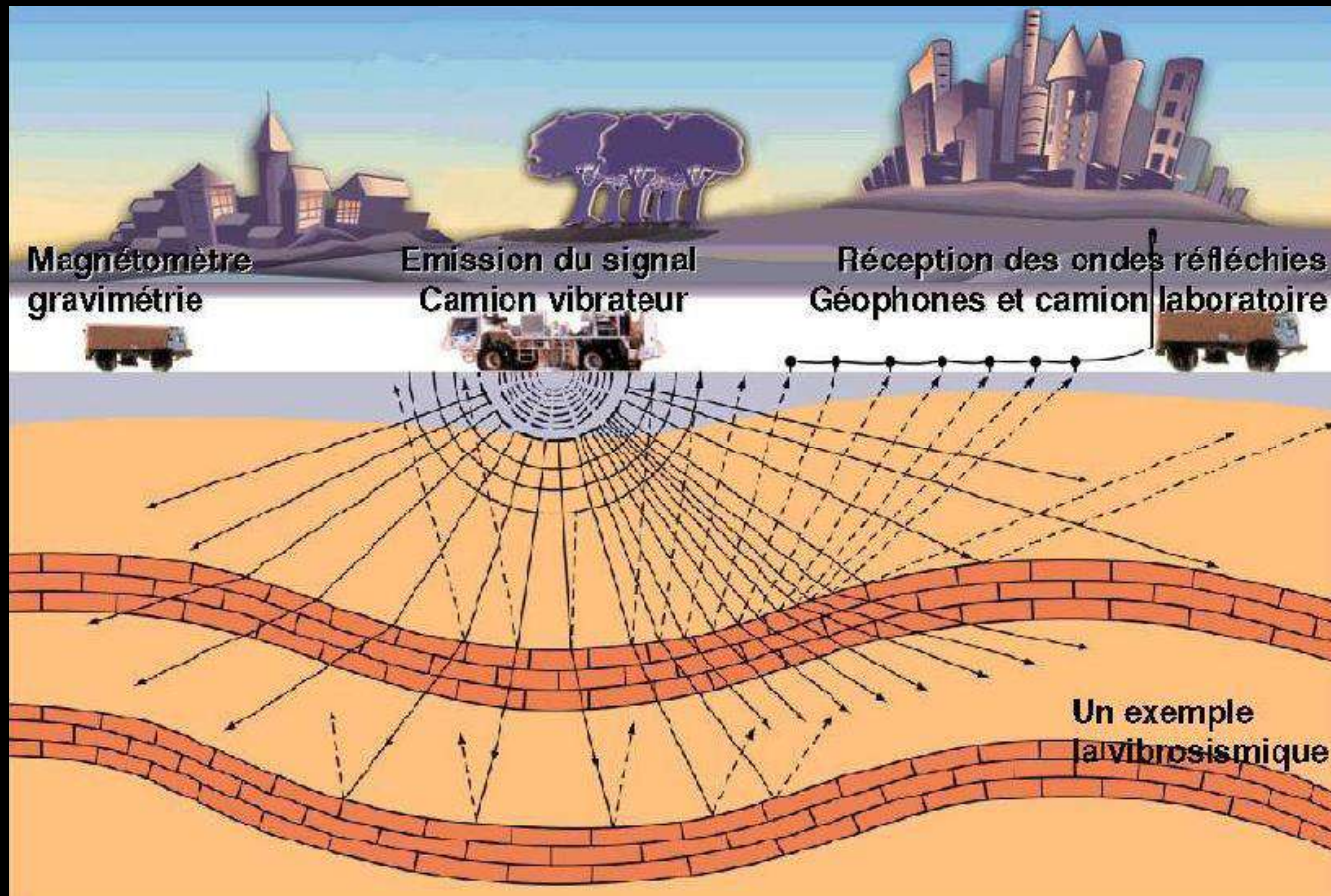
Forages – ex: Exploitations pétrolières



2.2- Autres méthodes

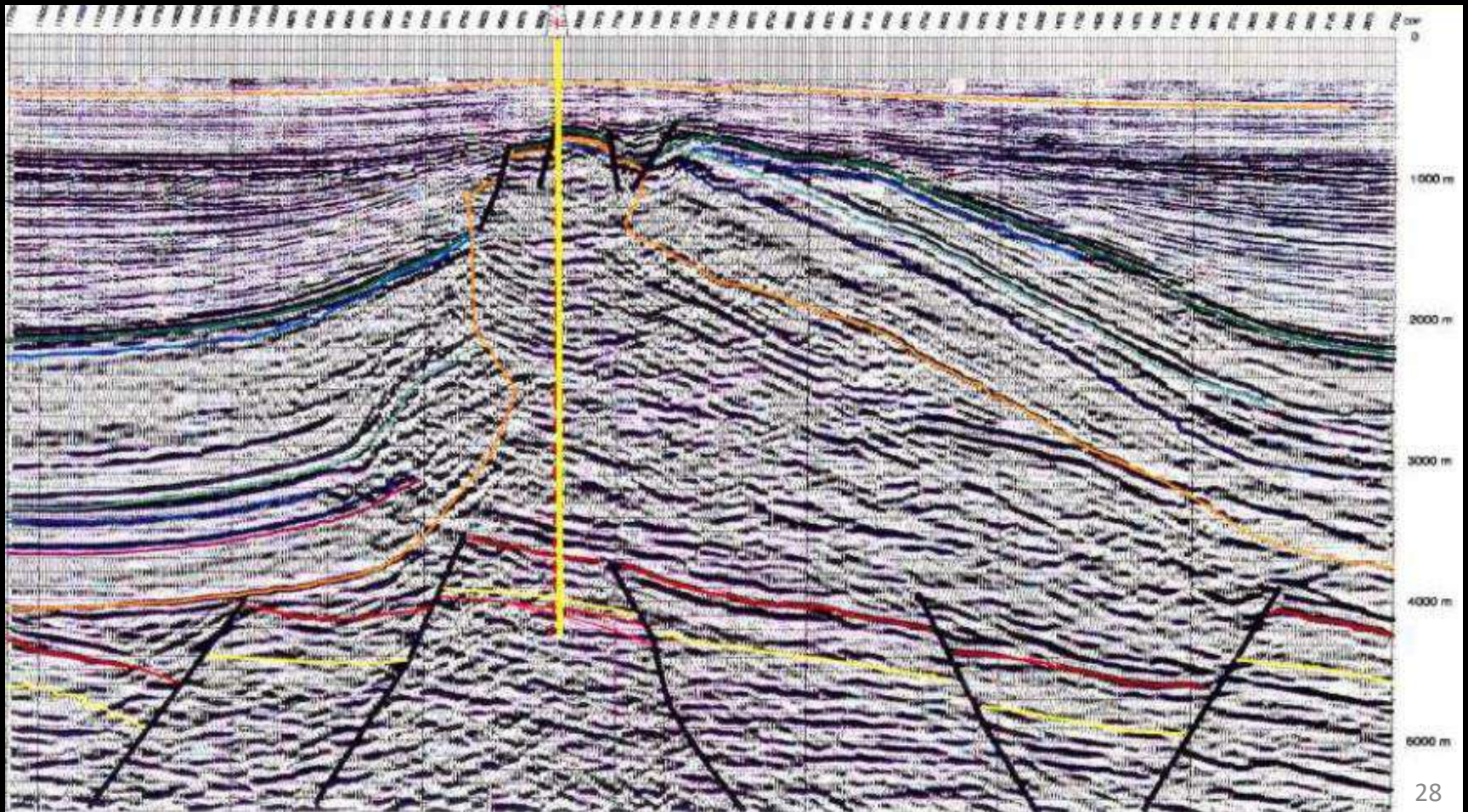
Méthodes indirectes sous la surface du sol

La sismique



2.2- Autres méthodes

Echographie sismique



Introduction à la tectonique

3- Objectifs

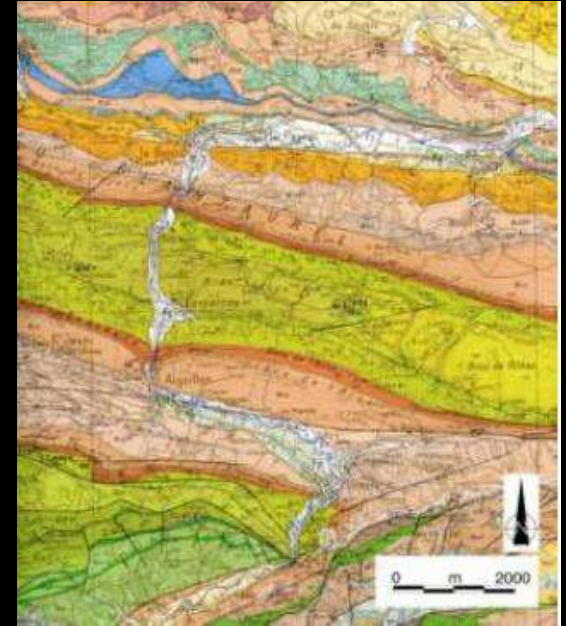
3.1- Implications de la tectonique (court terme)



Géologie académique



Stages de terrain



Cartographie géologique

3- Objectifs

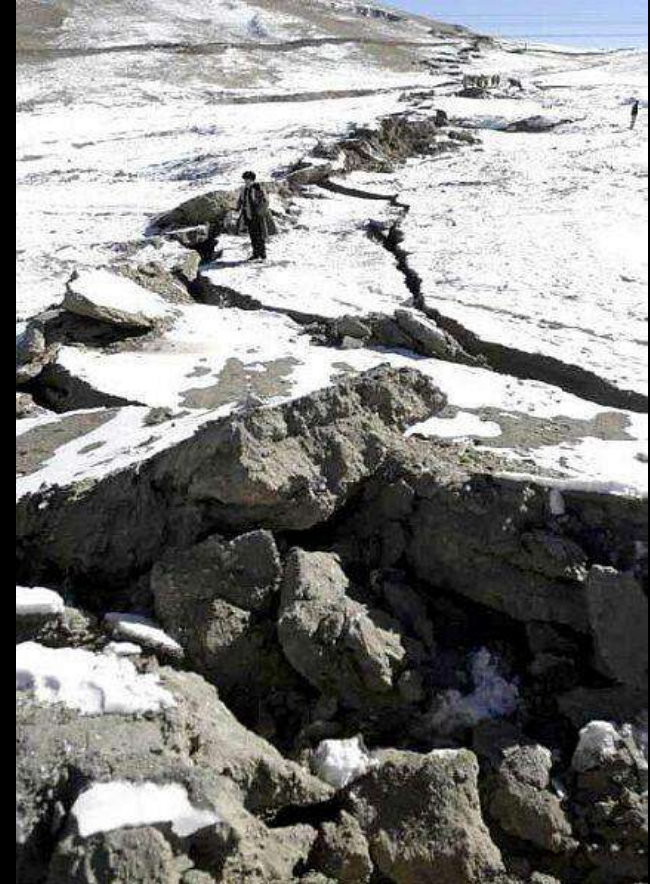
3.2- Implications de la tectonique (long terme)

Compréhension et maîtrise de
l'environnement : risques naturels



<http://limitesdelinterventionhumaine.e-monsite.com/rubrique,iii,1048248.html>

Glissement de terrain



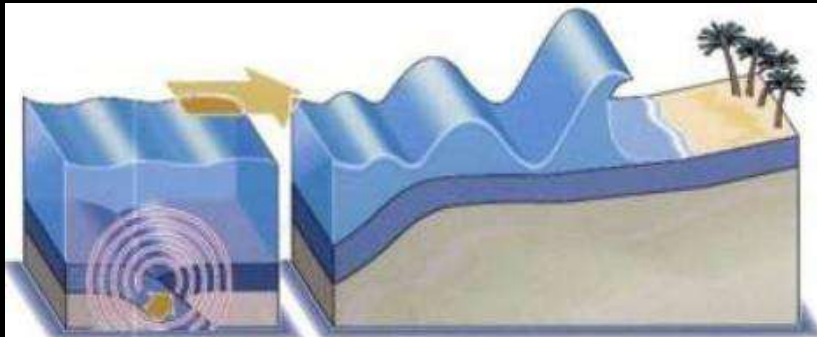
<http://www.tunisie-actu.com/news/seisme-de-7,1-dans-le-centre-du-chili,-pas-de-victimes-177>

Séisme (Chili)

3- Objectifs

3.2- Implications de la tectonique (long terme)

Compréhension et maîtrise de
l'environnement : risques naturels



<http://senorolala.blogspot.com>

Tsunami



<http://notrenature.cowblog.fr/58-les-tsunamis-2909434.html>

3- Objectifs

3.2- Implications de la tectonique (long terme)

Compréhension et maîtrise de
l'environnement : risques naturels

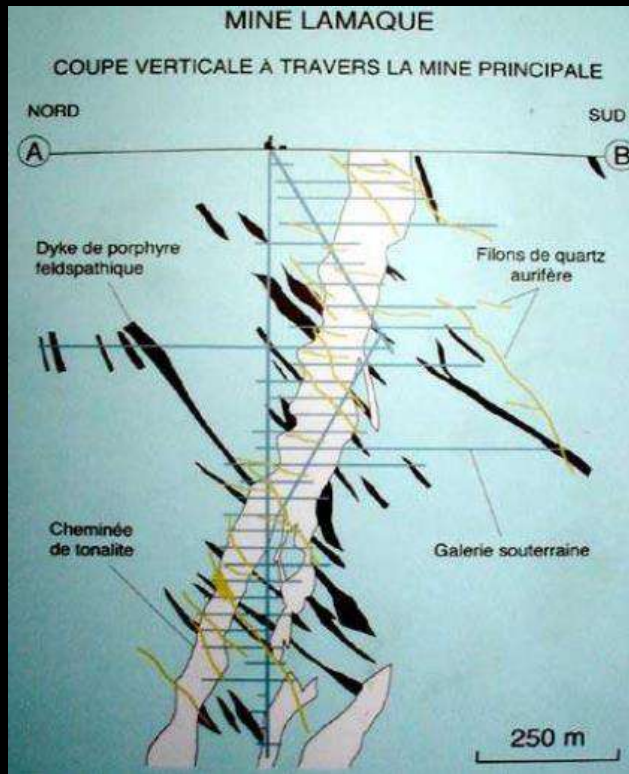
Eruption volcanique



3- Objectifs

3.2- Implications de la tectonique (long terme)

Ressources énergétiques et minérales



Carrières: Production et calculs de réserves



Mines: Calcul de volume
et de production

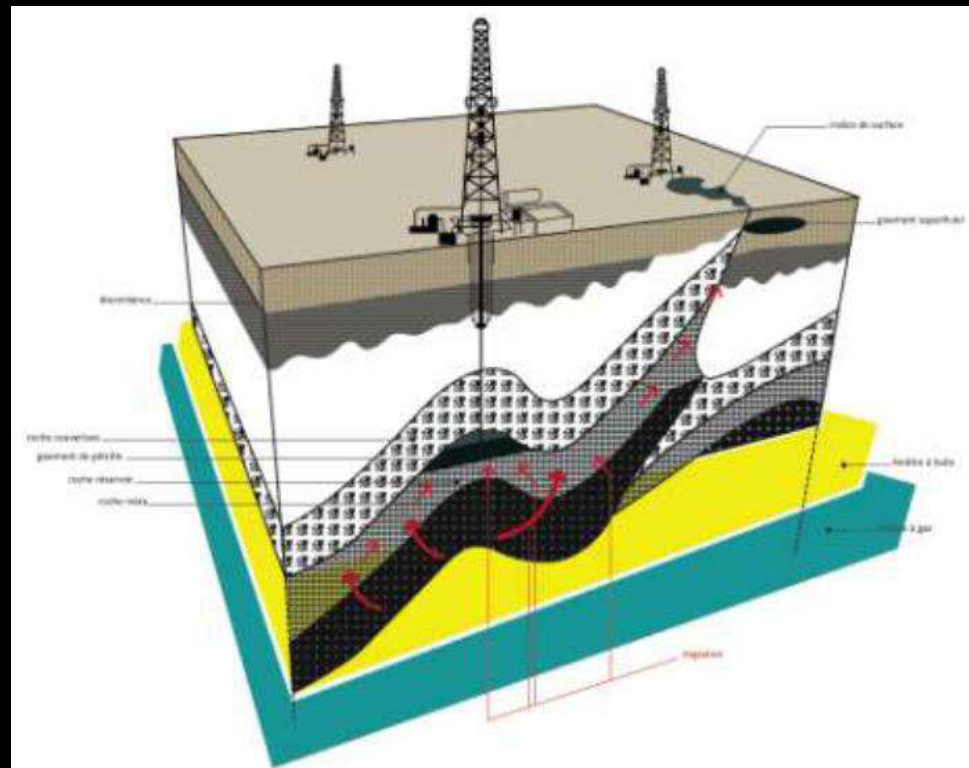
3- Objectifs

3.2- Implications de la tectonique (long terme)

Ressources énergétiques et minérales



<http://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels>



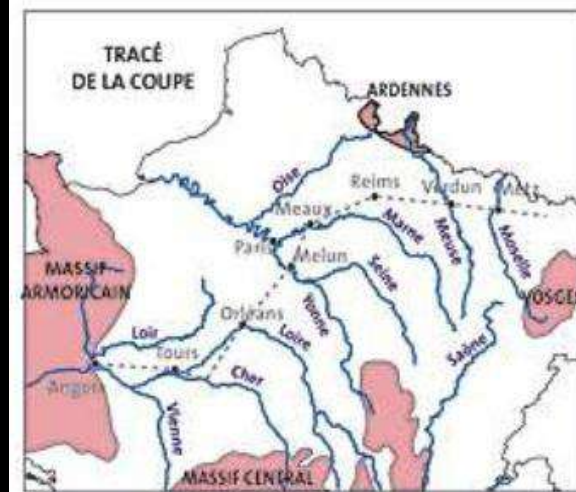
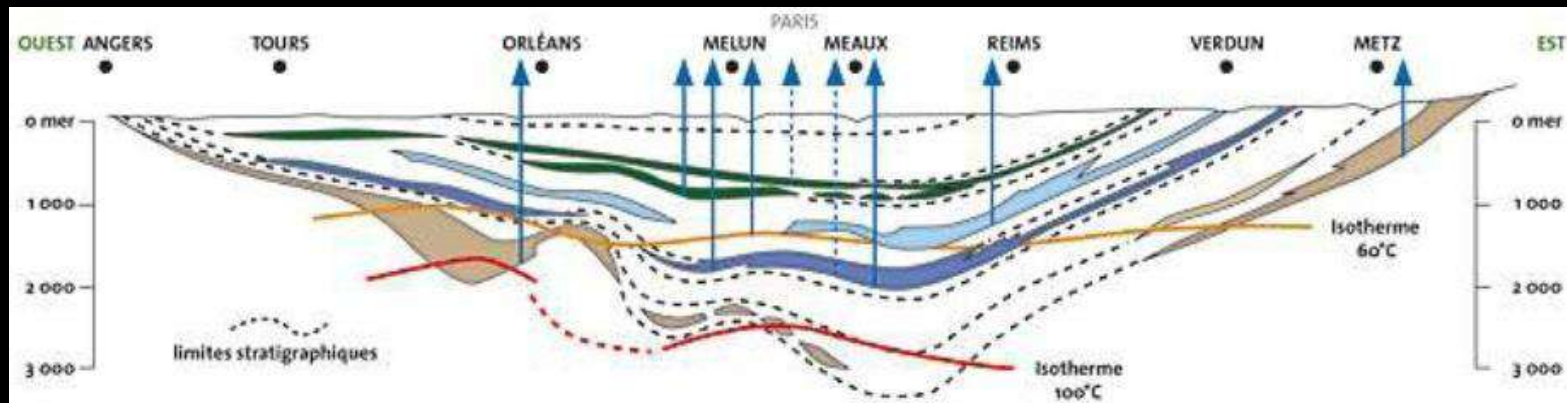
Pétrole: géométrie des réservoirs, calcul de volume et production

3- Objectifs

3.2- Implications de la tectonique (long terme)

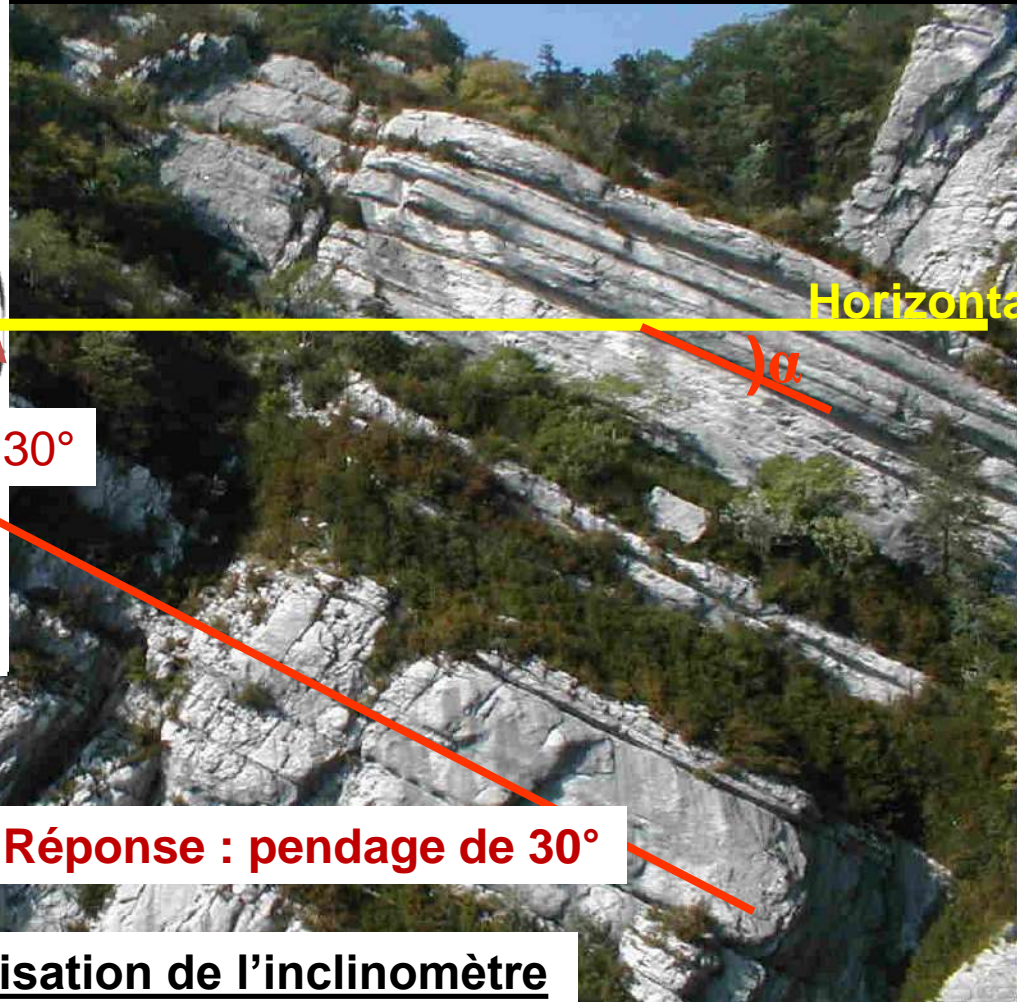
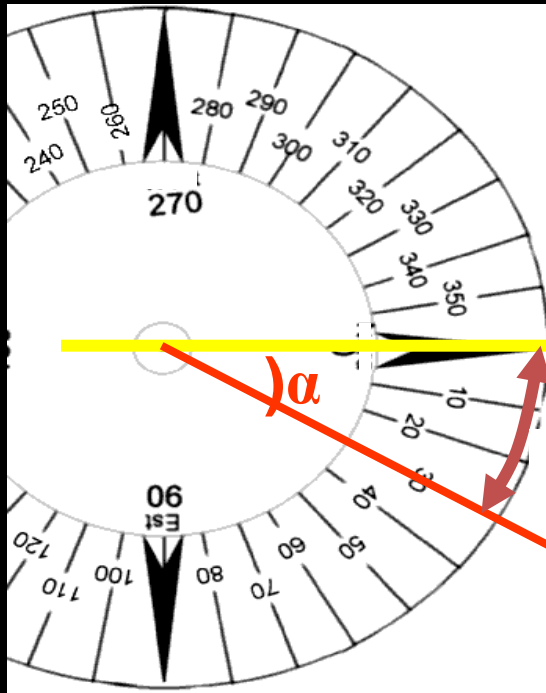
Ressources en eau et géothermie

Aquifère et ressources en eau: géométrie des réservoirs, calcul de volume et production + géothermie



PÉRIODES		AQUIFÈRES
TERTIAIRE 65 millions d'années	NÉOCÈNE	
SECONDAIRE	CRÉTACÉ 140 millions d'années	Sables de l'Albien Sables du Néocène
	JURASSIQUE 195 millions d'années	Calcaires du Lusitanien Calcaires du Dogger
	TRIAS 245 millions d'années	Grès du Retien Grès de Lorraine à l'est Grès fluviaux à l'ouest
	PRIMAIRE	

4.1- Pendage

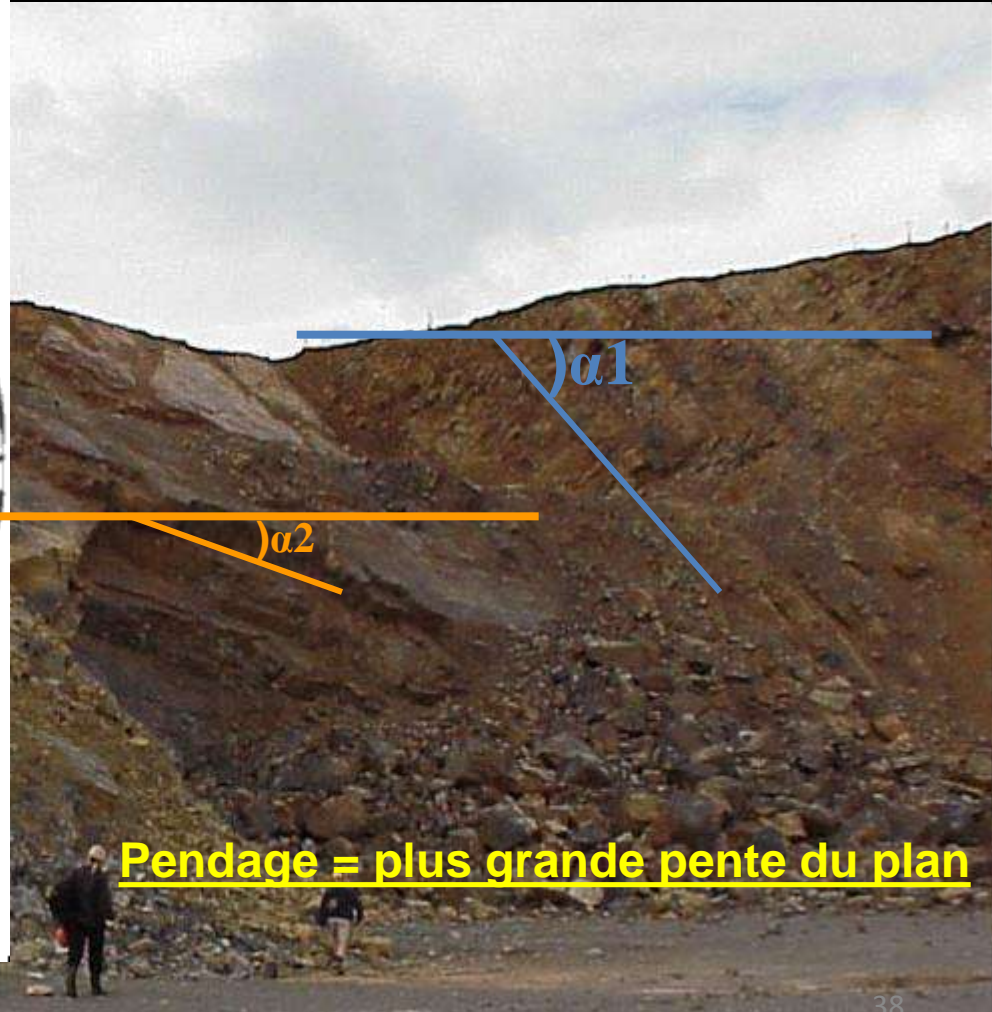
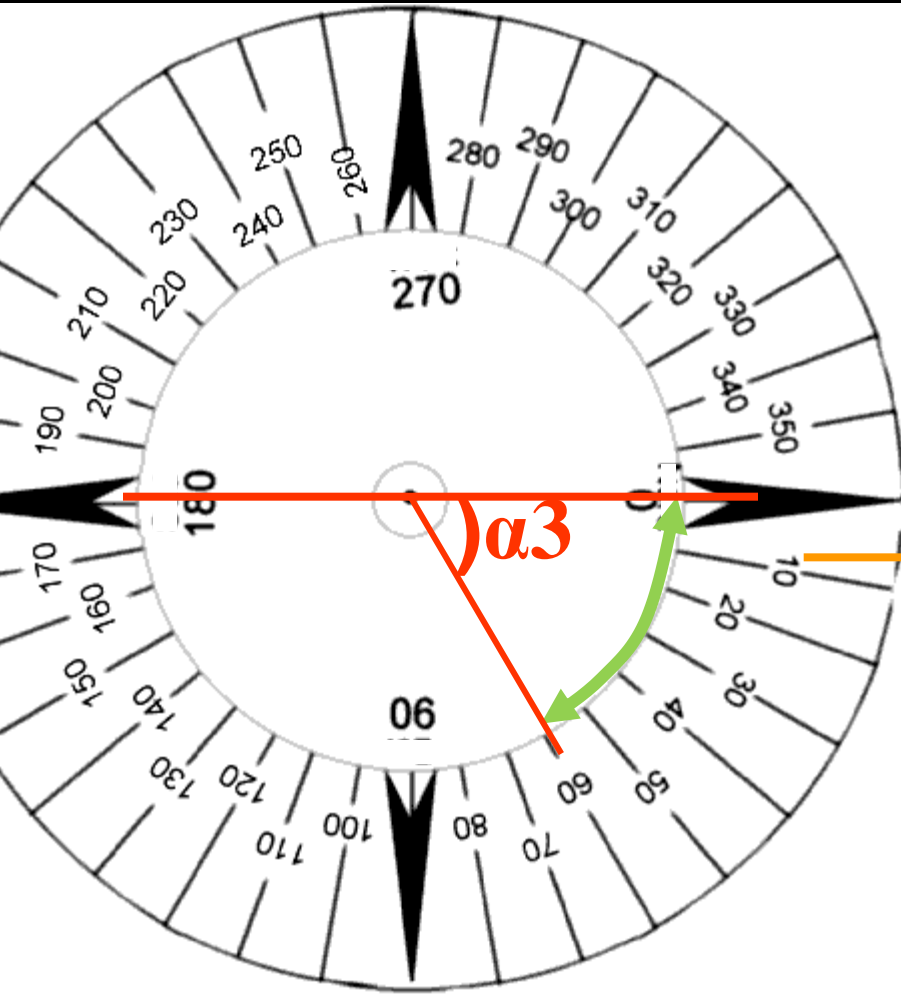


Angle de pendage ?? Utilisation de l'inclinomètre

Introduction à la tectonique

4- Aspects géométriques

4.1- Pendage



Lequel est le pendage réel?

Réponse : le + grand, soit 60°

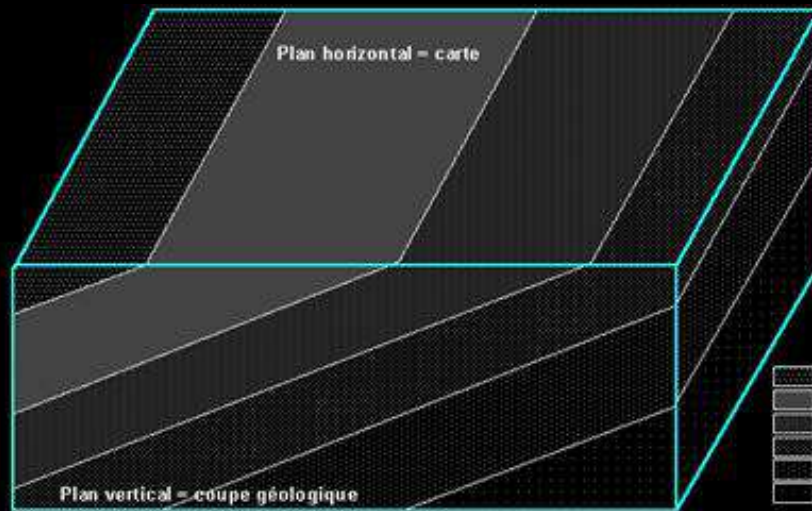
4- Aspects géométriques

4.2- Sens du pendage = Sens du plongement = Inclinaison

Pendage vers le Nord

Nord

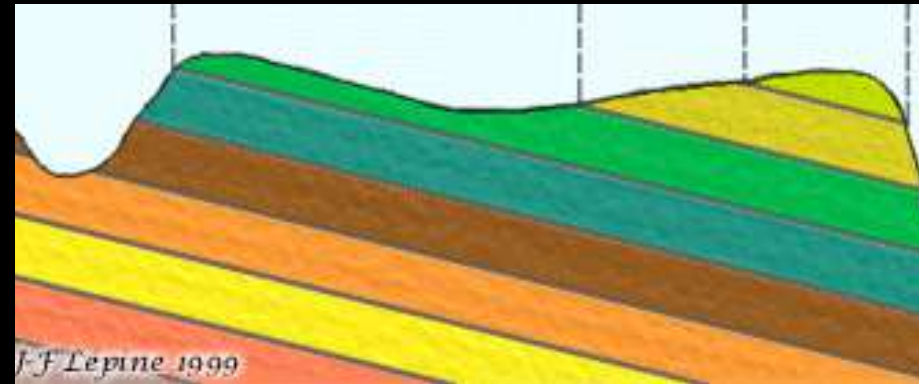
Sud



Pendage vers le Sud

Nord

Sud



4- Aspects géométriques

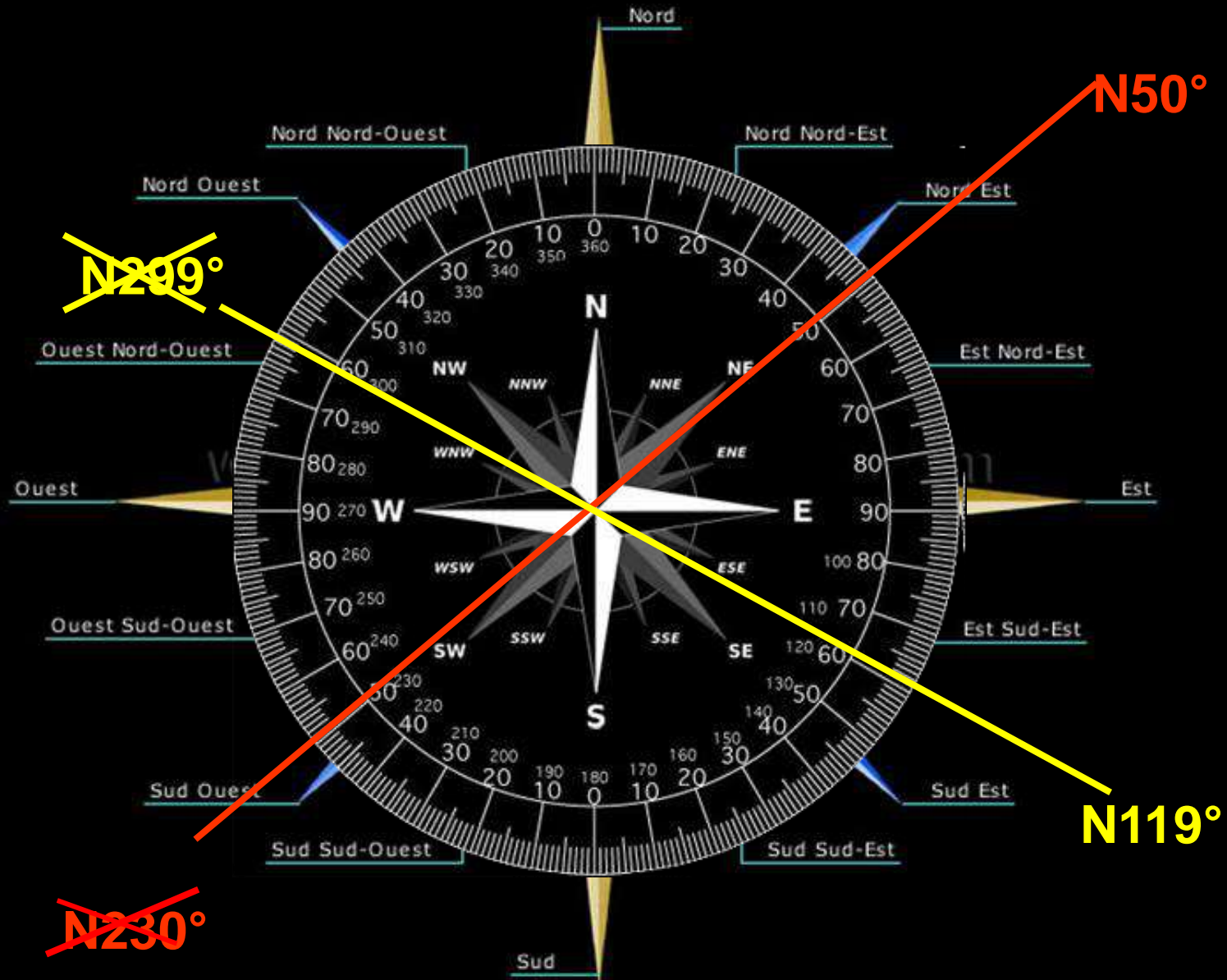
4.3- Direction de couche = Azimut de couche = Direction de l'horizontale de couche

Pendage = plus grande pente du plan



Introduction à la tectonique

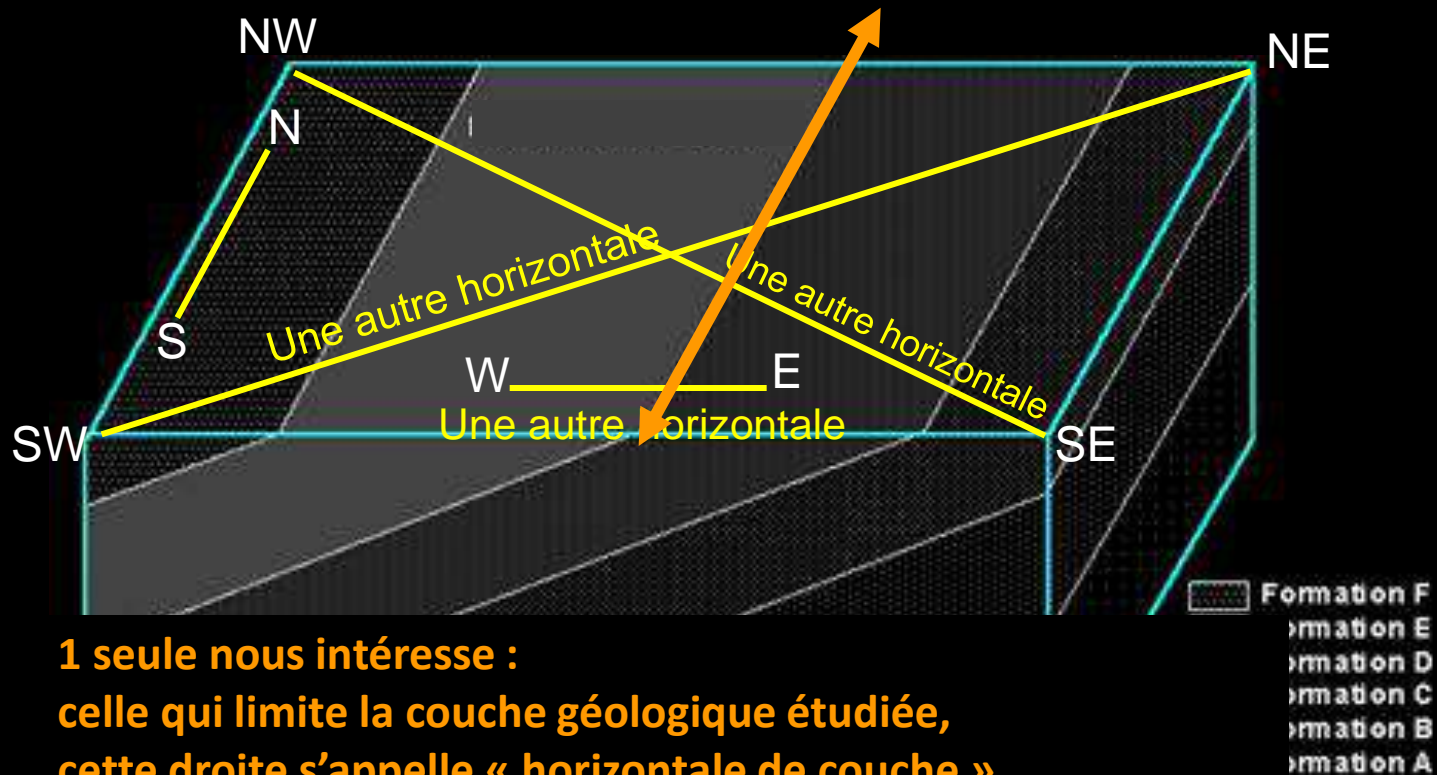
Direction de couche = Angle que forme l'horizontale de couche avec le nord géographique



4- Aspects géométriques

4.3- Direction de couche = Azimut de couche

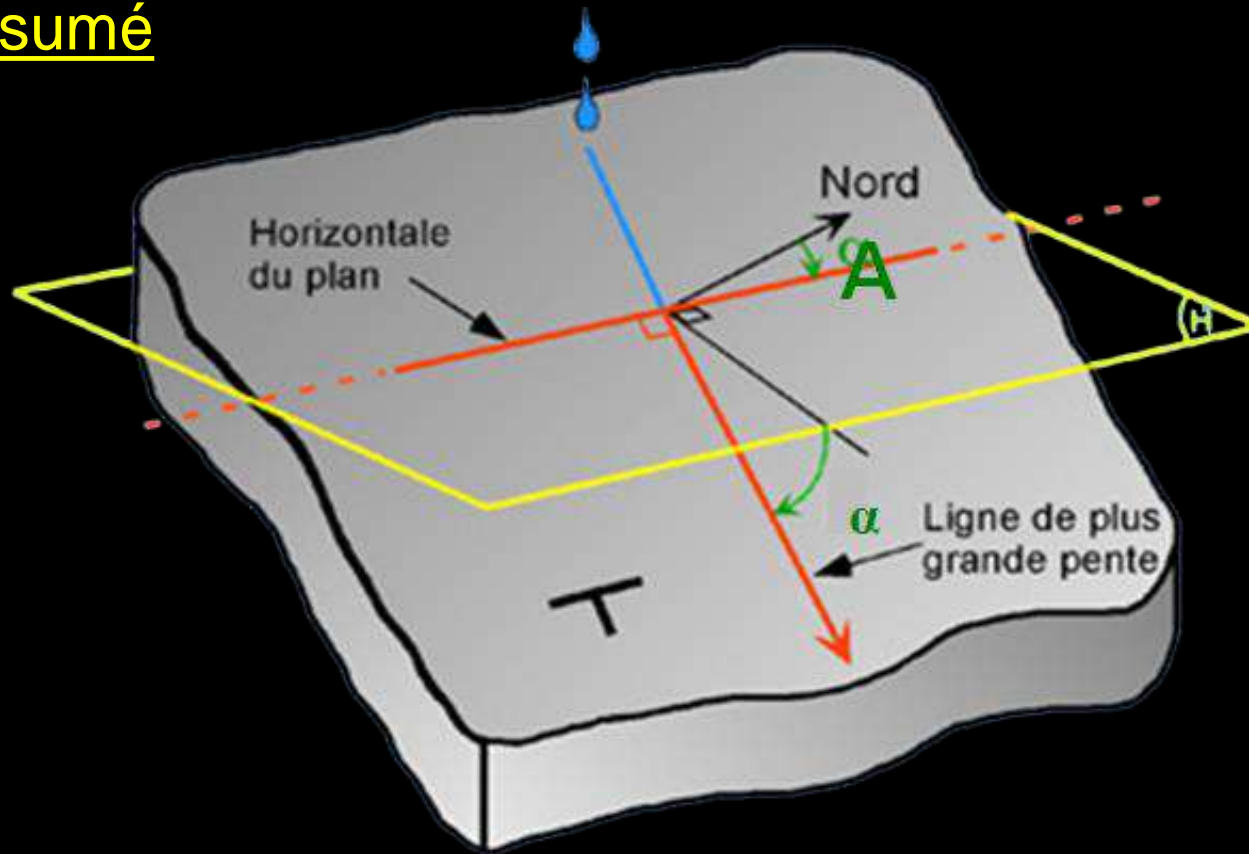
Il y a une multitude de droites horizontales dans un plan horizontal !!!



La direction du pendage est perpendiculaire à la direction de la couche

4- Aspects géométriques

4.4- Résumé



On retrouve le T symbole sur les cartes

A= Azimut
 α = Pendage

Vidéo: [Comment utiliser une Boussole en géologie.mp4](#)



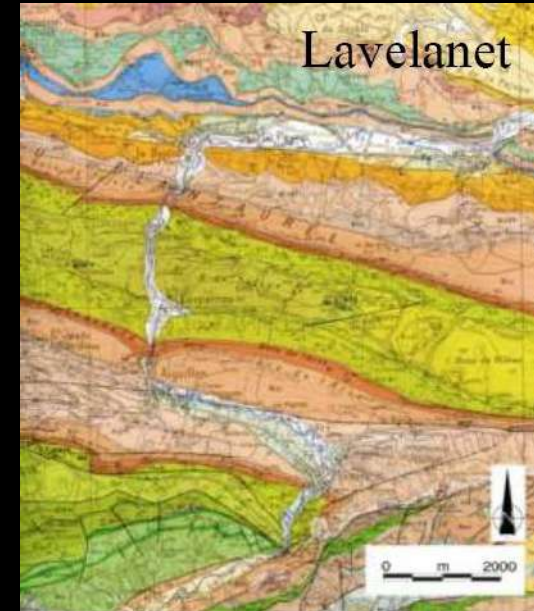


5- Une histoire d'échelle



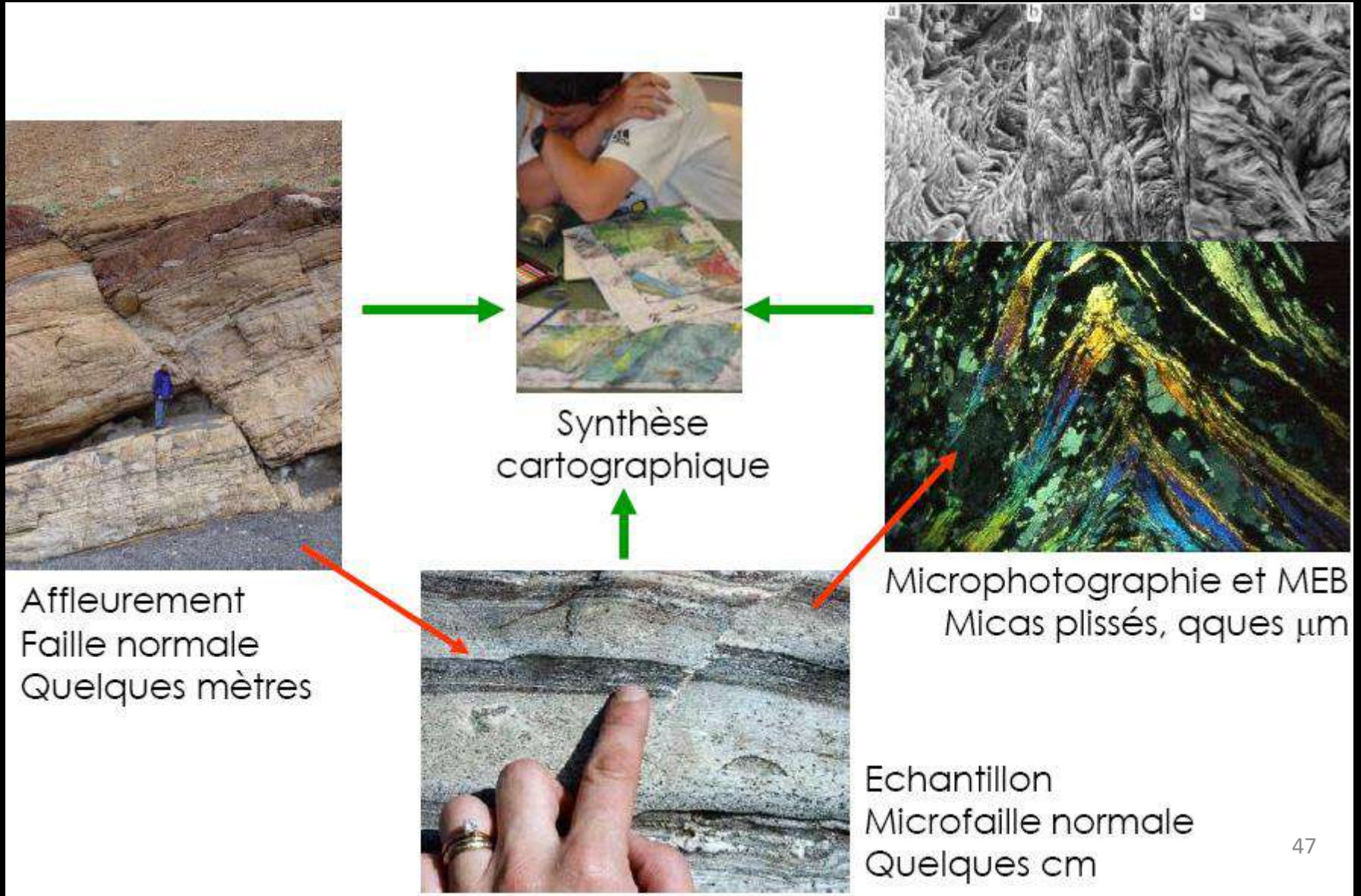
Photographie aérienne
Plusieurs centaines de
m...

Image satellite
Plusieurs dizaines de km...



Carte géologique
Toutes échelles

5- Une histoire d'échelle



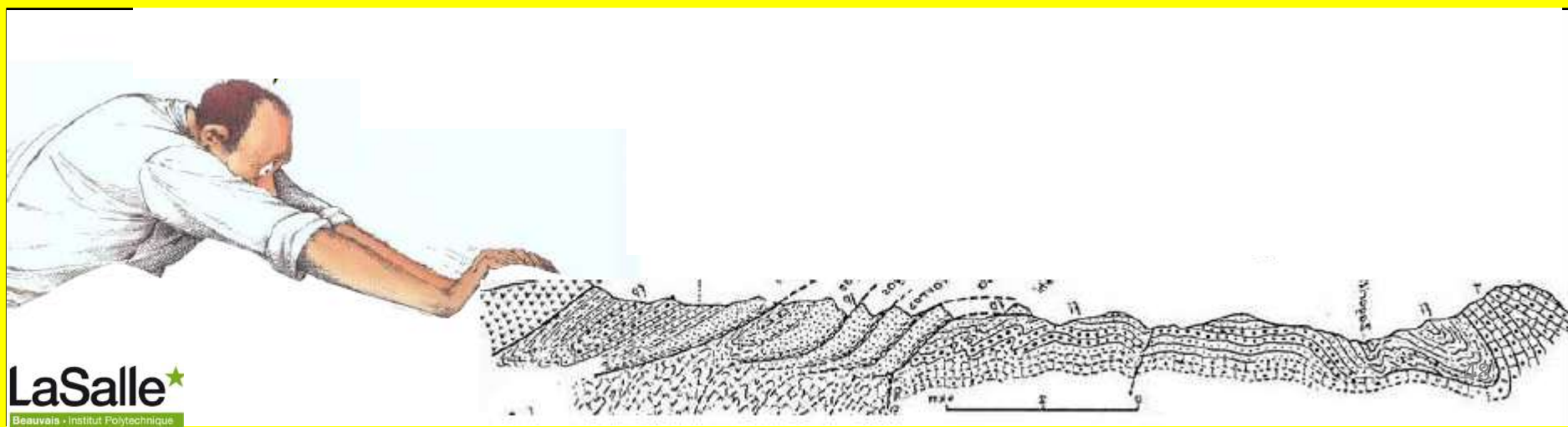
1- Introduction à la tectonique

2- Structures tectoniques: les plis

3- Structures tectoniques: les failles

4- Schistosité

5- Exemples des grandes structures géologiques



Structures tectoniques: Les plis

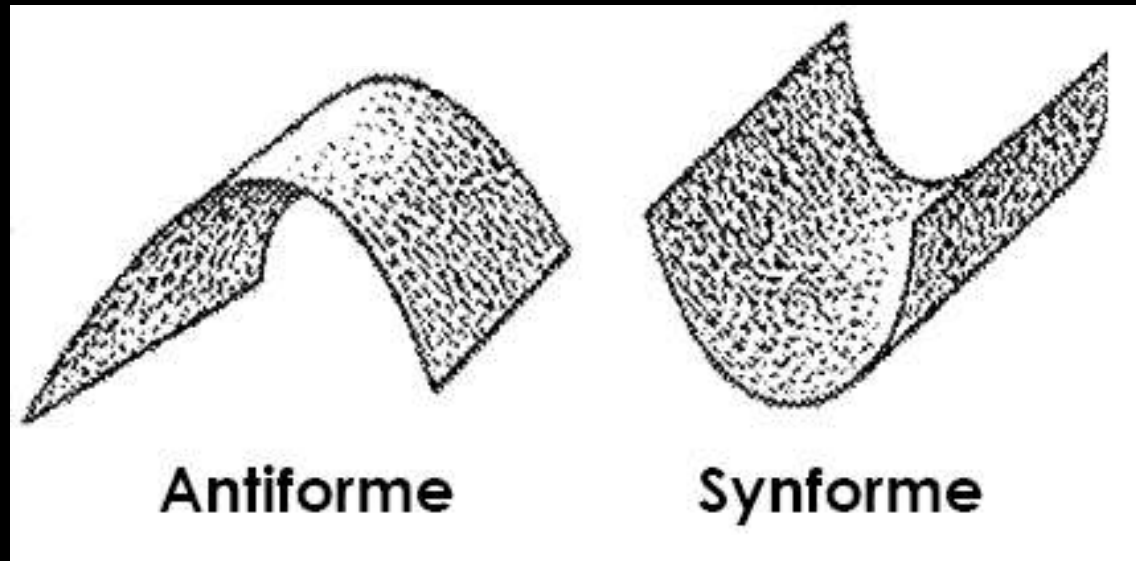
1- Caractères géométriques d'une surface plissée

Qu'est ce qu'un pli?

Définition: déformations continues et hétérogènes ne présentant généralement pas de rupture majeure des piles lithologiques.

Antiforme: surface dessinant une courbe convexe vers le haut.

Synforme: surface dessinant une courbe concave vers le haut.

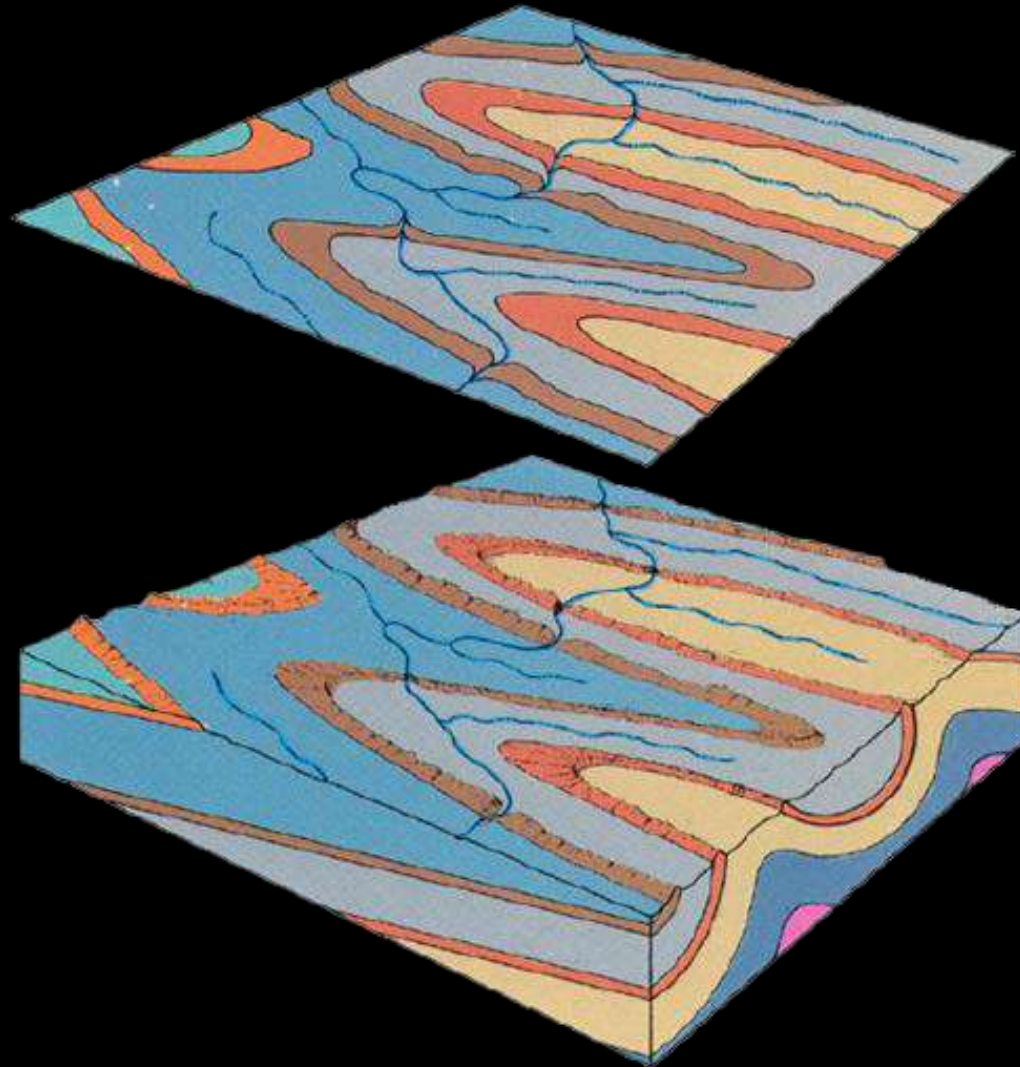


! Ces deux termes sont uniquement descriptifs et non qualitatifs !

Structures tectoniques: Les plis

1- Caractères géométriques d'une surface plissée

Les plis et la cartographie



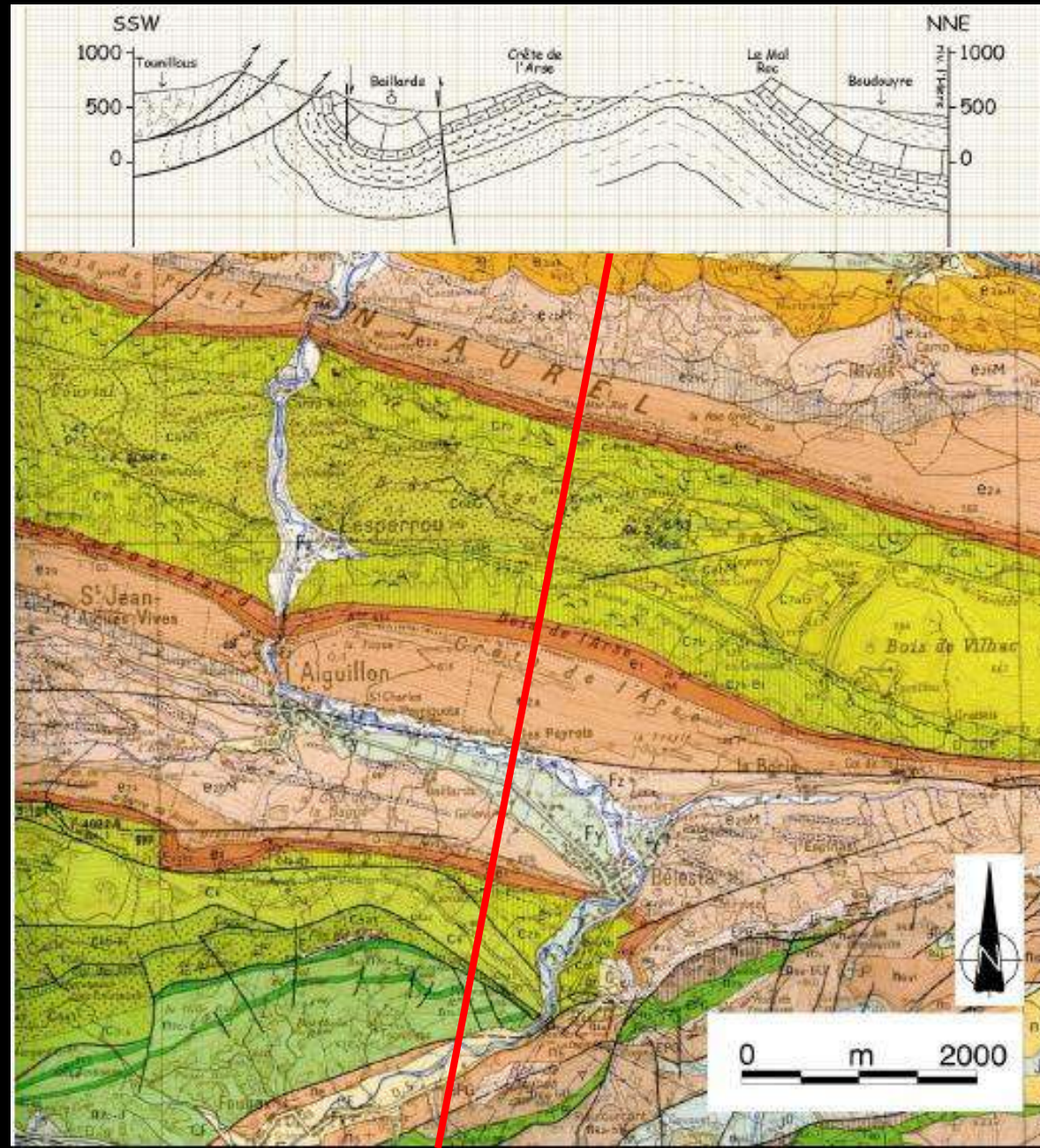
Structures tectoniques: Les plis

1- Caractères géométriques d'une surface plissée

Les plis et la cartographie

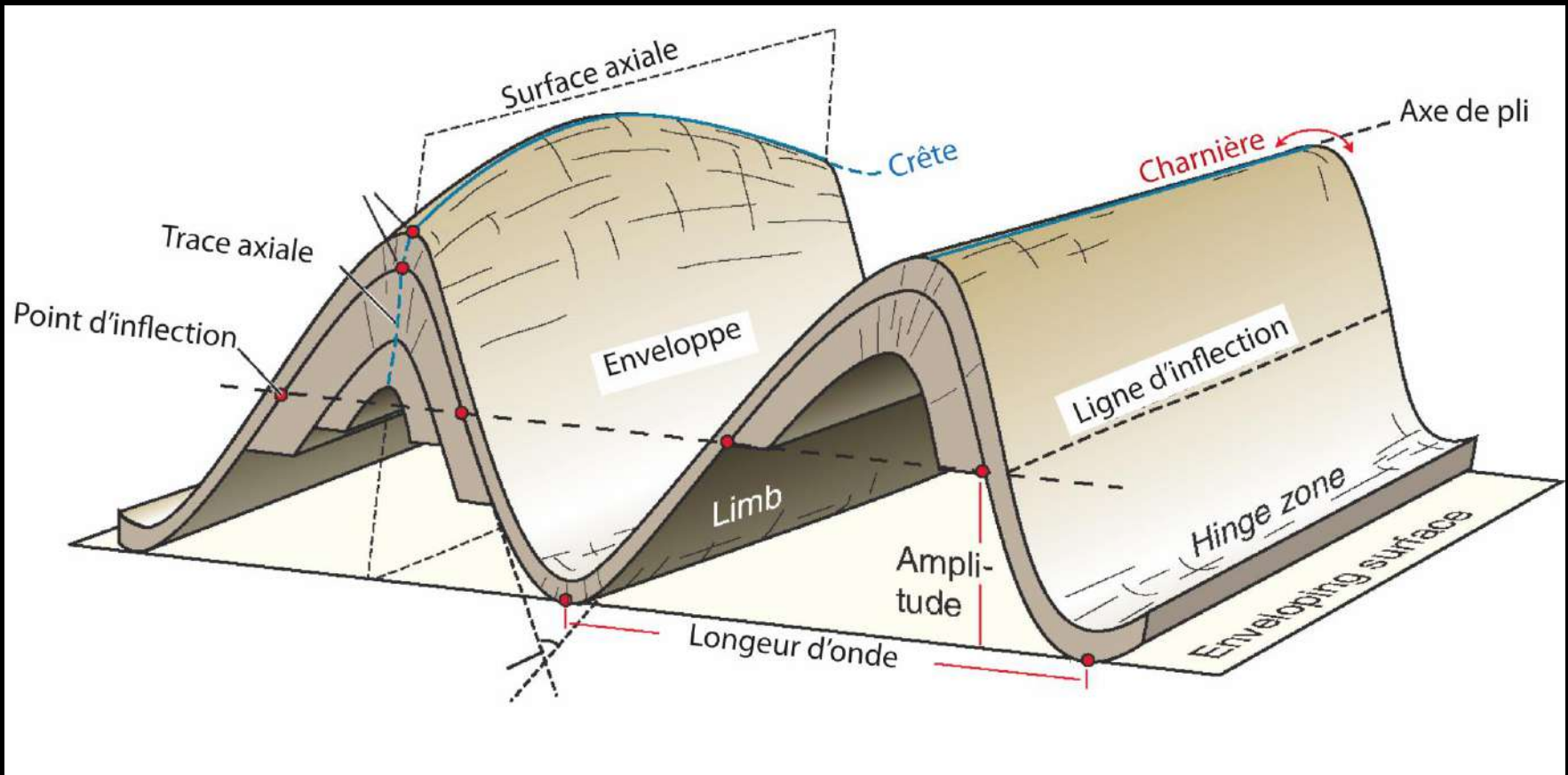


Structures tectoniques: Les plis



Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

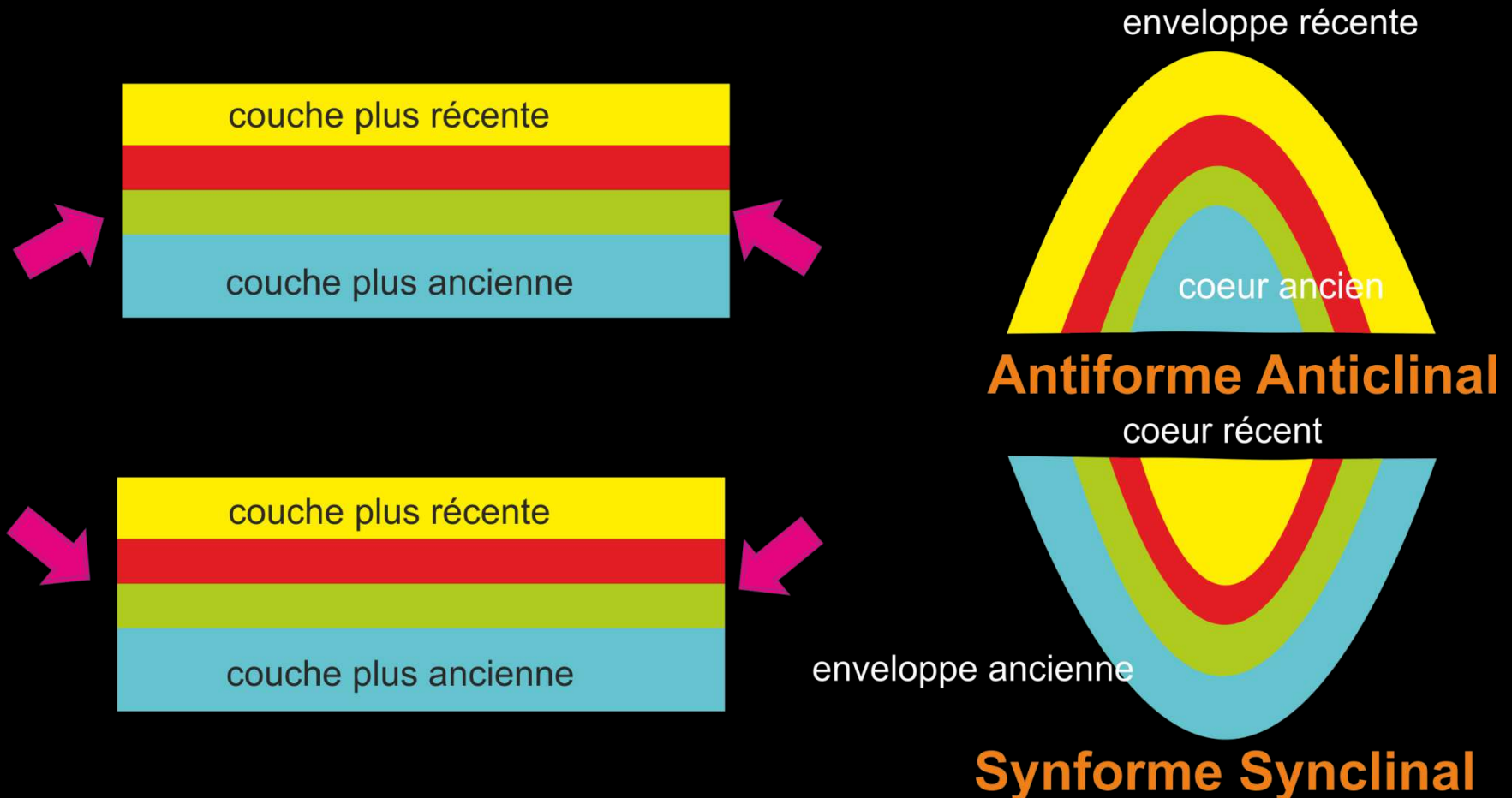


- La **charnière**: région de courbure maximale
- L'**axe du pli** est la ligne passant par le milieu de la charnière
- Le **surface axiale (plan axial)** relie tous les axes du pli

Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Si l'on connaît l'âge relatif des couches



Structures tectoniques: Les plis

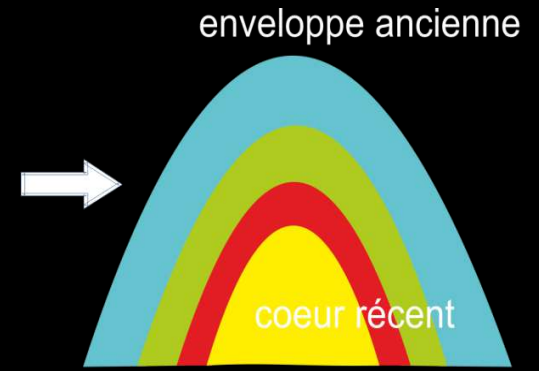
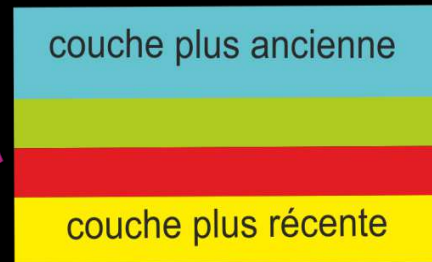
Éléments descriptifs d'une surface plissée

Dans le cas des séries renversées

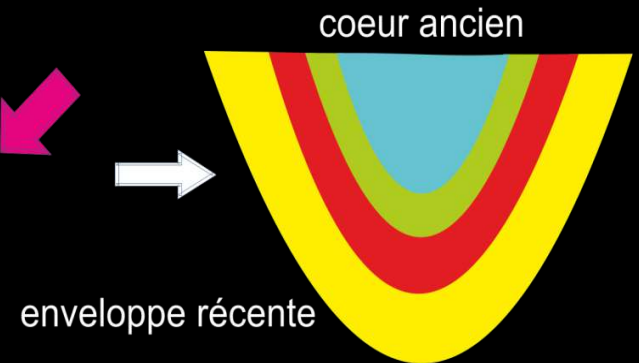
Cas rare



Basculement



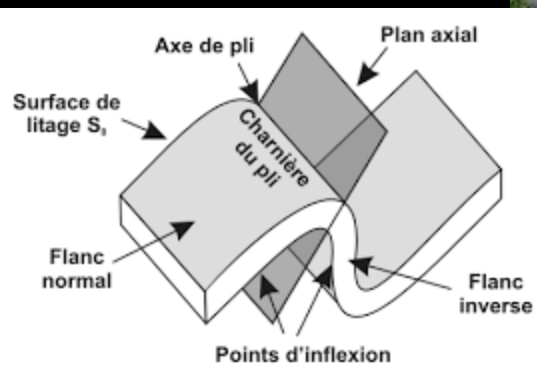
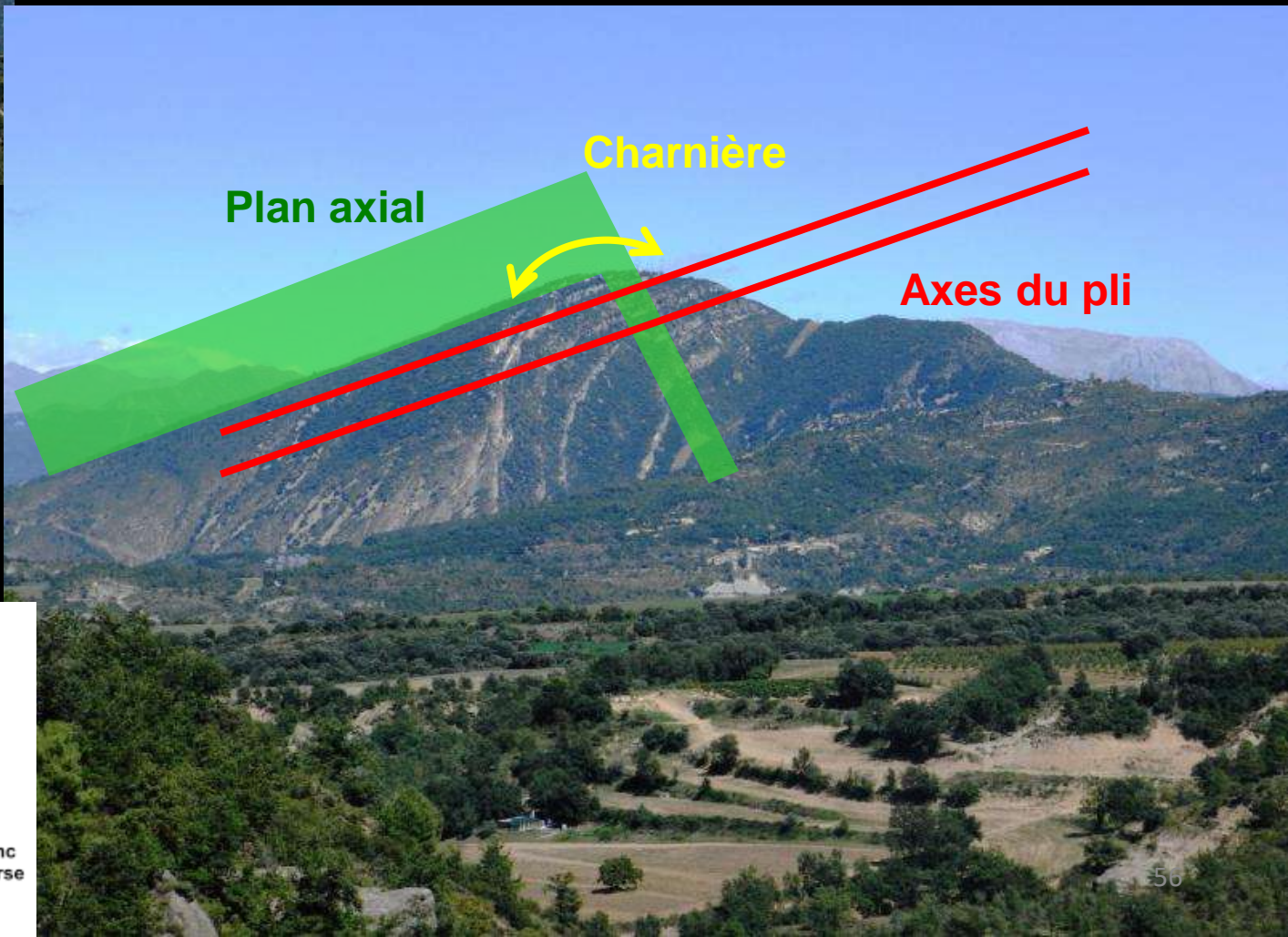
Antiforme synclinal



Synforme anticlinal

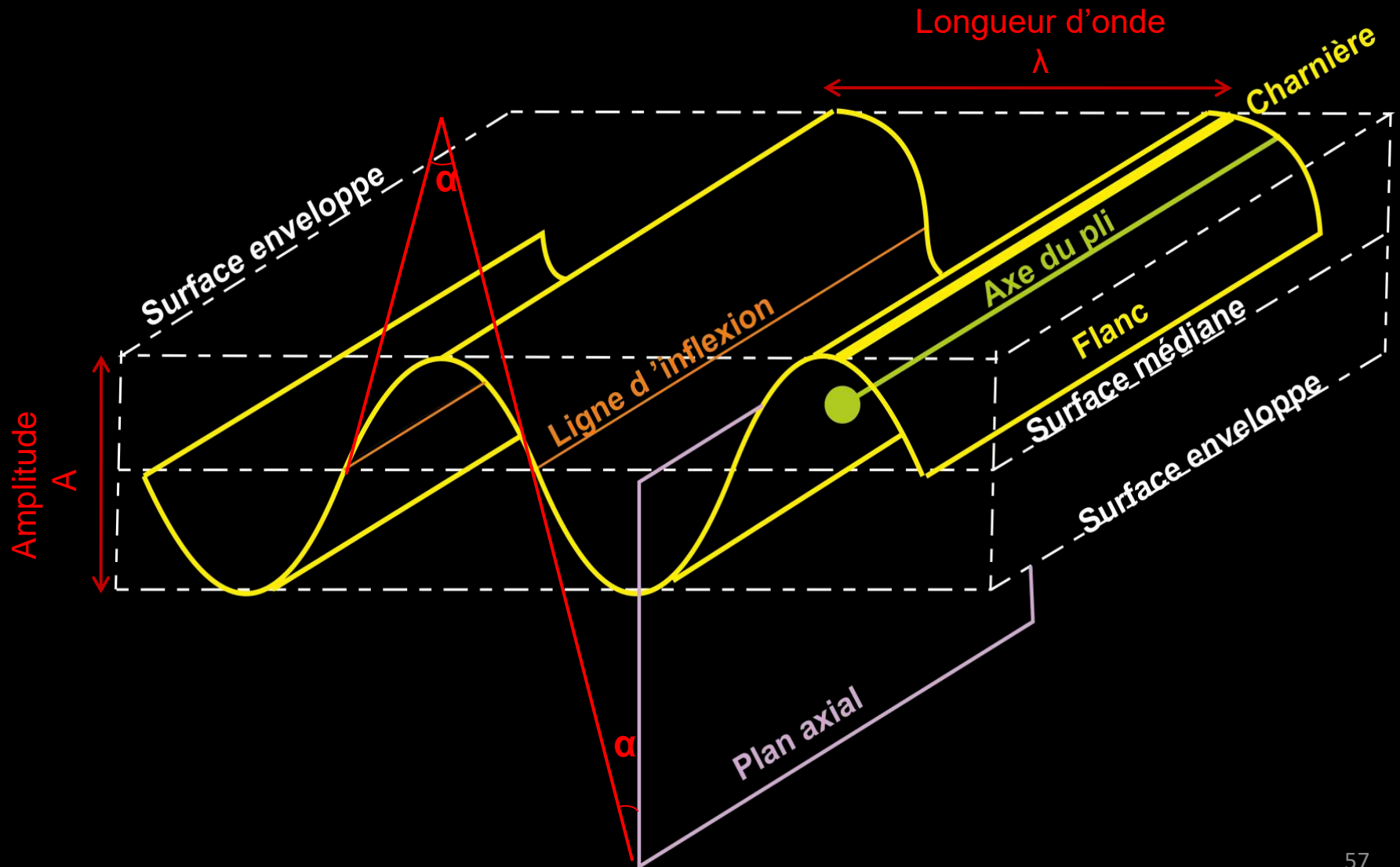
Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée



Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

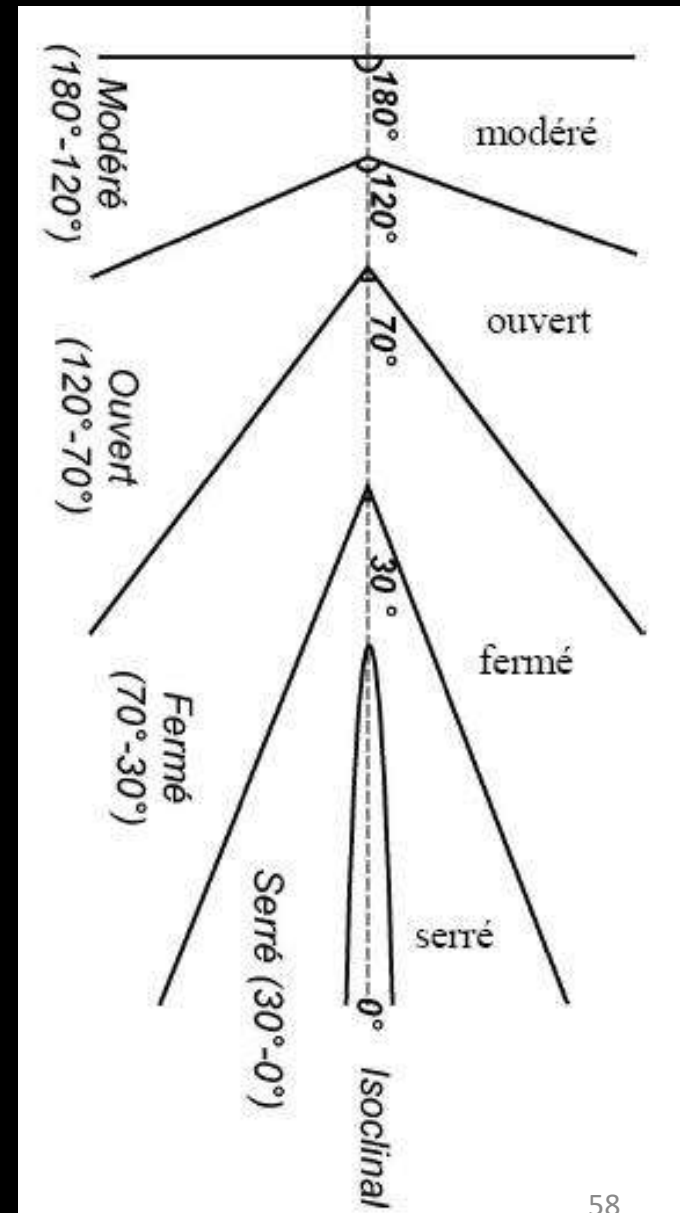


Structures tectoniques: Les plis

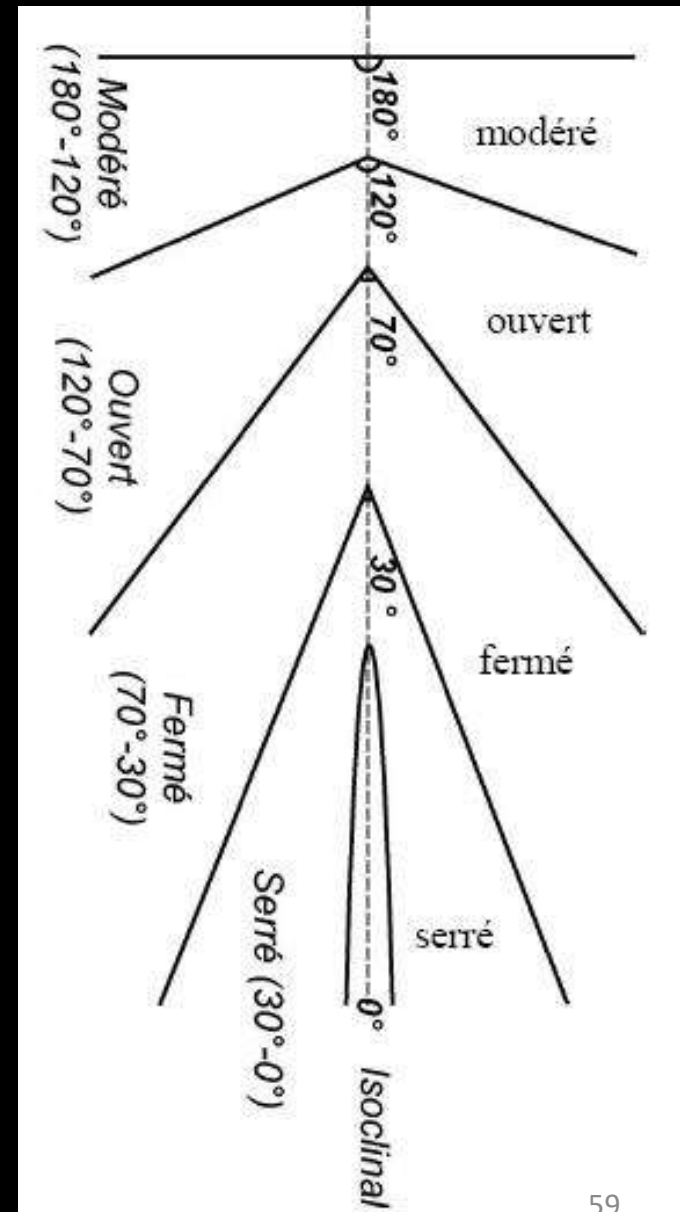
Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

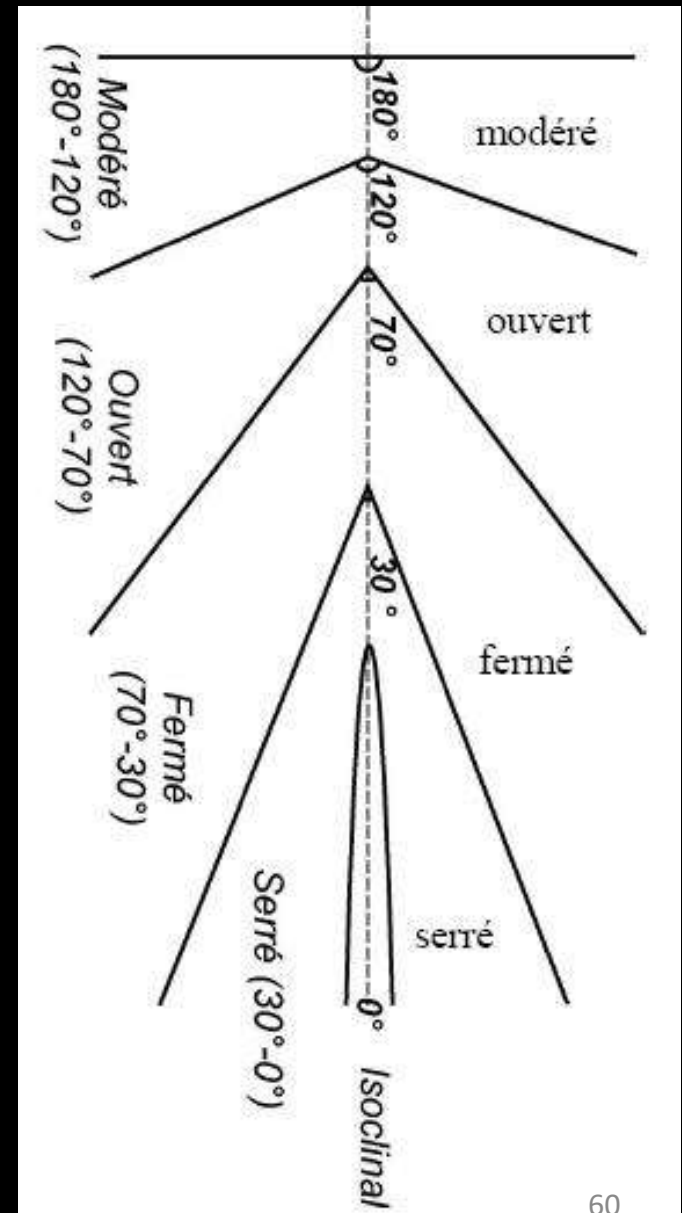
→ Angle d'ouverture d'un pli



Structures tectoniques: Les plis



Structures tectoniques: Les plis

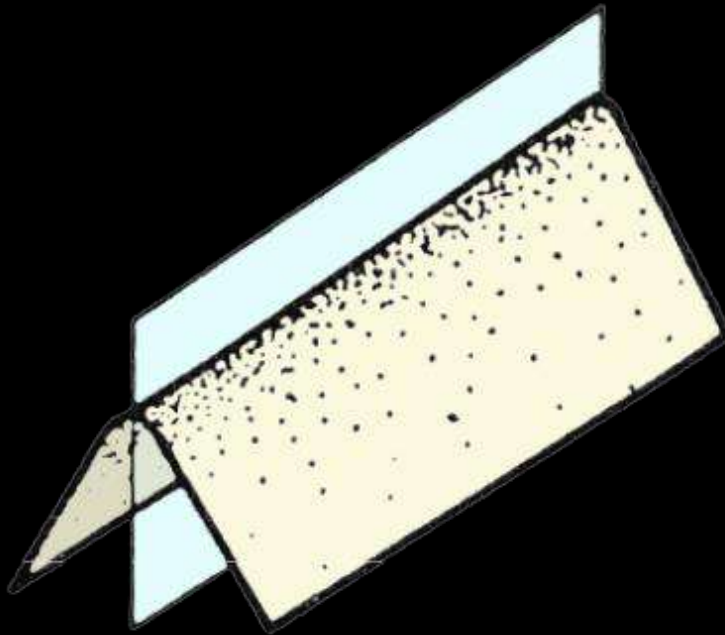


Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

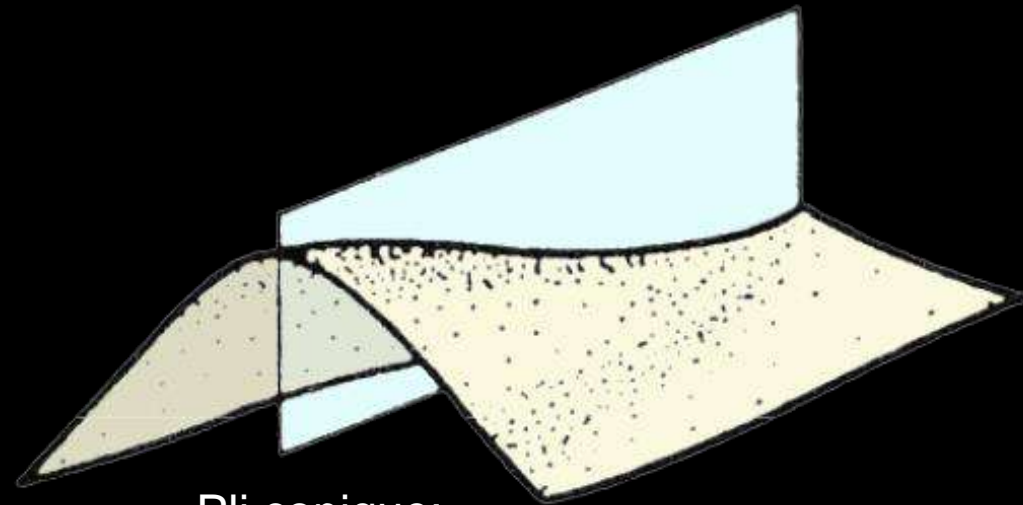
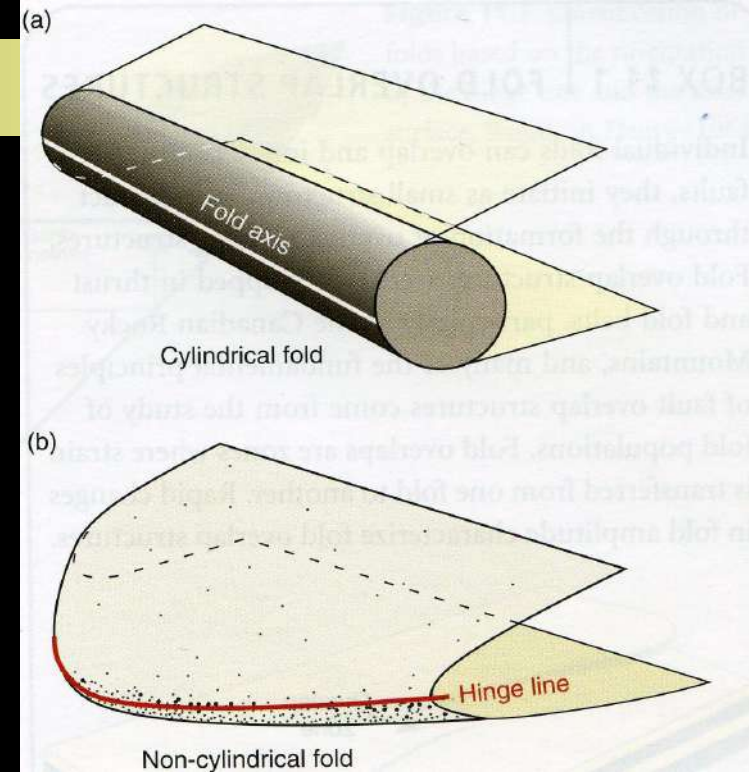
Classification descriptive des plis

→ Plis cylindriques et coniques



Pli cylindrique:

Axes et flancs parallèles



Pli conique:

Axes et flancs convergents

Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

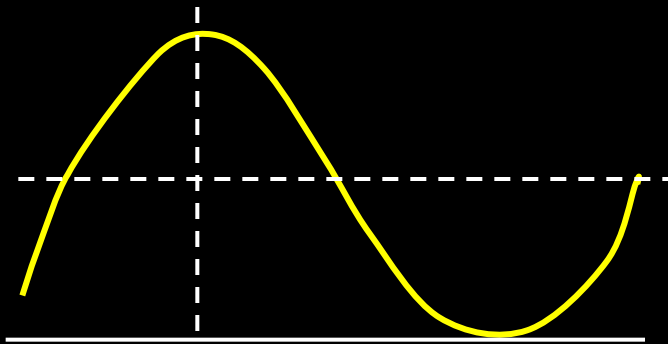
Classification descriptive des plis

→ Plis symétriques

Plis dont les flancs ont le même pendage de part et d'autre du plan bissecteur mais de sens opposé.

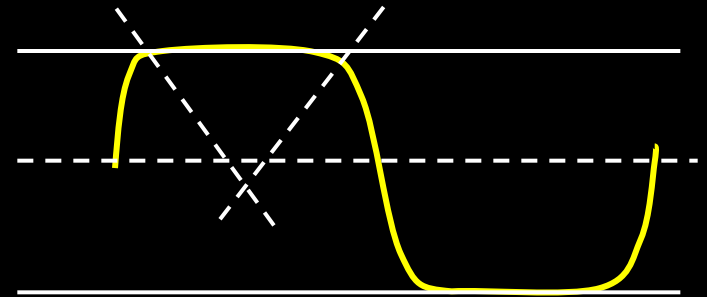
Pli à une charnière

Plis droits

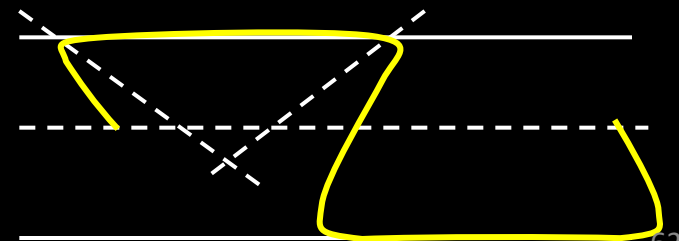


Pli à deux charnières

Plis coiffés



Plis en mitre

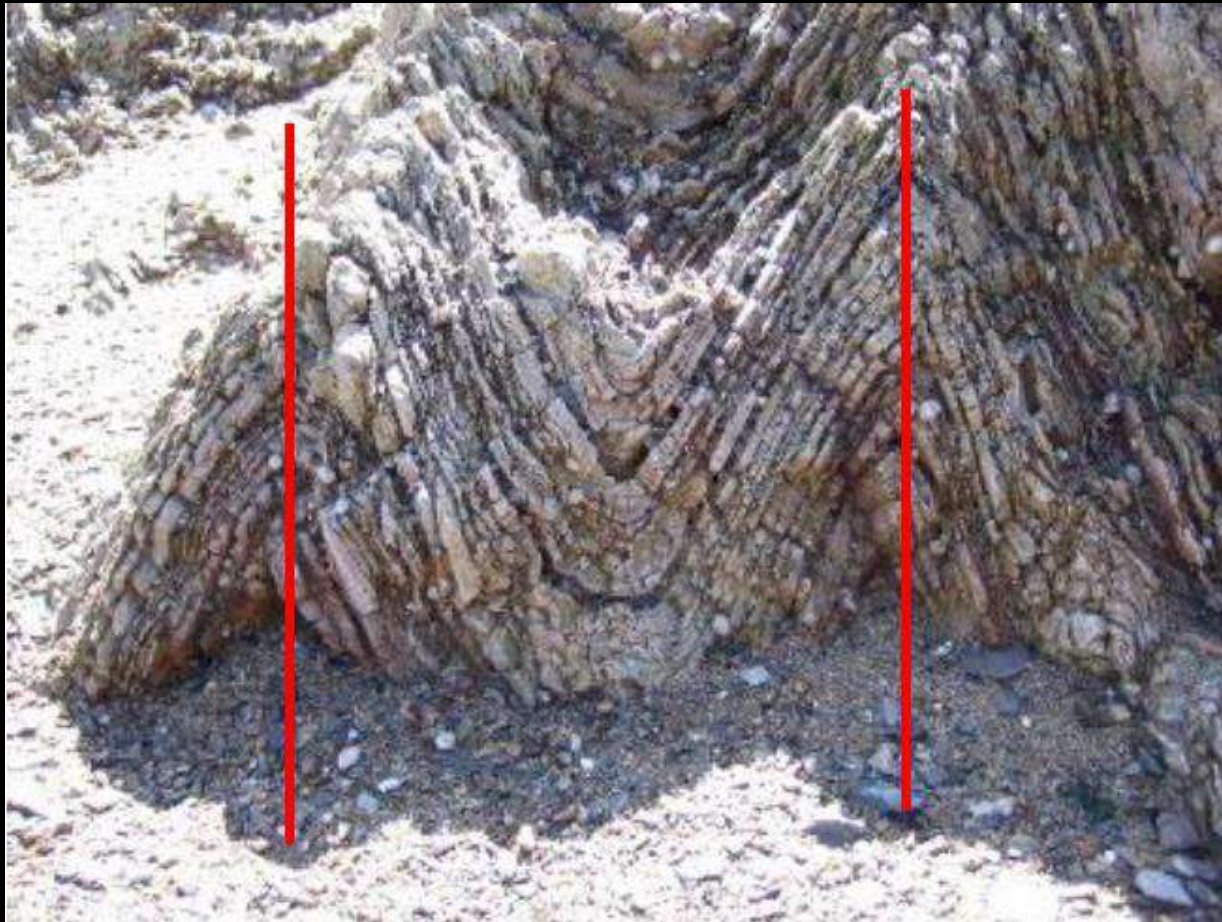


Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

→ Plis symétriques – Ex: Plis droits



Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

→ Plis symétriques – Ex: Pli coffré



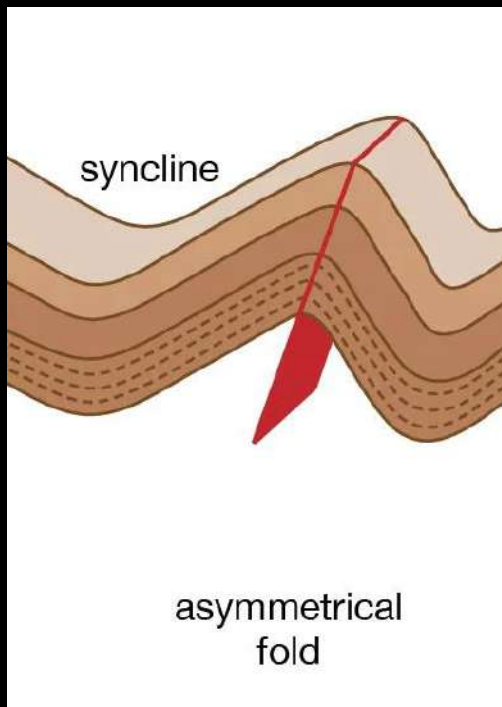
Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

→ Plis asymétriques

Plis dont les flancs n'ont pas le même pendage de part et d'autre du plan bissecteur.

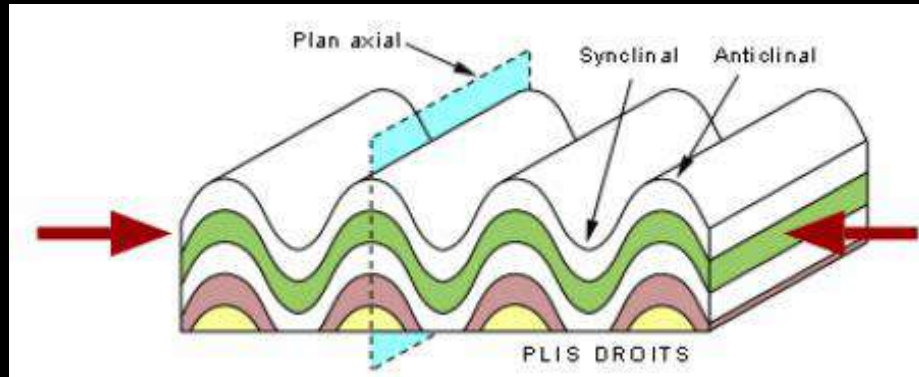


Structures tectoniques: Les plis

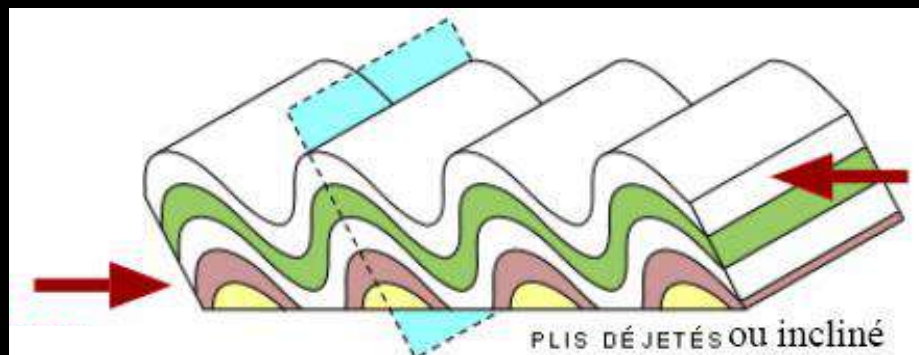
Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

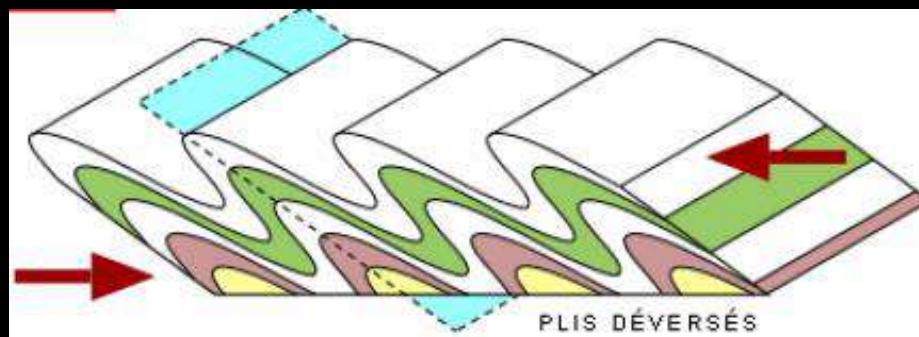
→ Plan axial



Pendage flanc long = pendage flanc court mais opposés



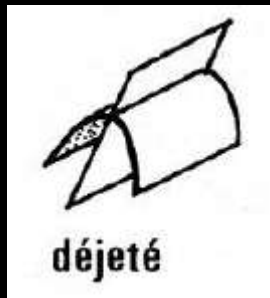
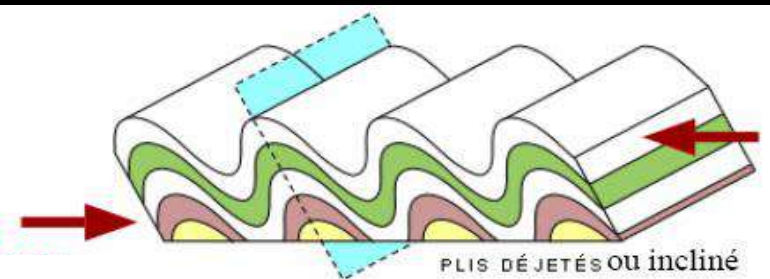
Pendage flanc long < pendage flanc court et opposés



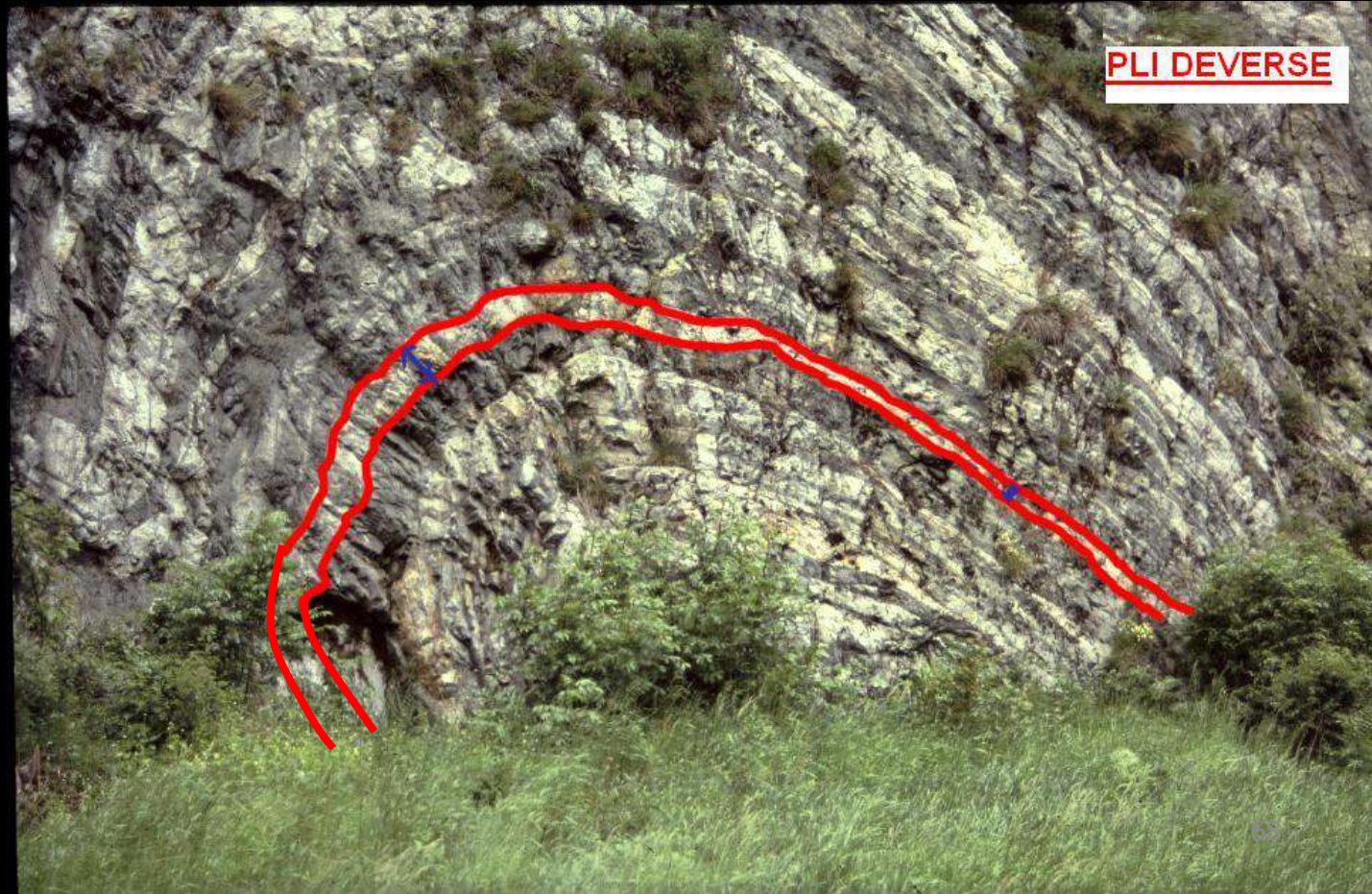
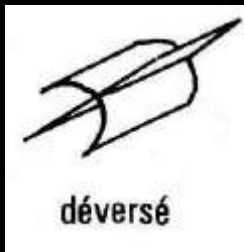
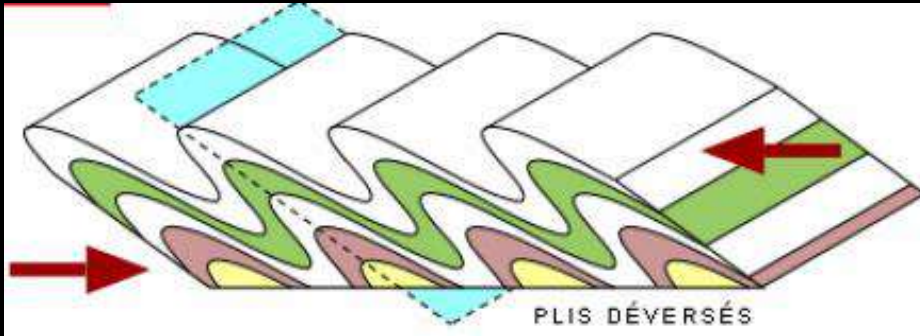
Pendage flanc long < pendage flanc court dans la même direction Flanc court inverse !

Structures tectoniques: Les plis

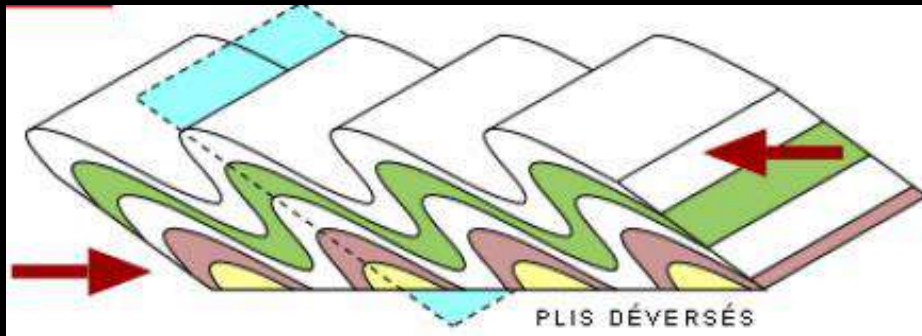
Ex. : plis symétriques déjetés (ou inclinés)



Structures tectoniques: Les plis



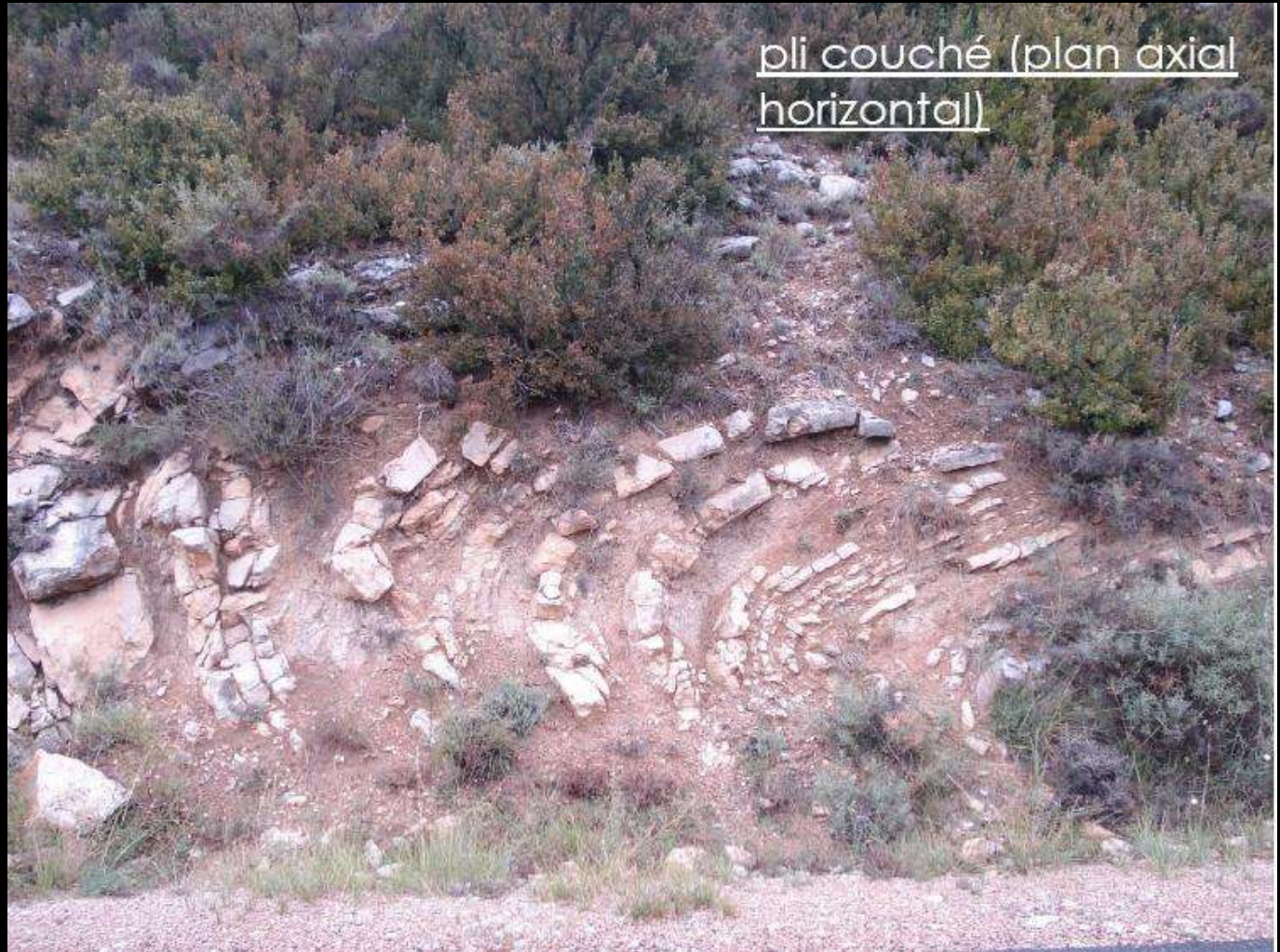
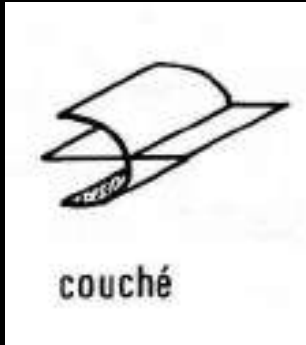
Structures tectoniques: Les plis



Pli déversé (en genou)



Structures tectoniques: Les plis



Structures tectoniques: Les plis

Flanc normal: Dans un pli déversé ou couché, c'est le flanc se trouvant au dessus du plan axial pour un anticlinal, sous cette surface pour un synclinal



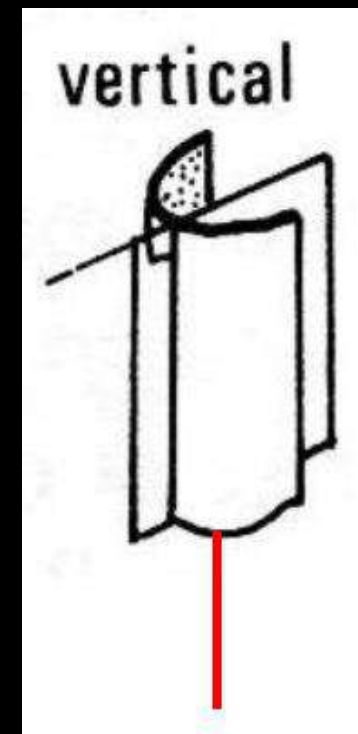
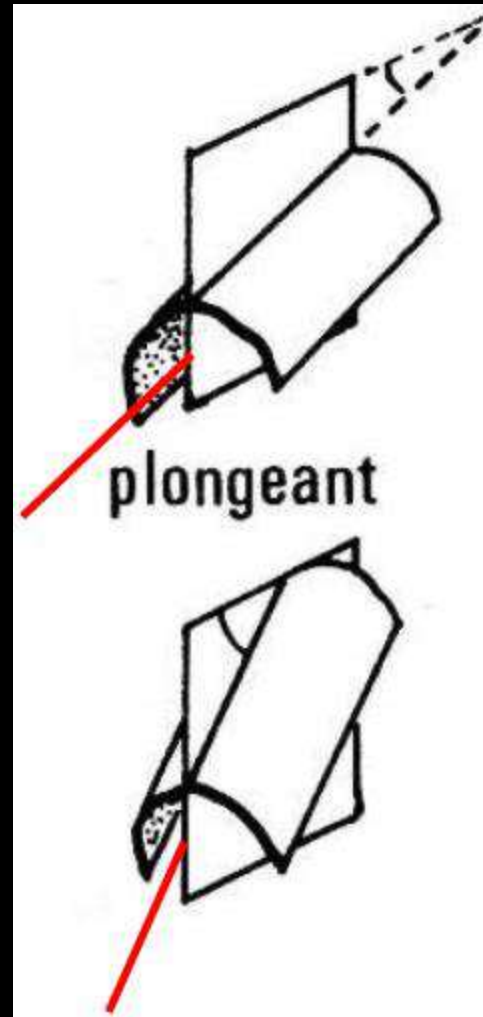
Flanc inverse: Dans un pli déversé ou couché, c'est le flanc se trouvant sous le plan axial pour un anticlinal, et au dessus de cette surface pour un synclinal

Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

→ Axes des plis



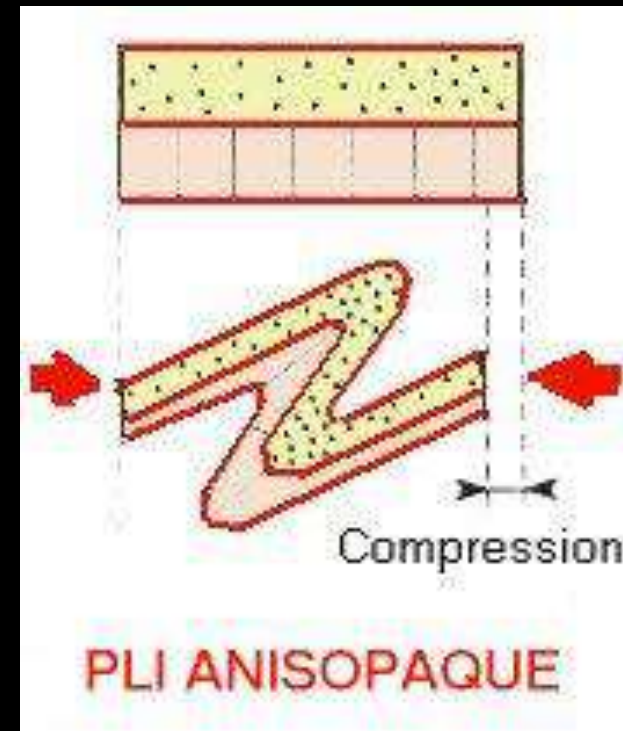
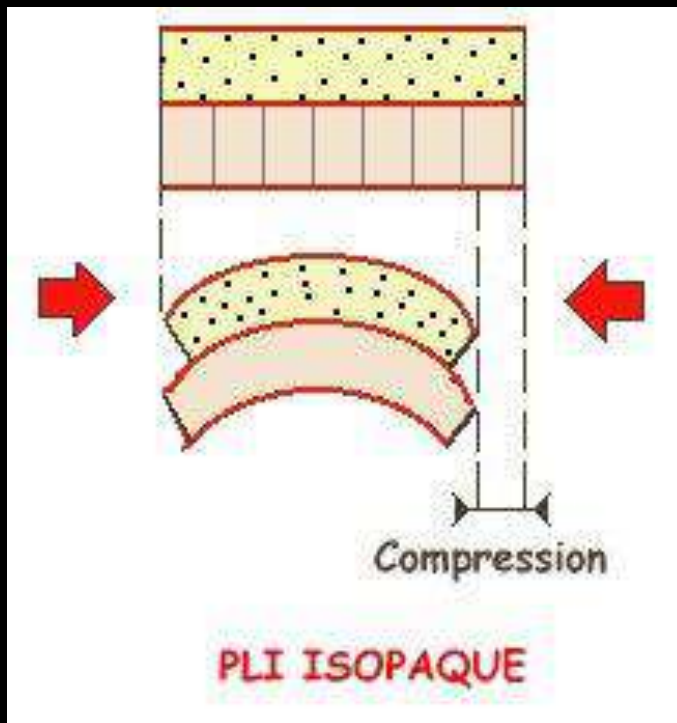
Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Classification descriptive des plis

→ Epaisseur des couches/plis isopaques et anisopaques

Un pli est isopaque si l'épaisseur des couches est constante, anisopaque dans le cas contraire.

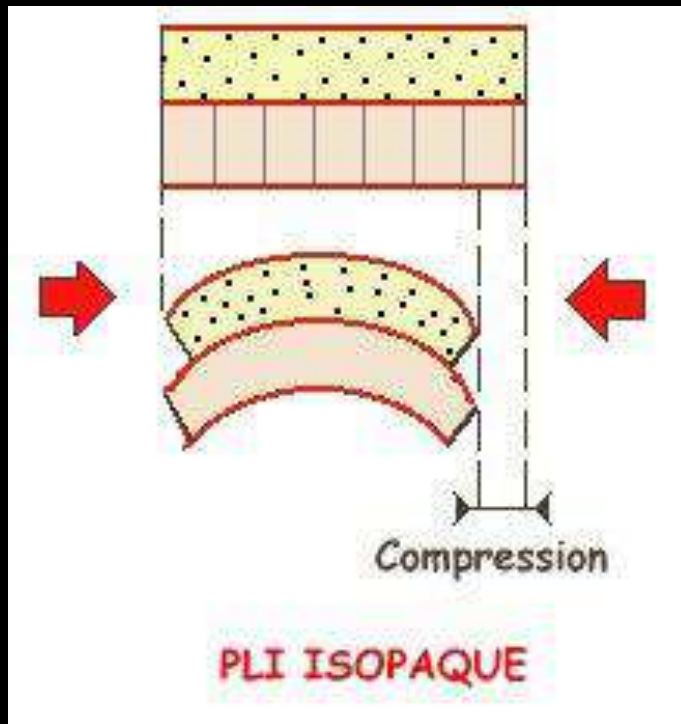


Structures tectoniques: Les plis

→ Plis isopaques

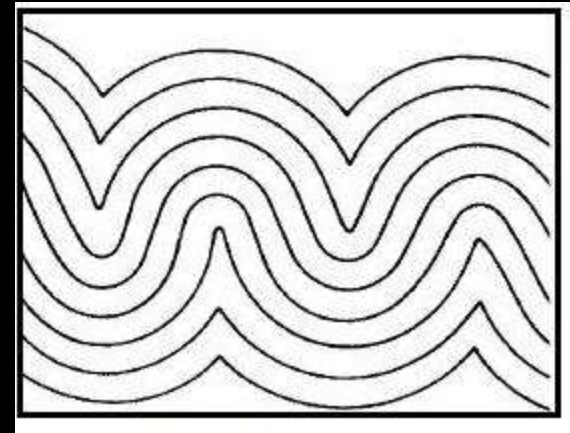
Ce type de plissement est très fréquent en bordure des chaînes de montagne dans les bassins comprimés par l'orogénèse.

Ex: plis concentriques



Un groupe d'arcs de cercle sont dits concentriques s'ils se rapportent tous au même centre. Un pli est concentrique, dans une roche sédimentaire, si les couches sont toutes plissées autour du même centre.

Epaisseur constante → forme des plis changeant avec la profondeur

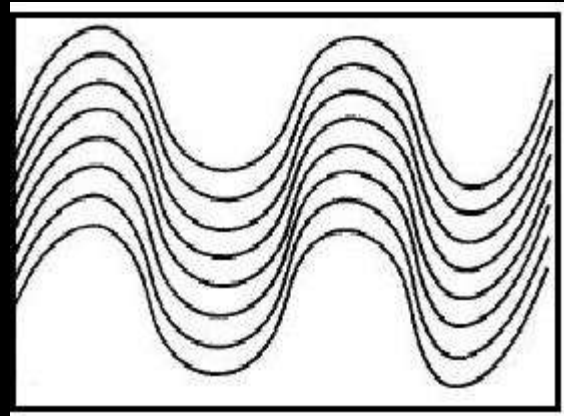
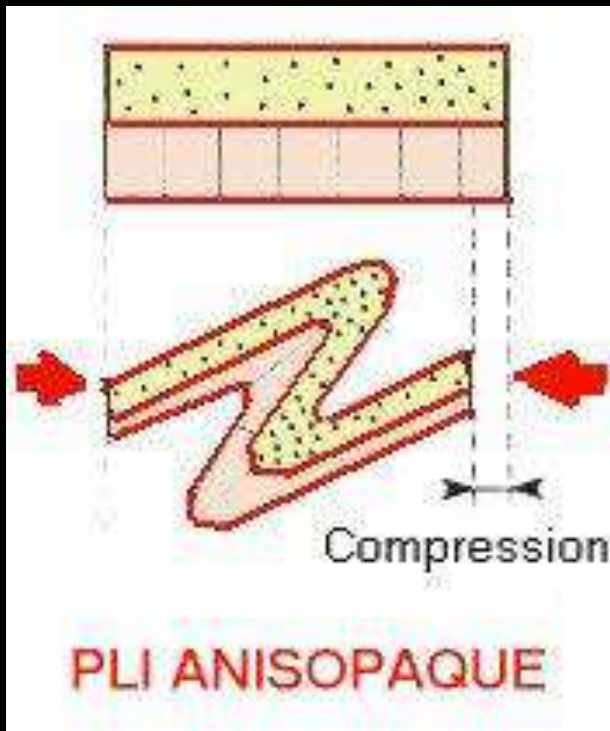


Structures tectoniques: Les plis

→ Plis anisopaques

Ex: plis semblables

Un pli est semblable si **les épaisseurs des couches sédimentaires** définies par le **plan axial** sont **constantes** pour chaque couche.



épaisseur des couches
varient sur leur ensemble

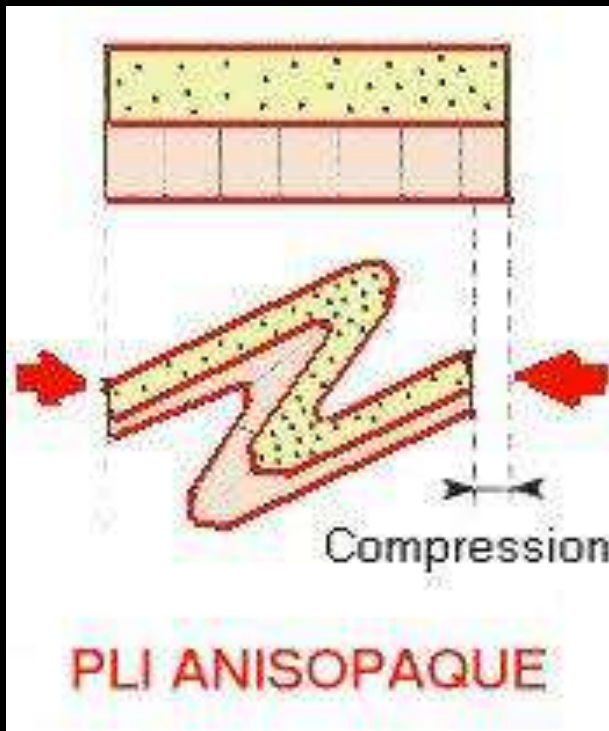
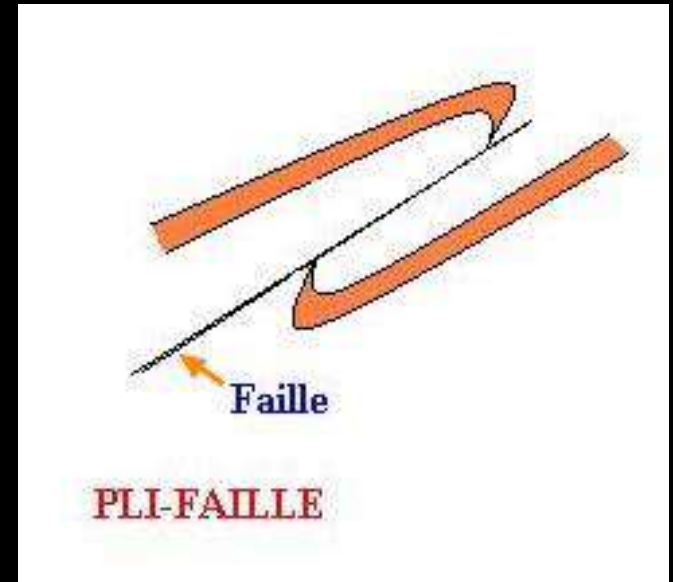


Structures tectoniques: Les plis

→ Plis anisopaques

Ex: plis-failles

Lorsque les contraintes provoquent une rupture des couches, on obtient un pli-faille



Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Géométrie d'une succession de couches plissées

→ Plis harmoniques et disharmoniques

Plis harmoniques : géométrie identique ou une géométrie variant suivant une règle simple.

→ toutes les couches observées sont plissées selon le même style.

Plis disharmoniques : variation plus ou moins brusque de la géométrie des surfaces successives.

→ changement d'amplitude ou de fréquence dans les plissements observé à l'intérieur d'un plus grand pli

Structures tectoniques: Les plis

Plis harmoniques



Structures tectoniques: Les plis

Plis disharmoniques

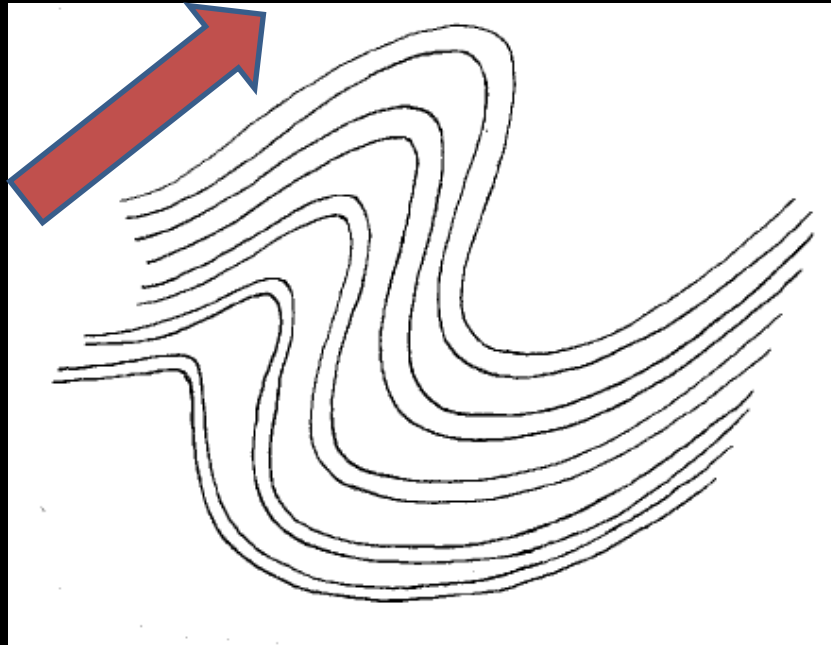
2 types principaux de disharmonies

- *La disharmonie progressive*
- *Les plis de gaufrage*

Structures tectoniques: Les plis

- *La dysharmonie progressive*

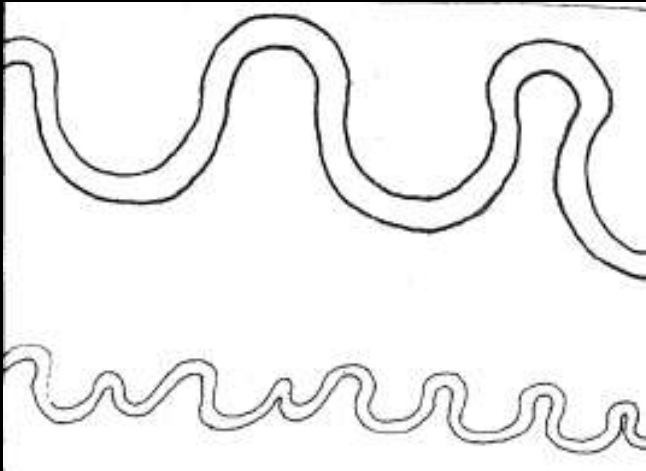
Passage progressif d'une géométrie harmonique à une autre



Structures tectoniques: Les plis

• Les plis de gaufrage

Présence de couches plissées de manière indépendante l'une de l'autre en fonction de leur nature lithologique



Alternance de niveaux sombres de calcaires siliceux et de niveaux claires marnocalcaires plus meubles. Ces deux types de matériaux ont réagi différemment à la compression

Structures tectoniques: Les plis

- *Les plis de gaufrage*

Présence de couches plissées de manière indépendante l'une de l'autre en fonction de leur nature lithologique

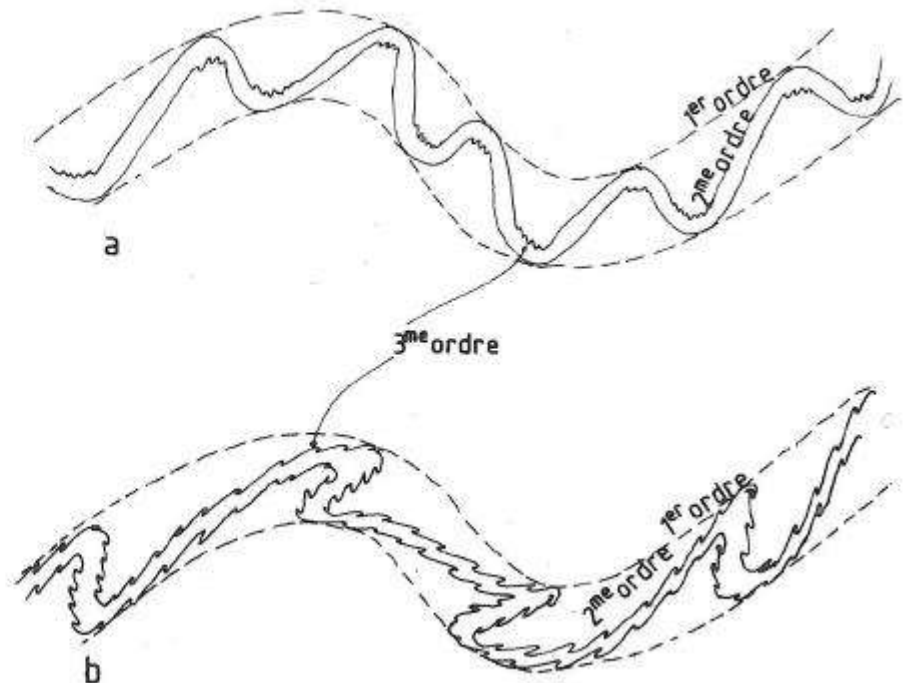
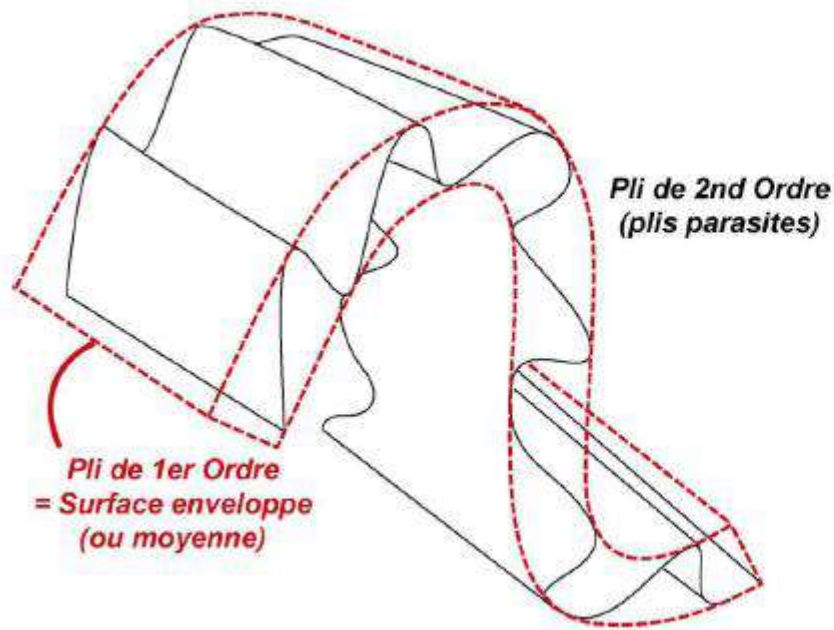


Structures tectoniques: Les plis

Éléments descriptifs d'une surface plissée

Systemes de plis

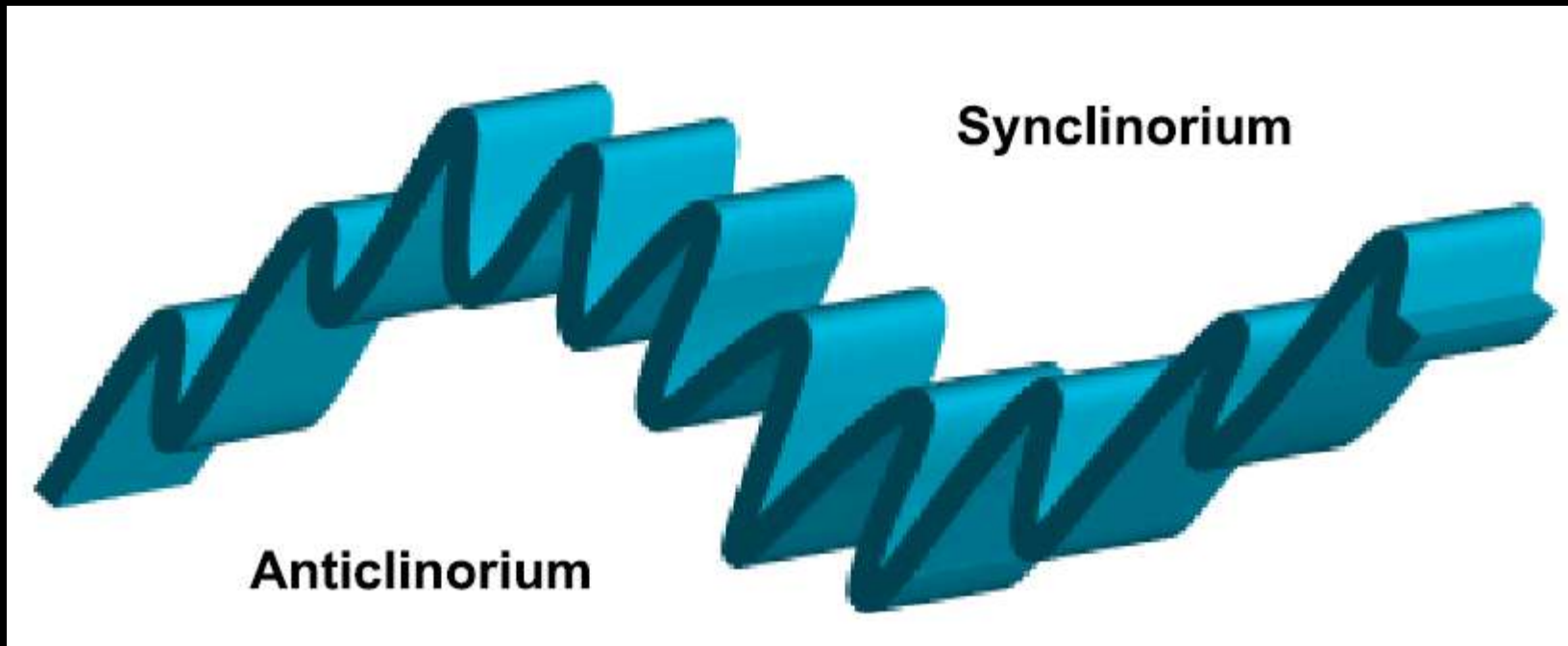
notion d'échelle : plis d'ordres différents



Structures tectoniques: Les plis

Anticlinorium et Synclinorium

- Les grands plis accompagnés par des plissements à plus petite échelle sont appelés anticlinorium et synclinorium.



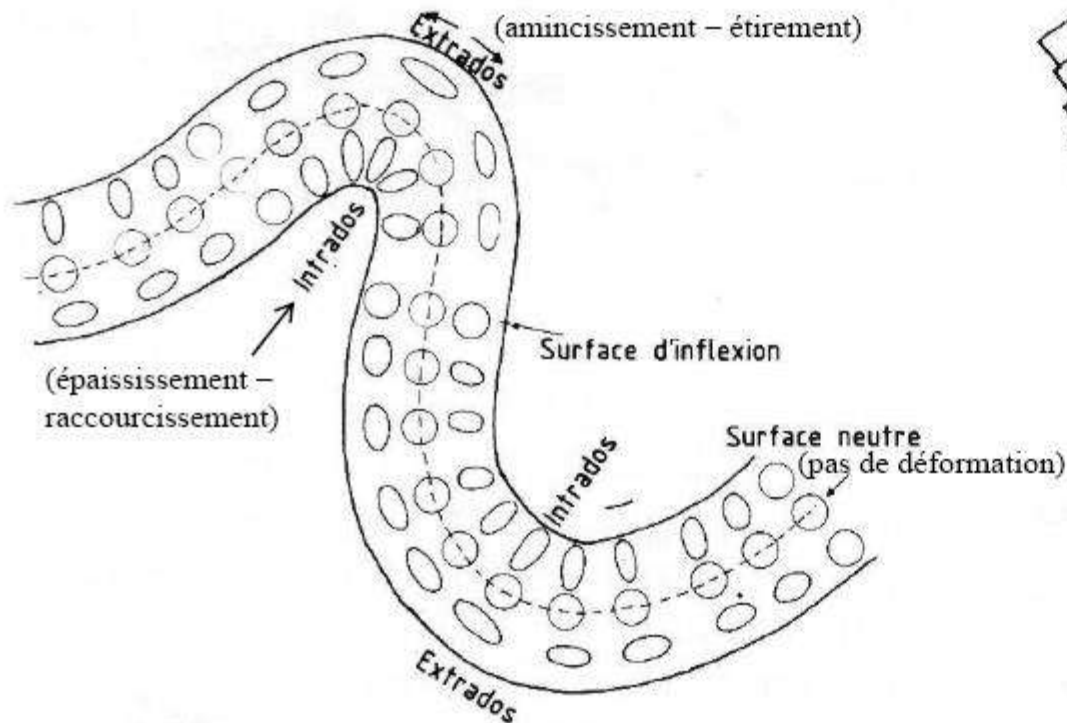
Structures tectoniques: Les plis

Éléments structuraux liés aux plis

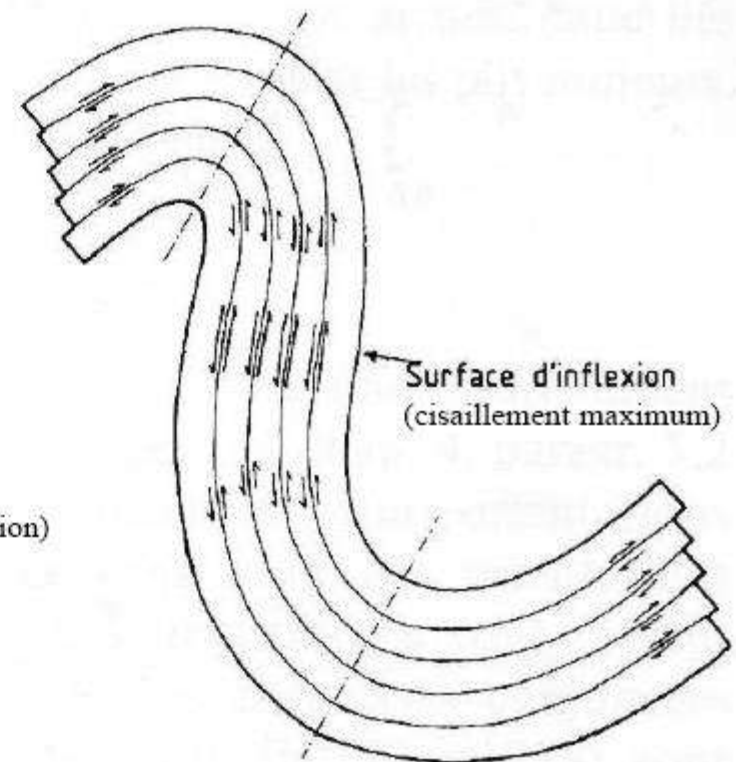
Ruptures créées par le plissement lui même

Deux types de mouvements

Allongement-raccourcissement



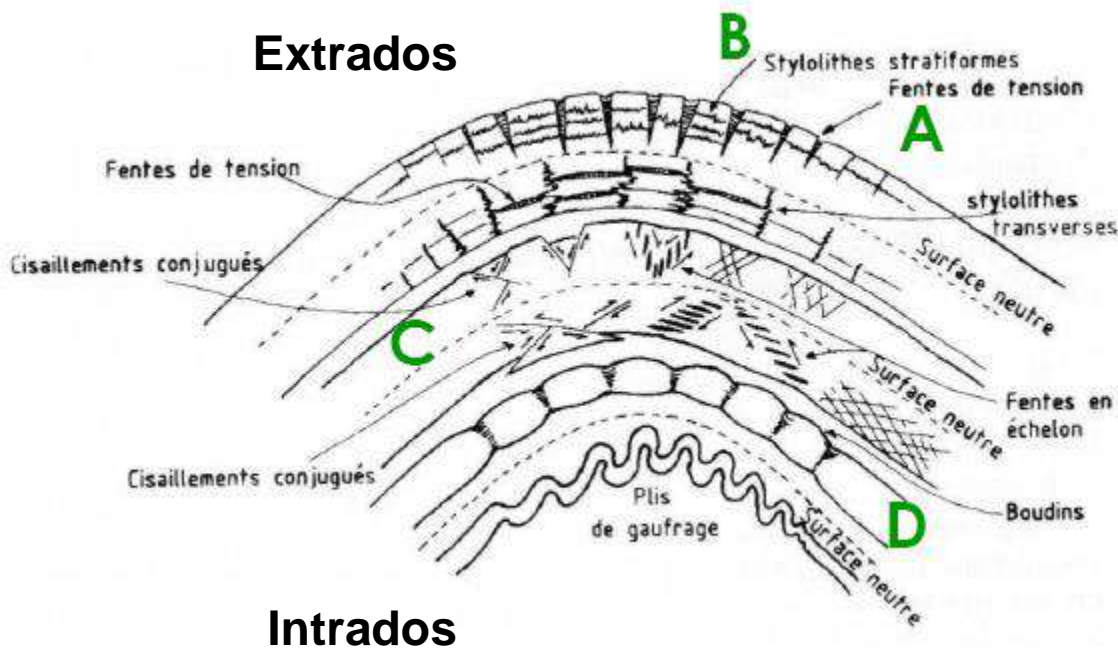
Cisaillement



Charnière
(cisaillement nul - inversion du sens de cisaillement)

Structures tectoniques: Les plis

Allongement – Raccourcissement : à la charnière



A: Fentes de tension en forme de coin s'arrêtant sur la surface neutre

B: Stylolithes stratiformes

C: Cisaillements conjugués:

- Paraclases
- Fentes en échelon

D: Couches moins compétentes: boudinage

Structures tectoniques: Les plis

Allongement – Raccourcissement : à la charnière



Stylolit(h)es = structures de dissolution sous l'effet de la pression formées dans les roches calcaires à marno-calcaires.

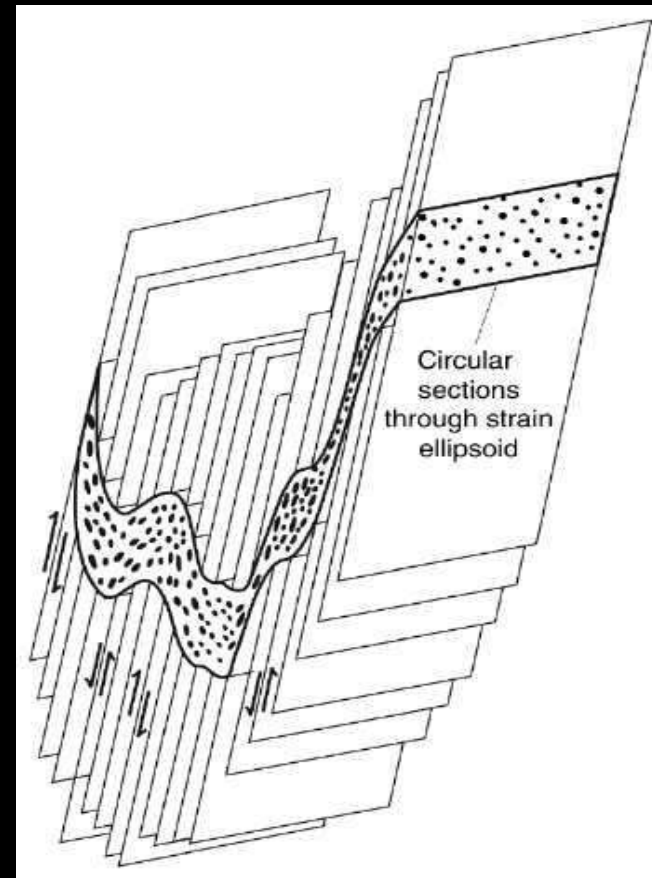
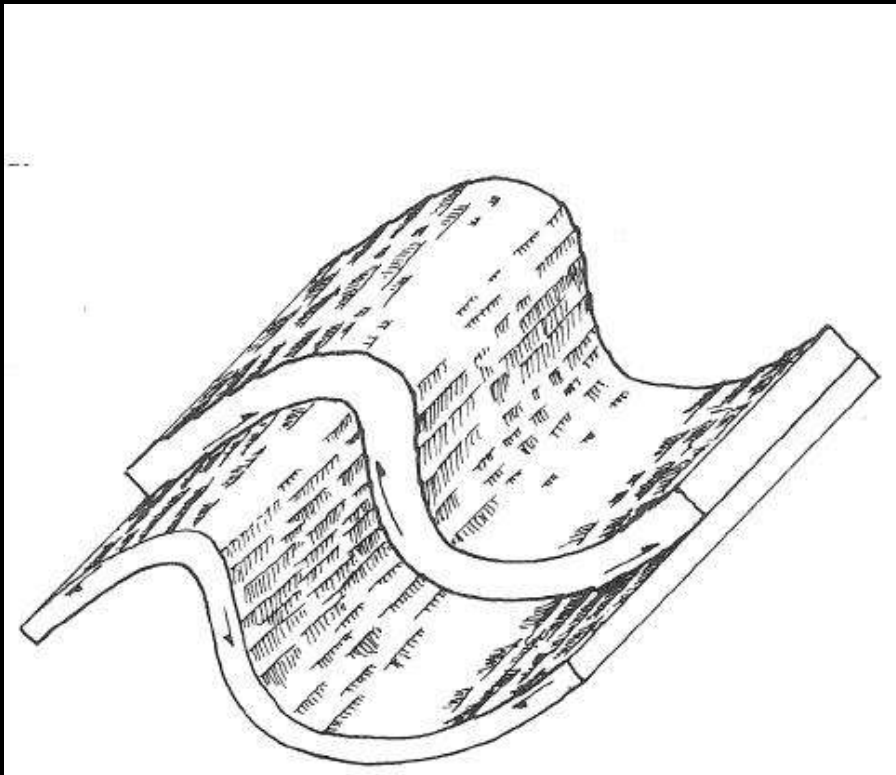


Boudinage = Etirement d'une couche rigide (compétente) entre deux couches plastiques (incompétentes) avec la formation de boudins allongés selon la contrainte moyenne. Entre les prismes, il y a remplissage par des niveaux incompetents et/ou remplissage par des cristaux

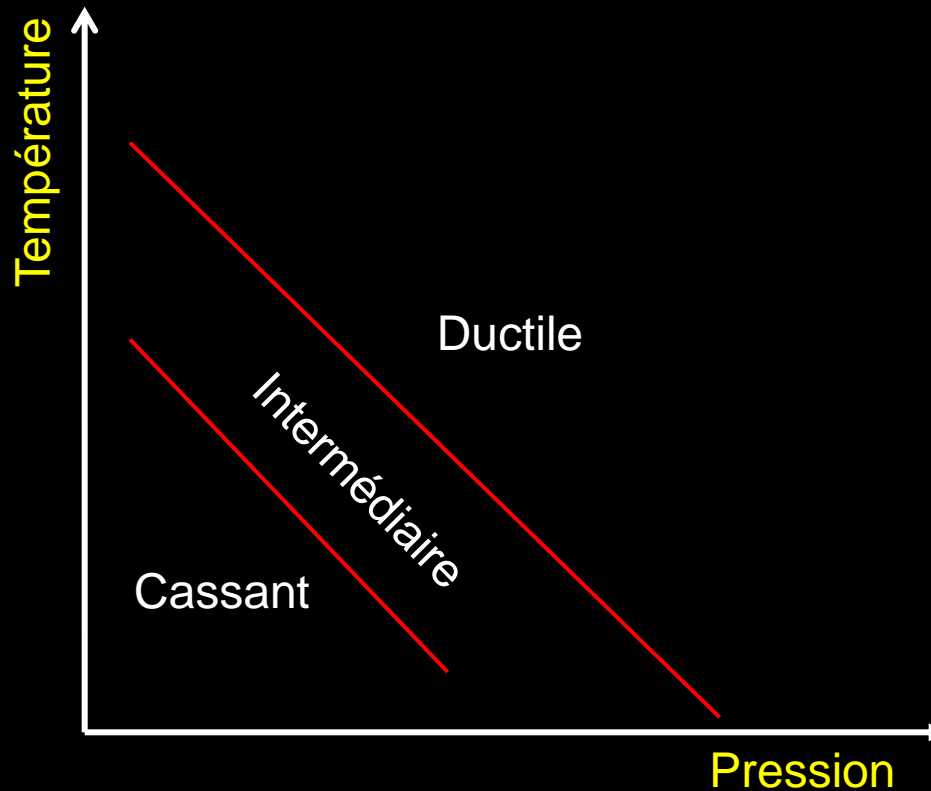
Structures tectoniques: Les plis

Cisaillement

Pour les plis harmoniques cylindriques: stries orthogonales à l'axe.

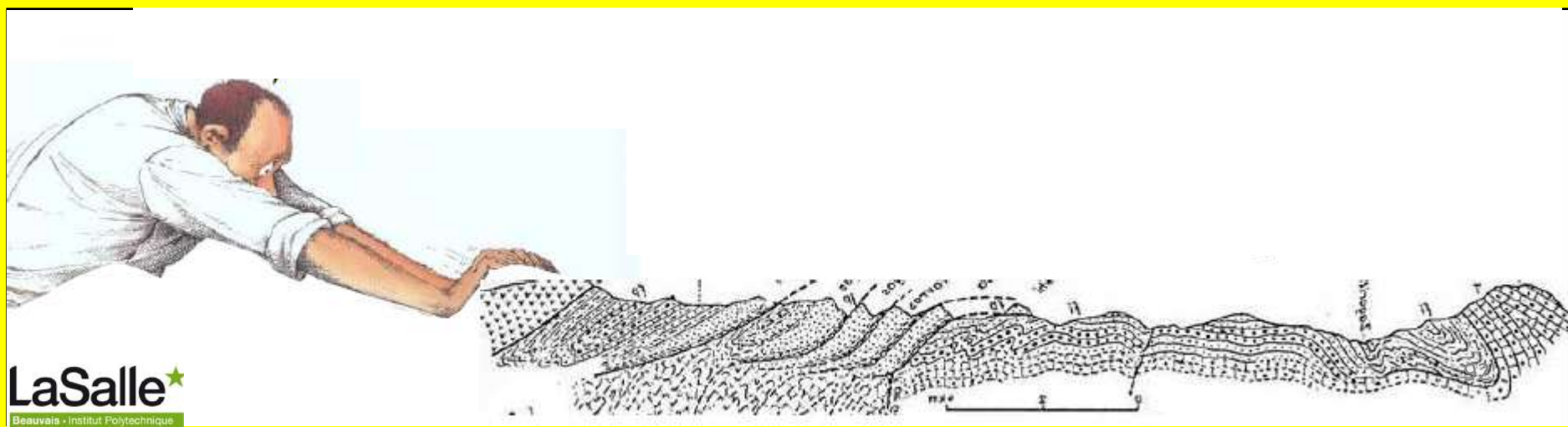


Structures tectoniques: Les plis



Le caractère cassant (compétent) des roches est souvent en surface près de la croûte alors que le ductile (incompétent) se passe à des profondeurs plus importantes.

- 1- Introduction à la tectonique
- 2- Structures tectoniques: les plis
- 3- Structures tectoniques: les failles**
- 4- Schistosité
- 5- Exemples des grandes structures géologiques



Comportement cassant des roches

LITHOCLASES sans mouvement apparent  DIACLASES

LITHOCLASES à mouvement perpendiculaire
aux plans de rupture

- FENTES DE TENSION
- STYLOLITHES

LITHOCLASES à mouvement parallèle

- FAILLES NORMALES
- FAILLES INVERSES
- DECROCHEMENTS

Structures tectoniques: Les failles

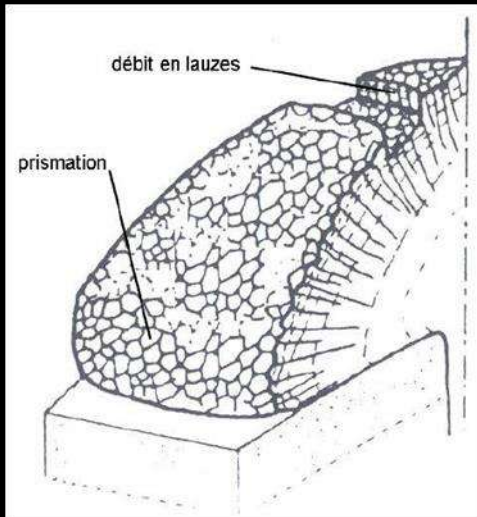
Lithoclasses sans mouvement apparent → Diaclases

Pas de mouvement tangentiel important ou significatif

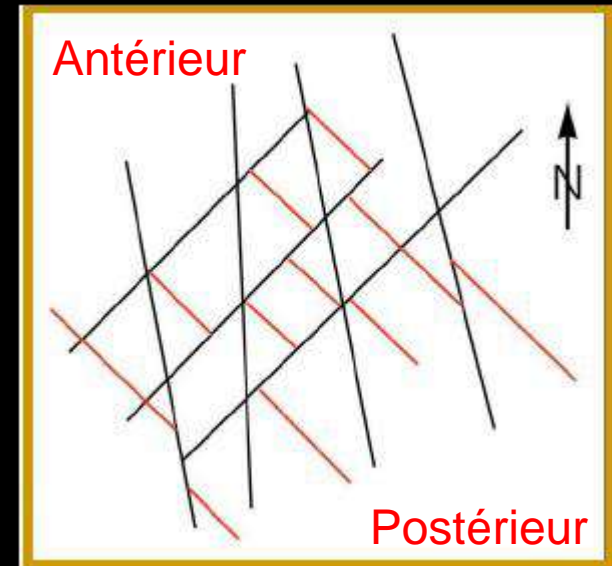


Diaclases atectoniques

- Variation de volume (ex: refroidissement coulée basaltique)
- Décompression (ex: allègement par érosion)

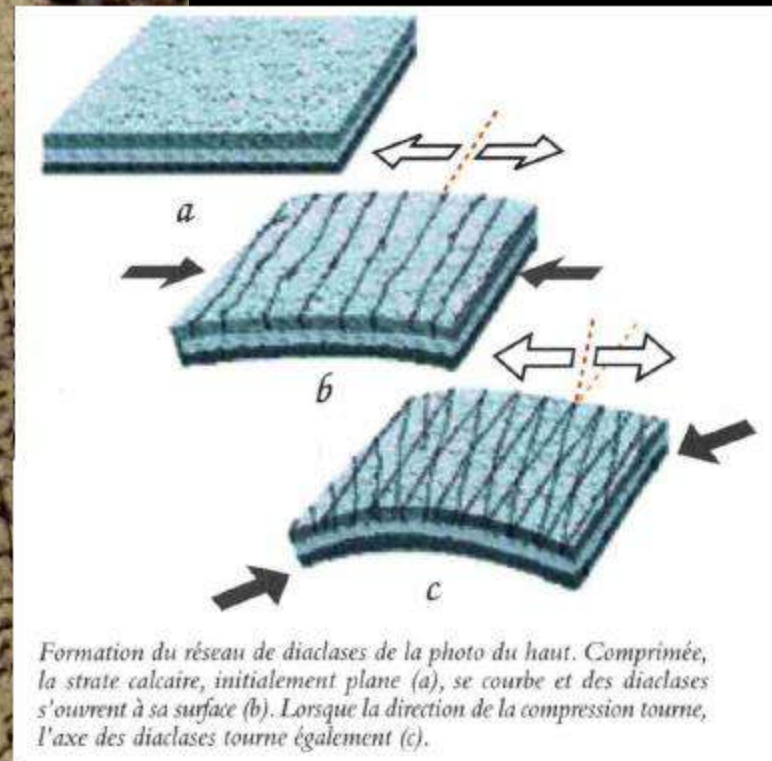
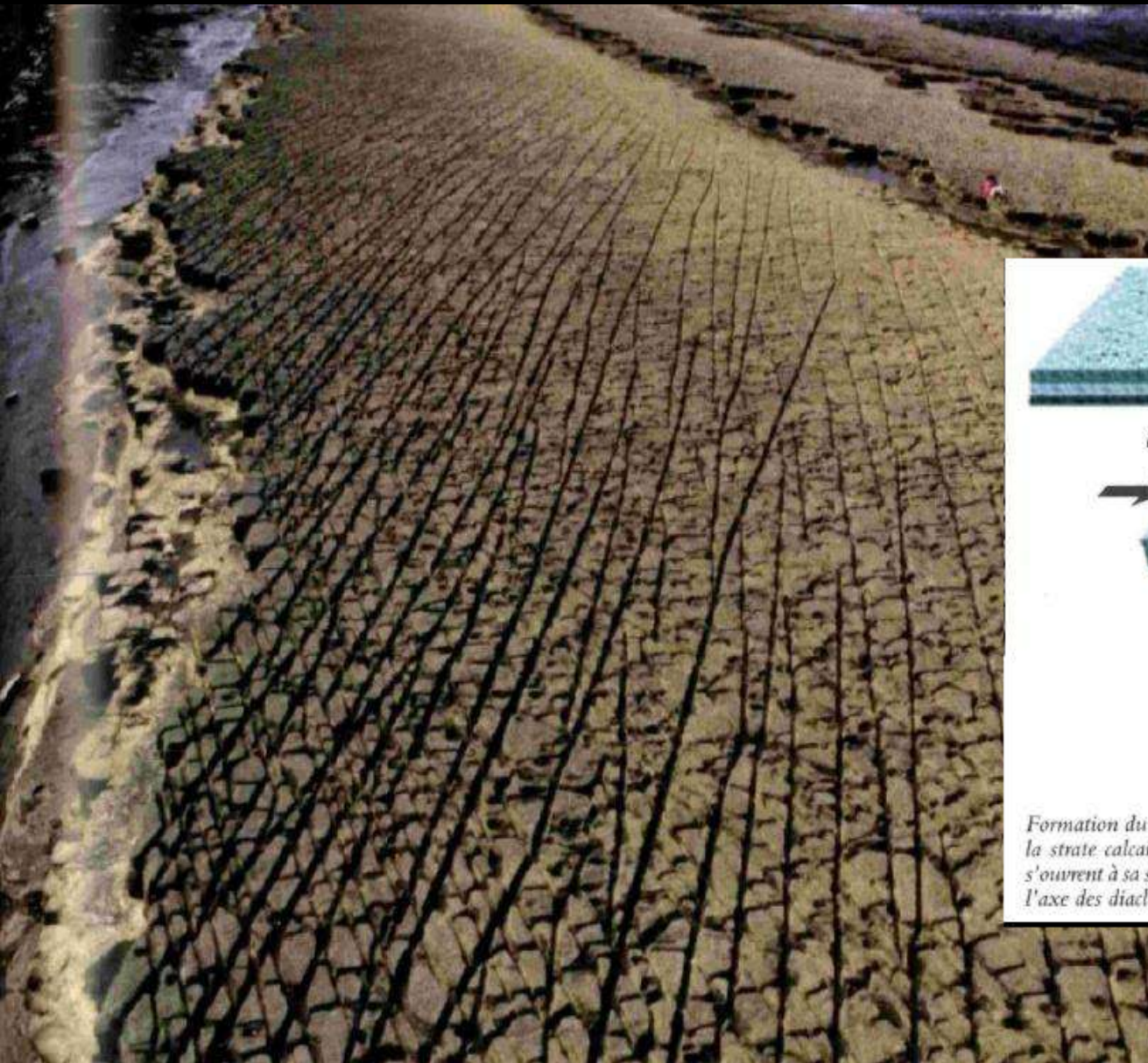


Diaclases tectoniques



Structures tectoniques: Les failles

Diaclases tectoniques

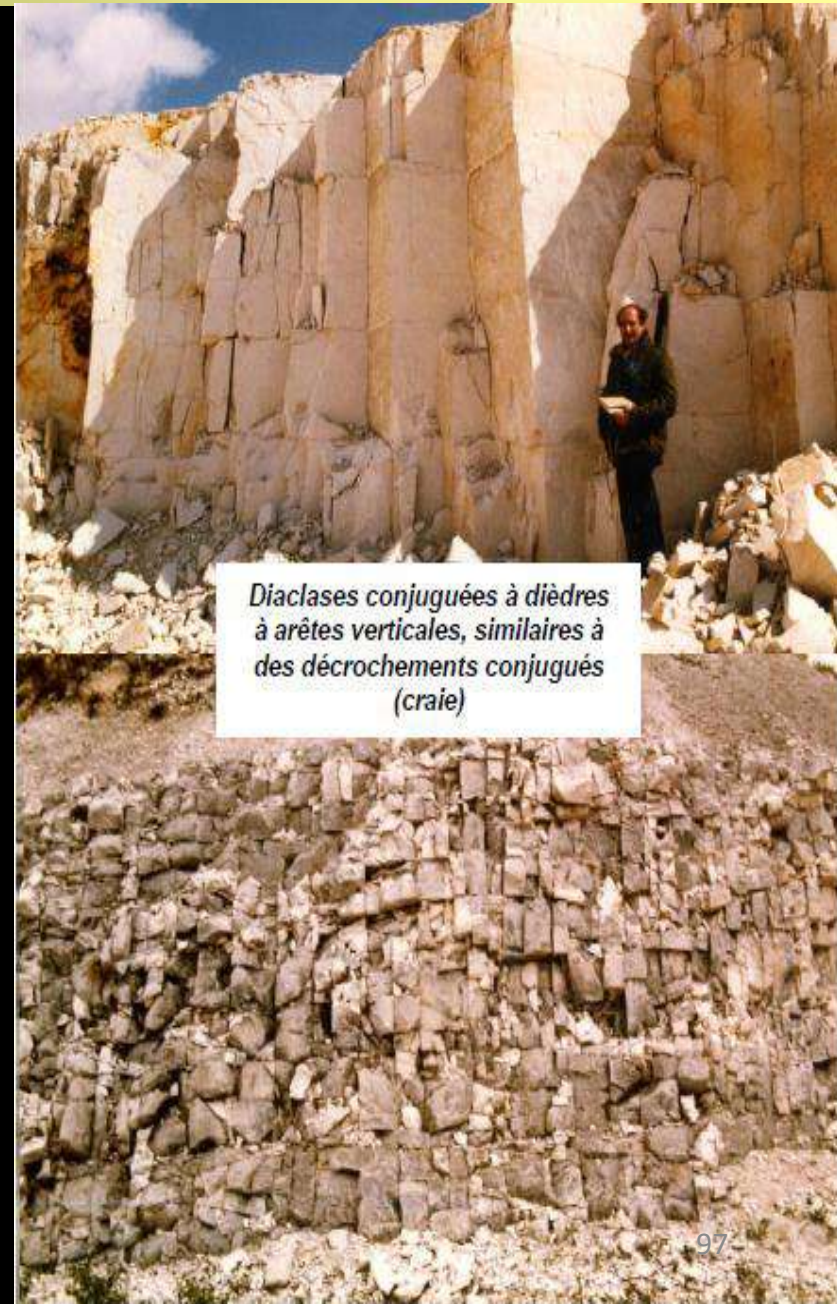


Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles

Généralement associées à des structures régionales: Marqueurs remarquables des orientations tectoniques régionales



Diaclases conjuguées à dièdres à arêtes verticales, similaires à des décrochements conjugués (craie)

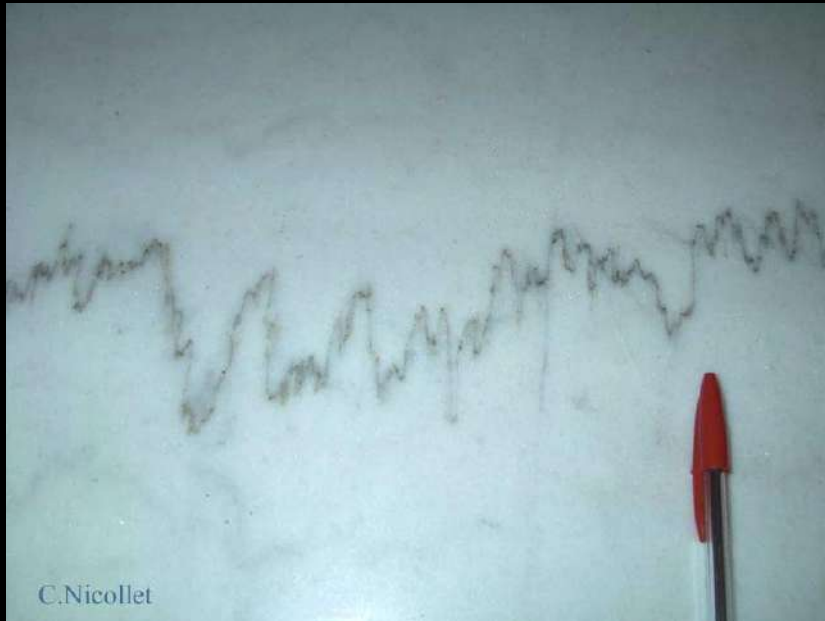
Structures tectoniques: Les failles

**LITHOCLASES à mouvement perpendiculaire
aux plans de rupture**

**- STYLOLITHES
- FENTES DE TENSION**

Stylolithes

Se forment par un phénomène de pression-dissolution dans les roches carbonatées et siliceuses (car roches pouvant être dissoutes)



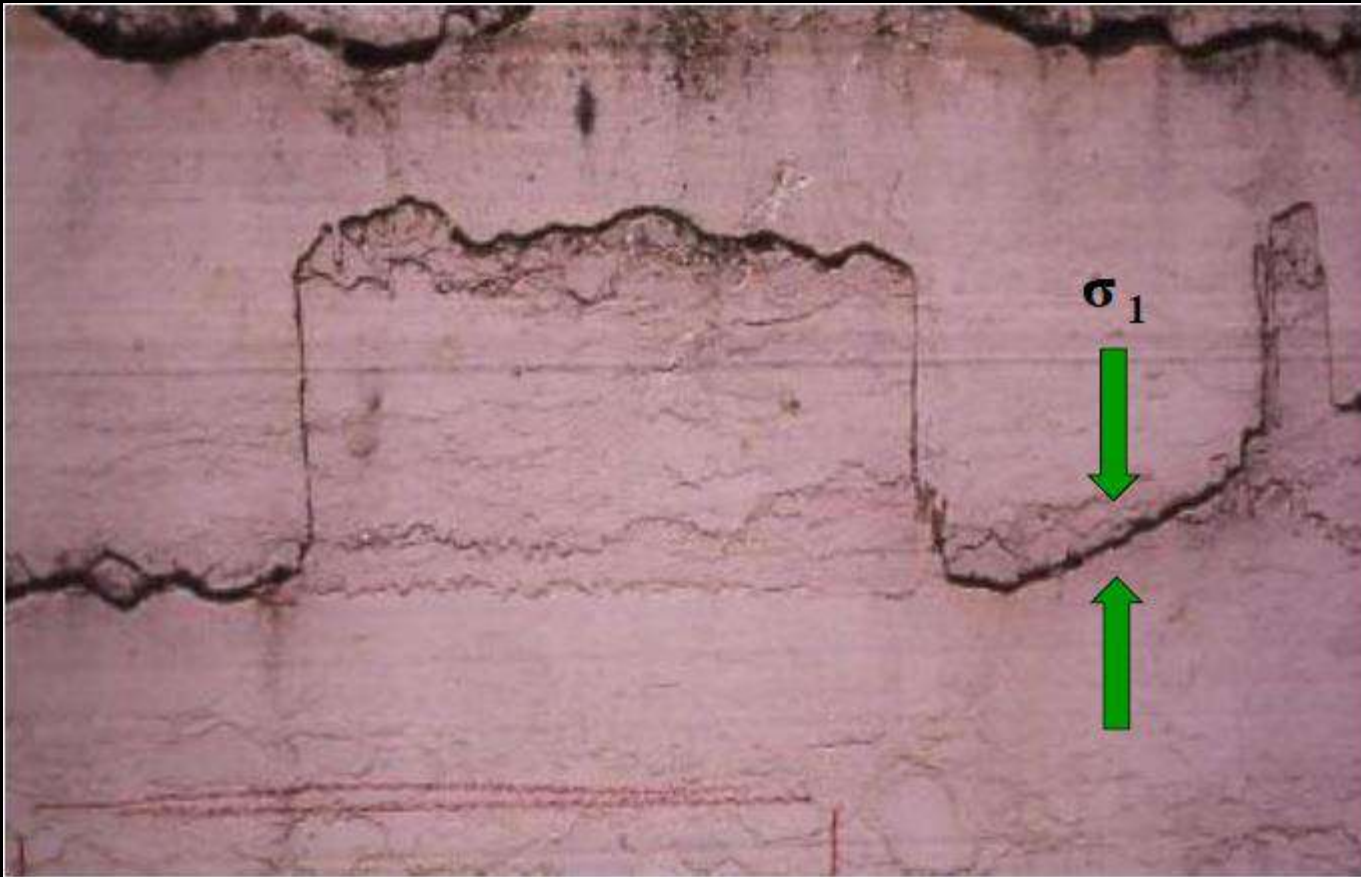
En coupe



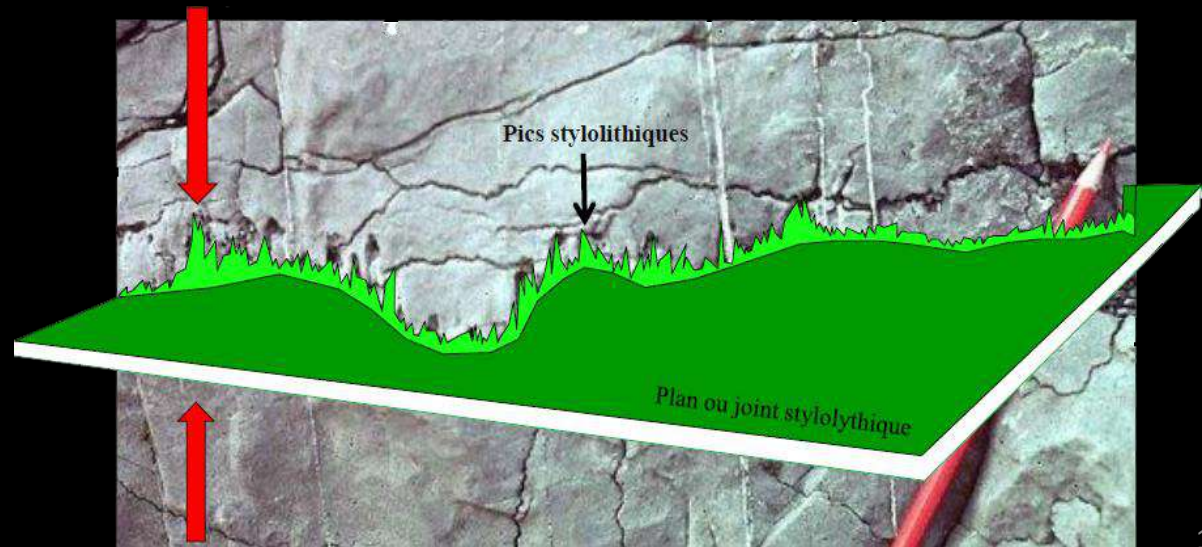
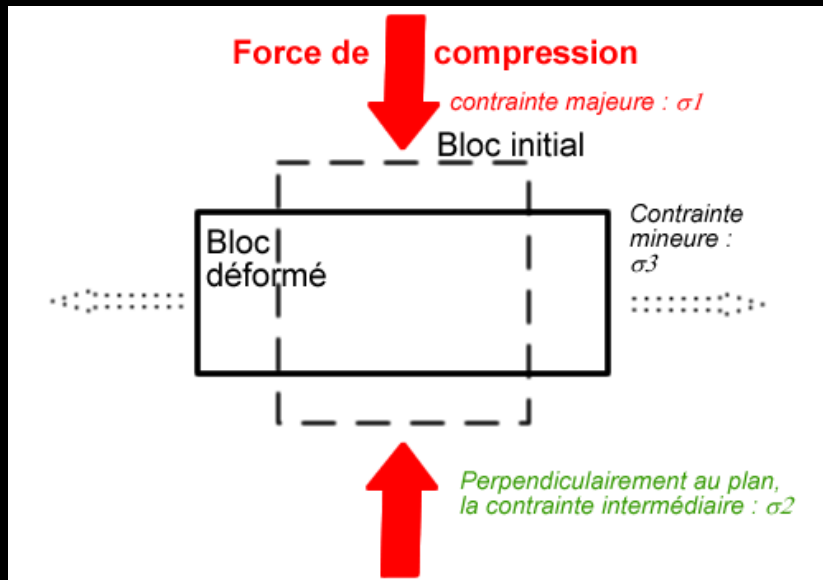
En plan

Structures tectoniques: Les failles

Se présentent comme des surfaces suivant lesquelles 2 blocs adjacents sont étroitement imbriqués

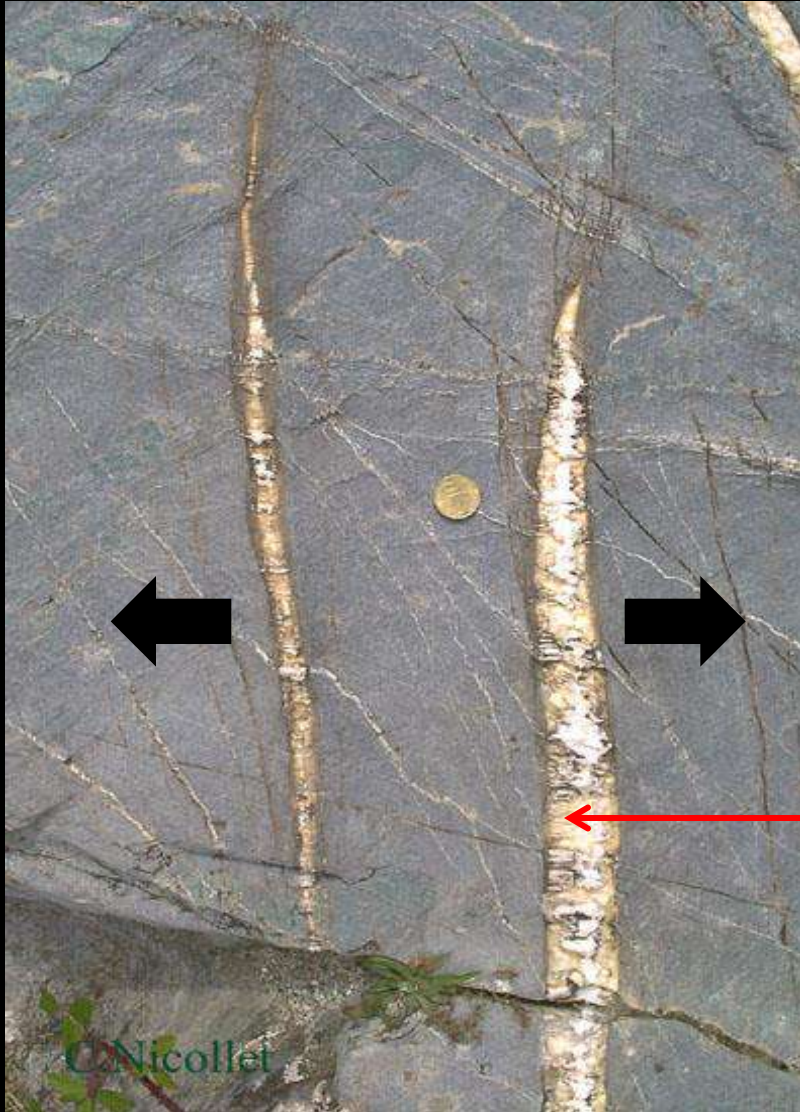


Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles

Fentes de tension



- Ouverture des fentes: du mm au dm.
- Longueur axiale: du cm à quelques dizaines de m.

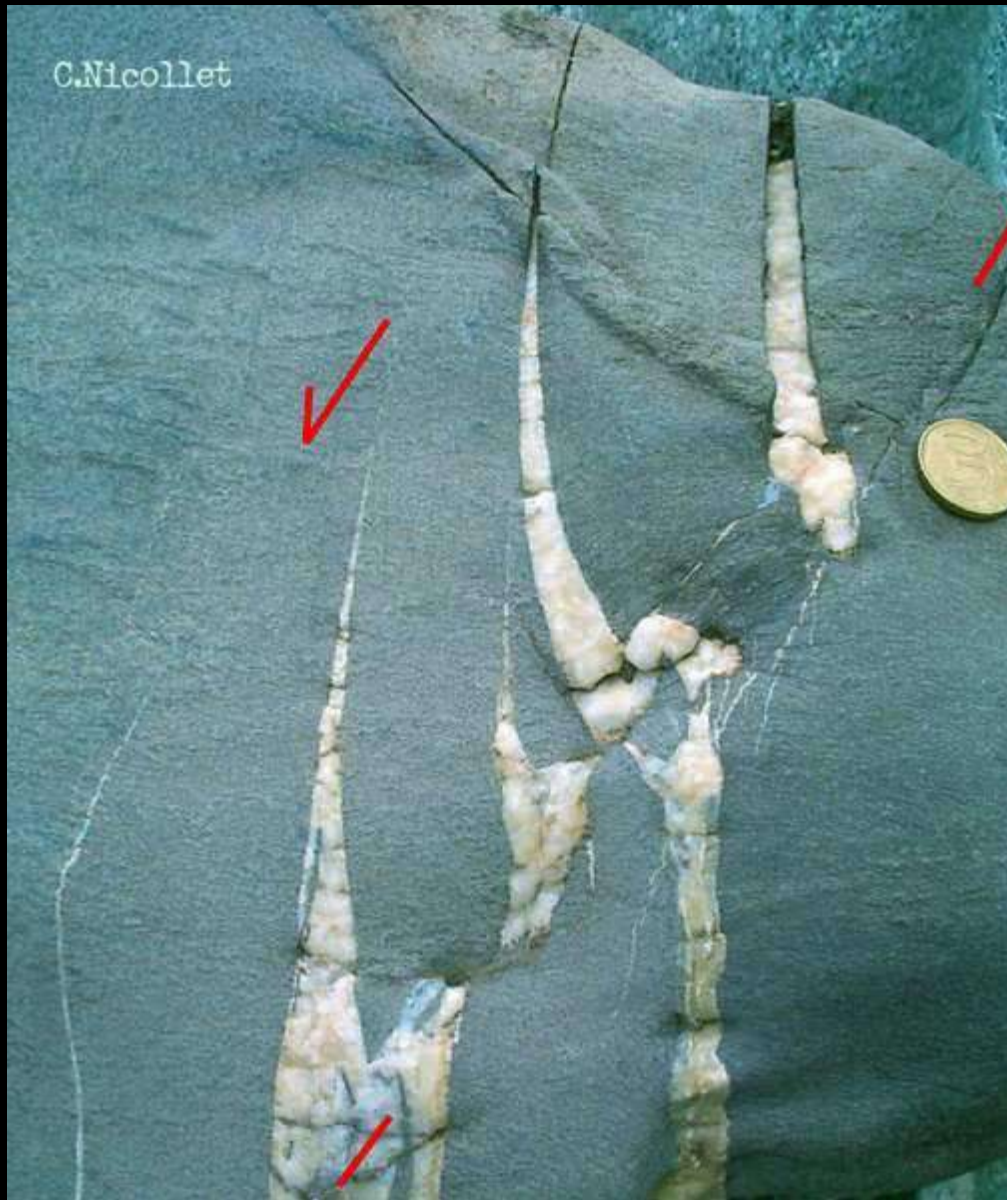
Cristallisation
perpendiculaire
(Calcite, Gypse ou
Quartz)

Structures tectoniques: Les failles



On observe 2 familles de fentes qui indiquent un changement significatif du champ des contraintes. On note que les plus petites sont postérieures aux plus grosses.

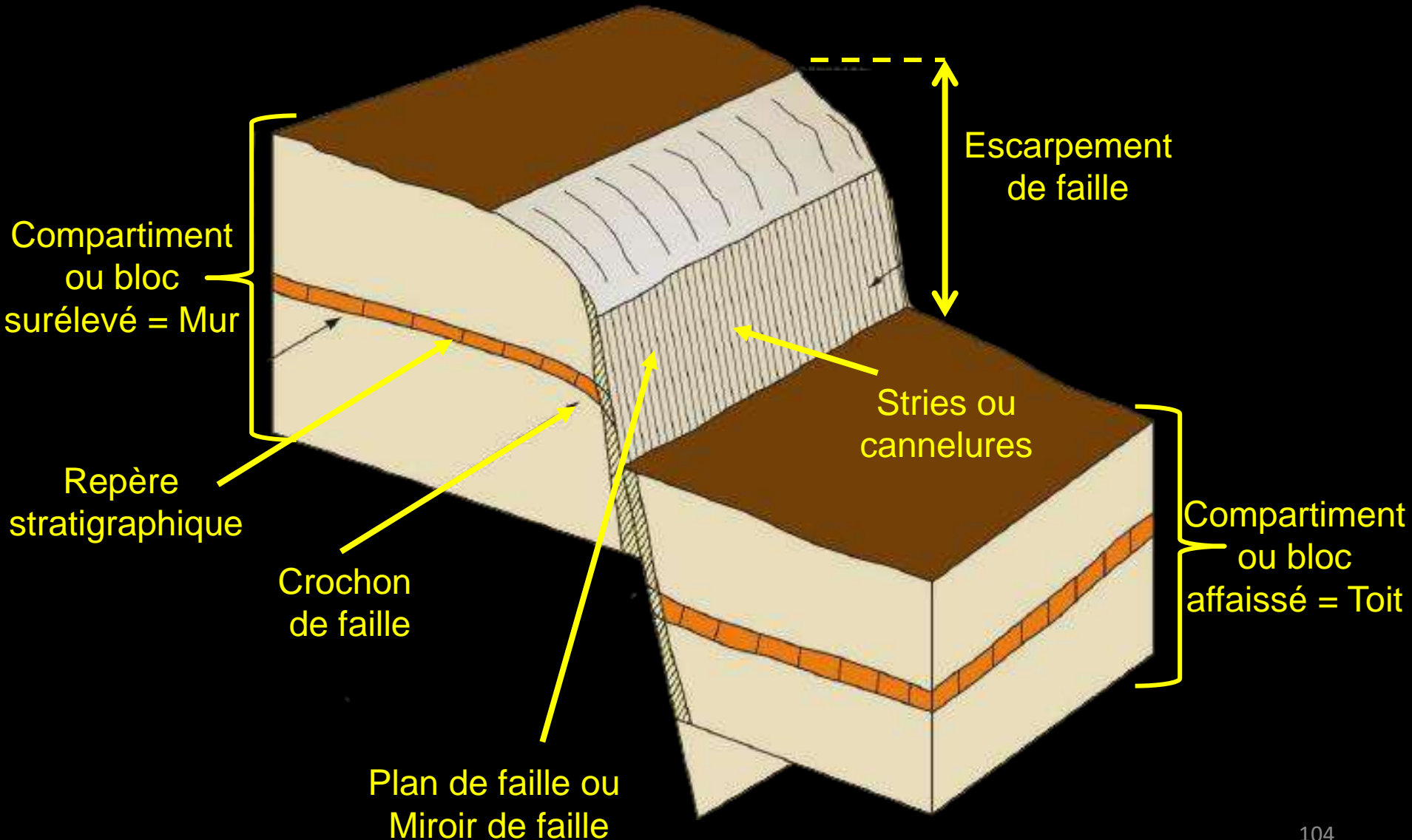
Structures tectoniques: Les failles



Parfois, un système de fentes en échelon matérialise une faille potentielle

Structures tectoniques: Les failles

Description d'une faille: Exemple d'une faille normale



Structures tectoniques: Les failles

Escarpement de faille

Mur



Toit

Structures tectoniques: Les failles

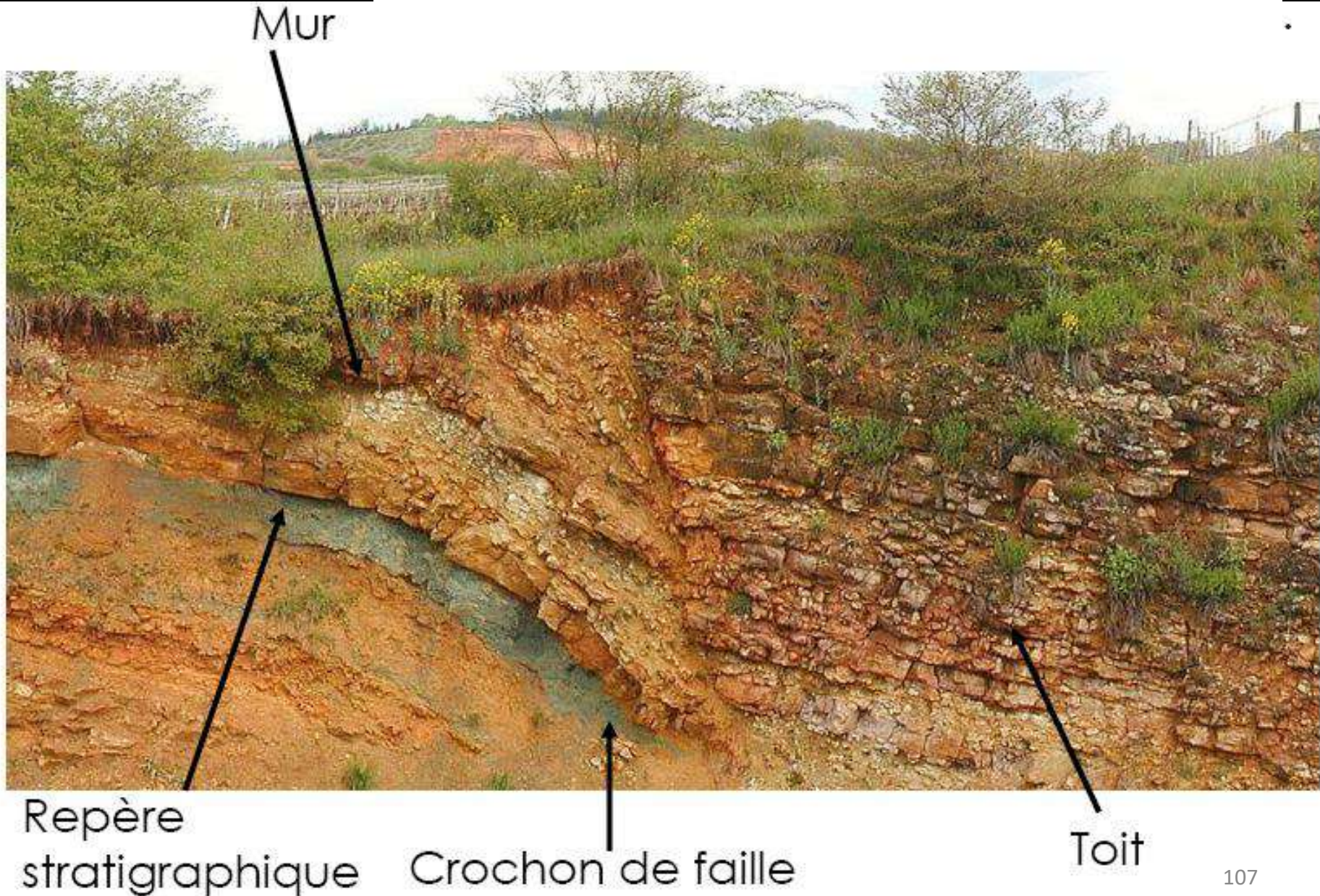
Miroir de faille



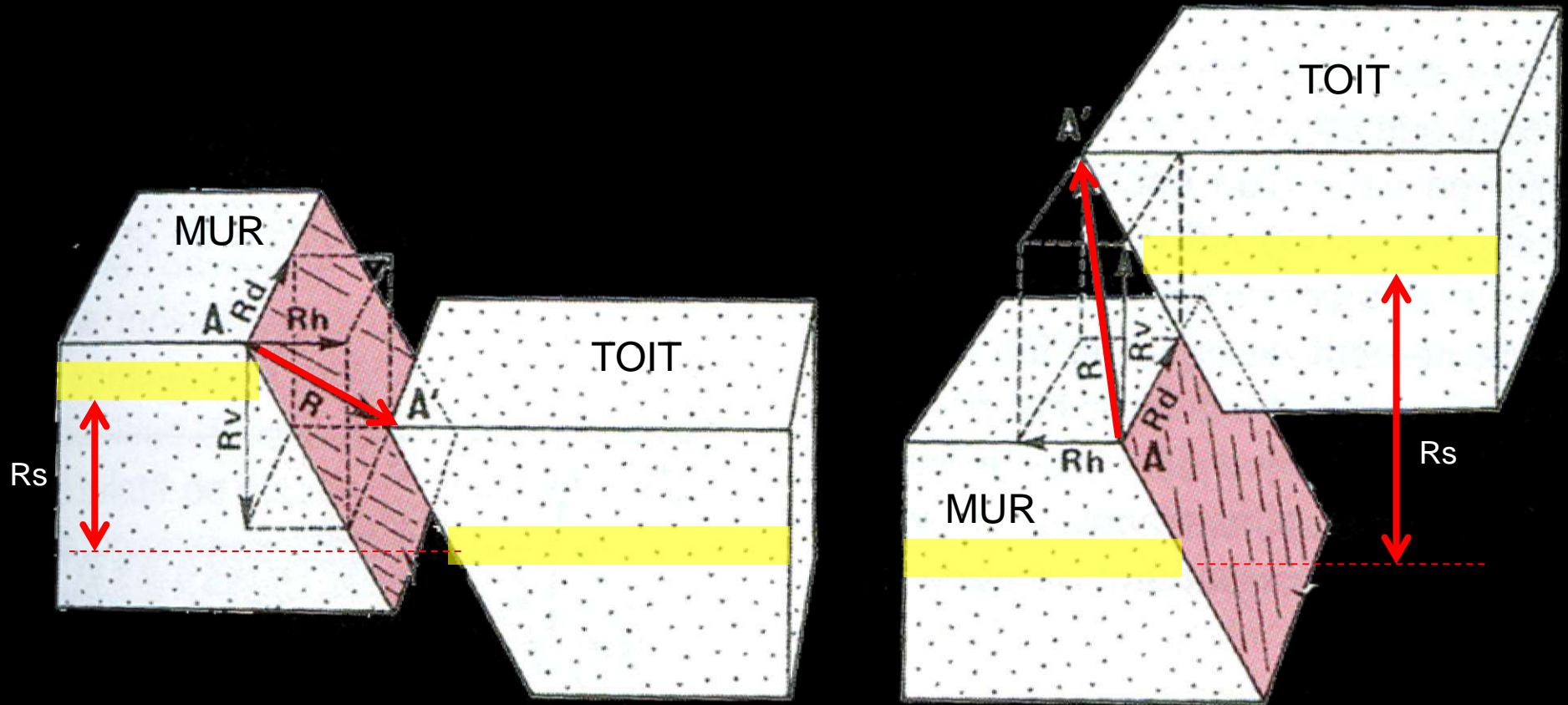
Stries



Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles



R = Rejet vrai décomposé en Rv = Rejet vertical; Rh = Rejet horizontal transversal; Rd = Décrochement

Rs = Rejet stratigraphique

Repère stratigraphique

Structures tectoniques: Les failles



Rejet stratigraphique

Repère stratigraphique

Structures tectoniques: Les failles

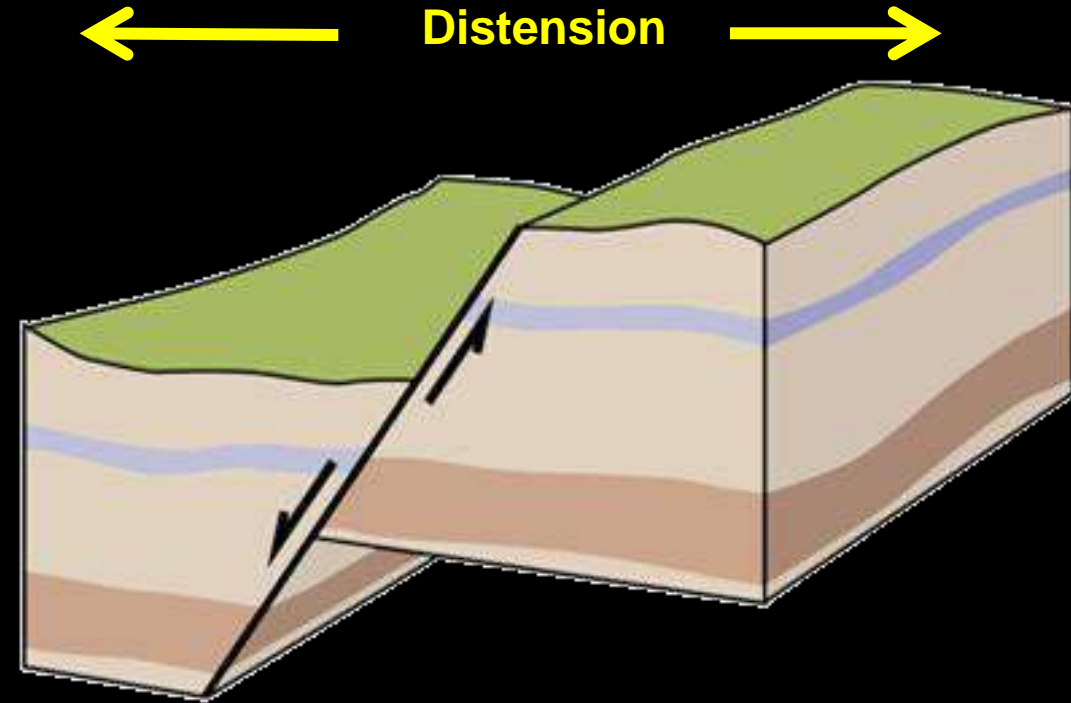


Photo MB

Structures tectoniques: Les failles

Failles Normales

Faille normale typique

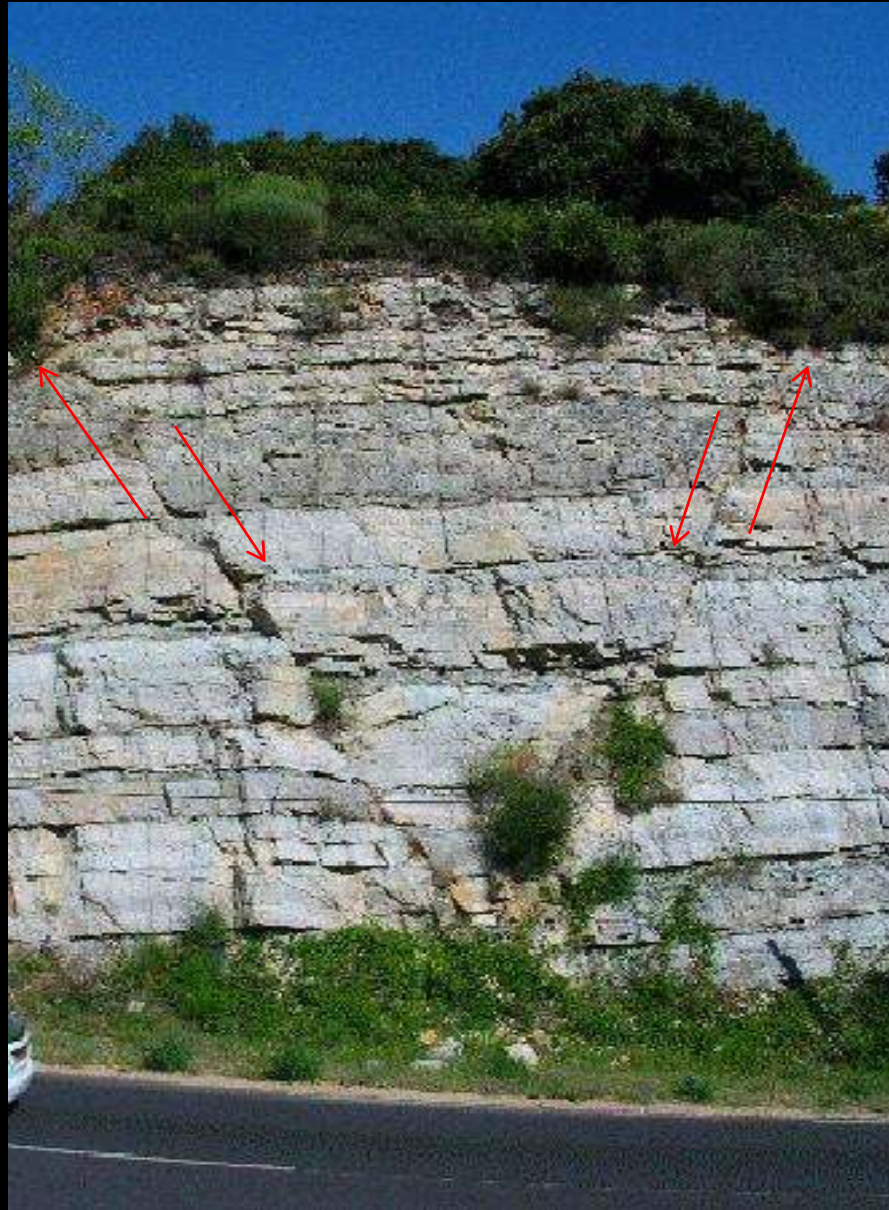


Une **faille normale** est un plan incliné ($45 - 75^\circ$) séparant deux compartiments rocheux.

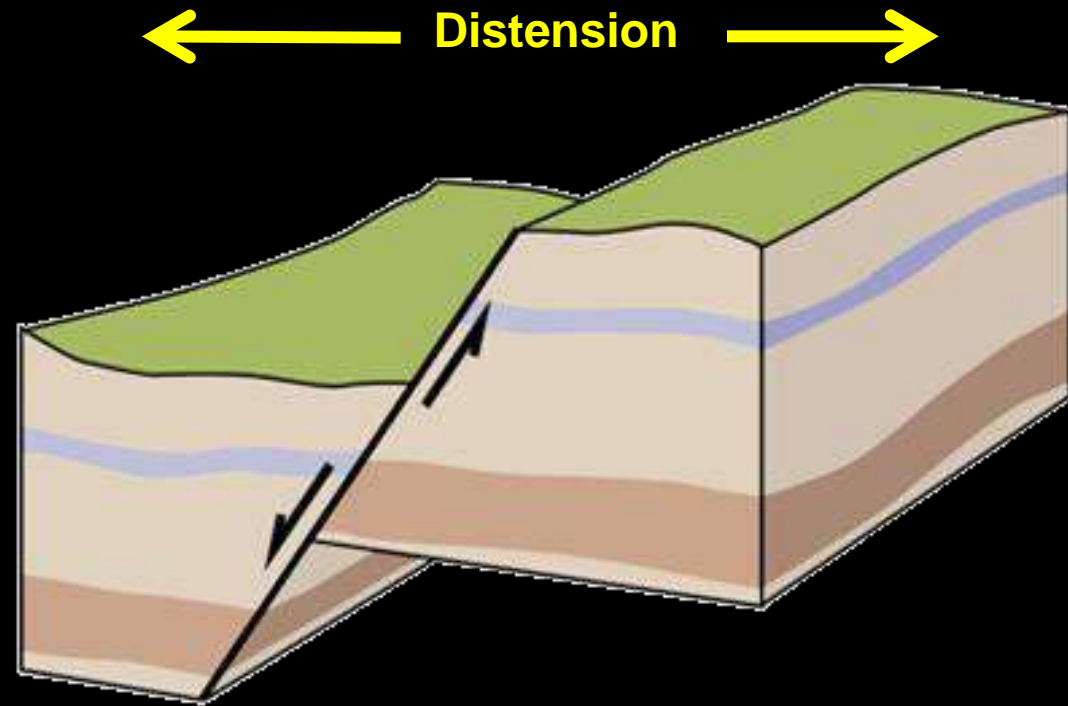
Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles



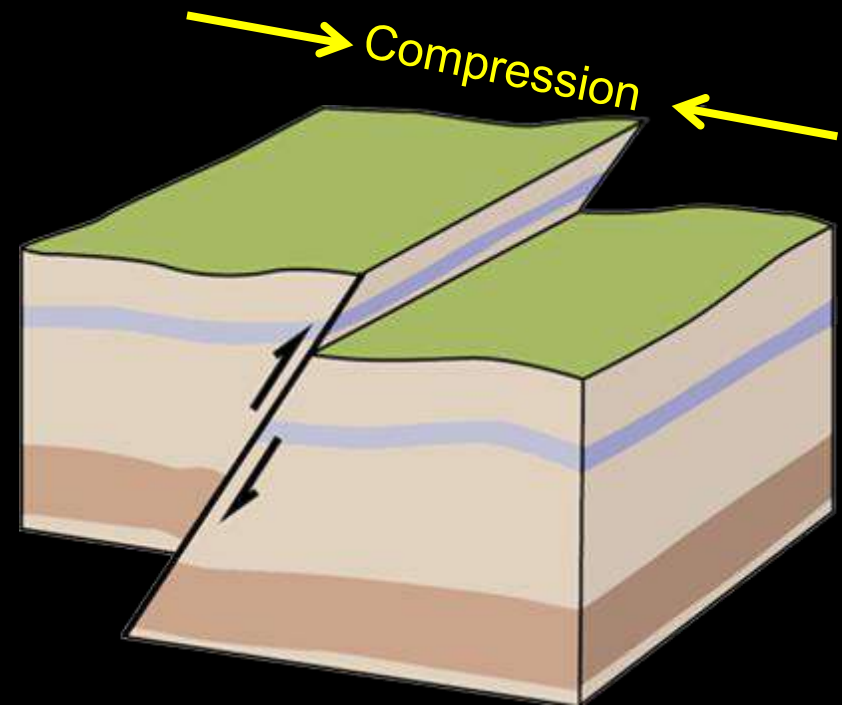
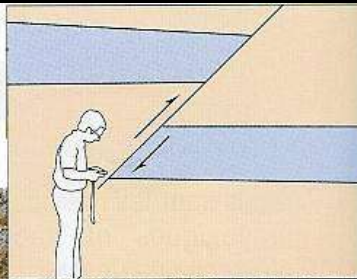
Mouvement de distension →

Dans les régions où la croûte continentale ou océanique est étirée et amincie en réponse à un écartement des plaques tectoniques: rifts continentaux, dorsales médio-océaniques, ou marges continentales passives.

Structures tectoniques: Les failles

Failles inverses

Une faille inverse

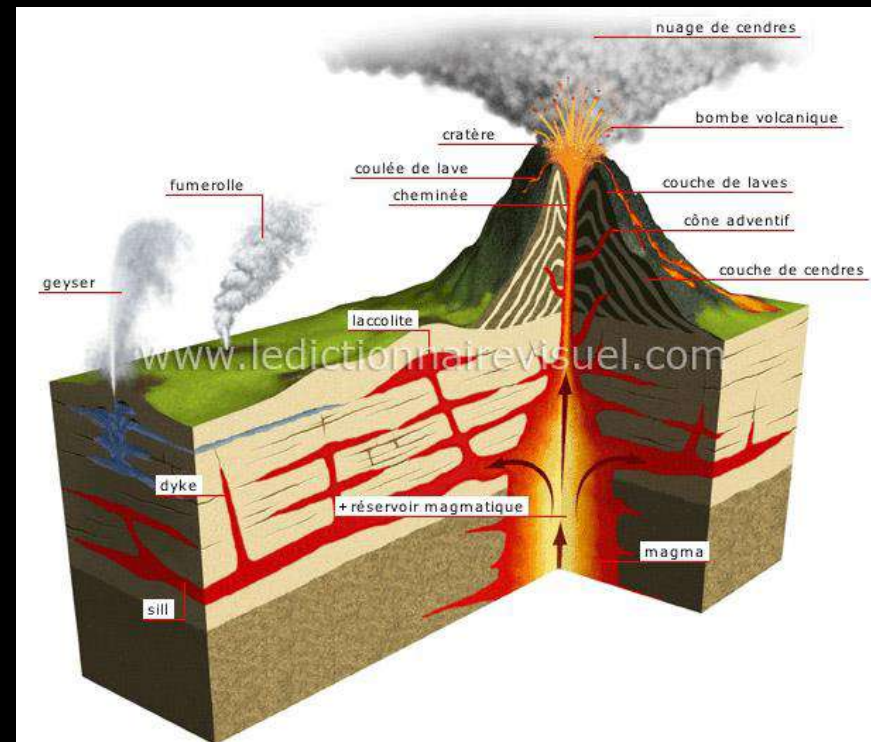


Pente PF entre 0 et 45°

Structures tectoniques: Les failles



Petites failles inverses provoquées par l'intrusion d'un dyke volcanique



Structures tectoniques: Les failles

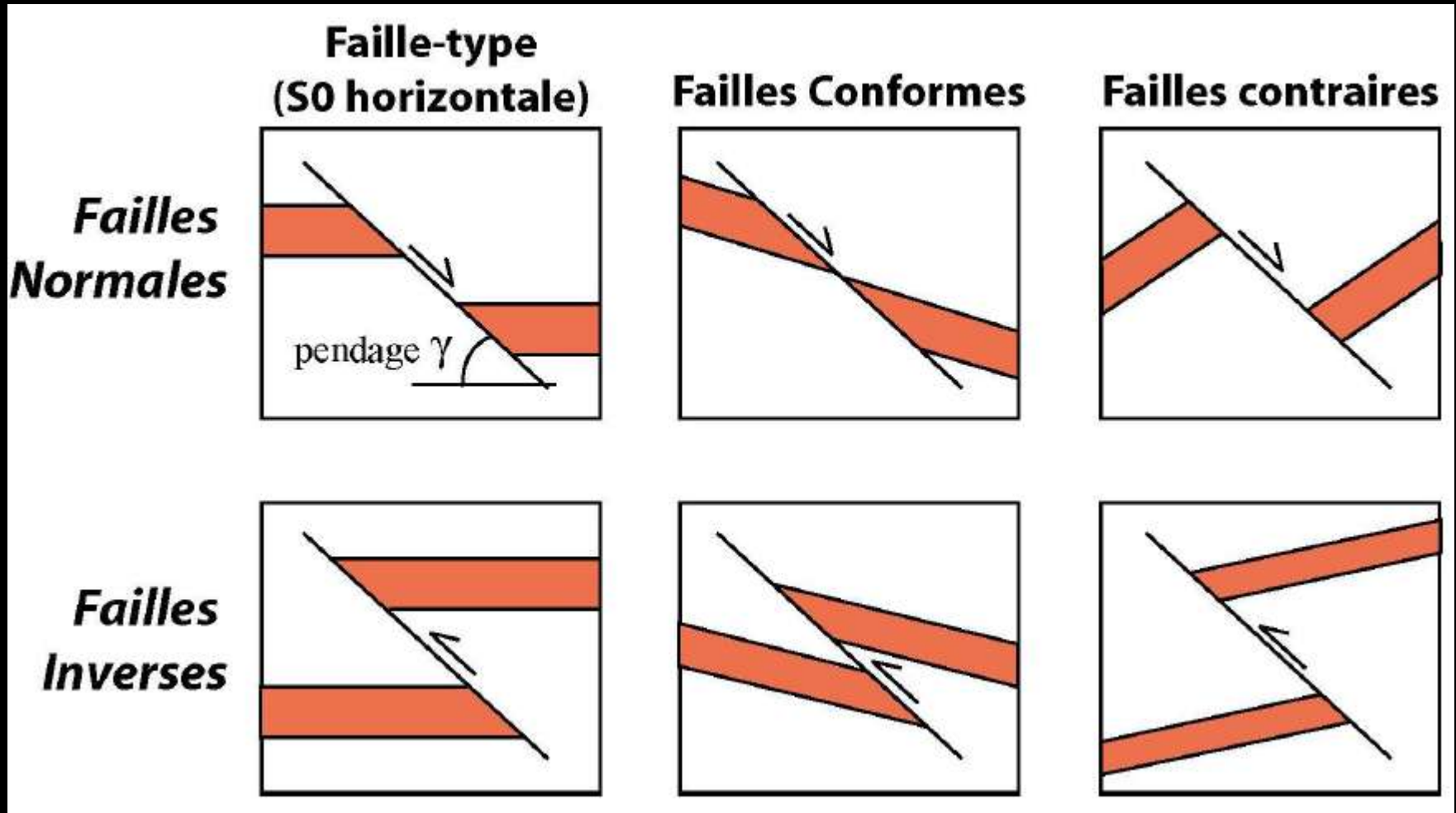


Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles

Configuration des failles normales et inverses



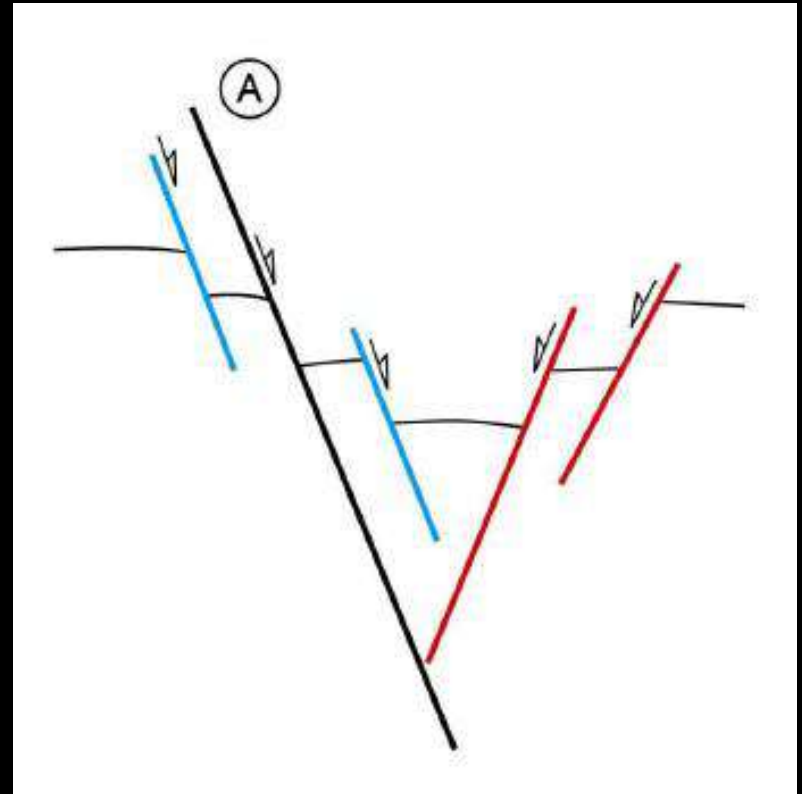
Structures tectoniques: Les failles

Configuration de failles

Faille synthétique/antithétique

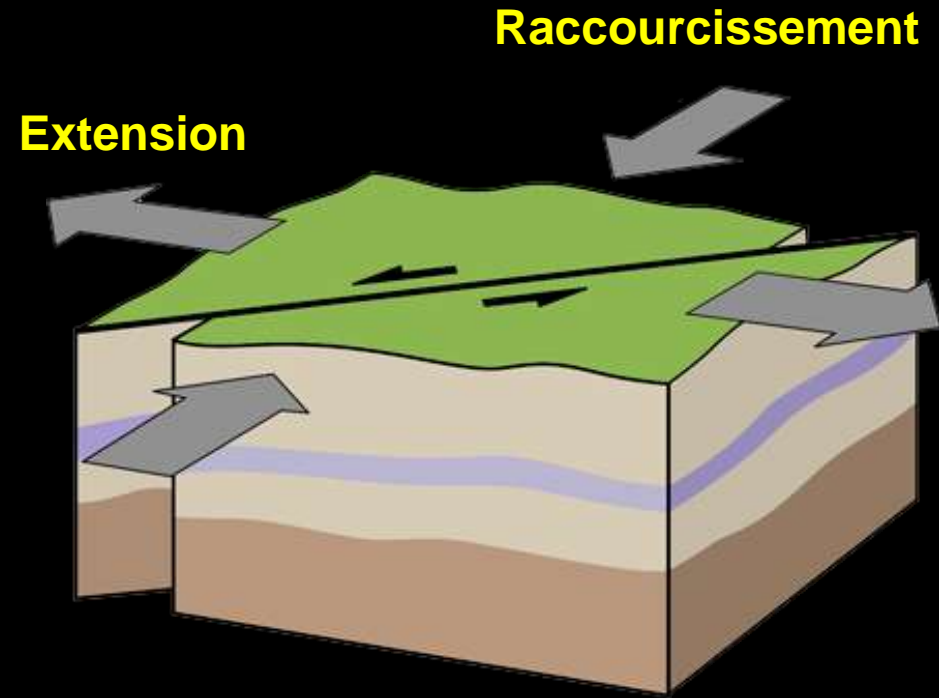
Toujours par rapport à une faille majeure (A)

- si même direction de pente que (A): F. synthétique(en bleu)
- si direction de pente opposée à (A) : F. antithétique(en rouge)



Structures tectoniques: Les failles

Décrochements



Pente PF subverticale (autour de 90°)

Structures tectoniques: Les failles



Structures tectoniques: Les failles

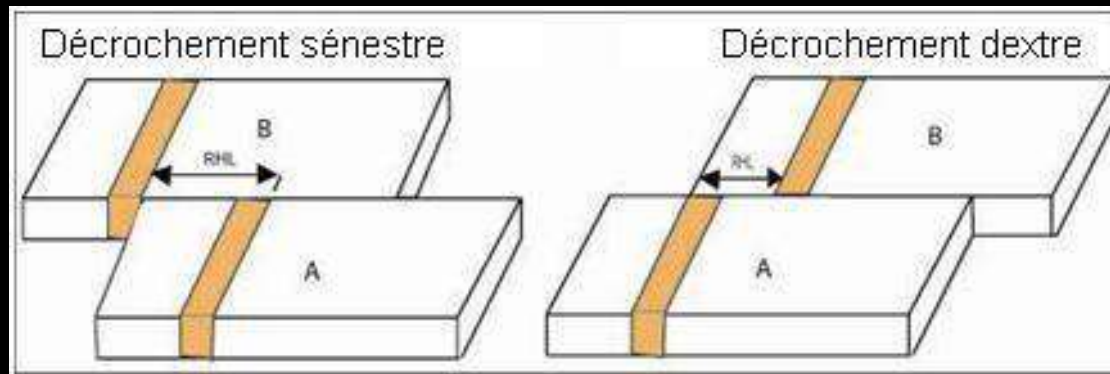


Structures tectoniques: Les failles

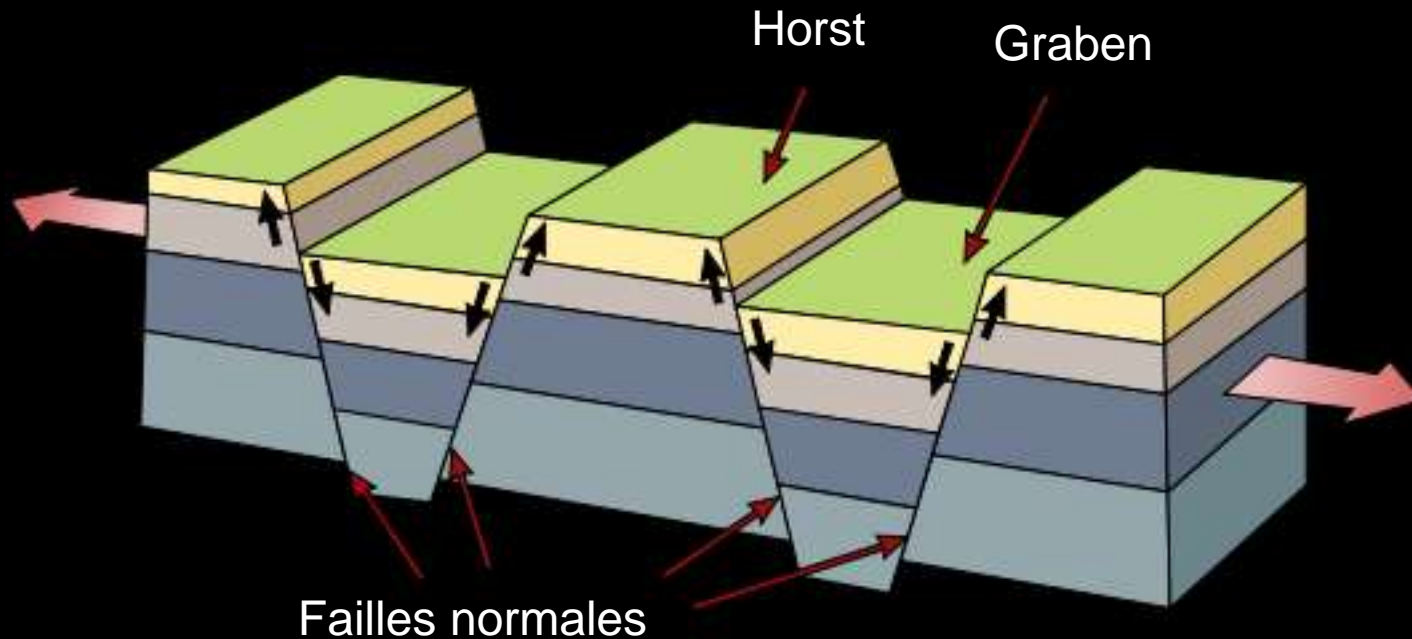
Suivant le sens du coulisement relatif, on définit deux types de décrochements:

Décrochement dextre lorsque l'observateur faisant face à la faille voit l'autre compartiment glisser vers sa droite

Décrochement sénestre lorsque l'observateur faisant face à la faille voit l'autre compartiment glisser vers sa gauche



Associations de plusieurs failles ou familles de failles



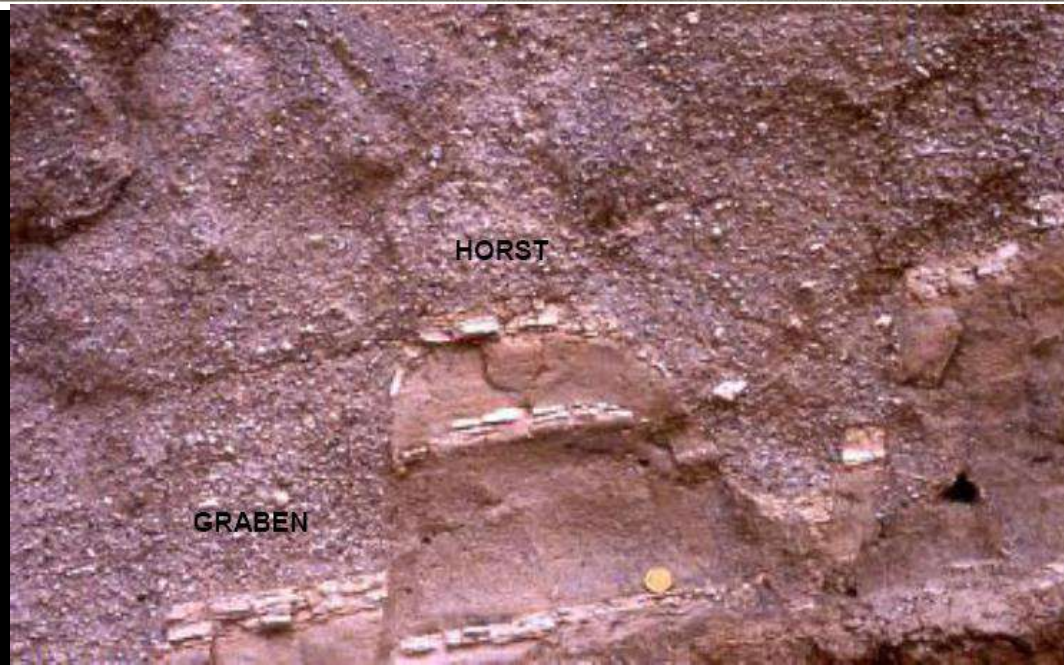
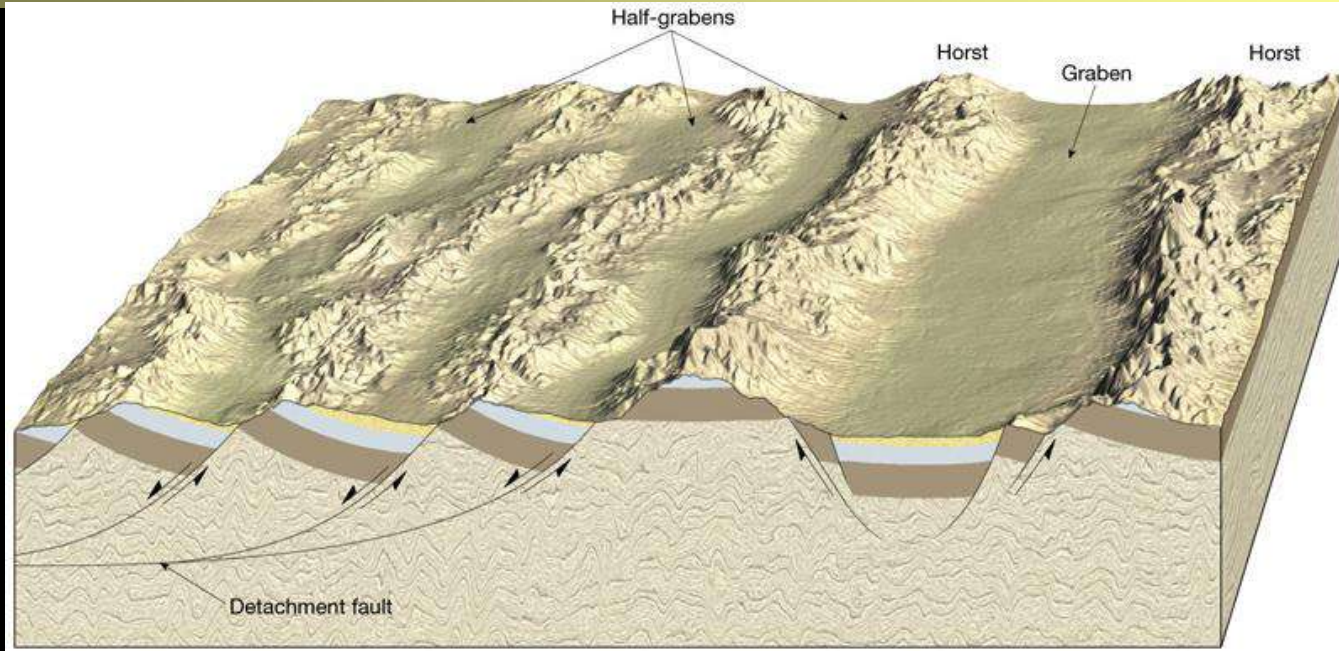
Horst: compartiment resté haut

Graben: compartiment affaissé

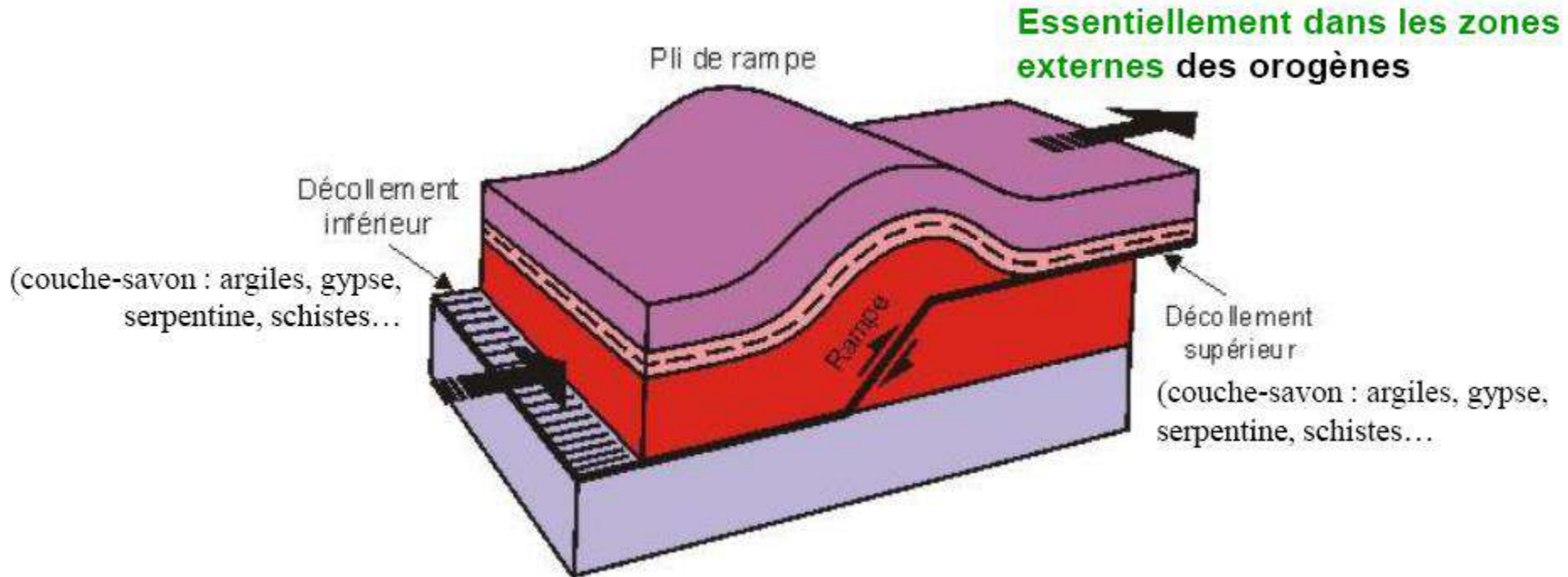
Bordés par des failles normales

Se retrouvent dans les contextes extensifs

Structures tectoniques: Les failles

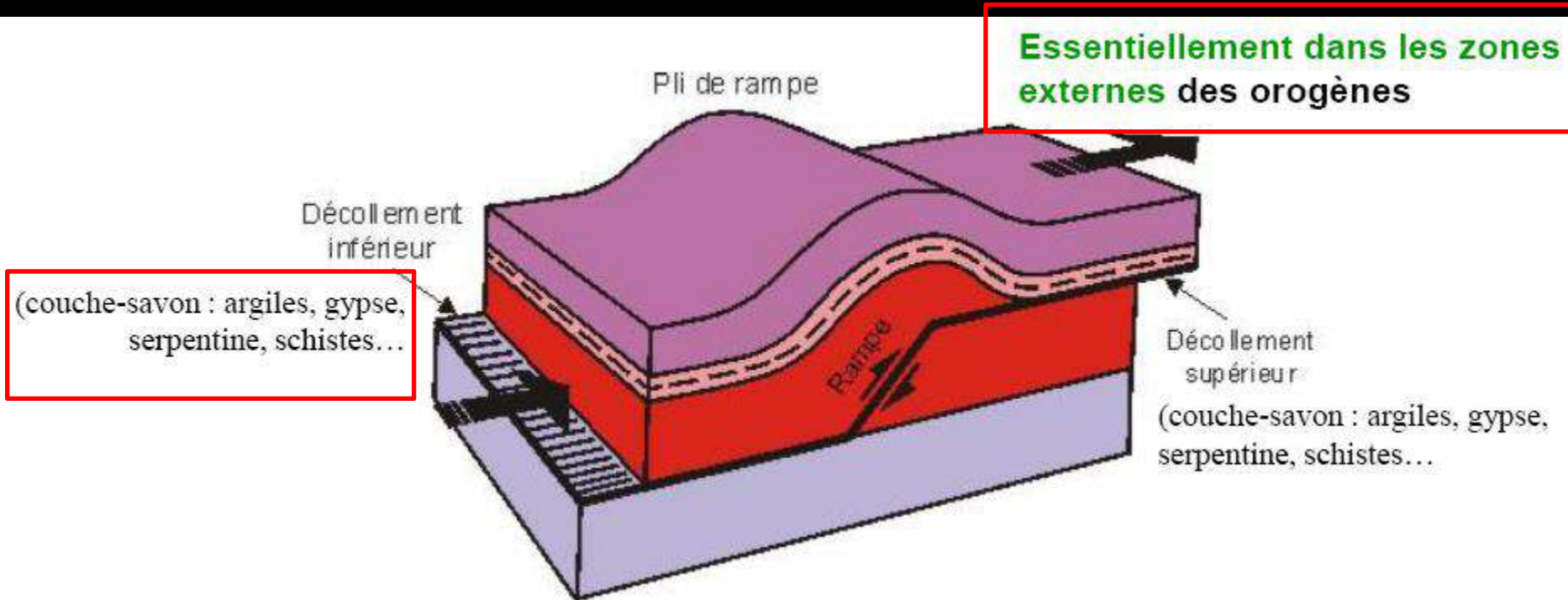


Chevauchements



Chevauchement: Mouvement tectonique conduisant un ensemble de terrains à en recouvrir un autre

Chevauchements



Présence de niveaux lithologiques permettant un décollement (plastiques) : argiles, évaporites, schistes, ... «couche-savon»

Les déplacements occasionnés peuvent atteindre plusieurs dizaines de km

Structures tectoniques: Les failles



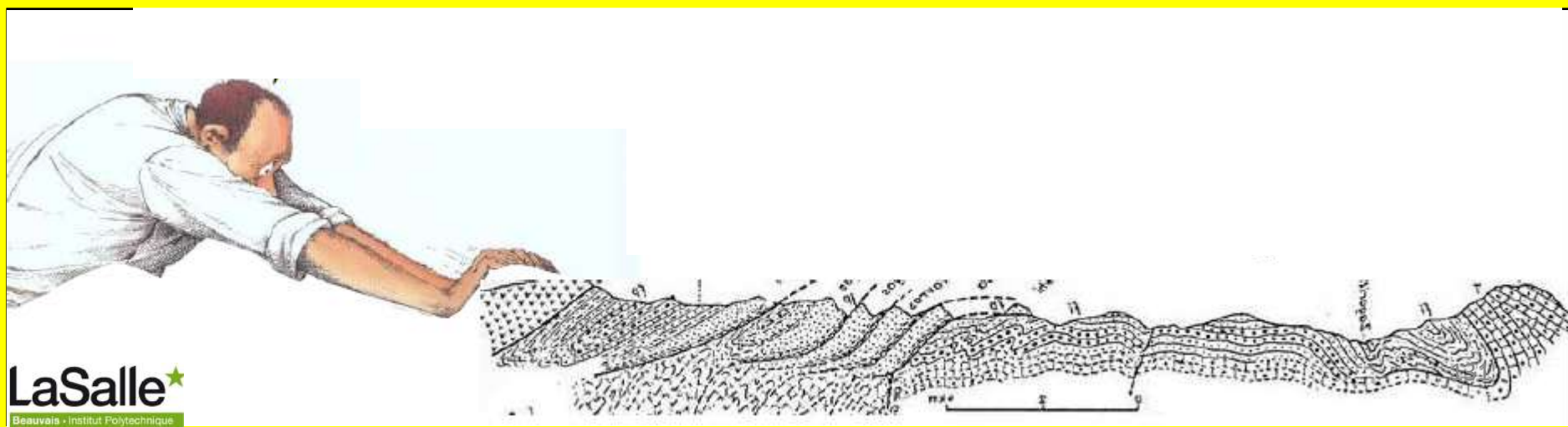
Structures tectoniques: Les failles



Photographie : Pierre Thomas

Programme

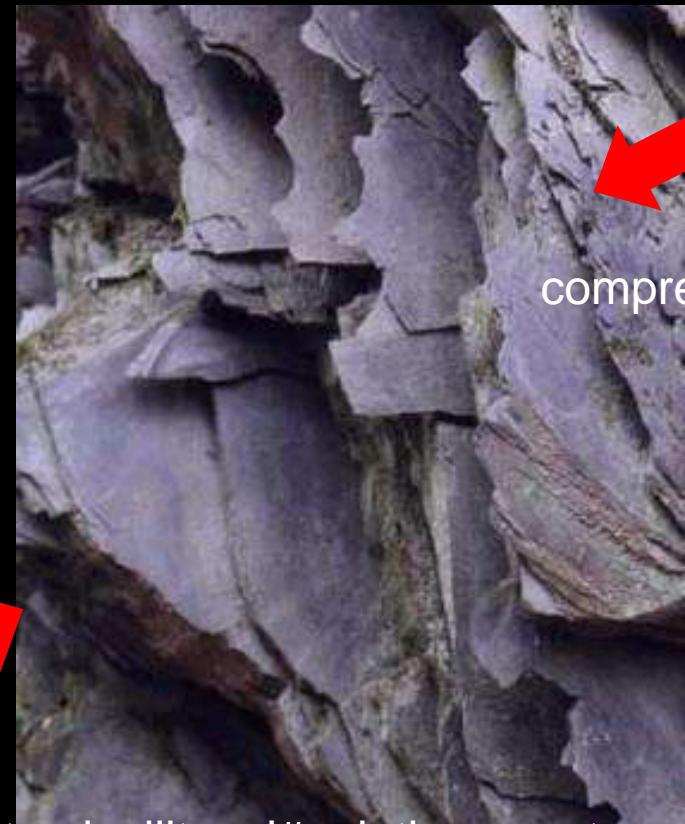
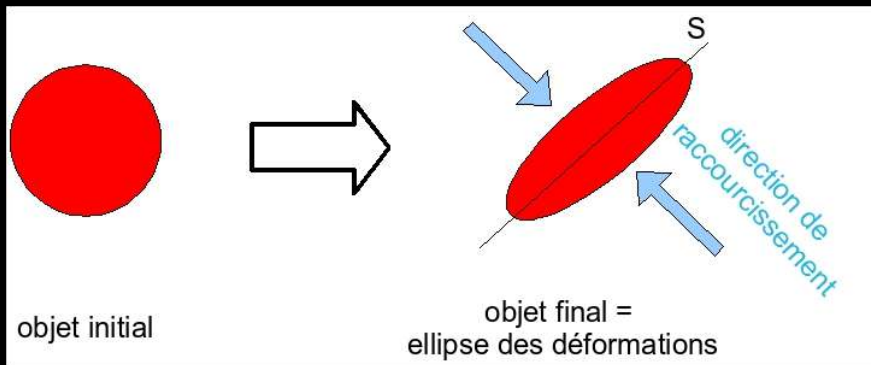
- 1- Introduction à la tectonique
- 2- Structures tectoniques: les plis
- 3- Structures tectoniques: les failles
- 4- Schistosité**
- 5- Exemples des grandes structures géologiques



Schistosité

Définition

Schistosité (S1) = débit en feuillets parallèles d'origine tectonique distincts du plan de stratification (S0).



Schistosité

Définition

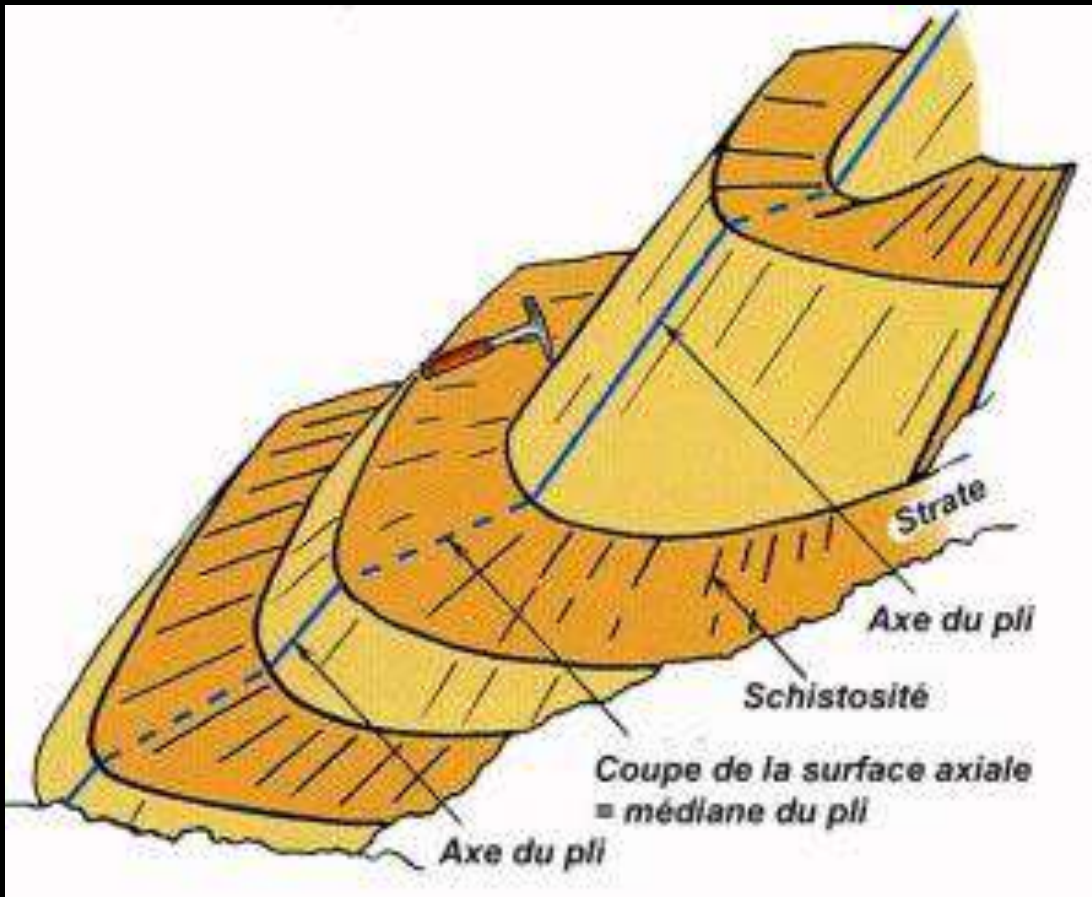
Schistosité (S1) = débit en feuillets parallèles d'origine tectonique distincts du plan de stratification (S0).



Schistosité

Définition

Schistosité (S1) = débit en feuillets parallèles d'origine tectonique distincts du plan de stratification (S0).



Schistosité

Définition

SCHISTOSITE parallèle à la stratification

Sédimentation de strates gorgées d'eau

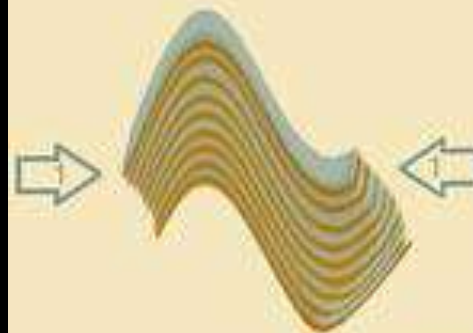


Compaction - évacuation de l'eau



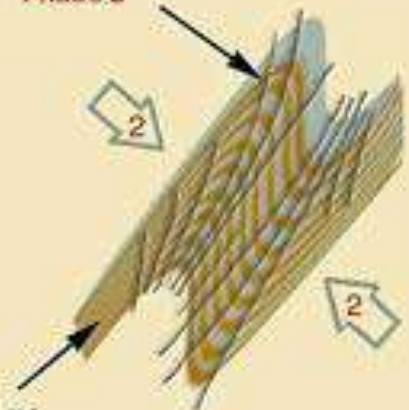
SCHISTOSITE différente de la stratification

Schistosité Phase 2



**Plissement -
écrasement**

Schistosité Phase 1



**Plissement -
écrasement
superposés**

Schistosité

Différents types de schistosité

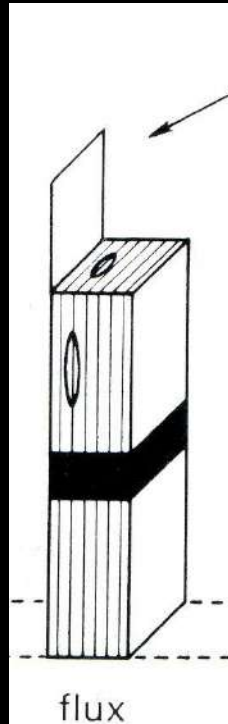
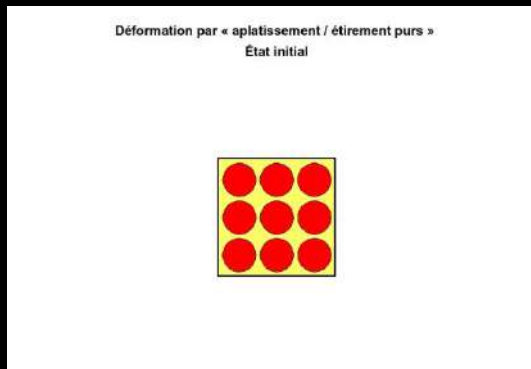
La schistosité peut correspondre :
Soit au plan d'aplatissement de la matière



1. Schistosité de flux

Déformation modérée

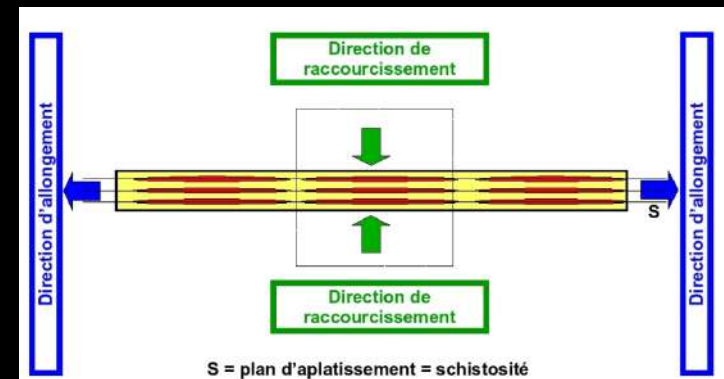
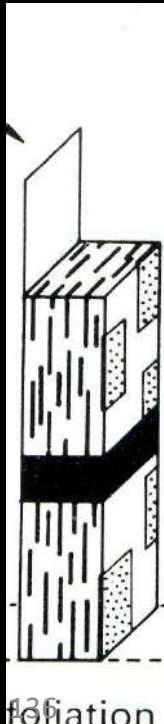
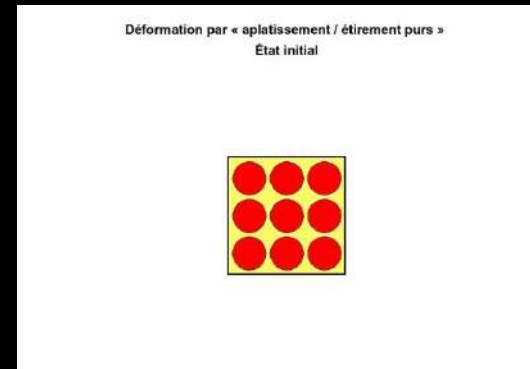
Structure mécanique dominante



2. Foliation

Déformation importante

Structure minéralogique dominante



Schistosité

Différents types de schistosité

La schistosité peut correspondre :
Soit au plan d'aplatissement de la matière



1. Schistosité de flux

Déformation modérée

Structure mécanique dominante

Faible métamorphisme



2. Foliation

Déformation importante

Structure minéralogique dominante

Fort métamorphisme

Schistosité

Différents types de schistosité

La schistosité peut correspondre :
Soit au plan d'aplatissement de la matière



1. Schistosité de flux

Déformation modérée

Structure mécanique dominante



Schistosité

Différents types de schistosité

La schistosité peut correspondre :
Soit au plan d'aplatissement de la matière



2. Foliation

Déformation importante
Structure minéralogique dominante

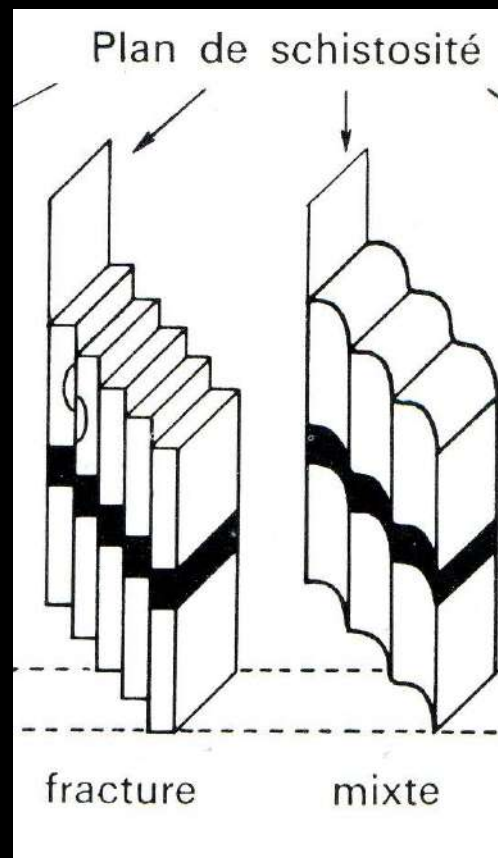


Schistosité

Soit à une multitude de microfailles ou de microplis-failles très rapprochées

➔ 3. Schistosité de fracture ou de pli-fracture

Soit à des déformations intermédiaires entre ces deux types extrêmes



Schistosité

1. Schistosité de flux

Lorsqu'une roche subit un aplatissement et si l'aplatissement dépasse un certain seuil → réarrangement important de la matière.



Fines recristallisations des minéraux orientées sous contrainte

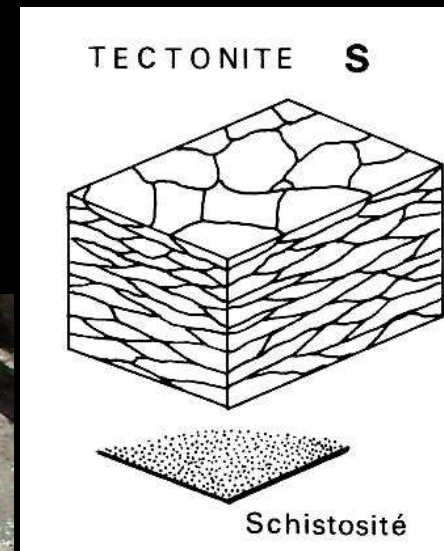


Dissolutions orientées surtout dans les roches carbonatées

Roche se clivant suivant un plan d'aplatissement



Réarrangement apparaissant continu : Schistosité de flux



Schistosité

2. Foliation

Schistosité de flux  Augmentation T° et P° → Cristallisation en même temps des minéraux de métamorphisme

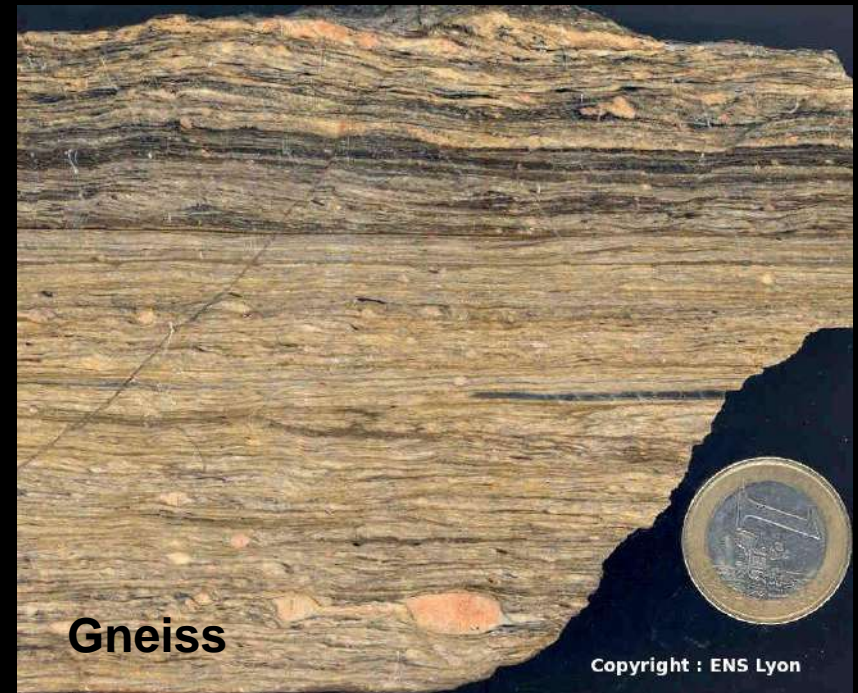
Ceux-ci naissent orientés et se disposent à plat dans la schistosité

La roche est donc formée par une succession de feuillets minéraux



Granite

Pas d'orientation préférentielle



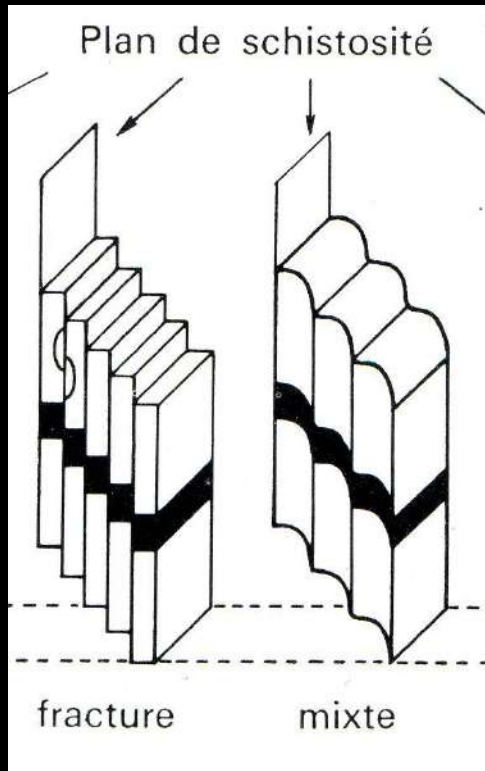
Gneiss

Réorganisation des minéraux et apparition de nouveaux

3. Schistosité de fracture ou de pli-fracture

Débit en feuillets parallèles ↔ autant de microfailles dont l'espacement et le rejet sont de l'ordre du mm ou du cm.

La schistosité de fracture = une schistosité de flux affecté de microfailles parallèles entre elles



La schistosité de pli-fracture = les microfailles sont associées à un microplissement; les cassures sont ductiles et affectent les flancs des microplis.

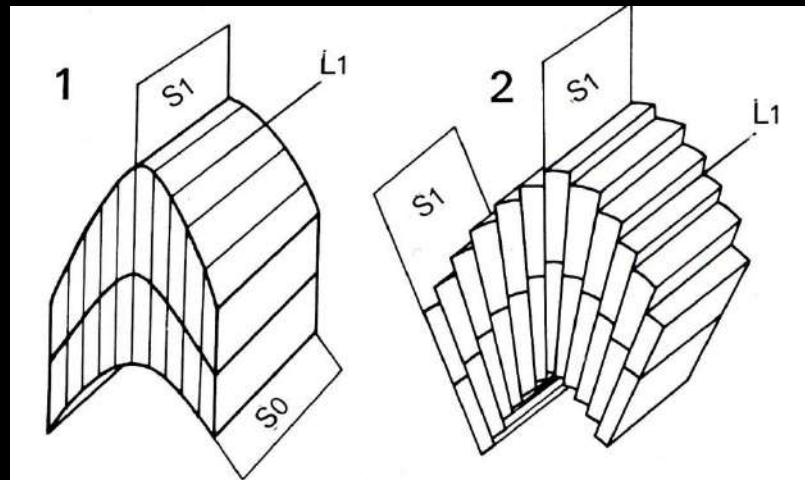
Schistosité

Relations plissement et schistosité

Quelque soit le type de schistosité et de plissement, la schistosité coïncide toujours avec le plan axial du pli; mais de part et d'autre de ce plan son allure varie suivant le type de schistosité

Allure d'un pli synschisteux

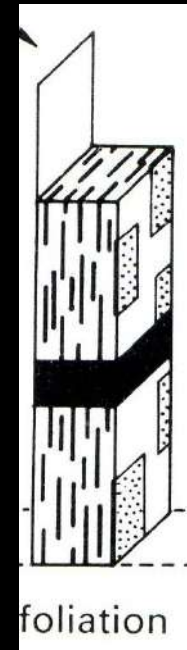
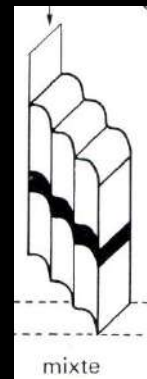
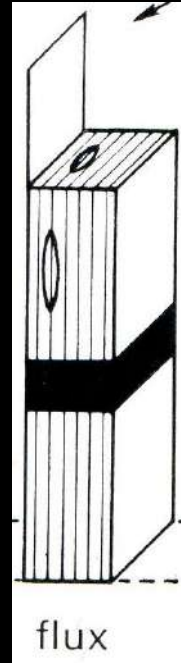
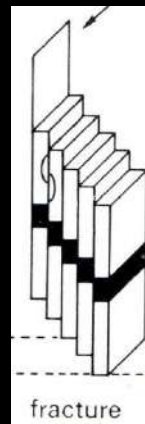
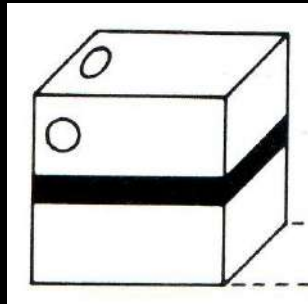
- 1- Dans le cas d'une schistosité de flux, la schistosité reste toujours parallèle au plan axial.
- 2- Dans le cas d'une schistosité de fracture, elle présente généralement une allure en éventail.

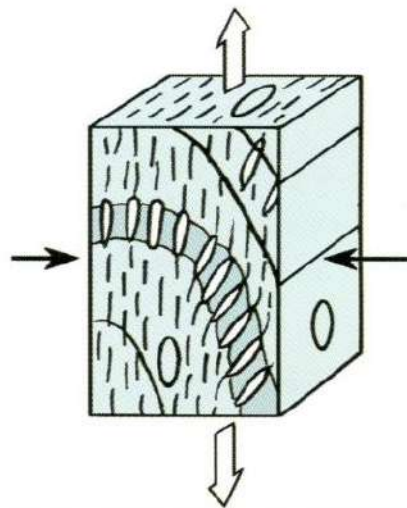
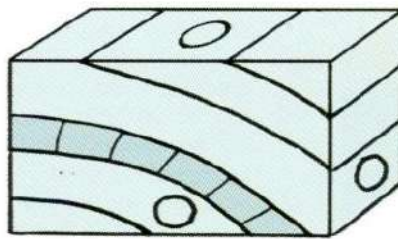


Schistosité

Relations entre les différents types de schistosité

- Le type de schistosité dépend des conditions P.T. de la déformation.
- Progressivement: passage de la schistosité de fracture des parties supérieures à la foliation des parties profondes de l'écorce.





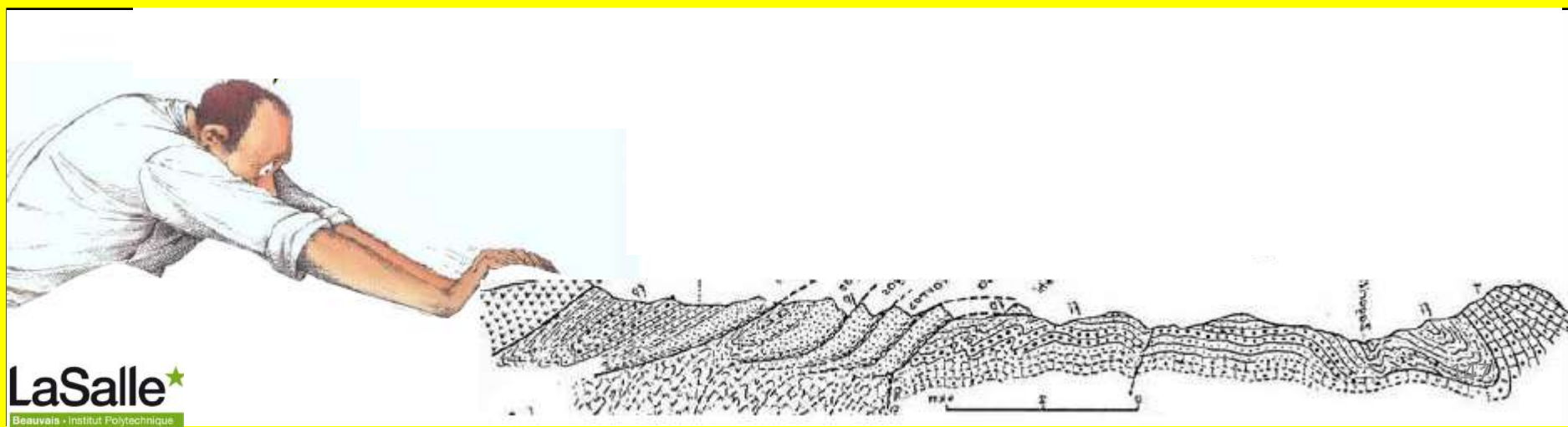
Lithologie diversifiée:
juxtaposition
de différents
types de
schistosité en
fonction de la
compétence
des roches

Schistosité de flux verticale
dans milieu incompetent
(argiles)

Schistosité de fracture en
éventail dans milieu compétent
(calcaires)

Programme

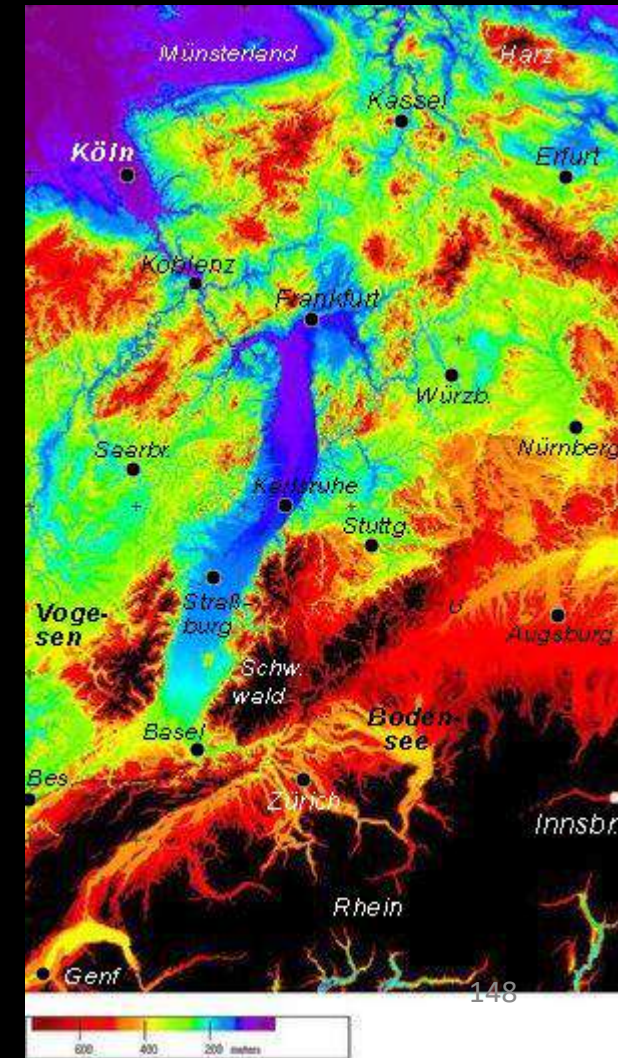
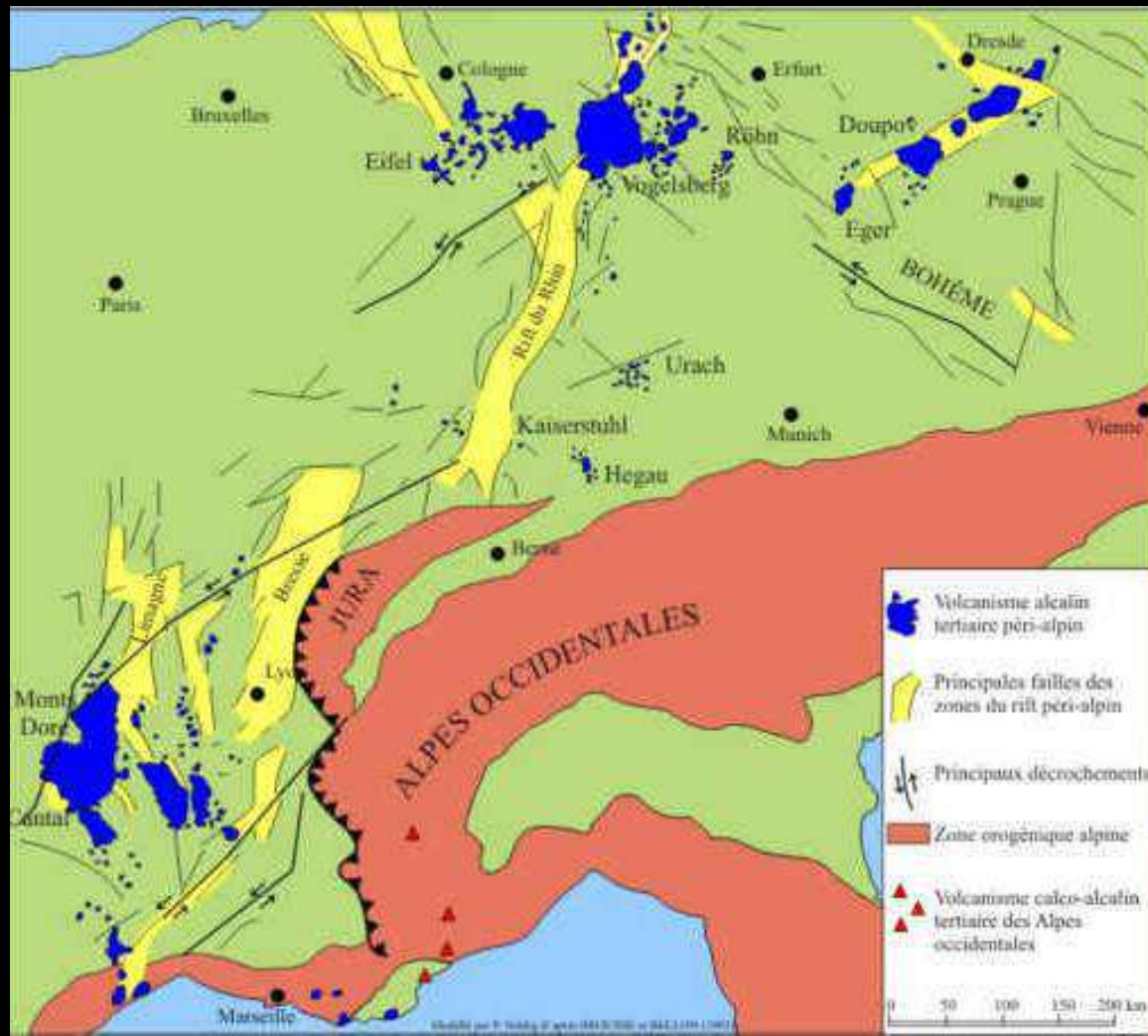
- 1- Introduction à la tectonique
- 2- Structures tectoniques: les plis
- 3- Structures tectoniques: les failles
- 4- Schistosité
- 5- Exemples des grandes structures géologiques



Exemples de grandes structures géologiques

Le Rift Ouest Européen: Fossé du Rhin ou Fossé Rhénan

Rift Ouest-européen = ensemble de fossés d'effondrement du Sud de la France au Nord de la Belgique = témoin du premier stade de la fragmentation d'un continent.



Exemples de grandes structures géologiques

De chaque côté, les crêtes forment des reliefs de 1500 à 2000 m d'altitude (ex: Vosges et Forêt Noire au Sud du fossé Rhénan)



Les Vosges

→ Foret noire

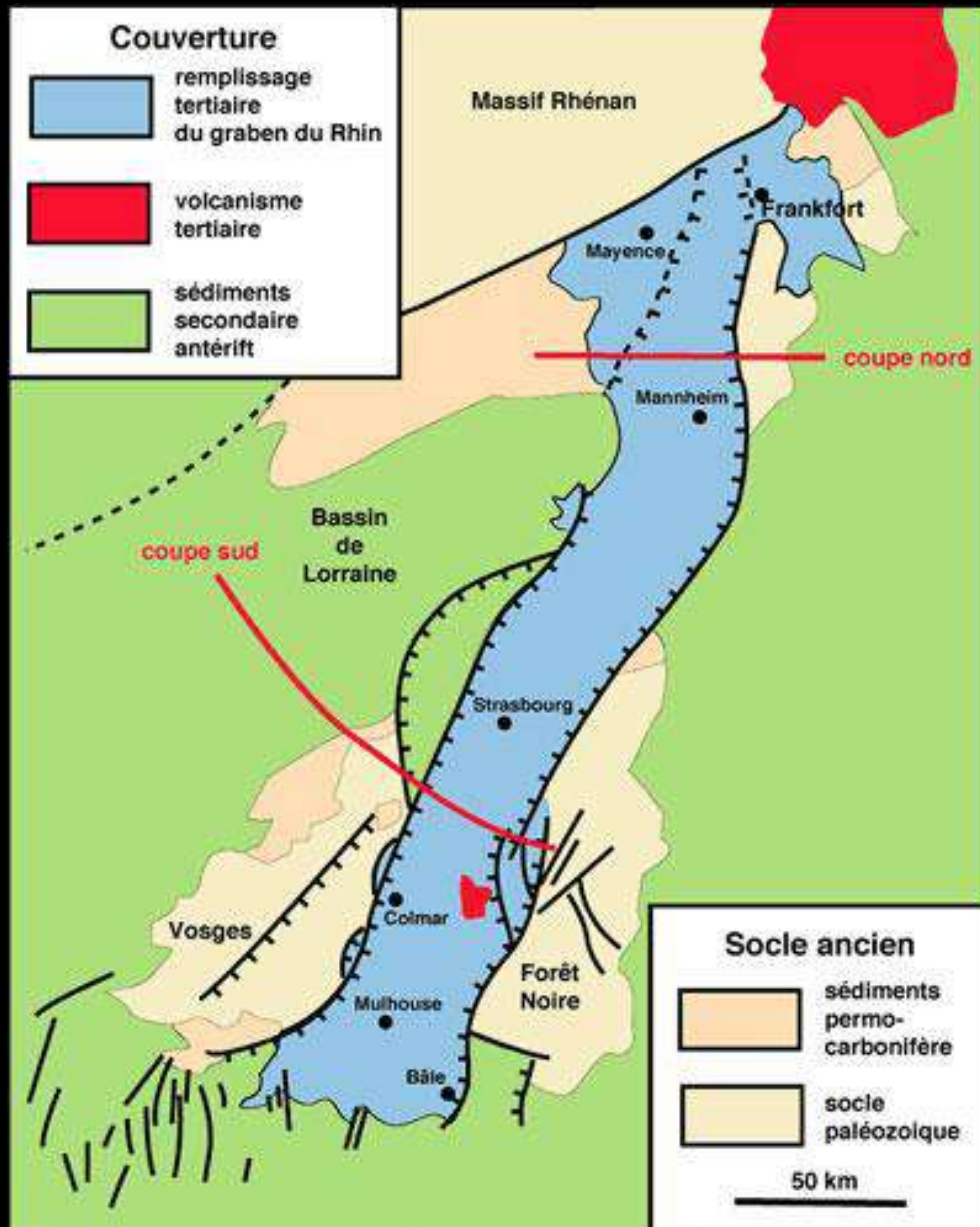
Plaine d'Alsace

Image © 2009 Aerodata International Surveys
Image © 2009 GeoContent
Image © 2009 IGN France

©2009 Google

Sud du fossé Rhénan

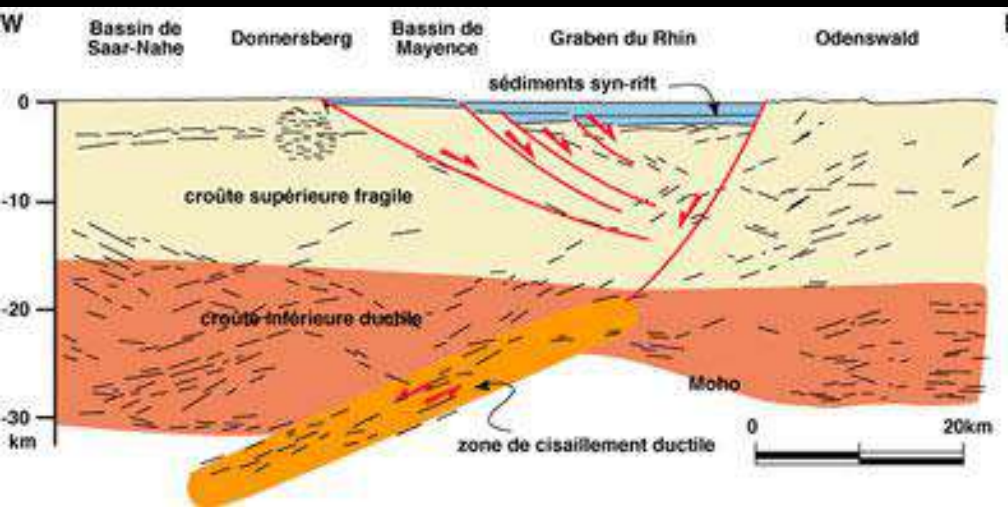
Exemples de grandes structures géologiques



Axe du fossé: couverture quaternaire ou tertiaire.

Le massif des Vosges, à l'Ouest, présente des terrains paléozoïques.

Exemples de grandes structures géologiques

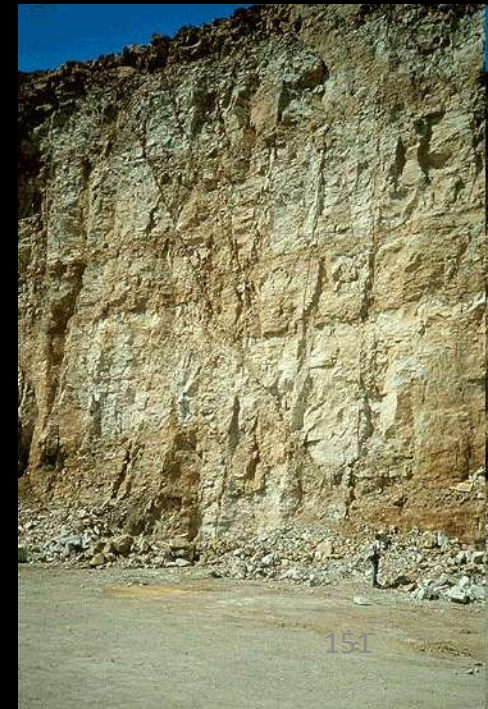
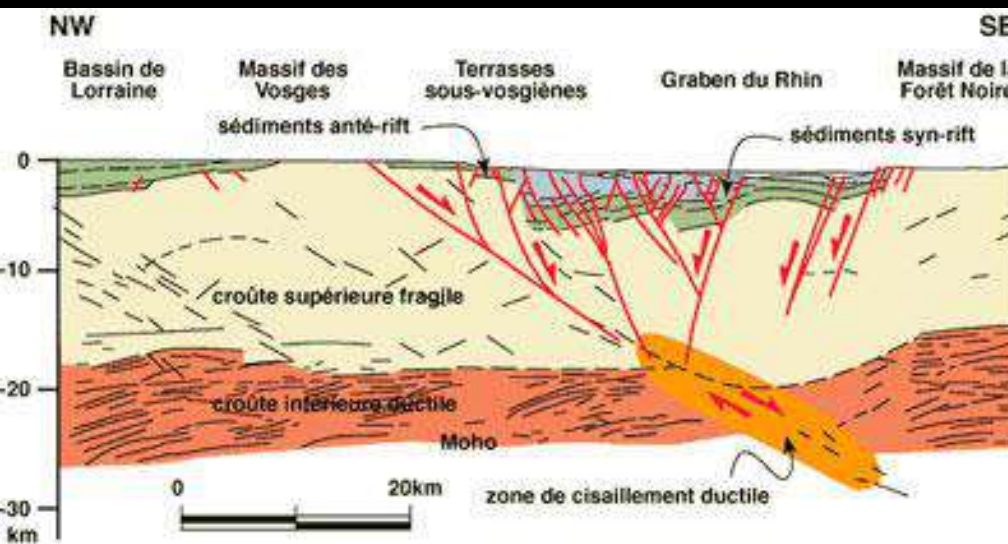


Le fossé est constitué de petits horsts et grabens.

Les failles normales:

- Pendages de 60° à 80°
- Rejets: 200 m à 1800 m.

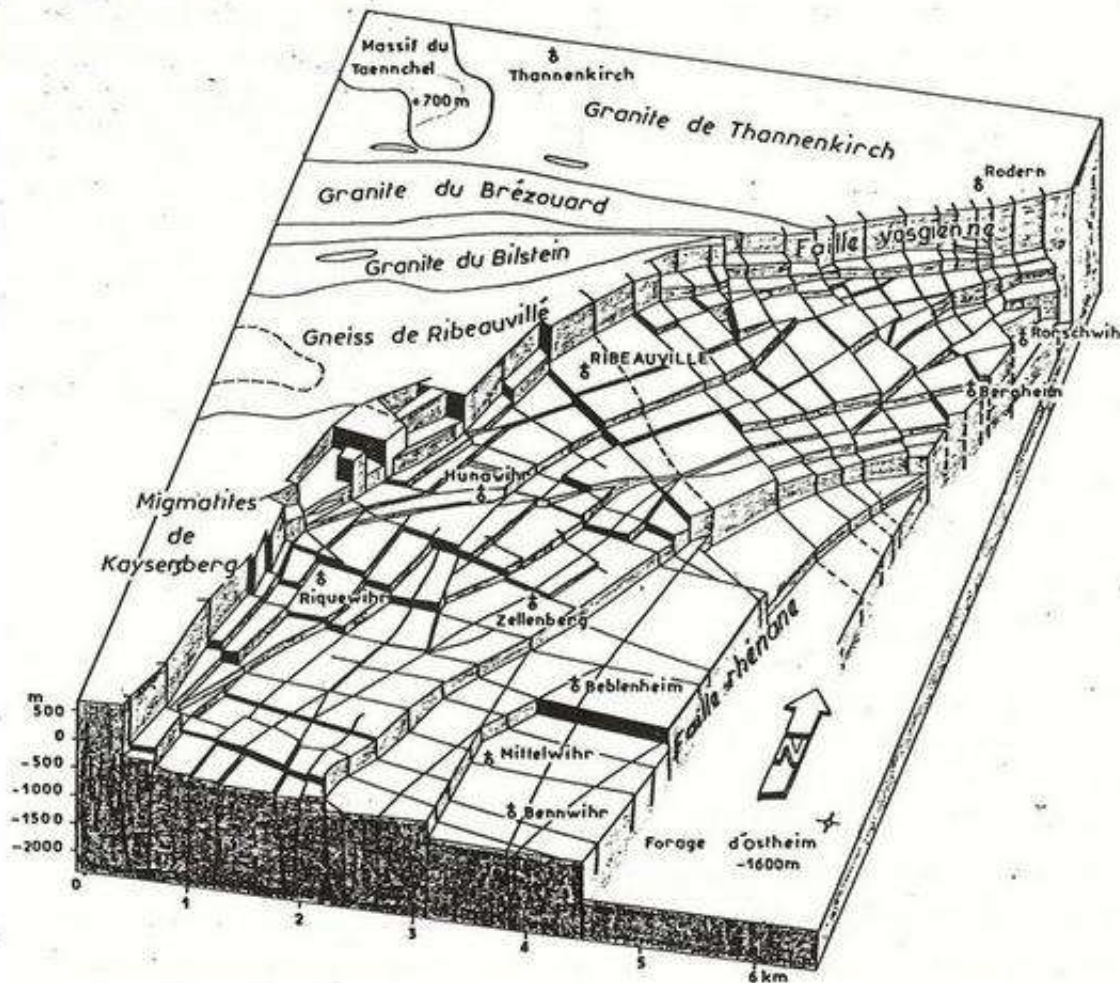
Subsidence max. du fossé ~ 5 km



Exemples de grandes structures géologiques

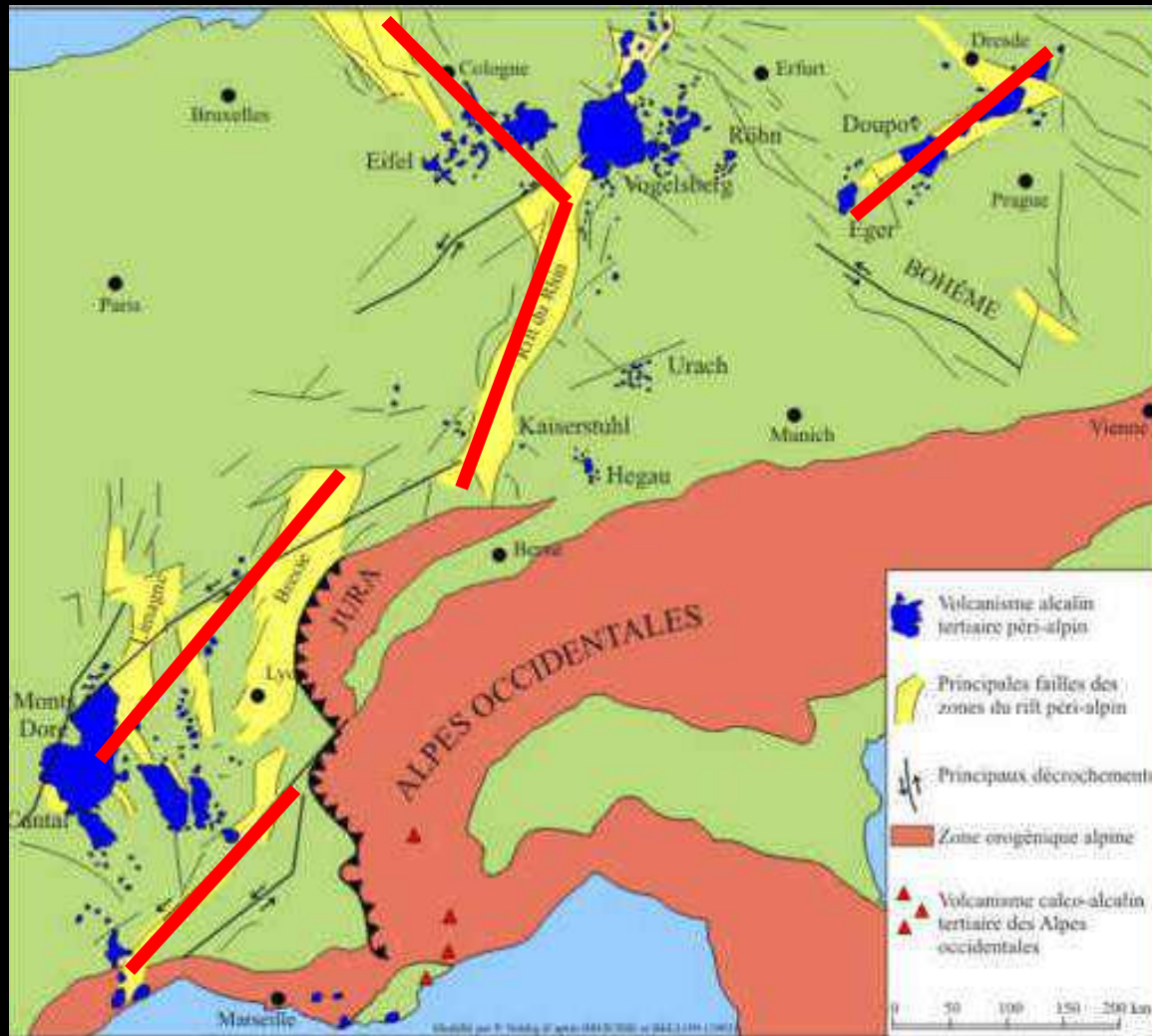
Ribeauvillé : Bloc diagramme

Bloc diagramme de la partie Nord du champ de fractures de Ribeauvillé (d'après J-P von Eller et coll.)



Réseau complexe de failles longitudinales (N10-N45), recoupées par des failles transversales (N90-N150)

Exemples de grandes structures géologiques

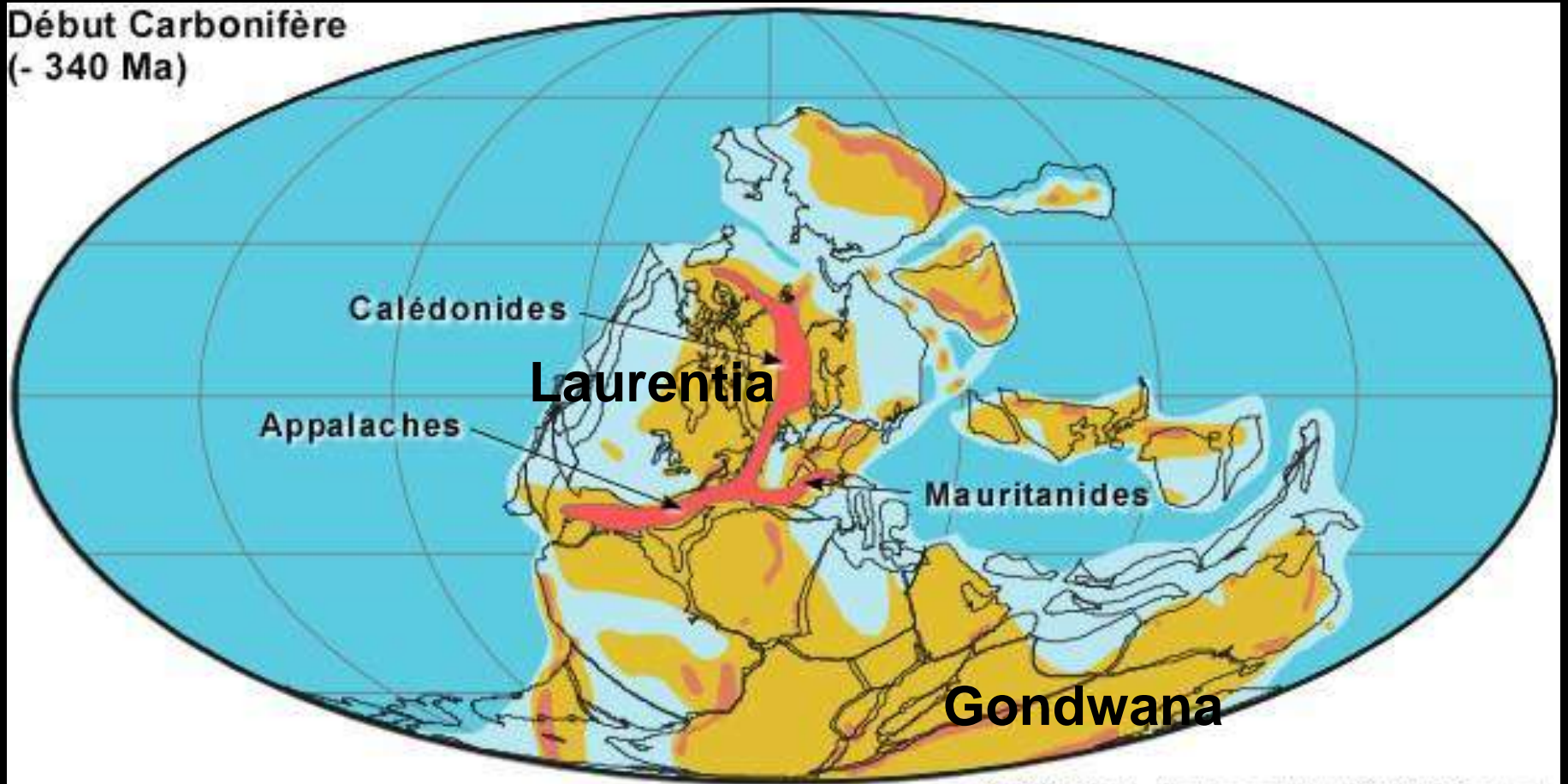


Placement sur un axe de distension, qui au Tertiaire, traversait l'Europe, de l'Allemagne à la basse vallée du Rhône.

Exemples de grandes structures géologiques

Histoire primaire des Vosges

Début Carbonifère
(- 340 Ma)



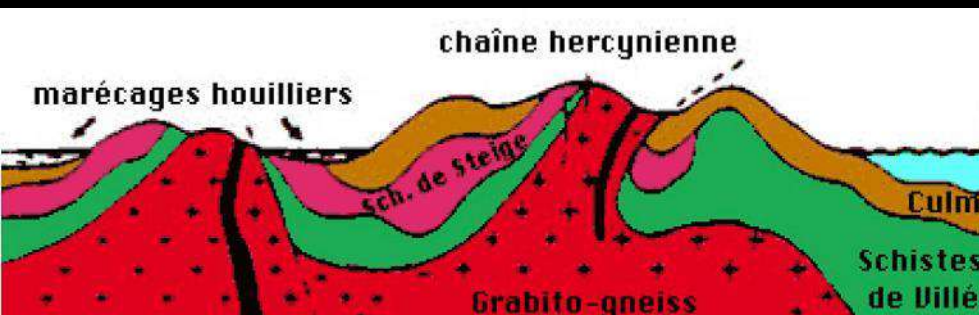
© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

Exemples de grandes structures géologiques

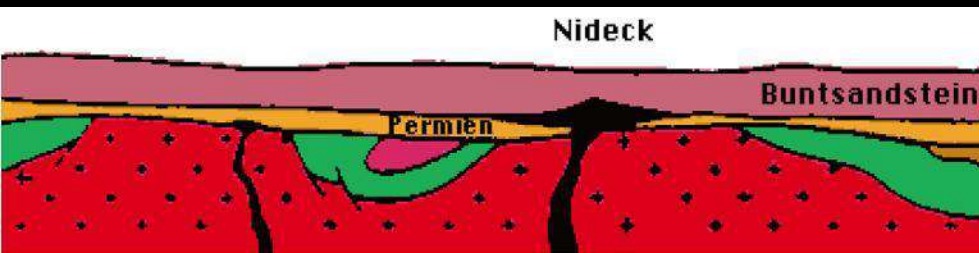
Histoire primaire des Vosges



Anté-hercynien = une chaîne de montagne s'élevait à l'emplacement des Vosges



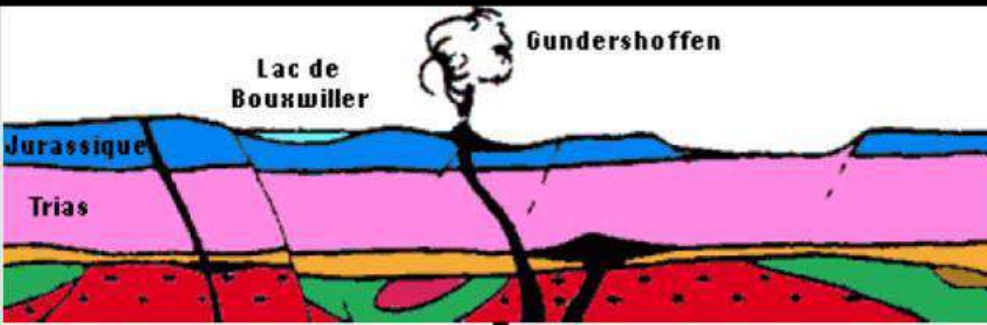
Hercynien (Carbonifère - Permien) = formation Vosges + dépôts de matière organique (charbon et pétrole)



Permien = érosion de la chaîne et 1ers dépôts du Bassin de Paris

Exemples de grandes structures géologiques

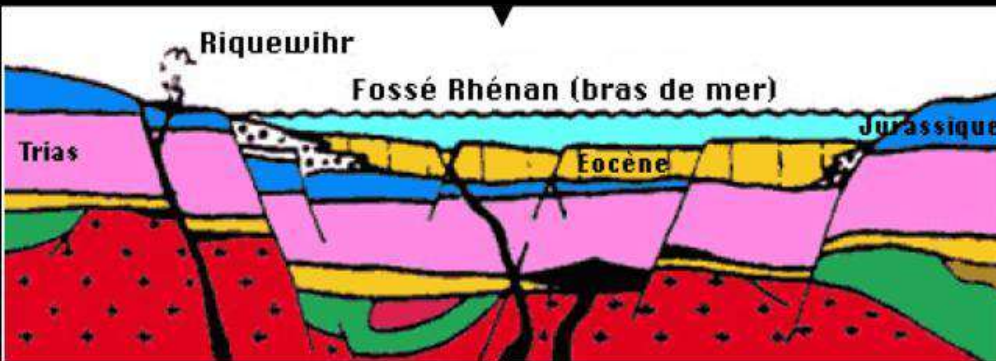
Evolution des Vosges et formation du fossé Rhénan



Oligocène:

- Extension dans la plaine d'alsace

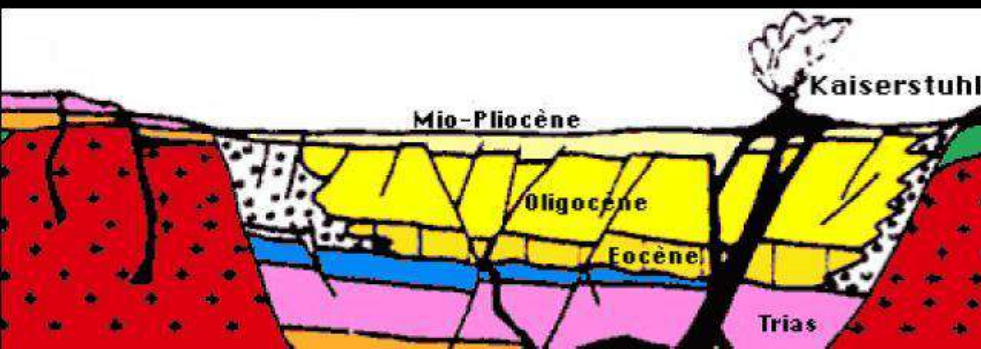
- Rifting



Eocène/Miocène

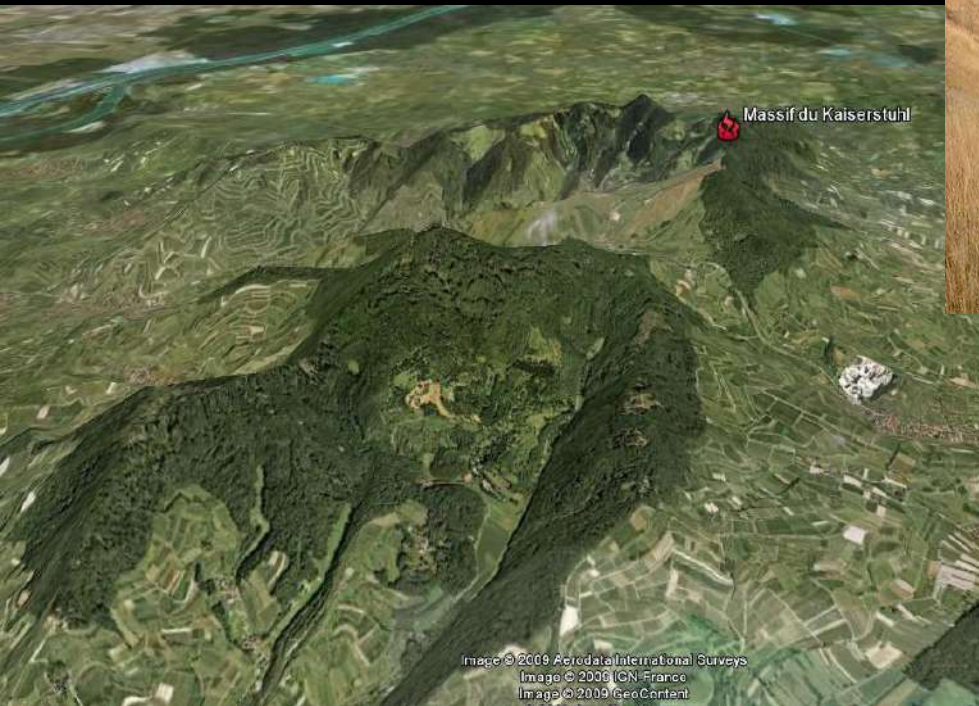
– Volcanisme

– Soulèvement des Vosges et de la Forêt Noire par la surrection alpine
→ retrait de la mer → formation océan avortée



– Erosion des reliefs

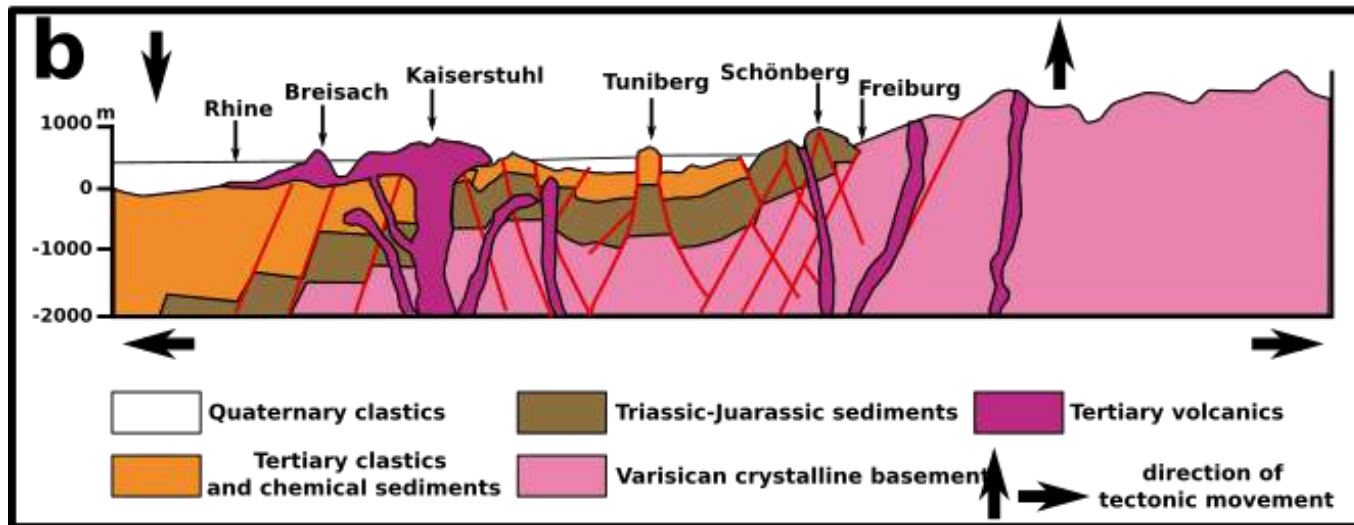
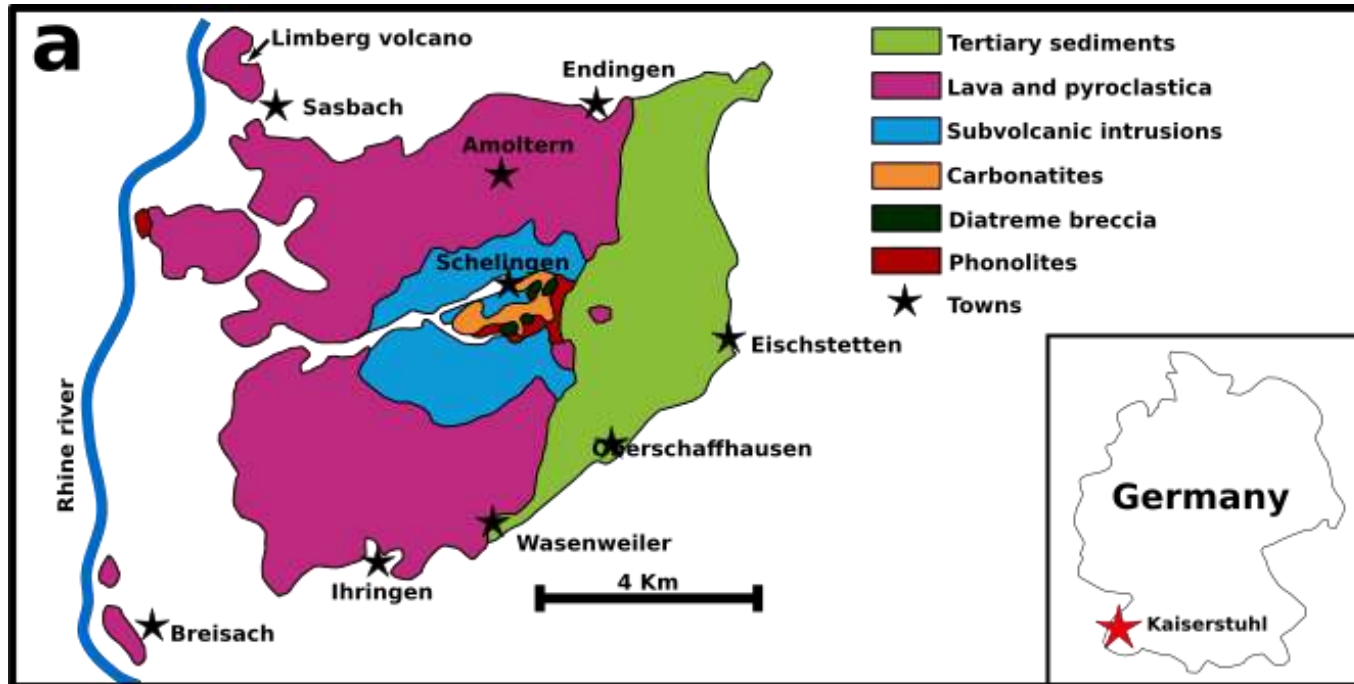
Exemples de grandes structures géologiques



tephrite

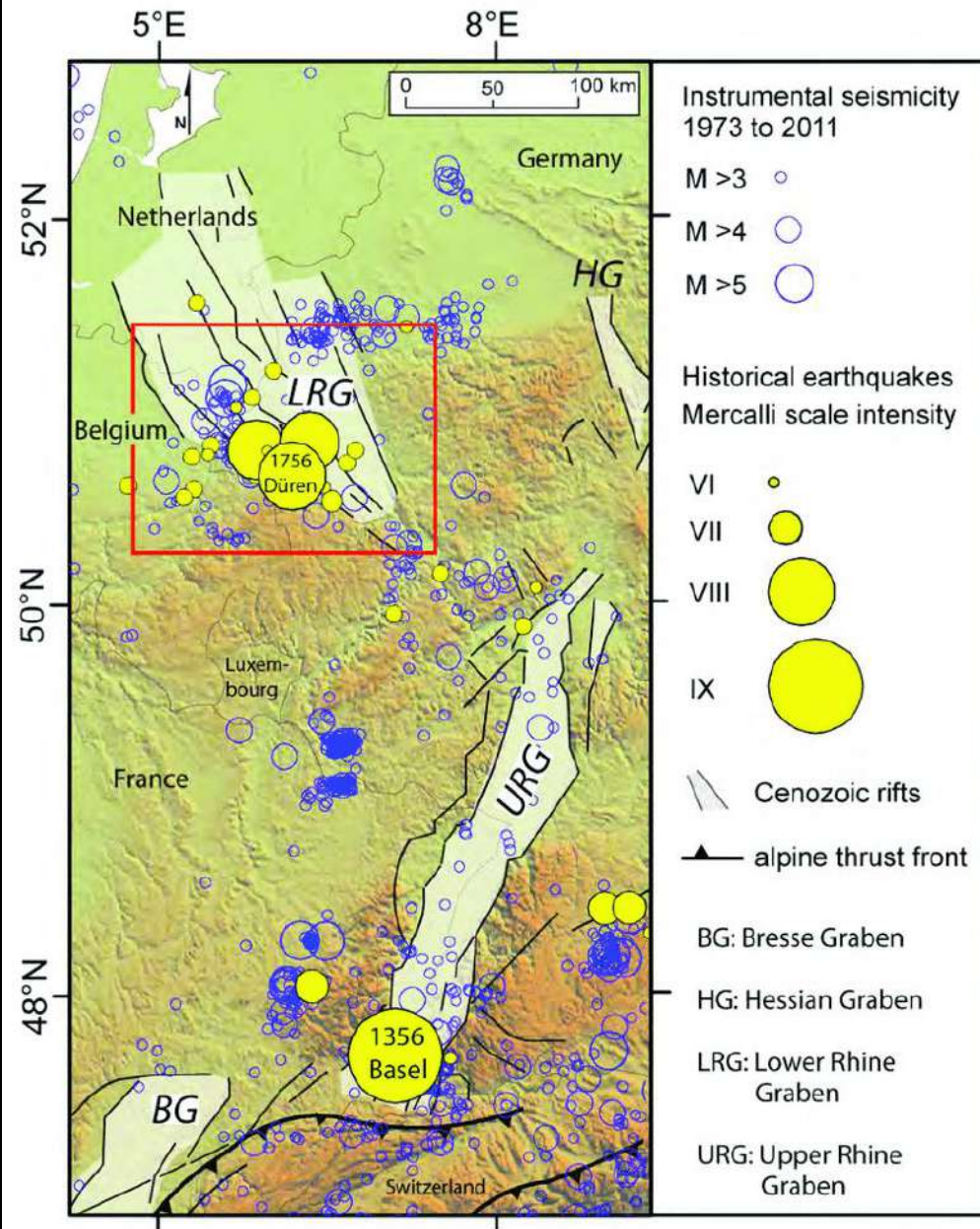
Le massif du Kaiserstuhl: actif au Miocène entre -25 et -16 millions d'années

Exemples de grandes structures géologiques



Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

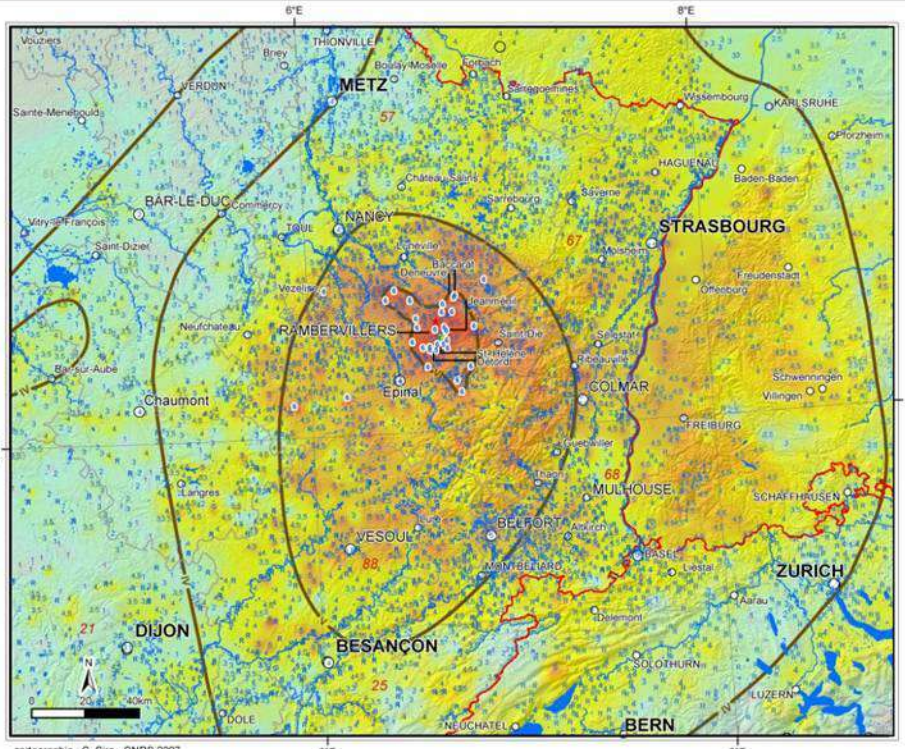


Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

Ex: Séisme de Rambervillers

Date = 22 Février 2003
Magnitude = 5.4



cartographie : C. Sira - CNRS 2007

intensités macrosismiques EMS98
valeur communale

7	intensité VII (dégâts)
6	intensité VI (dégâts légers)
5	intensité V (forte secousse)
4	intensité IV (largement ressenti)
3	intensité III (faiblement ressenti)
2	intensité II (à peine perceptible)
1	intensité I (non perceptible)
3.5	intensité III ou IV
8	ressenti - intensité indéterminée

isoséiste

épicentre instrumental

- ★ RéNaSS
- ★ LDG
- ★ BCSF
- réseau local

frontière

limite départementale

numéro du département

hydrographie

©Copyright - BCSF - www.francosisme.fr
Données macrosismiques : Réseau SISEL/BCSF
Données macrosismiques : BCSF / LGND / SED-SSS / LGR / ORS
fond de carte : Pleiades / GeoFabrik/1998
©IGN Paris 2001 - Autorisation n°10 10004

Estimation of intensity
W. Brügge (1), M. Guter (2), P. Kato-Kishimoto (3),
C. Sira (3), C. Steinhilber (4), Hans-Blasch (5)
LGRB (1), SED-SSS (2), BCSF (3), LGR (4), ORS (5)
Date of issue: 14.03.2008 scale: see footnote
general delivery without commitment

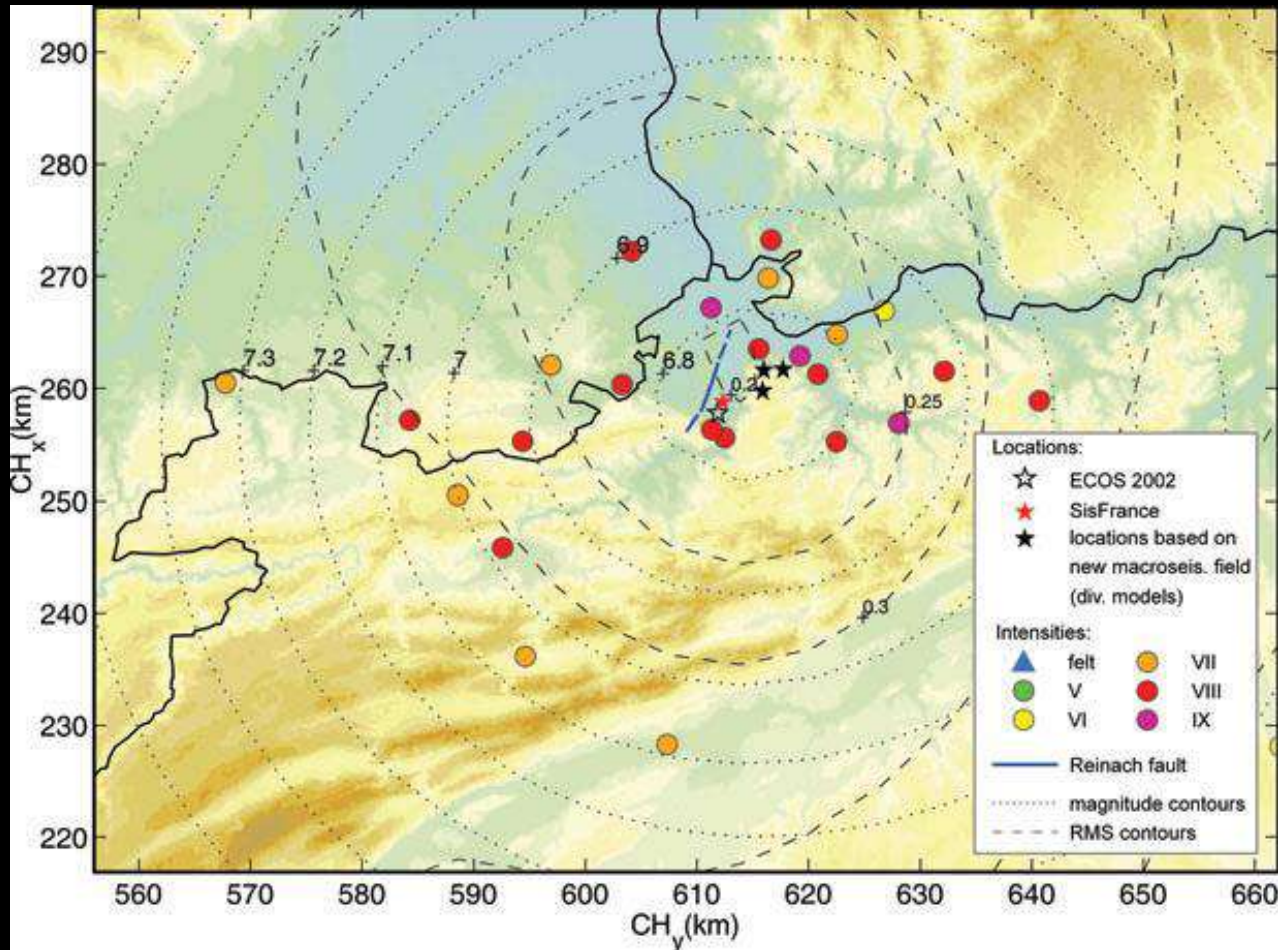
Bureau central
macro-sismique France (BCSF)
Landesamt für Geologie
und Bergbau
Württemberg (LGRB)
Landesamt für Geologie,
Bergbau und Bergbau
Baden-Württemberg (SED-SSS)
Schweizerischer Erdbebendienst
Swiss Seismological Service (SED-SSS)
Observatoire Royal de Belgique
Géologie section (ORGS)

Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

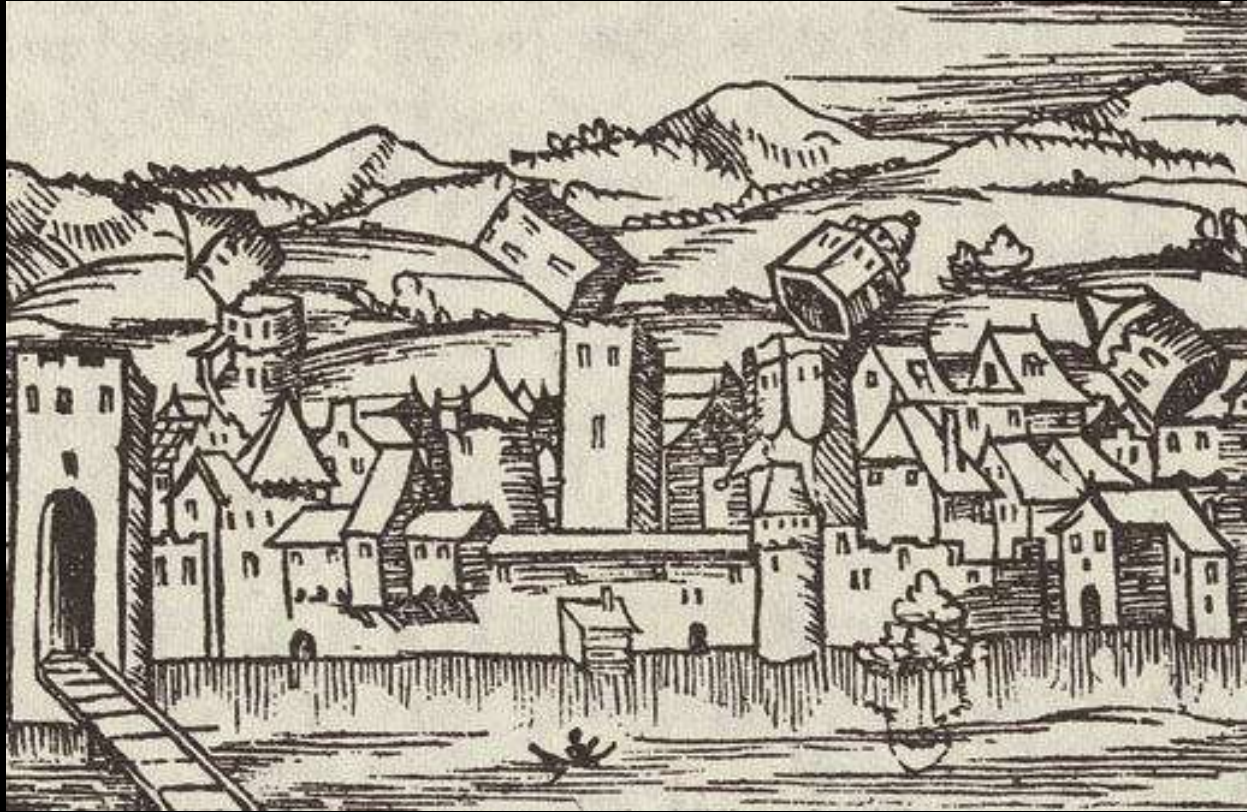
Ex: Séisme Bâle

Date = 1356



Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhéno



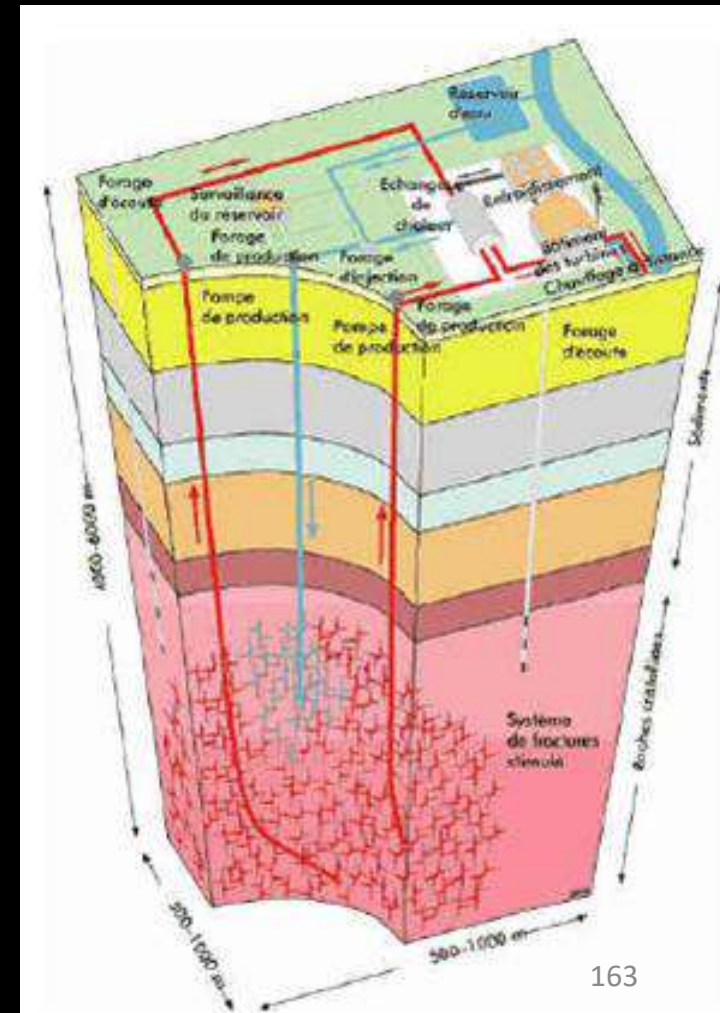
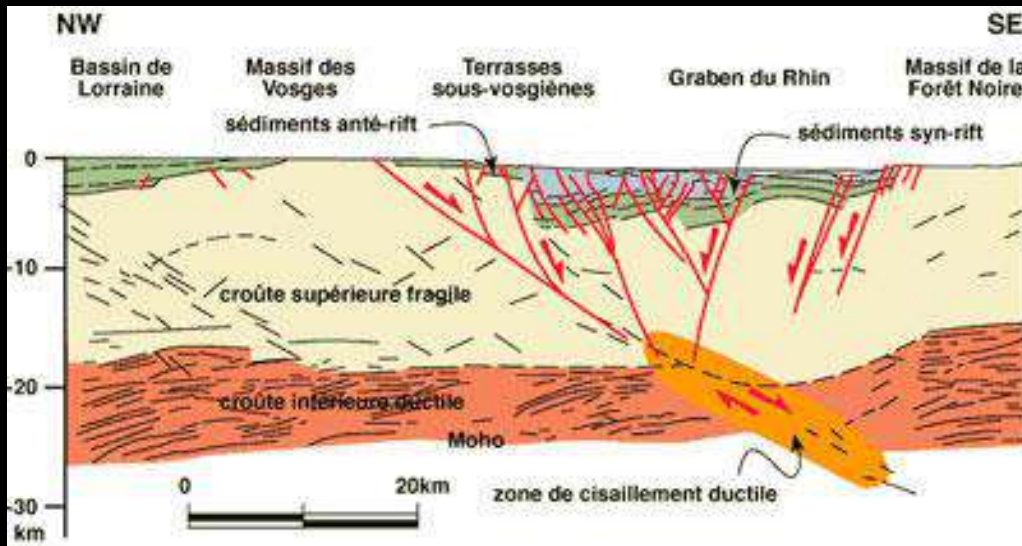
Münster 1550

Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

Géothermie

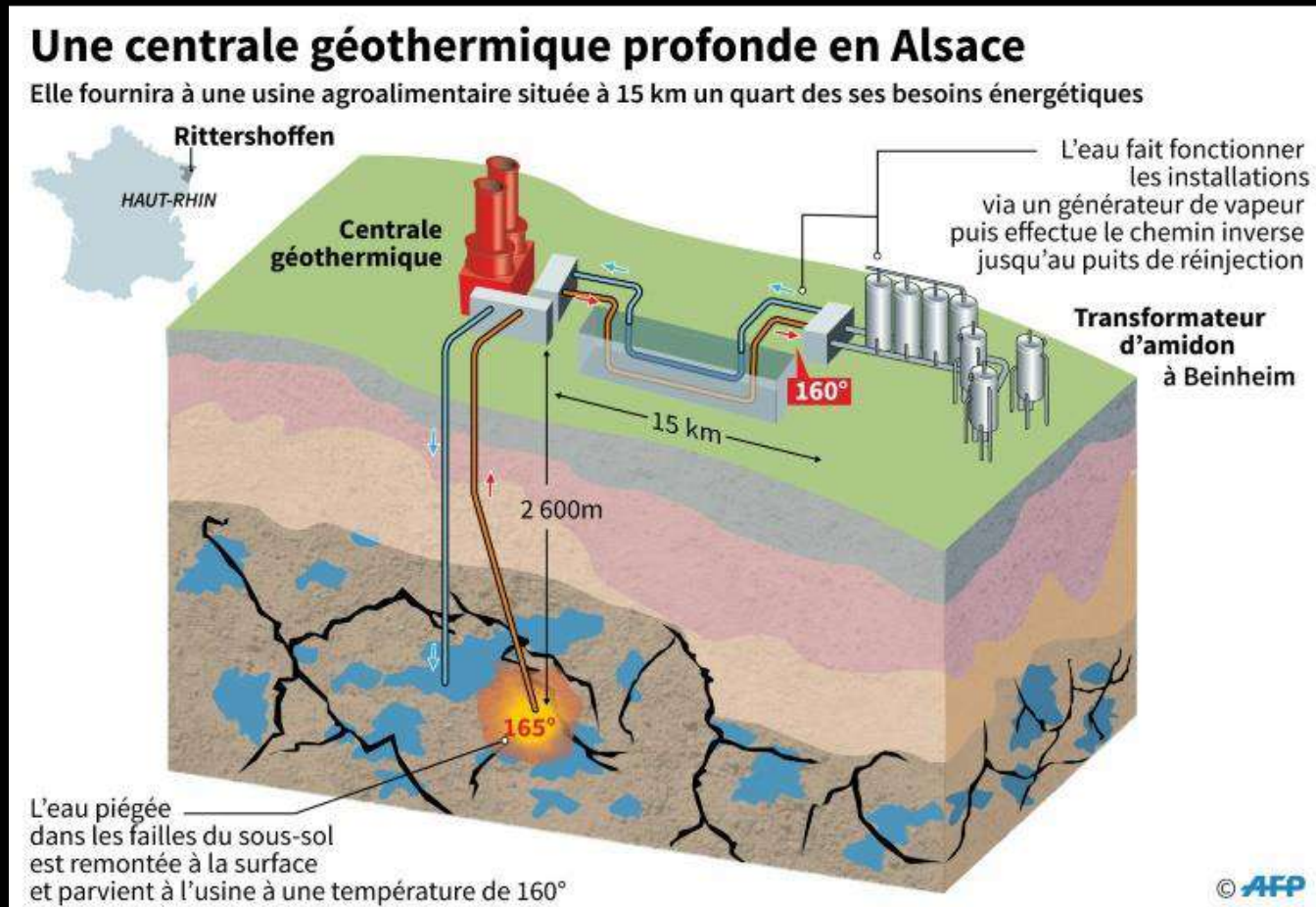
Les grandes failles favorisent la circulation d'eaux thermales d'origine profonde



Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

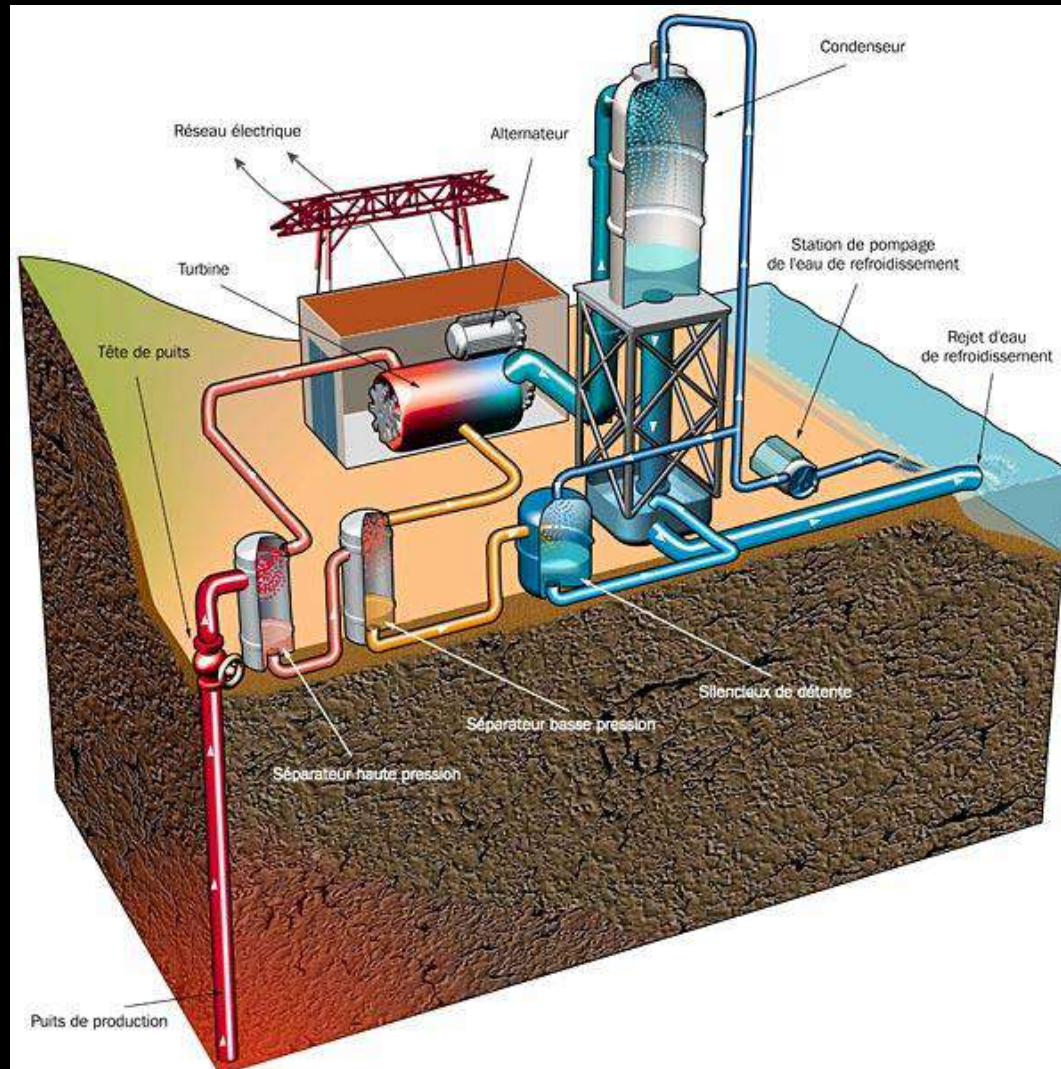
Géothermie



Exemples de grandes structures géologiques

Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

Géothermie



Exemples de grandes structures géologiques

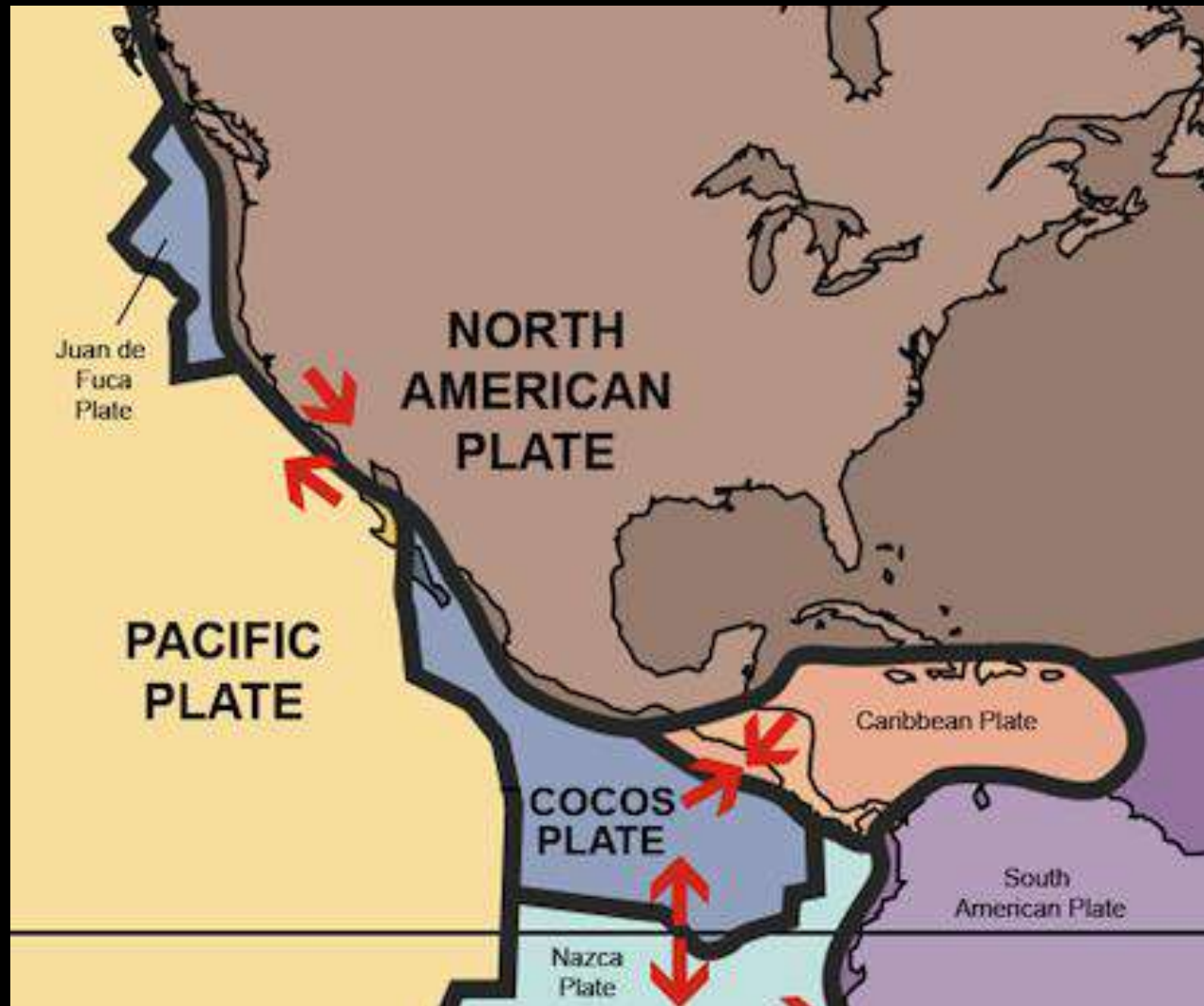
Conséquences de la formation du Fossé Rhénan

Modèle de rifting

https://www.youtube.com/watch?v=4atbjy4AgQg&ab_channel=TheGeoModels

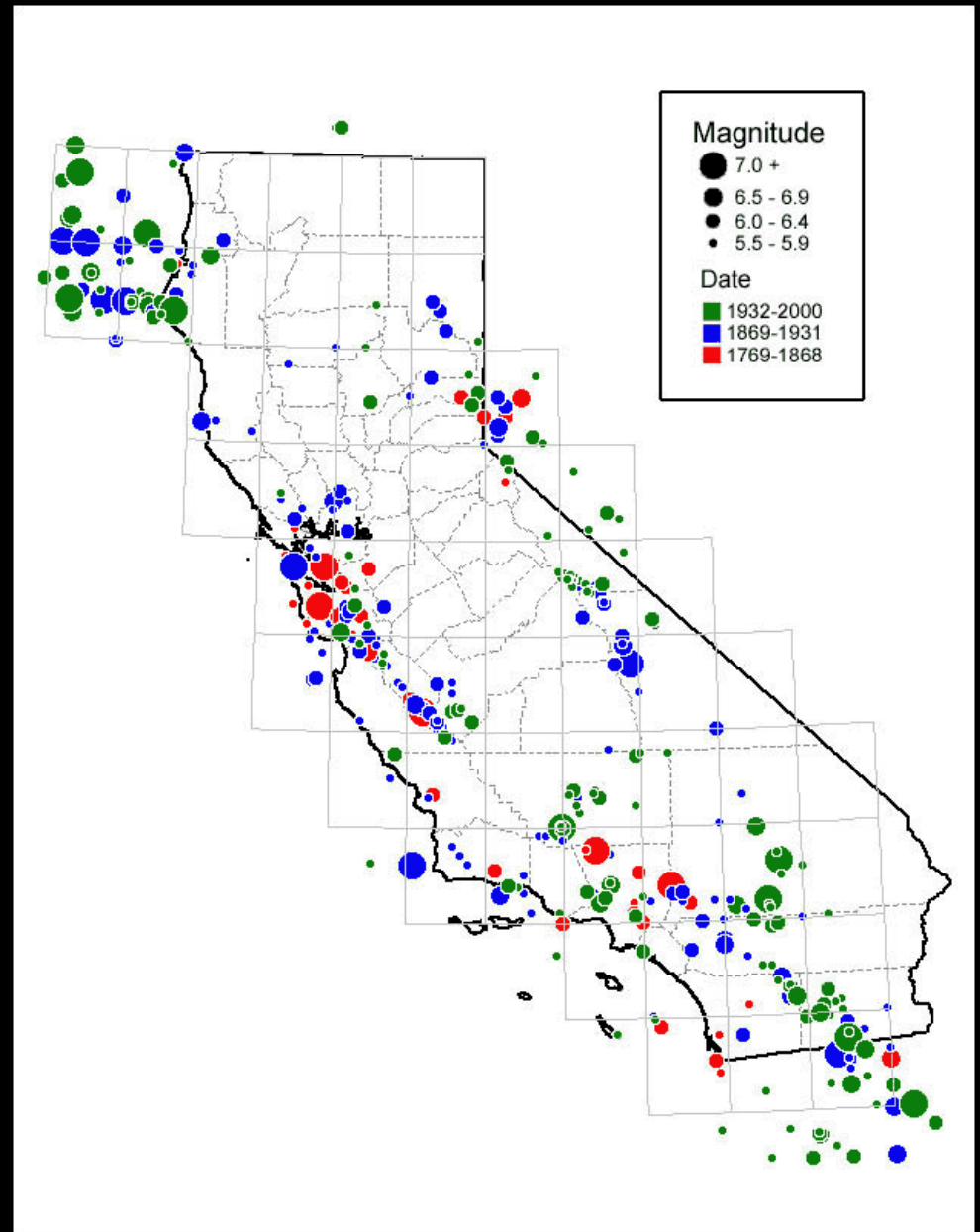
Exemples de grandes structures géologiques

La faille San Andreas



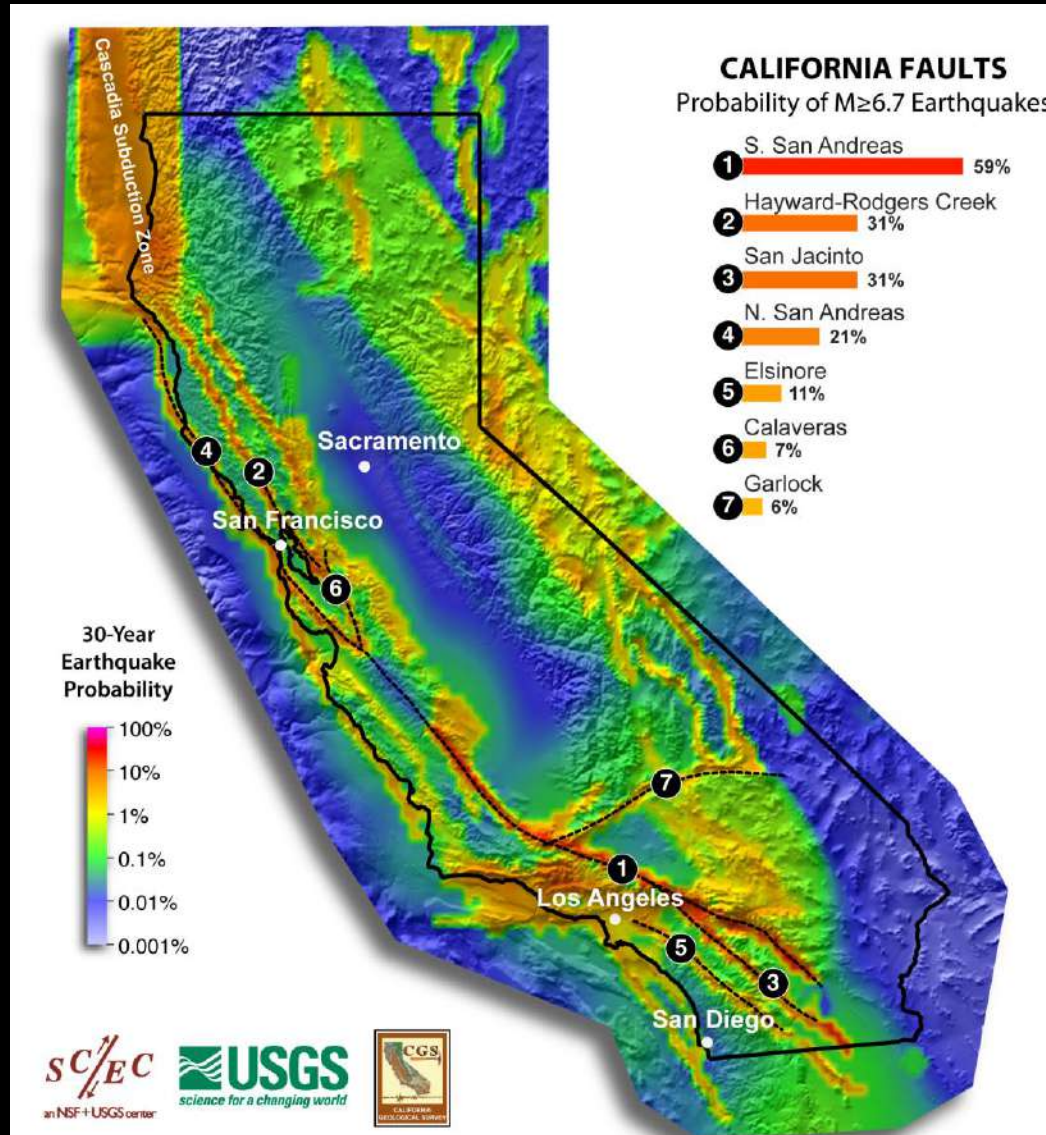
Exemples de grandes structures géologiques

La faille San Andreas



Exemples de grandes structures géologiques

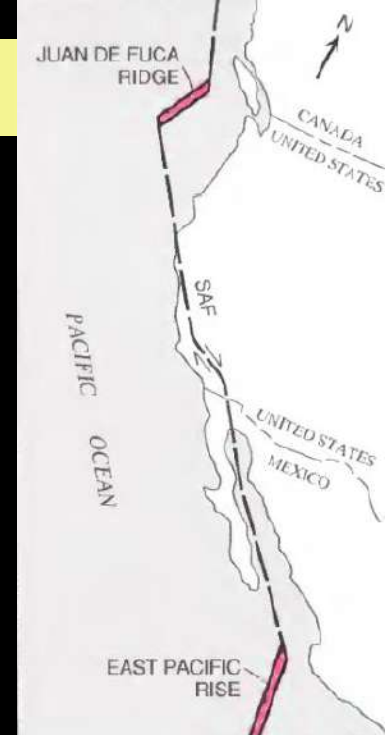
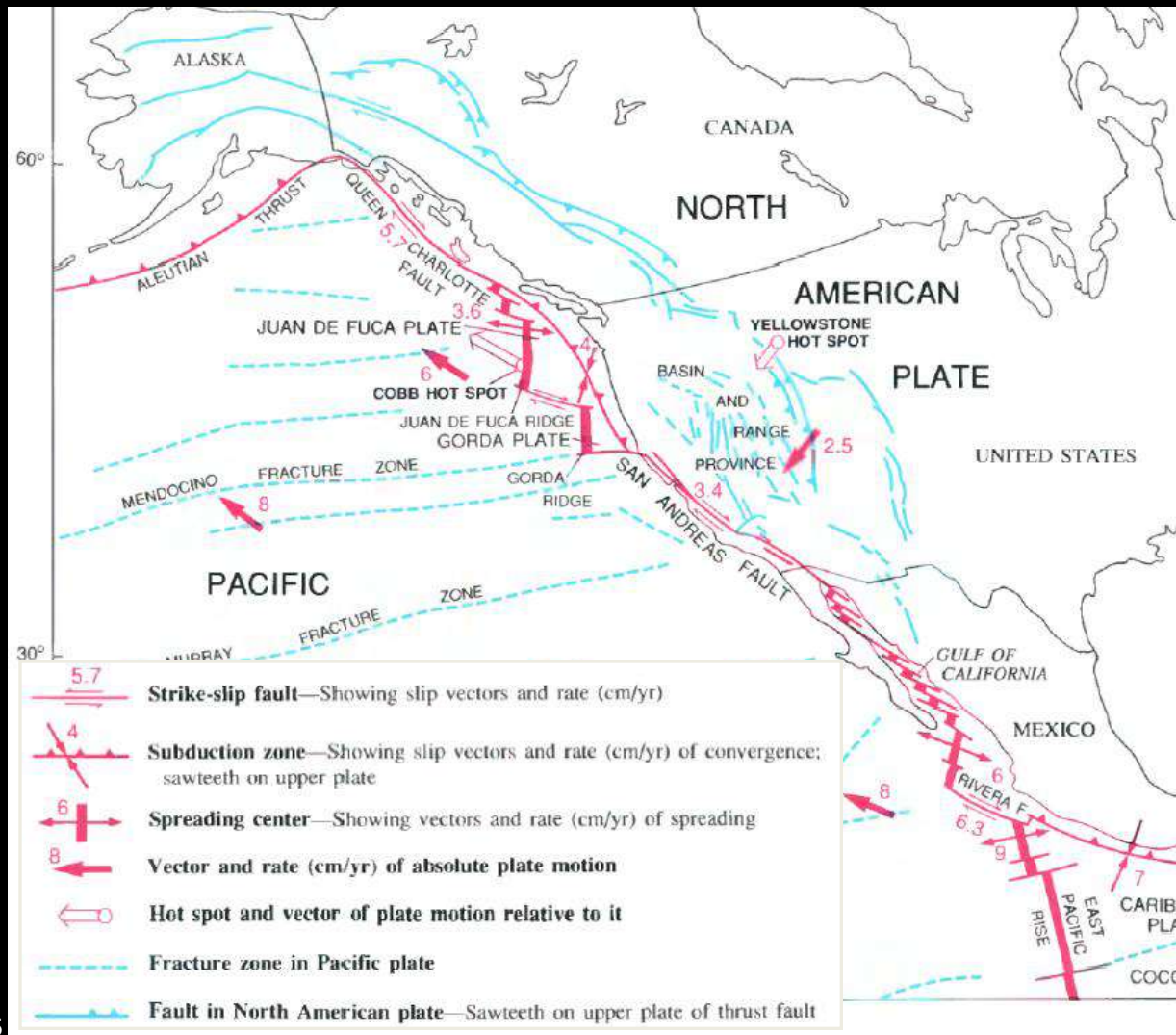
La faille San Andreas



Exemples de grandes structures géologiques

La faille San Andreas

Limite de plaques NA-PA



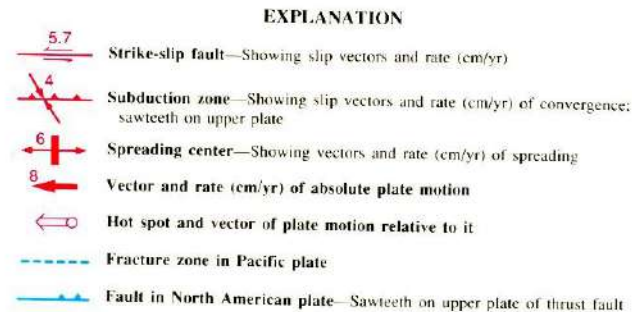
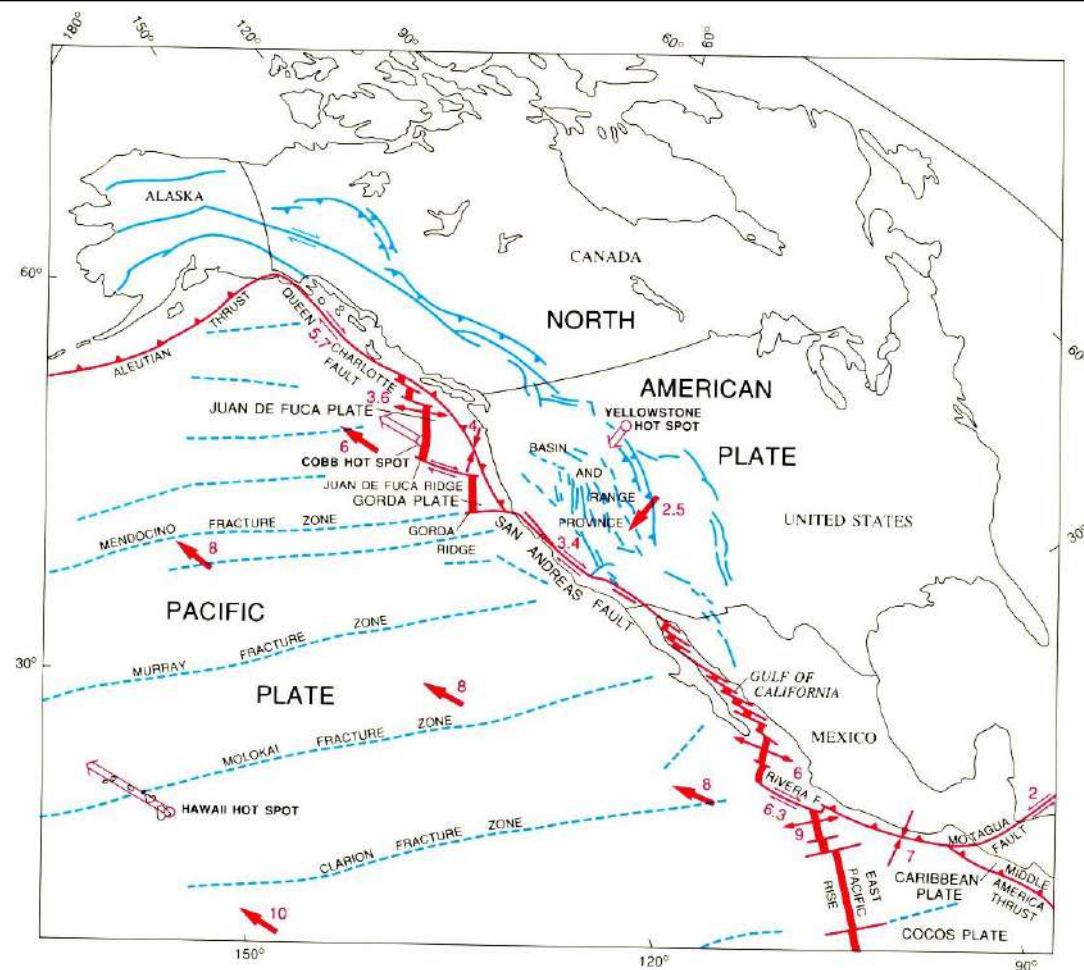
Exemples de grandes structures géologiques

Le paysage californien est coupé de nombreuses failles provoquant des séismes : San Andreas est la plus importante.

= Principale frontière entre la plaque du Pa. et l'AN

= Déplacement: > 2.5 cm/an

→ Grands séismes: 1857 à Fort Tejon et 1906 à San Francisco.



Exemples de grandes structures géologiques

Evolution tectonique de la zone de faille de San Andreas



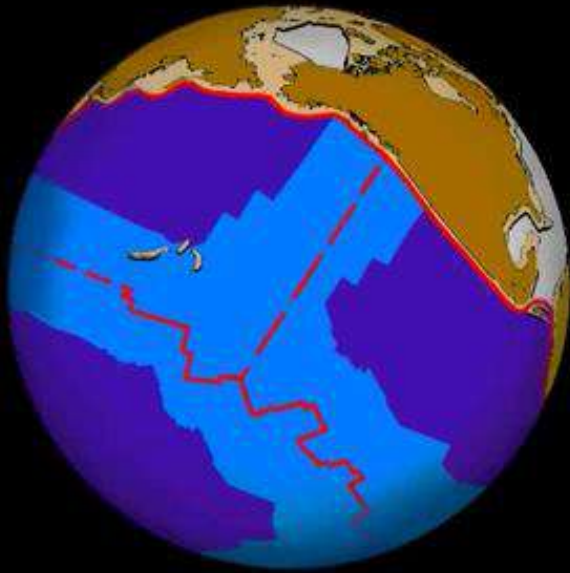
Poway conglomerate found near San Diego, deposited approximately 45 ka ago

What is the source?

Exemples de grandes structures géologiques

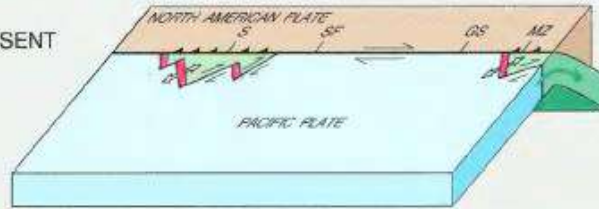
Evolution tectonique de la zone de faille de San Andreas

80 Ma




https://www.youtube.com/watch?v=nS_IMsBdafI&ab_channel=RapPar

PRESENT



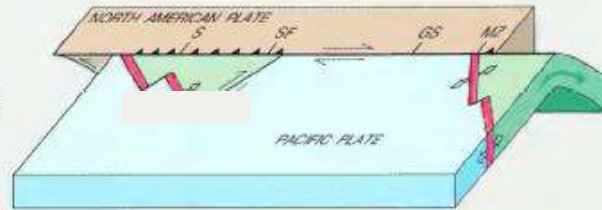
EXPLANATION

 **Spreading center**—
Dashed where approximately located. Arrows indicate direction of movement

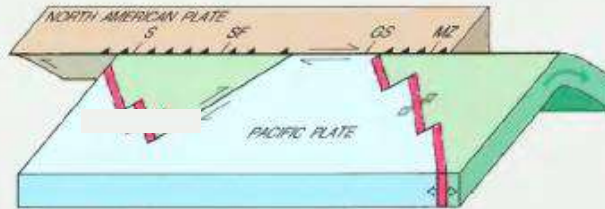
 **Subduction zone**—
Sawteeth on upper plate

 **Fault**—Arrows indicate direction of relative movement

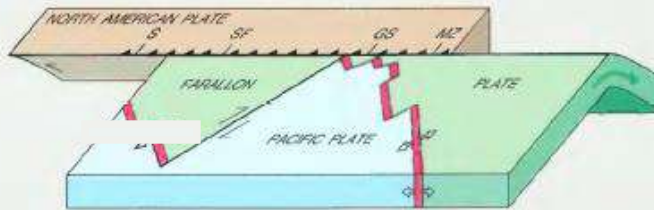
10 m.y.
600 km



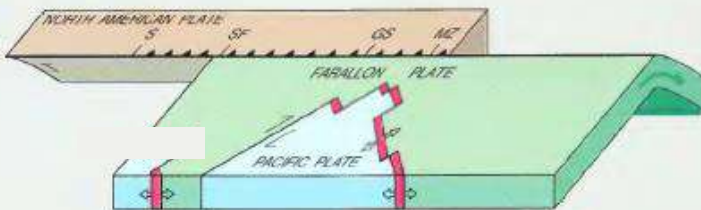
20 m.y.
1200 km



30 m.y.
1800 km



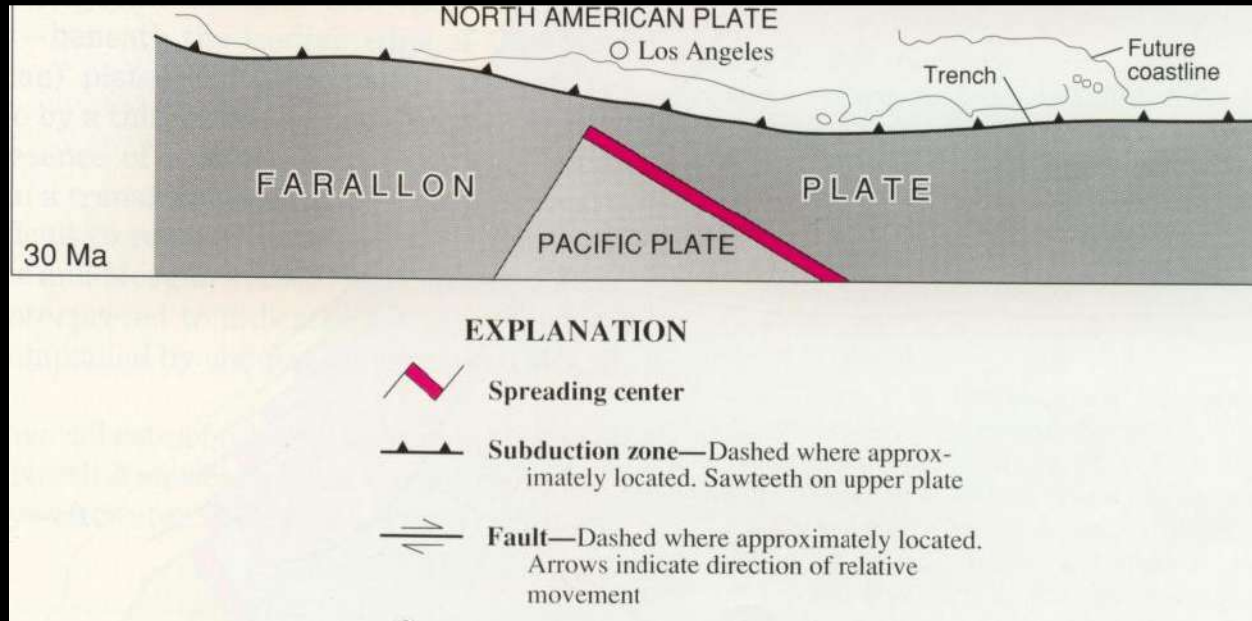
40 m.y.
2400 km



Exemples de grandes structures géologiques

Evolution tectonique de la zone de faille de San Andreas

30 Ma



3 plaques tectoniques sont impliquées: nord-américaine, pacifique et Farallon.

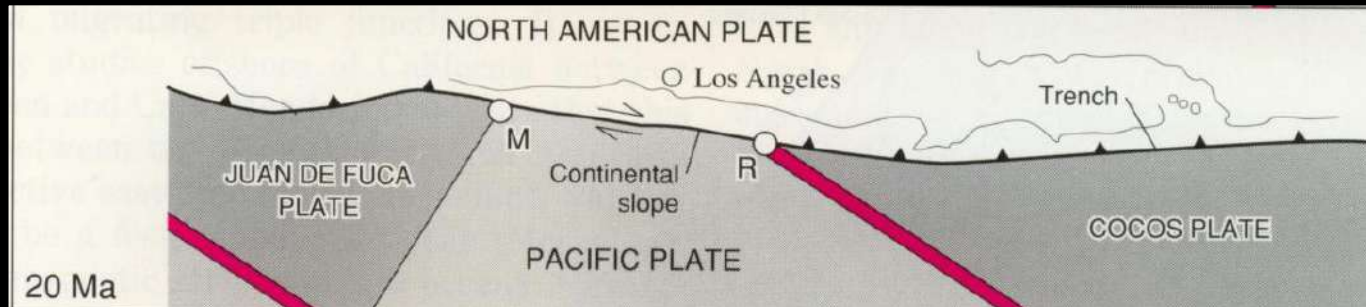
La division des plaques océaniques du Farallon et du Pacifique correspondait au rift Est Pacifique (frontière divergente) et le Farallon était en cours de subduction sous la plaque continentale nord-américaine.

Exemples de grandes structures géologiques

Evolution tectonique de la zone de faille de San Andreas

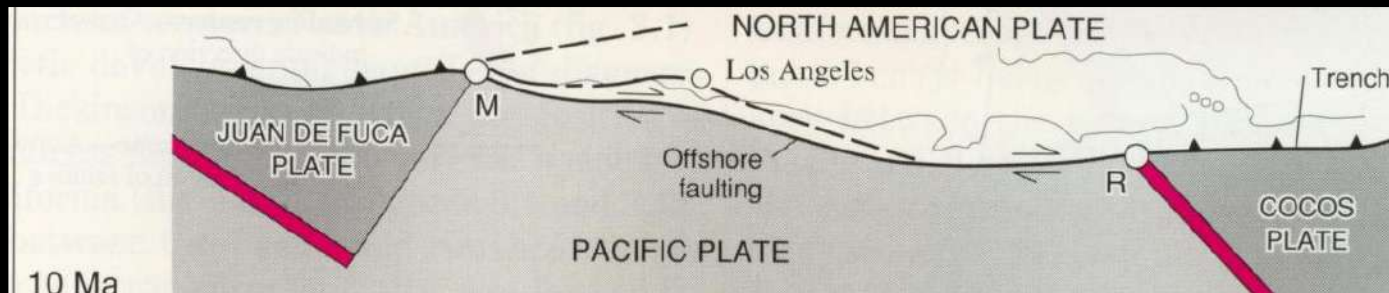
20 Ma

Le bord ouest de la plaque nord-américaine a commencé à recouvrir le rift Est Pacifique.



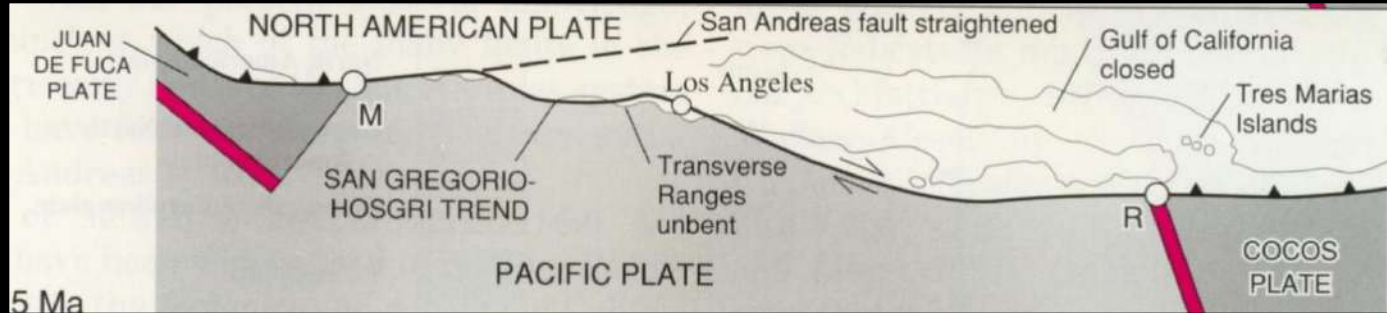
10 Ma

La limite jadis convergente (subduction) devenait une limite transformante (décrochement)



Exemples de grandes structures géologiques

5 Ma

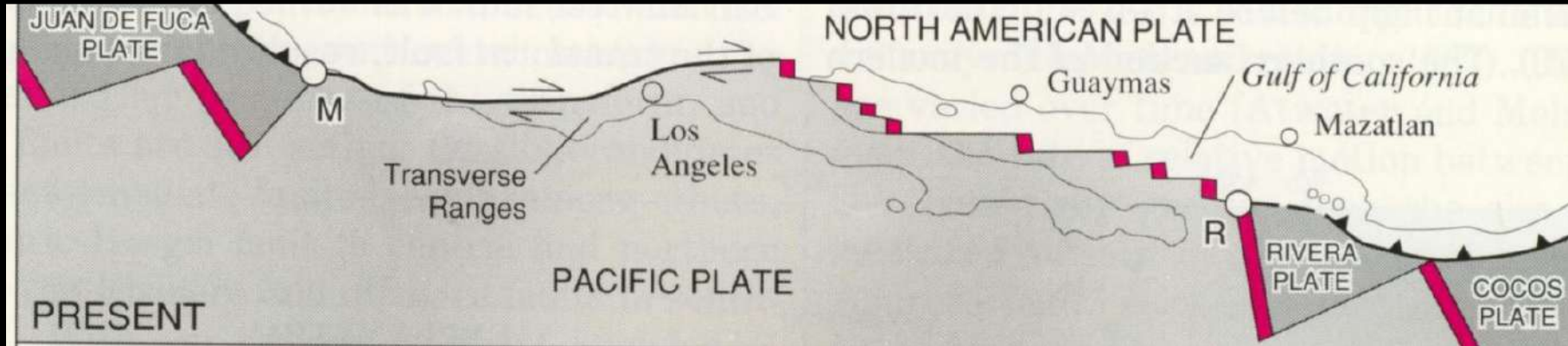


Pendant ~10 à 12 Ma, la limite de la plaque, bien que progressivement allongée, est restée proche ou à la limite du continent

A ~5 Ma, la dérive vers le NW de la basse Californie et de la plaque du Pacifique

Exemples de grandes structures géologiques

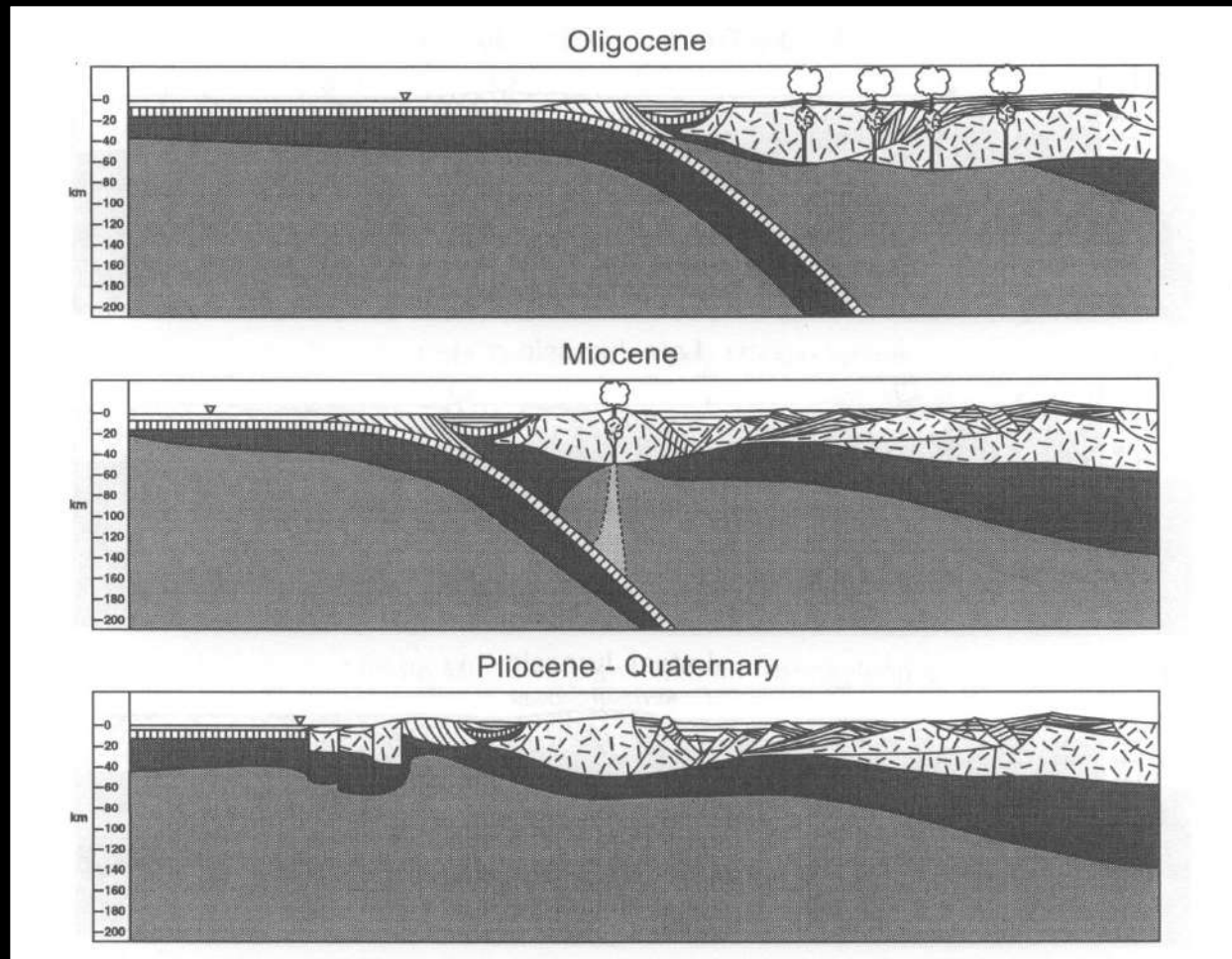
Actuellement



Le centre du rift Est pacifique est dorénavant divisé en de nombreux segments courts séparés par de longues failles transformantes

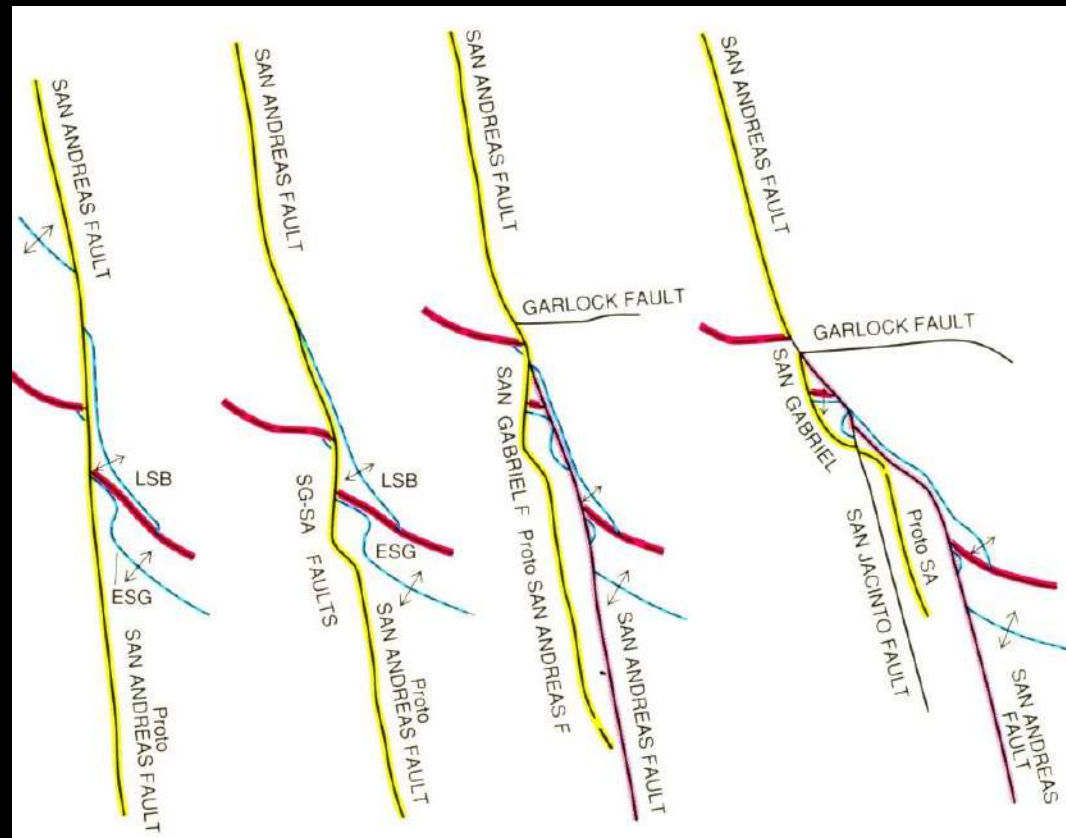


Exemples de grandes structures géologiques



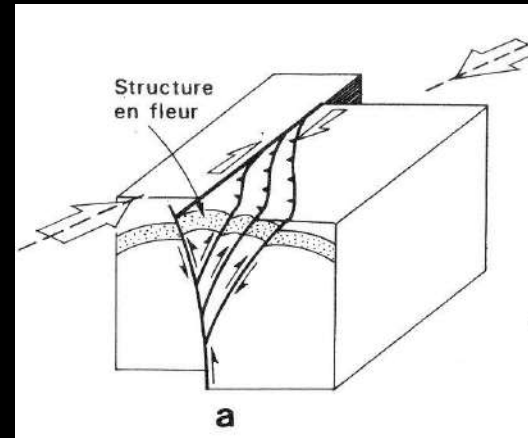
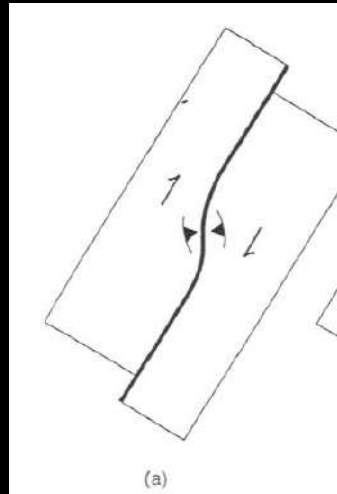
En résumé, la section ci-dessus illustre ce passage d'une frontière de subduction convergente à un environnement de décrochement transformant

Exemples de grandes structures géologiques



Une autre façon de voir ce changement dans le temps: La faille proto-San Andreas commence comme une faille parallèle au littoral. Avec le rapprochement du rift Est Pacifique de l'intérieur des terres, la faille s'est également déplacée et forme dorénavant un coude

Exemples de grandes structures géologiques

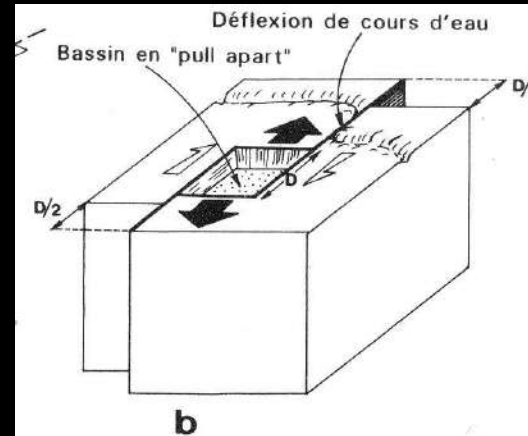
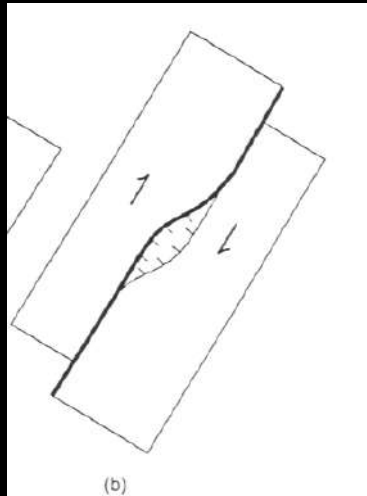


Soit compression: structure en fleur → création de collines ou de montagnes

Les montagnes entourant le bassin de Los Angeles dans l'image LANDSAT à droite ont été générées le long d'un virage restreint de la faille de San Andreas.



Exemples de grandes structures géologiques



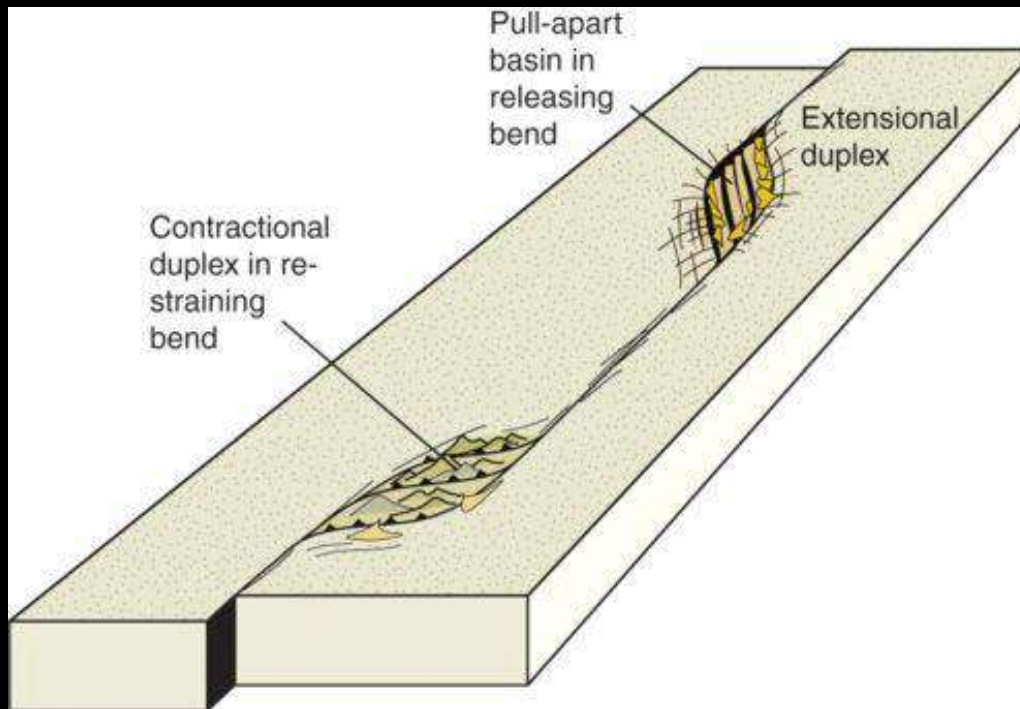
Extension → Effondrement →
Bassin en pull-apart



Ex: Lost Lake, un étang le long
de la faille sud de San Andreas,
près du col Cajon.

Exemples de grandes structures géologiques

Bassin en pull-apart



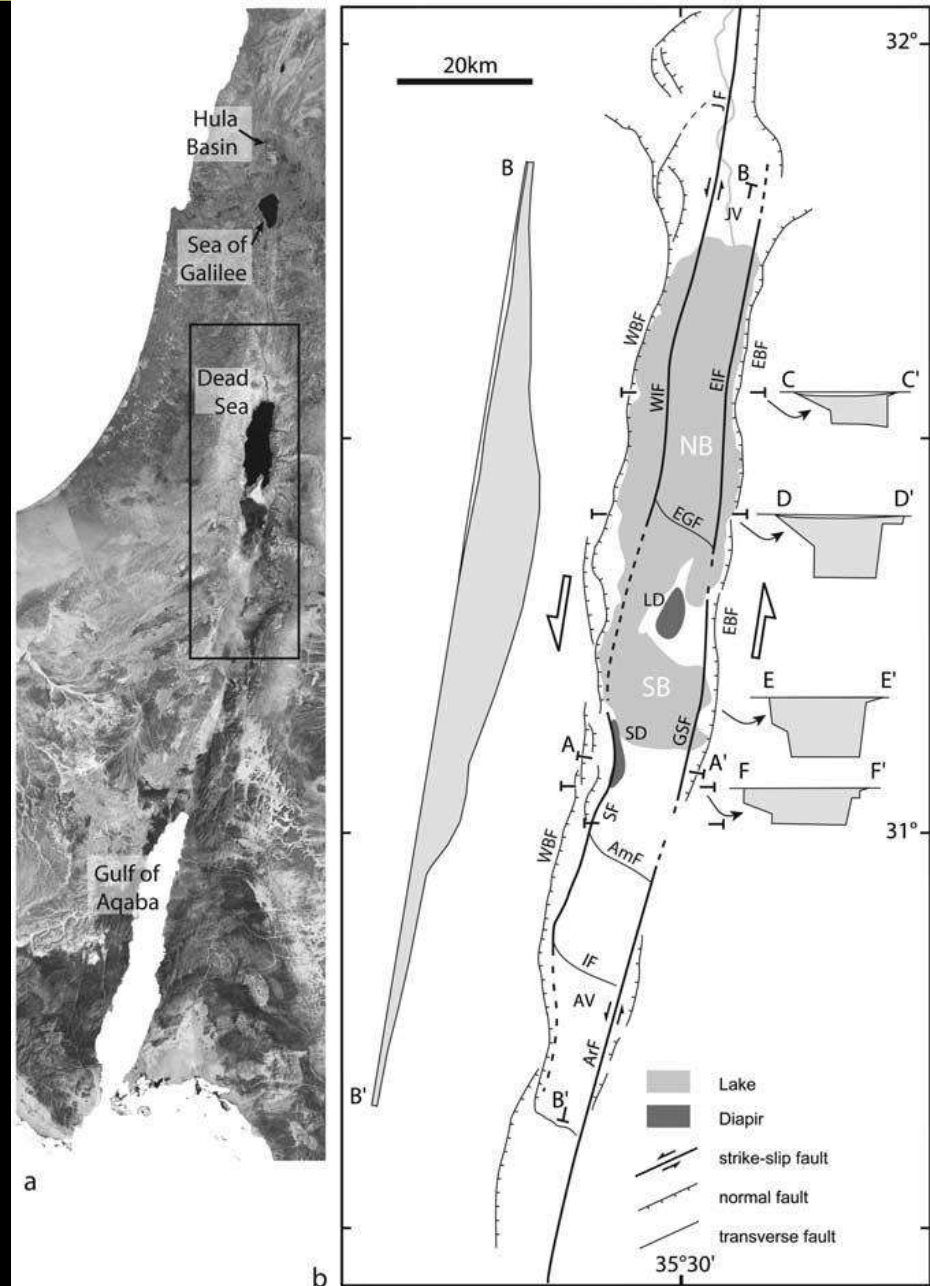
Duplex d'extension (pouvant former des bassins pull-apart) et duplex de contraction

https://www.youtube.com/watch?v=PlafWrdJkdc&ab_channel=BernhardRupprecht

Exemples de grandes structures géologiques

Bassin en pull-apart

EBF: Eastern Boundary Fault
WBF: Western Boundary Fault

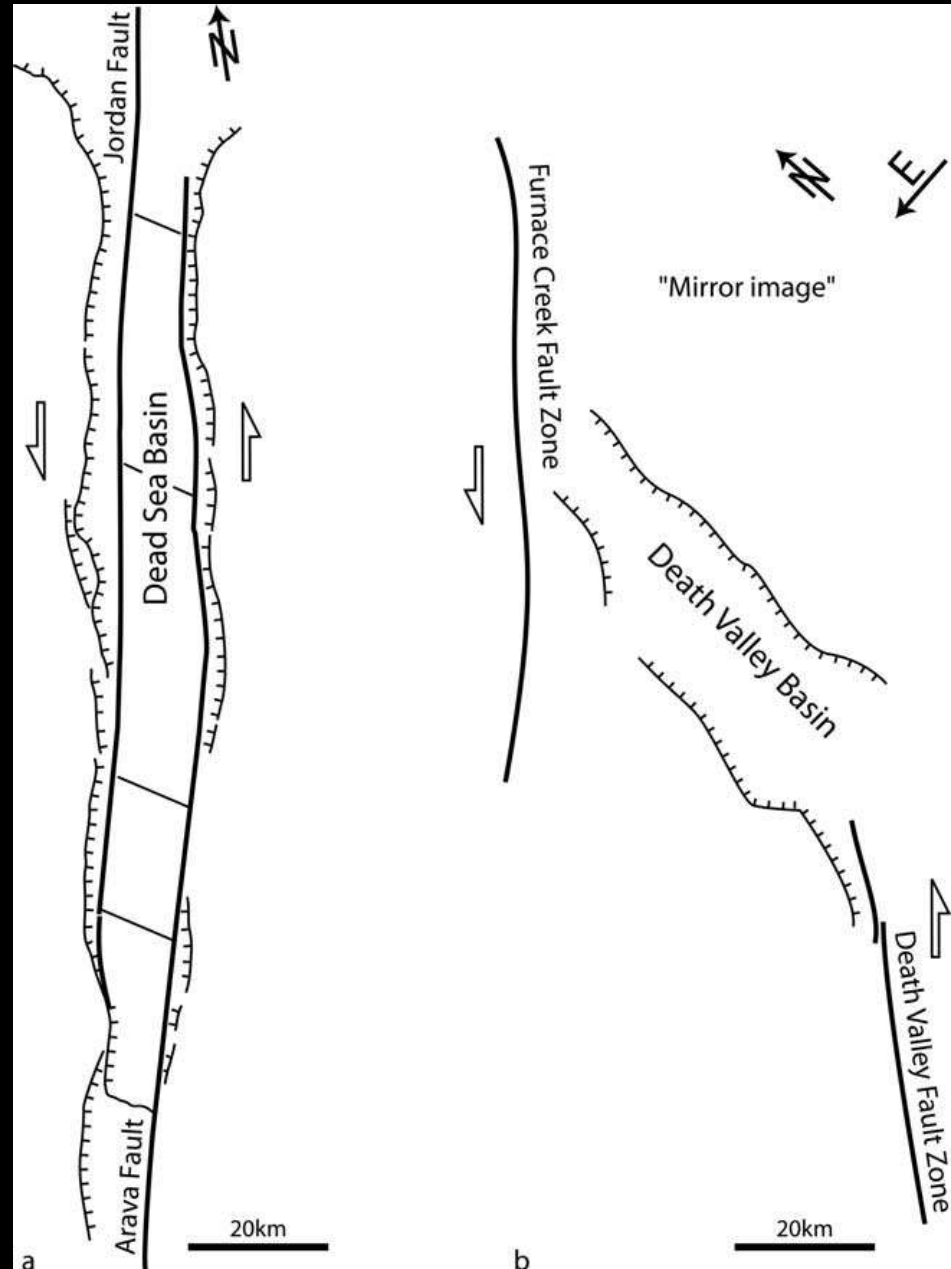


Exemples de grandes structures géologiques

Bassin en pull-apart

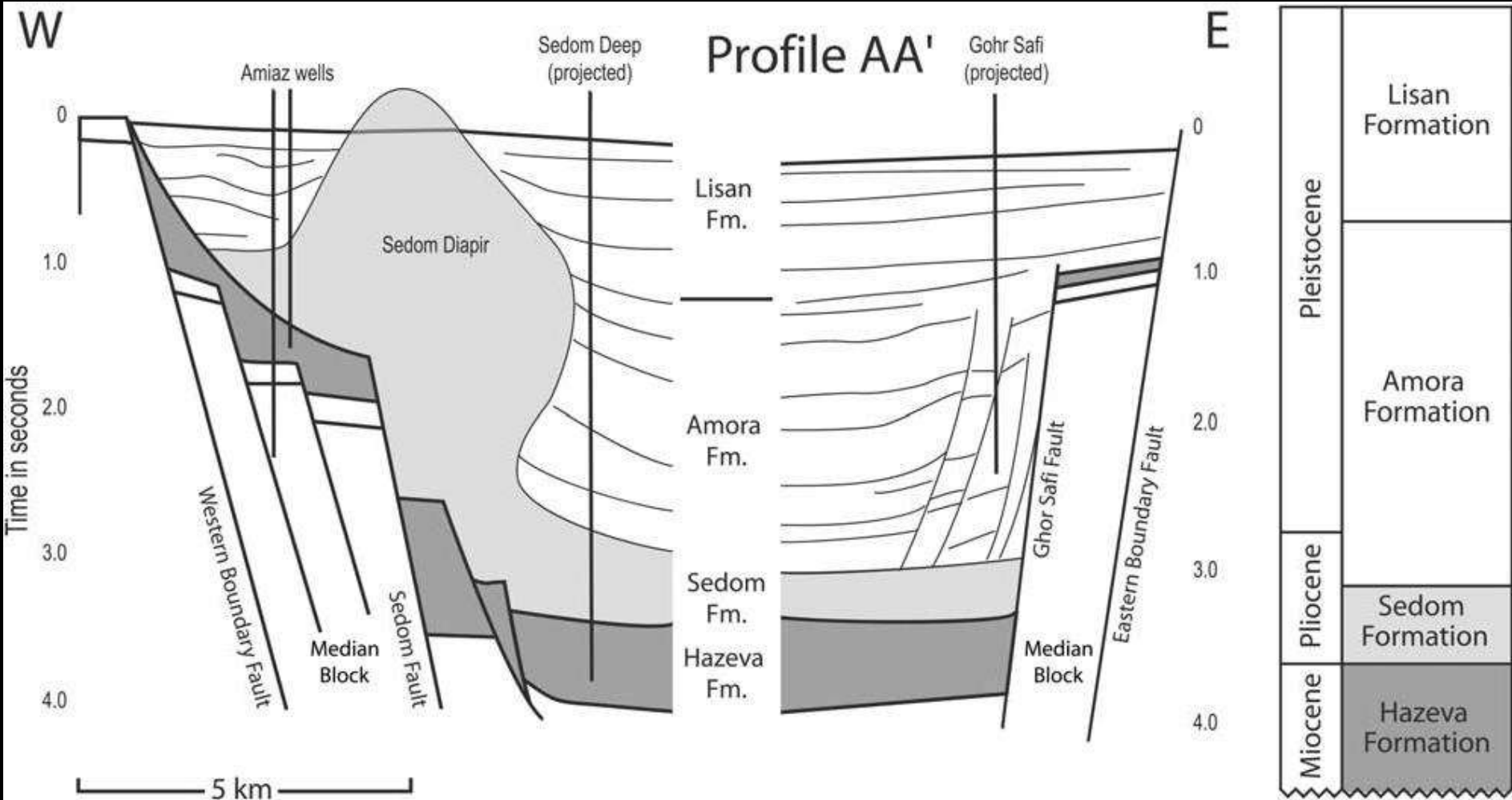
Différences entre les bassins de la Mer Morte et de la Death Valley (USA)

Mouvement plus important des failles normales dans le bassin de la Mer Morte



Exemples de grandes structures géologiques

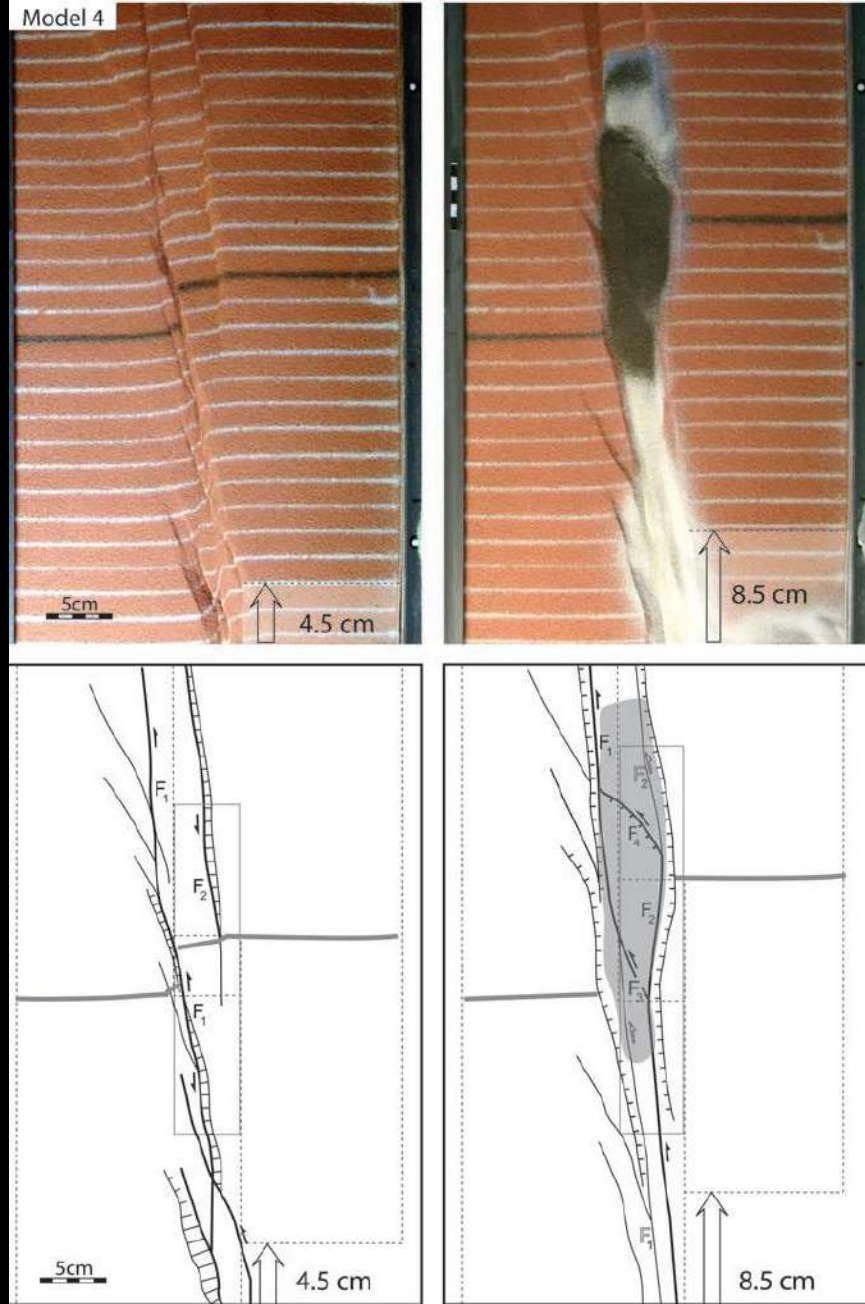
Bassin en pull-apart



Exemples de grandes structures géologiques

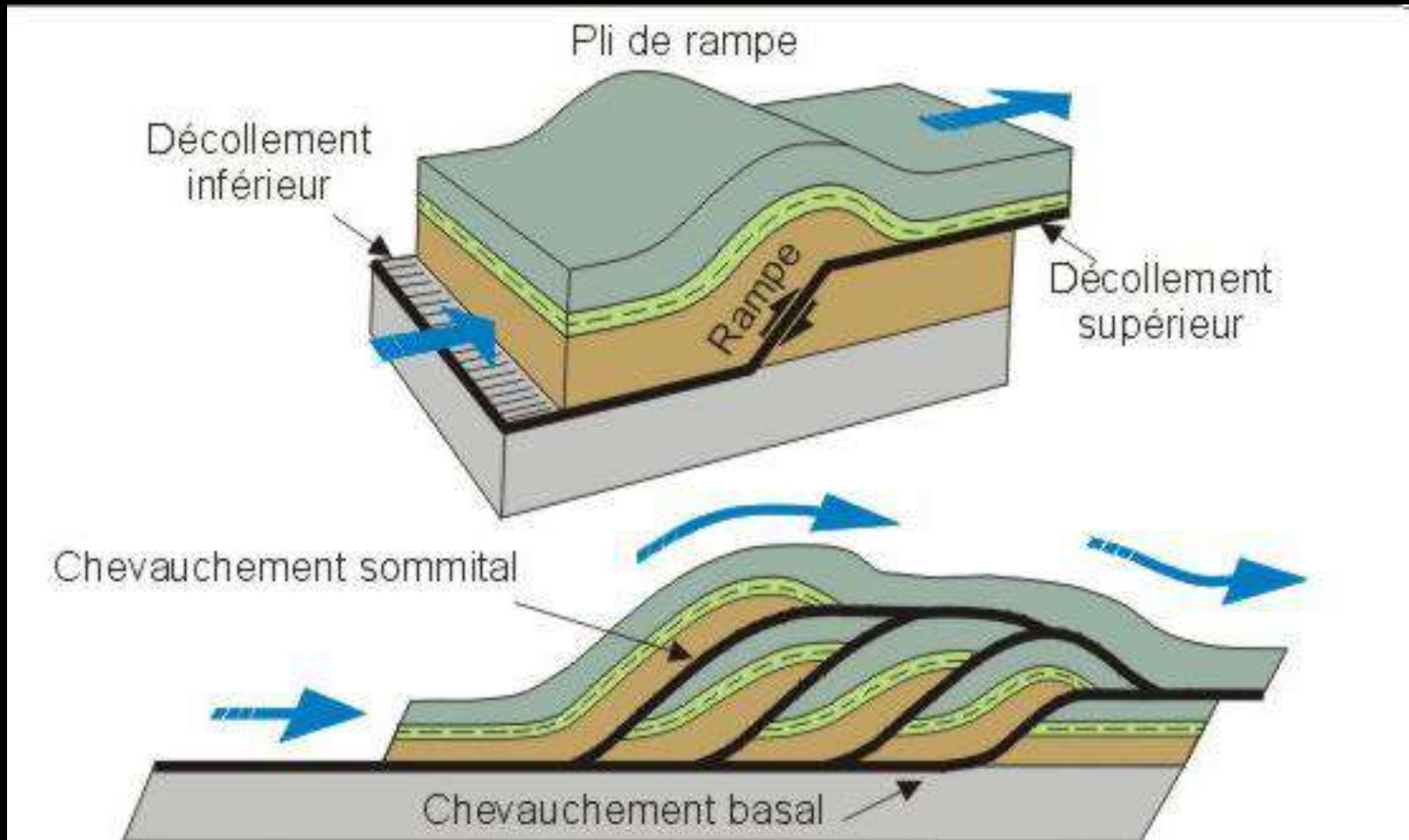
Bassin en pull-apart

Modèle “sand-box” et interprétation



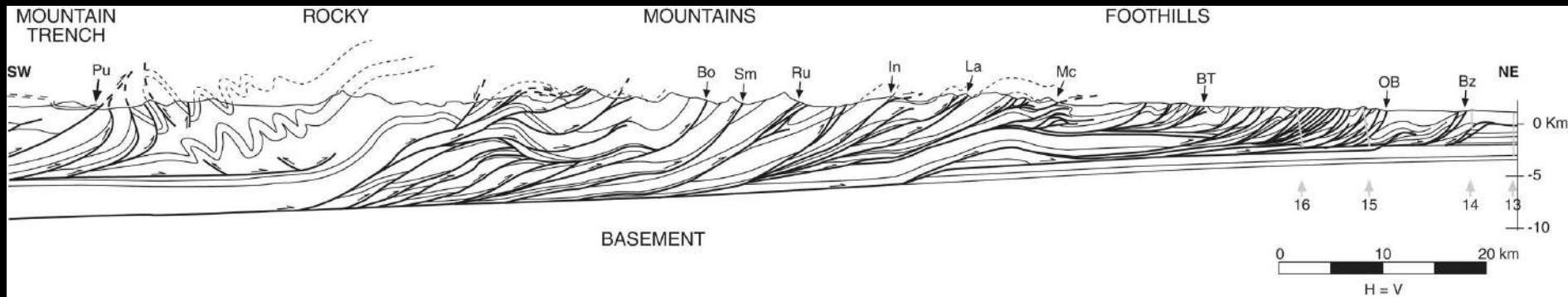
Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement



Exemples de grandes structures géologiques

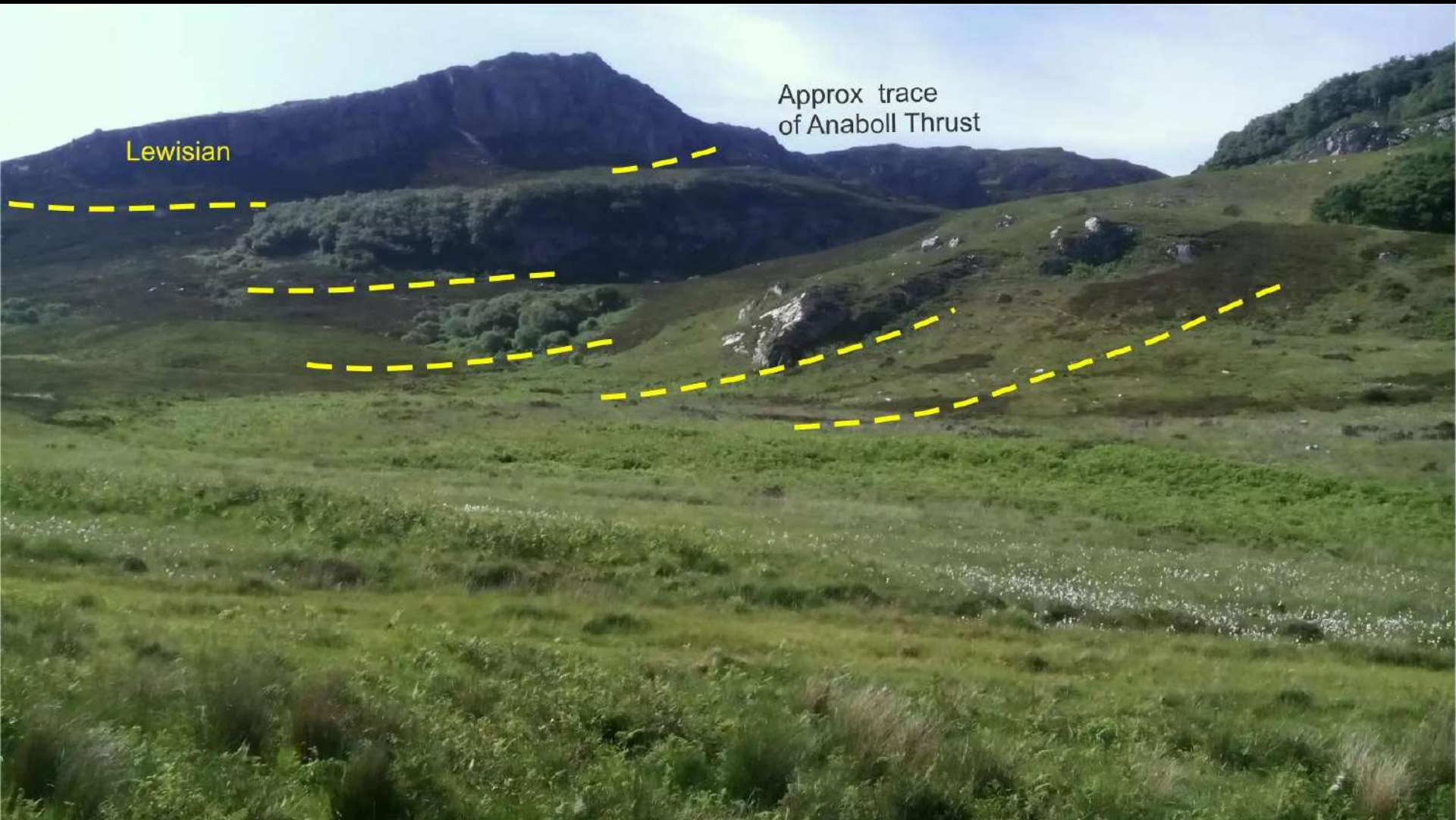
Chevauchement



Coupe à travers les montagnes rocheuses (Price, 1981)

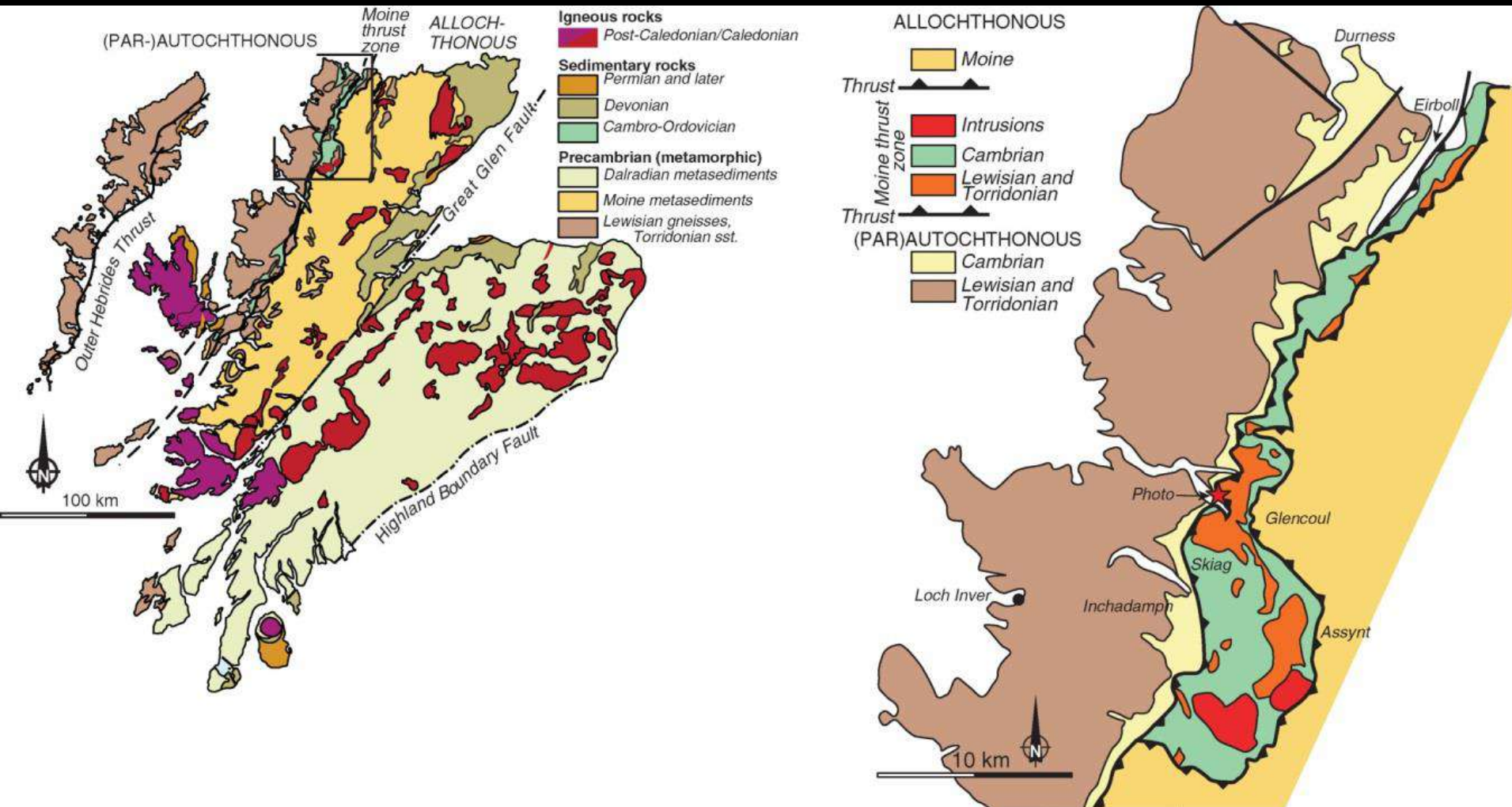
Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement: exemple de l'Ecosse (Moine thrust belt)



Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement: exemple de l'Ecosse (Moine thrust belt)



Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement: exemple de l'Ecosse



Schistes néoprotérozoïques
chevauchant des dolomites
Cambrien/Ordovicien

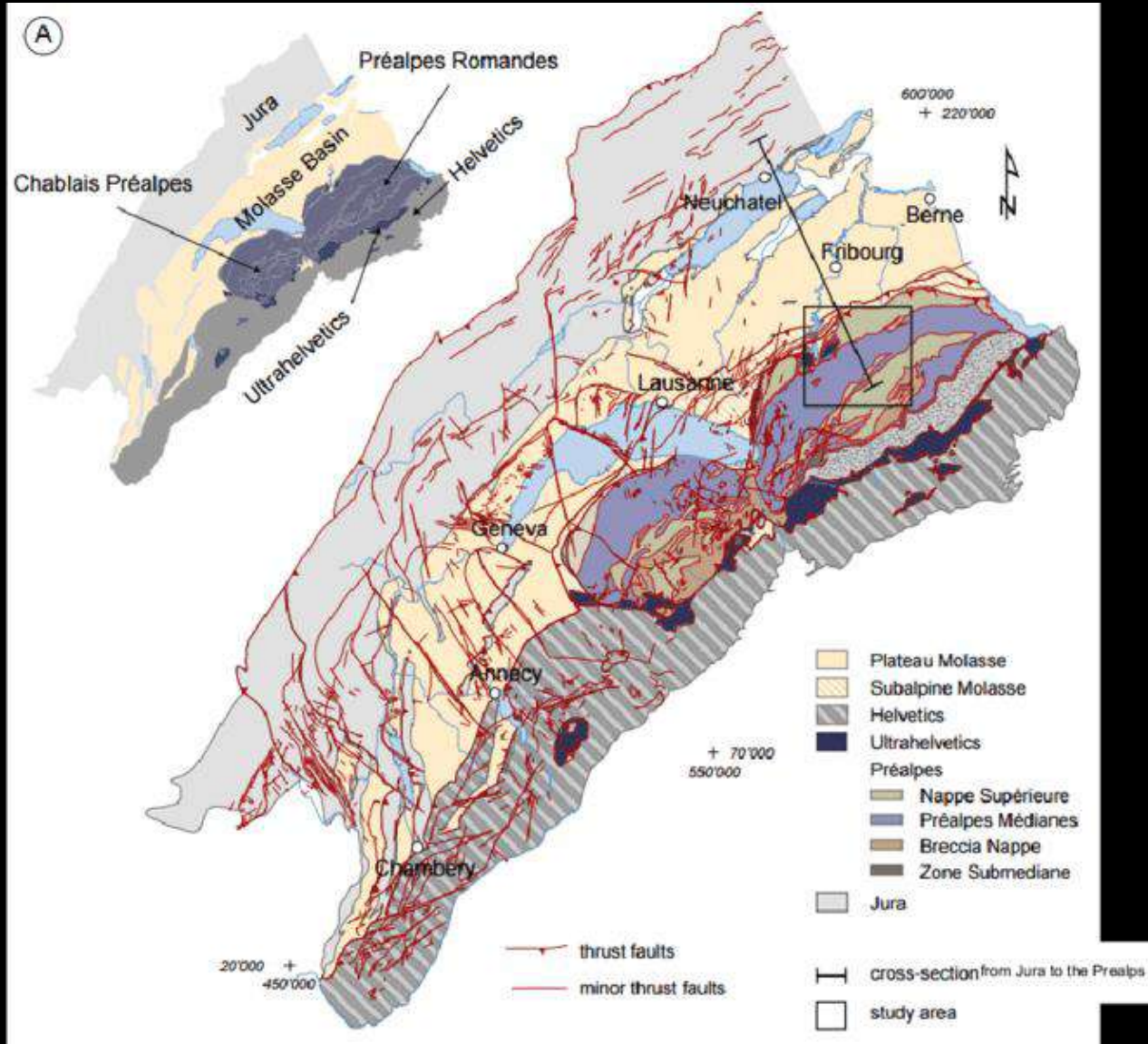
Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement: modèle sand-box

https://www.youtube.com/watch?v=8L-6WlvVikI&t=115s&ab_channel=TheGeoModels

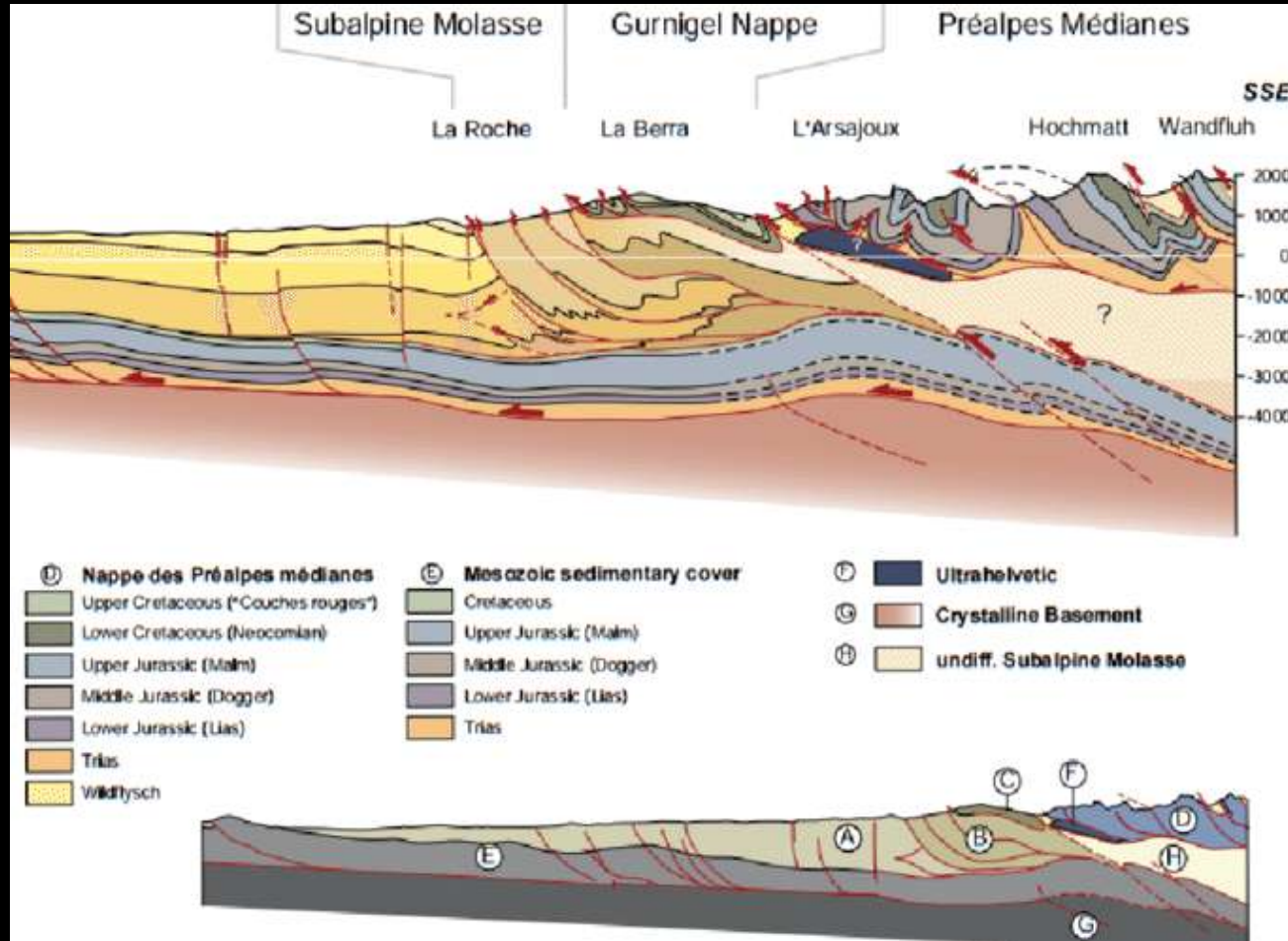
Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement et bassin



Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement et bassin



Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement et bassin



Photographie : Pierre Thomas

Exemples de grandes structures géologiques

Chevauchement et bassin



Photographie : Pierre Thomas

Méthodes TD-TP cartographie

TD cartographie

6- Carte géologique de France

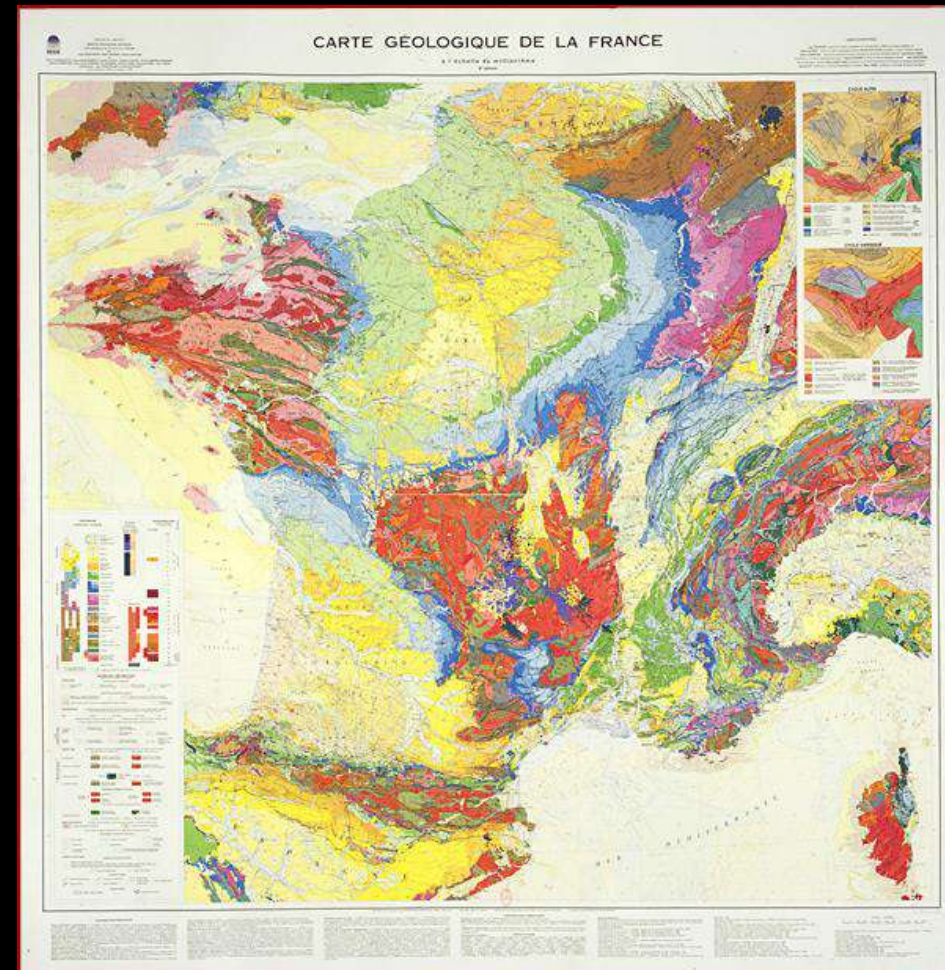


Méthodes TD-TP cartographie

6- Carte géologique de France

-Carte 1/1 000 000 = 6^{ème} édition BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières)

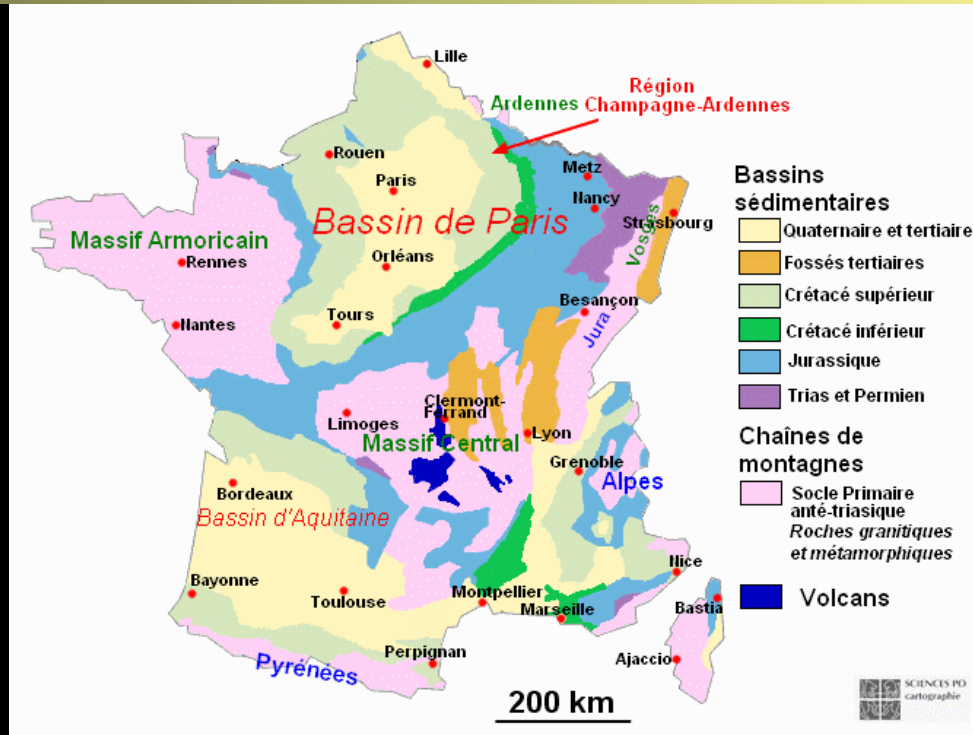
-La France géologique comprend des terrains de nature et d'âge différents dont les plus anciens dépassent 2 milliards d'années



Méthodes TD-TP cartographie



Méthodes TD-TP cartographie



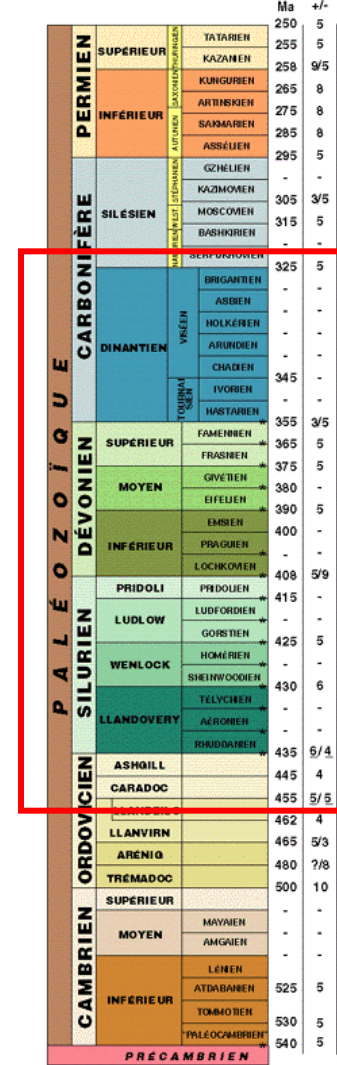
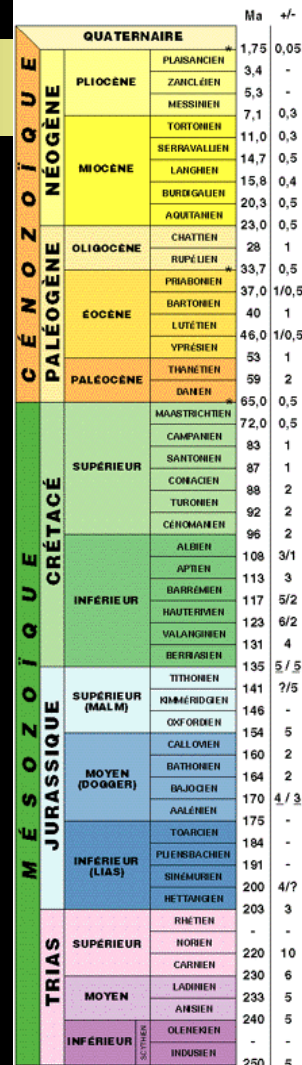
-La France est constituée:

- * d'un socle ou substratum de massifs anciens (Massif Armoricain, Massif Central, Vosges et Ardennes)
- * de grands bassins sédimentaires (bassin parisien et d'Aquitaine)
- * de chaînes récentes (Alpes, Pyrénées, Languedoc, Provence, Jura)

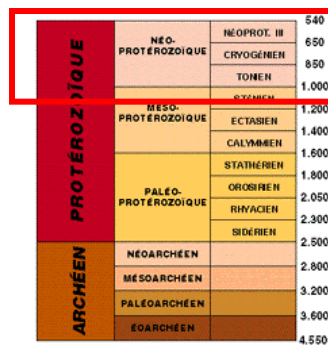
Méthodes TD-TP cartographie

-Les massifs anciens:

Formes de terrains protérozoïques et paléozoïques sédimentaires déformés et généralement transformés (métamorphiques) et intrudés de nombreux plutons granitiques.



Échelle des temps géologiques en 1994. Les subdivisions chronostratigraphiques des dépôts marins sont utilisées hormis pour le paléozoïque supérieur pour lequel des unités continentales usitées sont indiquées (en jaune).
 Les âges des limites mal connues ne sont pas estimés (tirets).
 Les astérisques signalent les limites actuellement définies selon le concept des Points Stratotypes Globaux.
 La colonne ± indique l'intervalle de temps dans lequel les datations isotopiques situent la limite.
 251 points datés rassemblés dans Odin (1982);
 95 points nouveaux considérés dans Odin et Odin (1985);
 55 nouvelles études réalisées durant les 4 dernières années.
 Les estimations obtenues par extrapolation seule sont notées sans marges d'incertitude (tirets). Noter que les marges d'incertitude peuvent être dissymétriques de part et d'autre de l'âge préféré.
 Les + ou - soulignés attirent l'attention sur le fait que l'âge préféré et l'âge extrême sont également probables.
 Amélioré avril 1995.



Méthodes TD-TP cartographie

-Les bassins sédimentaires:

Après une érosion importante du Carbonifère au Trias, qui nivelle les massifs anciens, s'installent des le début du mésozoïque le bassin parisien et aquitain

QUATERNAIRE		Ma	+/-		
CÉNOCÈNE	PLIOCÈNE	PLAISANCIEN	1,75	0,05	
		ZANCLÉEN	3,4	-	
		MESSINIEN	5,3	-	
	MIOCÈNE	TORTONIEN	7,1	0,3	
		SERRAVALLIEN	11,0	0,3	
		LANGHEEN	14,7	0,5	
		BURDIGALIEN	15,8	0,4	
		AQUITAÏEN	20,3	0,5	
		CHATTIEN	23,0	0,5	
		RUPÉLIEN	28	1	
OLIGOCÈNE	RUPÉLIEN	33,7	0,5		
	PRABONIEN	37,0	1/0,5		
	BARTONIEN	40	1		
ÉOCÈNE	LUTÉTIEN	46,0	1/0,5		
	YPRÉSIEN	53	1		
	TIWANTIEN	59	2		
PALÉOCÈNE	DANIEN	65,0	0,5		
	MAASTRICHTIEN	72,0	0,5		
MÉSOZOÏQUE	CRÉTACÉ	SUPÉRIEUR	CAMPANIEN	83	1
			SANTONIEN	87	1
			CONACIEN	88	2
		INFÉRIEUR	TURONIEN	92	2
			CÉNOMANIEN	96	2
			ALBIEN	108	3/1
			APTÉN	113	3
			BARRÉMIEN	117	5/2
			HAUTERVIEN	123	6/2
	JURASSIQUE	SUPÉRIEUR (MALM)	TURONIEN	131	4
			BERTHOLIEN	135	5/5
			TITHONIEN	141	7/5
		MOYEN (DOGGER)	KIMÉRIDGIEN	146	-
			OXFORDIEN	154	5
			CALLIEN	160	2
		INFÉRIEUR (LIAS)	BATHONIEN	164	2
			BAJOGIEN	170	4/3
			APALÉNIEN	175	-
TRIAS	SUPÉRIEUR	TOURNAISIEN	184	-	
		PIEUSBACHIEN	191	-	
		SINEMURIEN	200	4/7	
PALÉOZOÏQUE	MÉSOPROZOÏQUE	HETTANGIEN	203	3	
		RHÉTIEN	-	-	
		NORNIEN	230	10	
	PALÉOZOÏQUE	CARNIEN	230	6	
		LADINIEN	233	5	
		ANSIEN	240	5	
ARCHÉEN	INFÉRIEUR	OLEKENIEN	-	-	
		INDUSIEN	-	-	
		SUDIEN	250	5	

CÉNOCÈNE		Ma	+/-	
PERMIEN	SUPÉRIEUR	TATARIEN	250	5
		KAZANIEN	255	5
		KUNGURSIEN	258	9/5
	INFÉRIEUR	ARTINSKIEN	265	8
		SARMAIEN	275	8
		ASSELIEN	285	8
		KAZHOMIEN	295	5
		GZHELIEN	-	-
		MOSCOVIEN	305	3/5
		BASHKIRIEN	315	5
CARBONIFÈRE	SUPÉRIEUR	SERPUKHOVIEN	325	5
		BRIGANTIEN	-	-
		ASBIEN	-	-
	DINANTIEN	HOLKÉRIEN	-	-
		ARUNDIEN	-	-
		CHADSIEN	-	-
		IVORIEN	345	-
		HASTARIEN	-	-
		FAMENBIEN	355	3/5
		FRANSIEN	365	5
DÉVONIEN	GRVÉTIEN	375	5	
	EIFELIEN	380	-	
	EMSIEN	390	5	
SILURIEN	SUPÉRIEUR	PRADDIEN	400	-
		LOCHKOVIEN	-	-
		PRIDOLI	408	5/9
	MOYEN	PRIDOLI	415	-
		LUDLOW	-	-
		LUDFORDIEN	-	-
		GORSTIEN	425	5
		WENLOCK	-	-
		SHEINWOODIEN	-	-
		TELYCHIEN	430	6
ORDOVICIEN	LLANDOVERY	-	-	
	ARENIQ	-	-	
	RHIDDIAIEN	-	-	
	ASHGILL	435	9/4	
CAMBRIEN	CARADOC	445	4	
	LLANDEILO	455	5/5	
	LLANVIRN	462	4	
	ARENIG	465	5/3	
PRECAMBRIEN	TREMADOC	480	7/8	
	SUPÉRIEUR	500	10	
	MOYEN	-	-	
ARCHÉEN	INFÉRIEUR	MAYAIEN	-	-
		AMGAIEN	-	-
		LENIEN	-	-
ARCHÉEN	MOYEN	ATDABANIEN	525	5
		TOMMOBIEN	530	5
		PALÉOCAMBRIEN	540	5

Échelle des temps géologiques en 1994. Les subdivisions chronostratigraphiques des dépôts marins sont utilisées hormis pour le paléozoïque supérieur pour lequel des unités continentales usitées sont indiquées (en jaune).

Les âges des limites mal connues ne sont pas estimés (tirets).

Les astérisques signalent les limites actuellement définies selon le concept des Points Stratotypes Globaux.

La colonne ± indique l'intervalle de temps dans lequel les datations isotopiques situent la limite.

251 points datés rassemblés dans Odin (1982); 95 points nouveaux considérés dans Odin et Odin (1985); 55 nouvelles études réalisées durant les 4 dernières années.

Les estimations obtenues par extrapolation seule sont notées sans marges d'incertitude (tirets). Noter que les marges d'incertitude peuvent être dissymétriques de part et d'autre de l'âge préféré.

Les + ou - soulignés attirent l'attention sur le fait que l'âge préféré et l'âge extrême sont également probables.

Amélioré avril 1995.

PROTÉROZOÏQUE		Ma	
PROTÉROZOÏQUE	NEO-PROTÉROZOÏQUE	NEOPROT. III	540
		CRYOGÉNIEN	850
		TONIEN	850
	MÉSO-PROTÉROZOÏQUE	STEMIEN	1.000
		ECTASIEN	1.200
		CALYMIEN	1.400
		STATHÉRIEN	1.600
	PALÉO-PROTÉROZOÏQUE	OROSIEN	1.800
		RHYACIEN	2.050
		SIDÉRIEN	2.300
ARCHÉEN	NEOARCHÉEN	2.500	
	MESOARCHÉEN	2.800	
	PALEOARCHÉEN	3.200	
	EOARCHÉEN	3.600	

Méthodes TD-TP cartographie

-Les chaines récentes:

- Le secteur Pyrénées-Languedoc-Provence s'est formé essentiellement du Crétacé sup. au début du Tertiaire

- Les alpes et le Jura finissent de se former à la fin du Tertiaire

		Ma +/-				
CÉNOSOÏQUE	QUATERNAIRE	1,75	0,05			
	PLIOCÈNE	PLASANCYEN	3,4	-		
		ZANCLÉEN	5,3	-		
		MESSINIEN	7,0	-		
	MIOCÈNE	TORTOBIEN	11,0	0,3		
		SERRAVALLIEN	14,7	0,5		
		LANGHEEN	15,8	0,4		
		BURGALIEEN	20,3	0,5		
		AQUITAINEEN	23,0	0,5		
		CHATTIEN	28	1		
OLIGOCÈNE	RUPÉLIEN	33,7	0,5			
	PRABONIEN	37,0	1/0,5			
	BARTONIEN	40	1			
ÉOCÈNE	LUTÉTIEN	46,0	1/0,5			
	YPRÉSIEN	53	1			
PALÉOCÈNE	TIWANETIEN	59	2			
	DANIEN	65,0	0,5			
CRÉTACÉ	MAASTRICHTIEN	72,0	0,5			
	CAMPANIEN	83	1			
	SANTONIEN	87	1			
	CONACIEN	88	2			
	TURONIEN	92	2			
	CÉNOMANIEN	96	2			
	ALBIEN	108	3/1			
	MÉSOZOÏQUE	JURASSIQUE	INFERIEUR	BARRÉMIEN	113	3
			HAUTERVIEN	117	5/2	
			VALANGIEN	123	6/2	
BERTHIAUDIEN			131	4		
TITHONIEN			135	5/5		
SUPÉRIEUR (MALM)		KIMÉRIDGIEN	141	7/5		
OXFORDIEN		146	-			
CALLOVIEN		154	5			
MOYEN (DOGGER)		BATHONIEN	160	2		
		BAJOGIEN	164	2		
	APALÉNIEN	170	4/3			
INFERIEUR (LIAS)	TOURNAISIEN	175	-			
	PIEUSBACHIEN	184	-			
	SINÉMURIEN	191	-			
	HETTANGIEN	200	4/7			
SUPERIEUR	RHÉTIEN	203	3			
	NORBIEN	-	-			
	CARNIEN	220	10			
	LADINIEN	230	6			
MOYEN	AMSIEN	233	5			
	OLEKENIEN	240	5			
INFERIEUR	INDUSIEN	-	-			
	SCHISTIEN	250	5			

		Ma +/-			
PALÉOZOÏQUE	PERMIEN	SUPÉRIEUR	TATARIEN	250	5
		KAZANIEN	255	5	
	INFERIEUR	KONGUSIEN	258	9/5	
		ARTINSKIEN	265	8	
		SARMAIEN	275	8	
		ASSELIEN	285	8	
	CARBONIFÈRE	SILESIEN	KAZHOMIEN	295	5
			GZHELIEN	-	-
		DINANTIEN	MOSCOWIEN	305	3/5
			BASHKIRIEN	315	5
SERPUKHIVIEN			-	-	
BRIGANTIEN			325	5	
ASSIEN			-	-	
HOLKÉRIEN			325	5	
ARUNDIEN			-	-	
CHADSIEN			-	-	
IVORIEN	345	-			
HASTARIEN	-	-			
DÉVONIEN	SUPERIEUR	FAMENBIEN	355	3/5	
		FRANSIEN	365	5	
	MOYEN	GRVÉTIEN	375	5	
		EIFELIEN	380	-	
	INFERIEUR	EMSIEN	390	5	
		PRAGIEN	400	-	
	SILURIEN	LOCHKOVIEN	LOCHKOVIEN	408	5/9
			PRIDOLI	415	-
		LUDLOW	LUDFORDIEN	-	-
			GORSTIEN	425	5
WENLOCK		HOMÉRIEN	-	-	
		SHEINWOODIEN	430	6	
LLANDOVERY		TELYCHIEN	-	-	
		ARENIEN	435	9/4	
ORDOVICIEN		ASHGILL	445	4	
		CARADOC	455	5/5	
	LLANDEILO	462	4		
	LLANVIRN	465	5/3		
	ARENIG	480	7/8		
CAMBRIEN	TREMADOC	500	10		
	SUPERIEUR	MAYAIEN	-	-	
		AMGAIEN	-	-	
	MOYEN	LENIEN	-	-	
		ATDABANIEN	525	5	
INFERIEUR		TOMMOBIEN	530	5	
PRECAMBRIEN	PALEOCAMBRIEN	540	5		

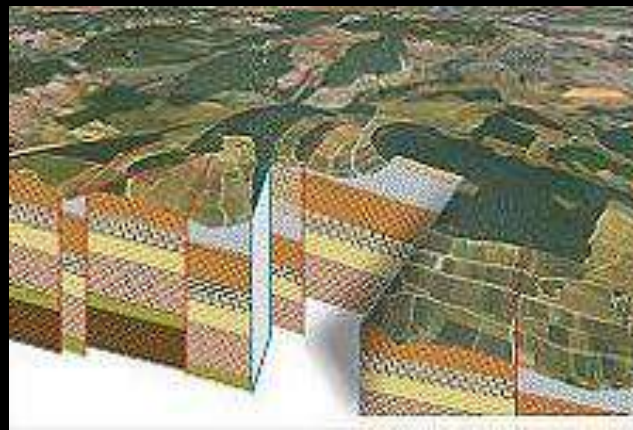
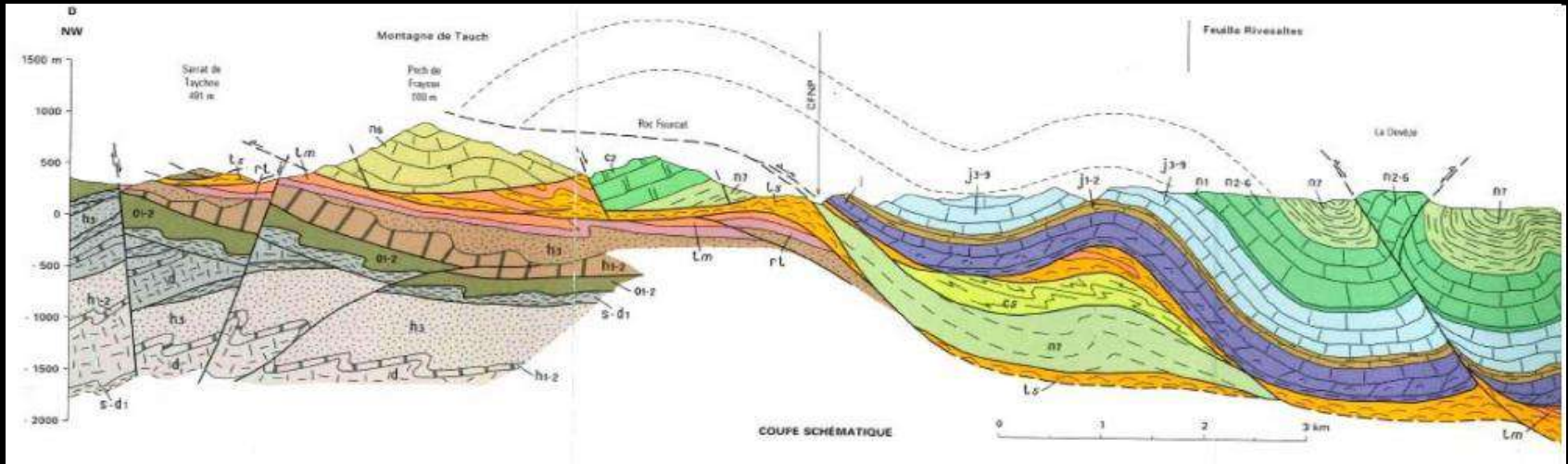
Échelle des temps géologiques en 1994. Les subdivisions chronostratigraphiques des dépôts marins sont utilisées hormis pour le paléozoïque supérieur pour lequel des unités continentales usitées sont indiquées (en jaune).
Les âges des limites mal connues ne sont pas estimés (tirets).
Les astérisques signalent les limites actuellement définies selon le concept des Points Stratotypes Globaux.
La colonne ± indique l'intervalle de temps dans lequel les datations isotopiques situent la limite.
251 points datés rassemblés dans Odin (1982);
95 points nouveaux considérés dans Odin et Odin (1985);
55 nouvelles études réalisées durant les 4 dernières années.
Les estimations obtenues par extrapolation seule sont notées sans marges d'incertitude (tirets). Noter que les marges d'incertitude peuvent être dissymétriques de part et d'autre de l'âge préféré.
Les + ou - soulignés attirent l'attention sur le fait que l'âge préféré et l'âge extrême sont également probables.
Amélioré avril 1995.

PROTÉROZOÏQUE	NEO-PROTÉROZOÏQUE	NÉOPROT. III	650
		CRYOGÉNIEN	850
	MÉSO-PROTÉROZOÏQUE	TONIEN	1.000
		STÉMIEN	1.200
		ECTASBIEN	1.400
		CALYMBIEN	1.600
	PALÉO-PROTÉROZOÏQUE	STATHÉRIEN	1.800
		OROSIEN	2.050
		RHYACIEN	2.300
		SIDÉRIEN	2.500
ARCHÉEN	NEOARCHÉEN	2.800	
	MESOARCHÉEN	3.200	
	PALEOARCHÉEN	3.600	
	EOARCHÉEN	4.550	

Méthodes TD-TP cartographie

Coupe géologique: construction

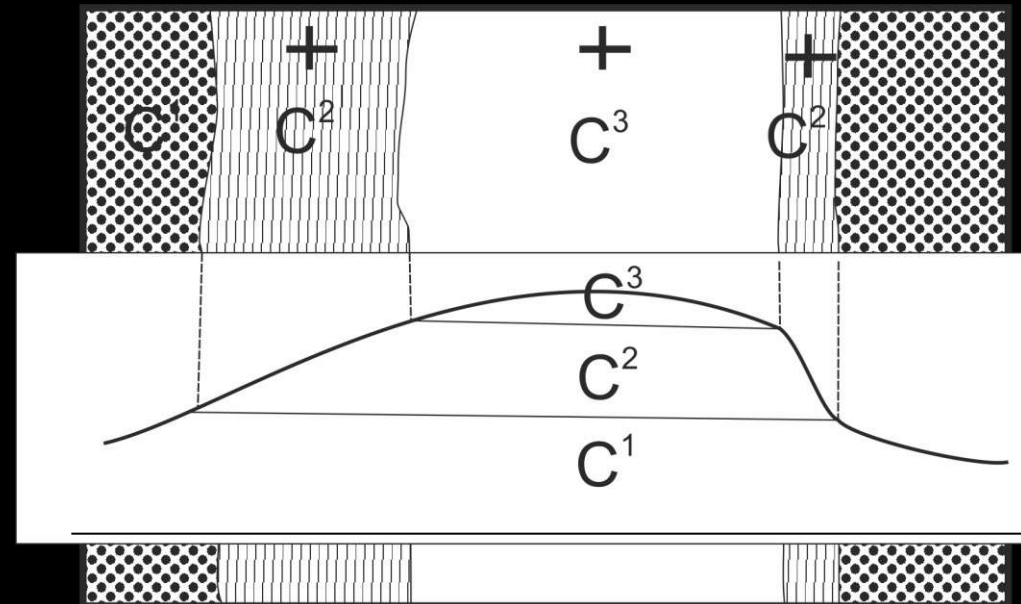
- La coupe géologique représente une section des terrains par un plan vertical
- A la différence du profil topographique, la coupe géologique nécessite une part d'hypothèse puisqu'il s'agit de dessiner des terrains masqués en profondeur



Méthodes TD-TP cartographie

Cas d'une formation tabulaire sans pendage

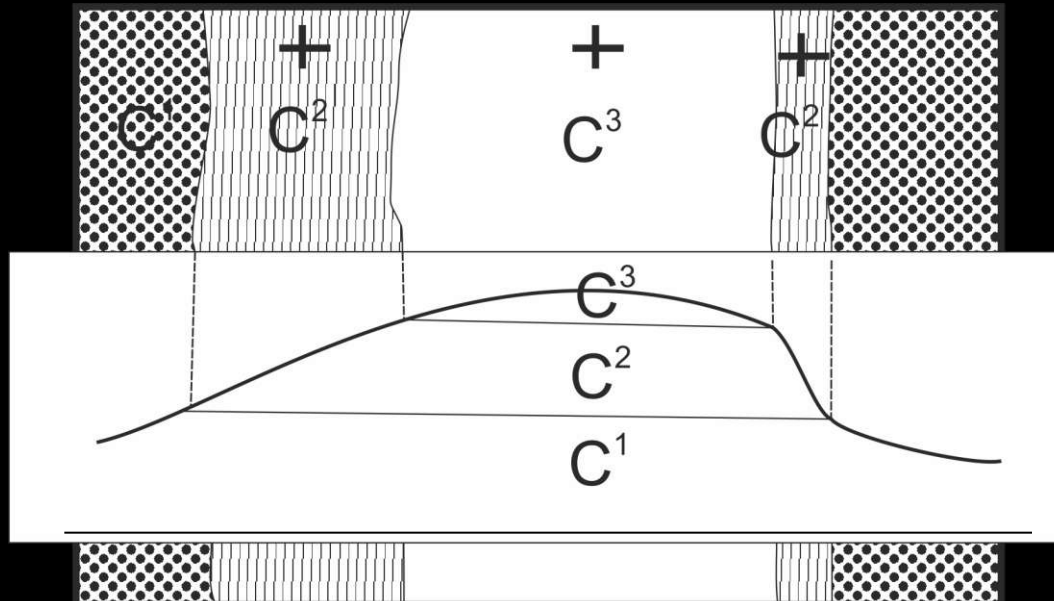
- 1) On dessine d'abord un profil topographique
- 2) On repère les limites d'affleurement
- 3) On commence par dessiner la couche la plus récente dont on connaît le toit et le mur partout où elle affleure.
- 4) On repère ces limites sur le profil
- 5) On dessine, à partir des points obtenus sur le profil, les sections des couches

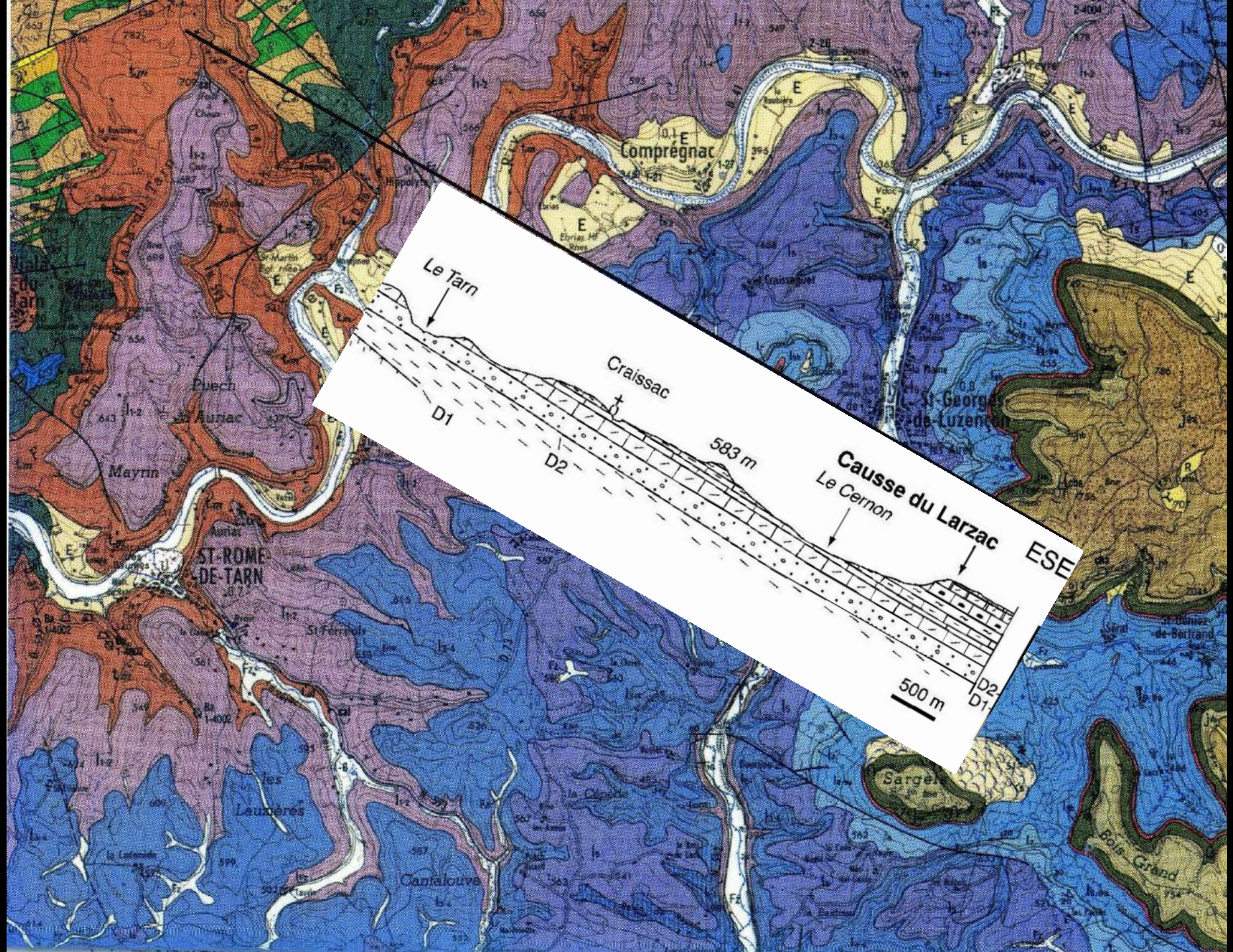


Méthodes TD-TP cartographie

Pour construire les couches il faut tenir compte de

- L'ordre stratigraphique
- Le pendage des couches
- L'épaisseur des couches
- Dans le cas des couches horizontales les contours géologiques suivent les courbes de niveau.

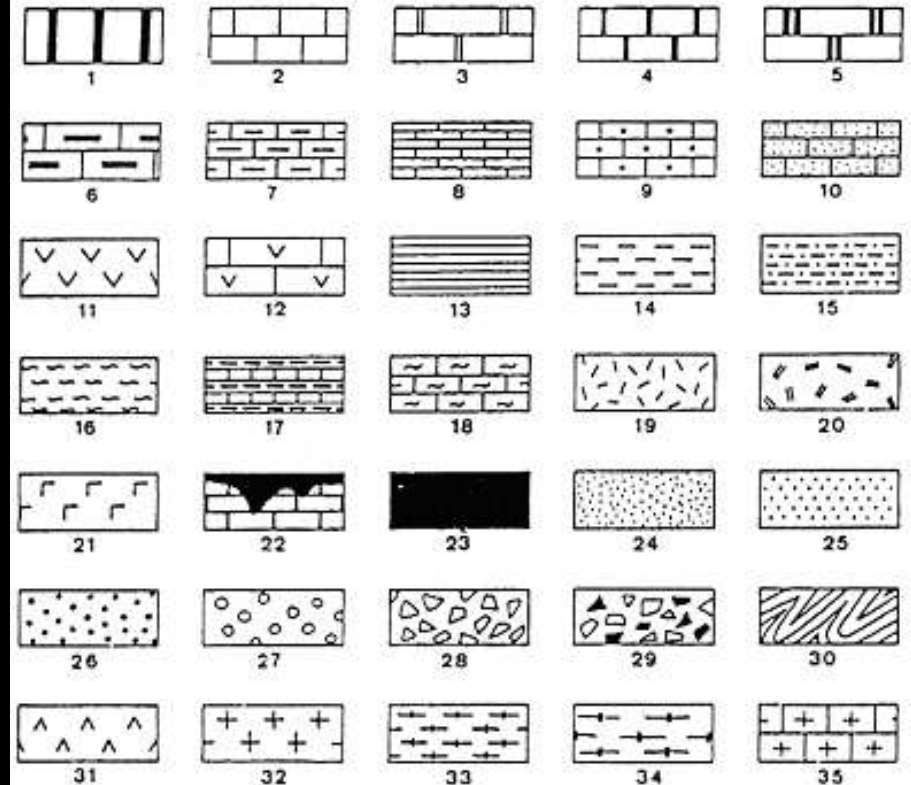




Méthodes TD-TP cartographie

Figurés conventionnels pour habillage des couches sédimentaires et terrains cristallins

- Pour la clarté de la coupe, il n'est pas nécessaire de faire beaucoup de figurés



Ces exemples sont donnés à titre indicatif.

1 à 10 : calcaires (1 à 5, en bancs ; 6, marneux ; 7, à silex ; 8, en plaquettes ; 9, conglomératiques ; 10, gréseux).

11 et 12 : dolomie et calcaire dolomitique.

13 à 18 : argiles et marnes (15, sableuses ; 17, 18, marno-calcaires).

19 et 20 : roches massives (calcaires récifaux, etc.).

21 : roches salines.

22 : dépôt en poches.

23 : couche de faible épaisseur ou d'épaisseur variable (Ex. : Trias).

24 à 29 : roches détritiques (24, sables ; 25, grès ; 26 et 27, conglomérats ; 28 et 29, brèches).

30 : socles plissés.

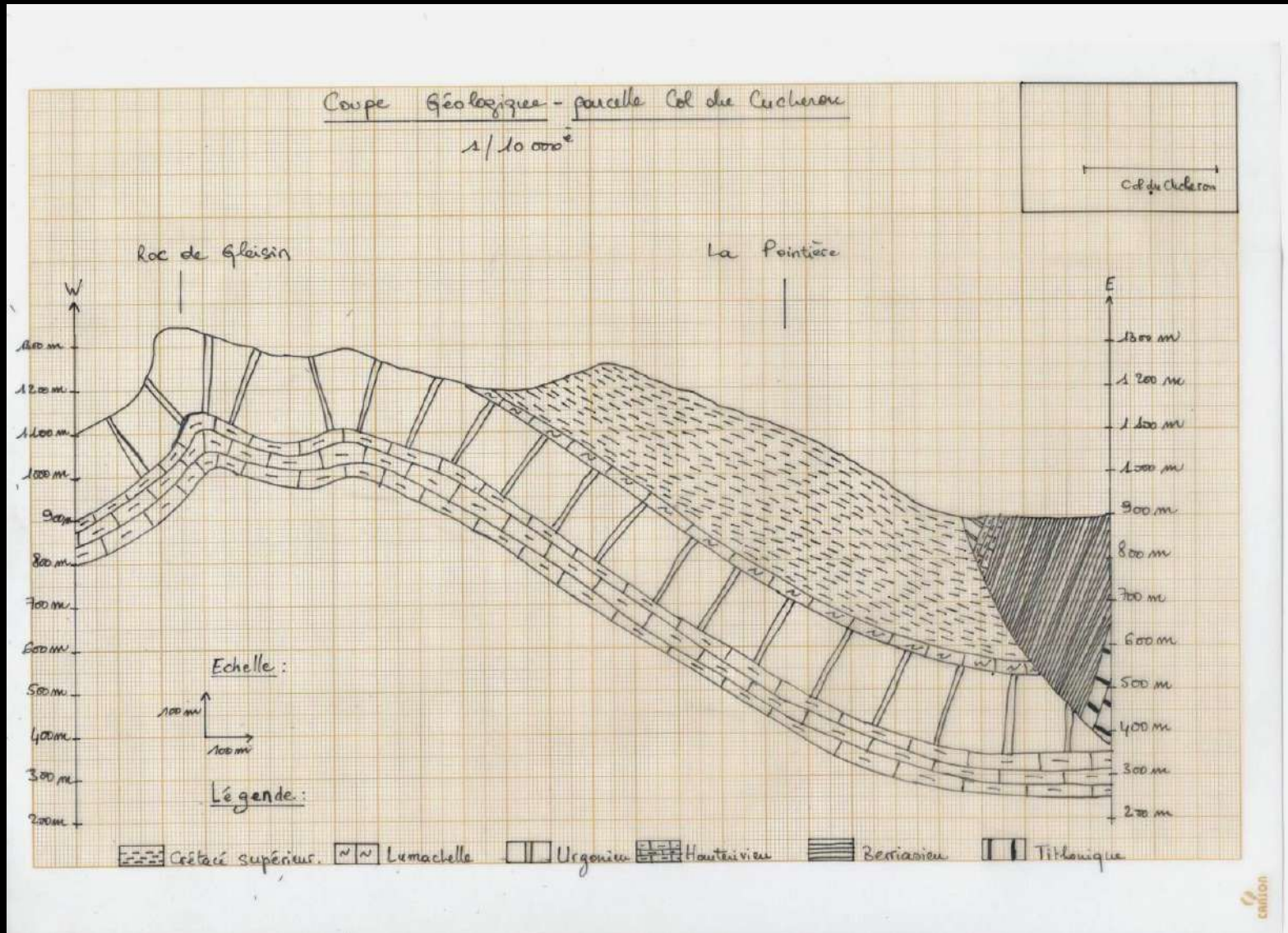
31 : roches éruptives basiques.

32 : roches intrusives acides.

33 à 35 : roches métamorphiques (33 et 34, schistes cristallins ; 35, calcaires

Méthodes TD-TP cartographie

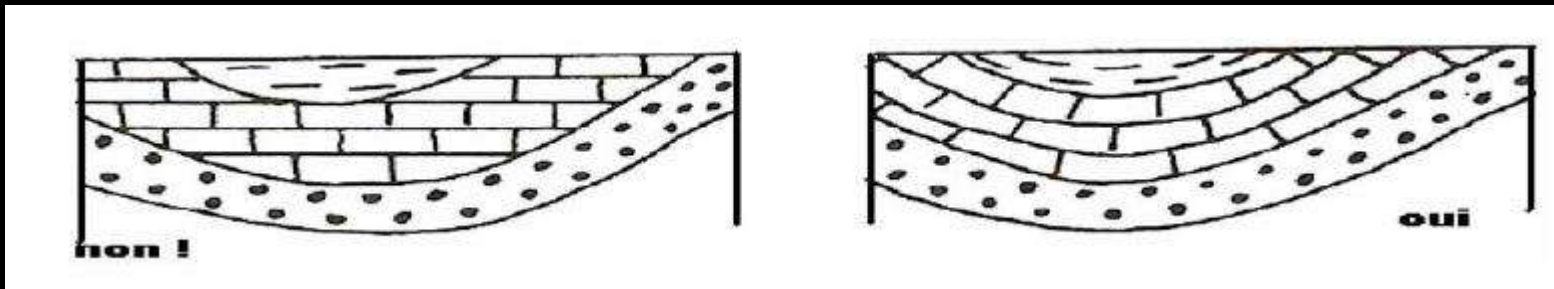
- Pour la clarté de la coupe, il n'est pas nécessaire de faire beaucoup de figurés



Méthodes TD-TP cartographie

-Les figurés doivent rendre compte des caractères lithologiques des formations représentées.

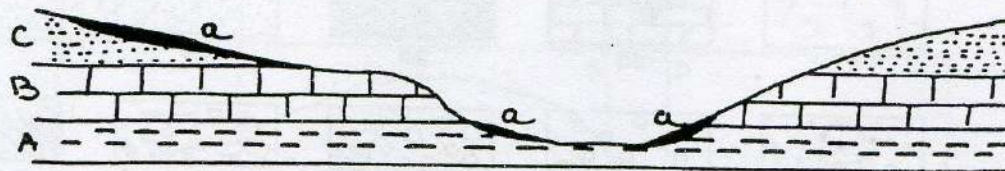
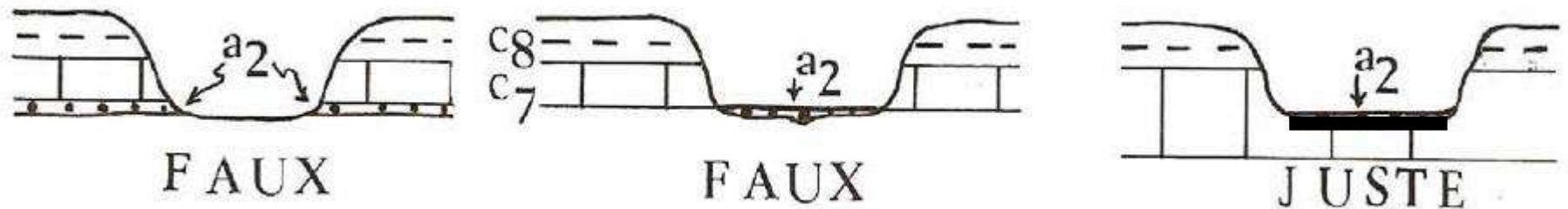
- Les figurés se dessinent en rapport avec les limites des couches et non avec l'horizontal, autrement dit, les traits des figurés seront parallèles ou perpendiculaires aux limites des couches.



Méthodes TD-TP cartographie

Les formations superficielles

Les dépôts superficiels (alluvions, éboulis, boues...) n'ont rien à voir avec la série des terrains sédimentaires; ces formations dont l'épaisseur est variable, reposent en placage sur les autres terrains et il ne faut pas les confondre avec les limites d'affleurement des couches. On les dessinera en surcharge sous le profil topographique lorsque la coupe géologique sera terminée



A, B, C : terrains sédimentaires
a : formations superficielles

Méthodes TD-TP cartographie

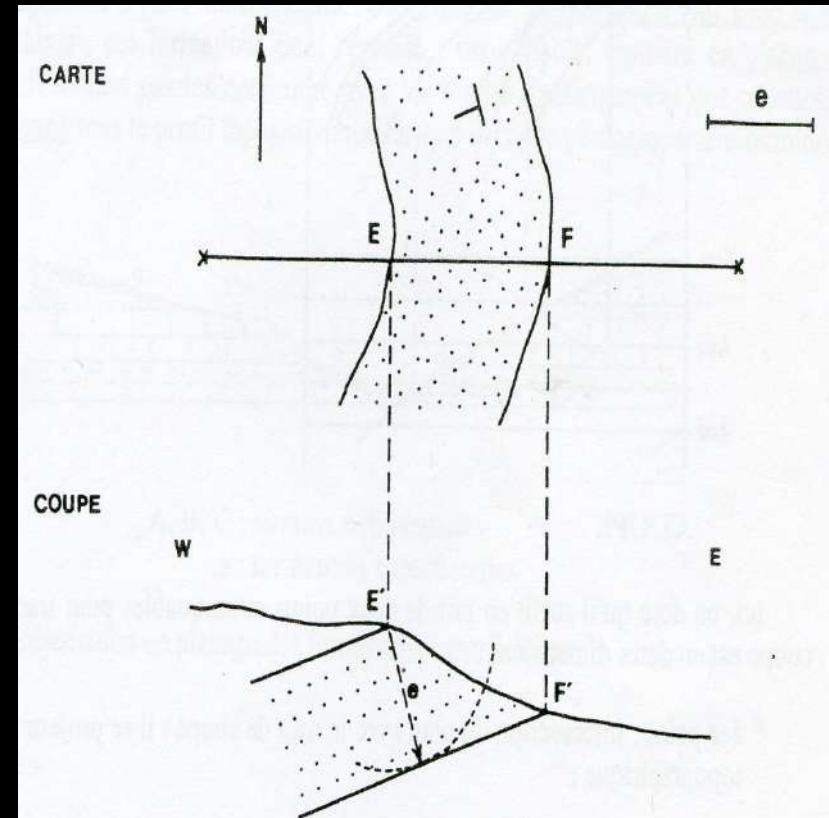
-La méthode du cercle

- Il est possible de construire une couche connaissant seulement son épaisseur et ses limites d'affleurements

1- On prend le point E' comme centre d'un cercle de rayon e (égal à l'épaisseur de la couche), et on mène à partir du point F' la tangente au cercle: on construit ainsi la base de la couche

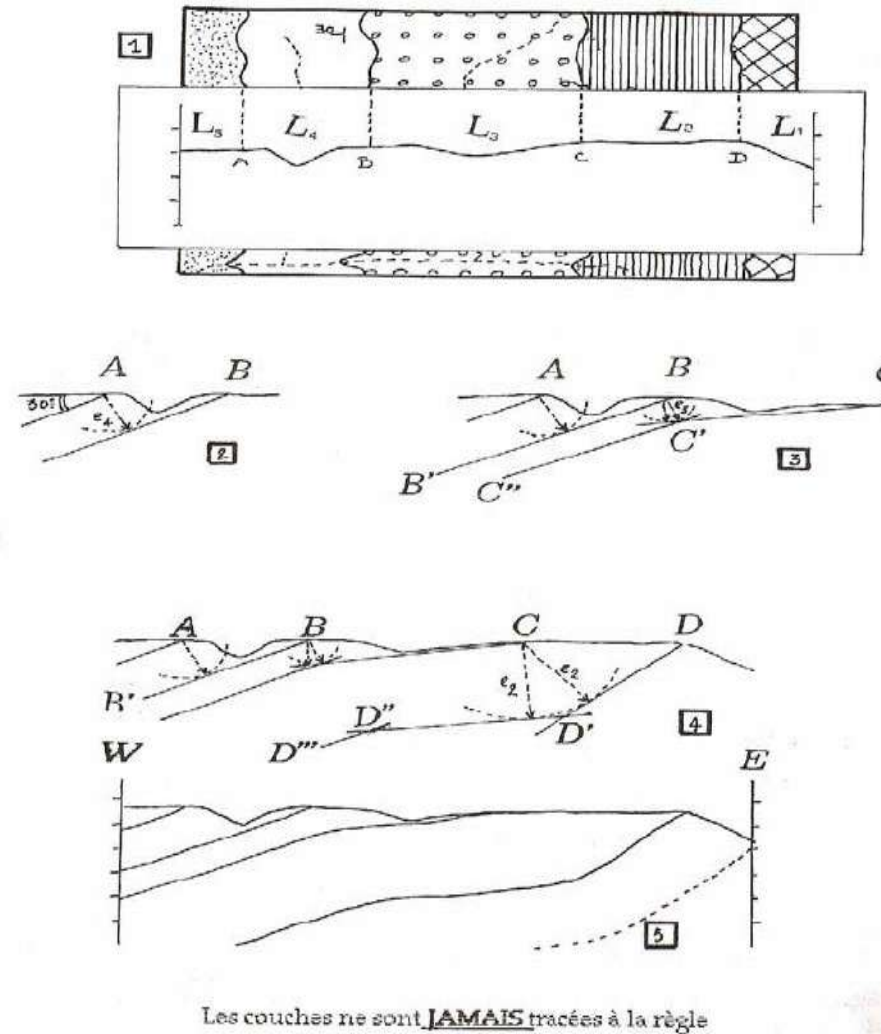
2- Il suffit ensuite de tracer la parallèle à la base de couche, à partir du point E', pour obtenir la construction de l'ensemble (mur, toit) de la couche

3- Cette construction ne doit pas être trop prolongée en profondeur de fait de possibles variations de pendage



Méthodes TD-TP cartographie

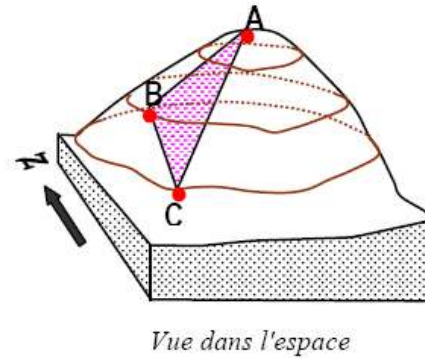
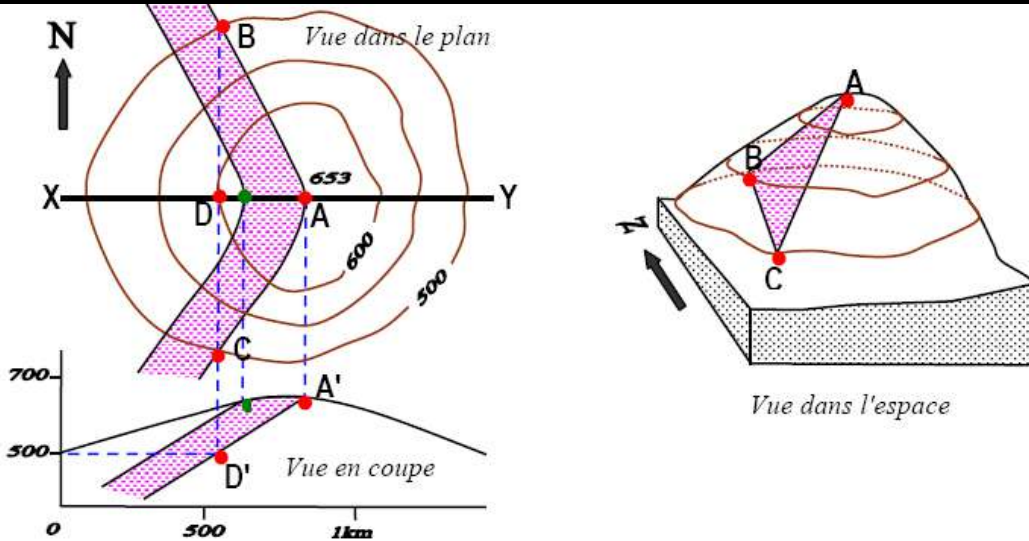
- 1- Dessiner le profil topographique
- 2- Reporter les limites d'affleurements
- 3- Commencer la construction par la couche la plus récente dont on a repère les deux limites



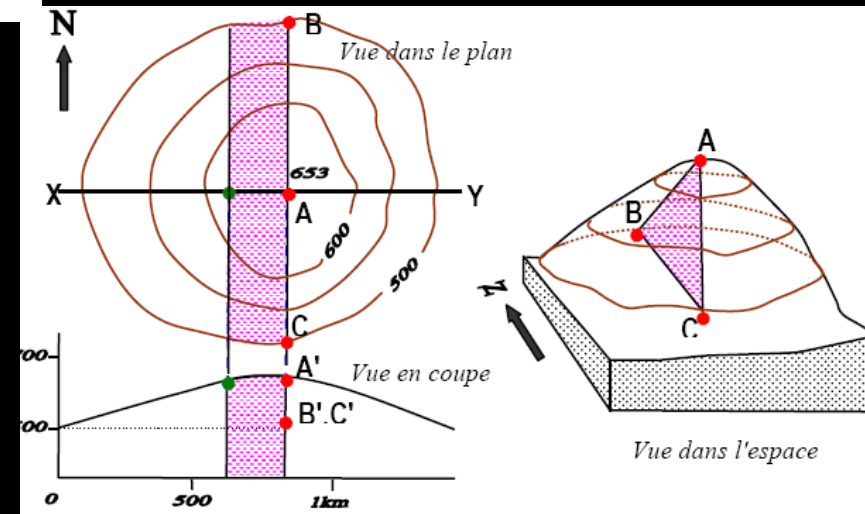
Méthodes TD-TP cartographie

-Détermination du pendage par la méthode des trois points

Dans une colline



cas 1 : couche oblique (= inclinée)

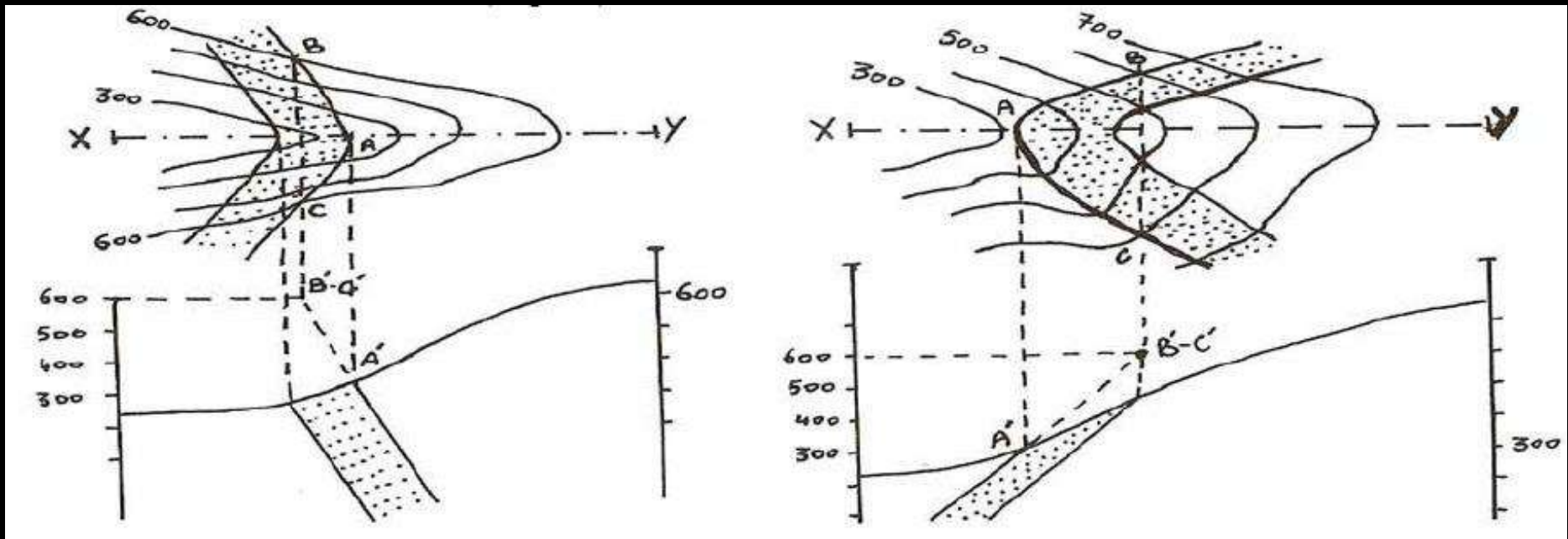


Cas 2 : Couches verticales

Méthodes TD-TP cartographie

-Détermination du pendage par la méthode des trois points

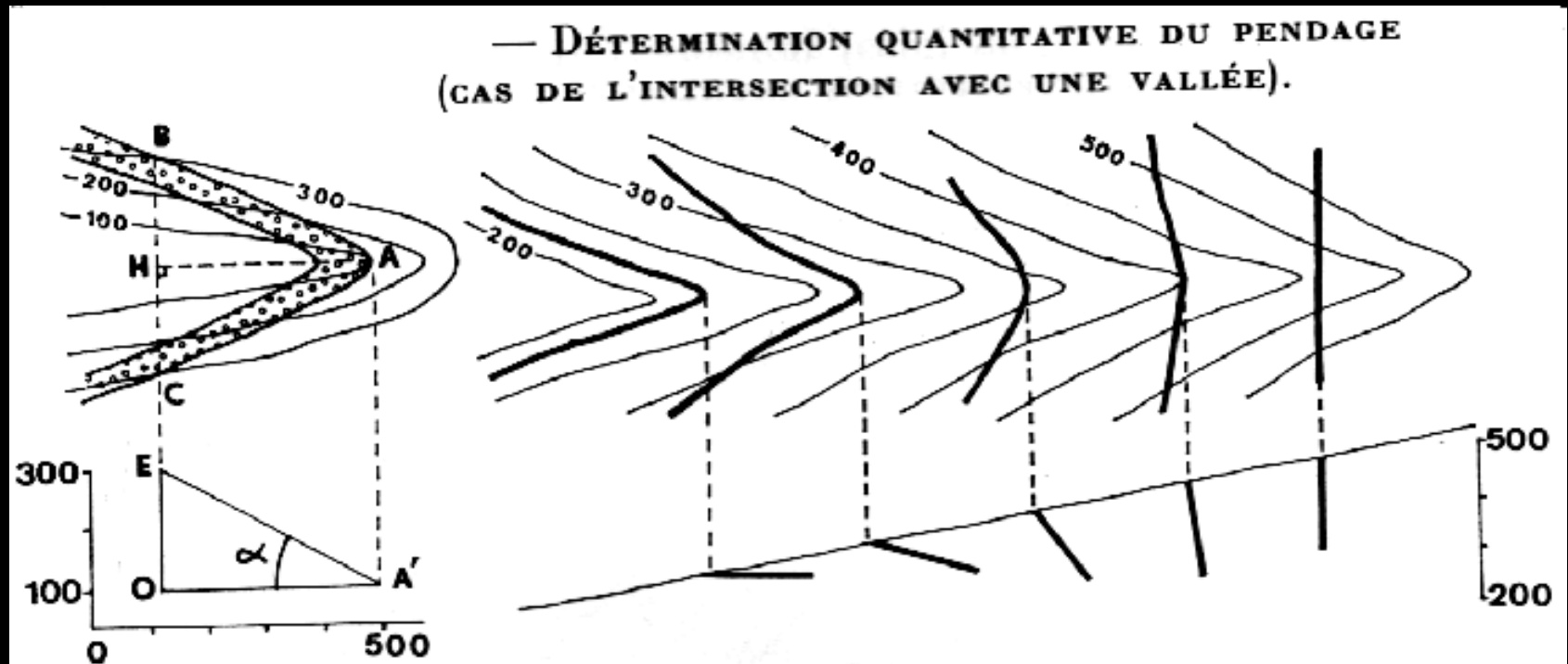
Dans une vallée cas 1 : couche oblique (= inclinée)



Lorsqu'une couche inclinée traverse une vallée, ses limites dessinent un V dont la pointe est dirigée dans le sens du pendage.

Méthodes TD-TP cartographie

De façon générale, on peut dire que pour une même topographie, plus l'angle entre les tranches du V est ouvert et plus le pendage est fort



$$\text{tg } \alpha = \text{EO/OA}'$$

$$\text{ici, tg } \alpha = 200/400 = 0,5$$

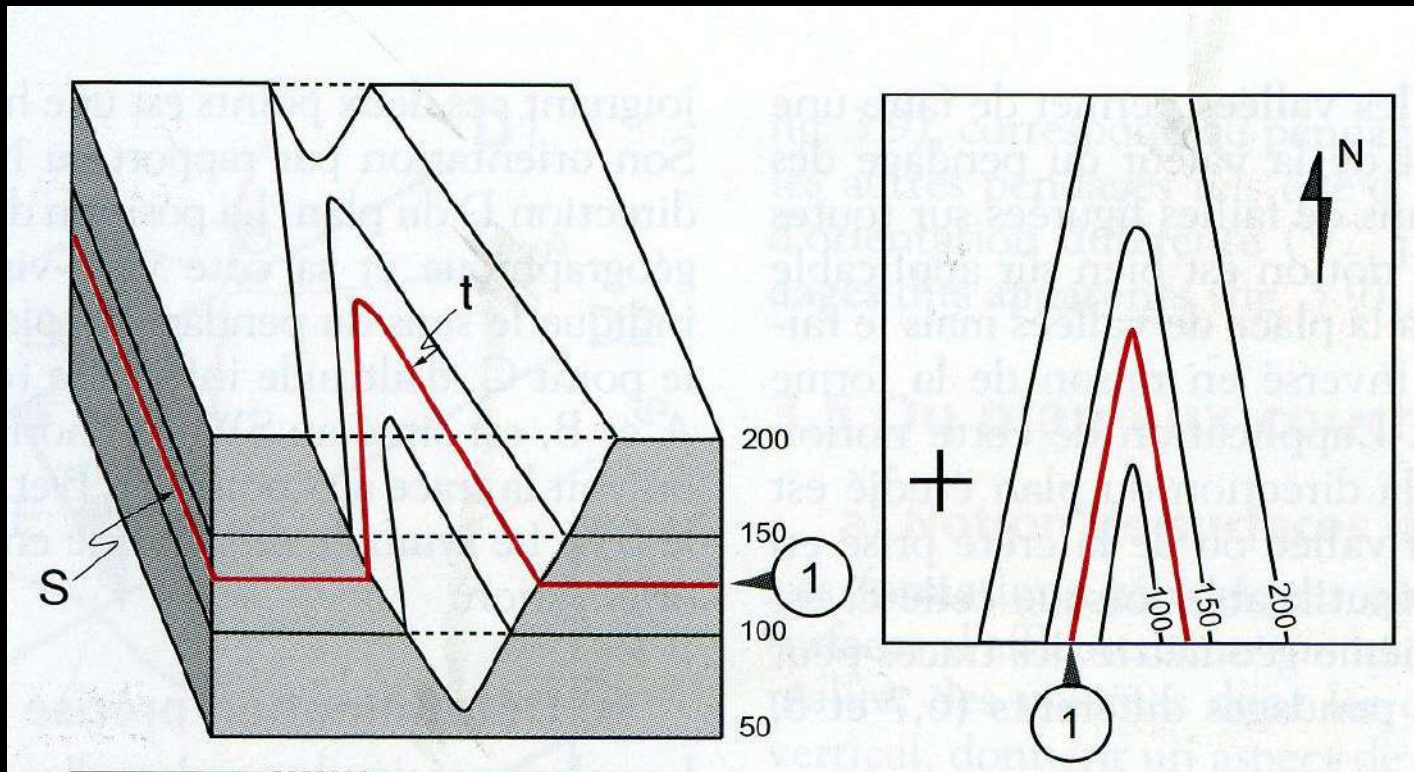
$$\alpha = 30^\circ$$

Méthodes TD-TP cartographie

Cas d'une formation tabulaire (monoclinale) avec pendage

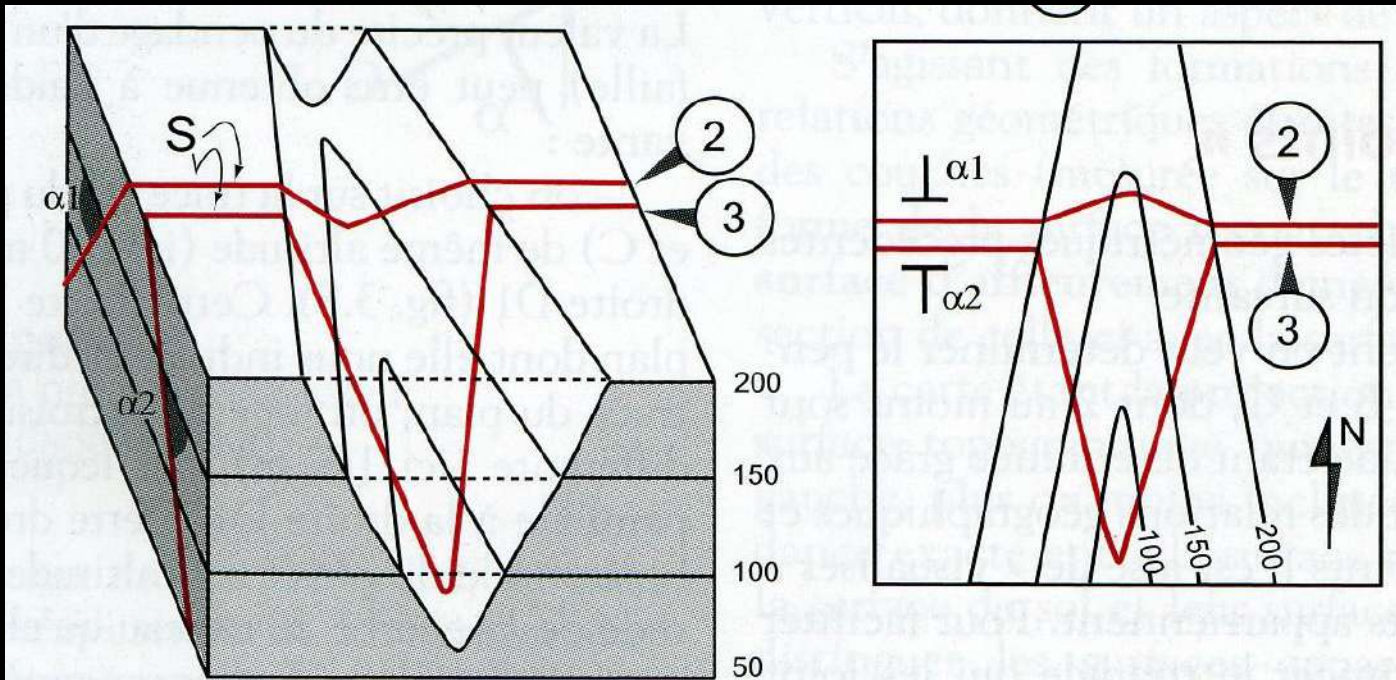
-Intersection entre plan géologique et surface topographique au niveau d'une vallée

Plan de couche horizontale



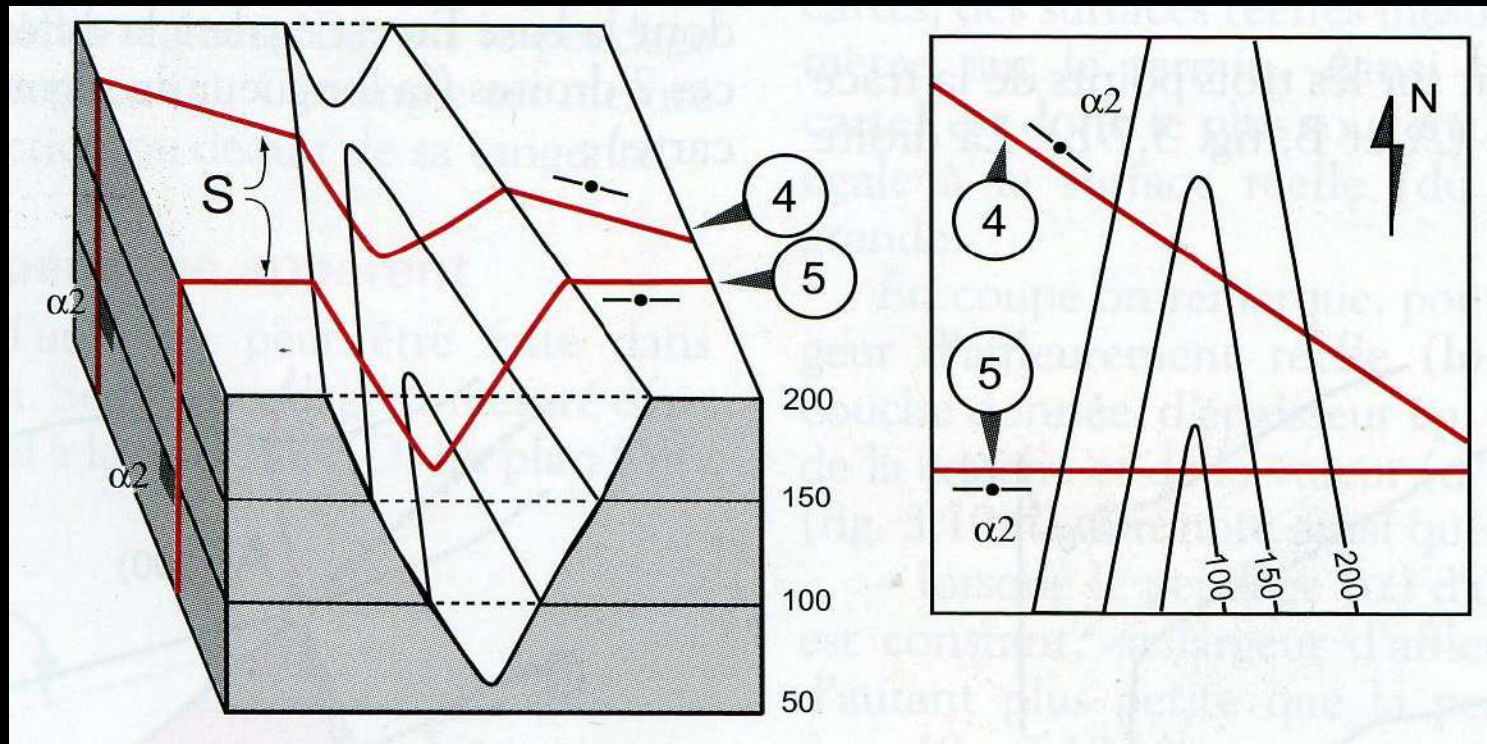
Méthodes TD-TP cartographie

Plan de couche avec pendage



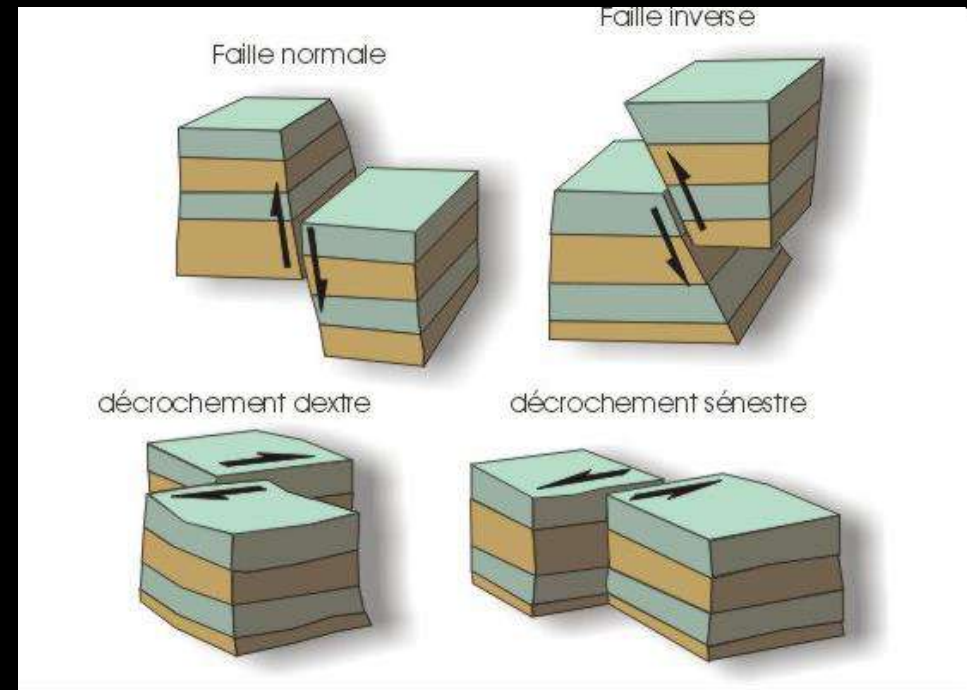
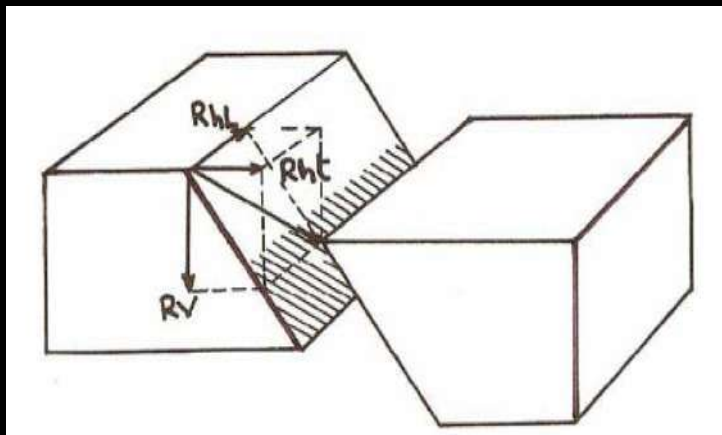
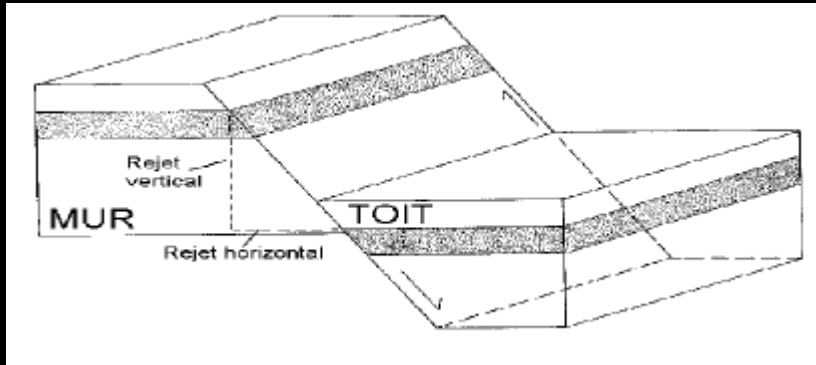
Méthodes TD-TP cartographie

Plan de couche verticale



Méthodes TD-TP cartographie

Cas d'une formation faillée



Dans le cas d'une faille oblique on distingue :

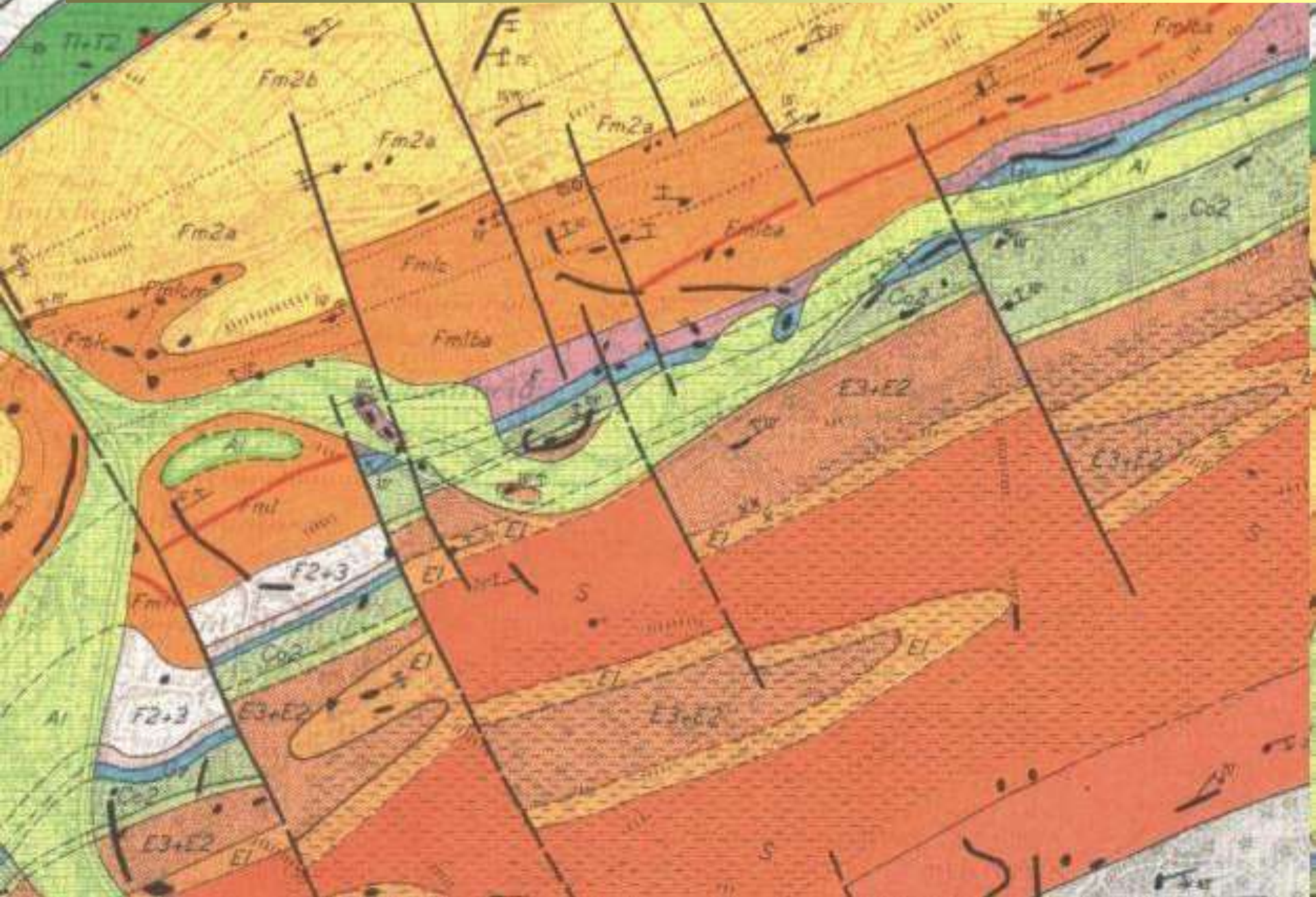
- un rejet vertical : R_v
- un rejet horizontal latéral : R_{hl}
- un rejet horizontal transversal : R_{ht} .

Méthodes TD-TP cartographie



Photo : Claude MONIER

Méthodes TD-TP cartographie

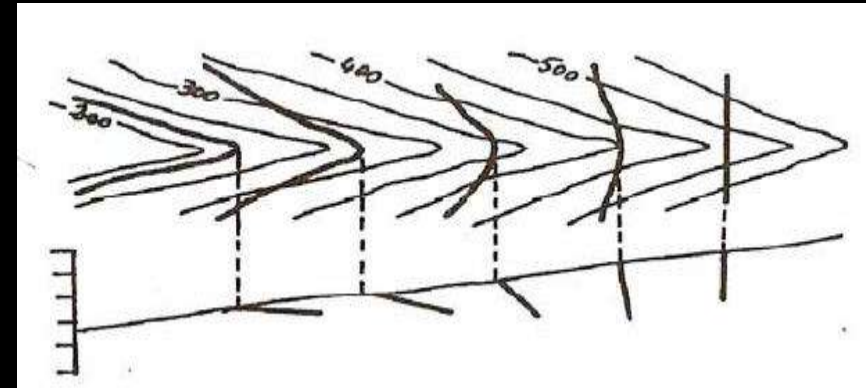
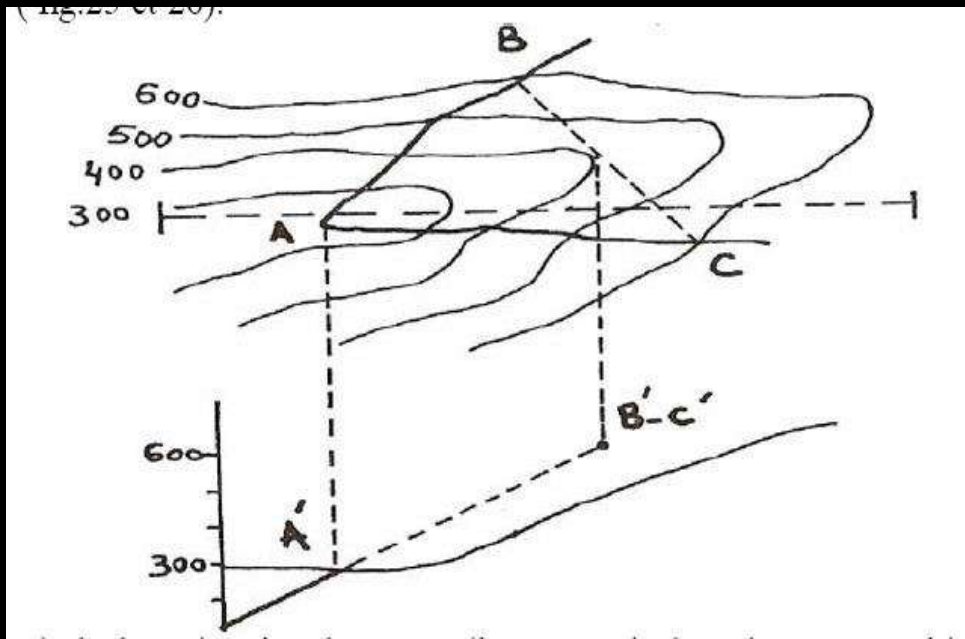


Méthodes TD-TP cartographie

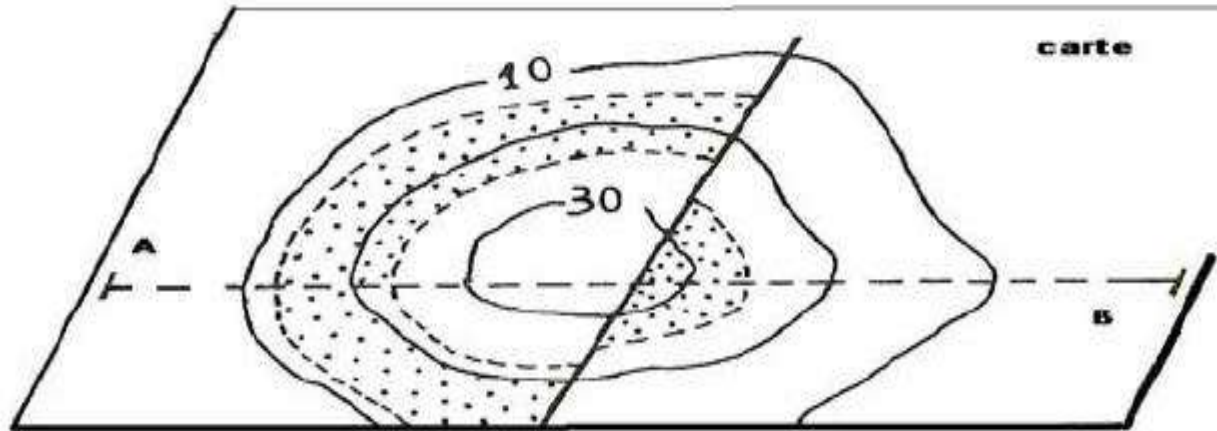
Détermination du pendage d'une faille

On appliquera le même raisonnement qui nous a permis de déterminer le pendage des couches

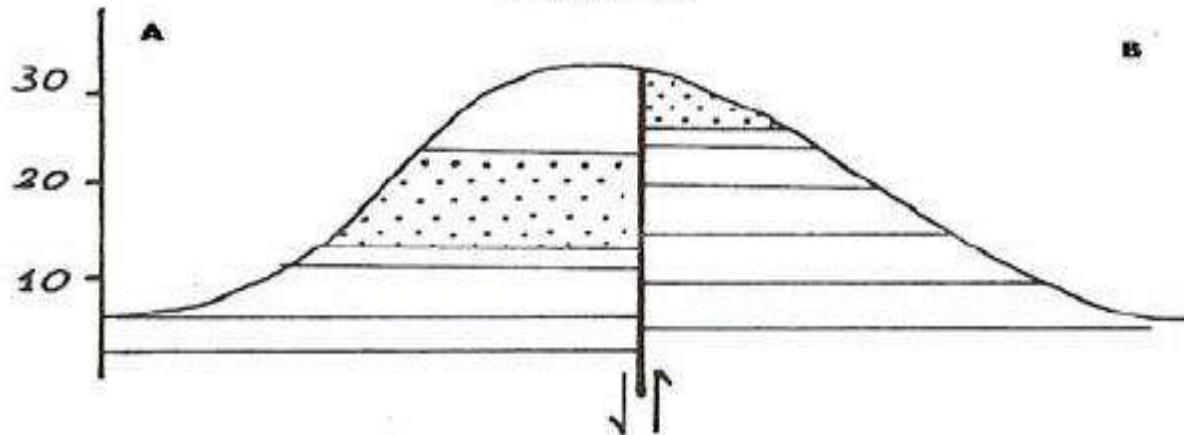
Si un plan (plan de faille, limite géologique d'une couche etc.) recoupe les courbes de niveaux c'est qu'elle n'est pas horizontale ; si son tracé n'est pas rectiligne en traversant le thalweg d'une vallée c'est qu'elle n'est pas verticale ; conclusion : une faille inclinée traverse une vallée en recoupant les courbes de niveaux et dessinant un V ; la pointe du V indique le sens du pendage ; plus le pendage est fort et plus le V est ouvert et inversement.



Méthodes TD-TP cartographie



coupe A-B



Méthodes TD-TP cartographie

Age d'une faille

- une faille est postérieure à la couche la plus récente qu'elle affecte
- elle est antérieure à la plus ancienne couche non affectée par cette faille, et qui repose sur ce premier ensemble faillé.

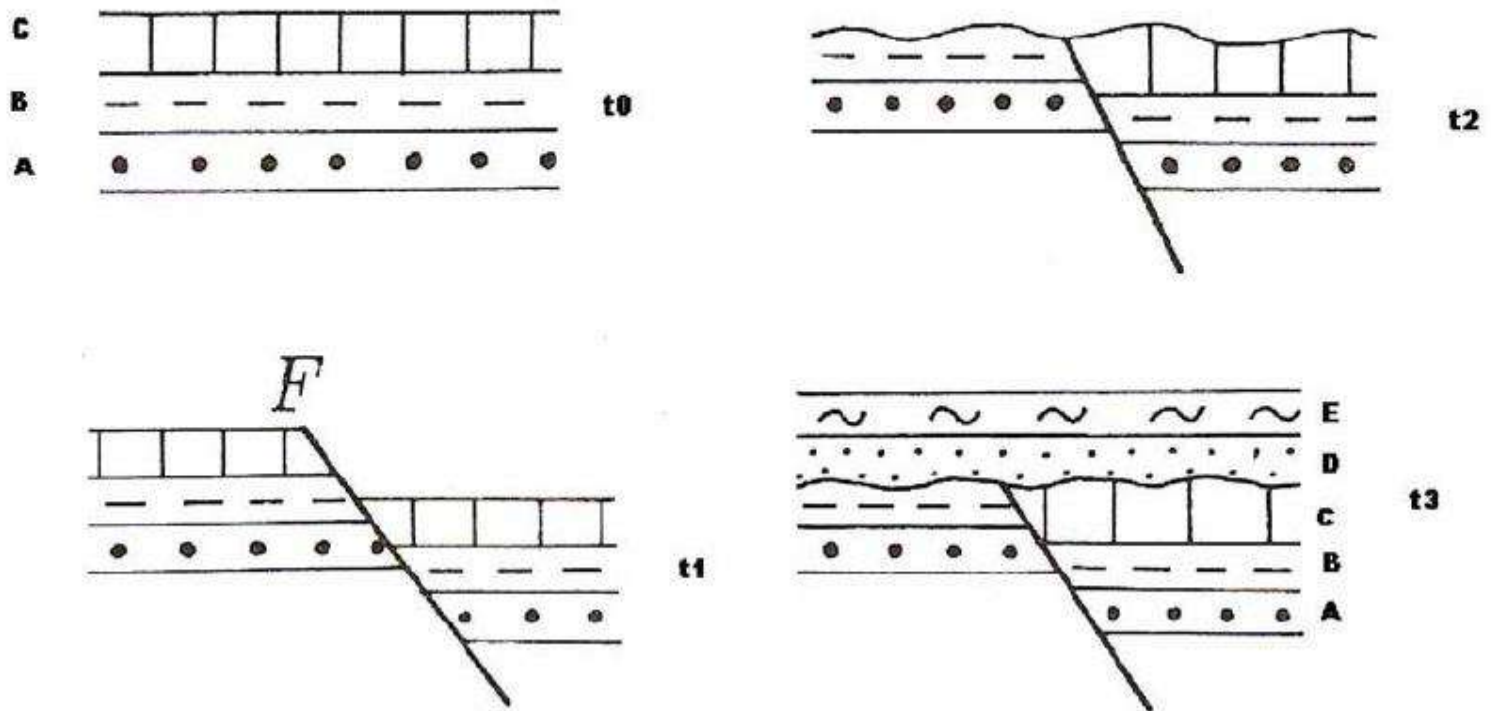


Fig. 27 : Cette faille est post C et anté D

Méthodes TD-TP cartographie

Construction d'une coupe en terrain faillé

1 – dessiner le profil avec précision et soin

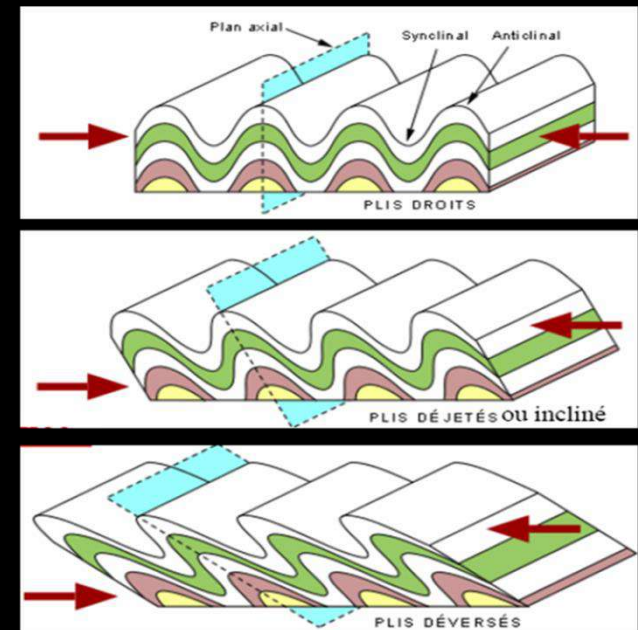
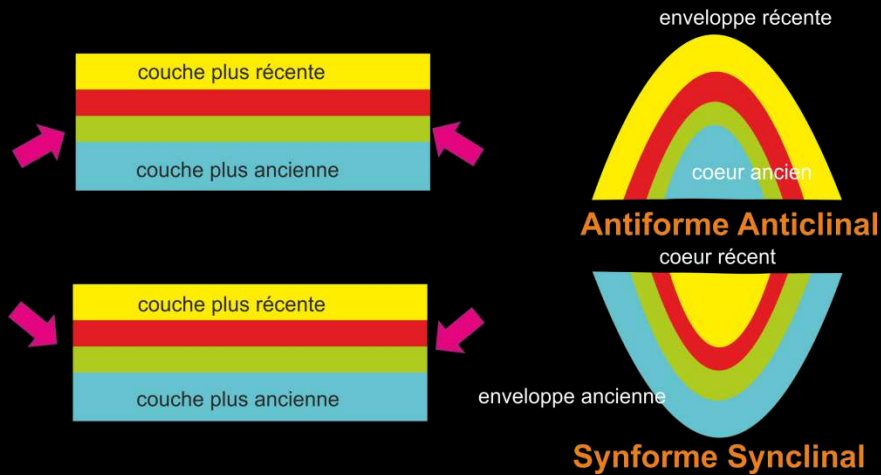
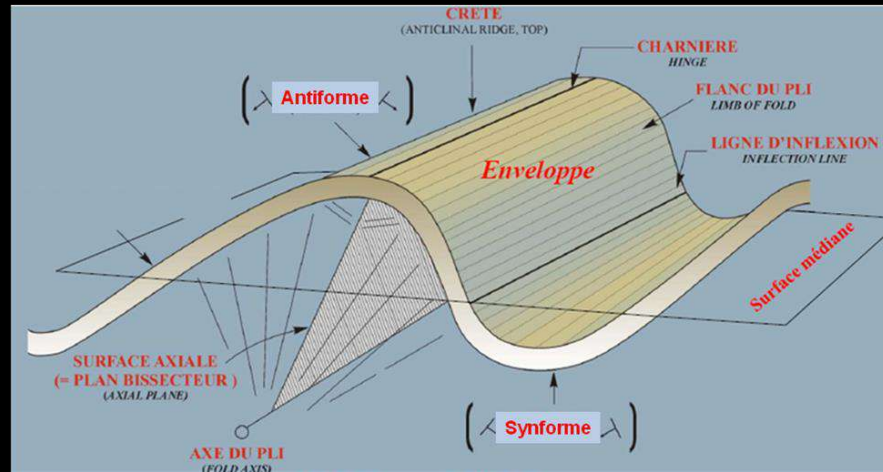
2 – repérer l'intersection du trait de coupe avec la faille et la projeter sur le profil topographique

3 – Déterminer son pendage, et indiquer le déplacement relatif le long de la faille (jeu de la faille)

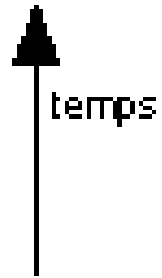
4 – On commence toujours par représenter la faille, et ensuite on dessine les différentes structures, compartiment par compartiment, en commençant toujours par la couche la plus *récente* dont on connaît le toit et le mur.

Méthodes TD-TP cartographie

Cas d'une formation plissée

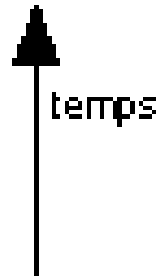


Méthodes TD-TP cartographie



dépôt des couches horizontales

Méthodes TD-TP cartographie



dépôt horizontal puis

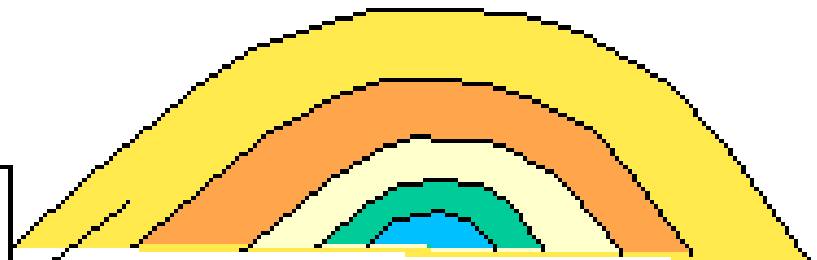
Méthodes TD-TP cartographie



↑ temps

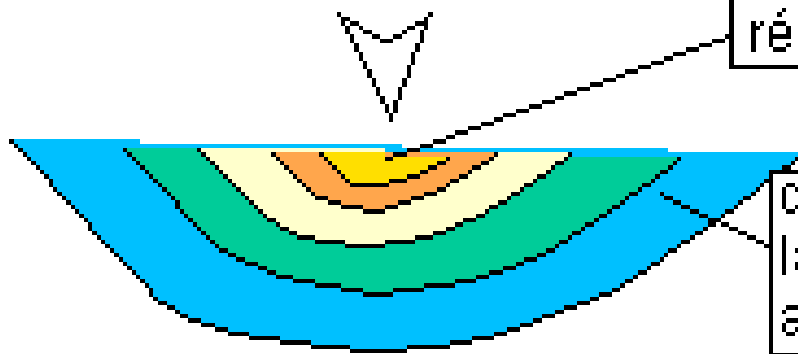
dépôt des couches horizontales
puis plissement anticlinal
antiforme (anticlinal)

dépôt horizontal puis
plissement synclinal ou dépôt
des couches successives au
sein d'un creux (synforme)



couche
la plus
récente

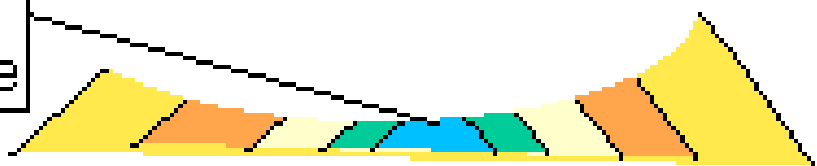
érosion



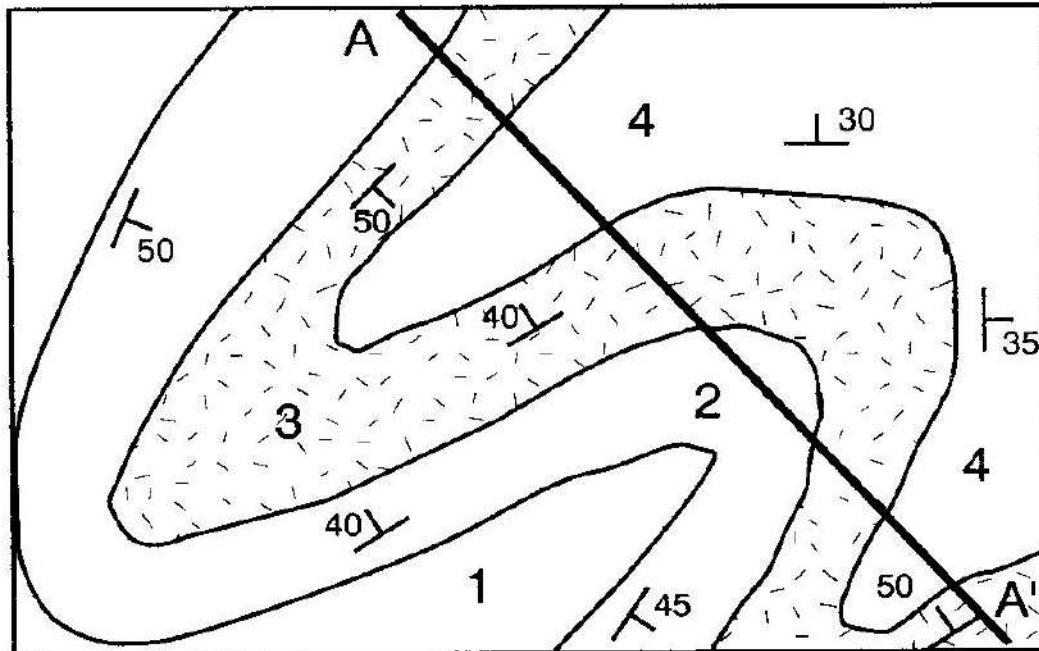
synclinal

couche
la plus
ancienne

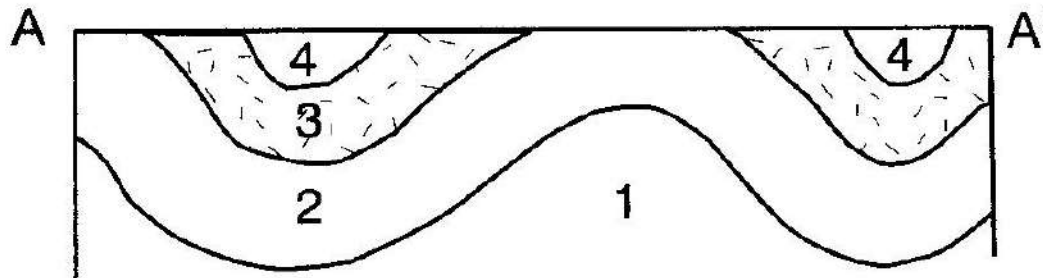
synforme due à l'érosion



Méthodes TD-TP cartographie

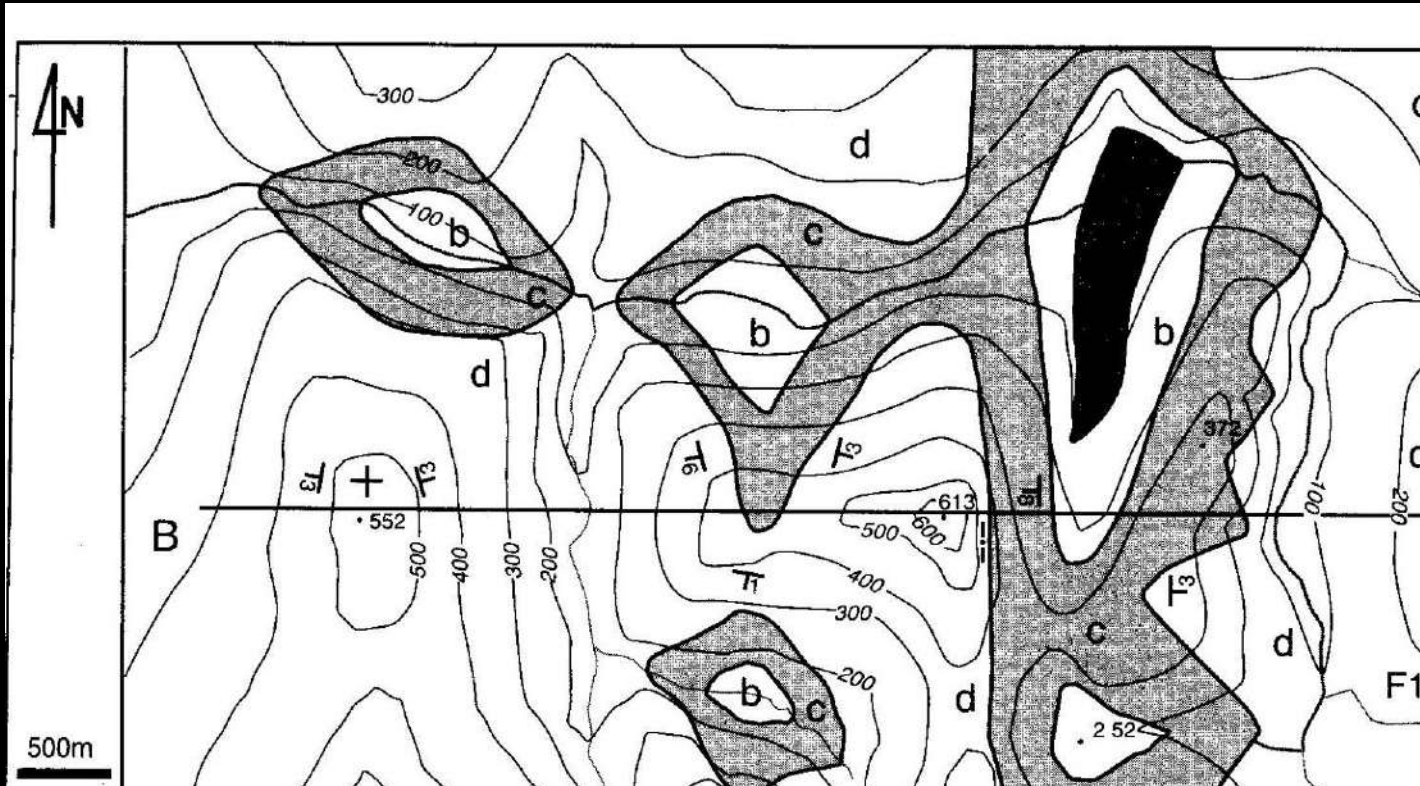


CARTE

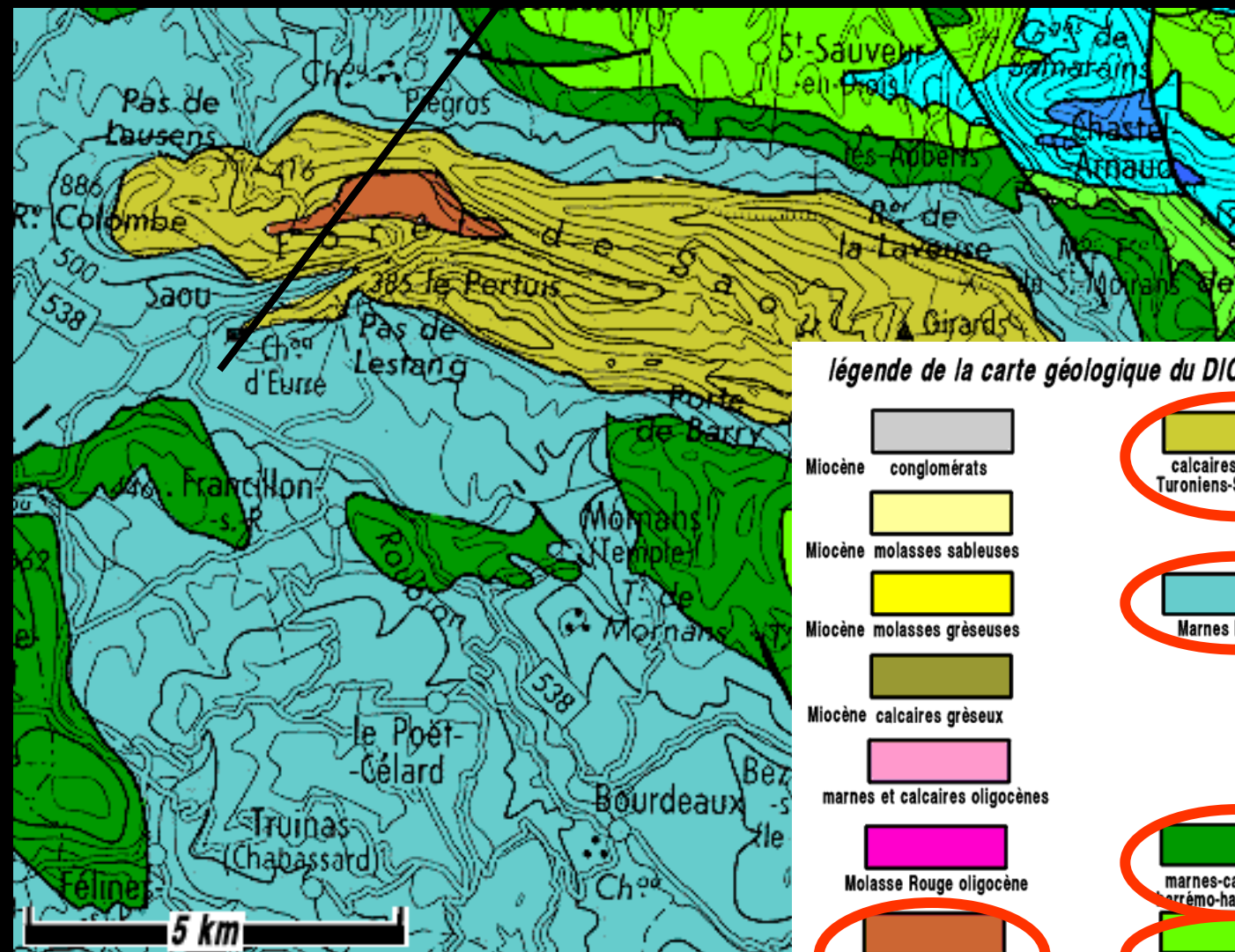


COUPE

Méthodes TD-TP cartographie



Méthodes TD-TP cartographie



légende de la carte géologique du DIOIS et des BARONNIES occidentales

Miocène conglomérats	calcaires blancs Turoniens-Sénoniens
Miocène molasses sableuses	
Miocène molasses gréseuses	Marnes Bleues
Miocène calcaires gréseux	
marnes et calcaires oligocènes	
Molasse Rouge oligocène	marnes-calcaires arrémohauteriviens
sables et c. lacustres éocène	marnes valanginiennes

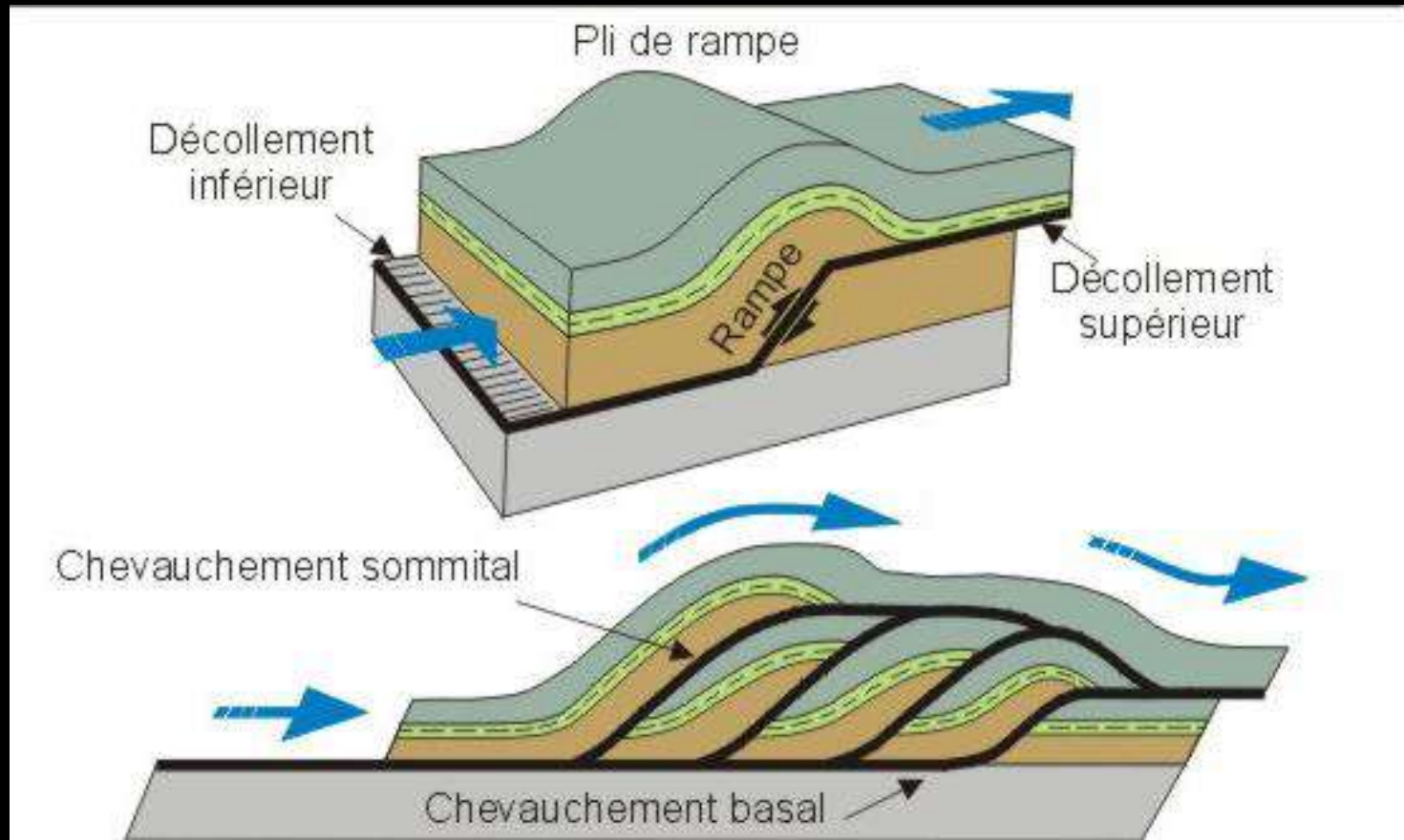
Couches + jeunes

Couches + anciennes

Synclinal de Saou

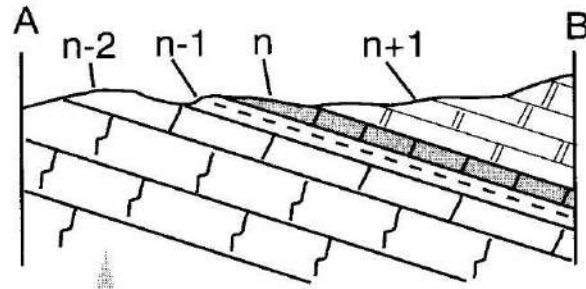
Méthodes TD-TP cartographie

Cas d'un chevauchement



Méthodes TD-TP cartographie

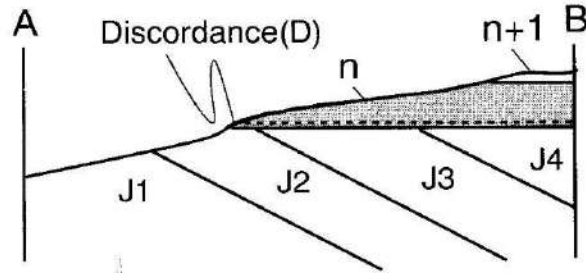
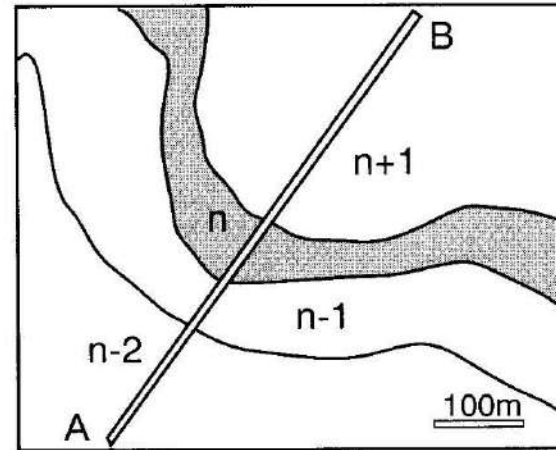
Cas d'un chevauchement



COUPE

CARTE

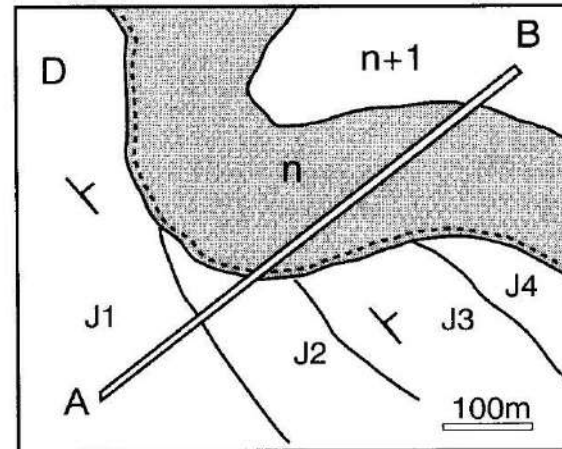
(a)



COUPE

CARTE

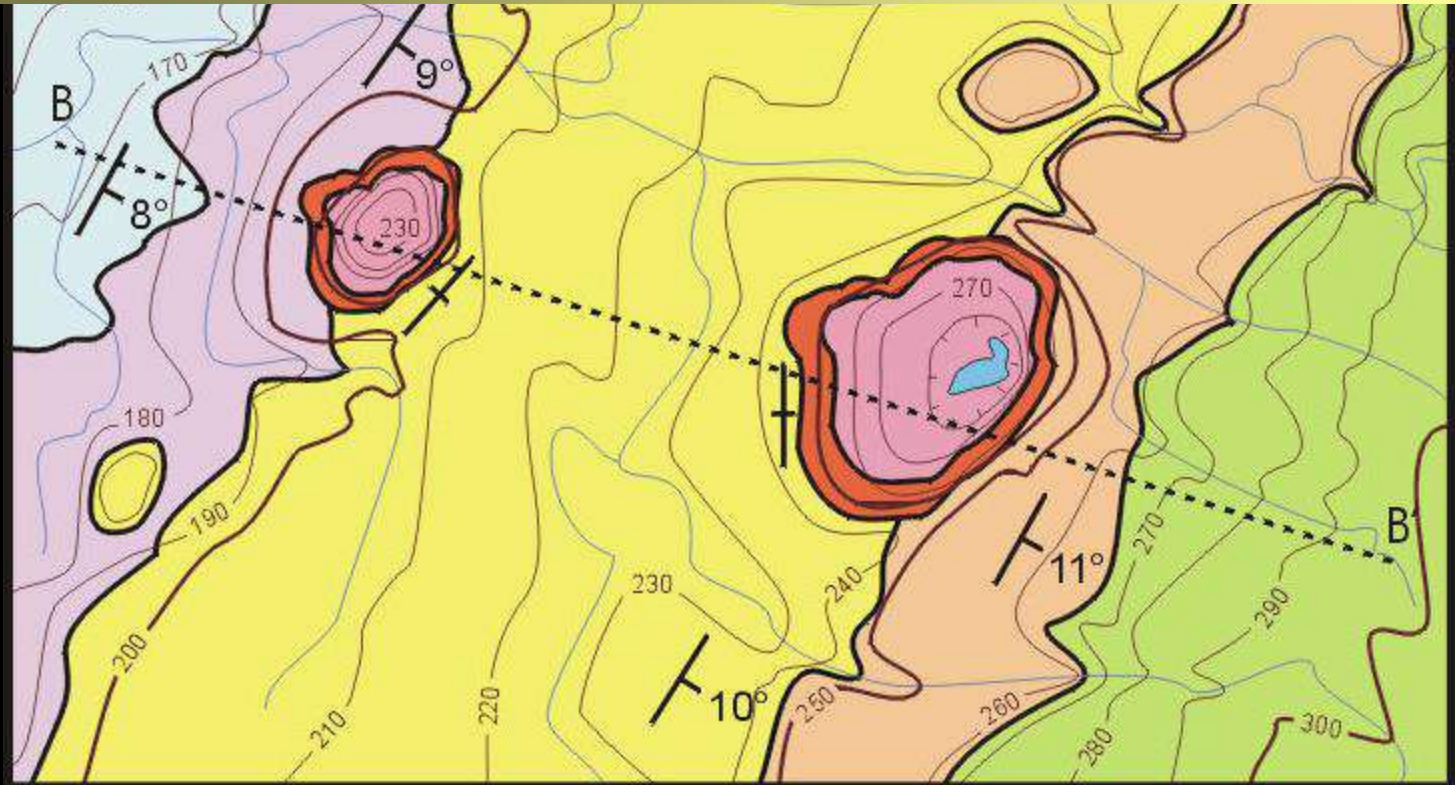
(b)



Méthodes TD-TP cartographie



Méthodes TD-TP cartographie



Néogène

Syénite Cornéenne

Trias

Calcaire
Calcaire dolomitique

Ordovicien

Calcaire argileux
Mudstone calcaireux

Cambrien

Mudstone

Équidistance 10 mètres



Contact lithologique

10° Pendage

Courbes de niveau

