

I) INTRODUCTION

a) Définition:

b) Moteur de la Tectonique: La Terre = planète active

c) Déformations (ξ), Forces (F), contraintes ($\sigma = F/S$),

Les déformations (ξ) = ellipsoïde des déformations ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)

Les forces = traction et compression agissant sur les plaques

Les contraintes (s) = ellipsoïde des contraintes ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)

Relations Contraintes/Déformation = rhéologie

II) LA DEFORMATION DISCONTINUE (FRAGILE = CASSANTE)

Les structures et leur interprétation

Les divers types de failles: inverse, normale, décrochante

Fractures d'extension:

Joint / diaclase :

Joints stylolitiques

III) LA TECTONIQUE CASSANTE A L'ECHELLE REGIONALE

Extension: grabbens, rifts et bassins

Compression: écaillage et inversion tectonique

Décrochement: failles coulissantes et décrochantes, bassins en pull apart

IV) LA DEFORMATION CONTINUE (DUCTILE): INTRODUCTION

a) Les mécanismes de la déformation ductile

- le réseau cristallin
- la diffusion dans le réseau
- les mécanismes à l'échelle des grains

b) Les structures homogènes de la déformation ductile

- schistosité:
- linéations

c) Les structures hétérogènes de la déformation ductile

- les zones de cisaillement
- les plis

V) LA TECTONIQUE DUCTILE A L'ECHELLE REGIONALE

- subduction, plissement et chevauchements
- les décrochements ductiles
- extension océanique et structure de dômes extensifs

VI) CONCLUSIONS

Observation de roches sédimentaires : des structures anormales



Photographie Pierre Thomas



Plis couché et coiffé. Jura. Photo C. Homberg.

Un conglomérat :



Un filon de granite découpé par des fractures:



Cours de Tectonique

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La tectonique = du grec *tektōn* qui signifie : bâtisseur, charpentier.

C'est l'étude des structures géologiques d'échelle plurikilométrique telles les chaînes de montagnes ou les bassins sédimentaires .

C'est aussi l'étude des mécanismes qui sont responsables de la formation de ces structures géologiques.

Cette discipline est donc directement rattachée à la tectonique des plaques

Etude de l'histoire des mouvements qui ont modelé une région.

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

Cours de Tectonique

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La tectonique = du grec *tektōn* qui signifie : bâtisseur, charpentier.

C'est l'étude des structures géologiques d'échelle plurikilométrique telles les chaînes de montagnes ou les bassins sédimentaires .

C'est aussi l'étude des mécanismes qui sont responsables de la formation de ces structures géologiques.

Cette discipline est donc directement rattachée à la tectonique des plaques

Etude de l'histoire des mouvements qui ont modelé une région.

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

Cours de Tectonique

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La tectonique = du grec *tektōn* qui signifie : bâtisseur, charpentier.

C'est l'étude des structures géologiques d'échelle plurikilométrique telles les chaînes de montagnes ou les bassins sédimentaires .

C'est aussi l'étude des mécanismes qui sont responsables de la formation de ces structures géologiques.

Cette discipline est donc directement rattachée à la tectonique des plaques

Etude de l'histoire des mouvements qui ont modelé une région.

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

NB – Dans le texte, les équivalents anglais des termes français sont indiqués en italique.

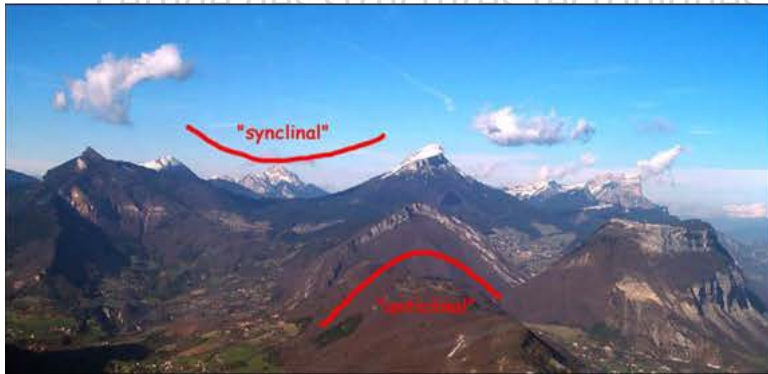
I) INTRODUCTION

a) Définition:

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches.

L'étude des structures tectoniques nécessite la description de:

- leur nature (plis, failles, foliations...)
- leur géométrie (orientation, répartition...)
- leur chronologie au moins relative



... terminée depuis longtemps, encore moins les forces responsables. La reconstitution des déformations et des forces est donc un modèle, basé sur les observations. Notre but, en tant que géologues, est de construire un modèle qui rende compte de toutes nos observations (et idéalement, qui est capable d'en prédire d'autres). Si ce n'est pas le cas, il faut changer de modèle – et c'est le processus scientifique normal.

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches.

L'étude des structures tectoniques nécessite la description de:

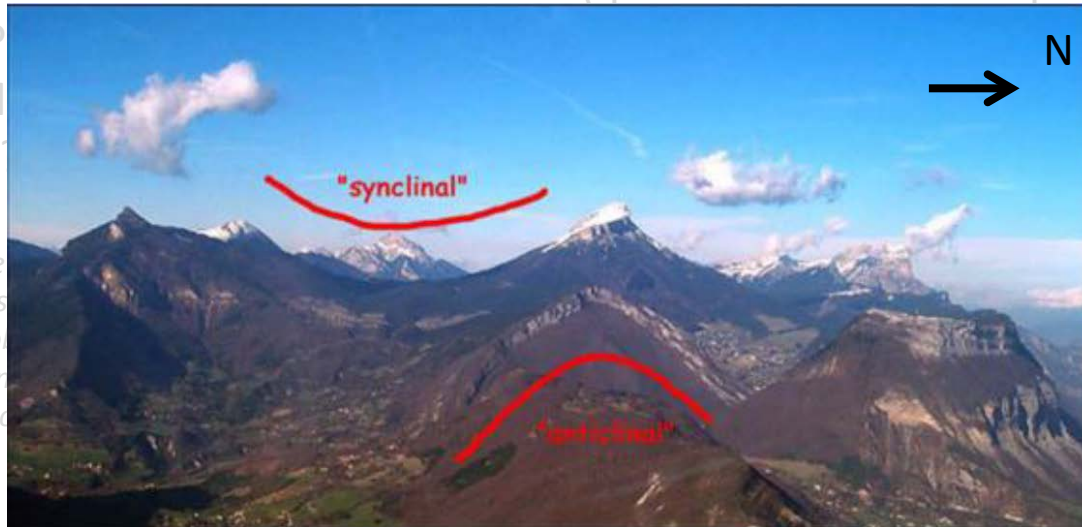
- leur nature (plis, failles, foliations...)
- leur géométrie (orientation, répartition...)
- leur chronologie au moins relative

L'étude des structures tectoniques nécessite la connaissance:

- des mécanismes de déformation (quelles forces sont responsables de ces mouvements ?)
- de l'évolution des structures (comment ces structures ont-elles évolué ? Evolution

dans le temps ?

NE observe
finie depuis longtemps
modèle, basé sur les observations
toutes nos observations
modèle – et c'est le problème



Compression N-S

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

L'étude des structures tectoniques nécessite la description de:

- leur nature (plis, failles, foliations...)
- leur géométrie (orientation, répartition...)
- leur chronologie au moins relative

L'étude des structures

- des mécanismes responsables de ces mouvements ? Comment ?
- de la cinématique (évolution dans le temps ?)



NB – Ce qu'on observe sur le terrain est le résultat d'un processus fini depuis longtemps ; encore faut-il élaborer un modèle, basé sur les observations, qui explique toutes nos observations (et idéalement, qui prédise) – et c'est le processus

nt responsables de ces
structures ? Evolution

elle-même (cinématique), qui est
ons et des forces est donc un
èle qui rend compte de
cas, il faut changer de

I) INTRODUCTION

a) Définition:

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

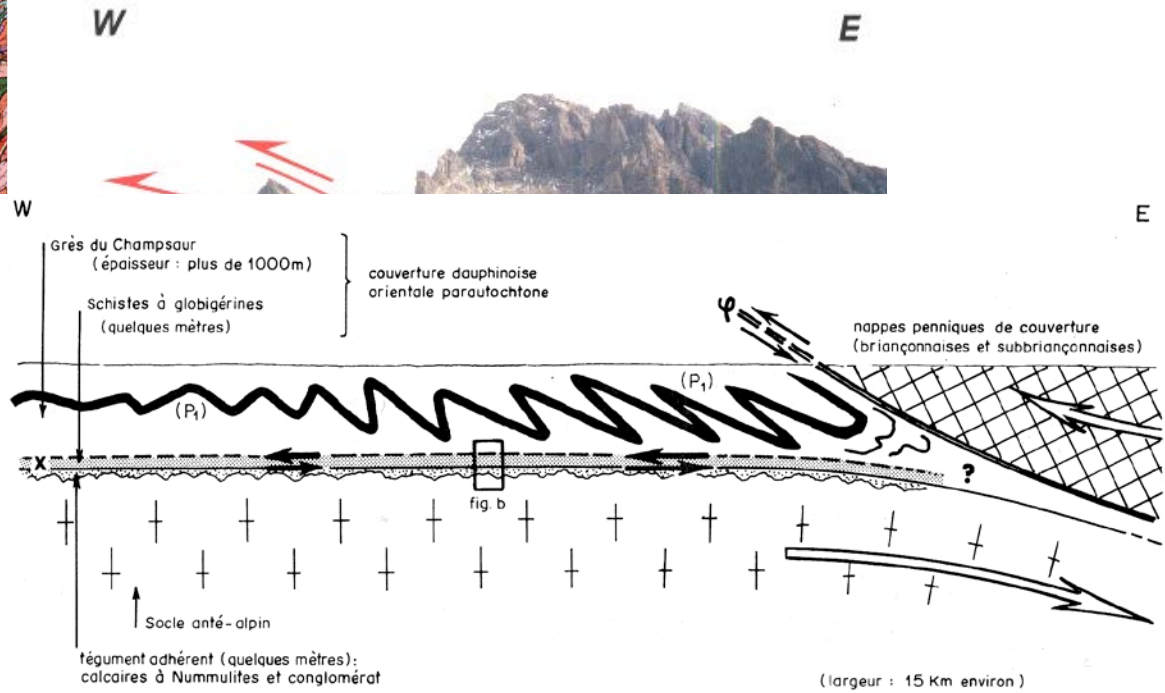
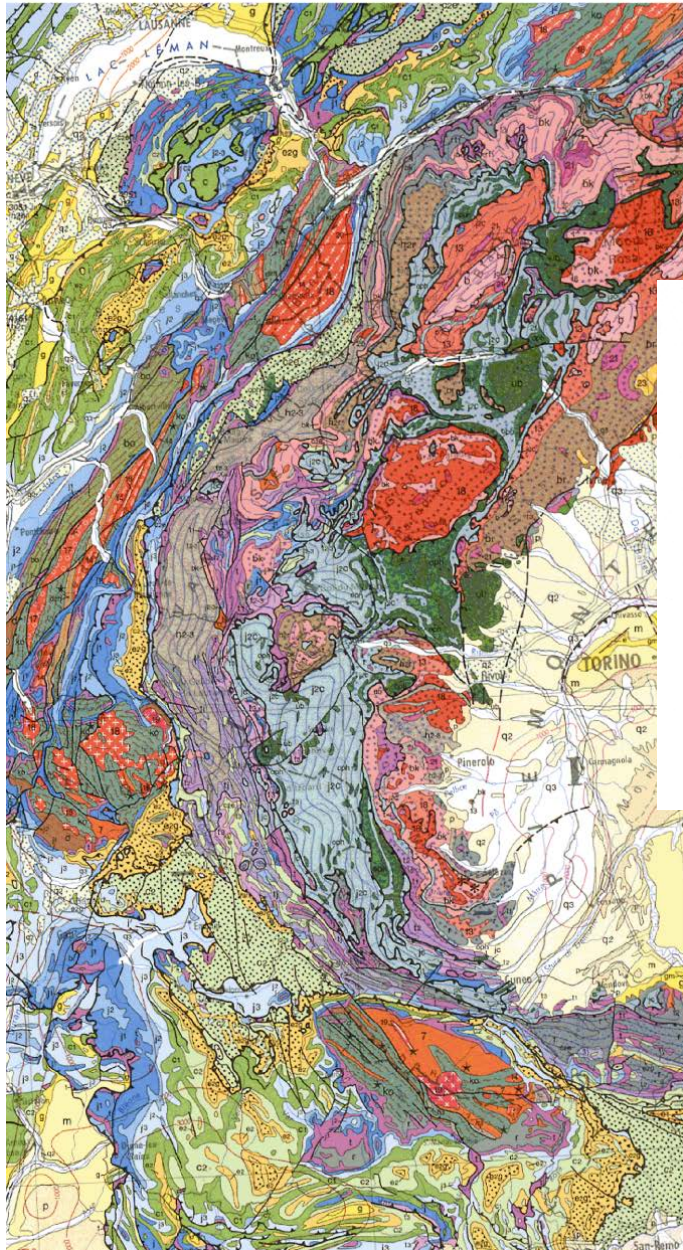
L'étude des structures tectoniques nécessite la description de:

- leur nature (plis, failles, foliations...)
- leur géométrie (orientation, répartition...)
- leur chronologie au moins relative

L'étude des structures tectoniques nécessite la connaissance:

- des mécanismes de déformation (quelles forces sont responsables de ces mouvements ? Comment les roches se déforment-elles ?)
- de la cinématique (quels mouvements ont créé ces structures ? Evolution dans le temps ?)

NB – Ce qu'on observe sur le terrain, ce sont des roches déformées. Ce n'est pas la déformation elle-même (cinématique), qui est finie depuis longtemps ; encore moins les forces responsables. La reconstitution des déformations et des forces est donc un modèle, basé sur les observations. Notre but, en tant que géologues, est de construire un modèle qui rende compte de toutes nos observations (et idéalement, qui est capable d'en prédire d'autres). Si ce n'est pas le cas, il faut changer de modèle – et c'est le processus scientifique normal.



I) INTRODUCTION

a) Définition:

La géologie structurale = étude des déformations subies par les roches. Ces déformations engendrent des transformations géométriques que l'on nomme structures.

L'étude des structures tectoniques nécessite la description de:

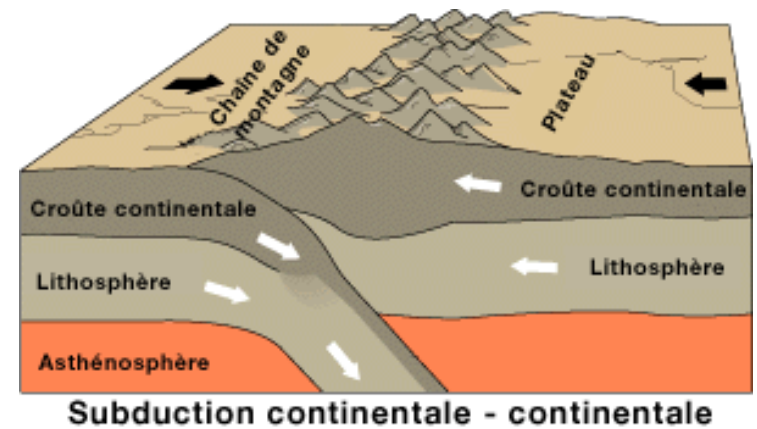
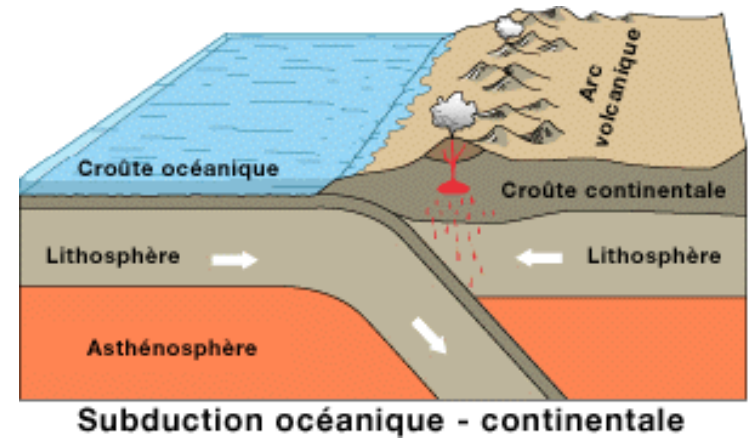
- leur nature (plis, failles, foliations...)
- leur géométrie (orientation, répartition...)
- leur chronologie au moins relative

L'étude des structures tectoniques nécessite la connaissance:

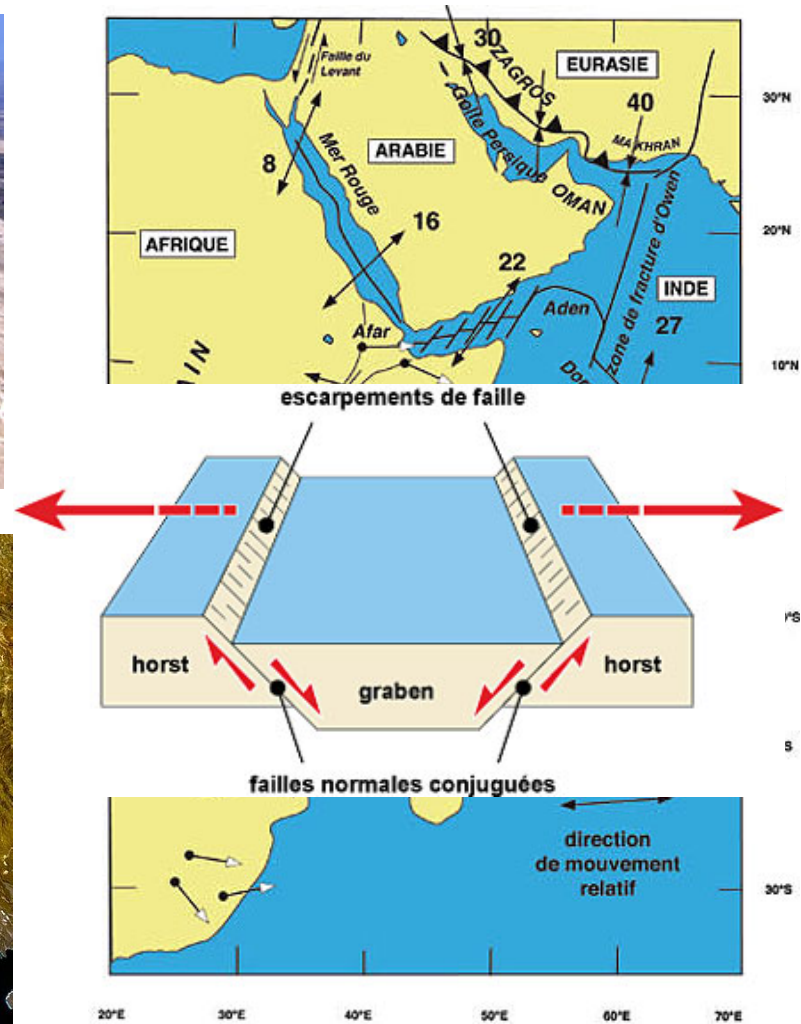
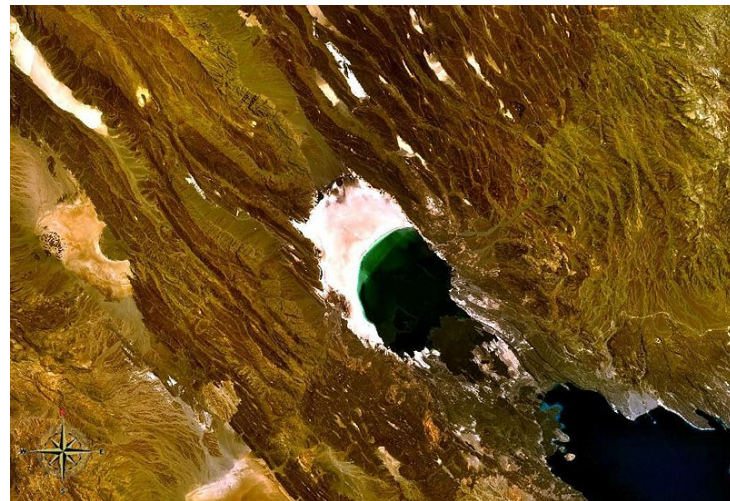
- des mécanismes de déformation (quelles forces sont responsables de ces mouvements ? Comment les roches se déforment-elles ?)
- de la cinématique (quels mouvements ont créé ces structures ? Evolution dans le temps ?)

*NB – Ce qu'on observe sur le terrain, ce sont des **roches déformées**. Ce n'est pas la déformation elle-même (cinématique), qui est finie depuis longtemps ; encore moins les forces responsables. **La reconstitution des déformations** et **des forces** est donc un modèle, basé sur les observations. Notre but, en tant que géologues, est de **construire un modèle** qui rende compte de toutes nos observations (et idéalement, qui est capable d'en prédire d'autres). Si ce n'est pas le cas, il faut changer de modèle – et c'est le processus scientifique normal.*

b) Moteur de la Tectonique: La Terre = planète active

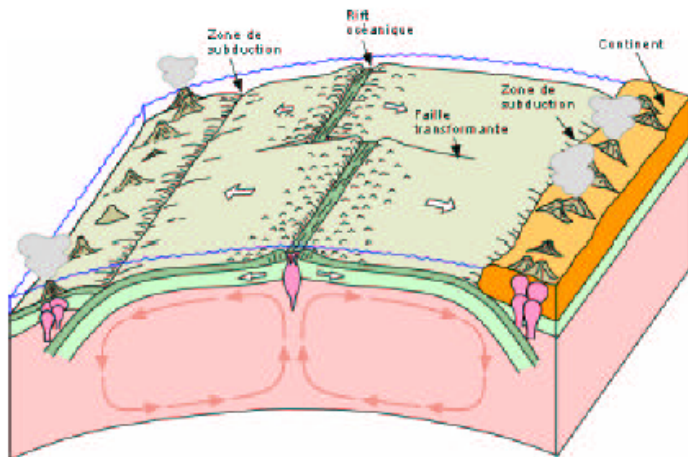


b) Moteur de la Tectonique: La Terre = planète active



b) Moteur de la Tectonique: La Terre = planète active

La géodynamique terrestre



- La Terre est une grande machine thermodynamique, dont l'expression en surface se fait au travers des dorsales, des zones de subduction et autres objets géodynamiques
- Le moteur: la convection mantellique
- Le cycle de la croûte océanique: fusion partielle du manteau, expansion des matériaux au niveau des dorsales océaniques, élargissement progressif de l'océan, destruction de la lithosphère océanique par enfouissement de cette lithosphère dans les zones de subduction et recyclage dans le manteau.

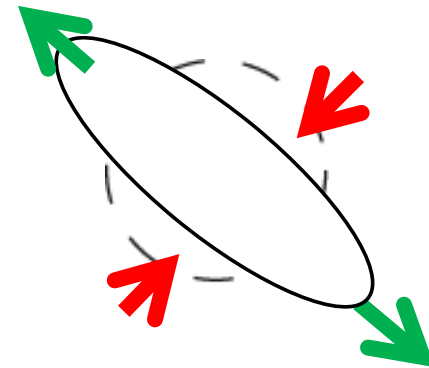
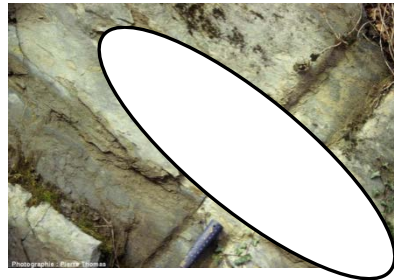
I) INTRODUCTION

c) Déformations (ξ) , Forces (F), contraintes ($\sigma = F/S$),

Le terme déformation en géologie signifie: changement de forme, de position , d'orientation d'un objet géologique soumis à des contraintes.

La déformation (et seulement la déformation) peut être décrite en observant les objets géologiques.

changement de forme: distorsion



Une déformation par ***distortion*** sera caractérisée par un changement de forme d'un objet accompagné ou non d'une variation de la localisation de cet objet dans l'espace, comme par exemple une voiture accidentée. Si la dimension de l'objet augmente, on dira alors qu'il y a eu ***dilatation positive*** de l'objet et au contraire une ***dilatation négative*** signifiera une diminution de la dimension de l'objet.

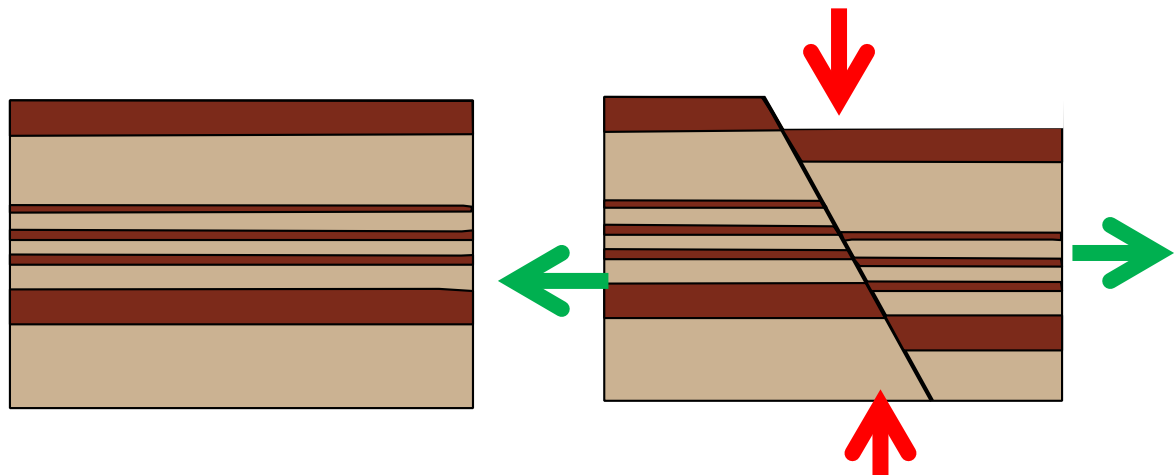
I) INTRODUCTION

c) Déformations (ξ) , Forces (F), contraintes ($\sigma = F/S$),

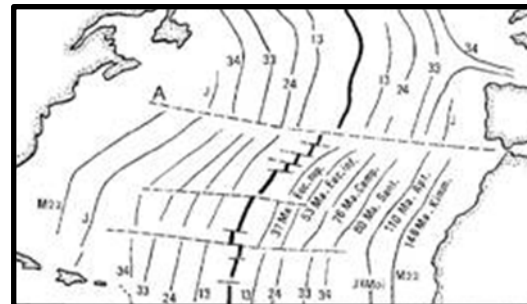
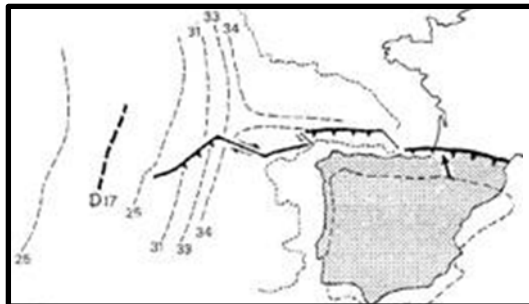
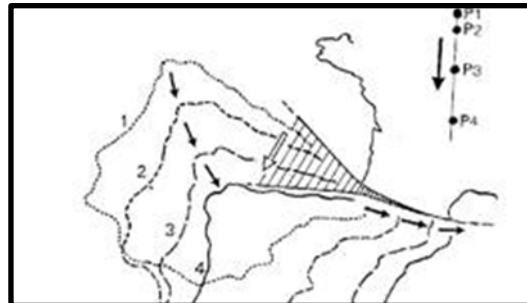
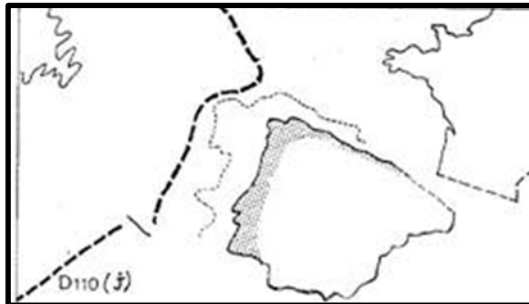
Le terme déformation en géologie signifie: changement de forme, de position , d'orientation d'un objet géologique soumis à des contraintes.

La déformation (et seulement la déformation) peut être décrite en observant les objets géologiques.

changement de position: Une déformation par **translation** sera caractérisée par un changement de localisation d'un objet dans l'espace sans variation de la forme ni des dimensions de l'objet.



changement d'orientation: Une déformation par **rotation** sera caractérisée par un changement de localisation d'un corps dans l'espace spécifiquement par rotation autour d'un axe sans variation de la forme ni des dimensions de l'objet.

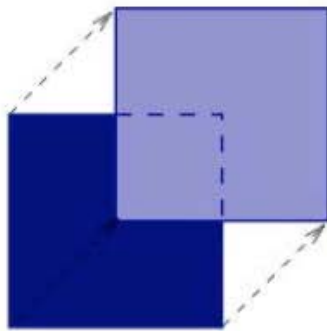


Les composantes de la déformation:

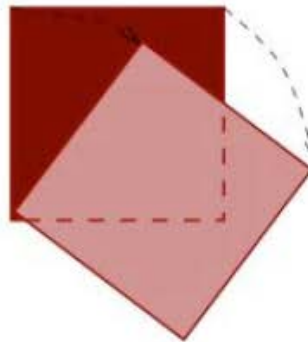
La déformation peut se décrire comme une combinaison des 3 composantes:

- a: la distorsion (déformation interne) avec ou sans changement de volume
- b: la translation
- c: la rotation

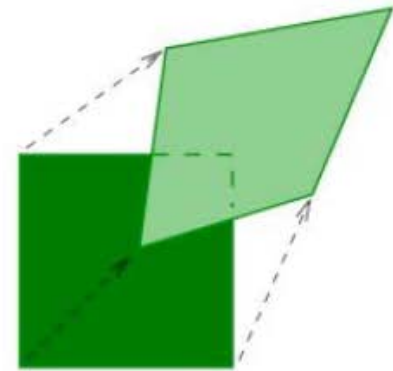
États finaux



Translation



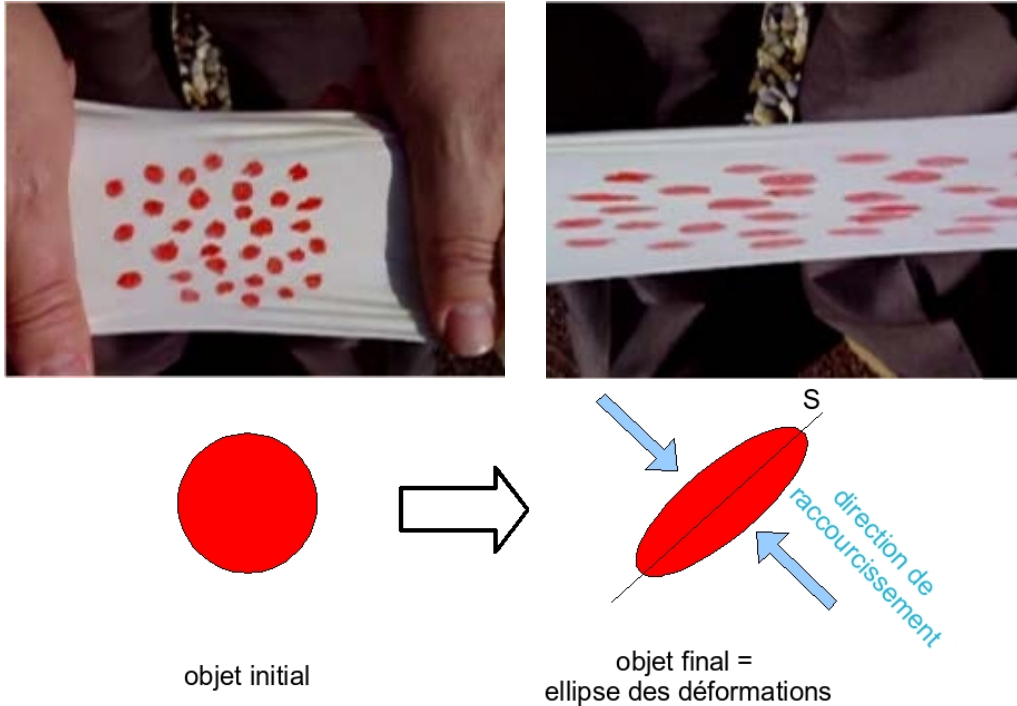
Rotation



Déformation

Mesure de la distorsion (déformation interne) strain (en anglais):

- Déformation linéaire: allongement dans un sens et raccourcissement dans un autre sens.



On va quantifier l'allongement relatif (ou extension) par le rapport entre la longueur finale et initiale de l'objet

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0}$$

$\epsilon > 0$ dans le sens de l'étirement et $\epsilon < 0$ dans le sens du raccourcissement (epsilon)

On peut aussi quantifier l'étirement (stretch)

$$s = l_f / l_i = 1 + \epsilon$$

Ou l'élongation quadratique (quadratic elongation)

$$\lambda = s^2 = (1 + \epsilon)^2$$

Mesure de la distorsion (déformation interne) strain (en anglais):

- Déformation linéaire: allongement dans un sens et raccourcissement dans un autre sens.

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$



Déformation linéaire $\varepsilon = 75-50/50 = 0,5$

Valeur positive : élongation ou extension

Étirement $S : 75/50 = 1,5$ ($1+ \varepsilon = 1+0,5$)

Elongation quadratique $\lambda = S^2 = 2,25$

$$-1 < \varepsilon < \infty$$



Déformation linéaire = $42-50/50 = -0,16$

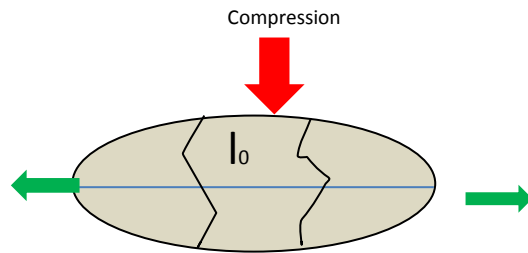
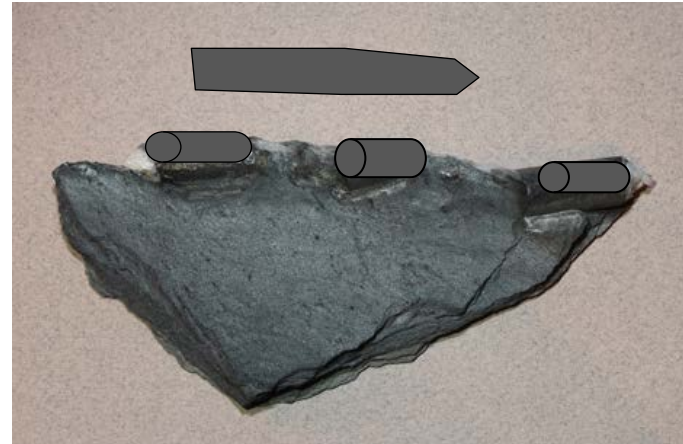
Valeur négative : raccourcissement

Étirement $S : 42/50 = 0,84$ ($1+ \varepsilon = 1-0,16$)

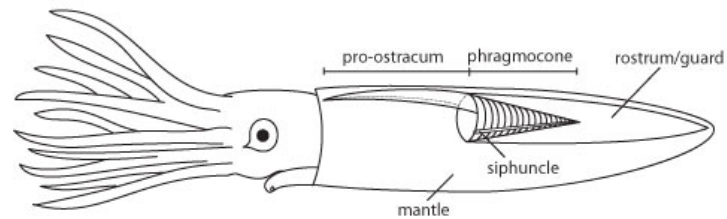
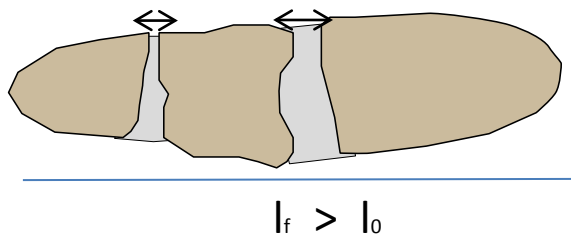
Elongation quadratique $\lambda = S^2 = 0,70$

Mesure de la distorsion (déformation interne) strain (en anglais):

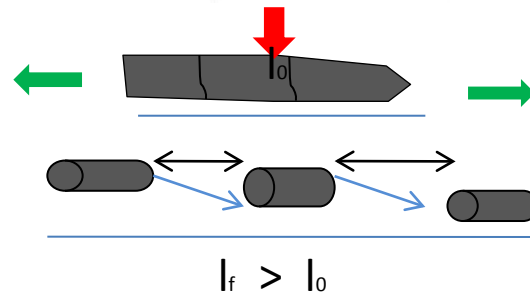
gain de volume: peut se faire par différents mécanismes ex d'une fracturation de la roche ,
ouverture de fentes et recristallisation (cimentation de la fente) ou sans recristallisation (augmente la porosité
de la roche)



Remplissage des fentes par de la calcite

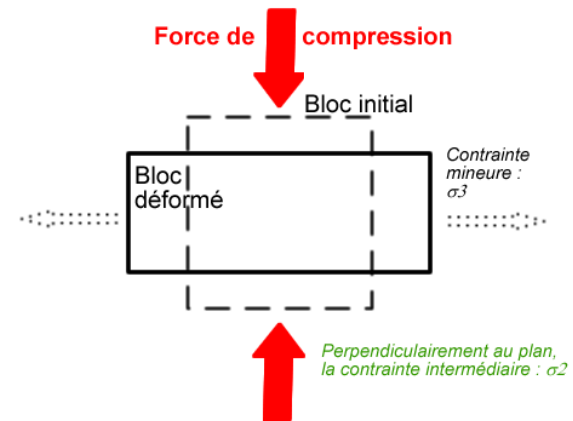
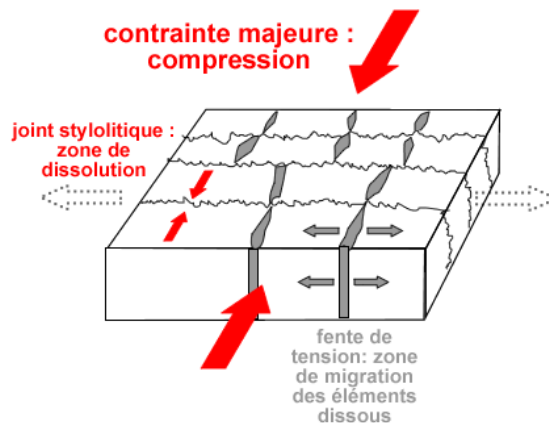
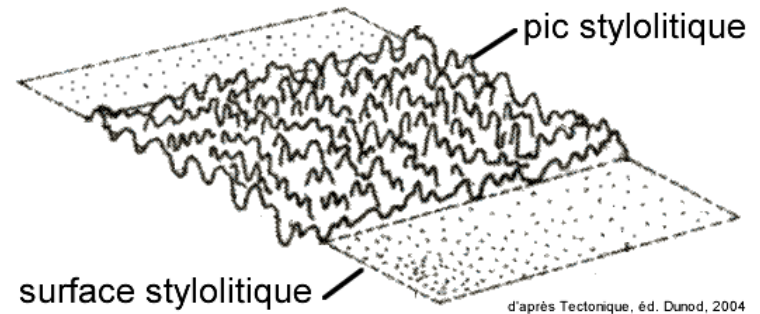


Lateral view of the internal shell of a generalized belemnite. ©Liz Shea, DMNH.



Mesure de la distorsion (déformation interne) strain (en anglais):

- Perte de volume: stilolite sont des surfaces selon lesquelles la roche est éliminée par pression dissolution. Ce processus diminue le volume totale de la roche. Les minéraux insolubles comme les argiles, la pyrite, les oxydes restent sous la forme de joint stylolitiques. Les pics sont orientés parallèlement à la direction de compression.



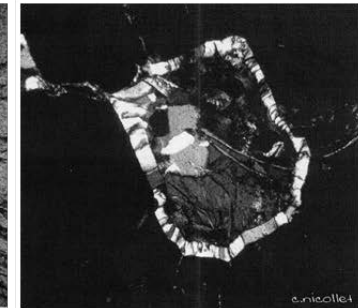
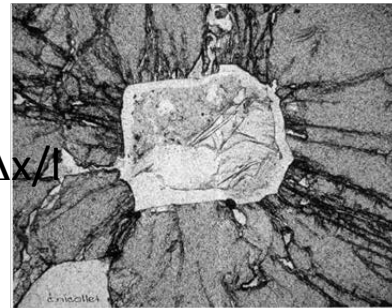
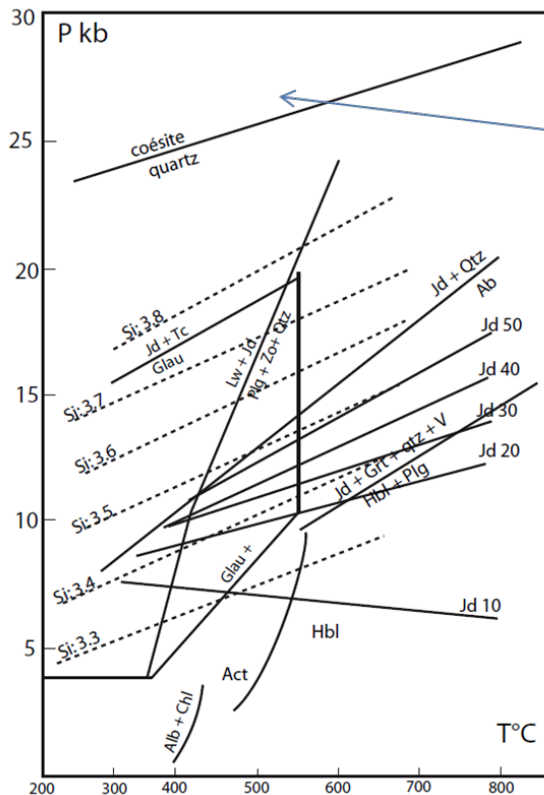
Mesure de la distorsion (déformation interne) strain (en anglais):

gain ou perte de volume: peut se faire par différents mécanismes ex d'une transformation minéralogique liée à des processus tectoniques (exhumation d'une roche). Ce changement de niveau structural entraine une transformation d'un minéral de HP (dense , petit volume) en un minéral de BP (peu dense grand volume).

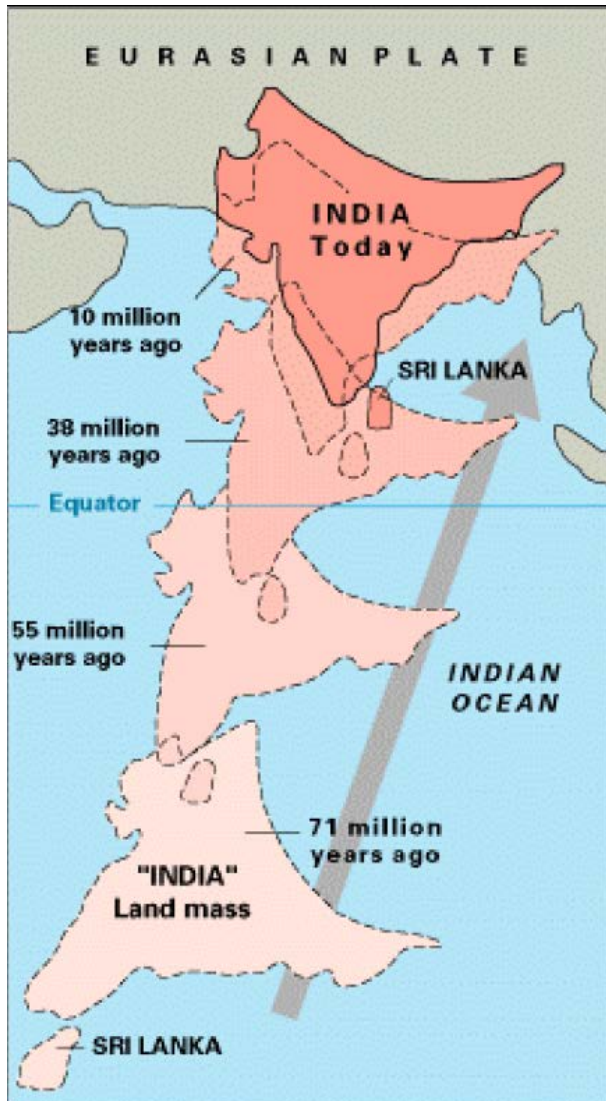
Les polymorphes = même composition chimique mais pas la même structure

Transformation coésite /quartz = baromètre

Volume Mol Qtz = 2,27 Volume Mol coésite = 2,06



- La mesure de la Translation:



Il y a environ 200 millions d'années, le supercontinent la Pangée s'était morcelé en plusieurs continents séparés. L'ouverture de l'Océan Indien s'est effectuée il y a environ 160 millions d'années et, entraînée par les cellules de convection, l'Inde s'est séparée du continent d'Afrique et a dérivé vers le nord.

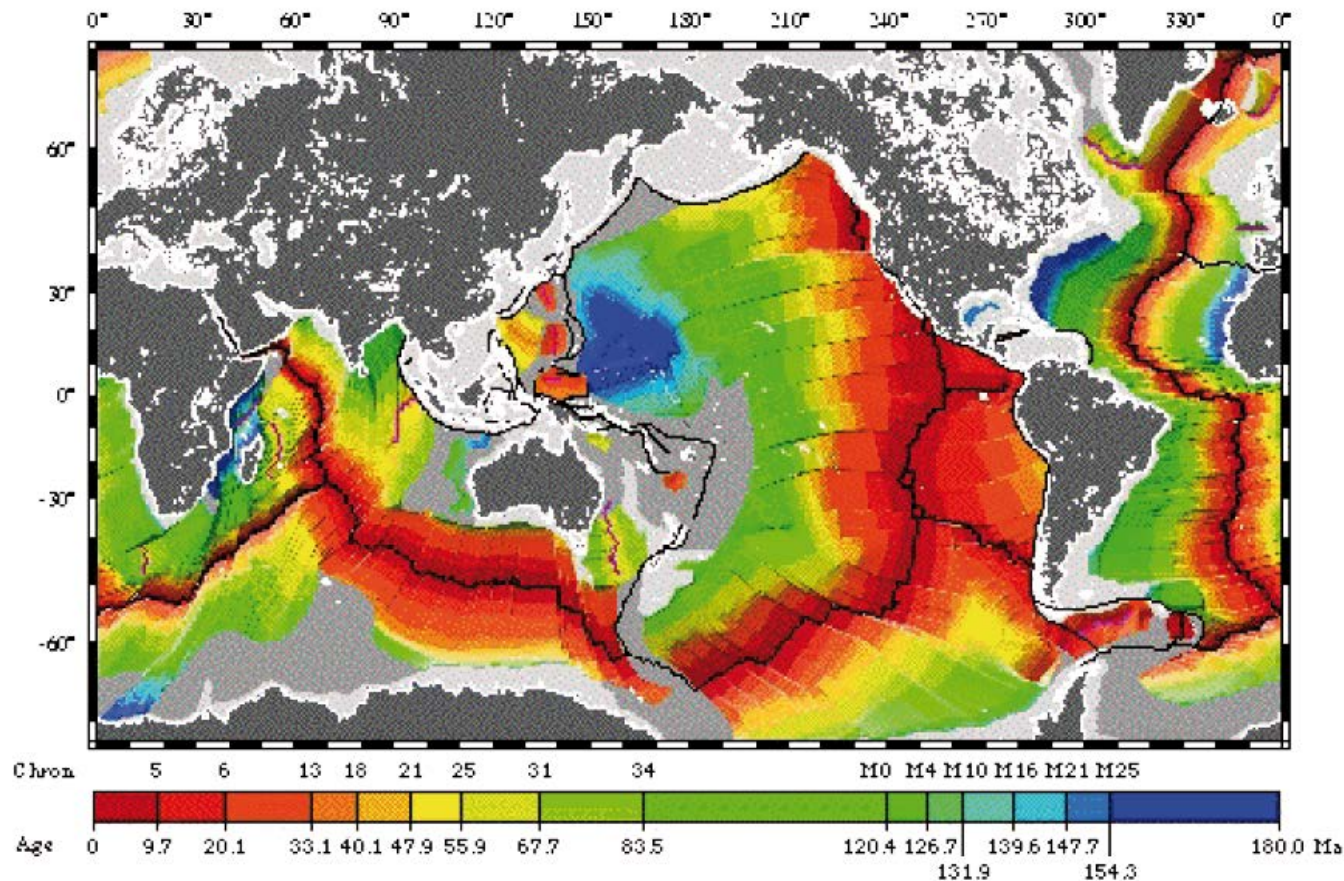
Il y a 65 millions d'années, la plaque indienne se trouvait à l'emplacement actuel de la Réunion.

Vecteur déplacement (flèche grise) indique le sens (Nord/sud) mais aussi la direction : vers le Nord du déplacement est donnée par les structures tectoniques

- La mesure de la Translation:

Digital Isochrons of the Ocean Floor

R.D. Müller, W.R. Roest, J.-Y. Royer, L.M. Gahagan, J.G. Sclater



L'âge du plancher océanique permet de calculer une vitesse puisque l'on a le temps et la distance.

Vitesse = 12 cm/an
Correspond à la vitesse de plongement de la plaque océanique subductée sous l'Asie

- La mesure de la Translation: une faille

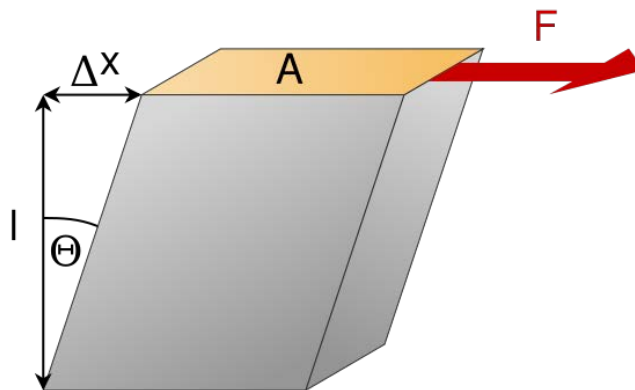


Translation vers le nord ou vers le sud ?

Vers le nord



- Déformation cisailante (ou angulaire): se mesure par l'angle que font 2 droites initialement orthogonales. Le cisaillement angulaire (angular strain) Φ (phi) et la déformation cisailante (shear strain) γ (gamma) sont reliés par la formule: $\gamma = \tan \Phi$



$$G = \frac{F/A}{\Delta x/l}$$

$$\gamma = \Delta x/l = \tan \Phi$$

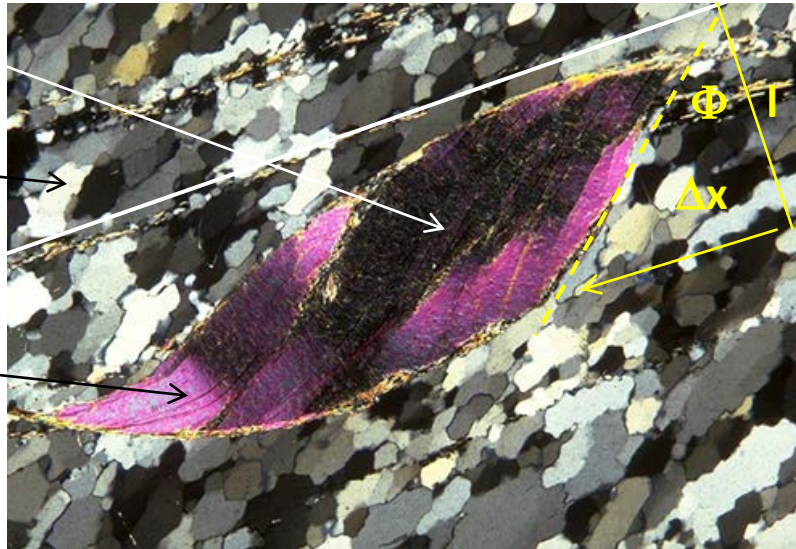
Le module de cisaillement G s'exprime en Gpa ou en N par mm²

Cisaillement d'un minéral: muscovite

Extinctions roulantes

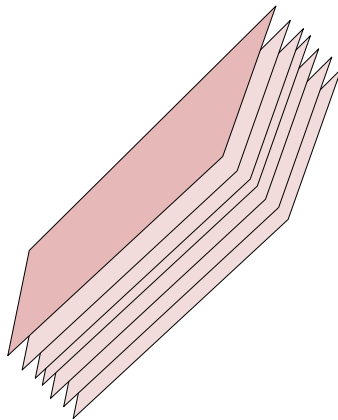
quartz

muscovite

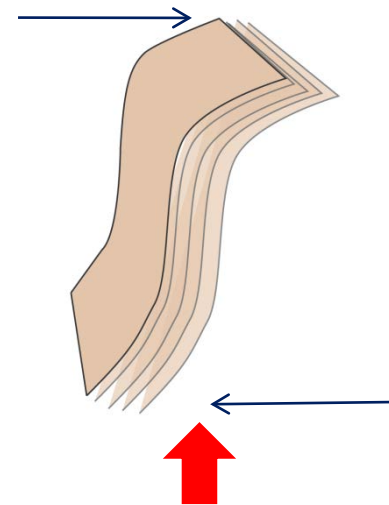


Lame mince
LPA

$$\gamma = \Delta x / l = \tan \Phi$$

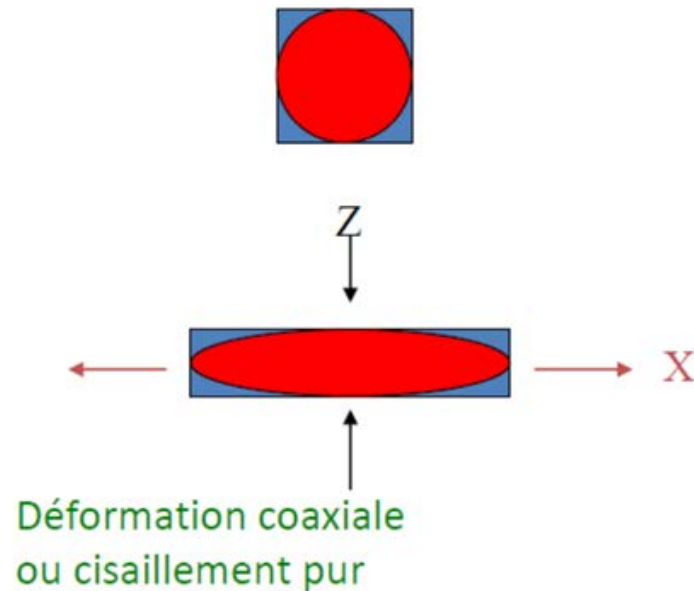


Micas = feuillets empilés parallèles



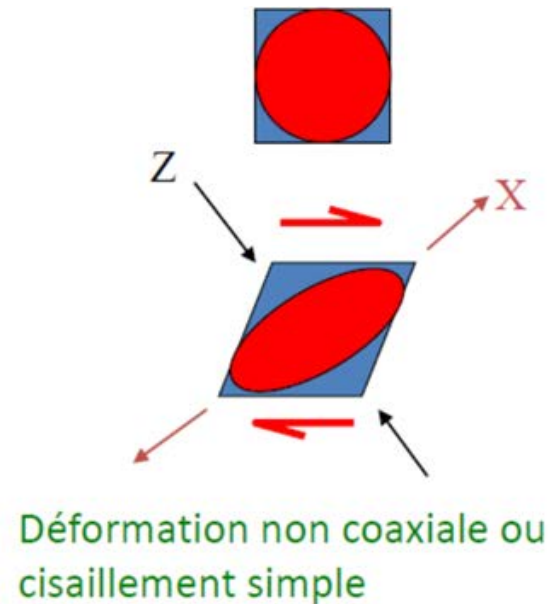
Micas = feuillets pliés et sigmoïdes

Cisaillement d'un objet:



Les axes de la déformation restent fixes
Ils ne tournent pas. Des lignes parallèles
avant déformation, sont toujours
parallèles après déformation.

Pure shear



Les axes de la déformation changent au cours
De la déformation. Les axes principaux subissent
une rotation. Des lignes initialement parallèles
Ne le sont plus après déformation.

Simple shear

-Vitesse ou taux de déformation:

Le taux de déformation (*strain rate*) est un paramètre important en tectonique.

On l'exprime par: $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ c'est la dérivée de la quantité de

déformation par rapport au temps (note avec un point), le taux s'exprime en S⁻¹.

Faute de pouvoir accéder à la dérivée, on exprime le taux de déformation par :

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\Delta T}$$

En effet on peut estimer la durée ΔT de la phase de déformation en utilisant des minéraux (micas, amphiboles) qui souvent « poussent » pendant la déformation
Ou en datant des roches intrusives qui sont injectées dans la zone de déformation.

taux de déformation

$\dot{\epsilon}$ (s⁻¹)

10²

10⁰

10⁻²

10⁻⁴

10⁻⁶

10⁻⁸

10⁻¹⁰

10⁻¹²

10⁻¹⁴

10⁻¹⁶

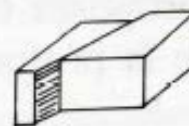
10⁻¹⁸

10⁻²⁰



impacts météoritiques

explosions volcaniques



failles



expériences
de laboratoire



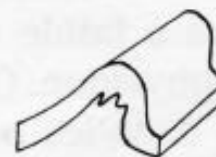
glaciers



intrusions



expansion océanique



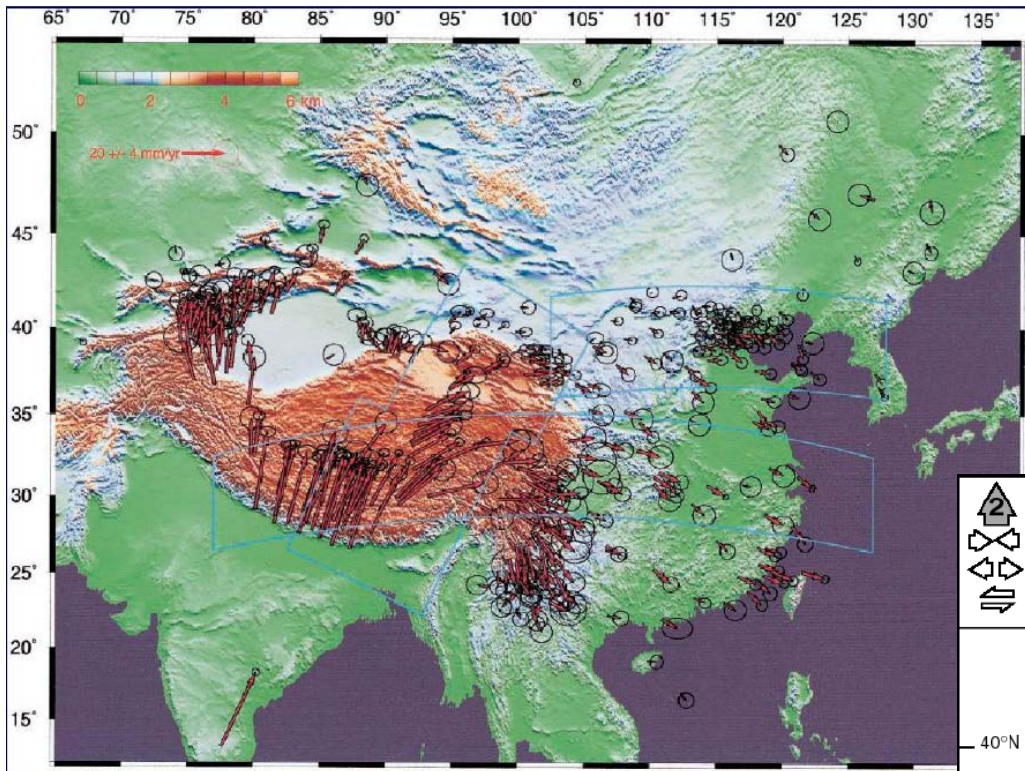
plis

compaction

remontée
isostatique

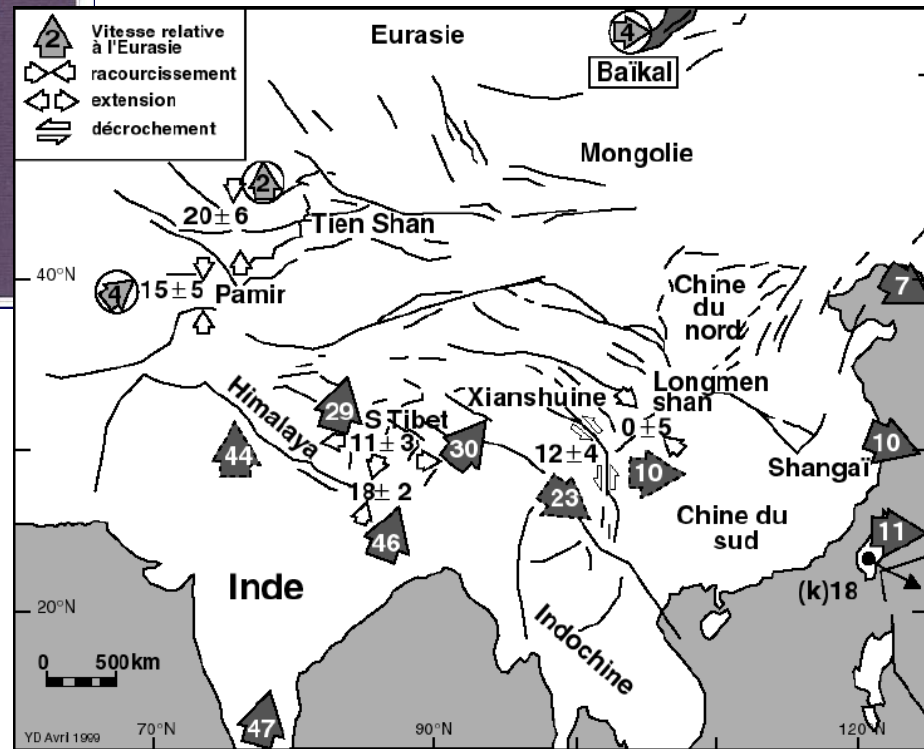


- La mesure du taux de déformation:



Collision Inde/Asie

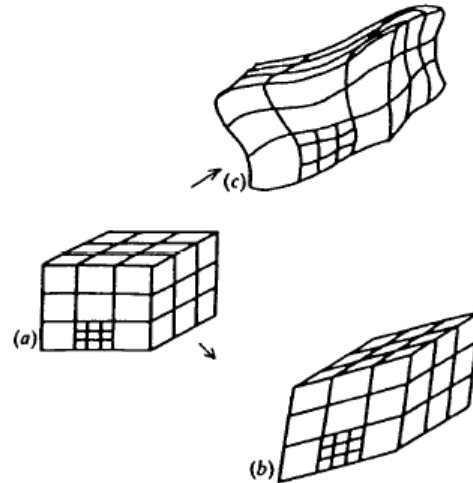
Les chiffres sont les vitesses GPS en mm/an, les flèches dans les cercles indiquent les points qui ne se déplacent pas



Types de déformation :

a. *Homogène ou hétérogène*

La déformation est dite homogène (*homogeneous*) si des lignes initialement parallèles le restent après la déformation. On parle sinon de déformation hétérogène (*inhomogeneous, heterogeneous*), ce qui est d'ailleurs le cas général dans la nature.



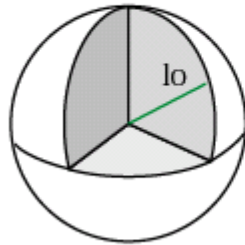
b. *Continue ou discontinue*

La déformation est continue si ses propriétés varient progressivement dans l'objet déformé (pli, par exemple) ; elle est discontinue sinon (faille) (*continuous, discontinuous*).

L'ellipsoïde de déformation (*strain ellipsoid*)

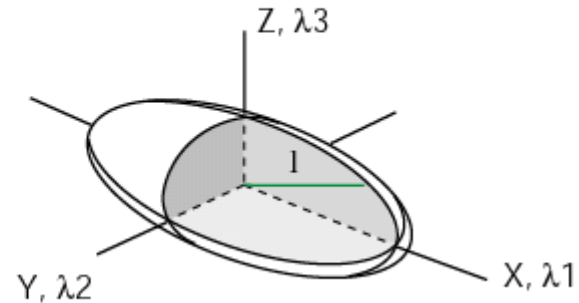
ELLIPSOÏDE DE DEFORMATION FINIE

Etat initial avant déformation



A une échelle où on peut considérer la déformation comme étant homogène et continue, on peut caractériser la déformation par un ellipsoïde: l'ellipsoïde de la déformation finie.

Etat final après déformation



On considère un objet initial non déformé (pour simplifier: une sphère car les dimensions de l'objet sont les mêmes dans toutes les directions de l'espace. Cet objet est soumis à une déformation homogène, la sphère se transforme en ellipsoïde, l'orientation et la taille de l'ellipsoïde permet de décrire totalement la distorsion subie par l'objet.

Si le diamètre initial était de 1, la longueur des 2 axes principaux de l'ellipsoïde vaut:

$$X = 1 + \varepsilon_1 \quad (\text{étirement } S \text{ défini plus haut} = 1 + \varepsilon, \text{ et } \varepsilon = \text{extension } l_f - l_0 / l_0)$$

$$Z = 1 + \varepsilon_2$$

Ces 2 axes représentent le grand axe (déformation maximale ou X)

et le petit axe (déformation minimale Z) de l'ellipsoïde.

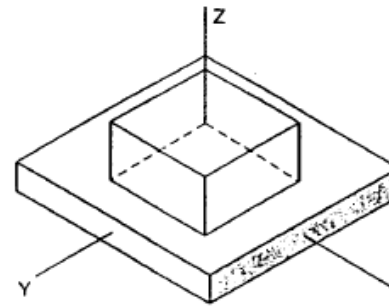
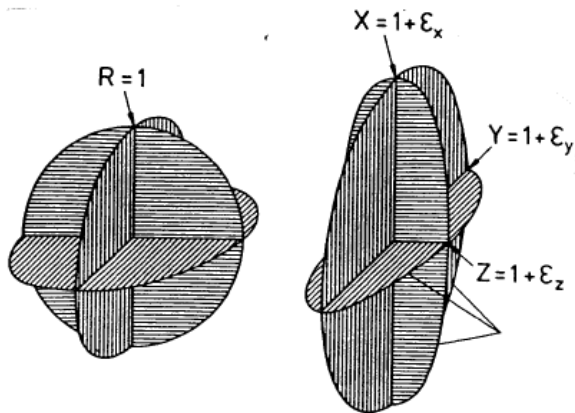
La déformation sur l'axe Y sera intermédiaire entre X et Z.

Les valeurs de l'étirement S sont notées λ_1 sur X, λ_2 sur Y et λ_3 sur Z

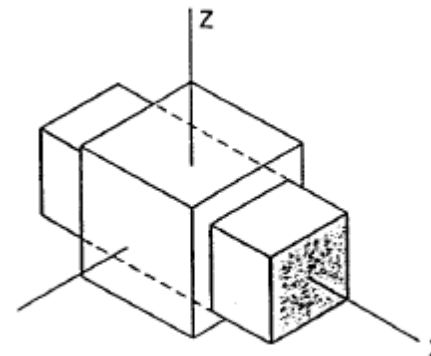
L'ellipsoïde de déformation (*strain ellipsoid*)

On utilise le rapport entre la taille des 2 axes principaux pour avoir une idée de la déformation. En effet, une sphère peut être déformée de 2 façons différentes, soit en l'écrasant (on en fait une galette ou un camembert, soit en l'étirant on en fait un cigare ou un ballon de rugby.

$X = Y > Z$ l'ellipsoïde prend la forme d'une galette.
Cette déformation correspond à un aplatissement.
(Flattening)



$X > Y = Z$ l'ellipsoïde prend la forme d'un ballon de rugby.
Cette déformation correspond à un étirement selon X
(constriction).



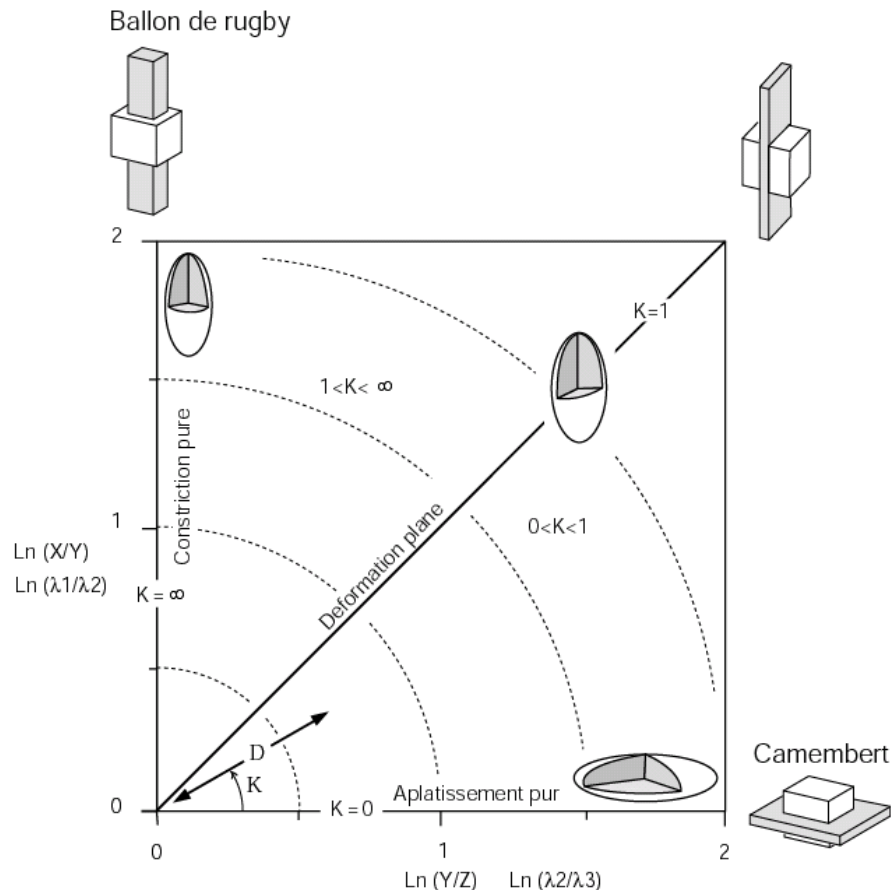
En 2D, on aura une ellipse de déformation avec l'axe X et l'axe Z.

L'ellipsoïde de déformation (*strain ellipsoid*)

Une façon simple de représenter les différents cas est de construire le diagramme de **Flinn** dans lequel On porte X/Y e fonction de Y/Z .

Le paramètre de Flinn,
$$K = \frac{X/Y - 1}{Y/Z - 1}$$

ETAT DE LA DEFORMATION : LE DIAGRAMME DE FLINN

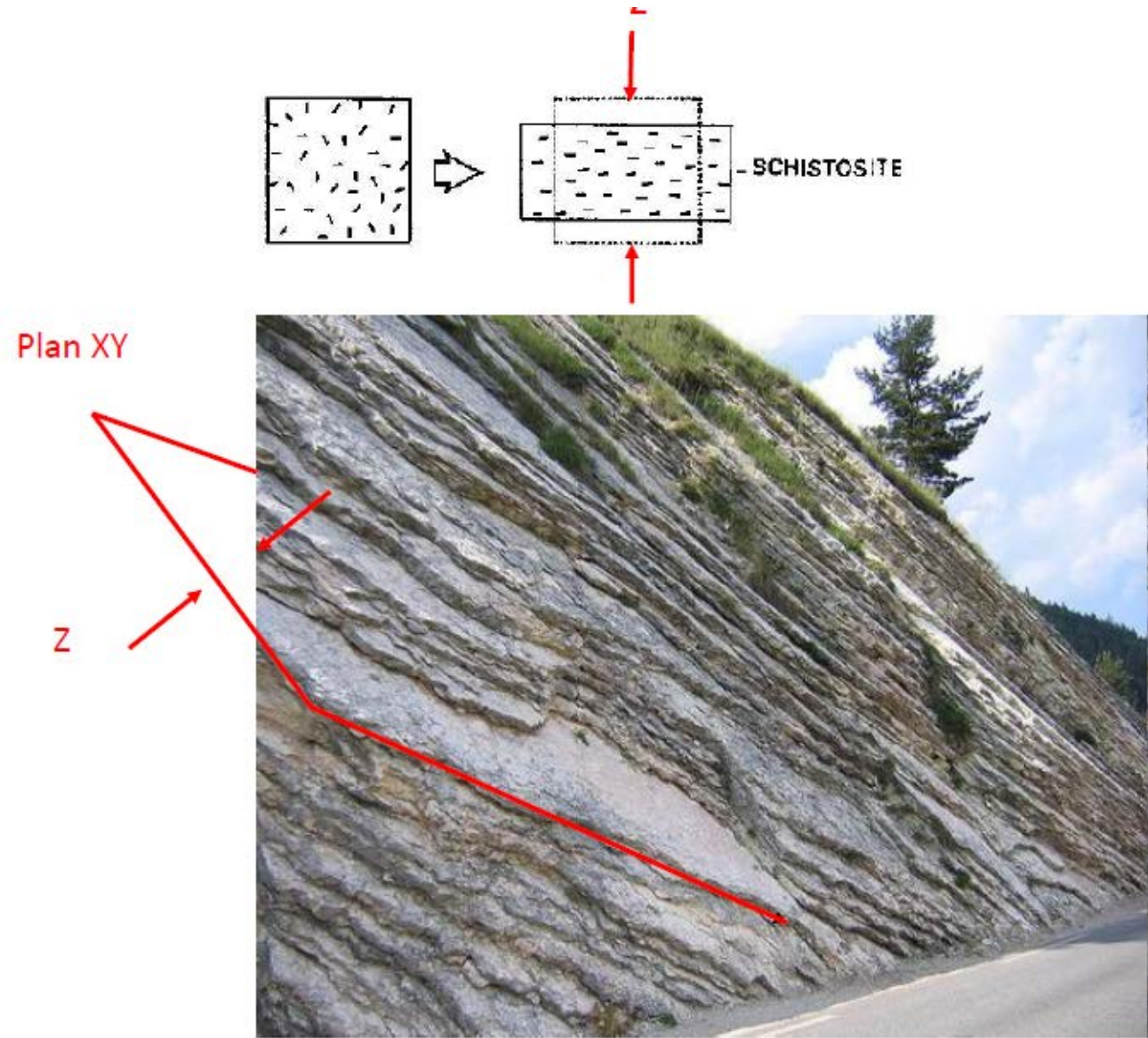


K peut varier de 0 ($X = Y$, aplatissement) à $+\infty$ ($Y = Z$, constriction)

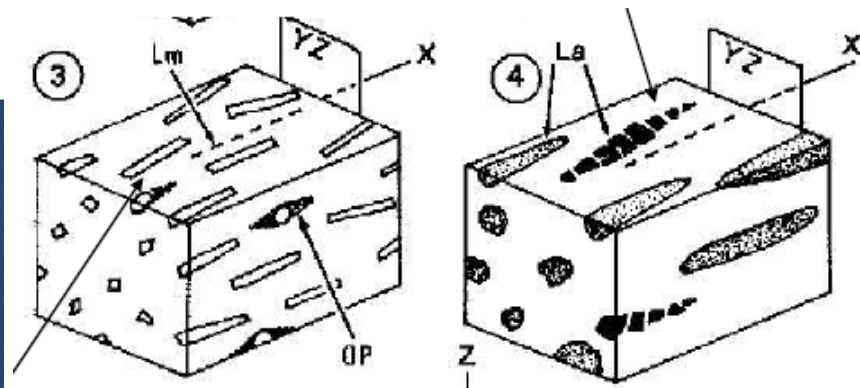
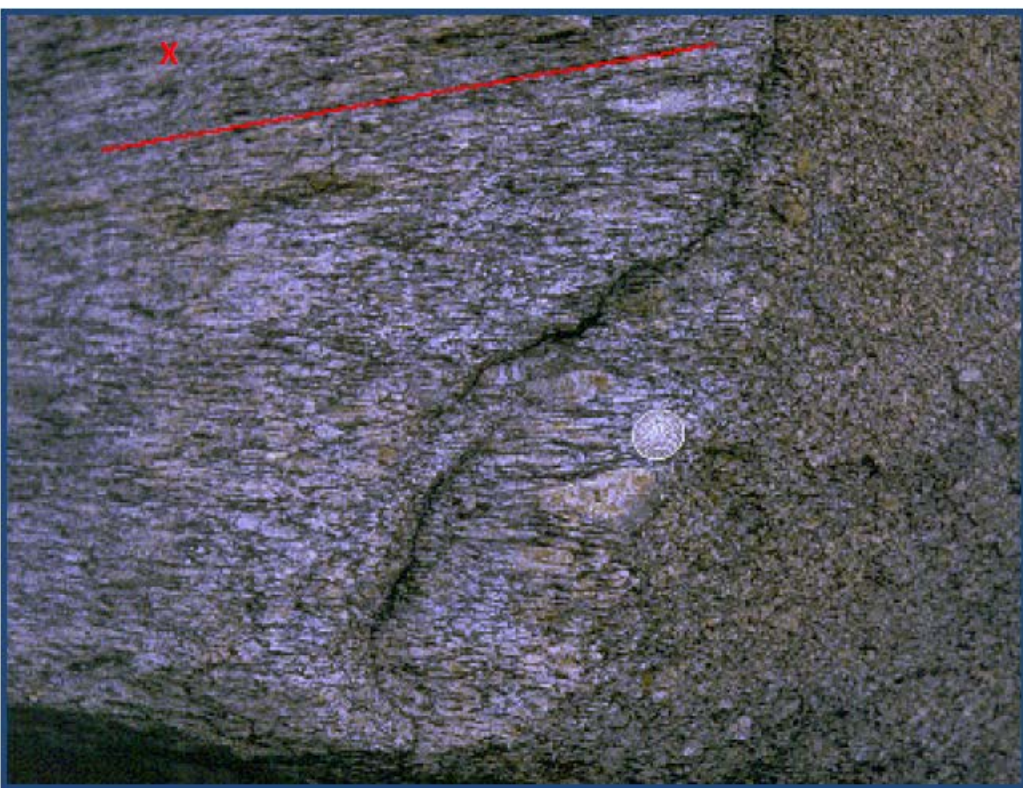
Si $K > 1$ c'est la constriction qui domine

Si $K < 1$ c'est l'aplatissement qui domine.

Déformation en aplatissement.

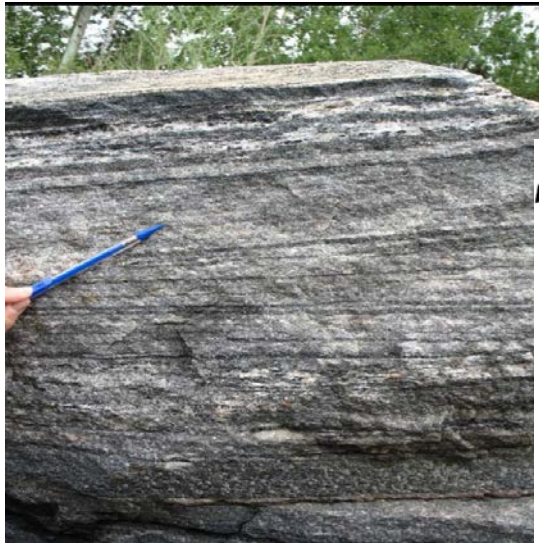


Déformation en constriction.



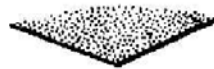
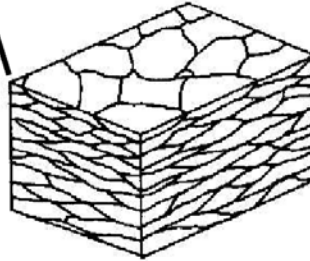
Linéation (minéralogique , fossile, galet) sera parallèle à l'axe X

- Sur le terrain, produits de la déformation finie : les fabriques



Aplatissement pur
Fabrique planaire

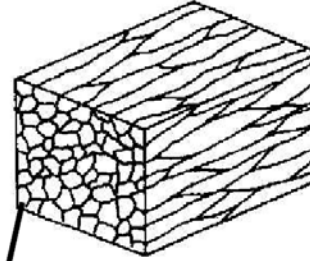
TECTONITE **S**



Schistosité

Constriction pur
Fabrique linéaire

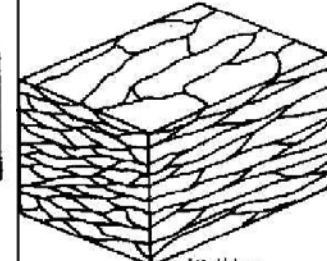
L



Linéation

Cas intermédiaire
Fabrique plano-linéaire

S-L



Schistosité et linéation

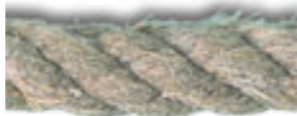


Une contrainte : force exercée sur une surface

La notion de contrainte



Cette corde de diamètre 8 mm résiste à une charge de 400 kg



Cette corde de diamètre 14 mm résiste à une charge de 1200 kg

Le rapport des charges vaut : $\frac{1200}{400} = 3$

Le rapport des (diamètres)² vaut : $\left(\frac{14}{8}\right)^2 \approx 3$

Une contrainte : force exercée sur une surface

La charge de rupture, ou la force maximale F est proportionnelle à la section S de la corde :



$$F = 9.8 \times 4.10^2 \approx 4.10^3 \text{ N}$$
$$S = \pi.(4.10^{-3})^2 \approx 5.10^{-5} \text{ m}^2$$



$$F = 9.8 \times 12.10^2 \approx 12.10^3 \text{ N}$$
$$S = \pi.(7.10^{-3})^2 \approx 15.10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F/S \approx (4/5).10^8 = (12/15).10^8 = 0.8 \text{ } 10^8 \text{ Nm}^{-2}$$

C'est une **contrainte**

L'unité de mesure est le $\text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$

(comme la pression atmosphérique)

Une contrainte : force exercée sur une surface , la contrainte (*stress*) est un vecteur

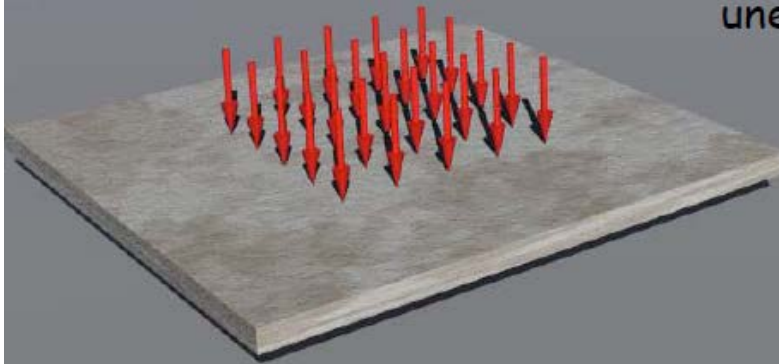
$$\sigma = F/s$$

la contrainte s'exprime en Pa ou en bar (leurs multiples en géologie sont le Kbar et le 1Gpa (1 Gpa = 10 kbar).

Une contrainte contrairement à une pression est un vecteur.

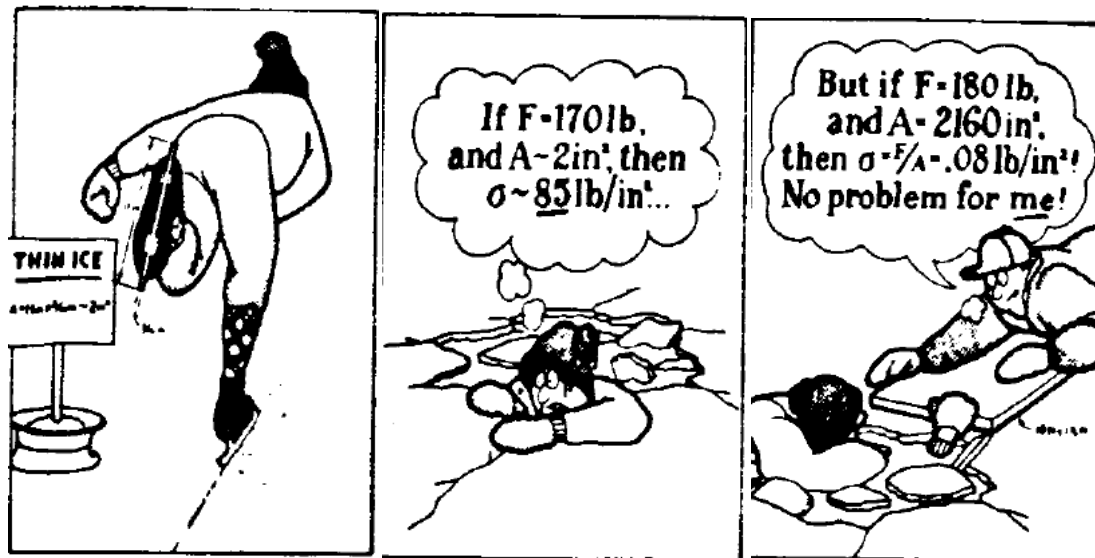
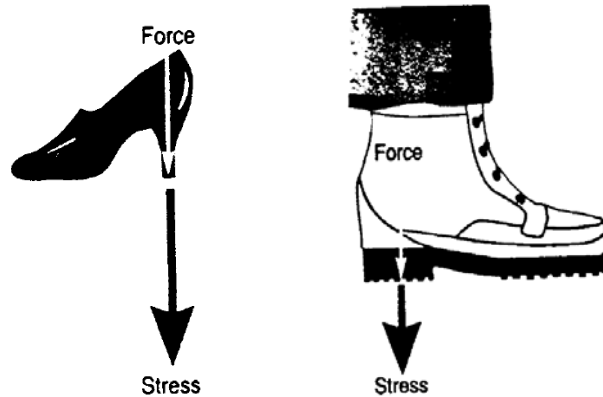
Dans la réalité, la contrainte s'exerce sur **toute**
la surface de contact

Par convention :
une compression est positive
une extension est négative



Une contrainte : force exercée sur une surface

Une contrainte forte sur une petite surface va engendrer des déformations importantes sur les roches.



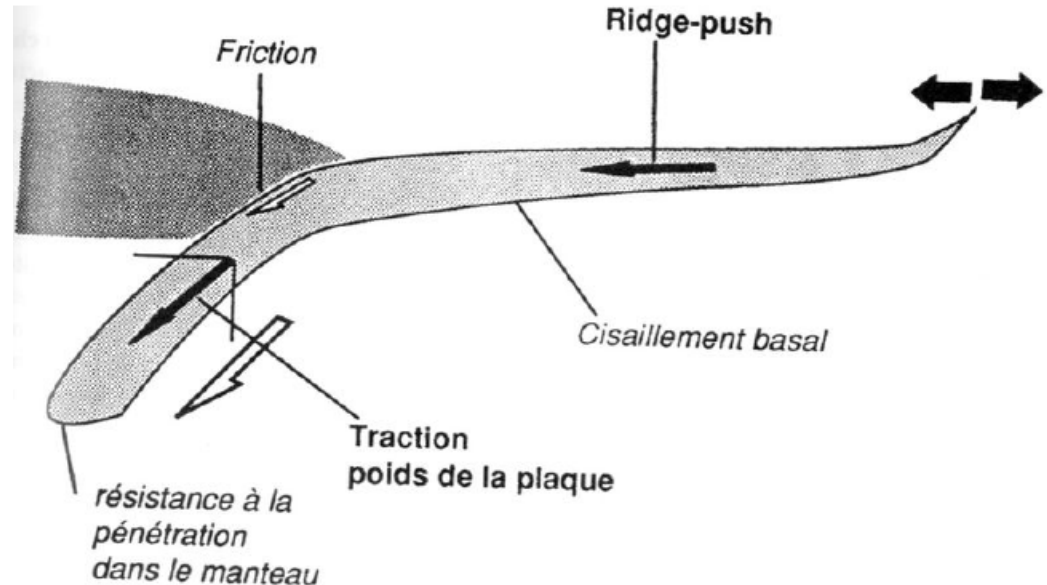
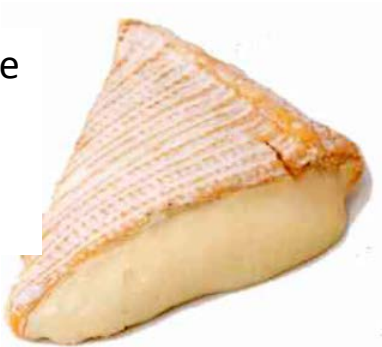
Une contrainte : force exercée sur une surface. Qu'est ce qu'une force et d'où vient-elle?

En géologie structurale une force peut générer la mise en mouvement d'un objet

$$F = m \cdot \vec{a}$$

On distingue deux types de force:- les forces de volume qui affectent tout le volume de la roche et les forces aux limites de plaques, ce sont les forces tectoniques en générale (traction de la plaque plongeante).

le fromage s'étale
sous son propre
poids= force
De volume

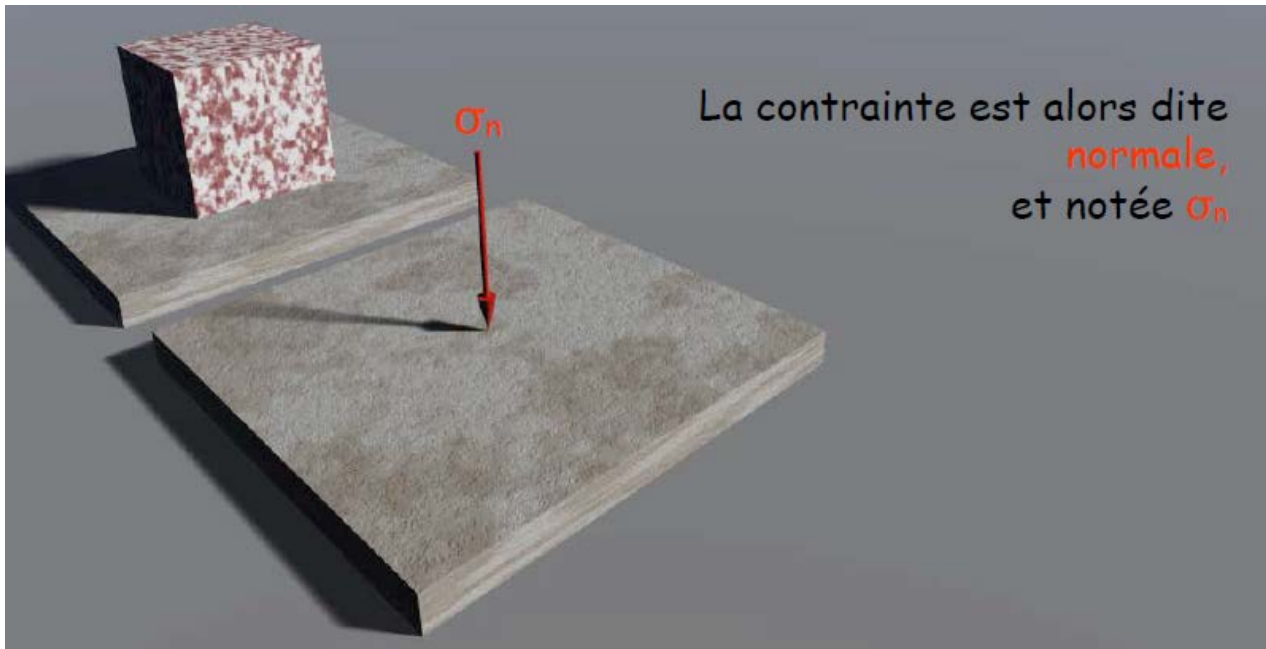


Forces aux limites de plaques

Une contrainte : force exercée sur une surface , la contrainte (*stress*) est un vecteur

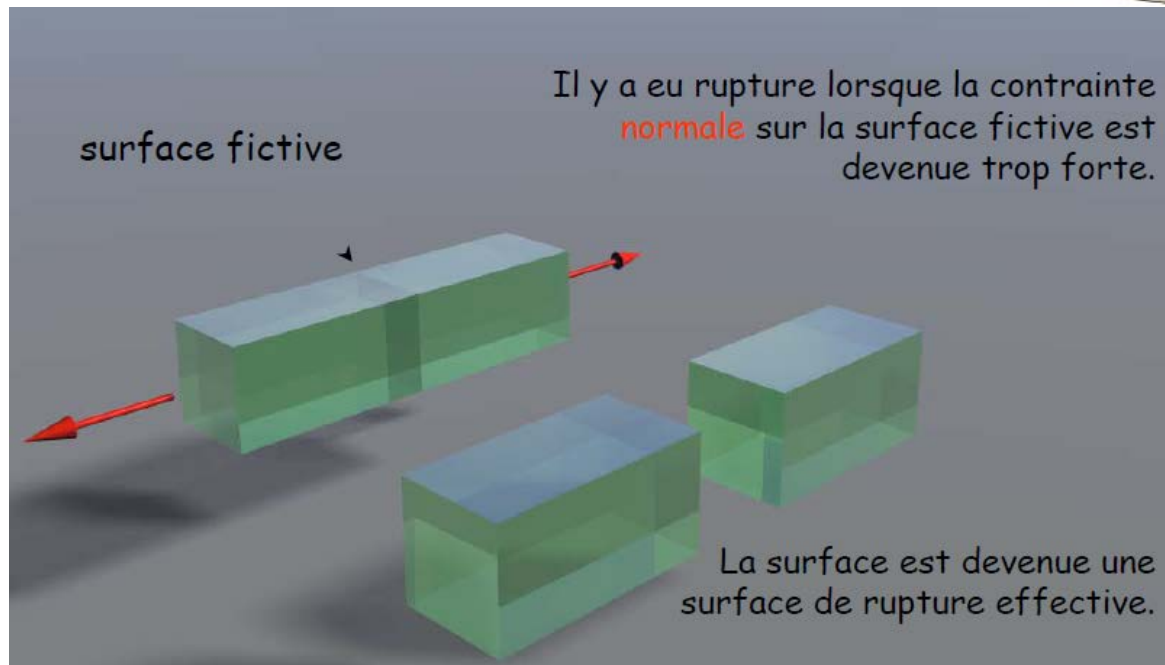
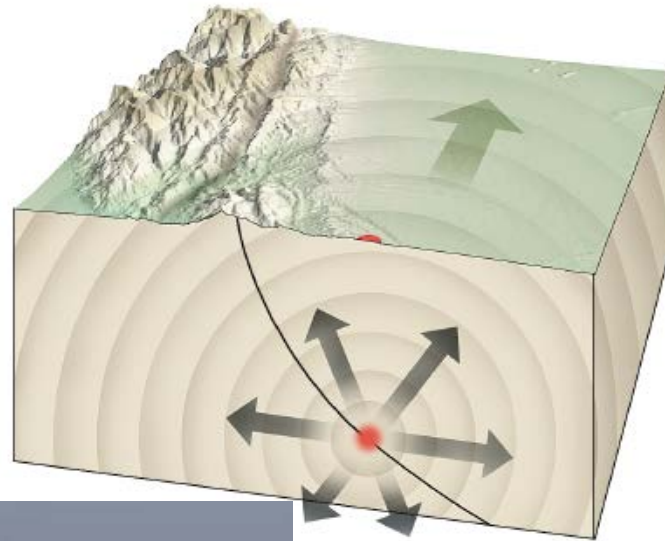
$$\sigma = F/s$$

la contrainte s'exprime en Pa ou en bar (Kbar, 1Gpa = 10 kbar) , c'est un vecteur.



Une contrainte : force exercée sur une surface , la contrainte (*stress*) est un vecteur

$$\sigma = F/s$$



Une contrainte : force exercée sur une surface , la contrainte (*stress*) est un vecteur

$$\sigma = F/s$$

la contrainte peut aussi être oblique par rapport à la surface sur laquelle elle s'applique

