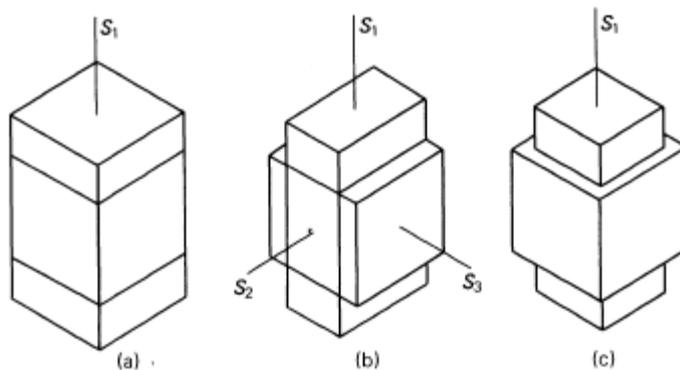


15.3 Draw cubes affected by each of the following strains. In each case assume that the deformation is irrotational and that the particle in the center of the cube remains in the center after deformation. Also assume that the principal directions of strain are parallel to the edges of the cube.

- (a) A uniaxial strain with $S_1 = 1.8$; $S_2 = 1.0$; $S_3 = 1.0$.
- (b) A biaxial, or plane strain, with $S_1 = 1.8$, $S_2 = 1.0$; $S_3 = 0.56$.
- (c) A triaxial strain of axially symmetric type, with $S_1 = 1.8$; $S_2 = 0.75$; $S_3 = 0.75$.

Answer

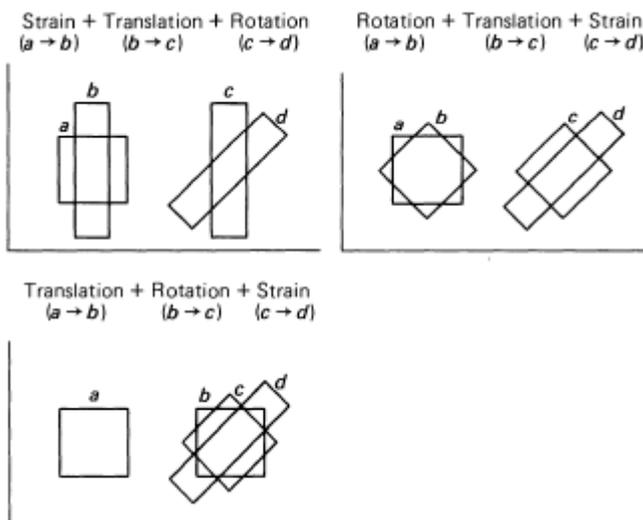
15.3



15.5 Show that any simple shear deformation (e.g., Figure 15.5) is equivalent to, and can equally well be viewed as, a pure-shear deformation plus a rigid-body rotation.

Answer

15.4



III- Effort-Déformation dans les roches et Les critères des ruptures

3.1 Relation contrainte-déformation, essai de compression uniaxial

Les essais mécaniques se font sur des échantillons de quelques cm de long sur lesquels on s'efforce d'obtenir la déformation la plus homogène possible. L'échantillon est soumis à une charge qu'on assimile par simplification à une contrainte uni-axiale homogène $\sigma = F / S$. Le raccourcissement relatif $\varepsilon = \Delta l / l$ de l'échantillon supposé aussi homogène est représenté par un graphe $\varepsilon = f(\sigma)$ (Fig. 3.1). Celui-ci montre un tracé d'abord linéaire à pente forte ; la déformation est proportionnelle à la contrainte $\varepsilon = \sigma / E$. Lorsqu'on cesse d'appliquer la contrainte, la déformation est instantanément réversible : elle est appelée *déformation élastique*.

À partir d'une limite σ_E , dite limite d'élasticité ou seuil de plasticité, la pente du graphe décroît. Pour cette partie du graphe, en A par exemple (Fig. 3.1), si l'on cesse d'appliquer la contrainte, la déformation est partiellement restituée élastiquement (tracé AA_1 , Fig. 3.1) mais il reste une déformation permanente (ε_p) appelée *déformation plastique*.

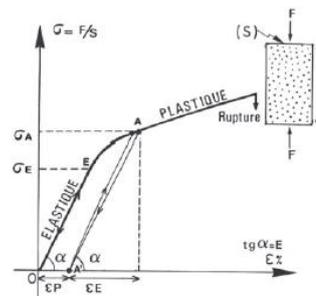


Figure 3.1 - Graphe contrainte - déformation d'un cylindre de roche en compression uniaxiale.

Si l'on recharge l'échantillon, le graphe de charge suit approximativement le tracé A_1A puis le tracé qu'il aurait eu s'il n'y avait pas eu interruption de la charge. La nouvelle limite d'élasticité est devenue σ_A qui est plus élevée que σ_E . On dit alors qu'il y a eu *durcissement* du matériau; la déformation plastique a donc changé l'état du matériau. Puis la pente du graphe diminue mais un durcissement linéaire se maintient. La déformation peut ensuite mener à la rupture (Fig. 3.1). Lorsque les roches sont déformées à pression et température ambiantes, souvent la rupture se produit sans déformation plastique appréciable (voir Fig. 3.6). Dans certains cas, le tracé peut devenir parallèle à l'axe des ε (voir Fig. 3.6) ; à contrainte constante Δp , la déformation augmente alors avec le temps; ce phénomène est appelé le *fluage* (en anglais, creep). C'est une forme particulière, à contrainte constante, de *l'écoulement plastique* ; la limite σ_p est appelée seuil **d'écoulement plastique**.

3.1.2 Le comportement des matériaux

Le comportement des matériaux réels est complexe. Il est donc commode de considérer

des comportements idéaux. On distingue le domaine de l'élasticité et le domaine de la plasticité.

2.1. Les corps élastiques sont caractérisés par une réponse instantanée et réversible du solide à la contrainte donc indépendante du temps. Si la déformation est proportionnelle à la contrainte, l'élasticité est dite *Hookéenne*.

La déformation linéaire ε est telle $\varepsilon = \sigma/E$ (loi de Hook)

$E =$ module d'Young).

En cisaillement simple (Fig. 3.2a), la déformation cisailante est proportionnelle à la contrainte tangentielle : $\tau = \sigma/G$ ($G =$ module de rigidité).

Soumis à une pression hydrostatique, le solide subit une variation relative de volume $\Delta V/V$ proportionnelle à la variation de pression hydrostatique ΔP : $\Delta V/V = \Delta P/K$ ($K =$ module d'incompressibilité).

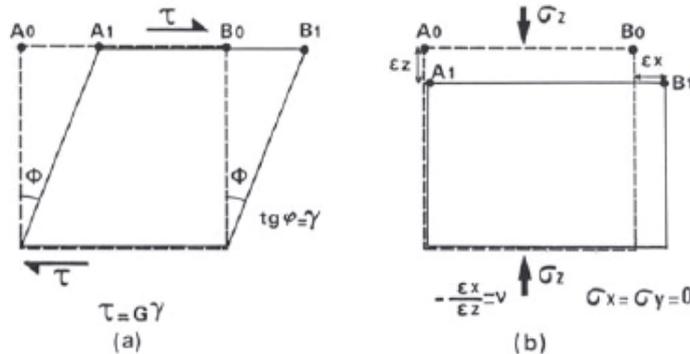


Figure 3.2 - (a) Déformation cisailante d'un corps élastique ; (b) Déformation linéaire d'un corps élastique en compression uniaxiale.

Sous l'effet d'une compression uniaxiale σ_z , un corps élastique Hookéen isotrope se raccourcit donc de ε_z mais il s'allonge aussi de ε_x dans la direction perpendiculaire à σ_z (Fig. 3.2b). Le rapport $\nu = -\varepsilon_x/\varepsilon_z$ est appelé le coefficient de Poisson; sa valeur absolue est inférieure à 0,5.

Ainsi $\varepsilon_x = -\nu\varepsilon_z$ et $\sigma_z = E\varepsilon_z = -E\varepsilon_x/\nu$.

Il s'ensuit que pour un cube soumis à des compressions triaxiales σ_x , σ_y , σ_z orthogonales à ses faces, se raccourcit de ε_z dû à la contrainte σ_z mais qu'il s'allonge aussi suivant la même direction de quantités ε_x et ε_y dues respectivement aux contraintes σ_x et σ_y (ici les premiers indices x , y , z de ε indiquent que les déformations linéaires suivant la direction z résultent respectivement des contraintes σ_x , σ_y , σ_z , insistons sur le fait qu'il ne s'agit pas là de déformations cisailantes) (Fig. 3.3), d'où:

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xz} - \varepsilon_{yz} = \sigma_z/E - \nu\sigma_x/E - \nu\sigma_y/E$$

$$\varepsilon_z = (1/E) [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

Les valeurs de ε_x et ε_y se déduisent de cette équation par permutation circulaire des indices. Donc dans le domaine des déformations élastiques (en général des faibles déformations), pour un corps isotrope, il existe une relation linéaire entre tenseur des contraintes T_σ et tenseur des déformations T_ε car chaque déformation $\varepsilon_{i,j}$ (avec i, j égal au choix à x, y, z) est reliée

linéairement à l'ensemble des $\sigma_{i,j}$. Ce qui est vrai pour les contraintes normales quand $i = j$ est également vrai pour les contraintes cisailantes quand i est différent de j .

La rhéologie (la science qui étudie la déformation des matériaux) des corps élastiques Hookéens est représentée par un modèle de ressort (Fig. 3.4a). De façon générale les roches ne sont ni parfaitement élastiques, ni isotropes.

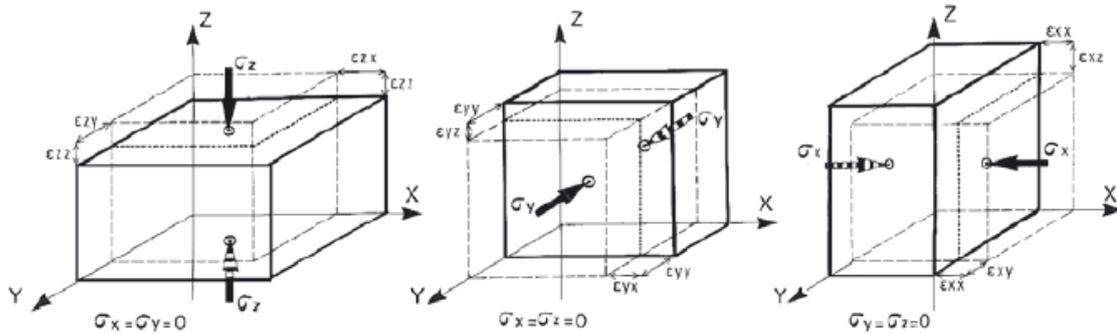


Figure 3.3 - Déformations linéaires élastiques d'un cube soumis à des compressions orthogonales à ses faces.

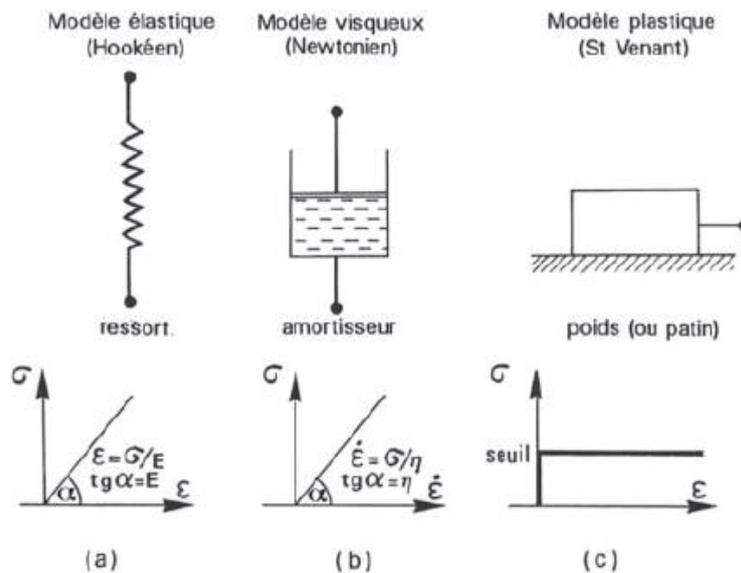


Figure 3.4 - Modèles rhéologiques simples (a) d'un corps hookéen, (b) d'un liquide newtonien, (c) d'un corps de Saint-Venant ; ϵ est la déformation et $\dot{\epsilon}$ la vitesse de déformation.

2.2. Les corps plastiques sont caractérisés par une réponse non réversible à la contrainte ; il se produit un écoulement de la matière qui dépend du temps tel par exemple le fluage *plastique à contrainte constante* (Fig. 3.6 et 3.7). Ce fluage peut dans certains cas se produire à vitesse constante, c'est le *fluage stationnaire*. Mesurée dans ce cas, la vitesse de déformation $\dot{\epsilon}$ est proportionnelle à la contrainte telle que $\dot{\epsilon} = \alpha \sigma$ (T et P étant constants) ; α est appelé la *fluidité* et $1/\alpha = \eta$, la *viscosité*.

La viscosité est une constante qui dépend du matériau, de la température, de la pression et de la vitesse de déformation. Deux cas peuvent être considérés :

a. La viscosité est indépendante de la contrainte. La vitesse de fluage est proportionnelle à la contrainte :

$$\dot{\epsilon} = \sigma/\eta \quad (2)$$

C'est le *comportement visqueux newtonien* des liquides et de certains solides.

b. La viscosité dépend de la contrainte. La vitesse de fluage est aussi proportionnelle à la contrainte mais elle est exprimée alors empiriquement par une loi rhéologique qui dépend d'un exposant de la contrainte :

$$\dot{\epsilon} = \sigma^n/\eta \quad (3)$$

avec $n = 3 - 5$ ou plus, souvent égal à 3. C'est un *comportement dit non newtonien*. En géologie structurale, un *corps idéalement visqueux* est un corps incapable de supporter une contrainte, sa déformation permanente se produit sans seuil et la vitesse de déformation est linéairement liée à la contrainte ; c'est donc un corps (par exemple, un liquide) visqueux newtonien sans seuil de déformation. Il est représenté par un modèle d'amortisseur (en anglais : dashpot) (Fig. 3.4b).

Un *corps idéalement plastique* est un corps incapable de supporter une contrainte au-delà d'un seuil – le seuil d'écoulement plastique σ_p (Fig. 3.6 et 3.7) – à partir duquel il se déforme de façon permanente ; c'est le comportement d'un corps dit de Saint-Venant qui est représenté par un modèle de patin (Fig. 3.4c)

3 2 Les critères de ruptures

Pour un système de contraintes donné et pour un matériau donné, il est important de pouvoir disposer d'un critère qui permette de prédire pour quelle contrainte aura lieu la rupture et surtout qui permette de prévoir quelle sera l'orientation du plan de fracture.

Le critère de rupture de Mohr – Coulomb

Le critère le plus simple est celui de Mohr-Coulomb, il admet que la rupture commence quand la contrainte cisailante atteint une valeur τ , appelée la *résistance au cisaillement*.

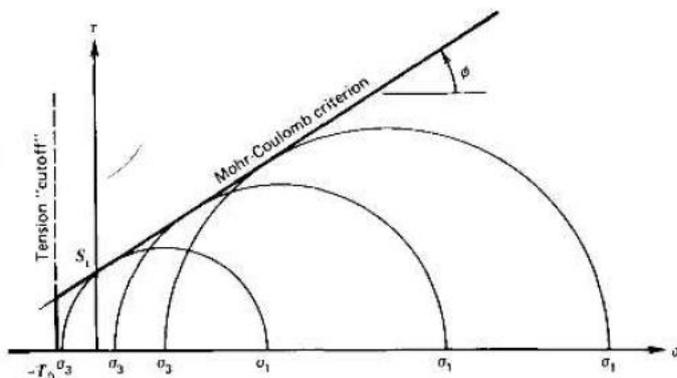
Nous avons vu que la contrainte à la rupture σ_1 augmente quand la contrainte de confinement σ_3 augmente. Donc la variation de la contrainte de pic σ_1 avec la contrainte de confinement σ_3 est connu par le Critère de rupture.

Le critère de rupture **Mohr-Coulomb** est le plus populaire et le plus utilisé pour les géomatériaux, où la rupture survient en cisaillement. La résistance au cisaillement τ sur le plan de rupture est proportionnelle à la contrainte normale σ sur ce plan.

Il est exprimé par :
$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \varphi$$

Où c est la cohésion et φ est l'angle de frottement interne.

Le critère de Mohr-Coulomb est représenté par une droite tangente aux cercles de Mohr.



Le Critère de Mohr Coulomb avec une limite de traction

$$\sigma_1 = q_u + \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \quad \text{Ou } q_u = \text{la résistance à la compression simple}$$

$$q_u = 2C \tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

C = La cohésion

Donc le critère de Mohr Coulomb en termes de σ_1 et σ_3 est :

$$\sigma_1 = 2C \tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \sigma_c + \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Le critère de plasticité qui découle de la loi de Coulomb s'écrit (cf § 5.1.2)

$$(\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi - (\sigma_1 - \sigma_3) + 2c \cos \varphi = 0$$

qu'on peut mettre aussi sous la forme :

$$\sigma_1 - \sigma_3 \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - c \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 0$$

ou bien en utilisant l'angle $\frac{\varphi}{2}$

$$\sigma_1 - \sigma_3 \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) = 0$$

6-L'effet de l'eau sur la résistance au cisaillement

Les roches sont souvent affaiblies suite à leur imbibition. Comment cela arrive ?

Terzaghi's **effective stress law** pour les roches stipule qu'une pression P_w dans les pores induit une réduction de la contrainte de pic égale à la réduction de la contrainte de confinement (P_w). Donc

$$\sigma' = \sigma - P_w$$

La contrainte différentielle $\sigma_1 - \sigma_3$ reste inaltéré par la pression de l'eau car

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 - P_w) - (\sigma_3 - P_w) = \sigma_1 - \sigma_3$$

L'effet de l'eau peut être utilisé dans le critère de rupture par la considération des contraintes effectives :

$$\sigma_{1p}' = q_u + \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\sigma_{1p}' - \sigma_3 = q_u + \sigma_3 \left[\tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) - 1 \right]$$

Comme la contrainte différentielle est insensible à la pression de l'eau, on aura

$$\sigma_{1p}' - \sigma_3 = q_u + (\sigma_3 - P_w) \left[\tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) - 1 \right]$$

Solving for P_w on aura :

$$p_w = \sigma_3 - \frac{(\sigma_1 - \sigma_3) - q_u}{\tan^2(45 + \varphi/2) - 1}$$

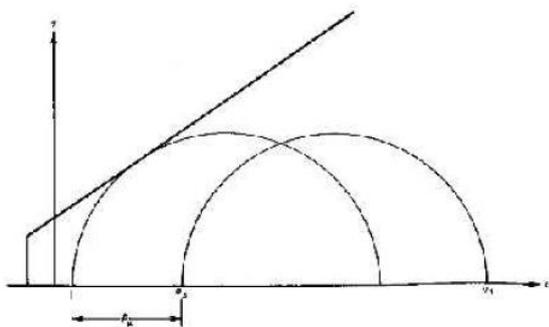


Figure 3.18 Water pressure required to initiate failure of an intact rock from a given initial state of stress.

7-Influence du rapport des contraintes principales ($K = \sigma_3/\sigma_1$) à la rupture

Dans l'essai triaxial, l'échantillon de roche est soumis à une contrainte hydrostatique, c'est à dire le rapport $K = \sigma_3/\sigma_1 = 1$. Ensuite, quand σ_1 est augmentée la valeur de K diminue jusqu'à ce que la rupture survienne et la résistance de pic est alors atteinte. Cela n'est pas toujours le seul chemin de contrainte suivi dans toutes les situations, il est préférable de considérer le comportement des roches quand ce rapport est fixé à une valeur. On examinant le cas d'une excavation souterraine (chambre souterraine) dans la masse rocheuse, comme exemple, les valeurs et le rapport des contraintes principales ($K = \sigma_3/\sigma_1$) peut être déterminé dans la région d'influence de l'excavation. Le changement des valeurs de σ_3 et σ_1 ne change pas souvent la valeur de K tant que la roche se comporte d'une manière élastique. Cependant, il existe une valeur de K au dessus de laquelle la rupture ne peut pas survenir, et cela est vérifié par les essais. En termes de Mohr-Coulomb failure criteria,

$$\sigma_{1p} = \frac{R_{cs}}{1 - K \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})}$$

La résistance à la rupture devient alors infinie lorsque k approche la valeur de $\cot^2(45 + \frac{\phi}{2})$

Comme exemple pour $\phi = 45^\circ$, la rupture ne survient pas au delà de $k = 0.17$.

4.2 Influence des conditions physiques sur la déformation des roches

Nous examinerons successivement l'influence de la pression hydrostatique, de la température, de la vitesse de déformation.

3.2.1 L'influence de la pression hydrostatique

L'augmentation de la pression hydrostatique a pour effet une suppression de la microfracturation dans la roche et permet ainsi de la maintenir dans le domaine de la ductilité.

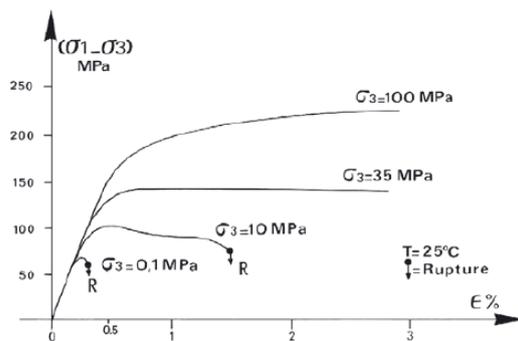


Figure 3.6 - Graphe contrainte différentielle - déformation pour des cylindres ($l \approx 12$ cm, diamètre ≈ 5 cm) de marbre de Wombeyan déformés à vitesse constante (3 mm/mn) et température constante pour des pressions de confinement variables (d'après M.S. Paterson, 1958, *Bull. Geol. Soc. Am*, 69, 463).

3.2.2 L'influence de la température

La température croît avec la profondeur : le gradient géothermique normal est voisin de $30^\circ\text{C}/\text{km}$ mais peut atteindre dans certaines régions $100^\circ\text{C}/\text{km}$.

On y observe clairement qu'une augmentation de température abaisse le seuil de fluage plastique, donc produit un *amollissement* de la roche et augmente la quantité de déformation plastique avant la rupture.

Ainsi, en profondeur, la pression hydrostatique retarde la rupture et la température abaisse le seuil de plasticité. Par leurs effets conjugués, elles contribuent à étendre le domaine de la ductilité des roches.

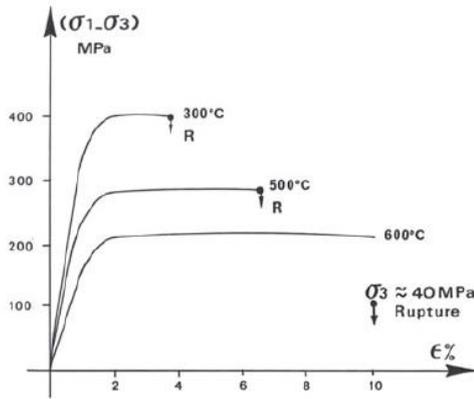


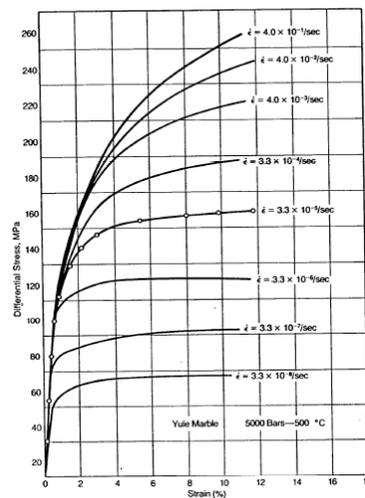
Figure 3.7 - Graphe contrainte différentielle - déformation pour le calcaire de Solenhofen, déformé en compression, à pression de confinement σ_3 constante et température variable (d'après H.C. Heard, 1960, *Geol. Soc. Am. Memoir*, 79, 193).

3 2 3 Influence de la nature de la roche

On comprend aisément que des roches différentes vont avoir des réponses rhéologiques différentes, selon qu'elles sont plus ou moins « molles » (on parle de compétence). Une roche est plus compétente (compétent) si elle a un seuil plastique élevé (autrement dit, il est difficile de la déformer de façon plastique) ; par extension, si elle se déforme de préférence de façon cassante.

Empiriquement, on peut proposer une échelle de compétence (relative, de la plus faible à la plus forte): Sédiments : Sel (rock salt) – argile (shale) – calcaire (limestone) – grès impur (grauwacke, greywacke) – grès (sandstone) – dolomie (dolomite) ; Roches magmatiques / métamorphiques : Schiste (schist) – marbre (marble) – quartzite (quartzite) – gneiss (gneiss) – granite (granite) – basalte (basalt) – gabbro (gabbro).

32 4 Influences de la Vitesse de déformation (vitesse d'application de la charge)



Graphe montrant l'effet de la vitesse de déformation sur la résistance à la rupture des roches.

Une vitesse de déformation plus rapide rend les roches plus cassantes, et augmente leur résistance.

325 Influence des Pressions des fluides (dans les pores)

L'augmentation de la pression des fluides dans les pores de la roche diminue sa résistance et la rend plus cassante (l'ouverture de mini-fractures dans la roche est en effet facilitée par la pression de fluides sur les bords des pores, ce qui rend la rupture plus facile).

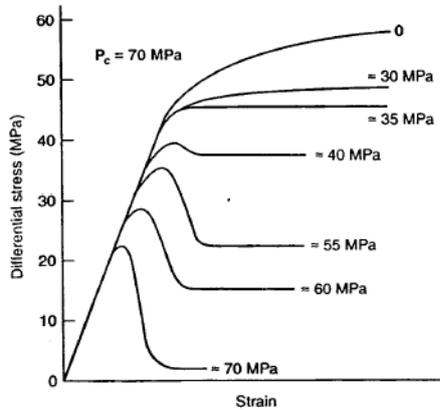
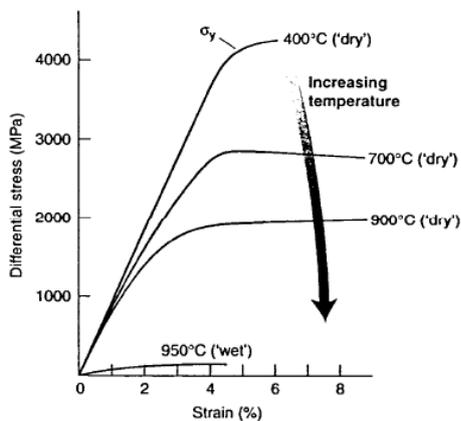


Figure montrant l'effet de la pression de fluides sur la rupture des roches

326 Influence des Fluides (dans les structures cristallines)

A l'inverse, des fluides dans le système cristallin (groupes OH substituant O dans les cristaux affaiblissant les liaisons Si-O-Si) diminue la résistance des roches et les rend ductiles.



Effets des fluides dans le système cristallin

327 Influence de l'assemblage poly-minéral

La déformation de roches poly-minérales est complexe, elle dépend à la fois du comportement de chaque minéral, et de leurs relations.

Si on simplifie la discussion précédente en se focalisant sur la température, la limite entre des comportements ductiles et fragiles varie pour différents minéraux:

3.4 Les domaines de la déformation géologique en fonction de la profondeur

On peut distinguer en fonction de la profondeur, donc en fonction de la **pression hydrostatique** et de la **température**, un domaine superficiel qui est essentiellement celui de la **déformation cassante** (ou fragile) et un domaine plus profond qui est celui de la **déformation ductile**, (Fig. 3.14).

Dans le domaine cassant se sont les failles, ce sont les joints qui résultent de la déformation, alors que dans le domaine de la déformation plastique les roches tendent à se plisser sous l'effet des contraintes.

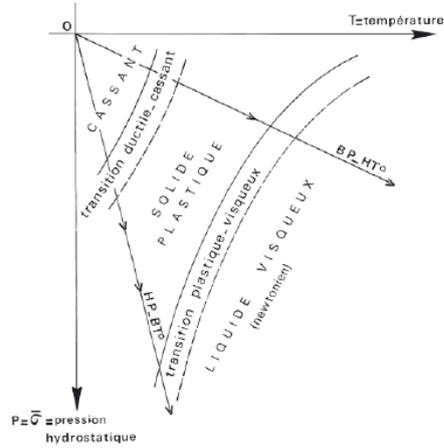


Figure 3.14 - Représentation schématique des domaines de déformation naturelle en fonction de la pression hydrostatique et de la température.

Chapitre II. LA DEFORMATION TECTONIQUE

2.1- LA DEFORMATION CASSANTE (fragile = brittle)

2.1.1 Failles et joints de cisaillement, fentes de tension et diaclases

2.1.11 Failles et joints de cisaillement

La plupart des grandes fractures observées sur le terrain, sur photographies aériennes ou sur images satellites sont ce qu'on appelle des failles.

1.1. Définition et nomenclature. Une *faille* est une fracture macroscopique des matériaux de l'écorce terrestre. Cette fracture est accompagnée d'un glissement d'un bloc par rapport à l'autre sur le plan qui les sépare. Il existe des failles de l'échelle de la centaine de kilomètres (ce sont dans ce cas plutôt des zones de failles) et d'autre à l'échelle de l'affleurement ou de l'échantillon ; dans ces derniers cas, on parle souvent de *microfailles*.

Puisqu'il y a glissement relatif des blocs, c'est qu'il existe une contrainte cisailante sur le plan de la rupture; on emploie donc souvent le terme de *joint de cisaillement* pour désigner des microfailles sur lesquelles le déplacement est en général très faible.

Le plan de faille est donc un plan de cisaillement (Fig. 4.1). En fait, c'est souvent une surface irrégulière, ondulée ou courbée, parfois remplacée par une zone plus ou moins épaisse contenant de nombreux plans de cisaillement (voir Fig. 5.5). Au contact du plan de faille les blocs peuvent être polis au cours du mouvement et former ce qu'on appelle des *miroirs de failles*.

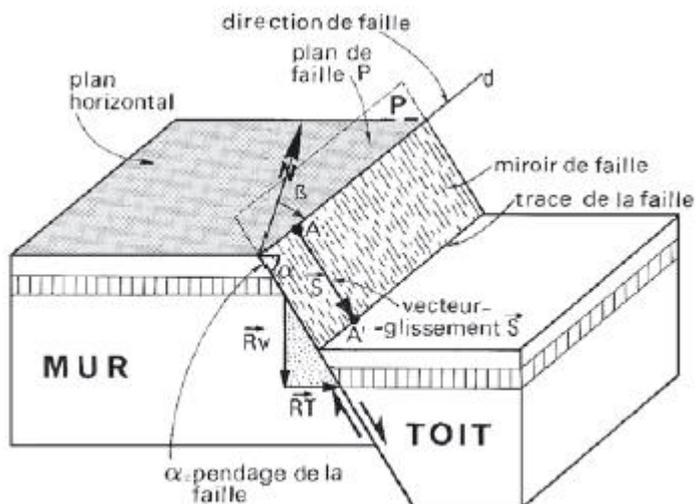


Figure 4.1 - Nomenclature liée à une faille.

Ceux-ci portent souvent des *stries* de friction qui indiquent la direction et le sens du vecteur-glisement **S**.

Le bloc situé au-dessus du plan de faille est appelé le *toit*, celui situé sous le plan de faille est appelé le *mur*.

Le *vecteur-glisement S* joint sur le plan de faille deux points A et A' du mur et du toit qui étaient initialement contigus (Fig. 4.1).

Le *rejet*, **RV** (rejet vertical) est la composante du rejet suivant la verticale,

Le rejet **RT** (rejet horizontal transversal) est la composante horizontale du rejet dans le plan perpendiculaire au plan de faille et correspond ici à l'allongement du matériau (écartement).

Dans le cas d'une faille décrochante (Fig. 4.2c, d) le vecteur-glisement est horizontal et il n'existe donc qu'un rejet horizontal suivant la direction de la faille (= rejet-direction **RD**), **RV** = 0. La *direction* de la faille est donnée par l'horizontale (d) tracée sur le plan de faille et dont azimuth est l'angle θ que fait la direction de la faille avec le nord géographique. Le *pendage* de la faille est l'angle α que fait le plan de faille avec l'horizontale du lieu.

2.1.1.2. Classification des failles

Il existe de nombreuses classifications de failles, nous ne donnerons ici que celles basées sur le glissement réel des blocs séparés par la faille. Nous ne nous intéressons ici volontairement qu'aux failles dont le glissement se fait suivant la ligne de plus grande pente ou suivant la direction de la faille (Fig. 4.2).

Une *faille normale* présente un glissement du **toit** vers le **bas** par rapport au **mur** et produit un allongement horizontal (+ Δl) du matériau (Fig. 4.2a).

L'angle critique que fait le plan de faille avec l'horizontale dans le cas de la faille *normale* est de :

$$\beta_{cr} = 45 + \frac{\varphi}{2} \text{ il est typiquement de } 60^\circ$$

Les failles normales sont des failles en extension (σ_3 horizontal, perpendiculaire à la faille, σ_1 vertical).

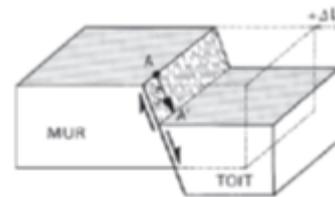


Fig. 4.2a. faille normale

Une *faille inverse* présente un glissement du **toit** vers le **haut** par rapport au **mur** et produit un raccourcissement horizontal (− Δl) du matériau (Fig. 4.2b).

L'angle critique que fait le plan de faille avec l'horizontale dans le cas de la faille *inverse* est de :

$$\beta_{cr} = 45 - \frac{\varphi}{2} \text{ , il est théoriquement au } \text{environ de } 30^\circ$$

Les *failles inverses* sont des failles en compression (σ_1 horizontal, σ_3 vertical).

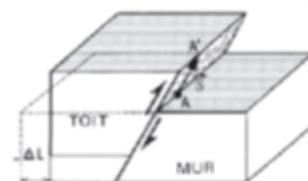


Fig.4.2b. faille inverse

Les **chevauchements** (thrust faults) sont des failles inverses plates, avec un fort déplacement (pouvant atteindre des dizaines de kilomètres) (fig. 4.2c1). Ce sont des failles compressives qui résultent en un épaissement et un raccourcissement crustal. Les **chevauchements** peuvent séparer des nappes, éventuellement déracinées de leur source, et mettent alors en contact un terrain transporté, **allochtone** (allochthonous) sur un terrain en place **autochtone** (autochthonous). L'érosion peut creuser des **fenêtres** (window) dans une nappe, ou au contraire en isoler des **kilppes** klippe).

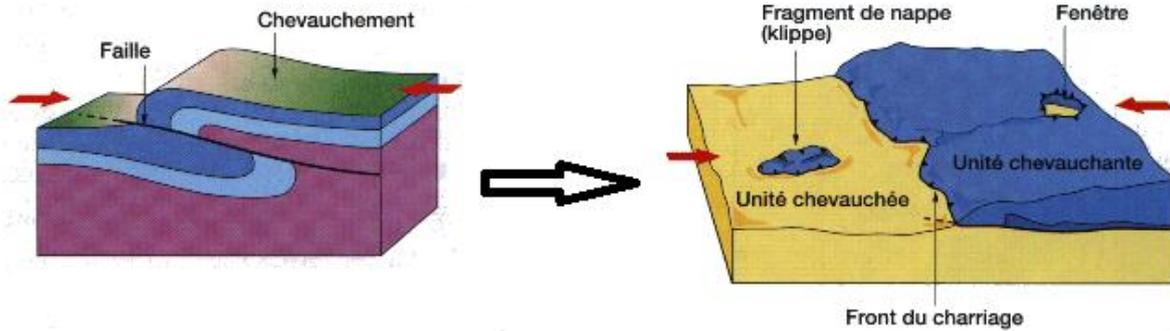


Fig. 4.2 d1. Les chevauchements

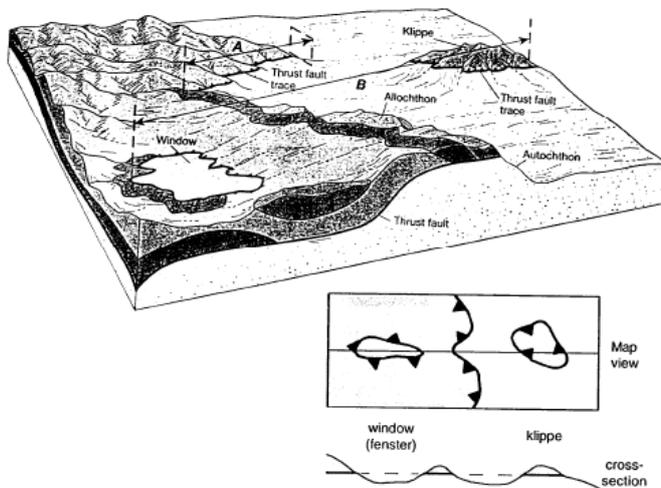


Figure 4.2a1. Nappe et chevauchement

Les failles décrochantes :

Les failles à glissement horizontal sont des **failles décrochantes**. Une faille est **décrochante dextre** si l'observateur debout, regardant dans le miroir de faille, voit le bloc en face a glissé vers sa droite (Fig. 4.2c) ; si c'est le bloc glisse vers sa main gauche (Fig. 4.2d), la faille est **décrochante senestre**.

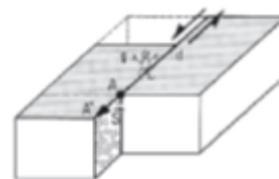


Fig.4.2d. Faille décrochante senestre

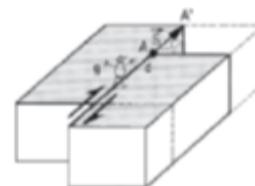


Fig. 4.2c. Faille décrochante dextre

Associées aux systèmes de failles dextres et senestres (Fig. 4.2e), les failles décrochantes produisent à la fois un allongement et un raccourcissement horizontal sans épaissement ni amincissement vertical du matériau.

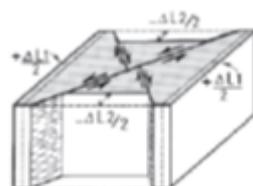


Fig04.2e. Association de décrochement dextre et senestre

2.1.1.3 Les fentes de tension et les diaclases

Les *fentes de tension* sont des fractures qui, en section, présentent des bords (des épontes) écartés dans la partie centrale et jointifs aux extrémités

(Fig. 4.3a et b).

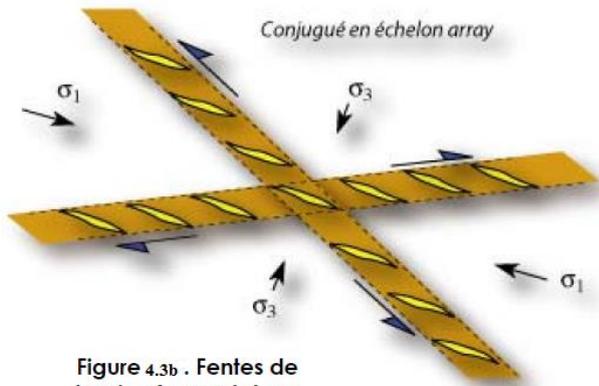


Figure 4.3b . Fentes de tension formant deux systèmes en échelon conjugués.

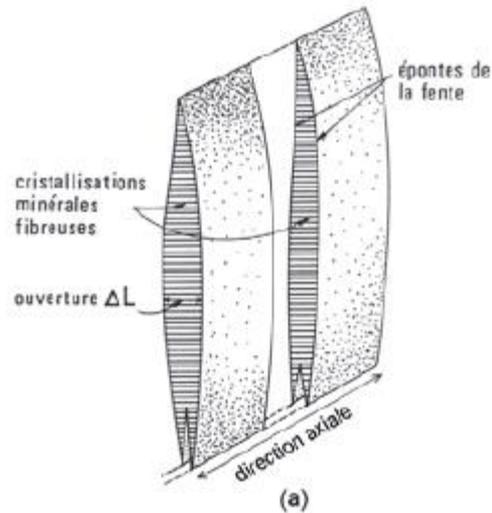


Fig 4.3a. Fente de tension (tension crack)

Les épontes ont subi un déplacement (+ ΔL) perpendiculaire au plan de fracture, donc sans cisaillement. Des *fibres minérales* cristallisent souvent perpendiculairement aux épontes : cristallisations de calcite dans les calcaires, de gypse ou de sel dans les évaporites, et du quartz dans les roches siliceuses et les granites.

L'ouverture des fentes est en général millimétrique à décimétrique. Leur longueur axiale va du centimètre à quelques dizaines de mètres, exceptionnellement elle atteint quelques centaines de mètres.

Les *diaclasses* sont des fractures qui, comme les fentes, ne montrent pas de trace de cisaillement et les épontes restent jointives. Elles forment des réseaux de fractures, généralement, perpendiculaires à la stratification.

On emploie aussi le terme de «*joint*» dans un sens très général pour désigner des fractures aux épontes jointives sans traces de cisaillement mais ayant, elles, une disposition quelconque par rapport à la stratification. Les réseaux de *joints* sont souvent associés aux failles. Lorsque la maille de ces joints est serrée, ceux-ci contribuent à augmenter les capacités de réservoir en fluides (eau, pétrole) des roches.

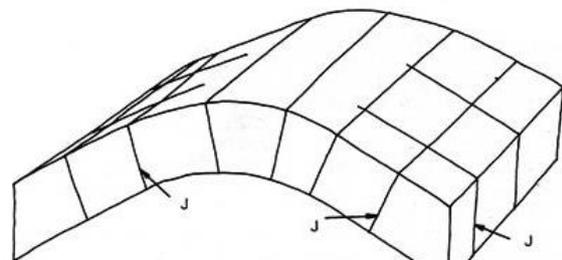


Fig.4.3d. Joints dans un affleurement ouverts par le processus d'altération

2.1.1.4 Les joints stylolithiques

Les *joints stylolithiques* sont des surfaces portant des pics et des creux en forme de colonnes ou de cônes qu'on appelle des pics stylolithiques ou

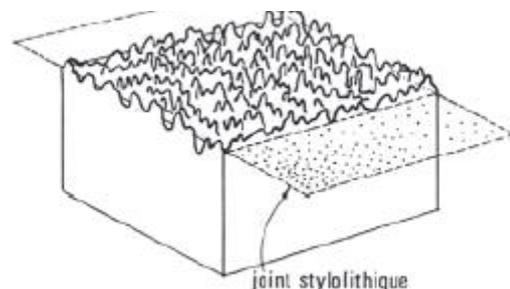


Fig. 4.3c. Joint stylolithique

stylolithes (Fig. 4.3c) dont la taille varie de quelques millimètres à quelques centimètres. Ces joints stylolithiques se présentent comme des surfaces suivant lesquels deux blocs adjacents sont étroitement engrenés. Il ne s'agit donc pas de fractures ; ils ne sont cités ici que parce qu'ils sont souvent associés aux fentes de tension.

2.1.2 Les failles à mouvements composites

La plupart des failles ont en réalité des mouvements composites, qui ne sont pas purement l'un des types décrits (faille normale dextre, décrochante normale, etc.)

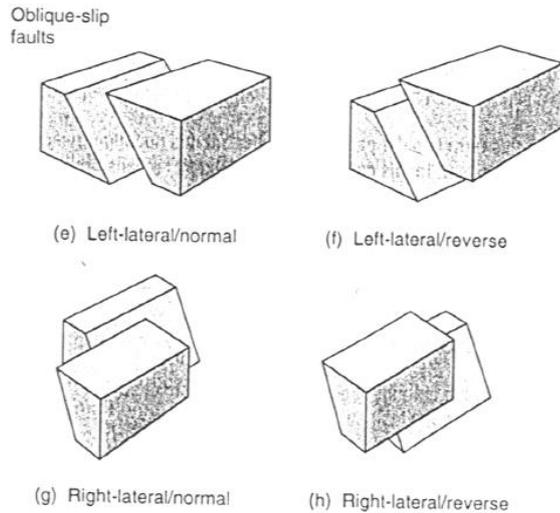


Fig. 4.1.3. failles à mouvements composites

Il existe aussi des failles sur lesquelles le mouvement est essentiellement rotationnel : failles en ciseaux (scissor faults) (fig.4.1.3a).

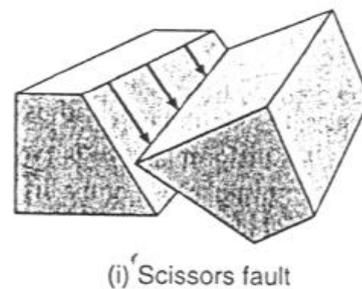


Fig 4.1.3a. Exemple de faille en siseau

b. Systèmes de failles conjuguées

Les failles qui se forment par rupture cisailante (en suivant le critère de Navier-Coulomb) se forment à 30° de σ_1 , et contiennent σ_2 . Il y a donc deux orientations possibles pour la rupture (ou la réactivation de failles existantes), qui forment des systèmes de failles dit conjuguées (conjugate faults).