

## TD N° 1 : ANALYSE STRUCTURALE

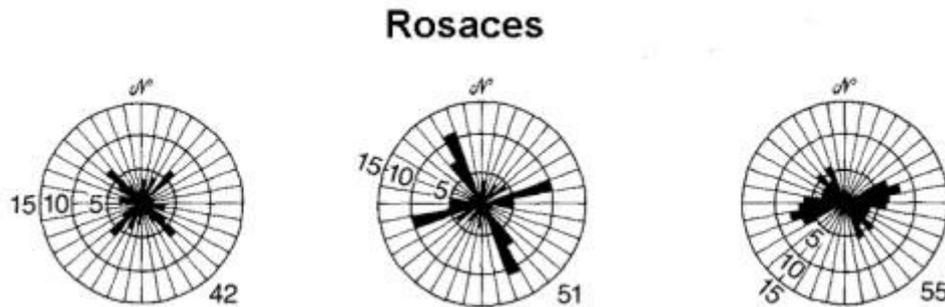
Plusieurs techniques graphiques peuvent être utilisées pour analyser les éléments structuraux d'une région. Ces techniques ont pour objet de faciliter la reconnaissance d'un groupement ou d'une orientation préférentielle de certains éléments structuraux et de visualiser clairement les résultats.

### Objectifs spécifiques :

- Étudier la géométrie des réseaux de fractures d'une région donnée.
- Dégager les directions dominantes.
- Représentation graphique des données structurales
- Préparer et interpréter des représentations graphiques et des études statistiques de données structurales linéaires.

### Méthodologie :

- Dans un papier claqué, cartographier le réseau de fracture de la carte géologique.
- Cartographier les axes des plis de la carte géologique.
- Mesurer les directions des fractures cartographiées.
- Présenter ces mesures en classes de directions de 10° ou 20°.
- Donner le nombre de mesure dans chaque classe de direction.
- Calculer les proportions (%) de chaque classe de direction.
- Dessiner la rosace directionnelle : les directions seront données sur un cercle, regroupées en tranches de 5°, 10° ou 20° par exemple. Les fréquences sont proportionnelles à la longueur des rayons du cercle indiquant leur direction

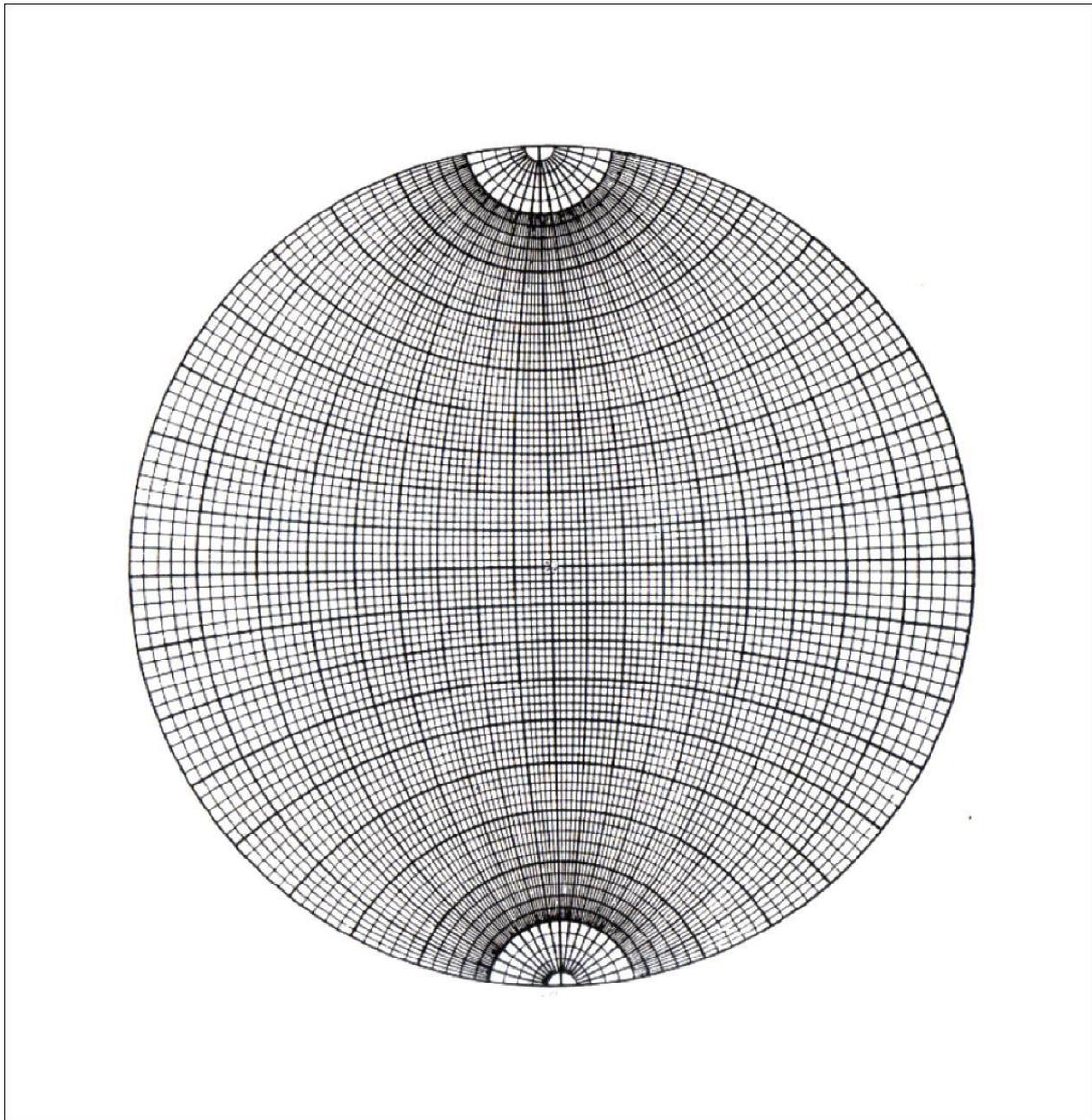


**Figure :** Rosaces de direction de joints relevés à trois stations différentes (modifié de Davis et Reynolds, 1996).

- Estimer la ou les directions prédominantes et moyennes de votre région.
- Présenter vos résultats sous forme de tableau et de rapport.

Mesures de directions	Classes de directions	Nombre de mesures dans chaque classe	Direction moyenne	Proportion (%)

## TD N° 2 : Projection stéréographique



**EXERCICE 1 :**

*Tracez les plans suivants: N40-70SE N160-30NE N62-22NW*

**EXERCICE 2 :**

*Tracez les lignes suivantes:*

*N30-60NE*

*N145-32NW*

**QUESTION :** *Représenter la trace cyclographique d'un plan orienté N50-40SE et celle d'une ligne orientée N140,40SE. Relation entre ce plan et cette ligne ?*

Représenter les deux plans suivants : *Pb : N135-56NE Pr : N66-40N*

**TD N° 3 : Essai mécanique et comportement des roches**

### EXERCICE 1: Déformation fragile.

Des essais en cellule triaxiale ont été entrepris sur des échantillons de grès de la Formation d'Oil Creek (un grès fin, massif, bien trié et cimenté), le but étant de déterminer l'enveloppe de Mohr et de caractériser le comportement rhéologique du grès. Pendant les essais, la contrainte axiale ( $s_1$ ) a été augmentée progressivement, tout en gardant la pression de confinement stable, de façon à augmenter la contrainte différentielle et causer la rupture du spécimen. Les essais ont été effectués à la température ambiante et avec une vitesse de déformation de  $10^{-3}$ /sec. Trois essais ont été entrepris en faisant varier la pression de confinement d'un essai à l'autre. Les résultats sont donnés sous forme graphique (s vs e) à la figure 1.

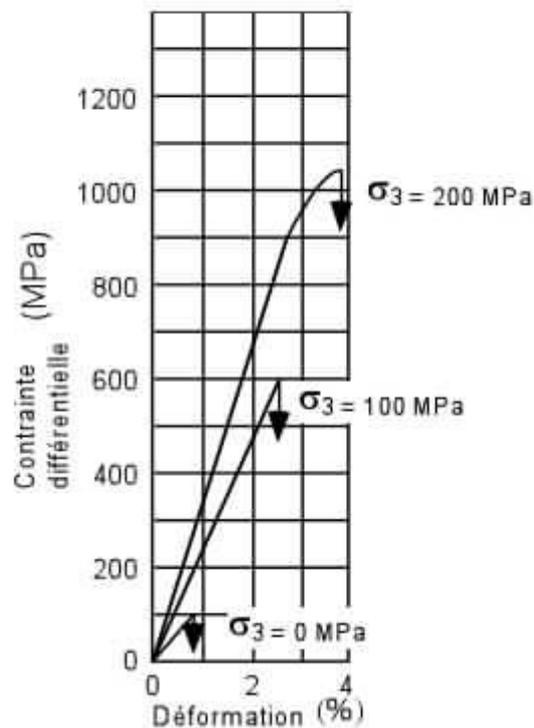


Figure 1: Graphique contrainte/déformation pour le grès d'Oil Creek.  $s_3$  = pression de confinement.

- 1) Déterminez la contrainte différentielle et la contrainte moyenne au moment de la rupture pour chaque essai.
- 2) Construisez un diagramme de Mohr représentatif du comportement rhéologique du grès pour chaque essai (les trois essais sur le même diagramme). Tracer l'enveloppe de fracturation. Que pouvez-vous déduire de la forme de l'enveloppe?
- 3) À l'aide du critère de Coulomb ( $t = C + m s_n$ ), calculez la cohésion et le coefficient de friction interne du grès.

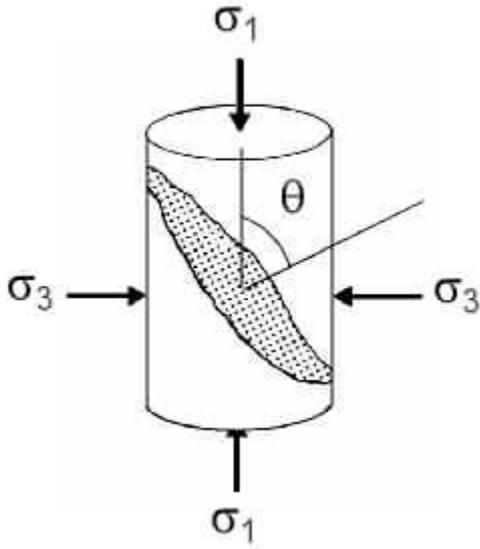


Figure 2: Orientation des plans de rupture des spécimens déformés du grès d'Oil Creek.  $\theta = 67^\circ$ .

4) Déterminez l'orientation théorique du plan de rupture sur chacun des cercles de Mohr. Est-elle la même pour chaque essai? Ces orientations sont-elles conformes à celle observée sur le spécimen déformé et schématisé sur la figure 2?

5) Que se passe-t-il lorsque la pression de confinement augmente? (Commentez l'influence sur la résistance à la rupture du grès, la contrainte différentielle au moment de la rupture, la rigidité (E) et la ductilité du grès).

### EXERCICE 2: Déformation ductile-fragile.

Une série d'essais a été effectuée sur le grès Berea du Mississippien de l'état d'Ohio, un grès de taille moyenne et pauvrement cimenté. Les essais portent sur la transition ductile-fragile. La procédure est la même que pour l'exercice 1, où la contrainte axiale ( $s_1$ ) a été augmentée progressivement au cours de chaque essai. Pour chaque essai, on a fait varier la pression interstitielle des fluides ( $P_f = 0, 50, 100, 150$  et  $200$  MPa) tout en gardant la pression de confinement constante à  $200$  MPa. Les résultats sont présentés à la figure 3. Les graphiques contrainte/déformation pour le grès de Berea diffèrent de ceux du grès de Oil Creek; les spécimens ne subissent pas de perte totale de cohésion une fois le seuil de plasticité atteint. Certains échantillons continueront de se déformer de façon ductile même s'il y a développement d'un plan de rupture. L'orientation des plans de rupture mesurés sur les échantillons est de  $26^\circ$  à  $0$  MPa,  $27^\circ$  à  $50$  MPa,  $34^\circ$  à  $100$  MPa,  $36^\circ$  à  $150$  MPa et  $38^\circ$  à  $200$  MPa (ces valeurs correspondent aux angles entre le plan de rupture et  $s_1$ ).

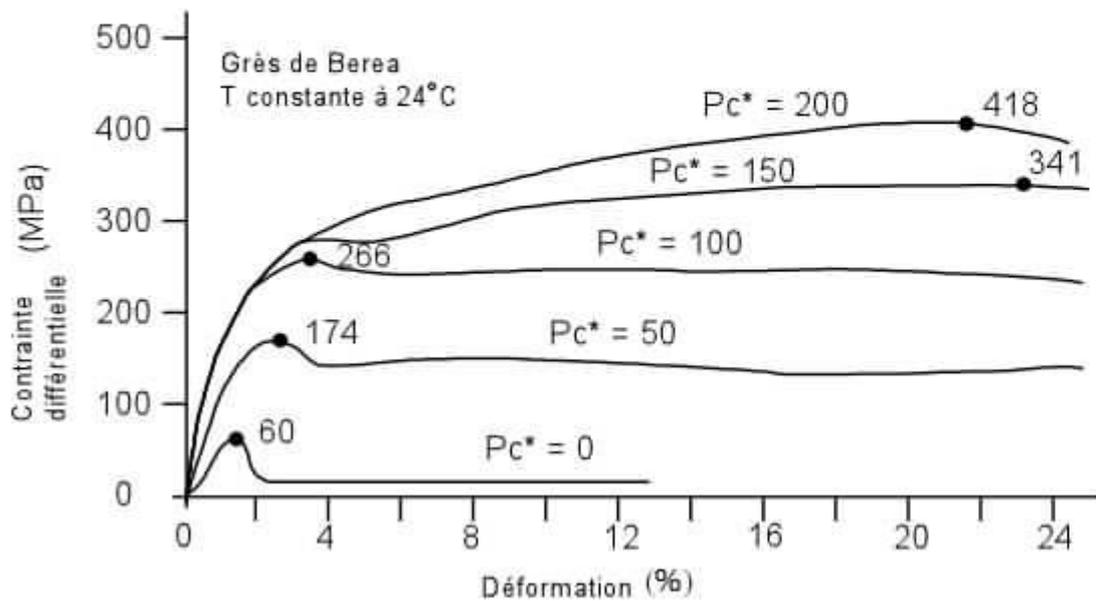


Figure 3: Graphique contrainte/déformation pour le grès de Berea.  $P_c^*$ , pression de confinement effective.

- 1) Examinez les courbes de la figure 3. Décrivez et expliquez les différentes formes des courbes en fonction de la pression de confinement effective. Le seuil d'élasticité et la résistance ultime sont-ils différents d'une courbe à l'autre?
- 2) Quelle est la relation entre la déformation (en %) au point de résistance ultime et la pression de confinement effective? (N'oubliez pas que la notion de ductilité correspond au % de déformation ductile maximal atteint avant la rupture d'un échantillon).
- 3) Construisez un diagramme de Mohr et tracez le cercle caractérisant chaque essai. Utilisez le point de résistance ultime pour définir la contrainte différentielle au point de rupture et la pression de confinement effective pour  $s_3$ . Tracez l'enveloppe de Mohr. Comment cette enveloppe diffère-t-elle de celle de l'exercice 1? Expliquez la différence.
- 4) À l'aide du diagramme de Mohr, décrivez comment l'orientation du plan de rupture varie en fonction de la pression de confinement effective. Les valeurs calculées sur le diagramme de Mohr correspondent-elles à celles observées sur les spécimens déformés?
- 5) Un spécimen de grès de Berea est soumis à une pression de confinement de 100 MPa et une contrainte axiale de 210 MPa. D'après l'enveloppe construite à la question 2, y aura-t-il rupture du spécimen si on fixe la pression interstitielle à 50 MPa? à 60

MPa? à 75 MPa? Quel est l'effet de ces augmentations de  $P_f$  sur la contrainte différentielle et la contrainte moyenne?

6) En vous basant sur les résultats expérimentaux présentés, croyez-vous qu'un grès de Berea humide (avec une  $P_f$ ) enfoui à une profondeur de 1km se comportera de façon fragile ou ductile? On assume une  $s_d$  dans la croûte supérieure de  $2/3rgh$ , où  $r = 2700 \text{ kg/m}^3$ .

### EXERCICE 3: Déformation ductile.

La température, la pression de confinement et la vitesse de déformation sont des paramètres physiques importants pour déterminer le comportement fragile ou ductile d'un corps rocheux. Quatre séries d'essais ont été effectuées pour caractériser l'effet de ces paramètres sur le comportement de différents types de roches. Les résultats de ces essais sont présentés à la figure 4. Les graphiques 4a et 4b présentent les résultats de l'effet de la pression de confinement sur le comportement d'un marbre (4a) et d'un calcaire (4b) lors d'essais en cellule triaxiale à température et vitesse de déformation constantes ( $T = 25^\circ\text{C}$  et  $e = 4 \times 10^{-4}/\text{sec}$  pour 4a et  $T = 25^\circ\text{C}$  et  $e = 2 \times 10^{-4}/\text{sec}$  pour 4b). Le graphique 4c présente les résultats de l'effet de la température sur le comportement d'un calcaire lors d'essais en cellule triaxiale à pression de confinement et vitesse de déformation constante ( $P_c = 300 \text{ MPa}$ ,  $e = 2 \times 10^{-4}/\text{sec}$ ). Et finalement le graphique 4d présente les résultats de l'effet de la vitesse de déformation sur le comportement d'un marbre, à température et pression de confinement constante ( $T = 500^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 300 \text{ MPa}$ ).

1) À l'aide des graphiques de la figure 4, décrivez comment le seuil de plasticité varie en fonction de la température, la pression de confinement et la vitesse de déformation pour chaque série d'essais. À l'aide de la figure 4 expliquez quelles conditions favorisent la déformation ductile. Que peut-on conclure sur la déformation ductile et l'environnement tectonique?

2) En sachant que le calcaire est généralement plus ductile que le granite, comment se comportera un granite soumis à des conditions expérimentales identiques à celles des essais 4a et 4b ? Dessinez schématiquement les courbes contrainte vs déformation pour ces essais.

3) À quelle profondeur s'attendrait-on à observer une déformation ductile plutôt que fragile pour le Calcaire de Solenhofen? Considérez une température de  $400^\circ\text{C}$  et de  $500^\circ\text{C}$ . La contrainte différentielle dans la croûte supérieure est  $2/3(rgh)$  où  $r = 2700 \text{ kg/m}^3$ ,  $g$  est l'accélération gravitationnelle et  $h$  la profondeur en m.

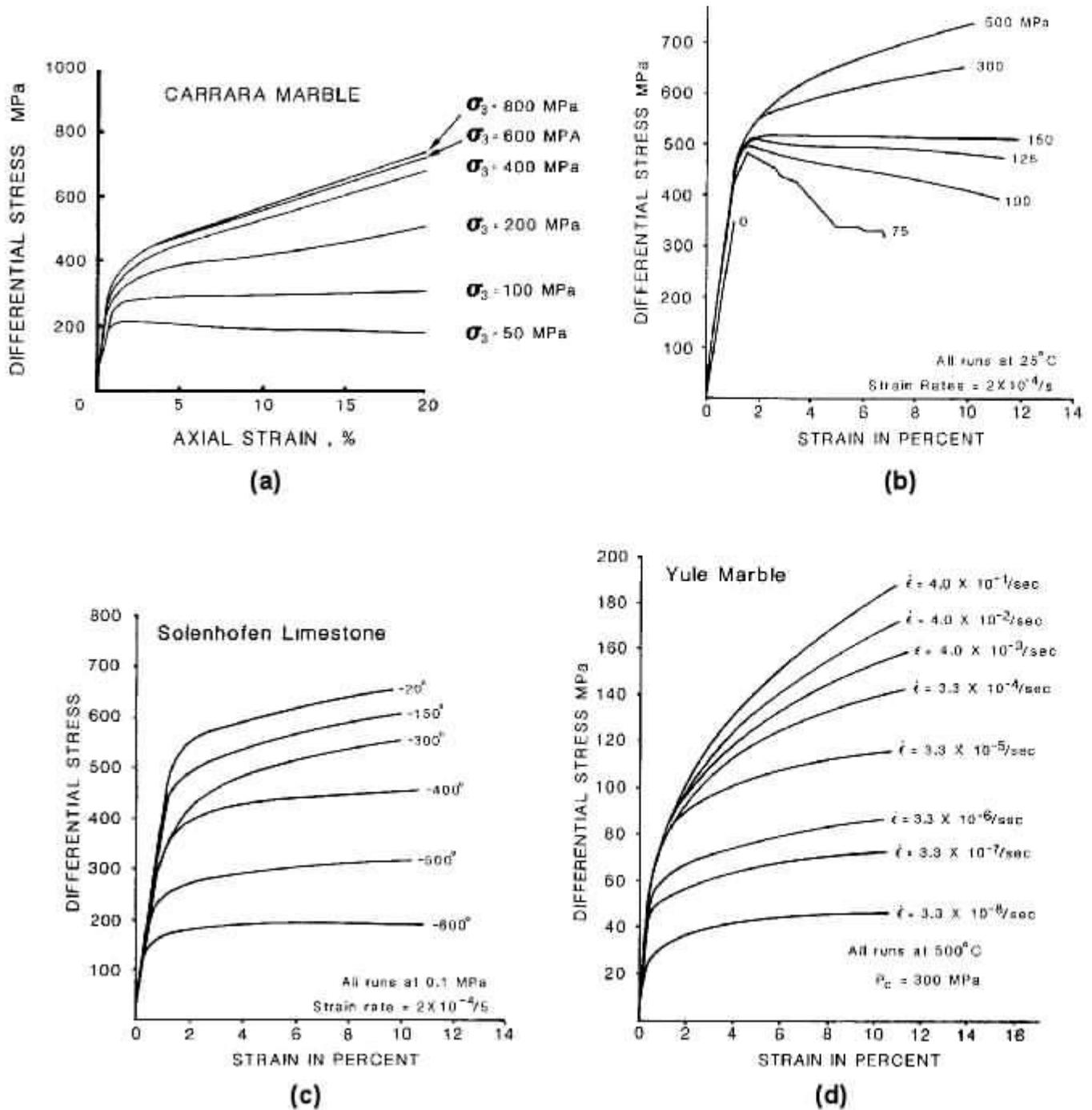


Figure 4: Graphiques contrainte/déformation pour quatre types d'essais faisant varier des paramètres différents. (a) Essai sur le Marbre de Carrara, pression de confinement variable ( $T = 25^\circ\text{C}$ , vitesse de déformation de  $4 \times 10^{-4}/\text{sec}$ ). (b) Essai sur le calcaire de Solenhofen, pression de confinement variable ( $T = 25^\circ\text{C}$ , vitesse de déformation est de  $2 \times 10^{-4}/\text{sec}$ ). (c) Essai sur le calcaire de Solenhofen,  $T$  variable ( $P_c = 300 \text{ MPa}$ , vitesse de déformation =  $2 \times 10^{-4}/\text{sec}$ ). (d) Essai en traction sur le Marbre de Yule, vitesse de déformation variable ( $T = 500^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 300 \text{ MPa}$ ).