Document téléchargeable sur le site https://www.svt-tanguy-jean.com/

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA TERRE °°
>> Cours <<

Chapitre 23 : plan complet

Les déformations de la lithosphère

Objectifs : extraits du programme
Introduction

I. Caractérisation géométrique, physique et expérimentale de la déformation des objets géologiques
A. Les aspects géométriques et dynamiques fondamentaux de la déformation
1. La déformation, une modification géométrique des objets
   a. La déformation : un changement de forme (← distorsion), orientation (← rotation) et/ou localisation (← translation) d'un objet
   b. Typologies de la déformation
      α. La rupture ou le fluage : déformation discontinue (= discrète = cassante = fragile) *vs*. continue (ductile = souple)
      β. Parallélisme des droites ou courbure : déformation homogène (cisaillement homogène au sens large) *vs*. hétérogène
      γ. Focus sur le cisaillement homogène : cisaillement pur (aplatissement-étirement sans rotation : déformation coaxiale) et cisaillement simple [cisaillement au sens le plus strict] (rotation : déformation non coaxiale)
   c. Une déformation modélisable dans un repère orthonormé par un ellipsoïde (3D) ou une ellipse (2D) des déformations
      α. Des ellipsoïdes de déformation comprenant un axe de plus grand allongement (*X*), un axe de plus grand raccourcissement (souvent *Z*) et, en 3D, un axe intermédiaire (souvent *Y*)
      β. Application à la déformation ductile homogène : cisaillements purs et simples
   d. De la déformation incrémentale à la déformation finie
      α. Notions de déformation incrémentale et déformation finie (= totale)
      β. Un chemin de déformation souvent difficile à reconstituer en cas de déformation complexe (déformation hétérogène)
   e. La quantification de la déformation homogène
      α. La quantification de la déformation linéaire (typiquement applicable dans le cas d'un cisaillement pur… mais aussi simple) : extension (*e* ou *ε*), étirement (*S*) et élongation quadratique (*λ*)
      β. La quantification de la déformation cisaillante au sens strict (= par cisaillement simple) : angle de déformation ψ et déformation cisaillante γ
      γ. La quantification de la déformation avec une composante linéaire et une composante cisaillante : toutes les quantifications précédentes
   f. L'étude des situations hors de la déformation continue homogène
      α. L'étude de la déformation continue hétérogène
      β. L'étude de la déformation discontinue
   g. Déformation distribuée (= diffuse) ou localisée
   h. Notion de tectonite : une roche « tectonisée » (= notoirement déformée)
2. La déformation, une réponse dynamique à des contraintes
   a. Notion de contrainte σ : la résultante des forces appliquées en un point
   b. La décomposition d'une contrainte dans un plan : contrainte normale σ_N (composante compressive) et contrainte tangentielle (composante cisaillante s. str.) $\sigma_T = \tau$
   c. Les ellipsoïdes (3D) de contraintes (ou ellipses en 2D), un outil de compréhension de la compression-étirement (cisaillement pur)
      α. Trois composantes en 3D formant un ellipsoïde des contraintes : σ_1 (contrainte maximale), σ_2 (contrainte intermédiaire) et σ_3 (contrainte minimale)
      β. Contraintes isotropes (→ compaction) *vs*. anisotropes (→ compaction + déformation)
      γ. De l'ellipsoïde des déformations à l'ellipsoïde des contraintes
      δ. La nécessité de vérifier la coaxialité d'une déformation avant d'inférer un ellipsoïde de contrainte, adapté aux seules situations de cisaillement pur
      ε. Contrainte moyenne, contrainte déviatorique (= déviateur), contrainte différentielle
   d. Bilan sur le lien déformation-contrainte dans le cadre des cisaillements pur et simple

B. L'apport des données expérimentales à la compréhension de la déformation
1. Modalités de l'étude expérimentale de la déformation rocheuse
   a. L'étude de la réponse à la compression : des cylindres de roches placés dans des presses triaxiales
   b. L'étude la réponse à la traction : des cylindres ou des parallélépipèdes de roches soumis à un test de traction
2. Une réponse typique en trois temps : fluage élastique, fluage plastique, rupture
   a. L'absence de réponse déformationnelle aux faibles contraintes
   b. Une déformation réversible : le domaine ductile élastique
   c. Une déformation irréversible (= définitive) : le domaine ductile plastique ; notions de déformation résiduelle et de fluage à contrainte constante
   d. Une déformation cassante : la rupture
3. L'influence de divers paramètres physico-chimiques sur la déformation
   a. Le facteur lithologique et minéralogique (la composition de la roche) et la notion de compétence des roches
   b. Le facteur pression lithostatique (et donc profondeur)
   c. Le facteur température (qui augmente également avec la profondeur et dépend du contexte géodynamique)
   d. Le facteur fluides (pressions des fluides) : une action variable qui dépend de la pression lithostatique
   e. Le facteur temps : la vitesse de charge
      α. Un paramètre expérimental loin des valeurs réelles
      β. Une lenteur qui favorise la ductilité
   f. Remarque : une résistance généralement moindre à la traction qu'à la compression
   g. Bilan
4. La déformation rocheuse réelle sur le temps long : fluages primaire, secondaire et tertiaire

C. Des lois physiques des matériaux rocheux à la compréhension de la stratification rhéologique de la lithosphère
1. Le recours à deux lois physiques empiriques

a. Une loi exprimant la contrainte de rupture de tout matériau en fonction de la profondeur : la loi de friction (= de frottement) de BYERLEE
b. Une loi, propre à chaque matériau, exprimant la limite d'élasticité d'un matériau en fonction de la profondeur : la loi de fluage

2. La combinaison de ces deux lois physiques, une opération à l'origine des profils rhéologiques de la lithosphère
   a. Les enveloppes rhéologiques de la lithosphère continentale (en compression) : deux modèles principaux
      α. Une enveloppe rhéologique à quatre niveaux modélisés par deux minéraux dominants (quartz, olivine)
      β. Une enveloppe rhéologique à (cinq-)six niveaux modélisés par trois minéraux dominants (quartz, feldspath, olivine) [*pour information ?*]
   b. Les enveloppes rhéologiques de la lithosphère océanique (en compression)
3. Limites et variations (spatiales et temporelle) des enveloppes rhéologiques : une réalité plus complexe et diverse que le modèle
   a. L'importance des matériaux retenus (impact sur les lois de fluage)
   b. L'importance de l'hydratation et des fluides (impact sur les lois de fluage)
   c. L'importance du gradient géothermique (impact sur les lois de fluage)
   d. L'importance du régime de contraintes compressif *vs*. extensif (impact surtout sur la loi de BYERLEE)
4. Des découplages sismiques et mécaniques au sein de la lithosphère
   a. Un découplage sismique profond entre croûtes supérieure et inférieure : des foyers dans les zones cassantes (= zone sismogénique)
   b. Un découplage mécanique profond entre niveaux de la croûte ou entre croûte et manteau
   c. Éléments de tectonique superficielle : les niveaux de décollement ou couches-savon (transition socle-sédiments, couches sédimentaires particulières)

D. Les causes et les mécanismes de la déformation

1. L'origine des contraintes générant la déformation
   a. L'origine principale et majeure : la géodynamique et le déplacement horizontal des plaques lithosphériques
   b. La déformation gravitaire (extension tardi-orogénique, rebond post-glaciaire, tectonique salifère…)
2. Les mécanismes de la déformation : focus sur la dynamique du réseau cristallin
   a. La présence de zones de fragilité dans le réseau cristallin
   b. Les mécanismes associés à la déformation cassante : fracturation, cataclase, mylonitisation ; existence d'une possibilité de recristallisations
   c. Les mécanismes permettant le fluage : fluage par diffusion, fluage par pression-dissolution (→ ombres de pression), fluage-dislocation

II. Les objets géologiques déformés : les manifestations et les marqueurs de la déformation aux différentes échelles

A. La déformation cassante (= fragile = discontinue = discrète)

1. La faille, déformation élémentaire du domaine fragile
   a. La faille et son organisation : une fracture avec glissement le long d'un plan de faille
   b. La caractérisation géométrique d'une faille : rejet, pendage, azimut, pitch
   c. La typologie des failles en lien avec le régime de contraintes (et donc souvent le contexte géodynamique)
      α. Des failles normales (affaissement du toit) plutôt en régime extensif
      β. Des failles inverses (soulèvement du toit) plutôt en régime compressif
      γ. Des failles décrochantes plutôt en régime transtensif (coulissage)
   d. Remarque : la notion de failles conjuguées
2. Les microstructures cassantes
   a. Les tectoglyphes associés aux miroirs de failles
   b. Dans les roches carbonatées : des joints stylolithiques (← compression), des fentes de tension (← extension) et les écailles (← coulissage)
   c. Les crochons de faille [*pas forcément toujours une microstructure*]
3. La tectonique cassante à l'échelle régionale
   a. En contexte extensif
      α. Une prépondérance des failles normales listriques (= incurvées), formant des blocs basculés lors du *rifting* et perdurant dans les marges passives
      β. Une variété de failles (dont normales) dans les montagnes en effondrement gravitaire
   b. En contexte compressif : un faillage varié (notamment inverse), des écailles, des chevauchements, du charriage et des écailles tectoniques
   c. En contexte transtensif (= de coulissage) : failles transformantes près des dorsales ; failles décrochantes continentales (avec possibilité de bassin en *pull-apart*)
4. Bilan

B. La déformation ductile (= souple = continue)

1. Le pli, déformation élémentaire du domaine ductile
   a. Le pli et son organisation : une déformation ondulée des couches
   b. Synclinal et anticlinal
   c. Pli isopaque *vs*. anisopaque
   d. Orientation des plis
   e. La notion de pli-faille : un pli associé à une faille
   f. La notion de rampe : une faille inverse qui facilite le glissement et le plissement en lien avec des couches-savons
   g. Des ellipsoïdes sur les plis ?
2. Les microstructures ductiles
   a. Les schistosités et foliations : une répartition planaire des minéraux
   b. Les linéations : une répartition linéaire des minéraux
   c. Les structures C/S : une interaction schistosité-cisaillement
   d. Les ombres de pression (= queues de cristallisation), zones de moindre contrainte où cristallisent des minéraux
   e. Une figure plissée particulière : les plis en fourreau
3. La déformation ductile à l'échelle lithosphérique ou régionale
   a. La flexure lithosphérique (échelle lithosphérique)
   b. Les domaines plissés (échelle régionale)
4. Bilan

III. Les séismes : manifestation, origine (sismogenèse) et conséquences

Références
Plan du chapitre
Plan simplifié du chapitre (3 niveaux de plan)
Plan du chapitre (2 niveaux de plan)

CC BY NC
T. JEAN (2026)