

Thème 1 : le paléozoïque de Provence

1.1 Etude du métamorphisme du massif des Maures-Tanneron

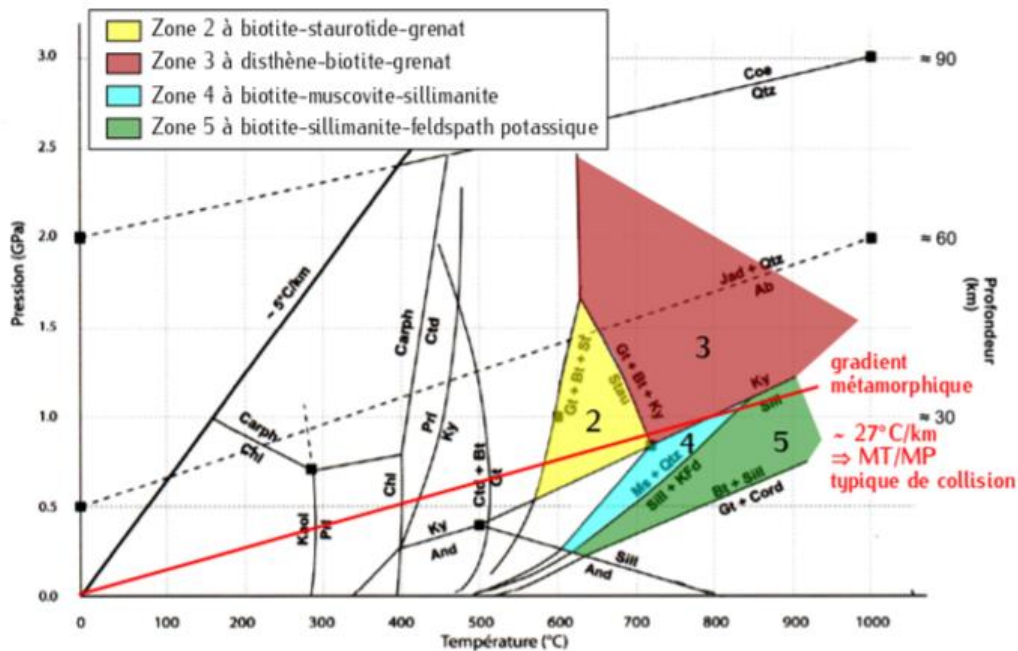
Question 1. Coloriez le plus précisément possible sur le document 1b (en annexe), les domaines de conditions P-T dans lesquels se trouvent les zones 2 à 5 du document 1a.

La zone 2 se caractérise par la présence de biotite et de staurotide et de grenat, l'absence de disthène permet de proposer un champ relativement circonscrit sur la grille pétrogénétique compris entre 0 et 1,6 GPa pour des températures entre 500 et 700 °C.

La zone 3 est marquée par l'apparition du disthène, la déstabilisation de staurotide au profit du grenat, de la biotite et du disthène. Le champ est donc compris entre 0,8 et 2,5 GPa pour des températures de plus de 650 °C.

La zone 4 Apparition de la sillimanite et de la muscovite, le champ est étroit sous la réaction disthène donne sillimanite compris entre 0 et 1,1 GPa pour des températures entre 500 et 830 °C.

La zone 5 est caractérisée par la déstabilisation de la muscovite et l'apparition du feldspath potassique. Le champ est compris entre 0 et 1,2 GPa pour des températures allant de 600 à plus de 900°C.



Question 2. Calculez le gradient métamorphique (en °C/km) visible dans le massif des Maures. De quel type de gradient s'agit-il ? Qu'en concluez-vous sur le contexte géodynamique dans lequel ces roches ont été métamorphisées ?

Le gradient métamorphique en °C/km est une droite dans le diagramme profondeur-température passant par le point (0,0) et par tous les domaines P-T des roches de la région. Le gradient est d'environ 27 °C/km, valeur typique d'une zone de collision. Gradient de type barrovien celui que l'on rencontre fréquemment dans la chaîne hercynienne.

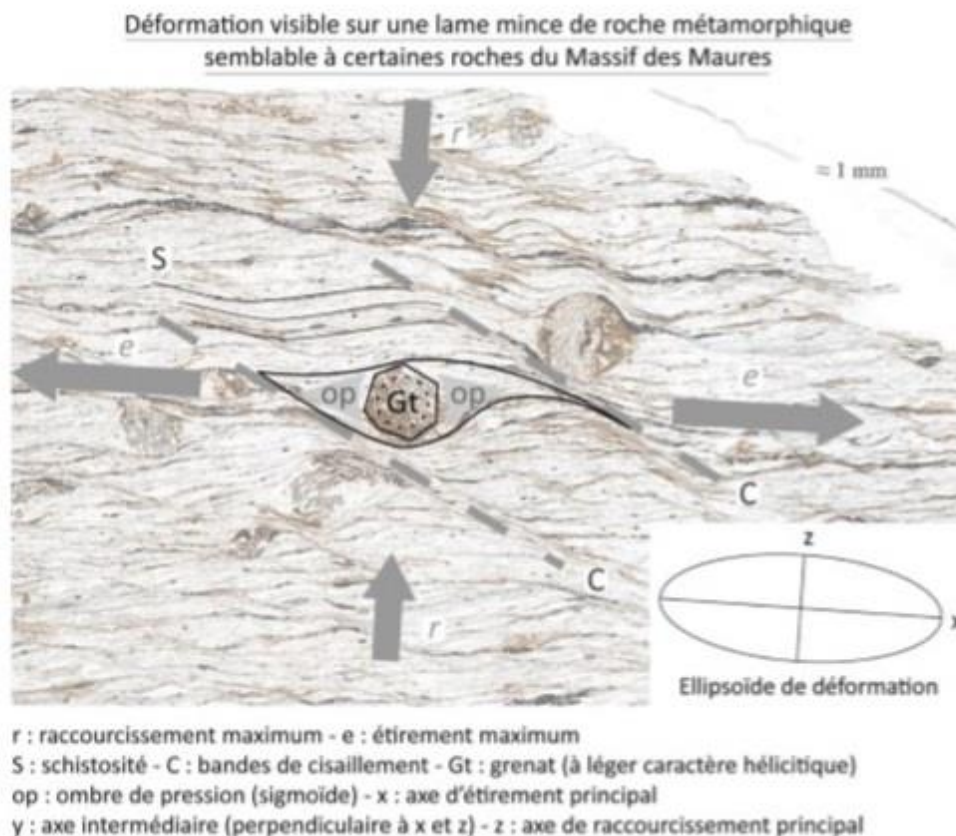
Question 3. Que vous apporte le figuré en étoile visible sur le document 1a sur l'histoire antérieure de cette zone ?

Les étoiles représentées indiquent la présence de reliques éclogitiques. Ces reliques impliquent donc une antériorité de la présence d'éclogites, qui signalent un passage par des conditions HP BT sans doute associé à une subduction qui aurait précédé la collision. Ces reliques sont le témoignage d'un trajet rétrograde (exhumation d'une unité subduite suffisamment rapidement pour que les reliques persistent).

1.2 Etude de la déformation visible dans certaines roches du massif des Maures :

Question 4 : Le document 2 présente une lame mince réalisée dans le plan défini par les axes X et Z de la déformation. Décrivez à l'aide d'un dessin légendé la déformation visible et représentez l'ellipsoïde de la déformation sur votre dessin. De quel type de déformation ce document est-il caractéristique et dans quelles conditions s'est-elle effectuée ?

Cette lame mince permet d'identifier une schistosité présentant des sigmoïdes au niveau de bandes de cisaillement, on a donc des structures S/C (cf. schéma ci-dessous). Le cisaillement présente un jeu apparent normal. On note également la présence de grenats faiblement hélicitiques. Dans ce cas, la déformation correspond à un cisaillement simple. Les axes de la déformation sont, pour Z, perpendiculaires à la schistosité, et pour X dans le plan de la photographie perpendiculaire à Z. Enfin, Y est perpendiculaire au plan de la photographie. Ces figures de déformation indiquent que celle-ci est pénétrative, et donc qu'elle s'est effectuée à chaud.

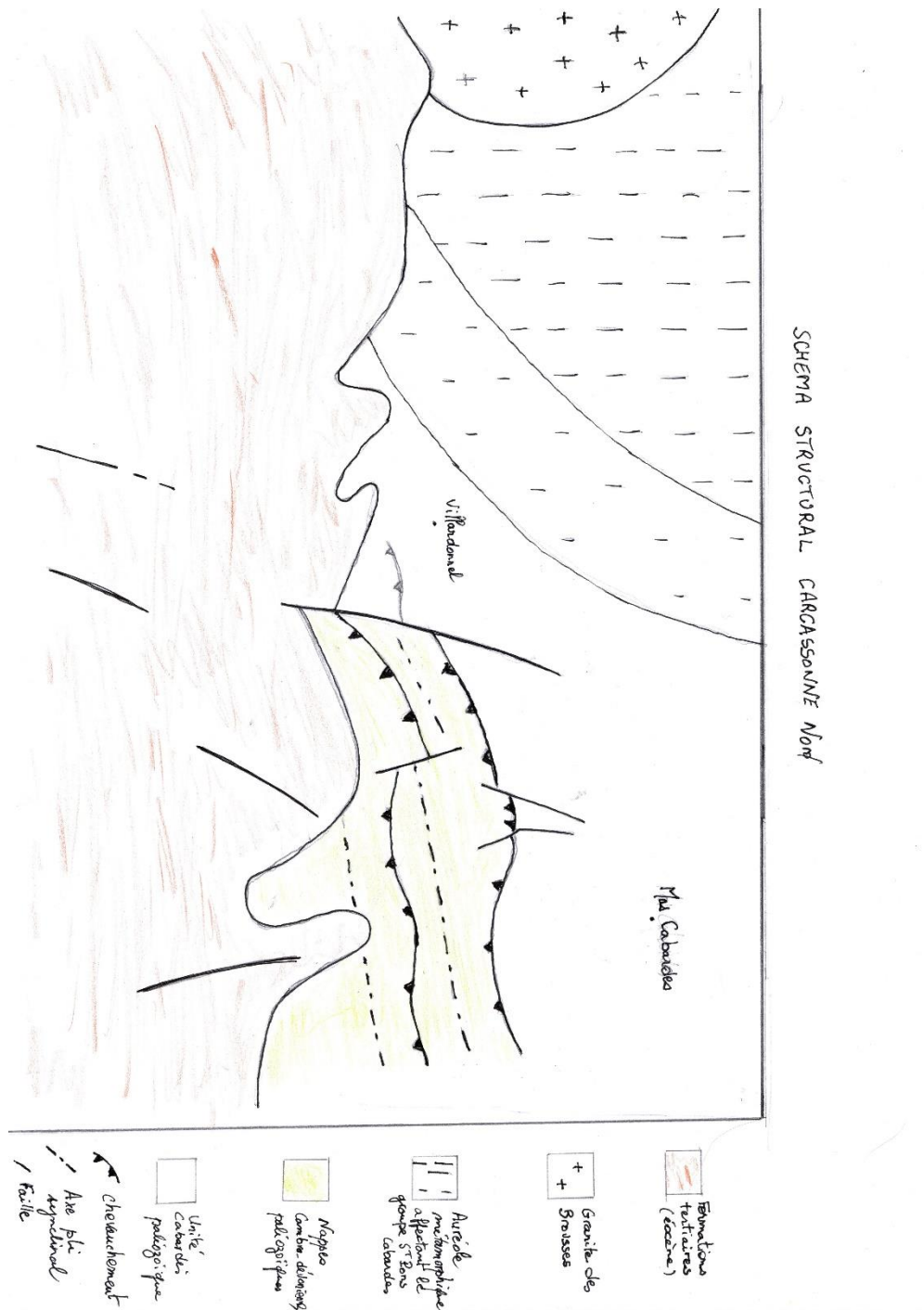


Question 5 : Est-il possible ici de déterminer des axes principaux de la contrainte ? Pourquoi ?

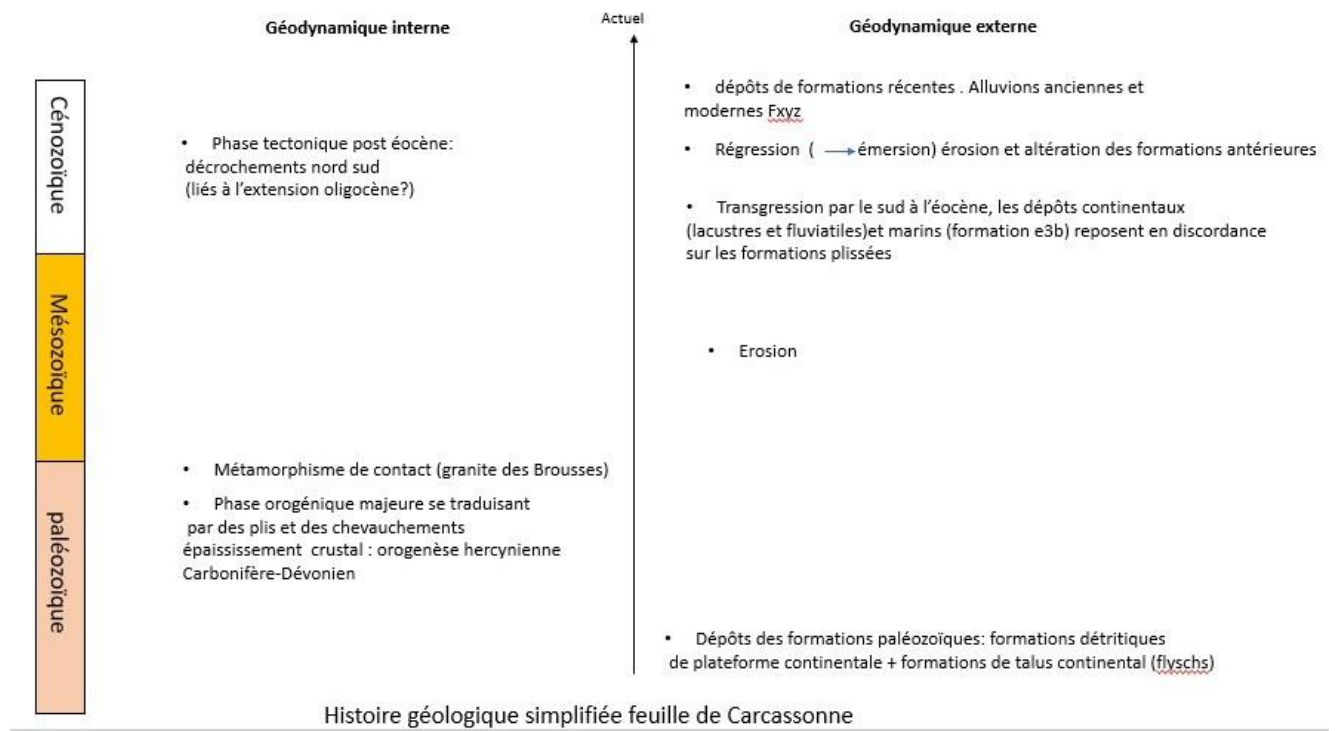
La déformation ici continue présente un comportement rotationnel, sans coaxialité, il est donc impossible de remonter à l'ellipsoïde des contraintes.

Thème 2 Schéma structural d'une région et son histoire

Question 6 : Réaliser un schéma structural de l'extrait de carte fourni



Question 7. Retracer les grandes étapes de l'histoire géologique de cette région à l'aide d'une frise chronologique



Thème 3 : Calcul de la position de l'épicentre du séisme Mw8.6 du Nord de Sumatra

Question 8. Quelles sont les ondes qui, suite à un séisme, se propagent à l'intérieur de la Terre ? On précisera la formule qui donne leur vitesse de propagation, en explicitant les paramètres et leurs unités, et le sens de polarisation et de mouvement de ces ondes. Laquelle de ces ondes ne se propage pas dans les liquides et pourquoi ?

Les ondes qui se propagent à l'intérieur de la Terre sont les ondes de volume P et S

- Les **ondes P (premières) sont des ondes de compression – dilatation** qui déplacent les particules parallèlement à leur direction de propagation, et qui se transmettent dans les milieux solide et liquide ; leur vitesse V_p est donnée par la relation :

$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4/3\mu}{\rho}}$$

V_p en $m \cdot s^{-1}$; K (module d'incompressibilité des roches traversées) et μ (module de cisaillement) en Pa ; ρ (masse volumique des roches) en $kg \cdot m^{-3}$

- Les **ondes S sont des ondes de cisaillement** qui déplacent les particules perpendiculairement à leur direction de propagation, et qui ne se transmettent que dans des matériaux solides ; leur vitesse V_s est

donnée par la relation: $V_s = \sqrt{\mu / \rho}$)

Or le module de cisaillement μ est nul dans les liquides, ce qui explique que les ondes S ne s'y propagent pas.

Question 9. En admettant que le module d'incompressibilité (K) vaut $5\mu/3$, trouvez une relation simple entre V_s et V_p

En reportant la valeur de K ci-dessus dans la relation qui donne V_p , il vient :

$$V_p = \sqrt{3\mu / \rho} \text{ d'où } V_p = V_s \cdot \sqrt{3}$$

Question 10. En vous aidant de la question précédente, montrez que la distance de la station sismique à l'épicentre du séisme (D) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$D = A (t_s - t_p)$$

avec A ne dépendant que de V_s , t_p et t_s correspondant respectivement aux temps d'arrivée des ondes P et des ondes S à la station sismique.

D'après la définition d'une vitesse :

$$t_p = D/V_p \text{ et } t_s = D/V_s \text{ donc } t_s - t_p = D \cdot (1/V_s - 1/V_p)$$

D'où en remplaçant V_p par son expression trouvée à la question 2.2 :

$$t_s - t_p = D \cdot (1 - \sqrt{1/3}) / V_s.$$

$$\text{D'où } D = (t_s - t_p)(V_s / (1 - \sqrt{1/3}))$$

Question 11. En vous aidant des données du tableau 1 et du document 3 (en annexe), et en considérant que A vaut $8,1 \text{ km s}^{-1}$, discutez, en vous aidant d'une construction réalisée sur le document 3 placée en annexe, de la position de l'épicentre du séisme Mw8.6 du 11 avril 2012. Expliquez brièvement le mode de localisation de l'épicentre et la nécessité de disposer de 3 stations au minimum.

Avec les valeurs numériques de l'énoncé, la relation démontrée à la question 2.3 devient :

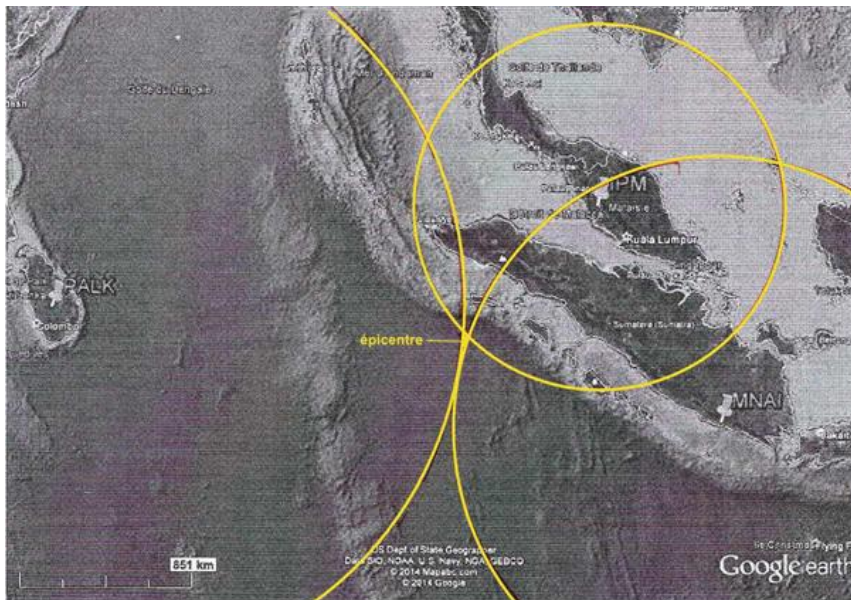
$$D = 8,1 \cdot (t_s - t_p) \text{ (temps en secondes, D en km)}$$

Le tableau ci-dessous donne les distances des 3 stations à l'épicentre.

Station	$t_s - t_p$ (s)	D (km)	Rayon du cercle sur la carte (cm)
IPM	112	907	3,4
MNAI	164	1328	4,9
PALK	250	2025	7,5

L'épicentre se trouve à l'intersection des 3 cercles, centrés sur chacune des stations et de rayon égal à la distance D calculée pour cette station (voir construction sur figure 3). Si l'on ne disposait que des informations issues de deux stations, il y aurait deux points d'intersection.

L'épicentre ainsi déterminé se trouve sur la plaque indo-australienne à l'Ouest de la zone de subduction. **C'est donc un séisme intra-plaque.**



Question 12. Que représentent les cercles avec des quartiers colorés en blanc et en noir dans le document 5 (page 5) ? Comment ont-ils été obtenus ?

Il s'agit de projections stéréographiques de **sphères focales**, qui permettent de représenter de manière conventionnelle le **mécanisme au foyer**, c'est-à-dire les déformations associées à la rupture de la faille active lors d'un séisme. Une sphère focale est une sphère virtuelle centrée sur le foyer qui représente le volume rocheux ; elle est divisée en 4 secteurs par deux plans nodaux : les secteurs noircis correspondent aux stations situées dans un volume en compression ; les secteurs blancs aux stations situées dans un volume en dilatation. L'un des deux plans nodaux est le plan de faille ; l'autre n'a pas de réalité géologique.

Pour obtenir ce mécanisme au foyer, on repère le mouvement initial reçu sur une multitude de stations placées tout autour du foyer. On repère donc les secteurs qui ont eu un mouvement initial en compression (mouvement ascendant) colorés conventionnellement en noir et les secteurs où le mouvement initial est en dilatation (mouvement descendant) colorés en blanc.

La projection stéréographique sur un plan horizontal est celle de la demi-sphère focale inférieure.

Question 13. A l'aide de ces cercles, déterminez le contexte tectonique dans lequel se sont déroulés ces séismes.

Les deux séismes du 11 avril 2011 sont dus au jeu de **failles décrochantes**. Les informations de la carte ne permettent pas de savoir lequel des deux plans nodaux (de direction Est-Ouest ou Nord-Sud) est le plan de la faille, et par conséquent de savoir si le décrochement est dextre ou senestre.

Cependant, puisque les deux séismes sont proches dans le temps et l'espace, il pourrait s'agir de la même faille (répliques). Dans ce cas, celle-ci aurait une direction approximativement Nord-Sud, et le décrochement serait senestre (vecteur glissement orienté d'un secteur en dilatation vers un secteur en compression).

