

Avant l'épreuve écrite, revoir les fiches mémo :

- Roches, minéraux, fossiles à connaître
- Principales méthodes de géophysique

EXERCICE 1 - QUELQUES EXEMPLES DE ROCHES PRESENTES DANS LES CHAINES DE MONTAGNES FRANÇAISES

Question 1a : A quelle(s) catégorie(s) de roches appartiennent ces échantillons ? **Justifiez** brièvement.

Il est plus pertinent de commencer par les arguments issus de l'observation que par vos conclusions.

Attention : ce n'est pas parce qu'il s'agit de roches échantillonnées dans des chaînes de montagnes que toutes sont des roches métamorphiques !

Echantillon A

Cette roche est formée de cristaux observables à l'œil nu, sans orientation préférentielle : elle présente une texture grenue. Il s'agit donc d'une roche magmatique plutonique.

Echantillon B

Cette roche est formée de cristaux dont la répartition n'est pas homogène. On observe une séparation dans l'espace de lits de minéraux clairs et de lits de minéraux sombres : c'est une foliation. Il s'agit donc d'une roche métamorphique

Echantillon C

Cette roche blanche fait effervescence à l'acide : c'est une roche carbonatée. Elle contient des fossiles : il s'agit d'une roche sédimentaire biogène (calcaire).

Echantillon D

Cette roche contient des cristaux de pyroxène, de grenat et de hornblende qui sont des minéraux index du métamorphisme. De plus on observe une couronne réactionnelle de hornblende et de plagioclase autour du grenat. C'est donc une roche métamorphique basique (présence de pyroxène et de hornblende).

Question 1b : A partir de l'analyse structurale et minéralogique de chaque échantillon, **déterminez** le plus précisément possible les conditions de leur genèse. Votre analyse s'accompagnera de l'identification des minéraux fléchés pour les échantillons A et B. Pour certains échantillons le document 1e doit vous permettre de préciser votre analyse.

Pensez à exploiter explicitement le document 1e comme le mentionne la question.

Echantillon A

Détermination des minéraux : 1 feldspath, 2 muscovite (= mica blanc), 3 biotite (= mica noir), 4 quartz

Compte tenu de sa texture, cette roche est un granite (leucogranite).

Cette roche se forme par cristallisation lente, en profondeur, d'un magma acide. La présence de micas blanc est l'indice d'une phase alumineuse abondante : le solide initial est de la croûte continentale, qui a subi une anatexie.

Echantillon B

Détermination des cristaux : : 1 feldspath, 2 quartz, 3 biotite

De plus on distingue un leucosome (gros amas de minéraux clairs issu de la cristallisation d'un magma resté en place) et d'un mélanosome (partie sombre enrichie en minéraux sombres comme la biotite)

Cette roche est donc une migmatite.

Le document 1e montre que le franchissement du solidus du granite (de même composition minéralogique) a lieu vers 650 °C. La fusion partielle qui concerne les minéraux clairs qui recristallisent ensuite en place.

Echantillon C

On observe la présence de fossiles, des rudistes. La roche est donc un calcaire à rudistes. Ce sont des fossiles du Crétacé (Urgonien), des fossiles de faciès : organismes récifaux, donc d'eaux chaudes, peu profondes, claires. Cette roche provient d'une sédimentation sur une plateforme continentale.

Echantillon D

Il existe deux paragenèses dans cette roche :

- une première paragenèse A formée de gros cristaux de grenat et clinopyroxène. Comme le montre le [document 1e](#), cette paragenèse témoigne du pic de métamorphisme d'une roche dans des conditions HP BT : faciès des éclogites,
- une deuxième paragenèse B en couronne (coronitique) formée de petits minéraux de hornblende et plagioclase, qui témoigne de conditions de pression moins élevées.

Hornblende et plagioclase se forment par réaction entre le grenat (inclus, donc antérieur) et le clinopyroxène : la paragenèse A est antérieure à la paragenèse B, la roche a enregistré un trajet rétrograde, que l'on peut tracer sur le [document 1e](#).

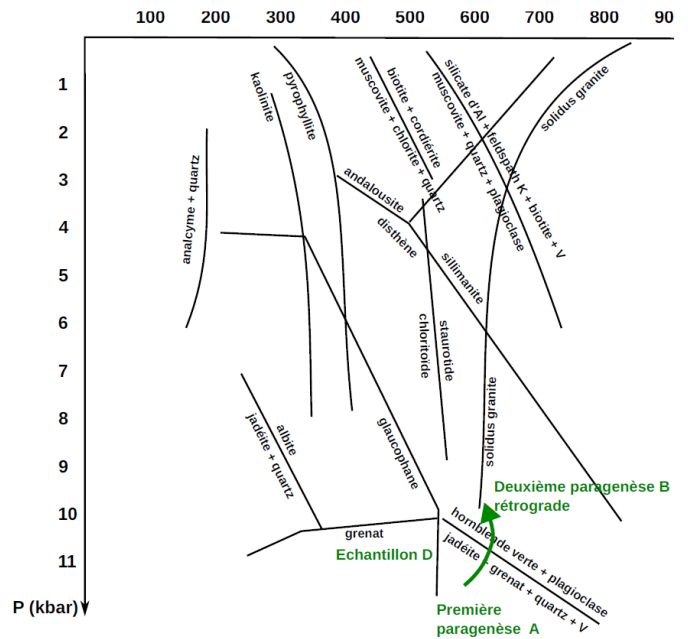
Question 1c : Les roches C et D proviennent des Alpes, précisez en le justifiant dans quelle(s) grande(s) zone(s) structurale (s) elles ont été échantillonnées.

Echantillon C

Les calcaires à rudistes s'observent dans la zone dauphinoise, au niveau des massifs sédimentaires sub-alpins (Bornes, Bauges, Chartreuse, Vercors). Résistante à l'érosion, elle forme des falaises très visibles dans le paysage.

Echantillon D

Cette roche est une metabasite, elle appartient donc à une écaille ophiolitique. Elle est issue de la zone liguro-piémontaise des Alpes. Etant donné le faciès éclogite, elle pourrait provenir du Mont Viso.



EXERCICE 2 - LE GRANITE DE SAINT ARNAC

Question 2a : Sur le [document 2a](#), identifiez le lien entre la roche présentée dans le document 2b et le granite de Saint Arnac.

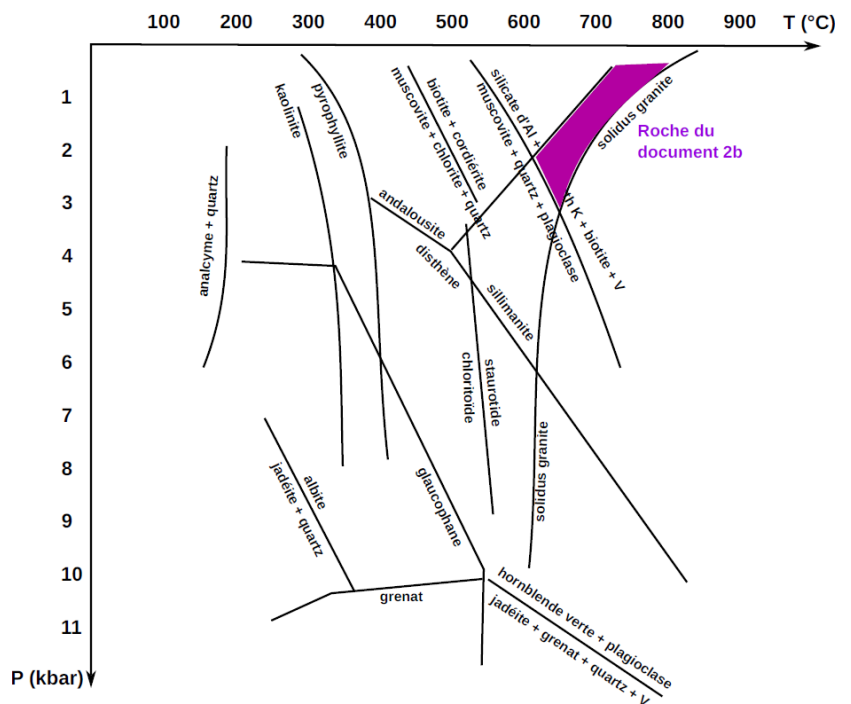
La roche du [document 2b](#) est en contact avec le granite de Saint Arnac. Elle se trouve en périphérie. Deux hypothèses sont possibles : C'est une métapélite qui par son métamorphisme peut conduire à une anatexie et à la création d'un granite ou bien c'est le granite par sa mise en place qui a créé le métamorphisme par thermométamorphisme.

Question 2b : Grâce aux informations du [document 2b](#), placez cette roche dans le diagramme Pression-Température ([document 1e](#)) en annexe (à compléter et à rendre avec la copie) ; argumentez votre réponse.

La paragenèse comprend sillimanite, biotite, quartz et feldspath potassique. On n'observe pas d'indice de fusion partielle. On peut donc placer cette roche dans la zone PT à gauche du solidus du granite (= courbe d'anatexie), dans le domaine de la sillimanite et dans la zone de présence des minéraux feldspath potassique et biotite.

Question 2c : En vous aidant de ce diagramme et de vos analyses précédentes, formulez une hypothèse sur la formation du granite de Saint Arnac.

La réaction : muscovite + quartz + plagioclase = sillimanite + feldspath potassique + biotite + eau s'est produite. Or le solidus hydraté du granite se situe à des températures moindres que le solidus sec à même profondeur. En présence d'eau libérée par la réaction, la fusion partielle est possible. L'hydratation peut expliquer l'anatexie crustale.



EXERCICE 3 - DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES SUR LES ALPES

Question 3.1.a : Expliquez de manière concise le principe de la tomographie sismique.

La tomographie sismique est une méthode géophysique utilisant les enregistrements des ondes sismiques produites par les séismes pour cartographier la structure interne de la Terre. On compare les vitesses des ondes P calculées avec celles théoriques prévues par le modèle PREM. Une différence entre elles est une anomalie de vitesse. Si l'anomalie est positive, le milieu traversé est plus rigide et plus dense, c'est à dire plus froid que le modèle. Si l'anomalie est négative, le milieu traversé est moins rigide et moins dense, c'est à dire plus chaud que le modèle.

Question 3.1b : Proposez une hypothèse sur la nature du matériau ayant des vitesses V_p inférieure à 6,5 km/s et sur le matériau ayant des vitesses V_p supérieures à 7,0 km/s.

Attention : ici le code couleur renseigne sur des vitesses d'ondes P et n'est pas interprété en terme d'anomalies. Il n'est pas anormal d'observer des vitesses de l'ordre de 4 km/s dans la croûte superficielle, par exemple. Vous ne pouvez pas interpréter des vitesses moindres en surface par une température plus élevée dans la mesure où la nature du matériau diffère entre la croûte et le manteau, d'une part, entre la croûte superficielle (couverture sédimentaire possible), supérieure, et profonde (roches métamorphiques) d'autre part.

Il importe aussi de bien localiser vos observations à la fois en profondeur et en distance le long du tracé.

Appuyez-vous sur vos connaissances pour exercer un regard critique sur vos propositions d'interprétation.

Le matériau dans lequel les vitesses sont inférieures à 6,5 km/s se situe entre 0 et 20 km de profondeur au niveau de la zone Ouest (représentant une lithosphère type). Il correspond sans doute à la croûte supérieure (ici continentale).

Le matériau dans lequel les vitesses sont supérieures à 7,0 km/s se situe entre 25 et 35 km de profondeur. Il correspond à la croûte inférieure.

Une réponse croûte / manteau lithosphérique est acceptée mais attention à la profondeur de la limite entre les deux.

Question 3.1.c : Dégagez l'information essentielle de l'analyse du document 3.1.

On observe que la zone de faible vitesse inférieure à 6,5 km/s s'étend plus en profondeur quand on va d'Ouest en Est pour atteindre un maximum de 40 km au point 400 km du profil. Cela peut être interprété comme un épaississement de la croûte.

Au même endroit, la limite correspondant à la vitesse 8 km/s plonge en profondeur suggérant du matériel plus rigide.

Des vitesses élevées sont observées à proximité de la surface au point 500 km : 7 km/s à 10 km de profondeur.

Cela peut être interprété comme la plongement de croûte/lithosphère sous une croûte amincie avec remontée du manteau lithosphérique (zone d'Ivrée).

Ces observations sont cohérentes avec un contexte de subduction – collision.

Question 3.2a : Expliquez brièvement ce qu'est l'anomalie de Bouguer. Indiquez quelle est la signification d'anomalies négatives et d'anomalies positives.

L'anomalie de Bouguer est l'écart entre le champ de pesanteur terrestre mesuré et corrigé avec les corrections d'altitude (qui tient compte de l'endroit où la mesure est réalisée), de plateau et topographique (qui prennent en compte l'effet des masses sous et à côté du point de mesure), et le champ de pesanteur théorique calculé sur l'ellipsoïde de référence (ellipsoïde de Clairaut).

$$\Delta g_{\text{Bouguer}} = g_{\text{mesuré}} \pm \text{corrections}_{\text{Bouguer}} - g_{\text{théorique}}$$

Une anomalie négative est liée à un déficit de masse : on a trop corrigé, il existe en profondeur un matériau moins dense qu'attendu. Une anomalie positive est liée à un excès de masse : on n'a pas assez corrigé, il existe en profondeur un matériau plus dense qu'attendu.

Question 3.2b : Formulez une hypothèse pour expliquer les zones A et zone B désignées par les flèches sur le document 3.2.

La zone A présente une anomalie négative, il y a donc un déficit de masse. Celui-ci pourrait s'expliquer par la présence d'une racine crustale à l'aplomb des reliefs montagneux.

La zone B présente une anomalie positive, il y a donc un excès de masse. Celui-ci pourrait s'expliquer par la faible profondeur du Moho et la présence de manteau lithosphérique, plus dense que la croûte, à faible profondeur. Cela est cohérent avec les données du profil tomographique.

Question 3.3.a : Définissez en une phrase l'isostasie. Indiquez quel modèle isostatique est ici utilisé.

L'isostasie est le modèle qui propose que la lithosphère rigide est en équilibre sur l'asthénosphère ductile, la masse des reliefs de surface étant compensée en profondeur. Le modèle isostatique utilisé est celui de Airy.

Question 3.3.b : Exprimez la relation existant entre la racine **R** et l'altitude **h** dans le cas de la croûte épaissie à l'équilibre isostatique.

Inutile ici de reproduire le schéma qui vous est donné dans le sujet (en revanche, à faire bien sûr s'il n'est pas fourni).

A l'équilibre, les masses des colonnes sont égales :

$$M_1 = M_2$$

$$(R + H + h) \rho_c = h \cdot \rho_a + H \cdot \rho_c + R \cdot \rho_m$$

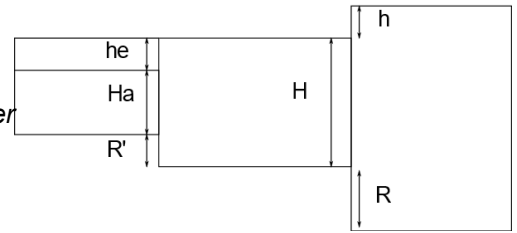
avec ρ_a masse volumique de l'air négligeable (on peut d'ailleurs se passer d'écrire ce terme)

On peut éliminer $H \cdot \rho_c$ des deux cotés de l'égalité et négliger $h \cdot \rho_a$

$$\text{d'où } (\rho_m - \rho_c) \cdot R = h \cdot \rho_c$$

$$\text{d'où } R = (\rho_c / (\rho_m - \rho_c)) \cdot h$$

$$\text{A.N. } R = (2,8/0,5) \cdot h \text{ soit } R = 5,6 \cdot h$$



Question 3.3.c : Déterminez l'épaisseur de la racine **R** attendue dans une région où l'altitude est de 4000 m. Indiquez si votre résultat est en accord avec les données du document 3.1. Justifiez votre réponse.

Pour une altitude $h = 4$ km, on a $R = 5,6 \times 4 = 22,4$ km

Ceci montre que le Moho est situé à une profondeur de $H + R$ soit, si on admet une épaisseur H de croûte de 30 km, un Moho placé à 52,4 km.

On observe sur le document 3.1 que la limite correspondant à $8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ que l'on peut interpréter comme le Moho est située vers 50 km de profondeur à 400 km sur le profil (entre Mont-Blanc et Dora Maira), ce qui est en accord avec le calcul isostatique.

EXERCICE 4 – FORMATION DES CHÂÎNES DE MONTAGNES ET VARIABILITÉ CLIMATIQUE

Question 4.1 : Rappelez la définition du $\delta^{18}\text{O}$. Précisez la nature des informations déduite de l'évolution du rapport isotopique de l'oxygène des coquilles de Foraminifères benthiques.

Définition du $\delta^{18}\text{O}$:

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{référence}}} - 1 \right] \times 1000$$

La référence pour les carbonates est une formation carbonate appelée PDB.

Attention : SMOW est la référence pour les glaces ; ne pas oublier $\times 1000$

En période froide, le ^{18}O est plus concentré dans les océans, car le volume de glaces polaires est important et constitué d'eau riche en isotope ^{16}O en raison du fractionnement isotopique lors de l'évaporation et de la condensation. Par conséquent, en période glaciaire, le $\delta^{18}\text{O}$ de l'océan est élevé.

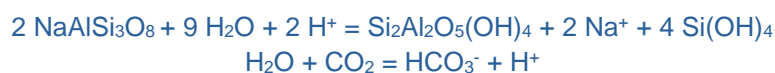
A l'inverse le $\delta^{18}\text{O}$ de l'océan est plus faible en période chaude interglaciaire.

Les foraminifères benthiques enregistrent le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau océanique, corrélé à la température atmosphérique. Ils renseignent sur des variations globales de température, donc sur des variations climatiques.

Question 4.2 : Équilibrez la réaction d'altération d'un feldspath plagioclase de type albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) en minéral argileux ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).



Ou bien :



Pour mettre en évidence que l'altération est une pompe à CO_2 , il faut montrer l'origine des H^+ . Attention à la forme sous laquelle le silicium est évacué.

Méthode pour équilibrer la réaction :

Commencer par équilibrer les atomes d'aluminium (il n'est pas évacué dans la solution).

Puis dans l'ordre : le Na / les charges / les atomes de silicium / le nombre de CO_2 / le nombre de molécules d'eau

Question 4.3 : En utilisant les informations fournies par le document 4 et la réaction d'altération établie à la question précédente, **expliquez** comment la formation de chaînes de montagne peut influencer le climat à l'échelle des temps géologiques.

Sur le document 4, on observe que la collision Inde – Asie, au début de l'Eocène, est suivie par une augmentation du $\delta^{18}\text{O}$ qui passe de 0 à 3 ‰ au début de l'Oligocène, alors qu'une glaciation globale et permanente s'installe. Cette glaciation est partielle de la fin de l'Oligocène à milieu du Miocène, et dans le même temps on constate une diminution transitoire du $\delta^{18}\text{O}$, puis ce $\delta^{18}\text{O}$ augmente à nouveau et une glaciation globale et permanente est alors présente dans le même temps.

On relève bien l'anticorrélation entre la valeur du $\delta^{18}\text{O}$ et la température globale.

Le document montre d'autre part que le volume de sédiments accumulé en Asie, inférieur à 0,5 km³/an jusqu'à la fin de l'Eocène, augmente ensuite fortement, ce que l'on peut corréliser à l'orogénèse himalayenne : la formation de reliefs conduit à davantage d'altération et d'érosion.

Comme on l'a vu dans la question précédente, l'altération des silicates en domaine continental est une pompe à CO₂. Par conséquent, l'orogénèse entraîne une diminution de la teneur de l'atmosphère en CO₂, d'où une diminution de l'effet de serre, et des températures, ce qui est compatible avec l'entrée en glaciation.

Par ailleurs, le HCO₃⁻ peut réagir avec le Ca²⁺ de l'eau de mer pour former des carbonates, ce qui piège du CO₂.

De plus, le stockage de glace sur les reliefs (glaciers) ou au niveau des pôles (calottes Antarctique et de l'hémisphère Nord lors des glaciations comme l'indique le document) conduit à une régression des océans qui augmente les surfaces continentales altérables et augmente l'albédo, ce qui renforce la glaciation.

Question 4.4 : **Indiquez** quels autres facteurs non liés à la géodynamique interne sont susceptibles d'expliquer les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques (dix lignes maximum).

Les variations d'insolation liées aux variations des paramètres orbitaux terrestres (excentricité de l'orbite terrestre, précession des équinoxes et inclinaison de l'axe de rotation de la Terre), mais aussi liés aux cycles propres d'activité du soleil peuvent amener à des variations climatiques.

Le stockage de la glace, qui augmente l'albédo, renforce la glaciation.

Les organismes photosynthétiques terrestres ou planctoniques marins, par photosynthèse, fixent du CO₂, ce qui diminue la teneur en CO₂ de l'atmosphère et renforce une glaciation.

La précipitation des carbonates à l'origine des roches carbonatées conduit au même phénomène.

La question portant sur les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques, les impacts anthropiques ne sont pas à évoquer.

EXERCICE 5 – DES DONNÉES STRUCTURALES DANS LES CHAÎNES DE MONTAGNES

Etude d'un extrait de la carte de Charpey au 1/50 000.

Question 5.1 : **Analysez** le pendage de la faille A. **Indiquez** la nature de cette faille.

La faille A dessine un V au passage d'une rivière (qui coïncide donc avec une vallée). La pointe du V est orientée vers le Sud-Est et le V est assez ouvert : le plan de faille présente un pendage vers le SE plutôt faible.

Le toit de la faille (n₃ à l'Est) étant plus âgé que le mur (m_{2b} à l'Ouest), il s'agit d'une faille inverse.

Question 5.2 : **Repérez** sur quels terrains repose la strate m₁. Que pouvez-vous conclure ?

La strate m₁ repose sur les terrains g₃ au Nord vers Oriol-en-Royans et sur les terrains c₇₋₆ plus au Sud vers Saint Martin-le colonel. Cette strate m₁ est donc discordante sur les autres terrains.

Question 5.3 : **Réalisez** un schéma structural de cet extrait de carte.

Un schéma structural doit présenter les structures identifiées sur la carte, ici :

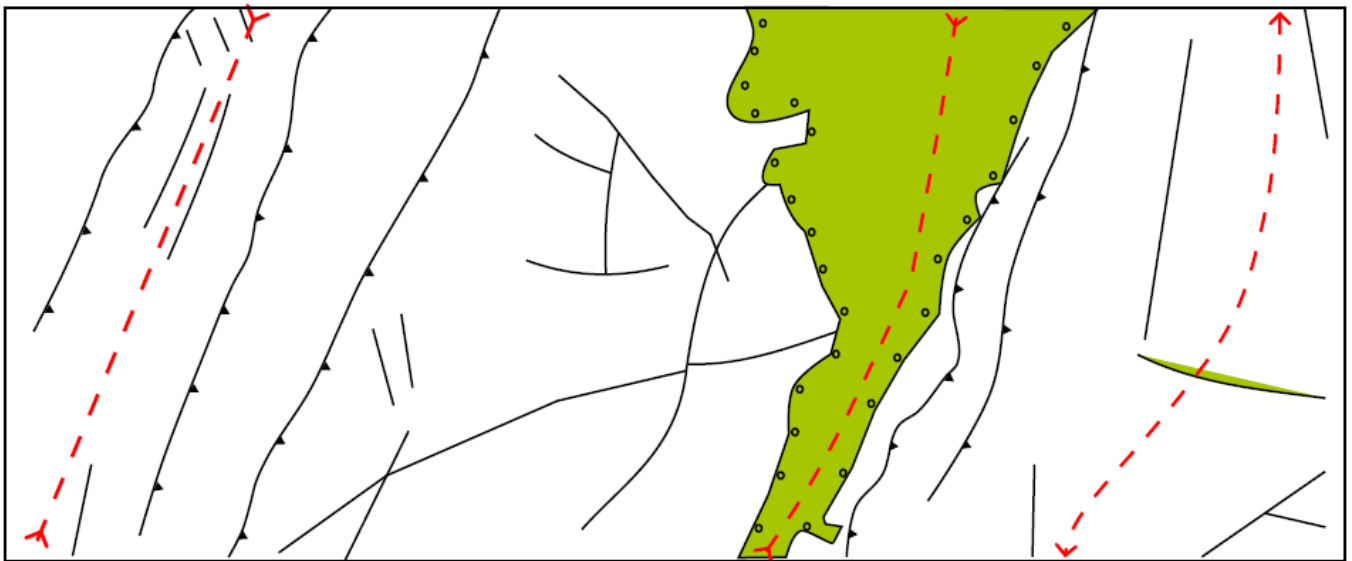
- Des failles inverses d'orientation NNE-SSW
- Quelques failles d'orientation différentes, certaines présentant un léger décrochement

Bien mettre les figurés qui conviennent pour les failles dont le jeu a pu être identifié.

- Les terrains m₂ en discordance sur les autres terrains,
- Trois plis dont il convient de représenter l'axe avec les figurés permettant d'identifier synclinaux / anticlinaux.

Les terrains secondaires d'une part, les terrains tertiaires d'autre part, peuvent être regroupés (formations sédimentaires avec la même géométrie).

Schéma structural Charpey 1/50000

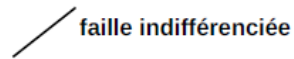


Légende

Faille



faille inverse



faille indifférenciée

Pli




Axe anticlinal




Axe synclinal

Discordance



 Terrains tertiaires

 Terrains secondaires