

GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Si nécessaire, découper les figures ou schémas requis et les coller dans la copie.

1. INTRODUCTION (3 pts / 20)

Définissez précisément les termes suivants, en vous aidant de schémas au besoin :

- discordance, socle et couverture
- orogène et orogénèse
- cycle orogénique

2. LES PYRÉNÉES ORIENTALES, UN DOMAINE OROGÉNIQUE POLYCYCLIQUE (10 pts / 20)

L'Est des Pyrénées est une région géologiquement très complexe. On se propose de mettre en évidence les grandes lignes de son histoire depuis 600 Ma.

La Fig. 1 est une coupe à travers la chaîne pyrénéenne. Elle concerne la partie centrale de la chaîne (zone axiale) et son versant sud (zone sud-pyrénéenne).

Attention : ce n'est pas une coupe réelle, mais une coupe schématique et synthétique destinée à présenter les grands ensembles lithologiques et leurs relations mutuelles. Les échelles verticale et horizontale sont approximatives.

La Fig. 2 indique l'âge des terrains visibles sur la coupe, à l'exception des granites et des métagranites. (Les colonnes A, B et C reprennent le découpage de l'échelle géochronologique.)

Le Tableau I fournit quelques informations complémentaires sur ces terrains.

2-1. Décrivez la structure de l'Est de la chaîne pyrénéenne telle qu'elle apparaît sur la Fig. 1 (discordances, grands ensembles structuraux, etc.).

2-2. (6 pts / 20) En vous basant exclusivement sur les Figs. 1 et 2 et sur le Tableau I, reconstituer, en termes de chronologie relative et avec un maximum de détails, l'histoire géologique de ce domaine orogénique, depuis 600 Ma jusqu'à aujourd'hui. Présentez cette histoire sous la forme d'une liste d'événements, numérotés de 1 à n, du plus ancien au plus récent. Discutez soigneusement chaque partie de votre réponse. Illustrez au mieux, quand cela est possible et pertinent, les étapes majeures de cette histoire.

2-3. L'histoire géologique des Pyrénées orientales est-elle représentative de celle de la France en général, du moins dans ses grandes lignes ?

3. APPORTS DE LA GÉOCHRONOLOGIE ISOTOPIQUE (7 pts / 20)

Les méthodes de datation radiochronologique sont basées sur la radioactivité naturelle des roches (ici, des roches magmatiques) et de certains de leurs minéraux. Il existe de nombreux systèmes isotopiques utilisables. Seuls deux d'entre eux sont envisagés ici : le système Rb-Sr et le système U-Pb.

- La méthode Rb-Sr permet de déterminer l'âge d'une série de roches supposées cogénétiques (par exemple, une granodiorite, un granite et une aplite d'un même pluton granitique).
- La méthode U-Pb concerne essentiellement la datation des zircons de ces roches ; le zircon (ZrO_2) est un minéral accessoire très riche en U, mesurant typiquement 50-300 μm . Il existe en réalité plusieurs techniques, permettant de dater :
 - simultanément plusieurs zircons (méthode dite sur lots de zircons) ;
 - les zircons un par un (datation sur monozircon) ;
 - une partie de zircon, grâce à une microsonde ionique qui permet d'analyser une petite zone d'un diamètre de l'ordre de 25 μm (on obtient ainsi plusieurs âges pour un seul zircon !).

3-1. Âges des granites. Depuis 40 ans, une trentaine de granites pyrénéens ont été datés, certains par plusieurs méthodes. La Fig. 3 présente, en fonction de l'année de détermination, les principaux résultats publiés dans la littérature et obtenus par les méthodes Rb-Sr sur roches totales (Fig. 3A) et U-Pb sur zircons (Fig. 3B). Tous ces âges ont été, au moment de leur publication, considérés comme datant la mise en place des plutons.

Comparez les résultats des deux méthodes. Comparez avec votre réponse à la question 2-1. Quelles raisons peut-on invoquer pour expliquer la grande dispersion des âges ? Concluez quant à l'âge des granites ; est-il envisageable qu'ils soient tous de même âge ? (Vous tiendrez compte du fait que l'âge absolu des limites stratigraphiques n'est connu qu'avec une certaine incertitude, par exemple ± 5 Ma pour le Carbonifère supérieur, dont chacun des trois étages a une durée proche de 10 Ma ; cf. Fig. 2, échelle géochronologique.)

3-2. Grâce à différents radiochronomètres, l'évolution de la température (« thermochronologie ») d'un pluton granitique situé au centre de la zone axiale a pu être évaluée, depuis le moment de sa mise en place jusqu'à aujourd'hui (Fig. 4). Cette évolution s'inscrit-elle correctement dans l'histoire géologique que vous avez établie à la question 2-1 ?

3-3. Âges des métagranites (orthogneiss). Tout comme les granites, les orthogneiss ont fait l'objet d'assez nombreuses tentatives pour dater la mise en place de leur protolithe (les roches initiales, c'est-à-dire des granites). La Fig. 5 présente les âges publiés dans la littérature, selon diverses méthodes et en fonction de l'année de leur détermination.

Discutez ces résultats, d'abord entre eux, puis en les comparant à ceux obtenus sur les granites. Précisez la nature des relations entre les métagranites et les terrains encaissants. Précisez en conséquence l'histoire géologique établie à la question 2-1.

3-4. La Fig. 6 indique la morphologie caractéristique des zircons magmatiques, ainsi que celle des zircons détritiques (dans les processus sédimentaires, les zircons sont des minéraux particulièrement résistants à l'altération et au transport...). La Fig. 7 montre six zircons extraits de deux échantillons de métagranites pyrénéens, ainsi que les âges obtenus ponctuellement (les « spots » d'analyse ont un diamètre d'environ 25 μm) sur ces zircons. La Fig. 8 indique les âges de 25 cœurs de zircon déterminés dans divers métagranites de l'Est des Pyrénées.

Qu'apportent ces données ?

3-5. Conclusion. Relativement à l'état des choses à la fin du Carbonifère, quelle partie de la croûte continentale de l'époque est-elle aujourd'hui visible (croûte supérieure et/ou moyenne et/ou inférieure) ? Pouvez-vous, en combinant les données de terrain (coupe de la Fig. 1), les données géochronologiques et également vos connaissances sur l'origine des granites, indiquer quelle a pu être la nature, l'âge et l'évolution de cette croûte, en particulier de la croûte profonde, avant 300 Ma ?

Tableau I. Données complémentaires sur les terrains des Pyrénées orientales

• **Terrains métamorphiques :**

tous ces terrains sont d'origine *marine*
le métamorphisme est de type haute température - basse pression

3 à 7 : degré métamorphique faible à très faible (anchizone)

1. Groupe de Canaveilles (Édiacarien). Série sédimentaire (pélites, calcaires et dolomies, "black shales"...) et volcano-sédimentaire (notamment deux horizons de tuffs volcaniques acides) (2000-4000 m environ)

- degré métamorphique fort à moyen ;
- partie inférieure : faciès amphibolite (zones à cordiérite-andalousite-sillimanite ± anatexie)
- partie supérieure : faciès schistes verts supérieurs (zone à biotite)

2. Groupe de Jujols (Cambrien s.l.). Série sédimentaire : grès, pélites, calcaires... (2000 m environ)

- degré métamorphique faible : faciès schistes verts inférieurs (zone à chlorite)

Remarque : les séries 1 et 2 étant azoïques, leur âge n'est estimé que par comparaison avec les séries fossilifères

- des régions voisines (NW et centre de l'Espagne, Sud du Massif central, Sardaigne) ; récemment (2005),*
- le niveau de volcanites acides situé à la partie inférieure de la série 1 (*) a pu être daté de 581 ± 10 Ma*

3 à 7 : degré métamorphique faible à très faible (anchizone)

3. Ordovicien supérieur. De bas en haut :

- conglomérat grossier (0-50 m)
- pélites ; calcaires ; roches volcaniques (300-700 m)

4. Silurien. "Black shales", calcaires (100-200 m)

5 et 6. Dévonien et Carbonifère inférieur. Calcshistes, calcaires et dolomies (200-500 m)

7. Namurien. Grès et pélites ("flysch") (> 200 m)

• **Terrains non métamorphiques :**

8 et 9. Stéphanien supérieur et Permien inférieur. Grès, conglomérats, laves acides ; *continental* (0-1000 m)

10. Trias inférieur. Conglomérat basal ; puis grès rouges ; *continental* (50-200 m)

11. Trias supérieur (Keuper). Argilites, gypse et sel (sel gemme) ; *lagunaire* (200 m)

12 et 13. Jurassique et Crétacé inférieur. Marnes et calcaires (récifs au Crétacé inférieur) ; *marin* (jusqu'à 1-5 km)

14. Crétacé supérieur. Grés-pélites marines ("flysch") ; *marin* (0-2000 m)

15. Crétacé terminal et Paléocène. Grès, argilites, calcaires lacustres ; *continental* (environ 5000 m)

16. Éocène. De bas en haut :

- calcaires ; puis grés-pélites ("flysch") ; *marin* (500 m)
- grès, conglomérats, pélites, évaporites ; *continental* (500 m)

17 et 18. Oligocène et Miocène. Grès, conglomérats, pélites, évaporites ; *continental* (0-1000 m)

COUPE GÉOLOGIQUE ULTRA-SCHEMATIQUE À TRAVERS LES PYRÉNÉES ORIENTALES

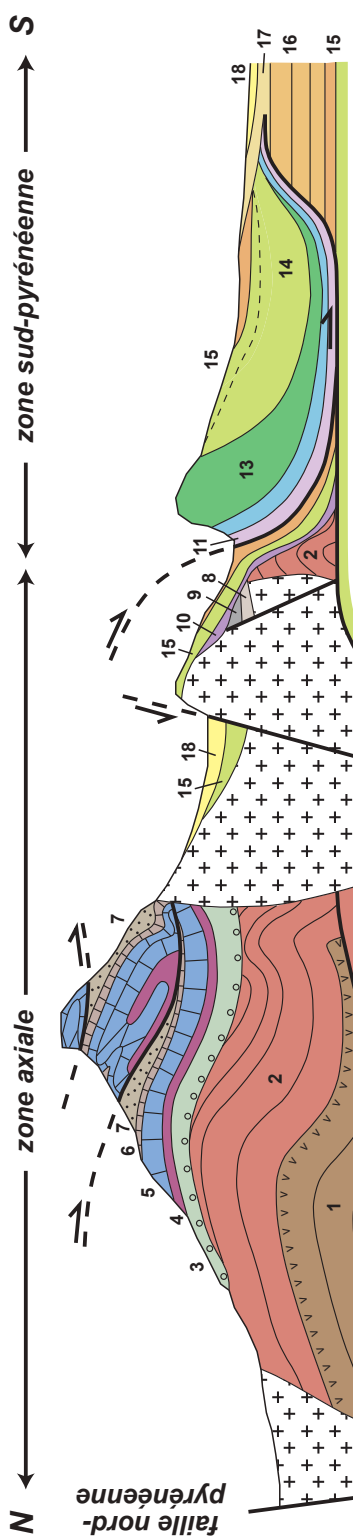


Fig. 1

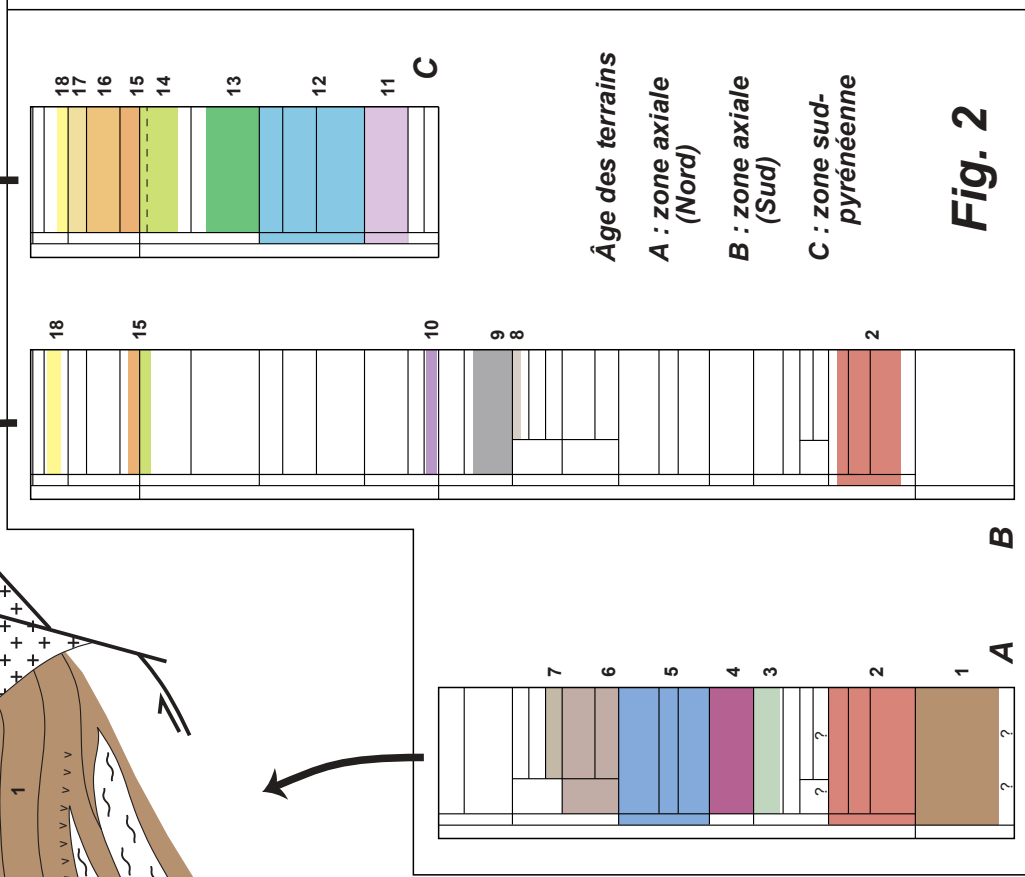
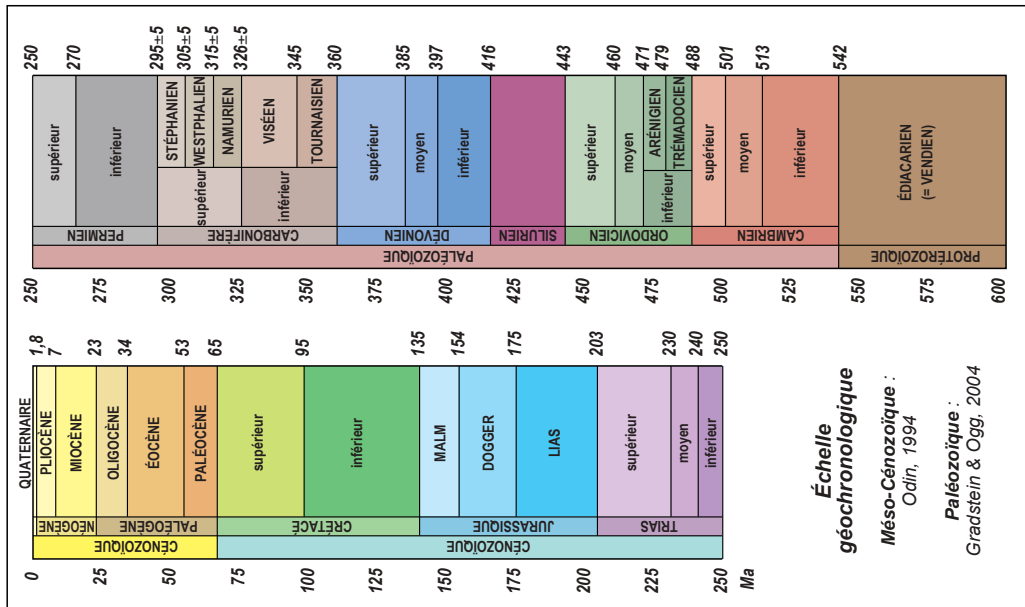


Fig. 2

- granites
- orthogneiss ocellés (métagranites porphyroïdes)
- calcaires
- conglomérat
- gréso-pélites
- tuffs volcaniques acides
- 581 ± 10 Ma
- failles et chevauchements (avec sens de mouvement)

