

CONCOURS G2E

GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées. Les téléphones portables, "smartphones" et tout autre objet connecté doivent être éteints au cours de l'épreuve et ne doivent en aucun cas être utilisés même à titre de montre.

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.

La rédaction se fera uniquement à l'encre bleue ou noire et l'utilisation du blanc correcteur et effaceur est interdite. Les découpages et collages sur la copie sont interdits.

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

Attention ! Les figures 3, 4, 6, 16, 19 et 20, sont à rendre avec votre copie, sans découpage ni collage.

PARCOURS GEOLOGIQUE DANS LE MASSIF CENTRAL FRANCAIS

Le Massif Central Français (MCF) est un des témoins de la chaîne hercynienne ou varisque (Fig. 1). Dans cette province géologique, l'histoire varisque qui remobilise des terrains précambriens, se termine par la mise en place de granites intrusifs autour de 300 Ma (Fig. 2). A cette époque, au Carbonifère, la formation de bassins isolés, parfois associés à des décrochements, est venue localement masquer les événements précoces hercyniens. De la même façon, d'autres secteurs de la chaîne varisque sont aussi dissimulés par des formations post-carbonifères, dont les dépôts permien, puis ceux liés aux transgressions du Mésozoïque. Au Miocène, le plateau du MCF s'est surélevé, en même temps qu'une activité magmatique s'est développée, associée à des rifts. Enfin, dans l'ouest du MCF, l'impact d'une météorite, reconnu grâce aux formations induites par cet événement cataclysmique, a localement perturbé le socle. Plusieurs relations entre les formations carbonifères à post-carbonifères et le socle vont être successivement considérées.

1. LE SOCLE ET SA COUVERTURE DANS LE SECTEUR DE GENIS, LIMOUSIN (8 POINTS)

1.1 Rappelez brièvement (5 lignes maximum) comment est construite l'échelle chronostratigraphique (Fig. 2). Précisez à quoi correspondent les 'clous d'or'.

1.2 Les rapports entre socle métamorphique hercynien et couverture peuvent être observés dans le secteur de Génis (Figs 1 et 3). Ainsi, le Permien peut reposer directement sur le socle (cf. Fig. 3) ou sur les formations carbonifères (Fig. 4, à rendre). Dans ce dernier cas, tracez la surface de contact entre les grès carbonifères et le conglomérat permien. Expliquez la géométrie de cette surface. Indiquez sur la photo la surface de stratification S_0 pour chacune des deux formations et estimez le pendage (Fig. 4, à rendre).

1.3 L'Hettangien comporte des calcaires et des calcaires dolomitiques (Figs 5a à c) tels qu'on peut les voir à l'ouest de la rivière Avezère (cf. Fig.3). Décrivez le paysage observé (Fig. 5a).

La figure 5c montre le contact entre les laves en coussin de Génis et l'Hettangien. Décrivez l'affleurement, en particulier la zone de contact et la formation dolomitique de base de l'Hettangien. Schématisez, à partir des photos 5a et b, les relations entre le socle métamorphique et le Jurassique inférieur, selon un plan vertical. Les calcaires dolomitiques de l'Hettangien (Figs 5b et c) sont des calcaires riches en magnésium. Quelle est la composition chimique des calcaires ?

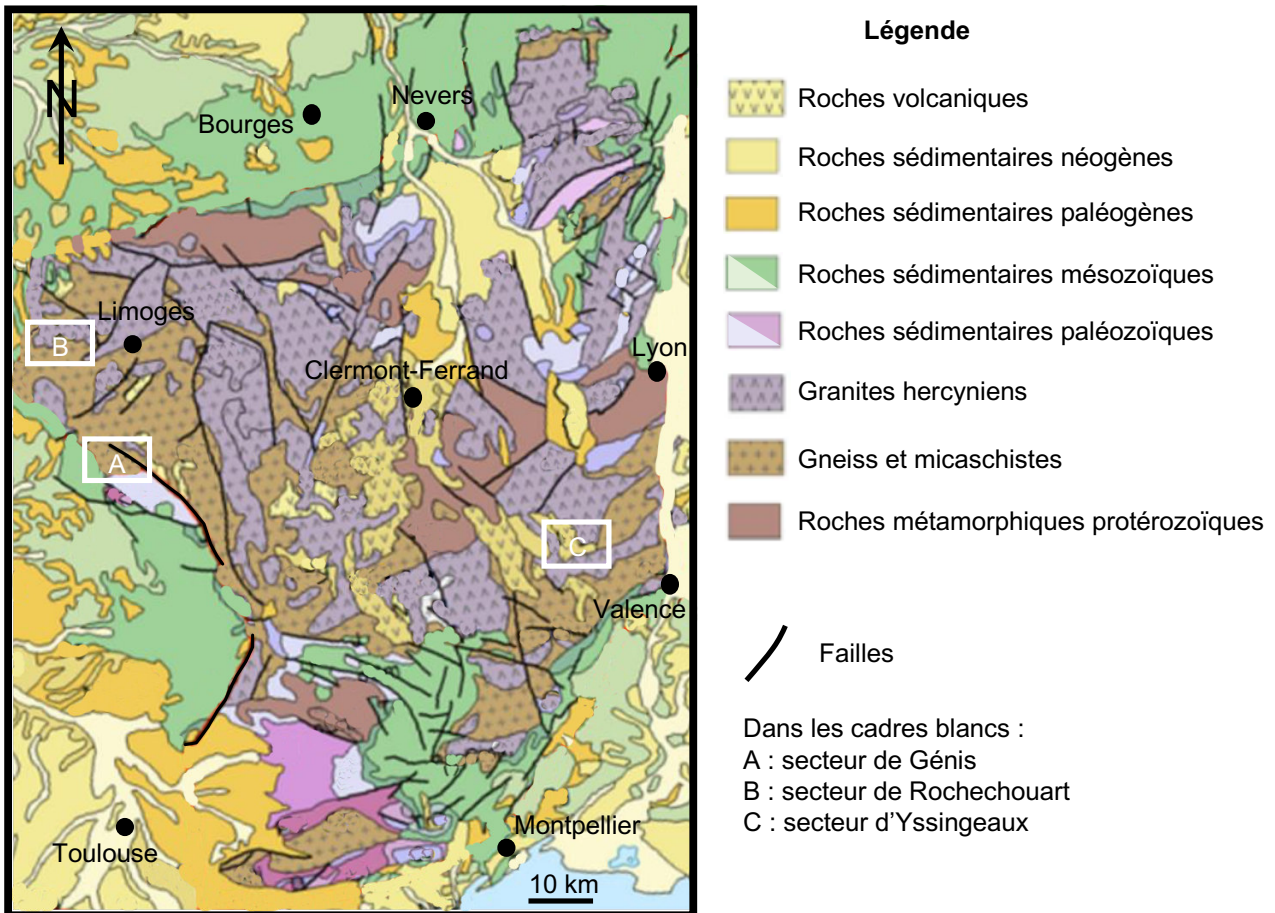


Fig. 1. Carte géologique simplifiée du Massif Central Français (MCF) avec la localisation des secteurs étudiés.

1.4 Le Cambro-Ordovicien présente des formations essentiellement volcaniques, acides et basiques. Que constatez-vous quant à la succession stratigraphique de ces formations de part et d'autre du groupe de Génis (Fig. 3) ? Comment pouvez-vous l'expliquer ?

1.5 Le groupe de Génis comporte des gabbros et des laves basaltiques mis en place à l'Ordovicien (Fig. 3). Indiquez leurs conditions de cristallisation respectives.

1.6 Le schéma de la figure 6 (à rendre) illustre un site géotectonique possible où le volcanisme acide, rhyolitique et ignimbritique, aurait pu se mettre en place en même temps que l'épanchement des coulées basiques au Cambro-Ordovicien (formation t^{ρ^3}). Légendez la figure. Localisez respectivement les zones sources de ces deux magmatismes contemporains, (i) par une croix pour le magmatisme acide et, (ii) par un cercle pour le magmatisme basique. Dans un tel contexte d'affrontement de plaques, proposez un environnement géotectonique où le groupe de Génis aurait pu se former, environnement que vous indiquerez sur la figure 6 (à rendre).

1.7 Réalisez un schéma structural à partir de la carte géologique (Fig. 3, à rendre) en omettant les formations superficielles. Numérotez et nommez précisément chaque discontinuité de la couverture sédimentaire. Rappelez les indices qui vous ont permis de qualifier la nature de ces discontinuités.

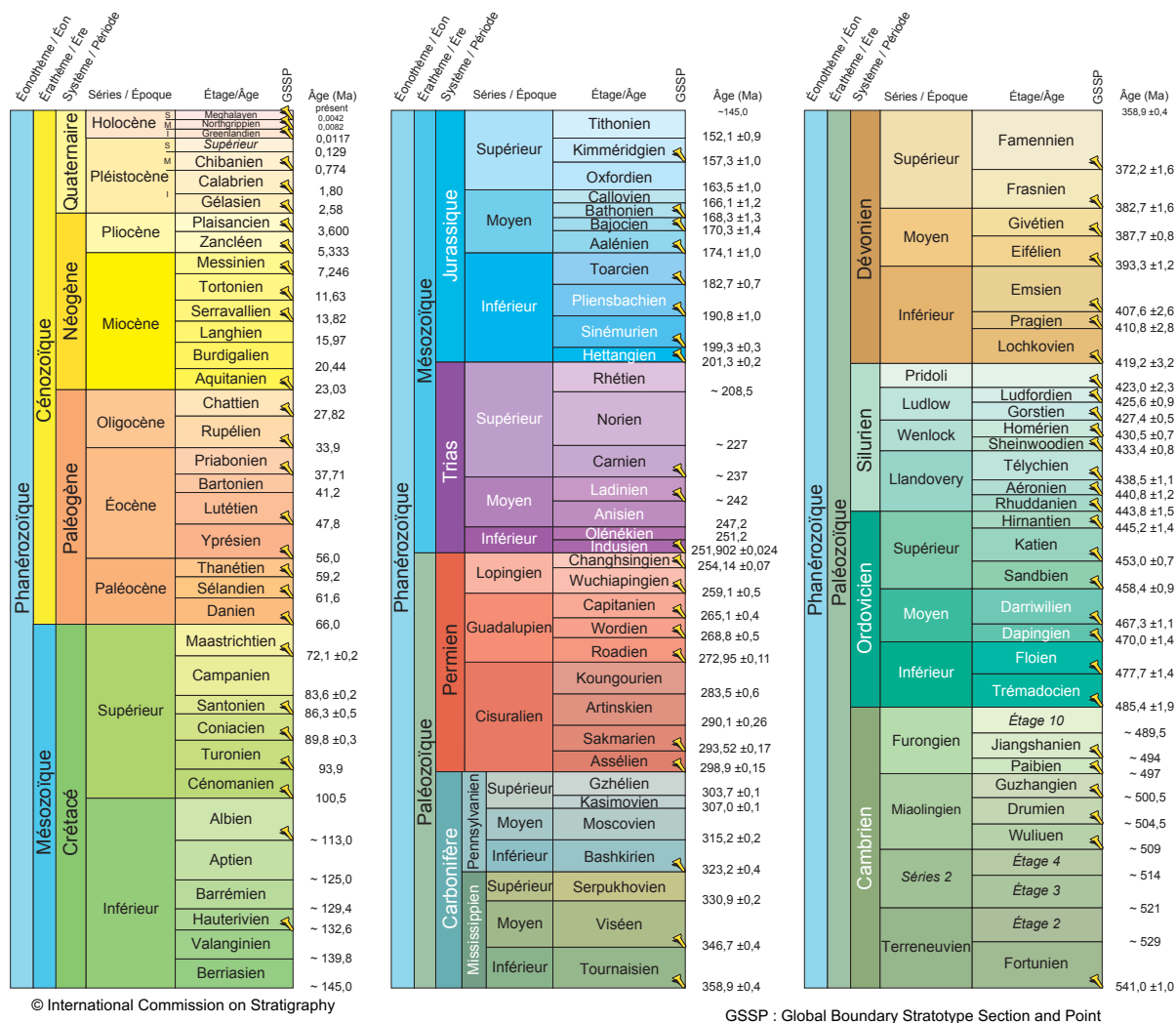


Fig. 2. Echelle chronostratigraphique du Phanérozoïque.

1.8 A quel ensemble structural rattachez-vous les terrains mésozoïques du secteur de Génis (*cf.* Fig. 1)? Dans l'ensemble structural que vous aurez défini, comment expliquez-vous les discontinuités stratigraphiques mésozoïques observées dans le secteur de Génis (*cf.* Figs 3 et 5) ?

1.9 Au sud-ouest de Génis, la formation de rhyolite et de basaltes (ρ^3) est recoupée par une faille située à proximité de la rivière Avezère (flèche indiquée sur la figure 3). Quelle est la nature de cette faille? Indiquez son mouvement sur le schéma structural ainsi que l'orientation des contraintes (Fig. 3, à rendre).

1.10 Dans le secteur d'étude, autour de Salagnac (Fig. 3), on trouve des surfaces rubéfiées sur le socle. La rubéfaction est un phénomène de coloration en rouge de la surface des roches observées due à la cristallisation d'oxydes de fer libérés par l'altération. Pour information, le climat a évolué depuis le Carbonifère, sous conditions chaudes et humides, responsables d'une végétation luxuriante, vers des situations climatiques de plus en plus arides au Permien. Comment expliquez-vous à partir du diagramme de Goldschmidt (Fig. 7) la présence de ces oxydes de fer ?

1.11 La chaîne hercynienne est une chaîne ancienne qui a été érodée sur des dizaines de millions d'années. A quel modèle isostatique fait référence la figure 8 ? L'épaisseur de la racine crustale (r) sous un orogène peut être calculée (Fig. 8).

Données : Masse volumique de la croûte continentale, $\rho_c = 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$; Masse volumique du manteau, $\rho_m = 3,3 \text{ g.cm}^{-3}$; Altitude de l'orogène (h) : 3 km. La croûte de référence a une épaisseur notée (e).

Quelle est l'épaisseur de la racine crustale (r) ?

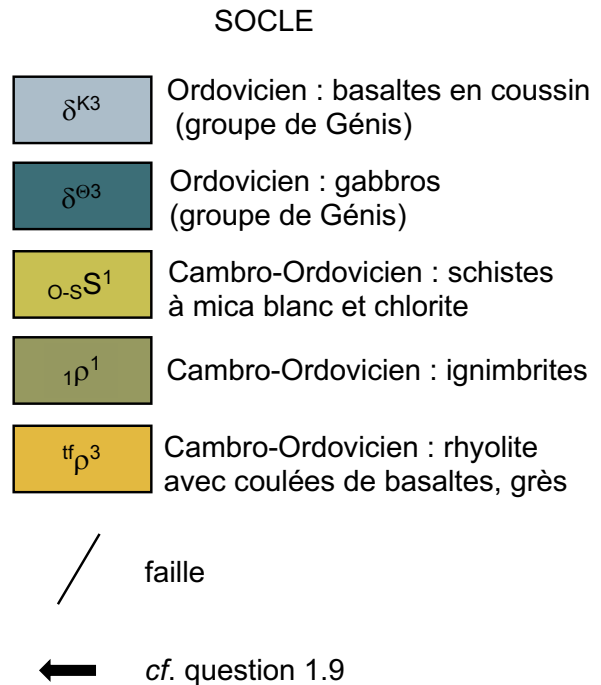
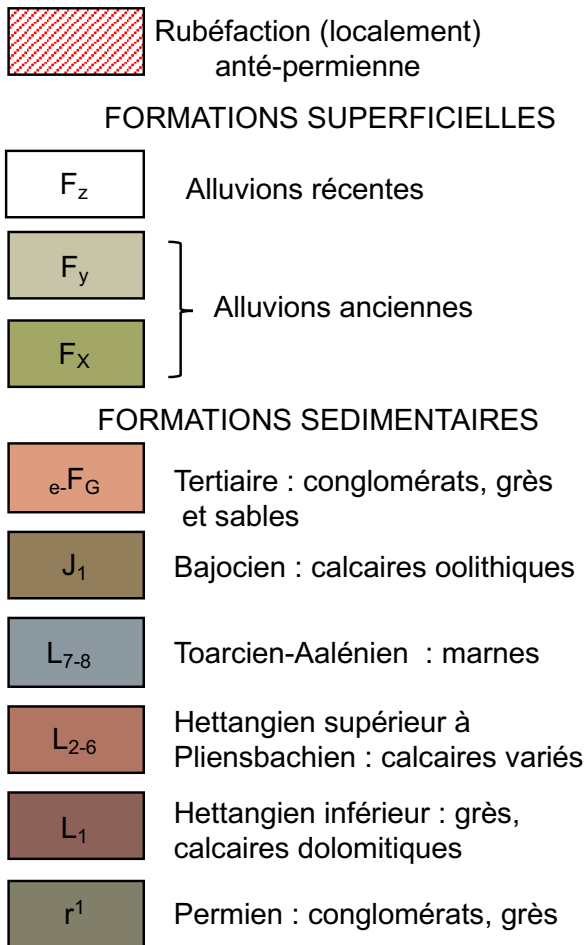
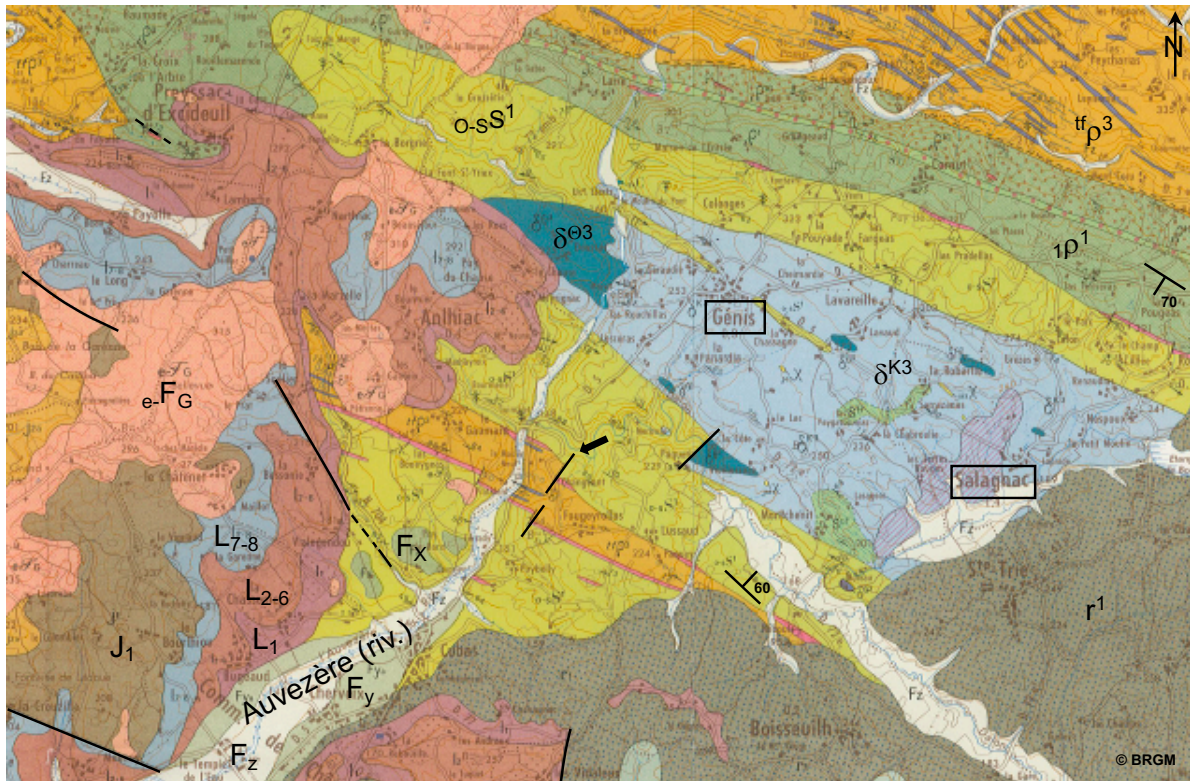


Fig. 3. Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Juillac (Limousin) dans le secteur Nord-Ouest (secteur A, Fig. 1), autour de Génis.

[Vous disposez de la figure 3 afin d'avoir tous les éléments pour répondre à la question. En annexe, vous trouverez la même figure en version "transparente", afin de pouvoir indiquer directement vos réponses.]



Fig. 4. Contact des grès fins carbonifères avec un conglomérat permien.

[Vous disposez de la figure 4 afin d'avoir tous les éléments pour répondre à la question. En annexe, vous trouverez la même figure en version "transparente", afin de pouvoir indiquer directement vos réponses.]

1.12 En supposant que le démantèlement de la chaîne hercynienne ait commencé au début du Carbonifère, quelle épaisseur de croûte a pu disparaître par altération et/ou érosion en tenant compte de la modélisation (cf. Fig. 9) ? Justifiez l'intervention de ces deux mécanismes compte tenu (i) des observations précédentes dans le secteur de Génis (cf. Figs 3 et 4), (ii) de la paléogéographie à l'Ouest du Limousin au début du Jurassique (cf. Fig. 5), et (iii) du modèle d'érosion à long terme (cf. Fig. 9). Quels sont les processus qui, en profondeur, auraient permis de réduire la racine crustale de la chaîne hercynienne ?

1.13 Si le MCF a évolué sous des conditions relativement chaudes au Carbonifère et au Permien, il n'en a pas été de même pour une grande partie de l'unique supercontinent formé lors des collisions hercyniennes et qui a été recouvert d'une large calotte polaire. A partir de l'évolution du CO₂ atmosphérique (Fig. 10), précisez les conditions qui peuvent amener à un refroidissement général du climat.

2. L'ASTROBLEME DE ROCHECHOUART (4,5 POINTS)

On appelle astrolème les structures d'impact terrestre provoquées par une météorite et devenues plus ou moins facilement identifiables à cause de l'érosion (Fig. 11). Il y a 210 millions d'années, dans l'ouest du Limousin (Fig. 1), une météorite pierreuse, riche en fer, dont le diamètre est estimé à un kilomètre environ et le poids à 5 milliards de tonnes, a causé un cratère d'impact, d'un rayon de 20 à 25 km, aujourd'hui disparu (astrolème). Cet événement a provoqué un séisme de magnitude extrême (plus de 9), une compression estimée à 10 – 35 GPa, provoquant (i) un métamorphisme de choc, (ii) un flux de chaleur très important (10 000°C au point d'impact) avec vaporisation de la météorite elle-même et celle des roches du socle à proximité de l'impact, et (iii) une onde de choc qui s'est propagée jusqu'à 6 km de profondeur, affectant roches et minéraux du socle granito-gneissique. Aucun fragment de météorite n'a été retrouvé. C'est la découverte de l'astrolème avec les projections liées à l'impact de la météorite et leur extension qui ont permis, pour la première fois, de déceler l'intervention d'un événement météoritique ancien (Fig.11). Les deux principaux faciès de roches liés à l'impact de la météorite comprennent (i) des roches magmatiques vitreuses, parfois très bulleuses, issues de la fusion partielle des roches du socle au

point d'impact et (ii) un ensemble de roches, avec très peu de verre, rattaché à la formation de Rochechouart (Fig. 12).



Fig. 5. a) Paysage montrant l'Hettangien, reposant sur le socle métamorphique. b) Aspect des bancs calcaires à dolomitiques de l'Hettangien dans une carrière abandonnée. La carrière est indiquée par un encadré sur la photo 5a. c) Contact entre les laves en coussin de Génis et l'Hettangien.

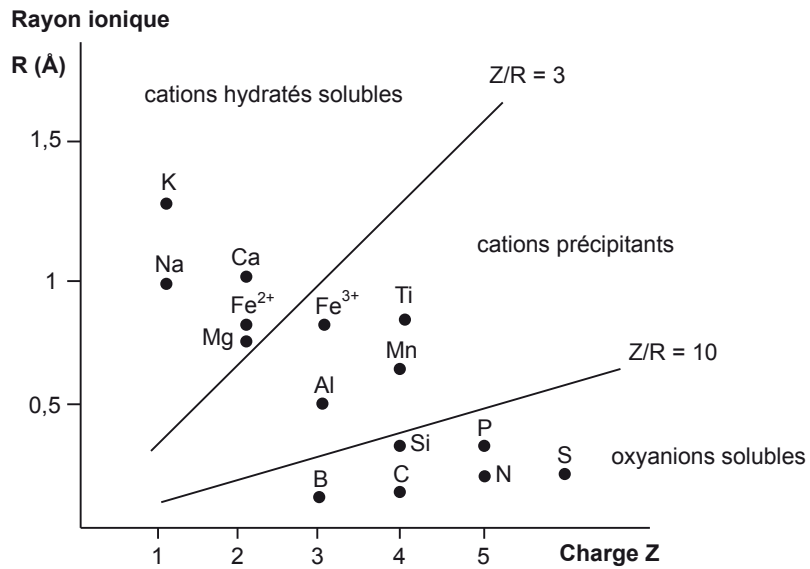


Fig. 7. Diagramme de Goldschmidt.

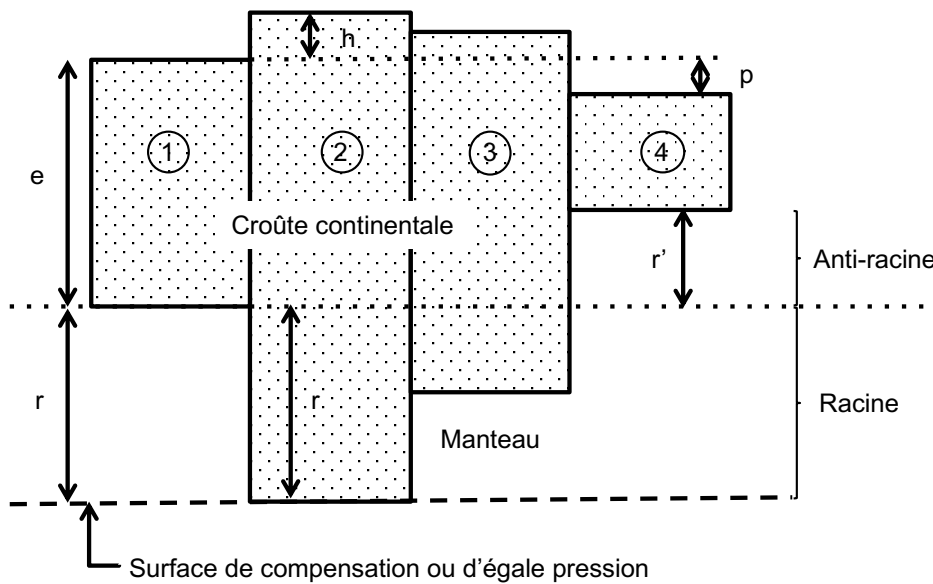


Fig. 8. Modèle isostatique.

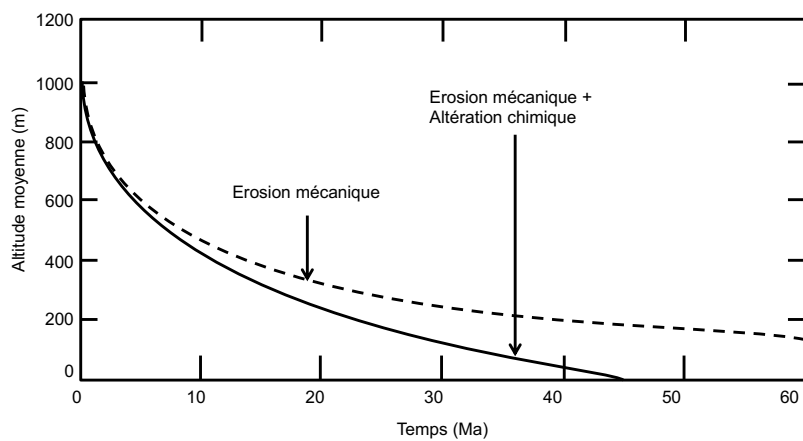


Fig. 9. Modèle indiquant le temps écoulé pour la disparition de 1 km de croûte par érosion mécanique seule ou combinée avec l'altération.

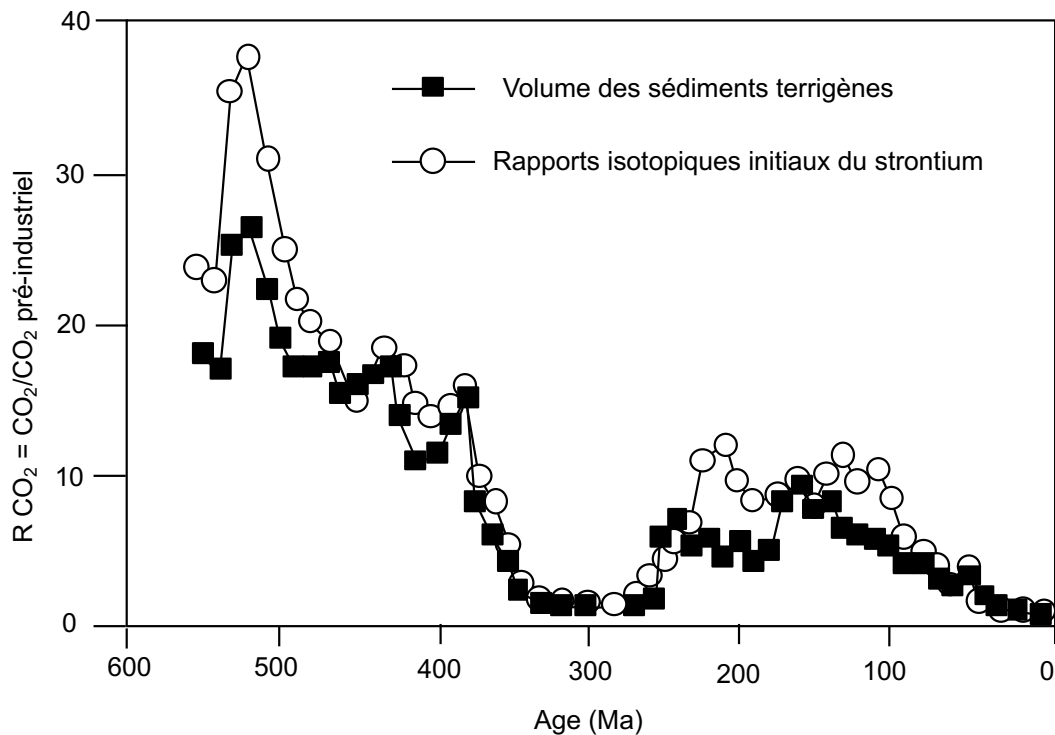


Fig. 10. Evolution du rapport R_{CO_2} [CO_2 à une époque donnée / CO_2 pré-industriel] depuis 550 Ma.

Les courbes ont été obtenues à partir de deux modèles basés sur (i) le volume des sédiments terrigènes, et (ii) les rapports isotopiques initiaux du Sr.

2.1 Décrivez et nommez la roche issue de la formation de Rochechouart (Fig. 12).

2.2 La carrière de Champagnac offre une coupe où sont exposées les relations géométriques entre la formation de Rochechouart et le socle métamorphique hercynien (Fig. 13). Les limites entre les principales unités présentes dans la carrière sont indiquées. Précisez la chronologie relative des trois principales formations de la carrière (Fig. 13).

2.3 Une campagne de mesures gravimétriques sur le site de Rochechouart a permis de mettre en évidence une légère anomalie négative, d'une vingtaine de km de diamètre, centrée sur le point d'impact probable de la météorite (Fig. 14).

Définissez la gravimétrie et précisez l'intérêt des mesures gravimétriques.

Comment expliquez-vous l'anomalie circulaire observée sur le site de l'astrolème en l'absence d'un relief significatif ?

2.4 La figure 15 montre une section de météorite.

Décrivez cet échantillon. Compte tenu de l'analogie existant entre certaines météorites et les différentes enveloppes solides de la terre, indiquez à quelles enveloppes de la Terre correspondent, d'une part les silicates, et d'autre part, les alliages de la météorite illustrée en figure 15 ? Quel est le mécanisme responsable de la formation des enveloppes terrestres ?

En tenant compte de la nature de ce mécanisme, comment expliquez-vous les relations entre les silicates et les alliages dans l'échantillon de météorite (Fig. 15) ?

2.5 Le diagramme de phase du fer est représenté sur la figure 16. Dans le noyau externe, le géotherme peut être estimé à $0,67 \text{ K.km}^{-1}$. A 2900 km de profondeur, la pression est de 136 GPa, et à 5150 km, de 329 GPa. Tracez le géotherme dans le diagramme (Fig. 16, à rendre).

En utilisant (i) le diagramme de phase du fer (Fig. 16), (ii) le tracé du géotherme pour le noyau, expliquez la présence d'un noyau solide au centre de la Terre.

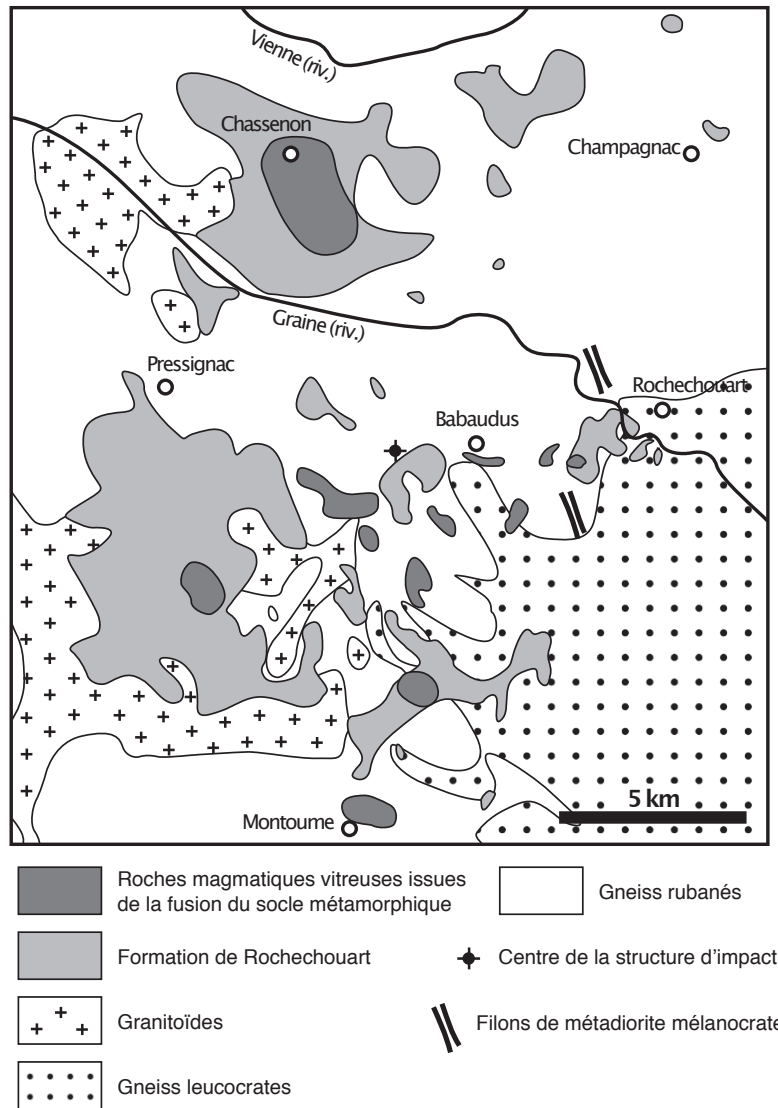


Fig. 11. Carte géologique simplifiée de la région de Rochechouart, Limousin (secteur B, Fig. 1).

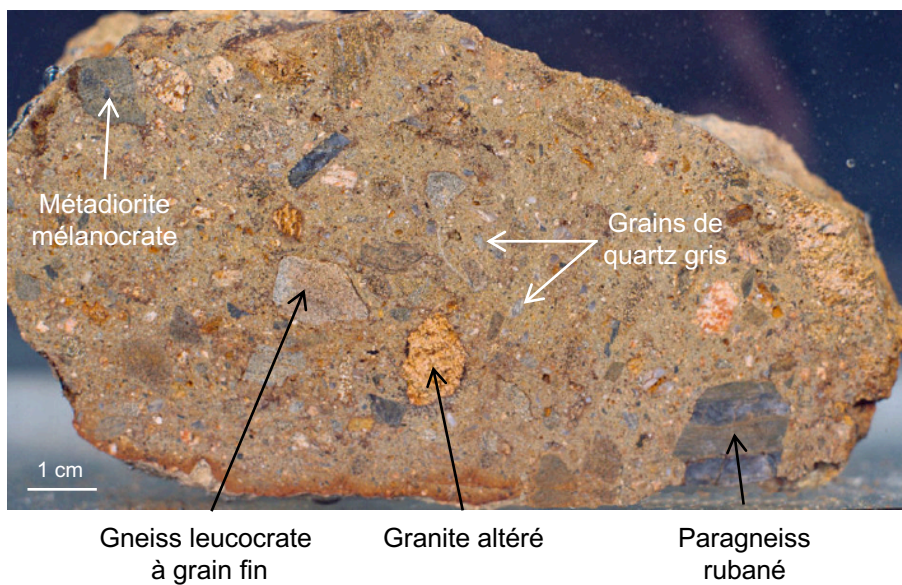


Fig. 12. Roche représentative de la formation de Rochechouart.

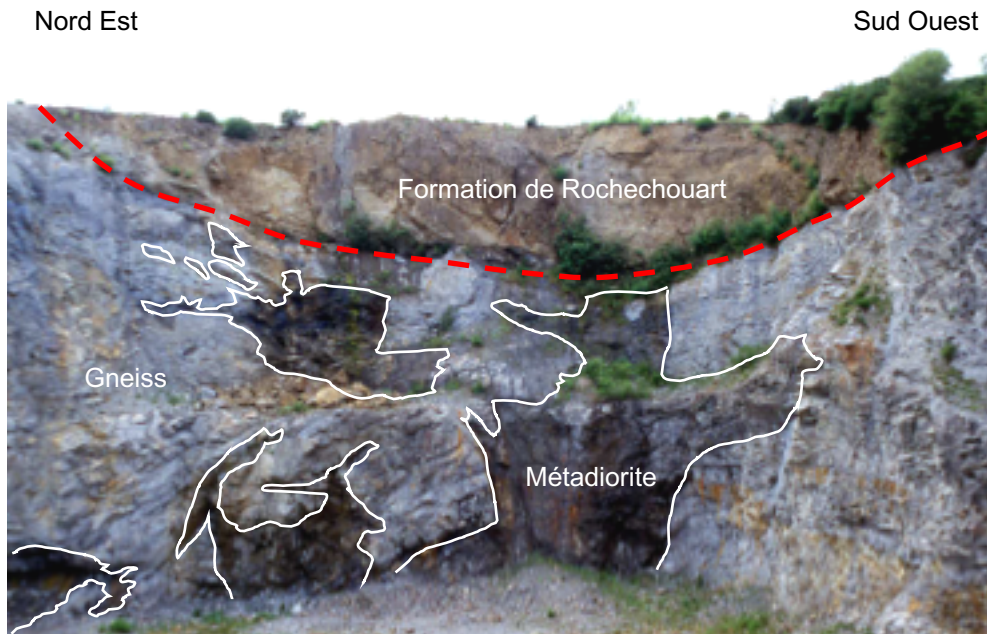


Fig. 13. Carrière de Champagneac avec (i) des paragneiss rubanés (niveaux clairs et sombres), (ii) des métadiorites mélanocrates et (iii) la formation de Rochechouart (cf. Figs 11 et 12). Notez la fracturation importante du socle.

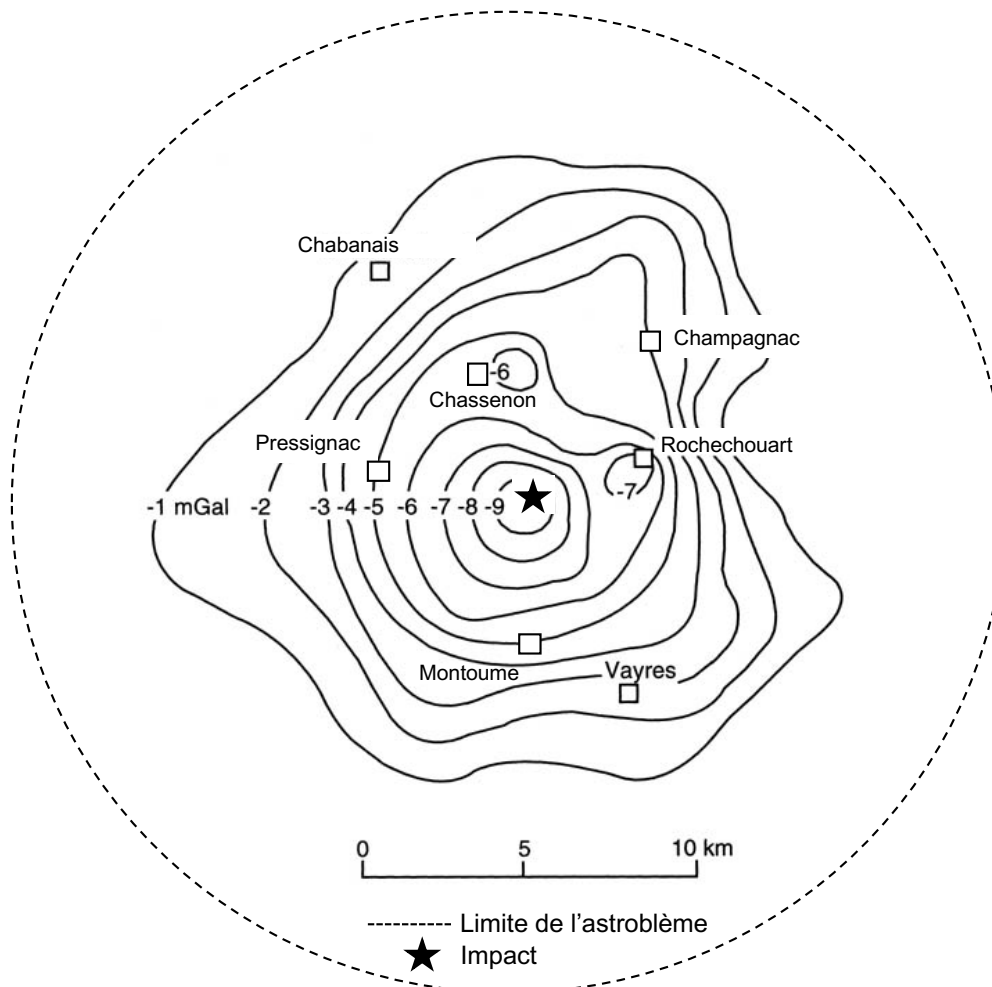


Fig. 14. Anomalie gravimétrique centrée sur l'astroblème de Rochechouart.

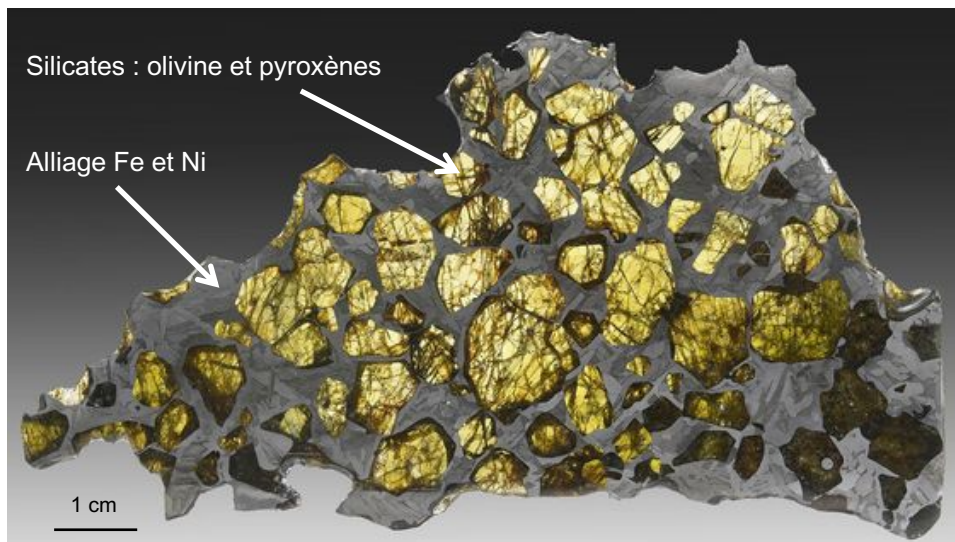


Fig. 15. Section d'une météorite avec des silicates, surtout de l'olivine, et des alliages de Fe et Ni.

3. LES BASSINS TERTIAIRES ET LE VOLCANISME RECENT (6 POINTS)

Dans le secteur d'Yssingeaux, au sud-ouest de Lyon, un extrait de la carte géologique à 1/250 000 présente quatre principales formations (Fig. 17).

3.1 Indiquez la chronologie relative de ces quatre formations (Fig. 17).

Précisez la chronologie des failles par rapport aux formations géologiques et l'orientation de ces failles. Énoncez le principe de datation relative qui vous a permis de positionner dans le temps le fonctionnement de ces failles.

3.2 Décrivez et donnez un nom aux deux échantillons de la figure 18. Justifiez cette dénomination.

3.3 Le diagramme TAS (Fig. 19, à rendre) permet de mettre en évidence les principales caractéristiques géochimiques des laves du Velay, dans le secteur d'Yssingeaux.

Indiquez à quelle roche correspondent les lettres A, B et C dans le diagramme TAS.

Montrez que les basaltes du Velay sont alcalins.

3.4 Que constatez-vous quant à la répartition des laves dans le diagramme TAS (Fig.19) par rapport au gisement des laves sur le terrain (Fig. 17), d'un point de vue chronologique et rhéologique ?

Montrez que les basaltes et les trachytes pourraient appartenir à une même série géochimique.

Indiquez le processus magmatique qui aurait permis le développement de cette série géochimique.

Indiquez quels sont les minéraux clefs responsables de l'évolution de ces liquides (*cf.* Fig. 18).

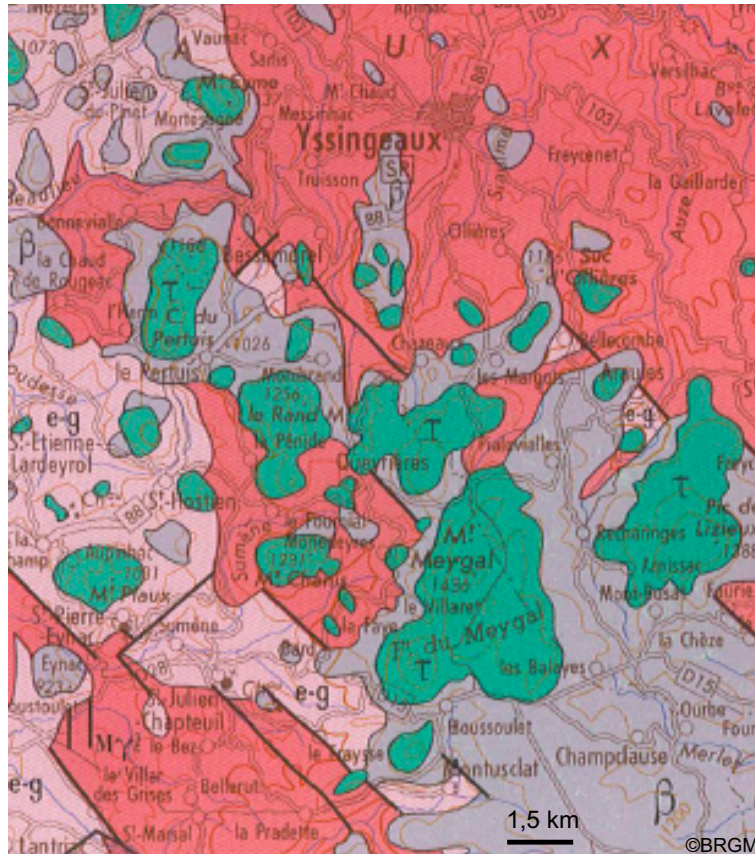
3.5 Décrivez l'affleurement de socle de la figure 20 (à rendre), présent dans le secteur d'Yssingeaux. Nommez la roche constitutive. Soulignez sur le calque, les éléments remarquables que vous préciserez.

3.6 La composition des granites représentatifs de la chaîne hercynienne peut être projetée dans le diagramme de la figure 21b avec celle de 500 autres granites échantillonnés autour du globe. Précisez la signification du point M (Fig. 21a) dans le diagramme expérimental. Est-ce que les granites peuvent dériver de la fusion des gneiss ? Étapez votre réponse en utilisant les deux diagrammes de la figure 21.

3.7 Indiquez pourquoi la fusion de la croûte continentale ne peut pas intervenir avant qu'elle ait atteint une certaine épaisseur, compte-tenu du tracé des géothermes G1 et G2 (Fig. 22), épaisseur que vous préciserez.

3.8 Dans le diagramme de la figure 23, le rapport initial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) des granites analysés est reporté en fonction de leur âge calculé par la méthode Rb/Sr ou par la méthode U-Pb. Comment interprétez-vous l'alignement de chacune des trois familles de granites identifiées, notamment par rapport à leur source : (i) granites anciens anté-varisques, (ii) granites alumineux hercyniens, parfois à cordiérite, spatialement associés aux migmatites, (iii) leucogranites hercyniens souvent en massifs ou en filons sécants sur les migmatites et granites précédents ?

3.9 Est-ce que les gneiss de la formation ($t^f p^3$) pourraient être à l'origine des granites hercyniens reportés en figure 23 (cf. Fig. 3) ?



- τ : trachytes, avec brèches explosives et brèches de pente
- β : basaltes
- e-g : roches détritiques (Eocène-Oligocène)
- $M\gamma^3$: migmatites
- faille

Fig. 17. Extrait du Sud-Est de la carte géologique de Lyon à 1/250 000, vers Yssingeaux (Velay, secteur C, Fig. 1).

4. AUTOUR DU PARCOURS GÉOLOGIQUE DANS LE MCF (1,5 POINT)

Listez les événements et/ou formations géologiques majeurs, suivant l'ordre stratigraphique, que vous avez reconnus au cours de ce parcours géologique dans le MCF, contemporains ou non de la formation de la chaîne varisque.

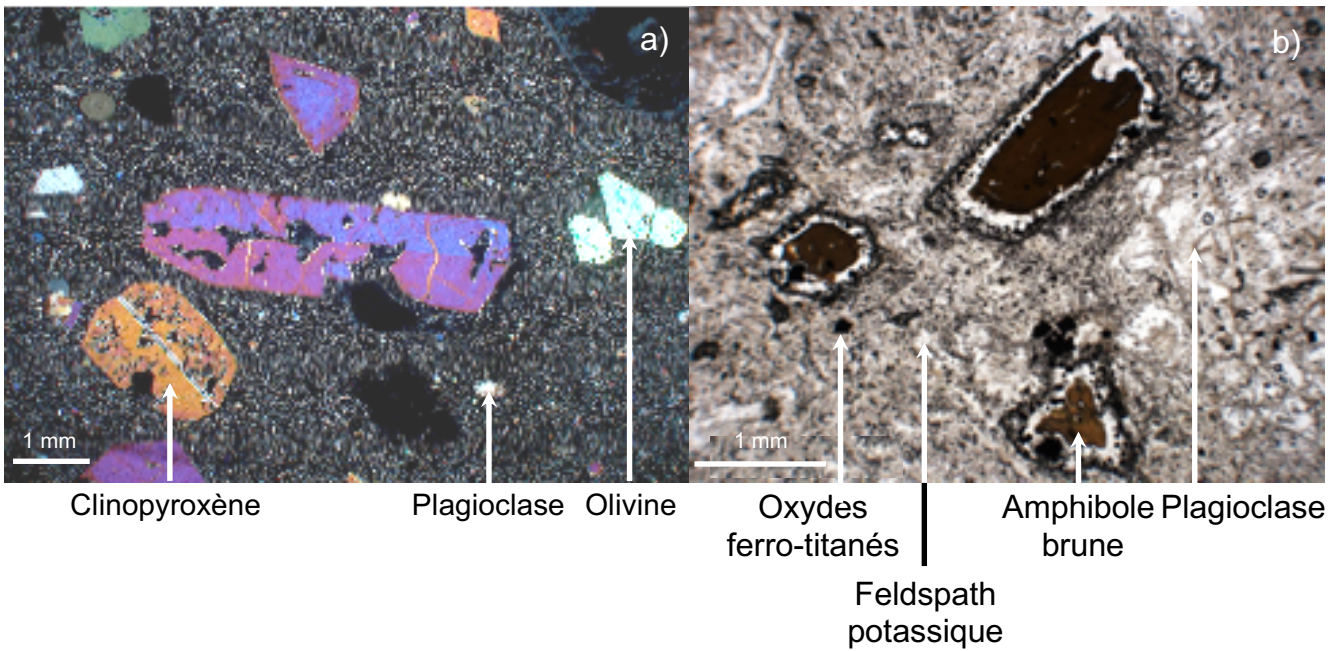


Fig. 18. Lames minces en lumière analysée de deux échantillons du Velay.
 Dans l'échantillon a, le fond de la roche présente des plagioclases, du clinopyroxène, peu d'olivines et des oxydes de Fe et Ti dispersés dans du verre.
 Dans l'échantillon b, les amphiboles brunes présentent une couronne réactionnelle riche en feldspaths associés à des clinopyroxènes et oxydes ferro-titanés. Le fond de la roche présente des feldspaths alcalins, de rares clinopyroxènes sodiques riches en titane, et des oxydes ferro-titanés dans une pâte vitreuse altérée, opacifiée.

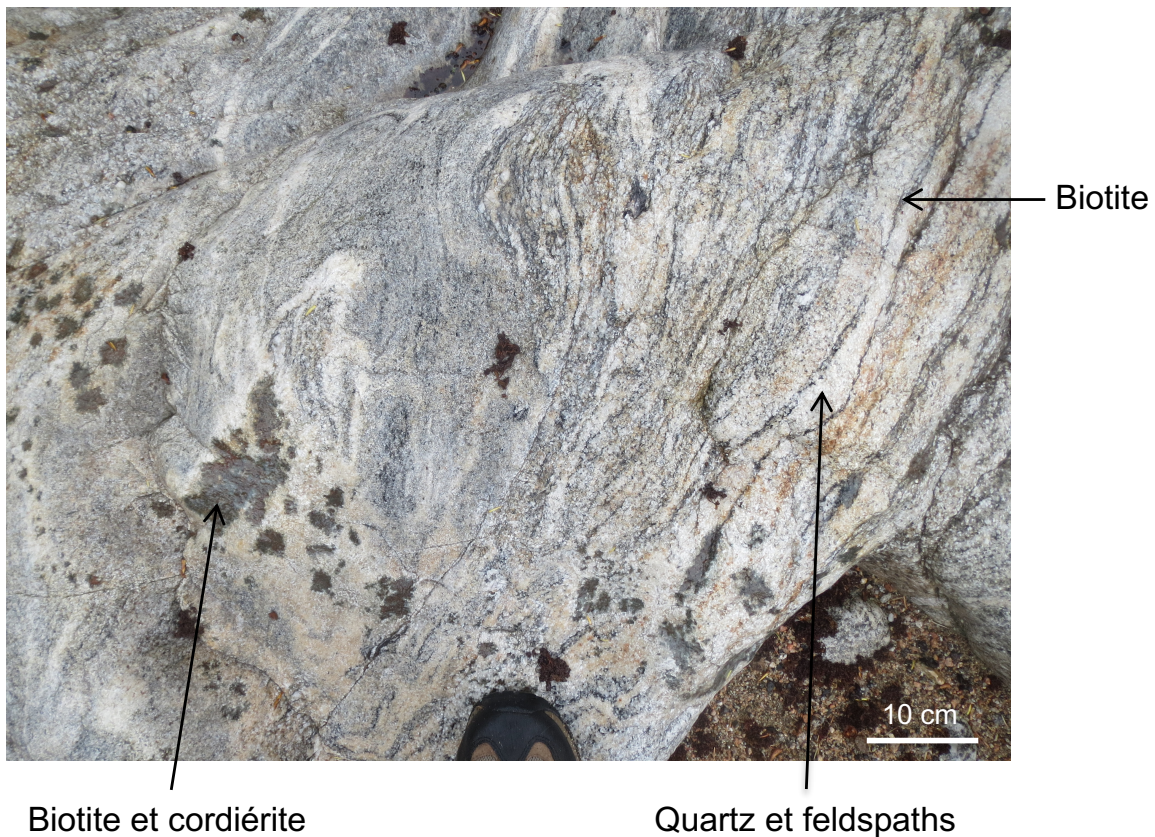


Fig. 20. Affleurement du socle métamorphique.
 La cordiérite ($Al_3Mg_2AlSi_5O_{18}$) est un minéral de métamorphisme souvent présent dans les migmatites, associée aux granites d'anatexie.
 [Vous disposez de la figure 20 afin d'avoir tous les éléments pour répondre à la question. En annexe, vous trouverez la même figure en version "transparente", afin de pouvoir indiquer directement vos réponses.]

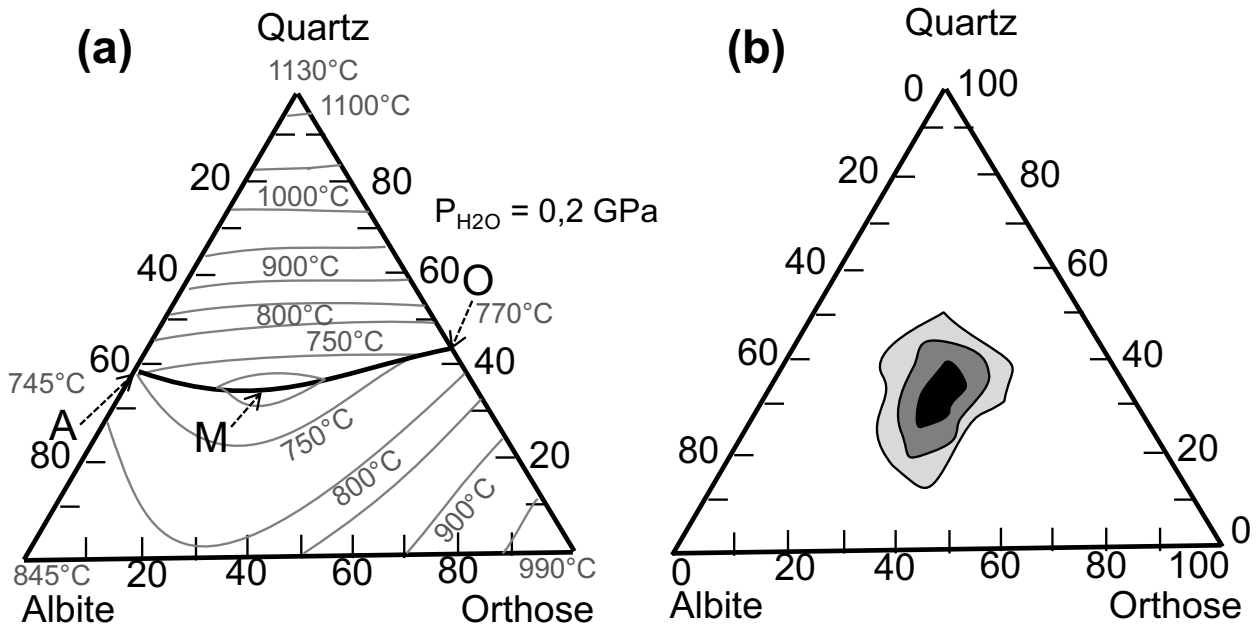


Fig. 21. a) Diagramme de phase du système Quartz – Albite - Orthose ; b) projection de la composition normative de 500 échantillons de granite répartis sur la surface de la Terre.

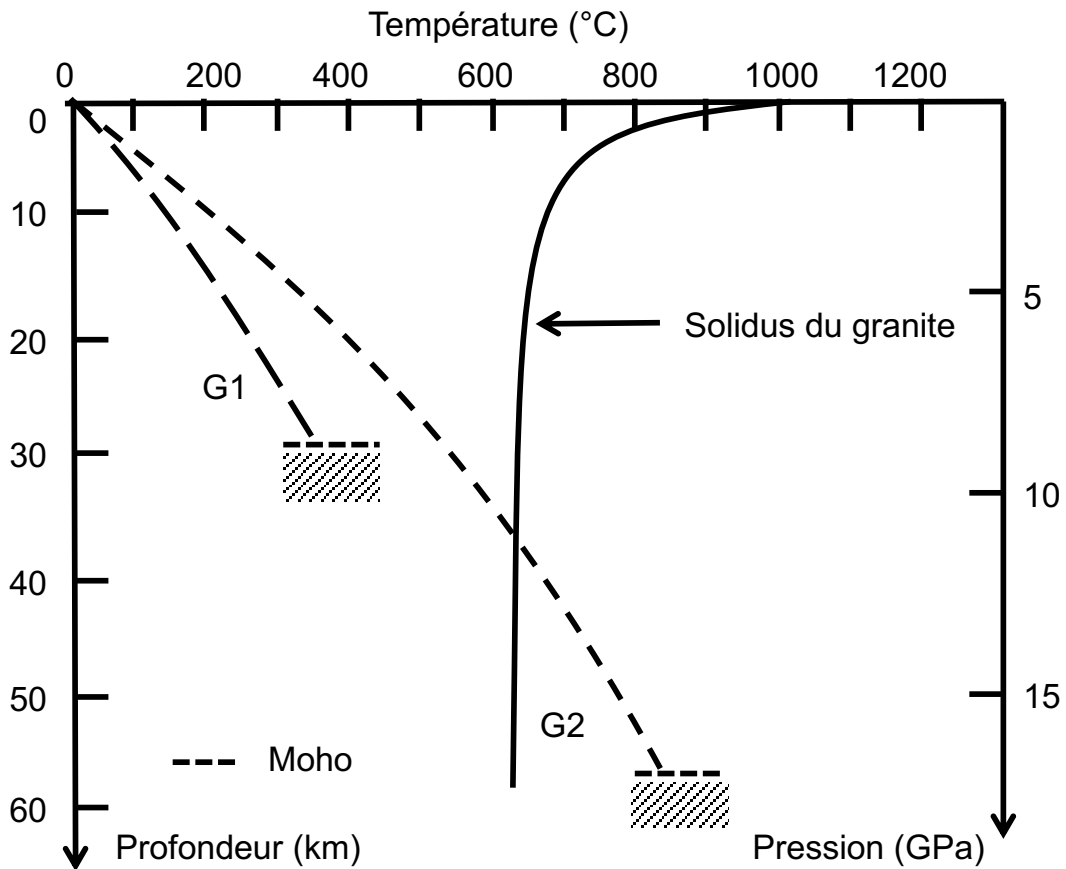


Fig. 22. Diagramme pression-température avec le solidus du granite et deux géothermes dessinés G1 et G2. G1, géotherme d'une croûte continentale normale, stable ; G2, géotherme d'une croûte continentale épaissie. La profondeur du Moho est indiquée dans les deux cas par un trait horizontal, en pointillé.

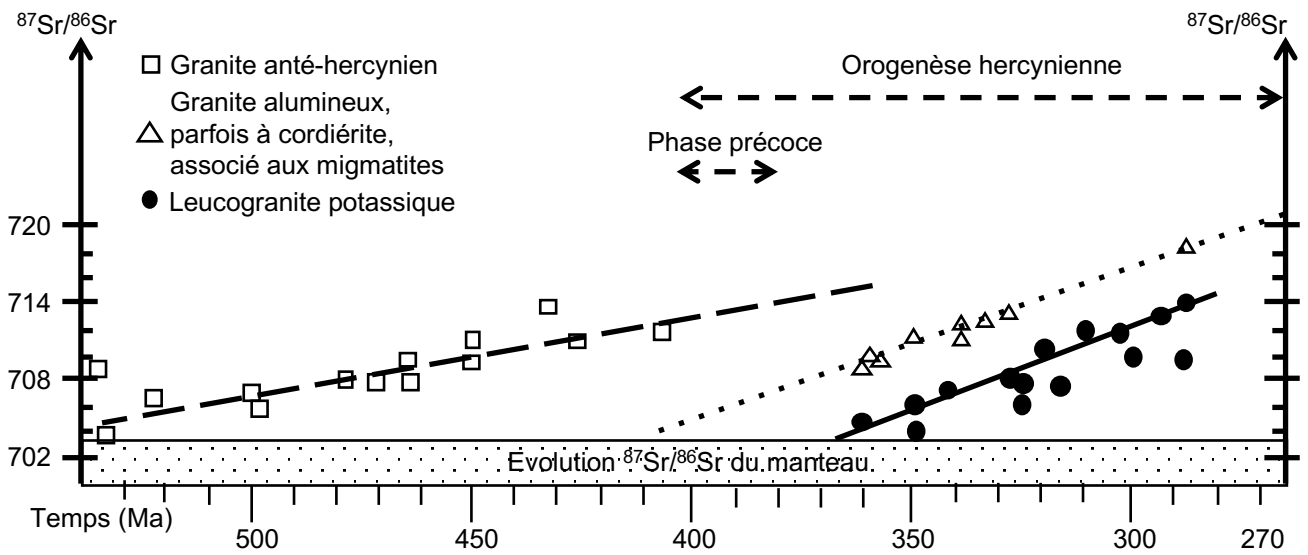


Fig. 23. Evolution du rapport initial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) des granites anté-hercyniens et hercyniens reportés en fonction de leur âge.

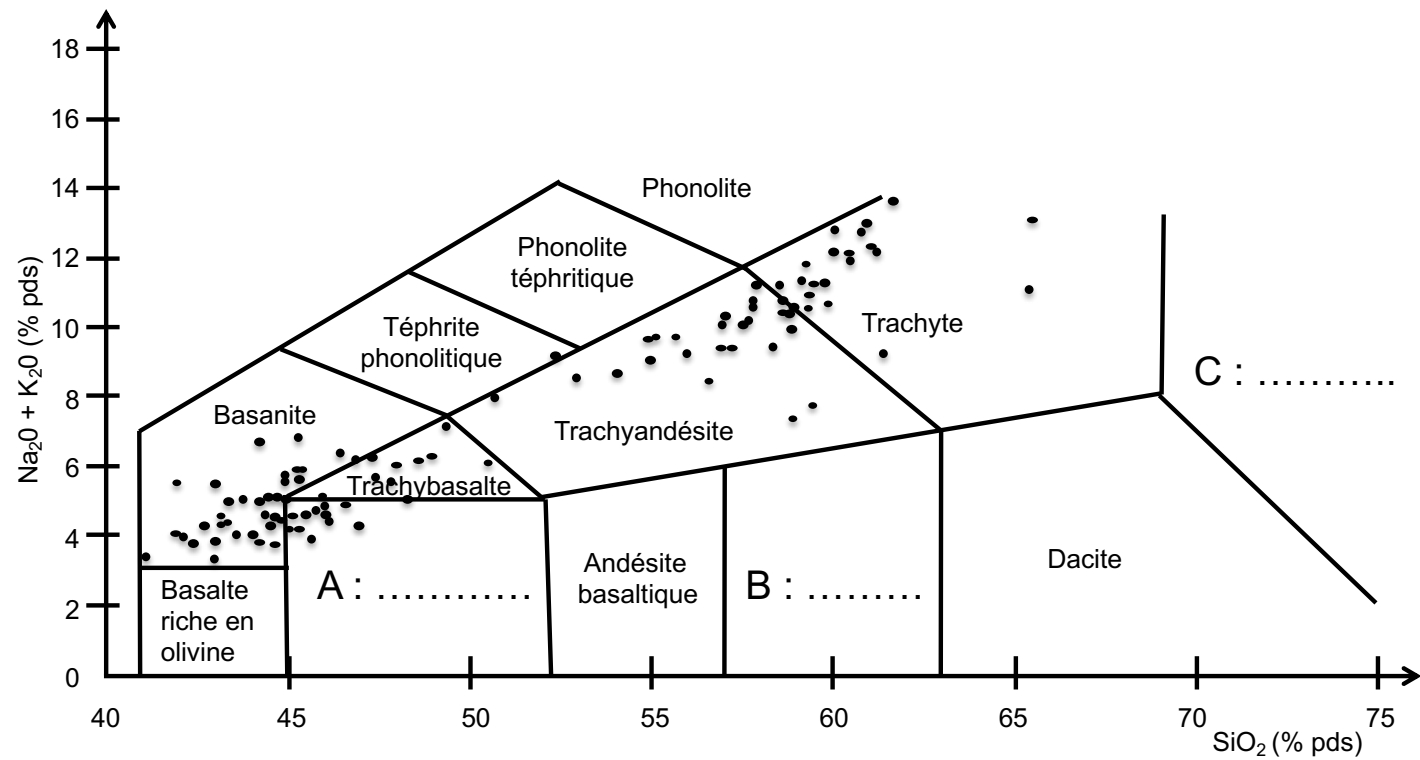


Fig. 19. Diagramme TAS ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2), relatif à l'évolution des laves du Velay.



Fig. 20. Affleurement du socle métamorphique.

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription : Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : Section/Spécialité/Série :

Epreuve : Matière : Session :

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

Bloc éditable



Légende

Fig. 3. Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Juillac (Limousin) dans le secteur Nord-Ouest (secteur A, Fig. 1), autour de Génis.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

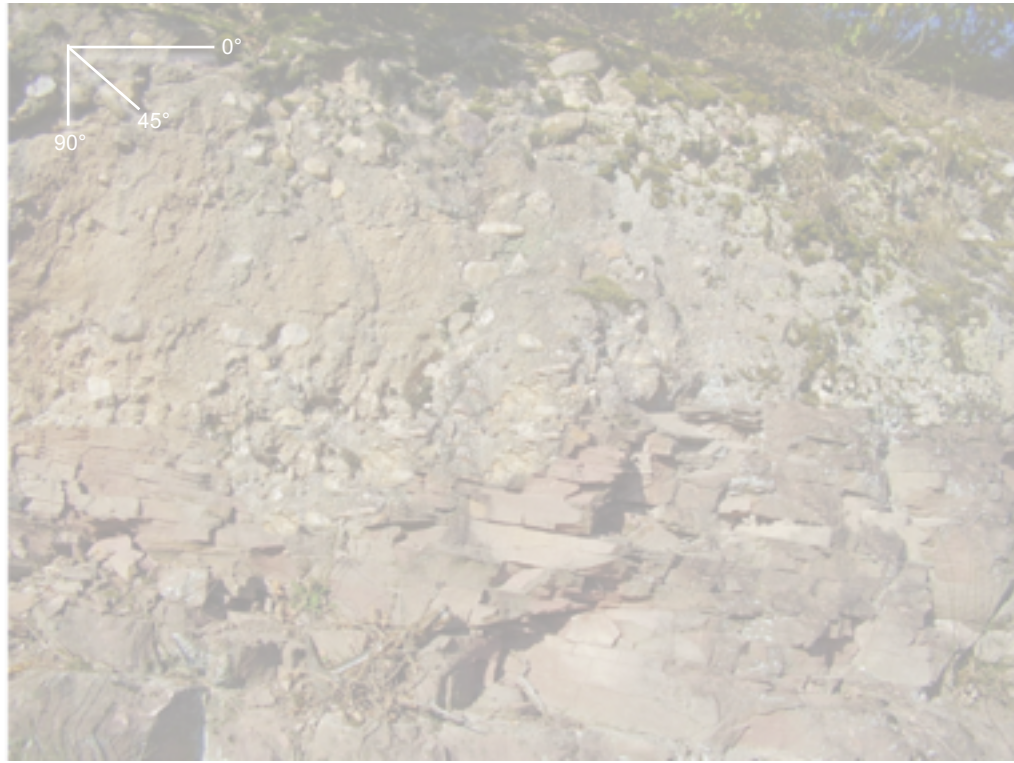


Fig. 4. Contact des grès fins carbonifères avec un conglomérat permien.

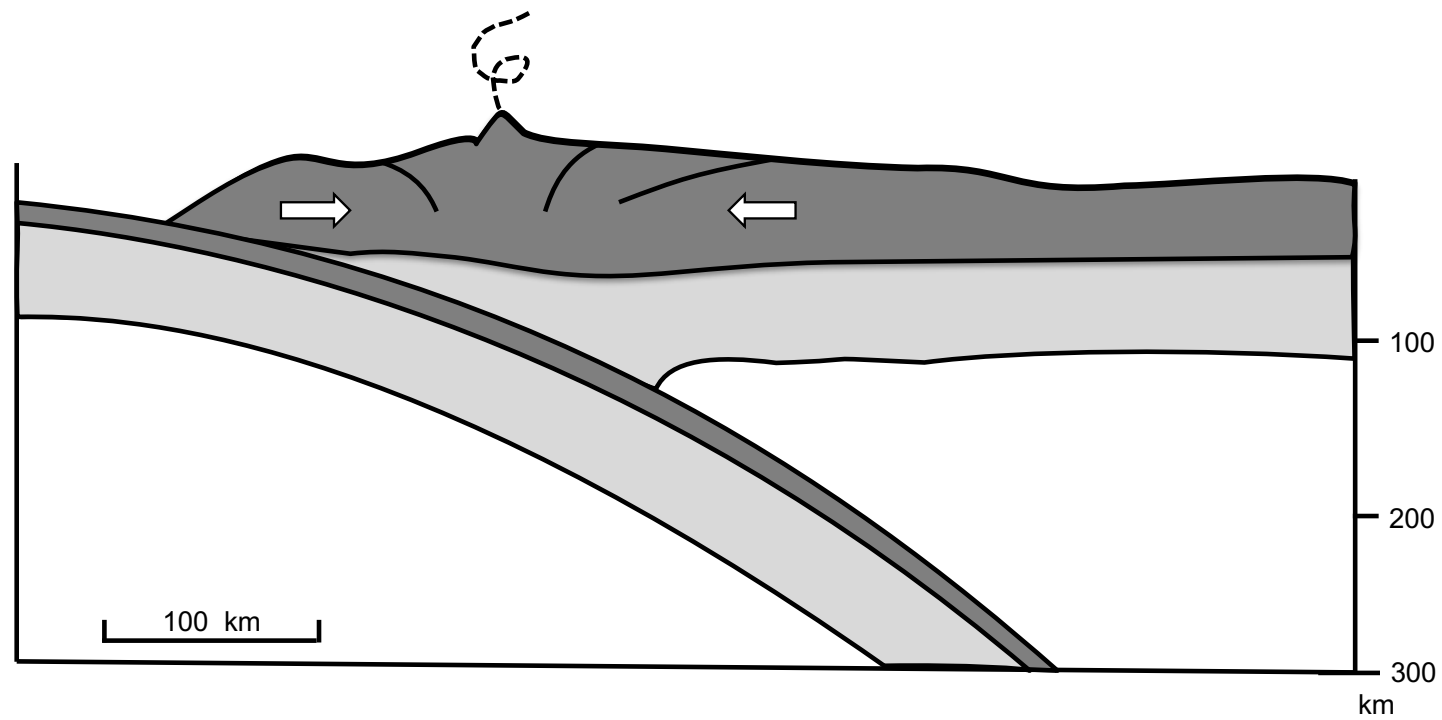


Fig. 6. Schéma géotectonique montrant une subduction en contexte compressif, site possible pour l'épanchement contemporain des rhyolites et des laves basiques de la formation ρ^3 .

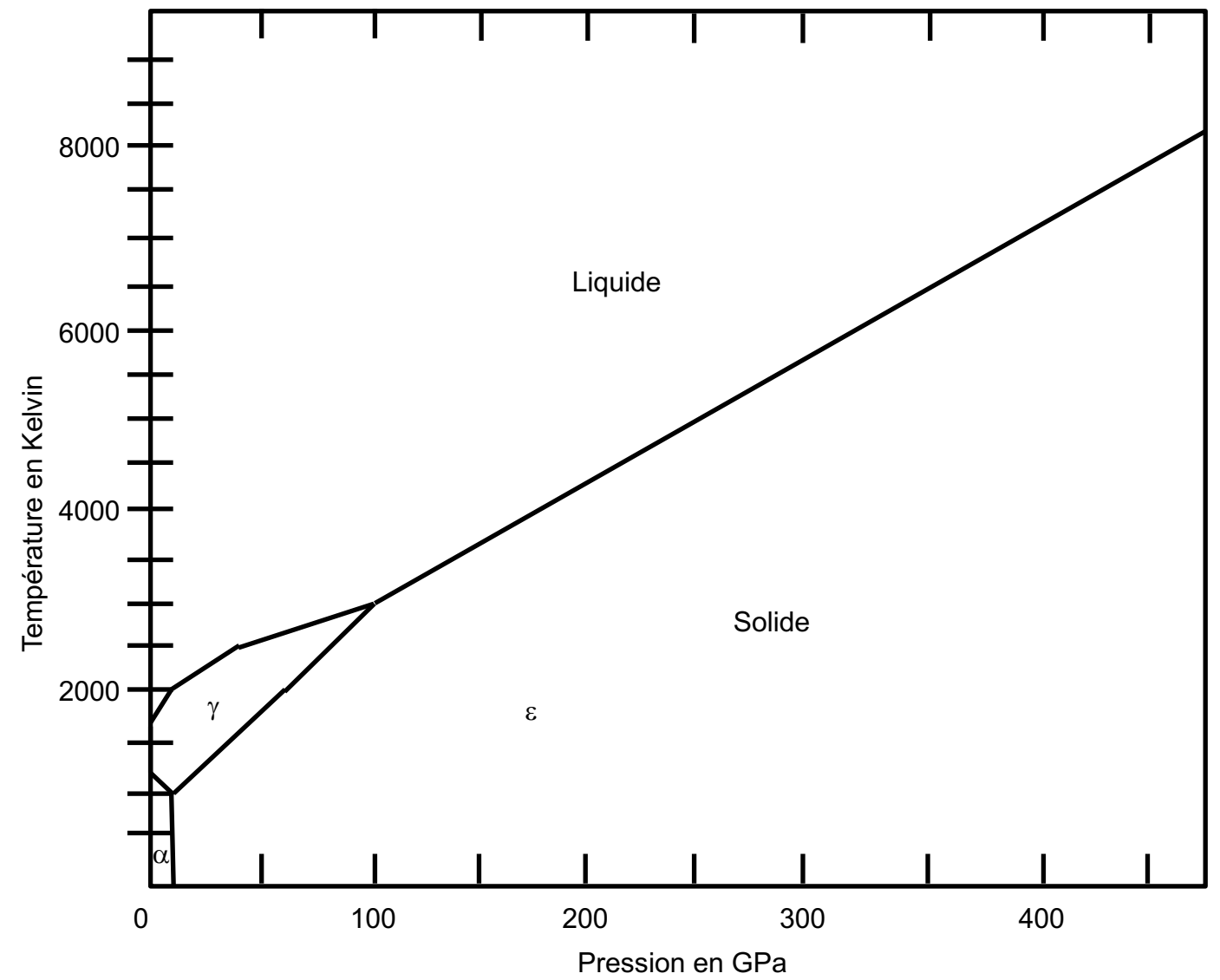


Fig. 16. Diagramme de phase du fer pur.
Les domaines avec α , β , et ϵ correspondent à différentes structures cristallines du fer.