

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 1, 6, 8, 9 et 11 en annexe sont à rendre obligatoirement avec votre copie, sans découpage ni collage.

OPHIOLITES

Les ophiolites constituent un excellent témoin des processus magmatiques se déroulant depuis le manteau jusqu'à la surface. Les ophiolites comportent des laves et des roches grenues sous-jacentes (cumulats) qui reposent sur des péridotites mantelliques, résidus de fusion. Les mécanismes de la fusion du manteau seront abordés à partir du diagramme ternaire olivine-grenat-clinopyroxène, et d'un diagramme pression-température illustrant le domaine de stabilité d'une péridotite de type lherzolite. Le massif ophiolitique de Seeb, en Oman, résulte de la mise en place de deux suites ophiolitiques successives. Un schéma structural sera à établir mettant en évidence l'organisation interne de ce massif, notamment la distribution de deux séquences cumulatives qui se rapportent respectivement aux deux suites ophiolitiques. Les deux séquences cumulatives résultent du fonctionnement de chambres magmatiques distinctes dont on caractérisera les produits à partir d'échantillons issus du massif de Seeb et du diagramme de phase clinopyroxène-plagioclase. Les massifs de péridotites, soumis à un climat tropical, peuvent conduire à des accumulations de métaux d'intérêt économique, comme le nickel en Nouvelle Calédonie. Le comportement de certains éléments constitutifs des péridotites lors du processus d'altération sera examiné.

1. FUSION PARTIELLE (5 points)

Le processus de fusion partielle du manteau entre 80 et 100 km peut être examiné au moyen du diagramme ternaire olivine - grenat - clinopyroxène (Fig. 1). Le point L correspond à la composition d'une lherzolite (cf. Fig. 2) qui subit un processus de fusion partielle.

1.1. Donnez un nom au point E (Fig. 1) et indiquez ses propriétés.

Quelle est la nature du liquide produit ?

Réalisez un schéma illustrant un assemblage de minéraux constitutifs d'une lherzolite lorsque la fusion vient de commencer, la proportion de liquide étant inférieure à 5%.

1.2. Sur la figure 1 (à rendre), reportez l'évolution de la composition de la péridotite résiduelle jusqu'à la disparition d'une des trois phases en présence. Quelle phase disparaît la première lors de la fusion ?

Dans le manteau terrestre, quel est le nom de la roche obtenue après la fusion d'une lherzolite qui conduit à la disparition de cette phase (cf. Fig. 2).

Réalisez un schéma illustrant ce résidu.

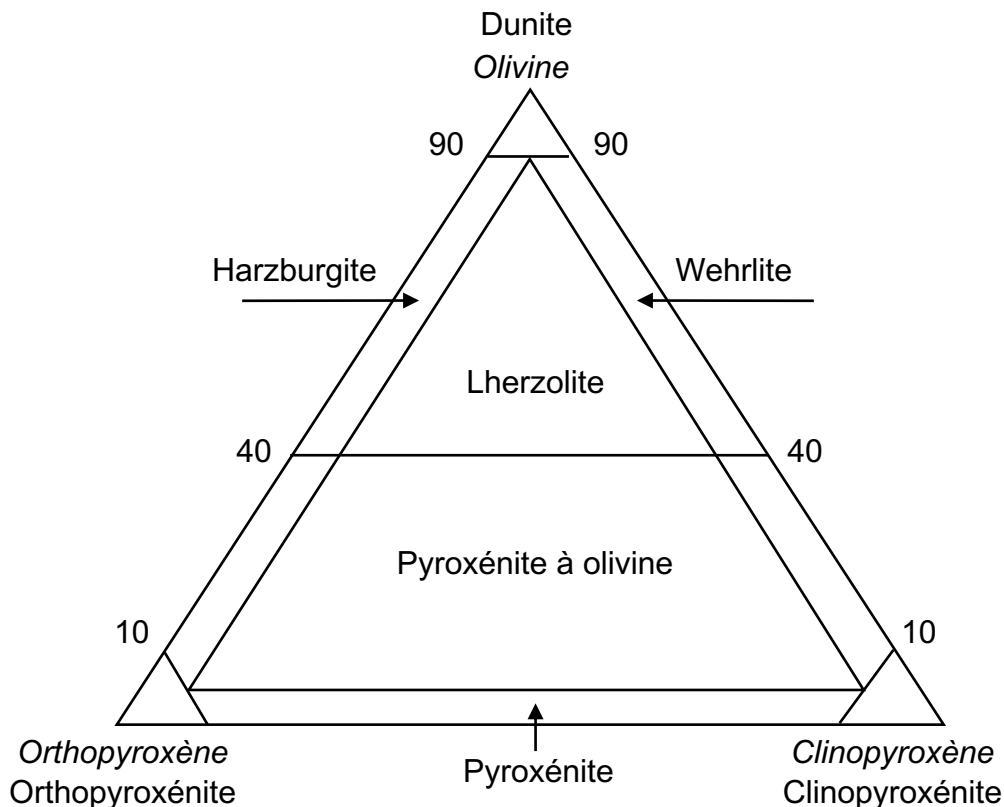


Figure 2. Nomenclature des péridotites et pyroxénites dans le diagramme olivine-orthopyroxène-clinopyroxène.

1.3. Une péridotite mantellique a été positionnée au niveau du point P (Fig. 3). Expliquez les principaux processus, schématisés par les vecteurs 1, 2 et 3, qui peuvent conduire à la fusion partielle de cette péridotite P.

Indiquez dans quels sites géotectoniques remarquables, les conditions de fusion retenues d'après les vecteurs 1, 2 et 3 sont les plus susceptibles d'être rencontrées.

1.4. Calcul d'un taux de fusion partielle.

Soit, C_M , C_L et C_R , les concentrations respectives d'un élément considéré dans le manteau initial, le liquide issu de la fusion et le manteau résiduel. Soit m_M , m_L et m_R , les masses du manteau initial, du liquide issu de la fusion et du manteau résiduel. En considérant que la quantité de matière a été conservée lors de la fusion, exprimez la concentration de cet élément dans le manteau initial non fondu, en fonction de la concentration de cet élément dans le liquide issu de la fusion, de D et f .

Taux de fusion : $f = m_L / m_M$; Coefficient de partage : $D = C_R / C_L$.

Exprimez la valeur de f pour un faible coefficient de partage inférieur à 0,1.

1.5. Dans les ophiolites, la teneur moyenne en titane des laves varie d'une chaîne ophiolitique à une autre, et parfois aussi, au sein de la même chaîne. D'après la relation que vous avez déterminée à la question 1.4, quels sont les principaux facteurs qui influent sur la concentration d'un élément dans un liquide basique issu de la fusion du manteau ?

1.6. Estimez le taux de fusion partielle responsable de la formation du basalte de ride médio-océanique, à partir de la péridotite riche en TiO_2 , en utilisant le graphique de la figure 4 (cf. Tab. 1).

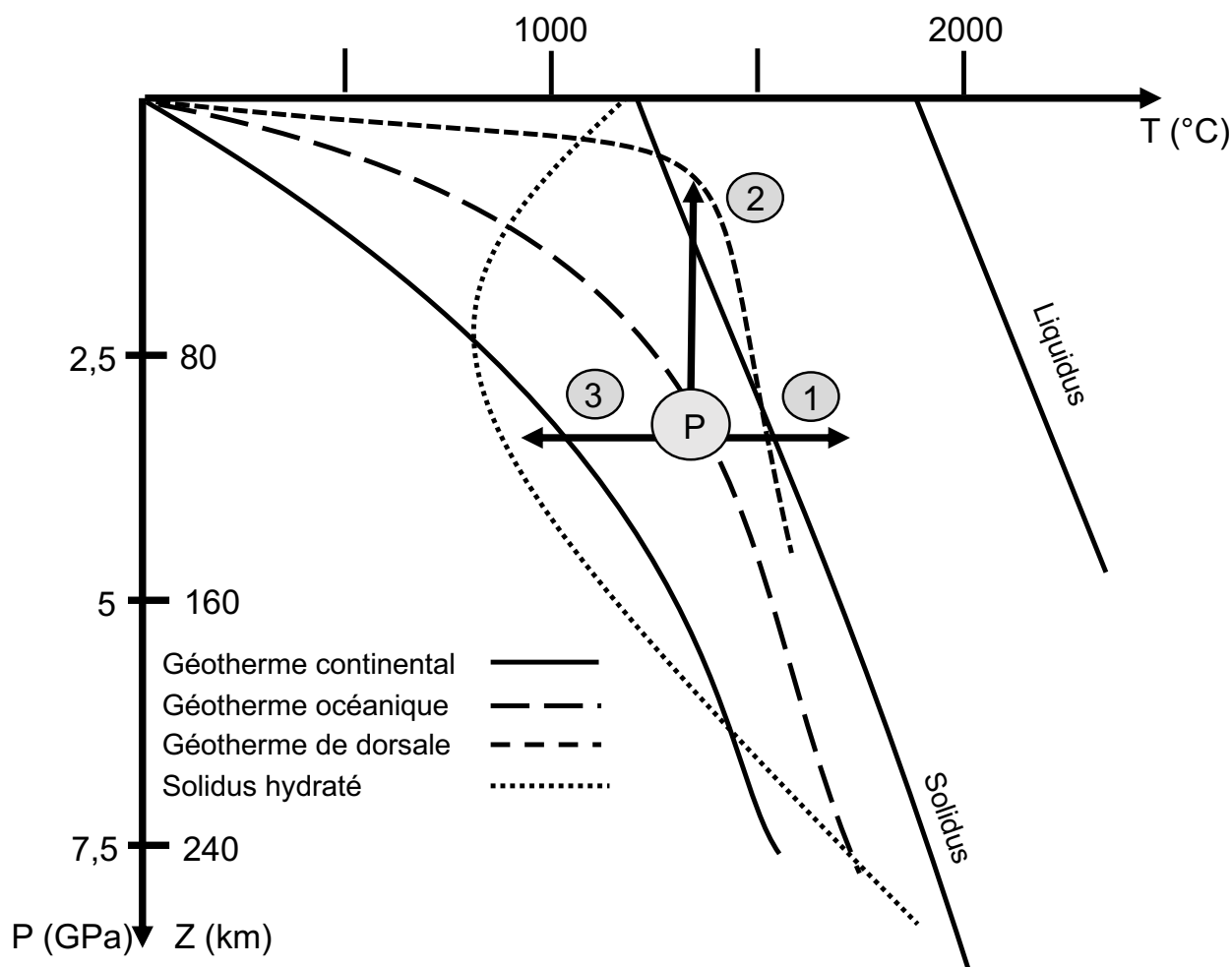


Figure 3. Variation de pression et température dans la Terre montrant le domaine de stabilité des péridotites, sous des conditions anhydre et hydratée, ainsi que les principaux géothermes. P, péridotite ; 1, 2 et 3, vecteurs soulignant respectivement trois possibilités pour une péridotite donnée P d'entrer en fusion.

Tableau 1. Composition, en masse d'oxydes, d'un basalte de ride médio-océanique et de deux péridotites (Per 1 et Per 2).

	Basalte	Per 1	Per 2
SiO₂	47,09	44,91	44,45
TiO₂	1,47	0,34	0,1
Al₂O₃	15,69	3,35	0,5
FeO	9,81	7,4	7,17
MnO	0,15	0,1	0,1
MgO	12,26	41,5	47,47
CaO	9,81	2	0,1
Na₂O	3,43	0,3	0,1
K₂O	0,29	0,1	0,01
	100	100	100

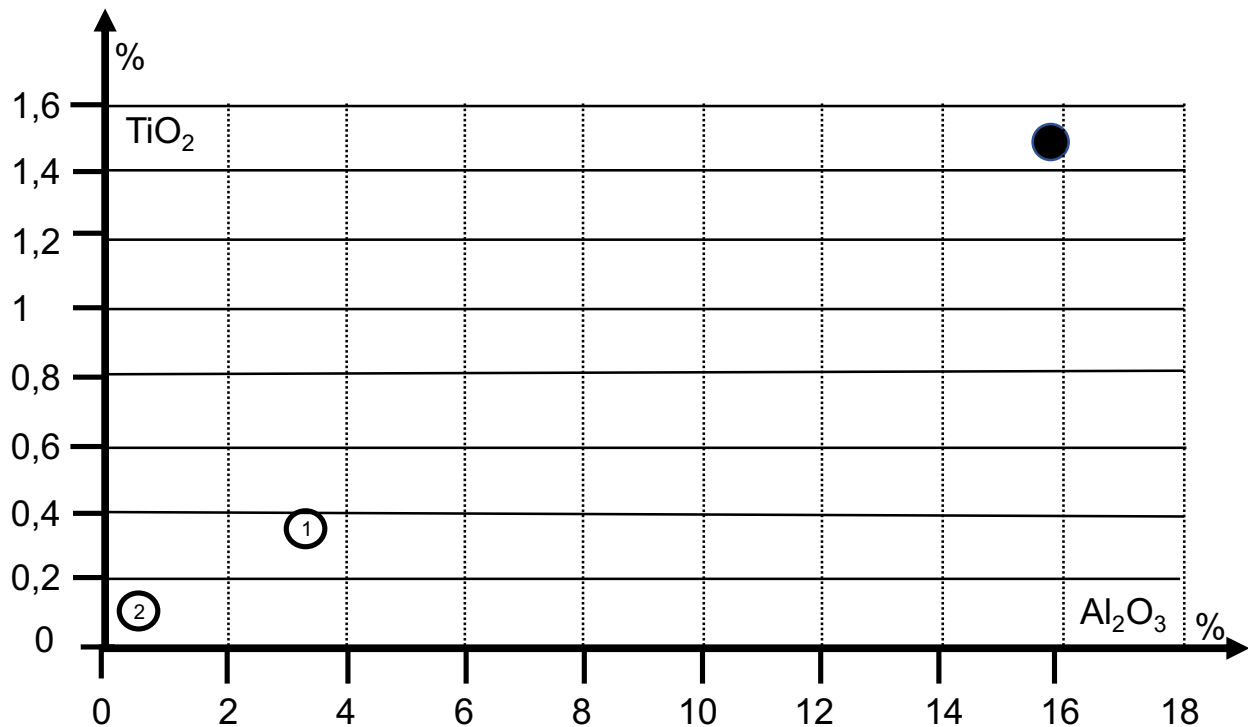


Figure 4. Graphique illustrant la composition respective en pourcentage d'oxydes de titane et d'aluminium d'un basalte (en noir) et des deux péridotites (cf. Tab. 1).

1.7. A partir de la distribution des éléments dans les péridotites et le basalte (cf. Tab. 1 et Fig. 4), comment qualifiez-vous la spécificité des éléments qui entrent soit dans la phase liquide, soit dans le résidu solide ? Listez ces éléments selon leur spécificité respective.

2. LES OPHIOLITES D'OMAN : CONTEXTE GEOLOGIQUE (6,5 points)

Deux suites ophiolitiques ont été reconnues, notamment dans le massif de Seeb (Fig. 5 et Fig. 6). On peut distinguer une suite ophiolitique initiale 1, comportant une séquence de cumulats bien rubanée et riche en plagioclases, et une suite ophiolitique 2, avec une séquence de cumulats, massive et riche en pyroxènes, qui est intrusive dans la précédente. Dans ce qui suit, les deux suites ophiolitiques seront appelées respectivement ophiolite 1 et ophiolite 2.

2.1. Décrivez succinctement l'affleurement (Figs 5a et b) illustrant le contact entre les deux séquences plutoniques.

Décrivez et nommez les roches (Figs 5c et d).

2.2. Etablissez un schéma structural à partir de la carte géologique du secteur de Seeb (Fig. 6, à rendre). Quels différents types de contact pouvez-vous mettre en évidence entre l'ophiolite 1 et l'ophiolite 2 ? Soulignez ces contacts par des tracés différents.

Dans l'ophiolite 1, tracez le contact entre les péridotites du manteau et la séquence de cumulats riches en plagioclases, ainsi que le contact entre cette séquence plutonique et le complexe filonien ou les laves.

Soulignez par une flèche F1, allant des péridotites mantelliques aux laves, l'épaisseur maximale apparente de l'ophiolite 1.

De la même façon, reportez une seconde flèche F2 illustrant l'extension maximale de l'ophiolite 2, depuis son contact basal avec l'ophiolite 1, jusqu'aux laves sommitales, basaltiques à andésitiques.

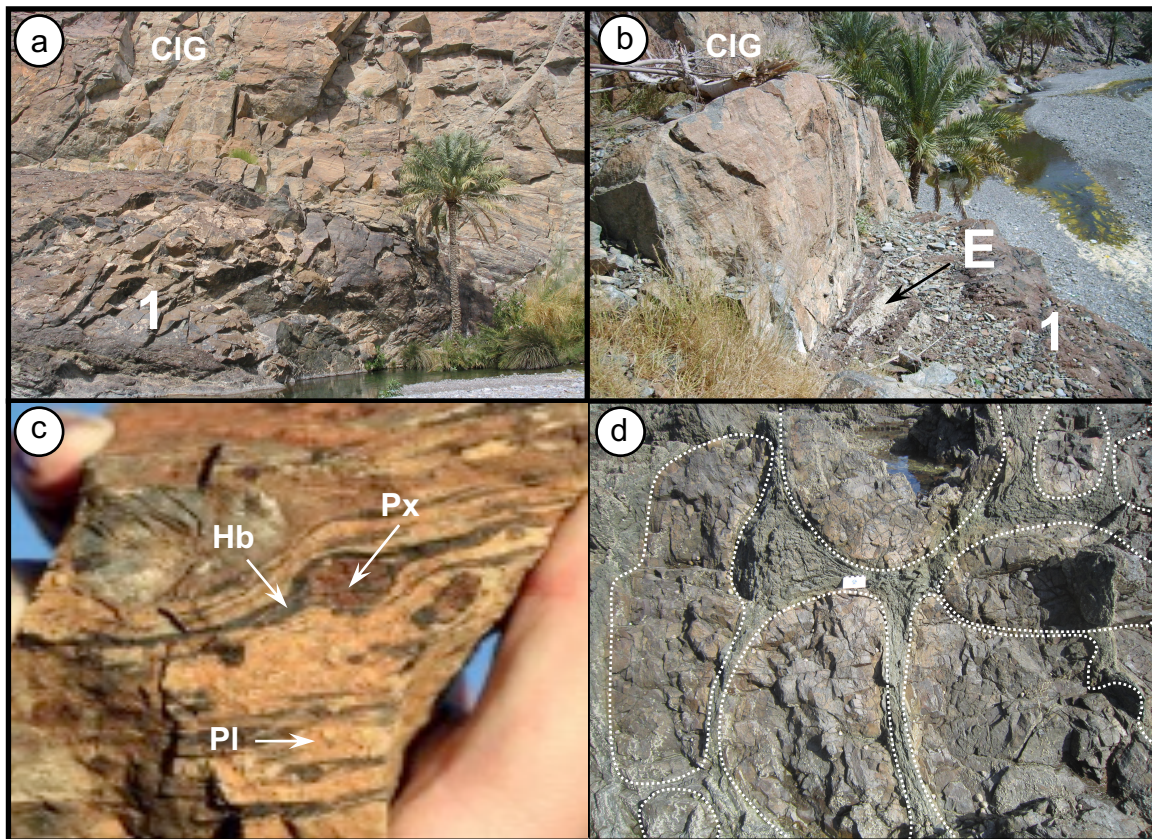


Figure 5. Séquences cumulatives des ophiolites d'Oman.

a, Intrusion tardive de wehrlite (1) dans les gabbros rubanés leucocrates de la suite ophiolitique 1 (CIG) ; b, détail du contact entre l'intrusion de wehrlite (1) et les gabbros rubanés (CIG) ; E, enclaves de gabbro rubané dans la wehrlite ; c, roche à la partie supérieure de l'intrusion, métamorphisée en faciès schistes verts ; Px, pyroxène ; Pl, plagioclase ; Hb, hornblende (amphibole) ; d, laves de la suite ophiolitique 1.

2.3. La séquence cumulative intrusive de l'ophiolite 2 renferme localement des enclaves (cf. Fig. 5b et Fig. 6), surtout des gabbros. Précisez la localisation préférentielle des enclaves (cf. Fig. 6) ? Justifiez votre réponse.

Indiquez sur le schéma structural, par la lettre X, la localisation d'un volume important des cumulats de l'ophiolite 1, enclavés dans ceux de l'ophiolite 2 (Fig. 6). Tracez la limite de cette enclave X.

2.4. Indiquez l'orientation, la nature et la chronologie des grands systèmes de failles recoupant les ophiolites. Dessinez le système de contraintes compatible avec ces failles.

3. CRISTALLISATION FRACTIONNEE ET SEQUENCES CUMULATIVES DE L'OMAN (5 points)

3.1. Des roches représentatives des deux séquences magmatiques rattachées respectivement aux ophiolites 1 et 2 sont illustrées sur la figure 7.

Donnez un nom à la roche de la photographie 7c (cf. Fig. 2). Donnez un nom aux deux roches des photographies 7b et 7d. Justifiez votre réponse.

3.2. Indiquez l'ordre de cristallisation des minéraux des deux séquences cumulatives rattachées respectivement aux ophiolites 1 (Figs 7 a et b) et 2 (Figs 7 c et d). Que constatez-vous ?

3.3. Sur la figure 8 (à rendre), indiquez par la lettre C, la projection de la composition d'un liquide susceptible de donner, en se refroidissant, la succession des minéraux observés dans la séquence cumulative de l'ophiolite 2. Tracez le parcours de ce liquide jusqu'à sa disparition totale (Fig. 8), et justifiez la position de ce point C.

On indiquera par la lettre O, la projection de la composition d'un liquide ayant donné les premiers cumulats de l'ophiolite 1, représentés en figures 7 a et b.

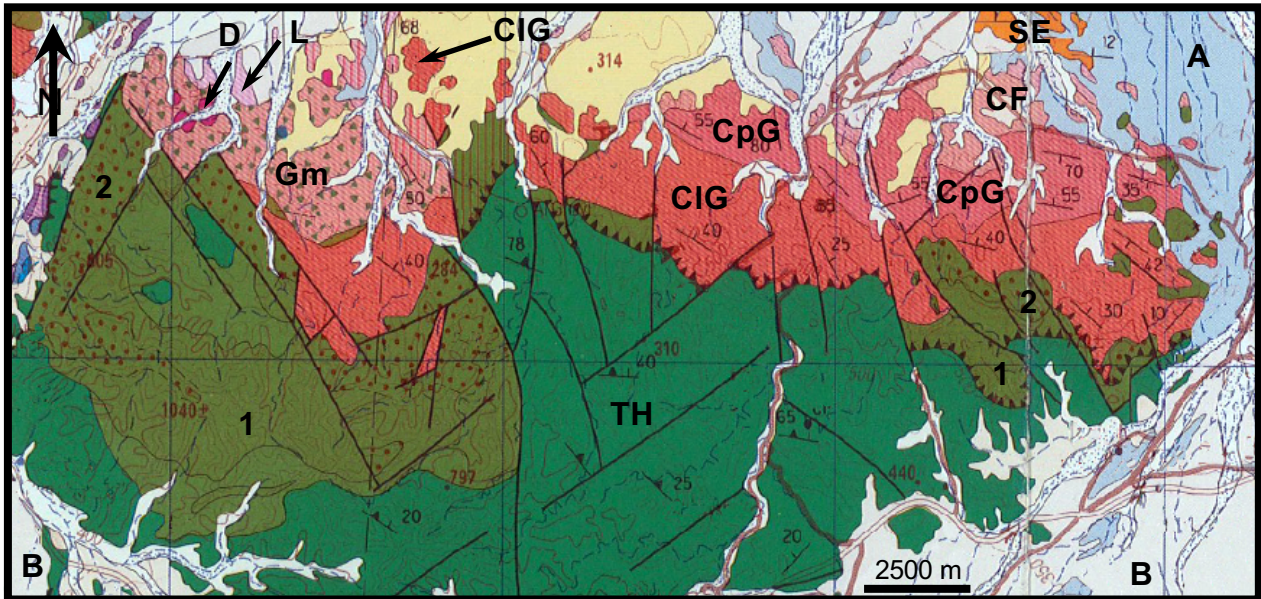


Figure 6. Extrait de la carte géologique de Seeb, au 1/250 000, Oman.

Afin de répondre à la question, vous disposez de la même figure en version "calque" avec les documents à rendre.

3.4. Le rapport Al/Ca (Fig. 8) varie sur l'axe clinopyroxène (diopside) - plagioclase (anorthite).

Que pouvez-vous en conclure quant à l'évolution de la composition des liquides parents des deux séquences cumulatives respectivement rattachées aux ophiolites 1 et 2 (cf. Fig. 7) ?

3.5. Sur la figure 9 (à rendre), tracez, au moyen de deux couleurs différentes, l'évolution de la composition du liquide et de celle du solide (plagioclase) coexistant lors du refroidissement. On suppose que le solide a toujours été maintenu en contact avec le liquide et qu'il a cristallisé en équilibre avec ce liquide.

Indiquez la composition du solide initial S1 et celle du solide final S2 que l'on reportera sur la figure 9. A 1350°C, calculez les proportions relatives de liquide L₃ et de solide S₃ en équilibre.

3.6. Dans les cumulats ophiolitiques, les plagioclases sont quelquefois zonés (Fig. 10). Sur la figure 11 (à rendre), reportez les six compositions du plagioclase zoné (cf. Fig.10). Indiquez, par un chemin fléché de 1 à 6, l'évolution de la composition du plagioclase avec le temps.

Que constatez-vous ?

Comment expliquez-vous la composition du plagioclase à An₆₀ (point 4) lors de sa cristallisation au sein d'un magma (Fig. 11) ?

Comment expliquez-vous, toujours d'un point de vue magmatique, la présence de bordures très sodiques autour du plagioclase (cf. Fig. 9 et Fig. 10).

4. DE LA DYNAMIQUE DE L'ALTERATION DES OPHIOLITES A LA FORMATION DE RESSOURCES MINERALES (3,5 points)

Lorsqu'un massif ophiolitique est à l'affleurement, il est soumis à de multiples processus physico-chimiques d'altération. Au-dessus du protolithe ultramafique, se développe un profil d'altération d'épaisseur et de nature variables (Fig. 12).

4.1. Définissez l'altération météorique en se limitant aux processus chimiques.

Quel est le rôle majeur des fractures lors de l'altération (Fig. 12) ?

LEGENDE

 Foliation (Figure 6, carte géologique de Seeb)

 Pendage

 } Failles

  Quaternaire : (A) alluvions anciennes, (B) alluvions récentes

 Quaternaire : dunes éoliennes

 Tertiaire : calcaires et marnes

SUITE OPHIOLITIQUE 2

 Laves supérieures : basaltes à andésites

 Diorite et granite sodique

 Filons de basaltes et dolérites dans gabbros (> 30%)

 Gabbros massifs, en faciès schistes verts, et/ou avec brèches magmatiques et filons

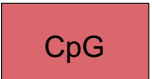
 Gabbros riches en orthopyroxène, laminés ou pas

 Cumulats ultramafiques :
1 - dunite, wehrlite, clinopyroxénite, métagabbros
2 - présence d'enclaves



SUITE OPHIOLITIQUE 1

 Complexe filonien et laves

 Gabbros laminés

 Gabbros rubanés à olivine et roches plutoniques à olivine et plagioclase

 Harzburgites avec passées dunitiques

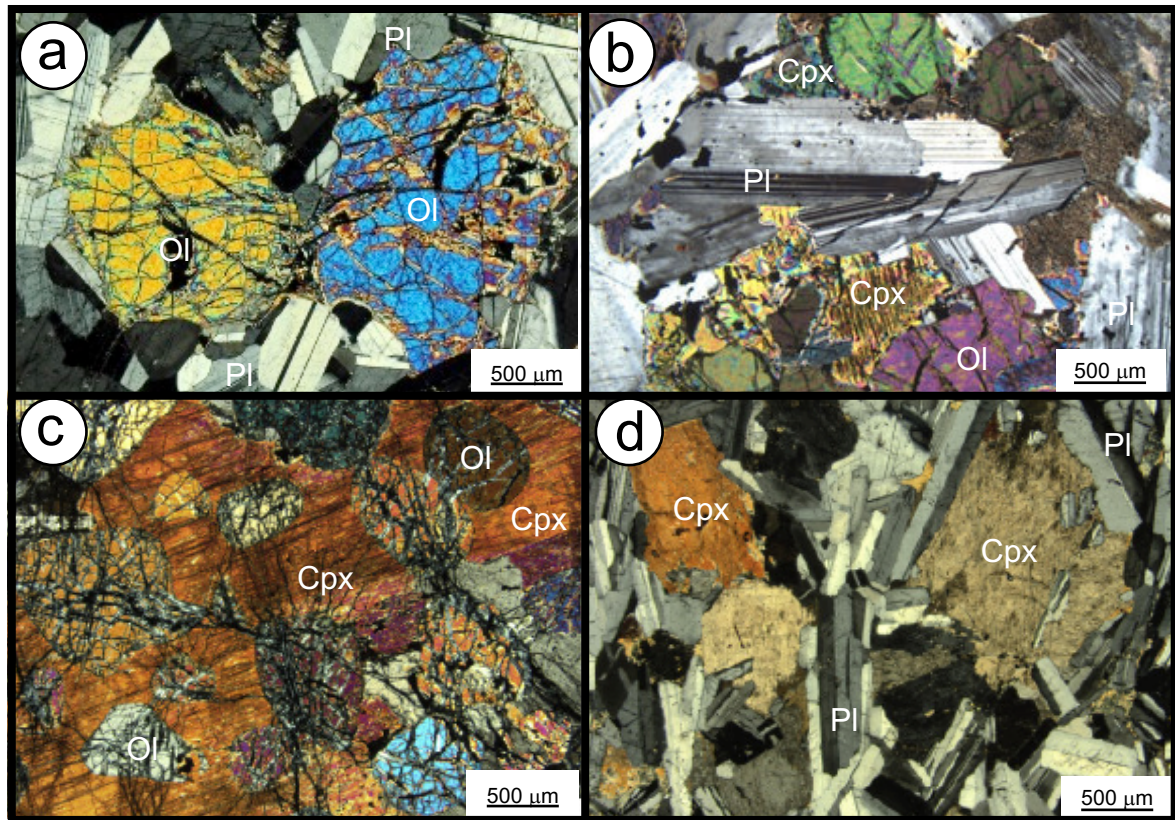


Figure 7. Cumulats issus des deux séquences cumulatives du massif de Seeb : ophiolite 1 (a et b) et ophiolite 2 (c et d). Les roches b et d sont stratigraphiquement situées au-dessus des roches a et c, respectivement. Photographies prises au microscope optique en LPA (lumière polarisée analysée). Ol, olivine ; Cpx, clinopyroxène ; Pl, plagioclase.

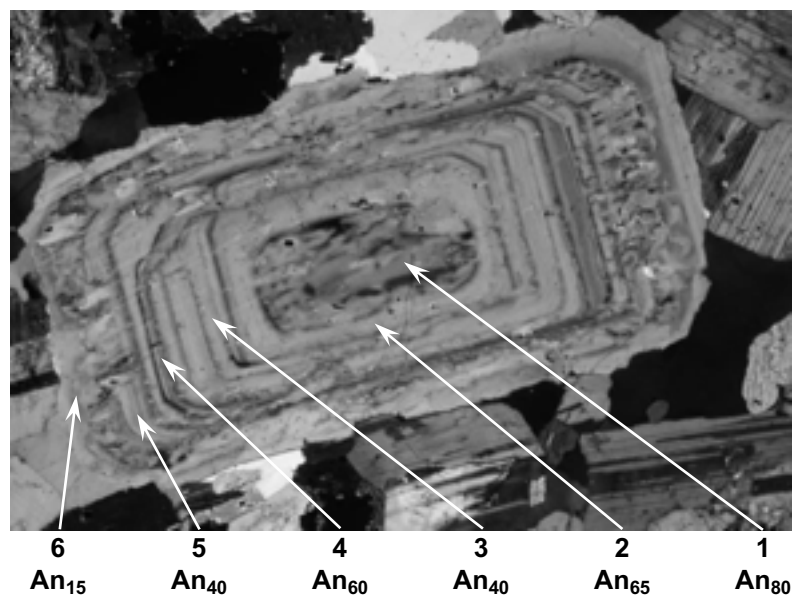


Figure 10. Plagioclase zoné (x10). Les valeurs en mole d'anorthite (An%) sont représentatives de la composition des zones successives autour du cœur calcique. Ces zones sont numérotées de 1 à 6.

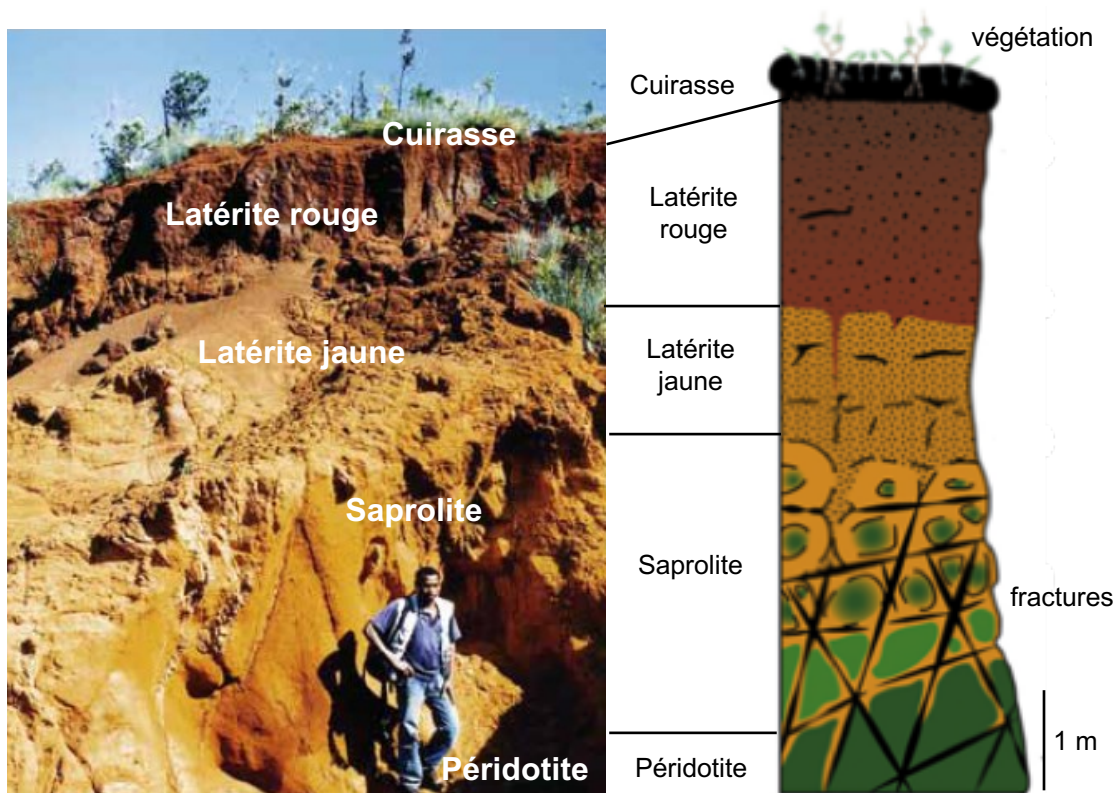


Figure 12. Profil latéritique sur des péridotites mantelliques soumises à un climat tropical humide.

4.2. La saprolite (Fig. 12) est le premier horizon d'altération au-dessus des péridotites massives. Dans cet horizon, des blocs de péridotites, plus ou moins préservés, sont présents dans une matrice latéritique.

A quel produit d'altération classique des granites sous climat tempéré peut-on comparer la saprolite ?

4.3. Un massif de péridotite est soumis à l'altération météorique sous climat tropical. Mg et Si, les principaux composants chimiques des roches ultramafiques (cf. Tab. 1, Fig. 2), sont éliminés lors de l'altération, à l'opposé de Al et Fe. Comment expliquez-vous cette différence de comportement (cf. Fig. 13) ?

4.4. La production de nickel est vitale pour le développement économique moderne, avec son emploi dans les aciers inoxydables et maintenant les batteries électriques. La production de Ni latéritique de Nouvelle-Calédonie avoisine 200 000 t/an. Le nickel participe à la composition de silicates et hydroxydes formés à proximité de la surface, au-dessus des péridotites massives.

Analysez l'évolution de la distribution verticale des différents paramètres géochimiques (Fig. 14). En particulier, dans quel horizon s'effectue préférentiellement l'accumulation du nickel ? Comment pouvez-vous expliquer les teneurs les plus élevées ?

4.5. A partir de vos connaissances sur l'altération du granite, quels sont les minéraux de néoformation que l'on est susceptible de rencontrer dans les horizons latéritiques (Fig. 12 et Fig. 14) ?

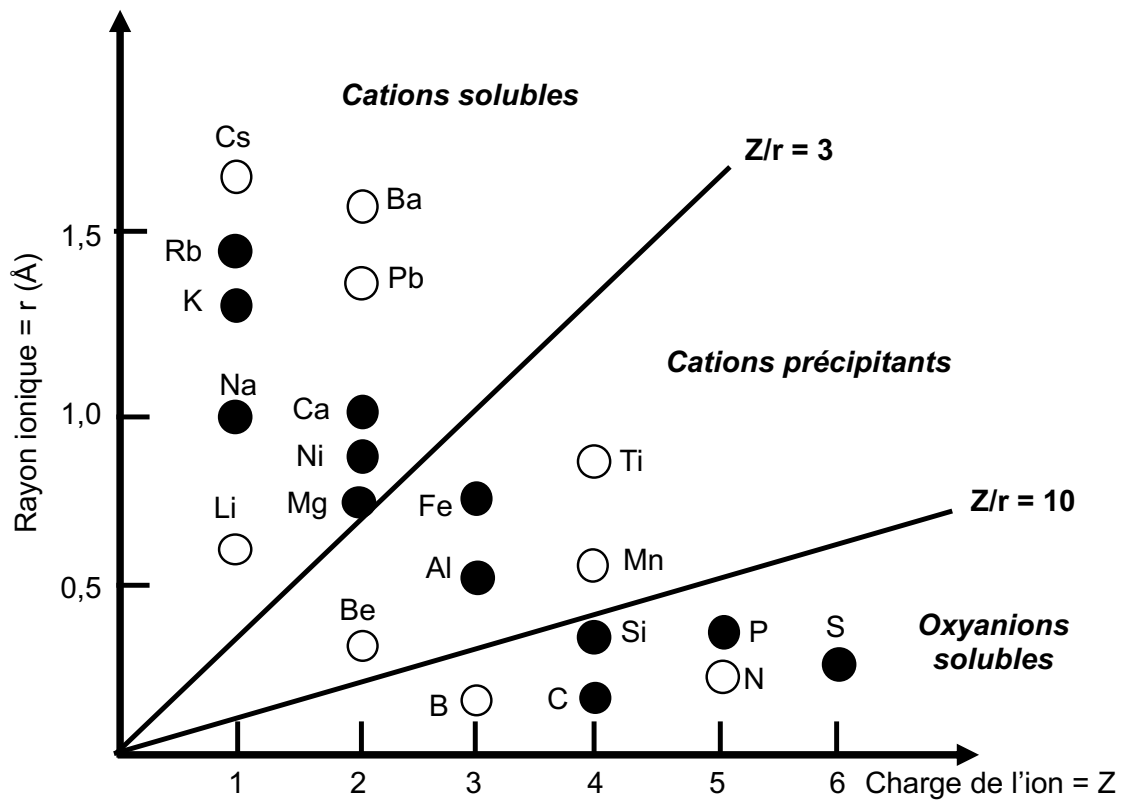


Figure 13. Diagramme de Goldschmidt.
Cercles en noir : principaux ions présents dans les roches silicatées.

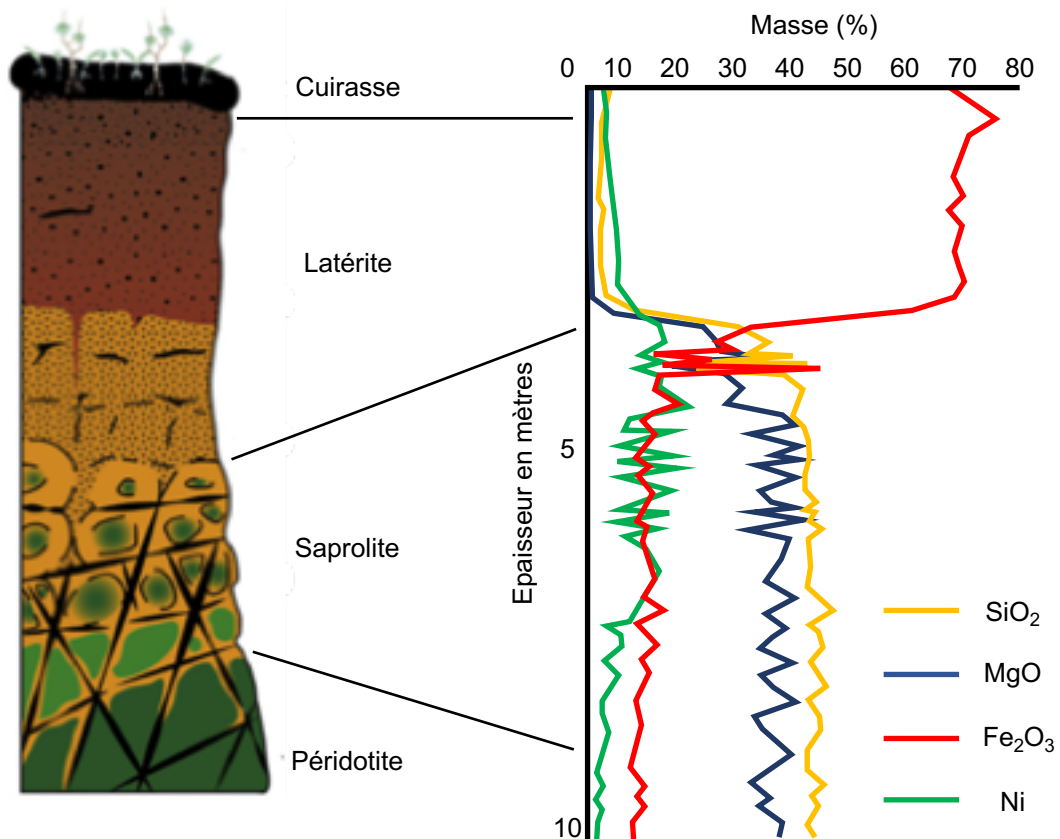


Figure 14. Profil d'altération latéritique d'une péridotite et variations géochimiques associées.
Pour une meilleure lisibilité, la teneur en nickel a été multipliée par un facteur 5.

Bloc éditable

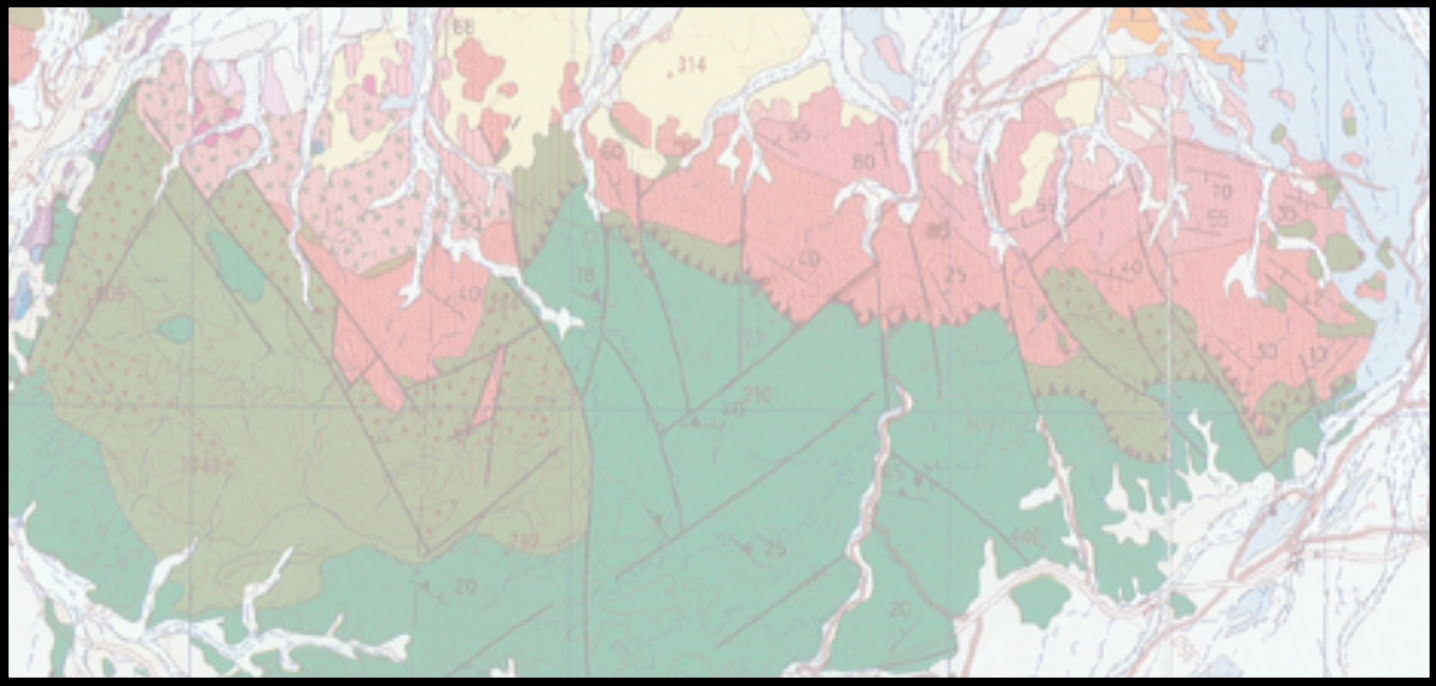
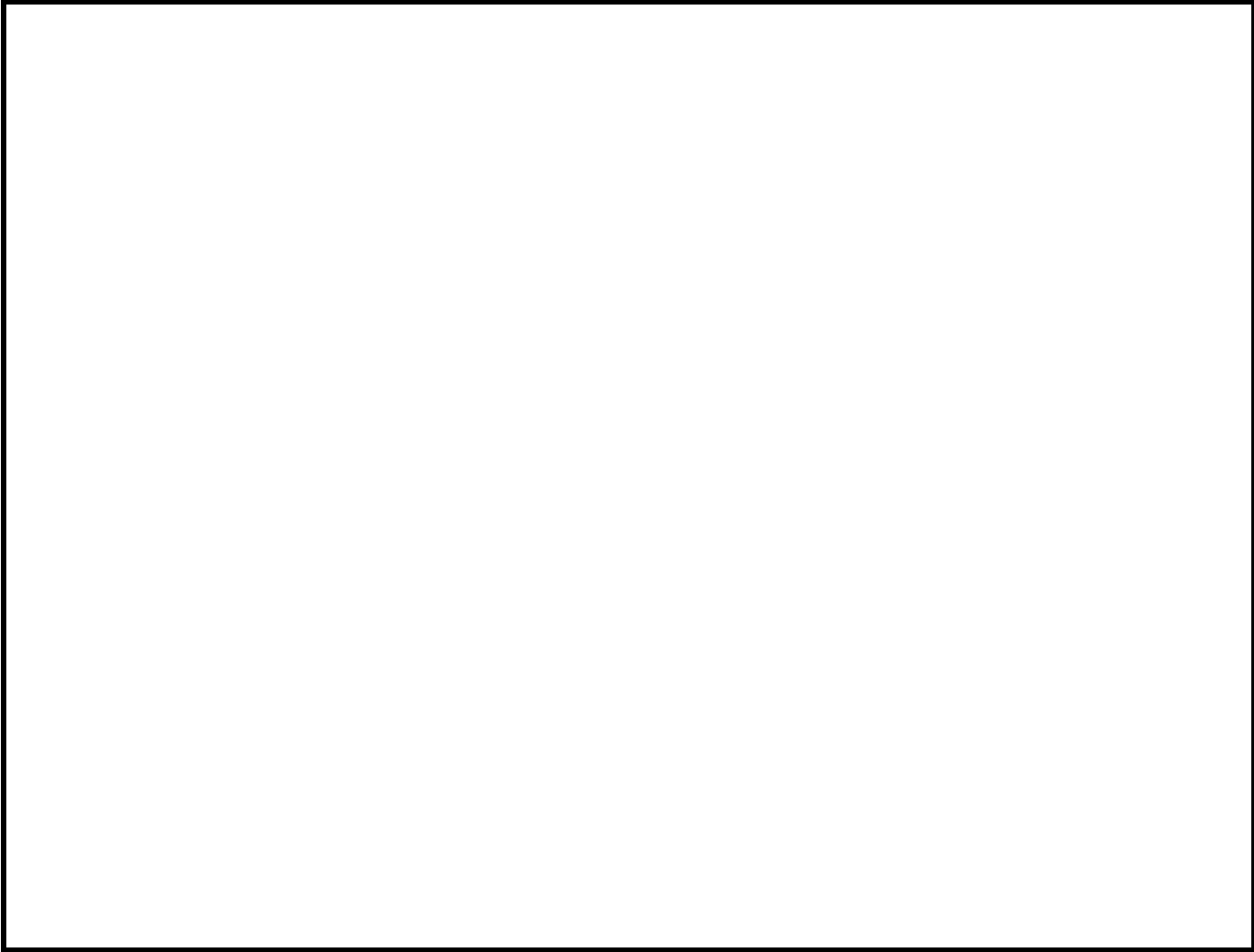


Figure 6. Extrait de la carte géologique de Seeb, au 1/250 000, Oman.



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

ANNEXE A RENDRE AVEC VOTRE COPIE SANS DECOUPAGE NI COLLAGE.
UTILISER DES COULEURS VIVES ET CONTRASTEES.
NE PAS UTILISER DE BLANC CORRECTEUR.

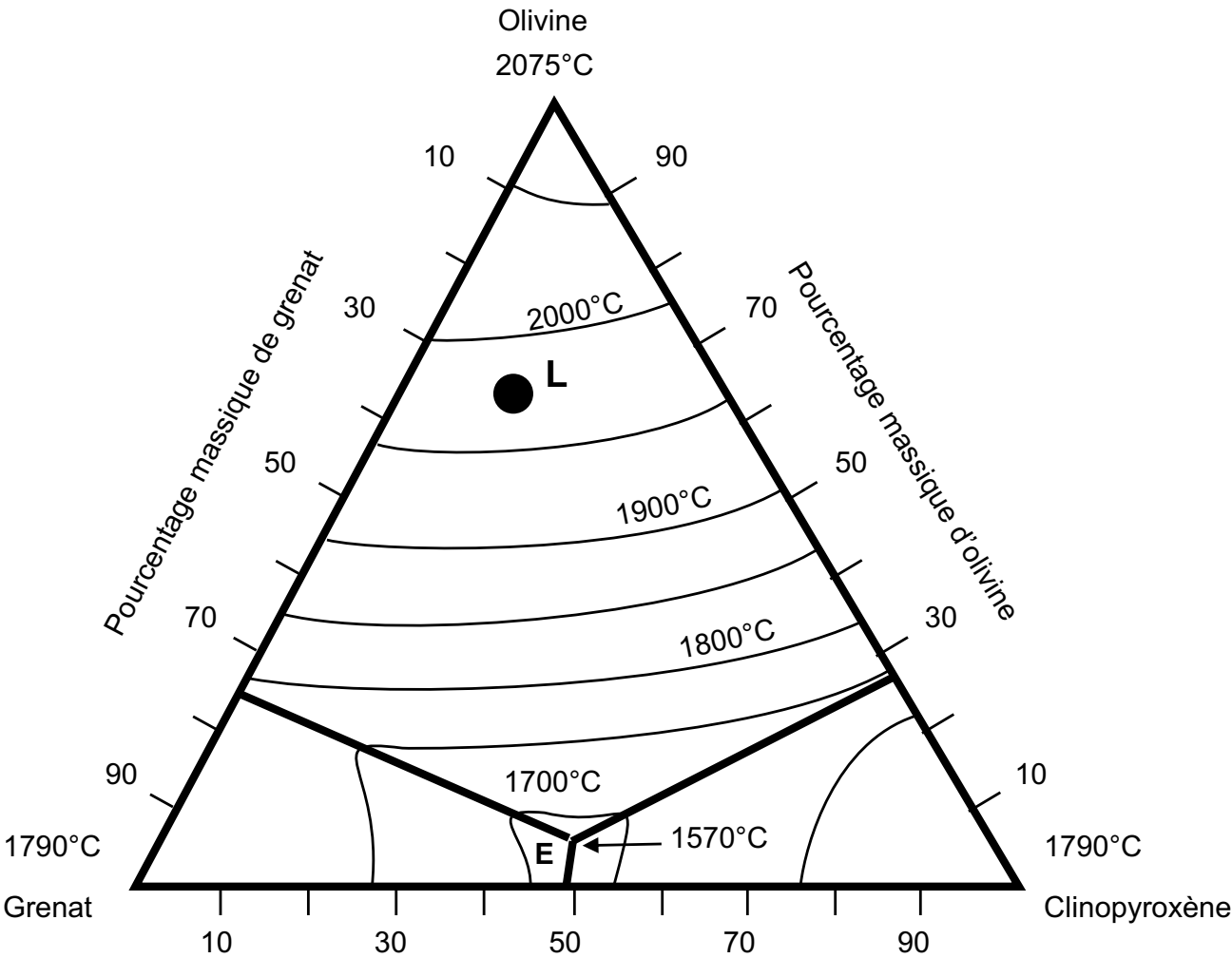


Figure 1. Diagramme ternaire Olivine-Grenat-Clinopyroxène.
Dans les péridotites à grenat, l'orthopyroxène est en association avec ces trois minéraux et ne disparaît par fusion partielle qu'après le clinopyroxène et le grenat.
L, composition d'une lherzolite avant la fusion.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Bloc éditable

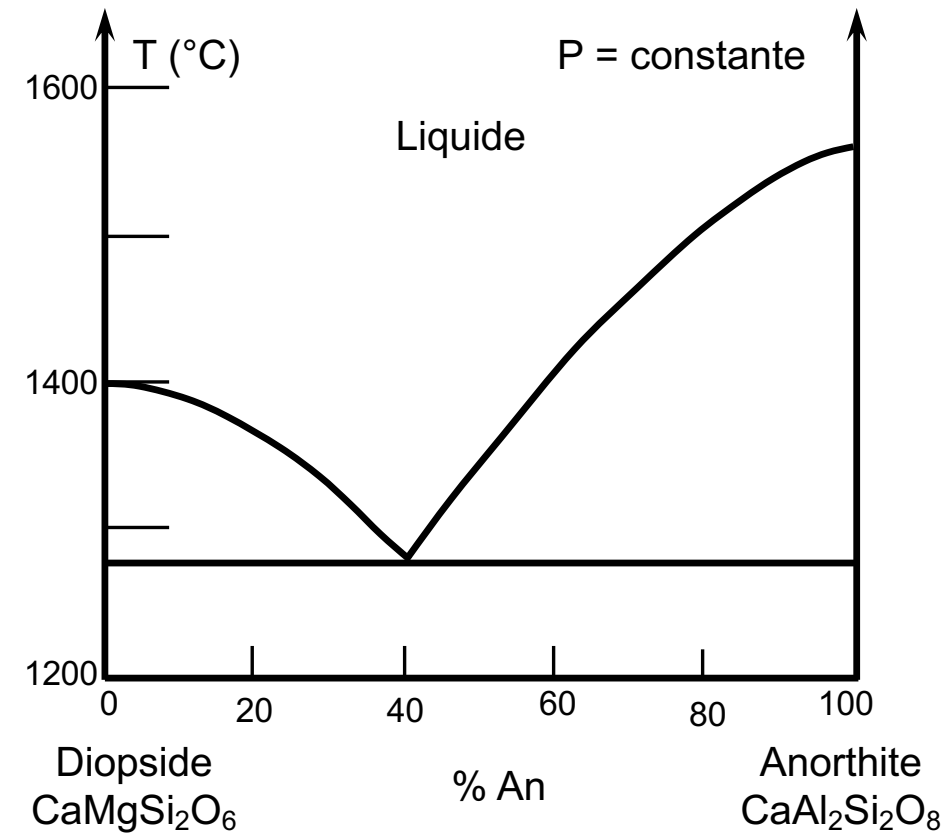


Figure 8. Diagramme binaire clinopyroxène - plagioclase.

Bloc éditable

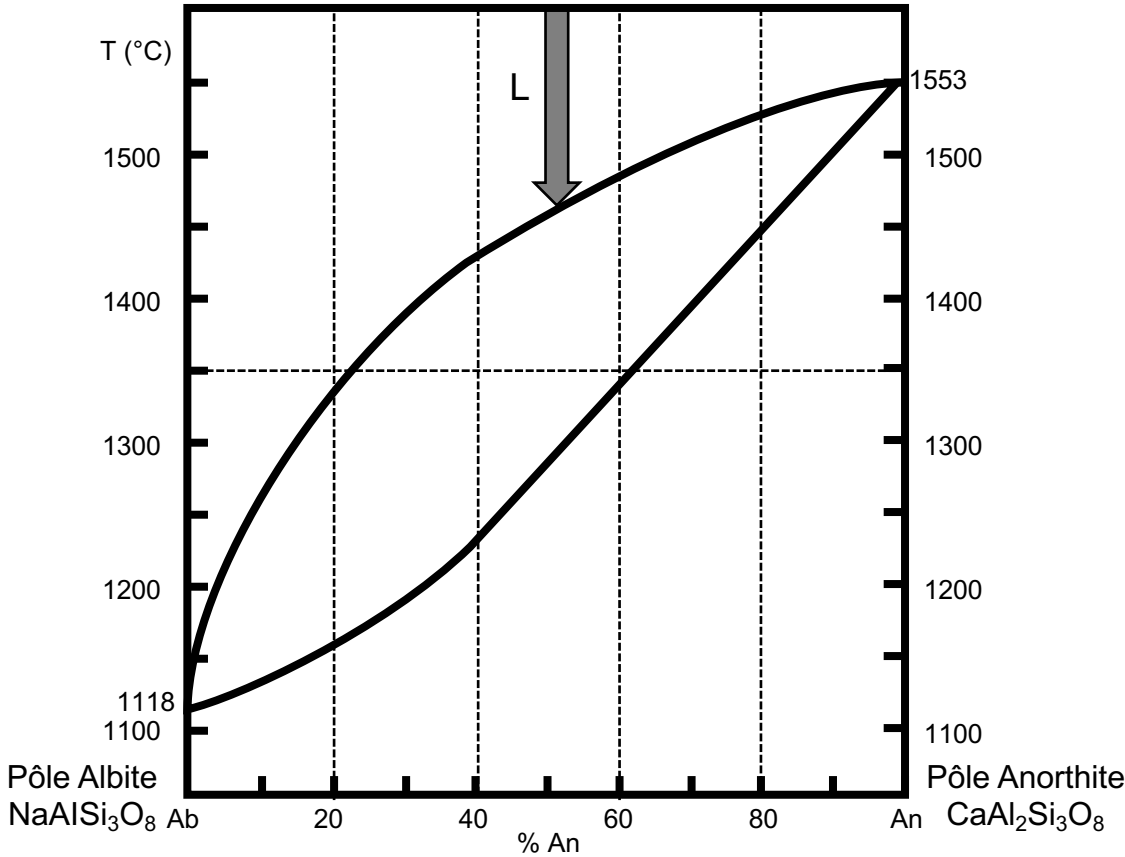


Figure 9. Diagramme binaire avec la solution solide pour les plagioclases.
An représente la teneur en mole d'anorthite dans le plagioclase et Ab sa teneur en albite.
% An = $100 \frac{\text{An}}{\text{An} + \text{Ab}}$
L, composition du liquide qui se refroidit pour donner un plagioclase.

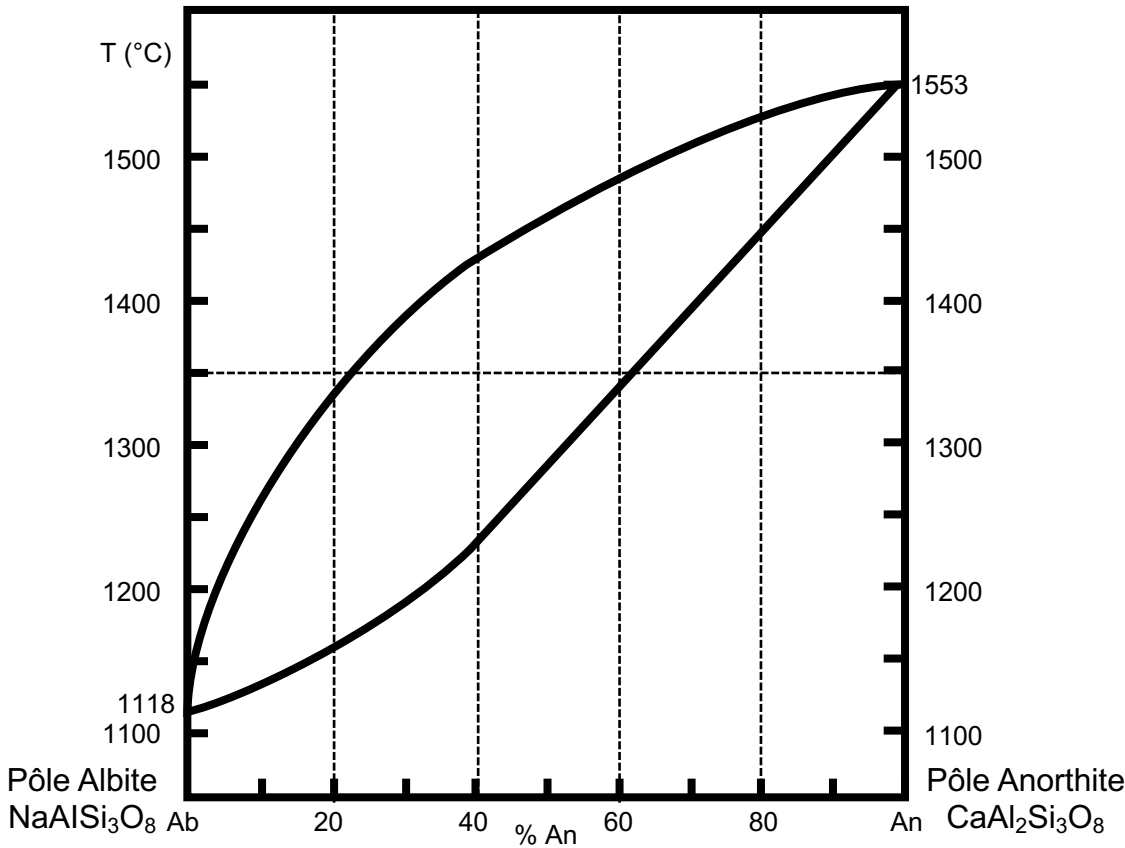


Figure 11. Diagramme binaire pour le report des compositions en anorthite du plagioclase zoné.