

Epreuve - Matière : 101 - 9311

Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- 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 feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

Aujourd'hui, en seulement 7 mois nous exploitons ce que la Terre est capable de produire à l'échelle annuelle. La demande en ressources pour de nombreux secteurs comme les entreprises ou la recherche poussent les pays à exploiter de plus en plus. Même si depuis de nombreuses années les exploitations minières et de carrières sont privilégiées, il existe d'autres ressources intéressantes notamment au fond des océans. On peut retrouver par exemple, des modules polymétalliques ou encore des encroûtements cobaltifères, ces ressources se forment au fond des océans par précipitation des minéraux, ils présentent notamment des minéraux prisés, du fer, du manganèse, du cobalt voire des métaux précieux comme de l'or ou du platine.

Le sujet porte sur les fluides aqueux et les roches, les fluides aqueux étant ce qui est relatif à l'eau (H_2O) et à sa composition minérale à l'état liquide et les roches les ensembles constitutifs de la croûte et du manteau terrestre, elles sont constituées de minéraux et peuvent être de différentes natures, sédimentaires, magmatique ou bien métamorphique. Au travers de ce sujet, il est intéressant de s'interroger sur la problématique suivante : « Quel est le rôle des fluides aqueux dans l'érosion, la genèse et la transformation des roches ? » Pour répondre à cette problématique, cette synthèse sera subdivisée en deux parties, dans un premier temps nous aborderons le rôle des fluides aqueux dans l'érosion des roches jusqu'à la genèse de roches sédimentaires et

dans un second temps nous verrons le rôle des fluides aqueux dans la transformation des roches. Nous limiterons le sujet à l'eau et n'aborderons pas les phénomènes hydrologiques et les roches aquifères.

I. Le rôle des fluides aqueux dans l'érosion des roches jusqu'à la genèse de roches sédimentaires

A. La mise à disposition de particules / fragments de roches : l'altération.

1. L'altération mécanique

L'altération désigne l'ensemble des processus qui mène à la mise à disposition d'éléments de la roche, cela peut être des ions ou des fragments de roches.

L'altération se combine au transport pour donner l'érosion.

De nombreux facteurs peuvent donner lieu à de l'altération notamment l'eau. Sur le document 1b, on observe une photographie d'affleurement du granite de Ceyrat. On peut voir que ce granite a été altéré, on peut y voir de nombreuses fractures ainsi que des morceaux manquants. Cet affleurement peut être observé grâce à cette érosion ou alors grâce à un jeu de failles. Nous sommes à Ceyrat, dans le Puy-de-Dôme, une région très vallonnée riche en roche de la croûte continentale comme le granite.

On obtient ce genre de fissures par infiltration d'eau dans la roche, cette eau peut geler et ainsi prendre en volume ce qui va fragiliser la roche.

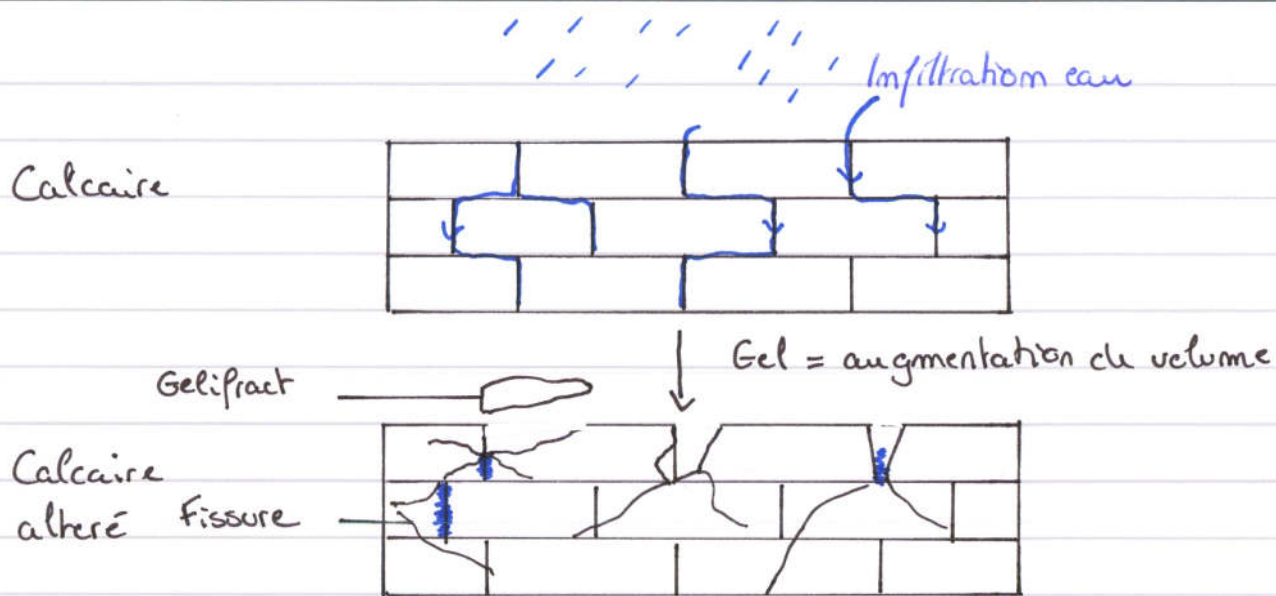


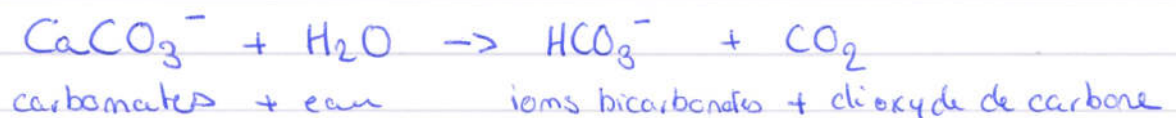
Figure 1: Altération mécanique d'un calcaire sous l'effet du gel (gelifraction)

L'effet est boucle de neige car plus on a de fissures, plus il y aura d'infiltration, plus il y aura d'infiltration, plus il y aura d'altération.

2. Altération chimique

L'altération n'est pas uniquement mécanique, elle est aussi chimique et l'eau est un vecteur puissant de cette altération chimique, on retrouve parmi celles dues à l'eau :

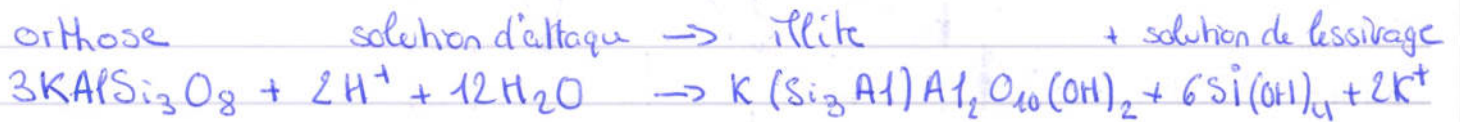
- La dissolution des carbonates, c'est cette réaction qui permet l'observation de lapiaz ou la formation de dolines karstiques.



- L'hydrolyse, cette réaction est réalisée grâce à l'eau et à ses composants. La réaction d'hydrolyse par excellence est celle de l'orthose présentée dans le document 1c. Elle se déroule en 3 étapes distinctes, la bisiallisation menant à la formation d'illite, la monosiallisation menant à la formation kaolinite et enfin l'allitisation qui forme de la gibbsite. Toutes les roches formées sont des argiles.

Si on s'intéresse aux formules on remarque que la solution qui va attaquer la roche est une solution d'eau chargée en protons. Celle-ci va "arracher" des éléments de la roche et les mettre en solution.

Biotitisation



Cette réaction met également en évidence que les cations ne sont pas tous équivalents, certains sont "légers ou lourds" d'autres solubles ou insolubles. Ces propriétés sont répertoriées dans le diagramme de Goldschmidt.

Le document 1b sur la partie supérieure, on remarque comme de la terre, en réalité ce sont des argiles issues de l'hydrolyse de l'orthose contenue dans le granite, ce qu'on observe d'aspect global est une arène granitique. Un mélange entre altération physique et chimique.

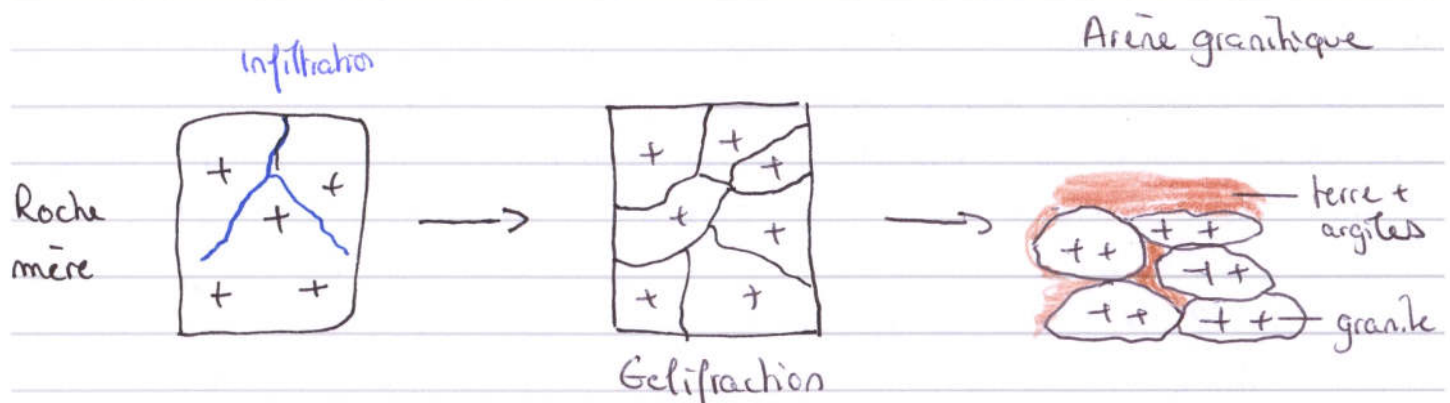


Figure 2: Mise en place d'une arène granitique

Maintenant que ces particules sont à disposition il est intéressant de voir comment elles sont transportées.

Epreuve - Matière : 101 - 9311 Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- 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 feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

B. Le transport des particules mises à disposition

Le transport est la seconde étape de l'érosion, il peut se faire par le vent, la glace mais ce qui nous intéresse ici c'est l'eau.

Le document 1a nous montre le réseau hydrographique de la Loire, elle prend sa source au niveau de la chaîne du Puy, passe par Ceyrat (document 1b), puis par Orléans et enfin à Nantes avant de se jeter dans l'océan Atlantique.

Le document 1d nous montre la Loire au niveau d'Orléans. On remarque que l'eau emprunte plusieurs chemins, car au milieu on distingue des bancs de sables ou d'argiles.

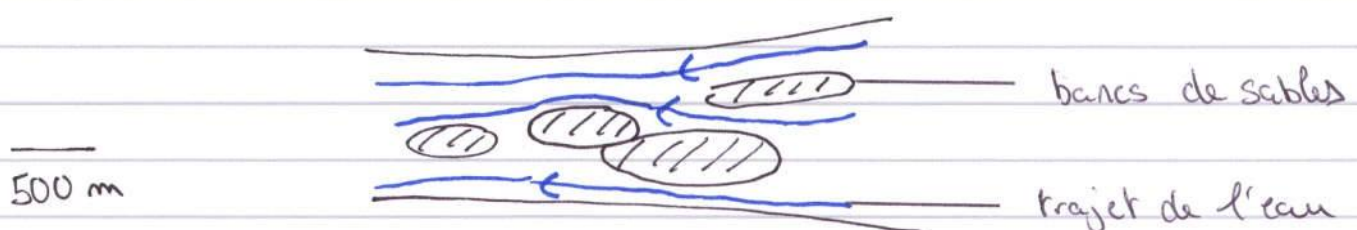


Figure 3 : Profil Loire à Orléans

En dessous de cette photographie on a un histogramme du pourcentage de refus par tamis et une courbe cumulative des tailles de particules. Pour obtenir ces graphiques on tamise les sédiments avec des tamis de différentes tailles, les sédiments seront alors repartis selon leur taille.

On remarque une majorité de sédiments allant de 0,25 à 4 mm on le voit grâce au pourcentage de refus qui indique la proportion de sédiments laissés dans le tamis.

La courbe nous indique que les particules présentes vont de 0 à 7 mm et le taux de refus est de 100% à partir de 5 mm.

Si on compare au document 1e qui présente la Loire au niveau de Nantes, sur la photographie le profil est différent, pas de bancs, le trajet est net.

Au niveau des graphiques, on remarque que la majorité des sédiments sont aux alentours de 0,1 - 0,25 mm et les particules s'étendent de 0 à 2 mm.

Ces documents mettent en évidence que au fur et à mesure du trajet du fleuve les sédiments sont de plus en plus petits. En effet le courant n'a pas forcément la dynamique pour déplacer de grosses particules. En amont, dans les réseaux fluviaux entassés le courant est très fort, il peut transporter de grosses particules, puis ce débit diminue et dépose au fur et à mesure des sédiments jugés trop lourds à transporter. Il y a donc une relation entre transport et dépôt qu'on retrouve dans le diagramme et l'Hüfjström. On retrouve des dépôts à Orléans car les particules sont plus grosses. On peut illustrer le phénomène avec un modèle de rivière, on prend des grains de différentes tailles puis on verse de l'eau et on observe que les grains se déposent en fonction de leur taille.

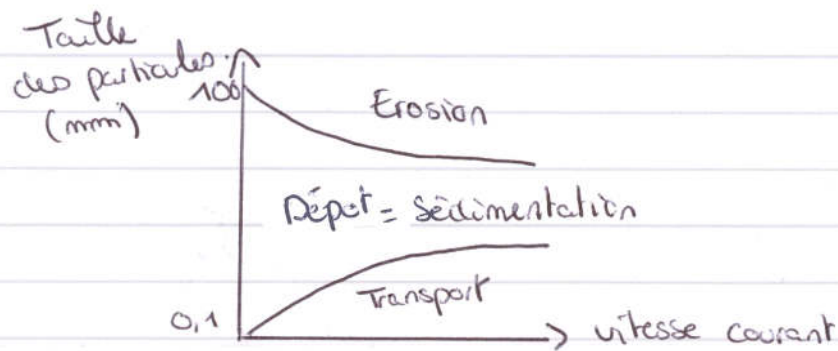


Figure 4 : Diagramme d'Hjulström mettant en relation l'érosion, dépôt et transport en fonction de la vitesse du courant et de la taille des particules.

Des indices sur le terrain de transport par l'eau sont les fragments de roches arrondis type galets, le transport a "poli" les pierres, au niveau minéral, on retrouve les quartz type émoussés luisants.

Une fois les particules transportées elles se retrouvent au fond des océans mais que deviennent-elles ?

C. La formation de roche sédimentaires : la diagenèse

La diagenèse est l'ensemble des processus qui permettent la formation d'une roche à partir de sédiments.

Lors de leur dépôt les grains sont en contact mais de l'eau réside entre ces grains, c'est l'eau interstitielle. Les grains vont alors subir un phénomène de compaction qui va évacuer l'eau et former un ciment ou une matrice. Sur le document 2A on observe photographie microscopique d'un grès à colithes, les colithes sont des grains enrobés qui sont soudés entre eux par un ciment spartitique après compaction.

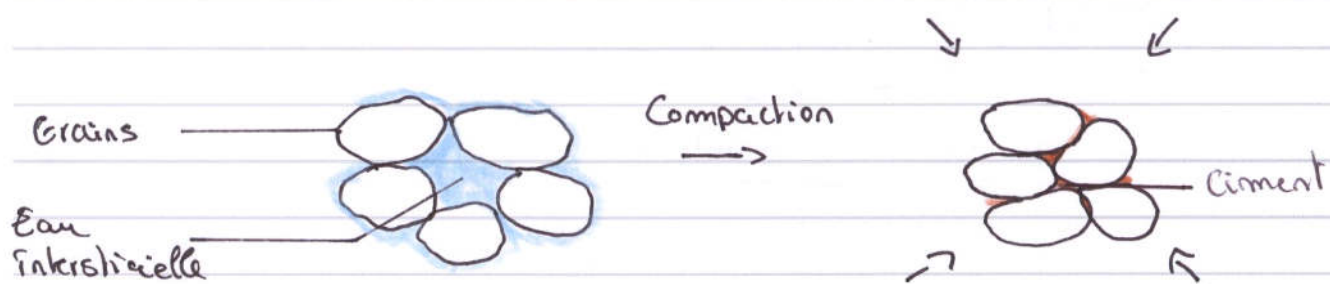


Figure 5 : Phénomène de compaction

Les sédiments sont de natures diverses et variées, des coquilles d'animaux (calcaire, sparite), des végétaux, du plancton, des sédiments terrigènes, cette diversité offre une diversité de roches sédimentaires allant même jusqu'à créer des ressources comme le charbon et les hydrocarbures par des processus post diagenèse.

Le document 2B présente l'évolution de la composition des sédiments marins argileux riches en smectite lors de l'enfouissement.

Les smectites sont des minéraux hydratés, on le voit dans sa formule chimique $(Na, K)(Al, Mg)(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$;

En revanche l'illite n'a pas d'eau dans sa formule :



Le graphique nous montre les changements en fonction de l'enfouissement de la roche (km). Lors des deux premiers kilomètres la roche expulse beaucoup d'eau, elle passe de 70% à 10%, c'est la compaction, cette compaction entraîne une concentration plus importante en smectites et en interstratifiés (feuillets illites + smectites).

Au-delà de 4 km l'eau passe de 10% à 5% et les smectites de 40 à 22%. On déshydrate encore transformant la smectite en interstratifiés. Et enfin à 5 km on a une roche complètement solide et déshydratée, la smectite a disparue laissant place à 75% d'interstratifiés et illite.

Epreuve - Matière : 101 - 9311 Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- 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 feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

Il est intéressant de voir maintenant que la diagenèse n'est pas le seul processus à interagir avec l'eau lors de la transformation des roches.

II. Le rôle des fluides aqueux dans la transformation des roches

A. Les fluides aqueux à l'origine d'une modification des solides des roches du manteau

1 En contexte de subduction

La subduction est un phénomène géodynamique dans lequel une lithosphère passe sous une autre. Soit lithosphère océanique sous une autre lithosphère océanique ou une lithosphère continentale. Ce "plongement" de la plaque ou lithosphère est dû à une différence de densité.

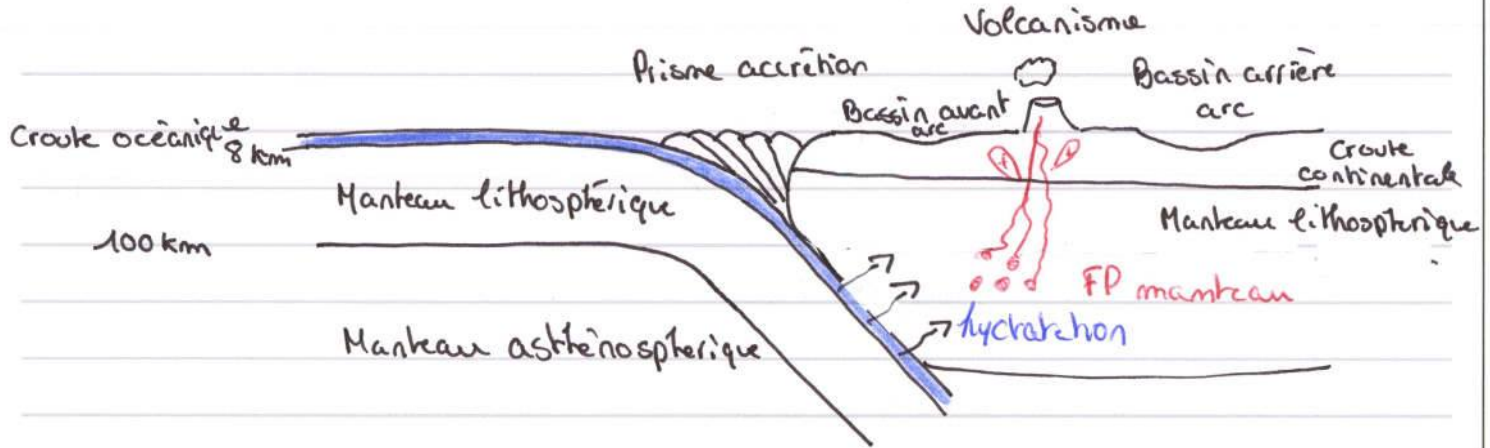


Figure 6 : Zone de subduction

La plaque plongeante est hydratée, elle se déshydrate lors de la subduction et hydrate la plaque du dessus. Ce phénomène va induire la fusion partielle de la péridotite du manteau et ainsi alimenter le volcanisme d'arrière arc.

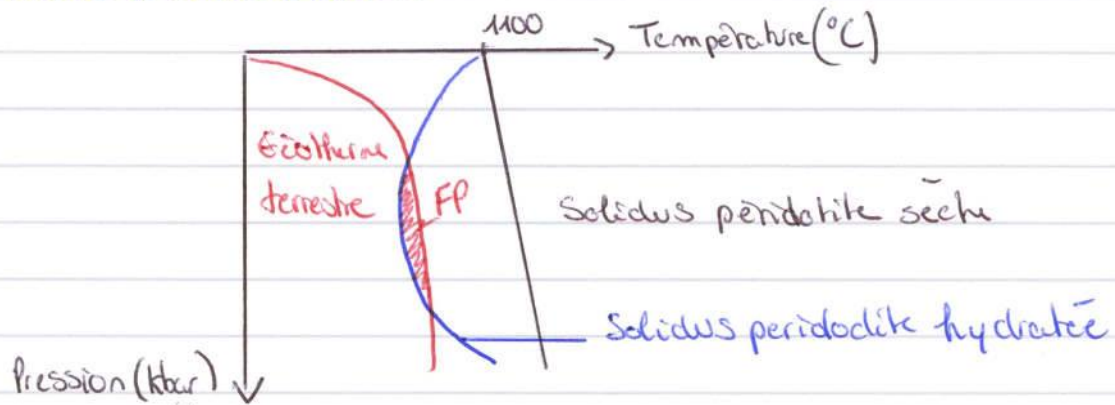


Figure 7 : Modification du solides

Le document 4A présente une zone de subduction on peut y voir des séismes et un prisme d'accrétion dû aux frottements entre les plaques. On y voit aussi l'hydratation de la plaque plongeante.

2. En contexte de dorsale

Les dorsales sont des zones de création de croûte océanique, c'est un phénomène divergent qui est dû à la remontée de l'asthénosphère.

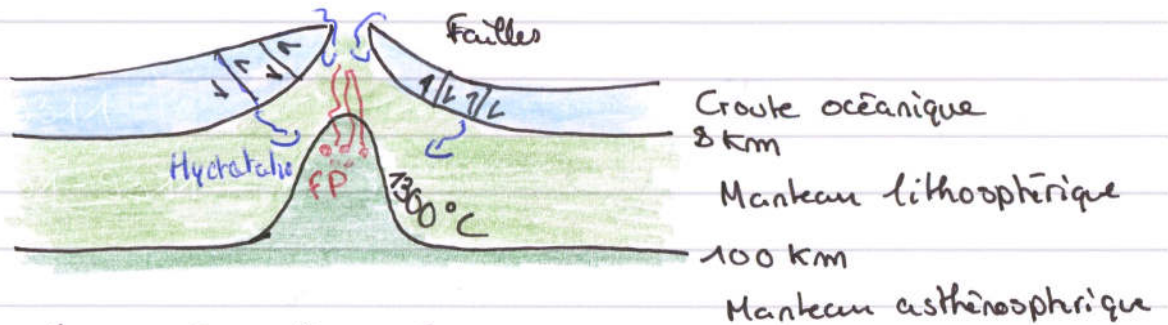


Figure 8 : Dorsale

Grâce à des phénomènes tectoniques il y a la présence de nombreuses failles qu'on peut également voir sur le document 4a. Cette hydratation du manteau a lieu notamment grâce à ce jeu de faille.

Les conséquences seront les mêmes, déplacement du solidus de la thermolite. C'est ce que nous montre le document 3.

Le document présente les relations de phases simplifiées au liquidus dans le système synthétique Forstérite, Diopside et Quartz à 2 GPa.

A partir du trajet emprunté par la roche, on peut définir des eutectiques qui correspondent à la température minimale à laquelle du liquide apparaît lors de la fusion.

On observe deux courbes, celle du liquidus (température pour laquelle la roche est entièrement liquide) anhydre et hydratée d'une thermolite.

On voit que ce liquidus se déplace de 1200°C à 700°C.

Mais le solidus n'est pas la seule chose qui change, la composition minéralogique peut changer aussi.

B. L'hydratation et le changement de la composition des roches

1. Modification des éléments traces dans les N. MORB

Le document 3B nous renseigne sur le pourcentage de mobilité d'éléments traces dans les fluides issus d'expériences de déshydratation d'une amphibolite qui est un basalte hydrothermalisé, à 5,5 GPa et 900°C pendant 20h.

Les essais en laboratoire comme cette expérience permettent d'établir des graphiques de conditions de fusion pour les roches ou les minéraux à partir d'échantillons par forages destructifs par exemple.

Sur le document qui représente la mobilité en fonction de l'élément trace on remarque lors de la déshydratation une mobilité plus ou moins importante, le pic à 80% de mobilité correspond au plomb mais d'autres éléments comme le rubidium à plus de 60%.

Si on compare ce document avec le document 3C notre N. MORB, donc hydrothermalisé est comparé à des basaltes d'arcs insulaires, non hydrothermalisés. La composition de ces deux basaltes est différente alors que la seule différence entre les deux est l'hydrothermalisme. On aura beaucoup moins d'éléments traces type plomb, césium, rubidium dans les N. MORB que dans les IAB car on l'a vu dans le document 3B, ces éléments traces sont contenus dans l'eau de la roche.

Epreuve - Matière : 101 - 9311

Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- 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 feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

B. Modification minéralogiques des roches

Sur le document 4A, on voit que lors de la subduction, la roche change de faciès en s'enfonçant. On sait qu'elle commence dans le faciès schistes verts puis se déplace dans le faciès schistes bleu et enfin le faciès éclogite.

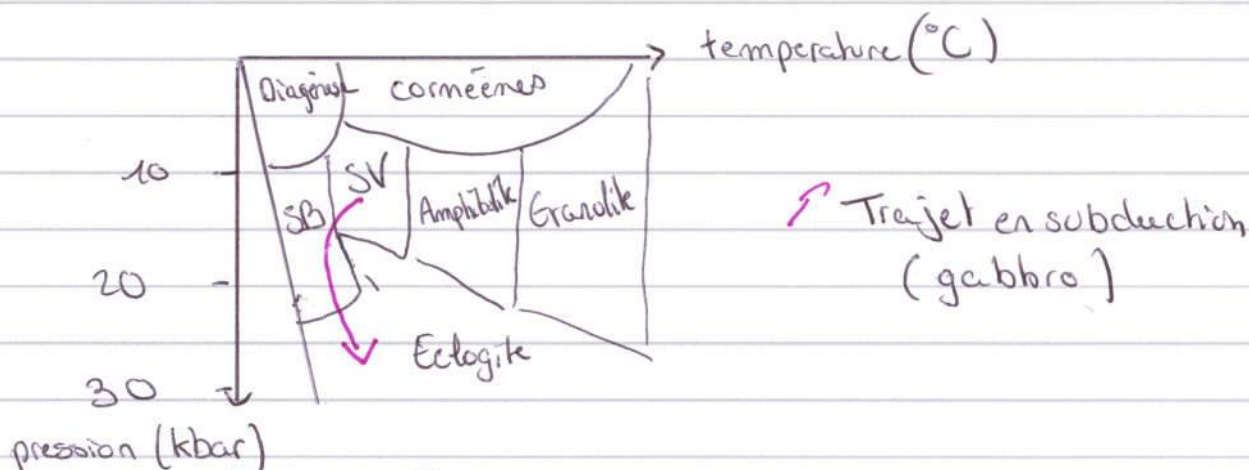


Figure 3 : Faciès métamorphiques

Différents faciès incluent différents minéraux.

Le faciès schiste bleu comprend des minéraux comme le glaucophane, un minéral obtenu par hydratation d'un gabbro du faciès schistes vert. On va obtenir sur le terrain des minéraux avec des auréoles bleues due à cette hydratation.

On retrouve ces indices sur le terrain grâce notamment aux ophiolites obduites.

Le faciès éclogite est obtenu par augmentation de pression et déshydratation du gabbro du faciès schiste bleu.

Les fluides régissent donc la composition minéralogique des roches.

Ces enrichissements ou les modifications minérales peuvent aboutir à la formation de ressources.

3- Des ressources associées aux fluides aqueux

Au niveau des dorsales on retrouve du métamorphisme hydrothermal, l'eau va passer par les failles, va chauffer à cause de la température, cette eau chaude va arracher des éléments aux basaltes notamment et ressortir par des fumeurs noirs, ou blancs. Cette sortie dans l'eau froide va entraîner une précipitation de pyrite un minéral riche en cuivre.

Le document 5 nous montre que le volcanisme de zone de subduction est à l'origine de minéraux convoités.

Dans le document 5A on a une coupe de volcan de zone de subduction, on remarque qu'on peut avoir des coulées de laves andésitiques mais aussi des plutons ou des veines cristallines qui vont contenir des minéraux tels que du cuivre, de l'or, du zinc...

Le document 5b nous montre bien que les dépôts de cuivre et d'or se situent à proximité d'un volcan de zone de subduction.

Enfin le document 5C nous montre que plus la roche est altérée notamment par l'eau, plus la roche va être riche en cuivre, si on compare les deux cartes, ce qui signifie que le Cu est lessivé par l'eau en dernier instant. L'altération va enrichir les roches en minéraux "intéressants".

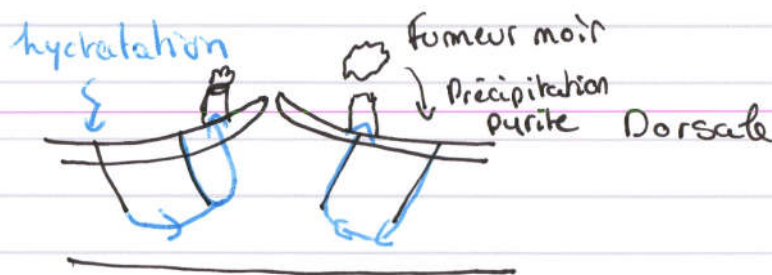


Figure 10 : Monts hydrothermaux

Pour conclure, les fluides aqueux ont un rôle important au travers du cycle des roches. Pour reprendre la problématique, les roches agissent sur l'érosion en mettant à disposition des particules puis en les transportant avec les courants d'eau. L'eau intervient aussi lors de la diagenèse ou elle permet des transformations lorsqu'elle se libère. Au niveau de la transformation des roches elle peut modifier la composition en éléments traces ou même la composition minéralogique en passant du faciès schiste vert à schiste bleu lors de la subduction pour le gabbro. Enfin l'eau est au cœur de la création de ressources convoitées comme de l'or et du cuivre. L'eau est donc présente à tous les niveaux du cycle des roches. Il est intéressant de voir maintenant si c'est le seul vecteur de transformations.