

PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE : EPREUVE ECRITE DISCIPLINAIRE COMMENTAIRES

L'épreuve écrite disciplinaire a pour objet l'élaboration d'une composition de synthèse sur un sujet accompagné ou non de documents. L'épreuve est d'une durée de cinq heures. L'organisation de la composition, l'argumentation, l'exposé des concepts scientifiques et l'illustration sont des points clés de l'évaluation.

Le sujet dans son intégralité est disponible sur le site *Devenir enseignant* : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/>

L'intitulé du sujet est rappelé ci-dessous. Le sujet était accompagné de cinq documents composés chacun de plusieurs figures.

Les fluides aqueux et les roches

Le candidat abordera d'une part les effets des fluides aqueux dans la genèse, l'altération et l'érosion des roches, et d'autre part la libération de fluides aqueux lors des transformations des roches.

On mettra en relation les processus abordés avec la formation de ressources minérales.

Les phénomènes hydrologiques et le rôle d'aquifère de certaines roches ne sont pas attendus.

Les consignes générales associées au sujet rappellent les cadres formels de rédaction attendus de la part des candidats. Ces consignes sont rappelées ci-dessous.

Le sujet est un exercice de synthèse. Il vous est demandé une introduction et une conclusion. Votre plan structuré doit apparaître de manière visible. Une attention particulière sera apportée à l'illustration et à l'argumentation.

Votre exposé s'appuiera notamment sur l'exploitation des cinq documents joints, qui ne couvrent pas l'ensemble du sujet. Ils doivent vous permettre de dégager des éléments scientifiques intéressants pour construire et argumenter certains aspects de votre exposé.

Vous devez systématiquement mentionner le numéro du document correspondant.

1. Attendus et commentaires sur l'organisation des compositions

1.1. Introduction

L'introduction commence par une contextualisation générale (accroche) qui permet d'introduire le sujet dont les termes seront définis, afin d'établir une problématique pertinente et d'annoncer une démarche de résolution.

Dans le cadre du sujet de cette session, la notion de fluide aqueux devait être définie comme un volume de matière capable de s'écouler et composée en partie d'eau. Le terme de fluide aqueux ne peut pas être considéré comme synonyme de liquide (terme indiquant un état de

la matière) puisqu'il comprend par exemple les fluides supercritiques (autre état de la matière) présents dans les zones de subduction à la suite des réactions métamorphiques réalisées à haute pression et haute température.

Nous rappelons qu'un minéral hydraté ne signifie pas qu'il se trouve à l'état liquide mais un minéral avec un groupement hydroxyle dans sa structure.

L'érosion regroupe l'ensemble des processus de transferts de particules (minérales ou organiques) et/ou de substances dissoutes (organiques ou inorganiques), elle consiste en une mise en mouvement de matière exprimée en volume de matière déplacée par unité de temps.

L'altération comprend une composante mécanique au cours de laquelle la roche est fragmentée sans transformation chimique et/ou minéralogique et une composante chimique durant laquelle la roche voit sa composition chimique et/ ou minéralogique modifiée (hydrolyse partielle ou totale/dissolution).

Une ressource minérale est un matériau solide contenant une ou plusieurs substances d'intérêt économiquement exploitables (en termes de concentration, de volume, de capacités techniques d'extraction, de traitement...).

L'introduction est présente et valorisée dans la majorité des copies. Les définitions en revanche, ne sont pas toujours rigoureuses et montrent trop souvent des confusions (roche/minéral, altération/érosion). Si certaines accroches « originales » peuvent être pertinentes d'autres s'avèrent surprenantes et inadaptées aussi nous ne pouvons que conseiller au candidat de préférer la rigueur scientifique à la recherche de l'originalité.

La problématique doit couvrir l'ensemble du sujet, hors de trop nombreux candidats ont négligé l'aspect ressources minérales ou, de façon plus surprenante, l'aspect fluides aqueux.

1.2. Structuration et logique d'ensemble

Le développement doit être clairement structuré, organisé et cette structure doit apparaître dans un plan explicite avec une organisation hiérarchisée en parties et sous-parties. Les titres de parties et sous-parties doivent être informatifs. Les titres et les transitions entre parties et sous-parties doivent sous-tendre l'argumentation et la progression du développement.

Le sujet est un exercice de synthèse qui conduit le candidat à problématiser l'énoncé afin d'apporter une réponse argumentée : la construction de la composition doit mettre en valeur la progression vers cette réponse. Comme cela est annoncé dans le sujet, la composition ne peut pas se réduire à l'analyse et/ou au commentaire des documents fournis. Même si elles restent rares, plusieurs copies montrent encore des successions d'idées sans fil directeur, sans organisation.

De nombreuses copies témoignent d'efforts pour construire des transitions entre parties qui ont pu être valorisées lorsqu'elles étaient cohérentes et non artificielles.

Plusieurs hors sujets ont pu être constatés (fonctionnement des dorsales, cycle de l'eau, cycle de Wilson, structure du globe...) : le temps passé à traiter ces aspects non valorisés pénalise nécessairement le candidat qui ne peut alors plus traiter la totalité du sujet. L'énoncé du sujet présente les limites et nous ne pouvons qu'encourager le candidat à s'y référer régulièrement.

1.3. Illustrations

Plusieurs illustrations sont attendues et nécessaires dans la composition. Les schémas remplacent ou complètent utilement de nombreuses explications, à condition de montrer une certaine rigueur scientifique (titres, légendes, échelles, exactitude, complétude). Ils doivent illustrer le texte écrit et être numérotés et appelés. Par exemple pour le schéma d'une subduction océanique, il est nécessaire de représenter les structures impliquées (parties crustale et mantellique de la lithosphère, l'asthénosphère) ainsi que les échelles (10 ou 100 km par exemple).

Nous rappelons que la taille des illustrations doit être judicieusement choisie afin de pouvoir mettre en avant les points importants et si possible respecter les échelles.

De nombreux candidats ont à juste titre fait référence à certains diagrammes « classiques » comme ceux d'Hjulström, Goldschmidt, Goldich ou Pédro. Pour ce type de représentation, il est fondamental de graduer, titrer et orienter les axes.

De plus, il est nécessaire d'intégrer le diagramme et son analyse dans une démarche explicative, le fait de citer ou évoquer un diagramme ne suffit pas à démontrer un mécanisme. Un diagramme n'est pas une preuve mais le résultat le plus souvent d'expériences ou de modélisations qui cherchent à décrire et/ou expliquer un phénomène.

Le cycle de Wilson pris isolément n'est pas une preuve mais un modèle explicatif (avec ses limites). Or, de nombreux candidats ne prennent pas le recul suffisant avec ce modèle et l'évoquent régulièrement pour justifier certains processus géologiques (« la subduction résulte du cycle de Wilson »).

Le jury regrette que les illustrations soient trop rares (entre 1 et 3) bien que de nombreuses copies montrent des efforts dans ce sens. Toutefois, lorsque les illustrations sont présentes en nombre suffisant, elles sont valorisées et ce d'autant plus qu'elles sont pertinentes et rigoureuses. Nous encourageons les futurs candidats à travailler sur les illustrations qui permettent de mettre en avant les idées clés voire de gagner du temps par rapport à un long argumentaire.

Plusieurs candidats ont réussi à intégrer les informations tirées des documents à leurs schémas montrant ainsi un esprit de synthèse.

1.4. Intégration des documents

Le candidat est libre d'intégrer l'exploitation des documents dans l'ordre où il le souhaite de façon à étayer sa démonstration. Il est aussi possible de dissocier l'analyse des figures d'un même document pour les insérer avec plus de pertinence dans la démarche construite.

Un document peut très bien être utilisé plusieurs fois dans la démarche ; le candidat dans ce cas peut l'utiliser plusieurs fois (en séparant les figures par exemple) ou il est libre de choisir la notion qu'il choisit d'argumenter : l'important est que le document soit cité, intégré au propos, et que les notions exposées soient étayées.

Au-delà de l'interprétation globale de chaque document et de son utilisation dans l'argumentation, d'autres capacités du candidat sont évaluées : saisie des données chiffrées pertinentes, évocation de la limite de la portée des résultats, esprit critique vis-à-vis de l'obtention des données, conditions expérimentales, etc.

Lorsque le corpus documentaire est riche, l'expression de ces compétences n'est pas attendue de manière exhaustive pour chaque document, il suffit d'une occurrence dans la copie. Des écueils tels que la confusion causalité/corrélation ou la surinterprétation doivent être évités.

On rappelle enfin que le sujet ne peut pas être traité à l'aide des seuls documents. Ici par exemple les notions de rhéologie ainsi que les dynamismes éruptifs étaient attendus bien qu'absentes des documents.

La plupart des candidats abordent correctement l'exercice en intégrant l'analyse des documents au développement et en les reliant à leurs connaissances.

De rares candidats ont limité leur synthèse à une analyse partielle des documents sans apport de connaissances et sans mise en lien avec le sujet, ce qui ne suffit absolument pas pour répondre de façon satisfaisante aux attentes de l'épreuve. Dans de rare cas, les documents ne sont utilisés que pour illustrer ou valider une notion assénée dogmatiquement alors que celle-ci aurait pu être déduite du document.

1.5. Argumentation

Le développement doit s'appuyer sur des faits et des observations tirées des documents ainsi que des connaissances personnelles, pour construire une démarche scientifique argumentée. Un appui sur des exemples concrets, locaux et suffisamment explicités permet une argumentation rigoureuse. Plusieurs candidats ont su mettre en avant des exemples locaux. Néanmoins, bien que l'exemple puisse être pertinent, sa seule mention ne constitue pas un argument mais doit être étayé par une analyse, même succincte.

1.6. Communication écrite

La présentation de la copie doit être soignée : lisibilité, aération des paragraphes et agencement des textes par rapport aux illustrations, appel des figures surtout en cas d'utilisation multiple.

La maîtrise du français écrit est un critère clé de l'évaluation formelle. De trop nombreux candidats construisent des phrases « complexes » vides de sens. Placer de nombreux termes de géologie sans lien entre eux ne permet pas d'argumenter. Par exemple : « *les fluides aqueux ont des impacts importants, voire essentiels, sur l'érosion, l'altération, le comportement et la nature des roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques en fonction du contexte géodynamique* ». Nous encourageons les futurs candidats à préférer une syntaxe simple et efficace avec des phrases claires contenant une idée clé.

Le jury recommande à ce titre d'éviter également toutes les tournures impersonnelles qui cachent le plus souvent la méconnaissance de la notion. « *On a montré que les roches métamorphiques se déshydratent lors de la subduction* » : le jury serait curieux de savoir qui est « on » et comment il a procédé. De même, les adjectifs imprécis tels que plusieurs, différents... sont à bannir. Des valeurs exactes ou à défaut des ordres de grandeur sont attendus. Ainsi les phrases telles que « *les fluides jouent sur plusieurs paramètres* » ou « *différentes roches ont des réactions variables face aux fluides* » n'apportent aucune information et ne sont pas valorisables. Il est nécessaire de préciser ce que sont ces paramètres ou ces roches.

Le soin apporté à l'écriture, l'orthographe et à la présentation est encore insuffisant pour trop de copies. L'orthographe aléatoire, la syntaxe et grammaire approximatives rencontrées dans certaines copies nuisent à la compréhension du contenu. La maîtrise de la langue française est une compétence professionnelle essentielle à l'exercice du métier d'enseignant quelle que soit la discipline.

Le jury constate très souvent des efforts de soin et de présentation, qui peuvent cependant s'atténuer le long de la composition, mais témoignent d'un souci pour le lecteur et cela est appréciable.

1.7. Conclusion

C'est une synthèse des étapes du développement, possiblement sous forme d'un schéma-bilan, qui **doit répondre à la problématique posée** en introduction. Une ouverture est attendue. Il arrive que la conclusion répète l'introduction, ce qu'il faut éviter pour ne pas implicitement conduire le jury à considérer le développement comme de faible qualité voire inutile.

La conclusion est l'occasion d'une prise de recul par rapport au sujet, et permet d'ouvrir sur une thématique proche du sujet comme par exemple les risques liés à l'érosion ou l'exploitation des ressources minérales comme cela était explicitement suggéré.

Une conclusion est présente et valorisée dans de nombreuses copies. Plus que des paraphrases, il est attendu un retour et une réponse à la problématique proposée. Sans qu'il ne soit exigé un schéma-bilan conclusif, certains candidats proposent, de façon pertinente, en conclusion un schéma récapitulatif des concepts et des exemples développés dans la composition.

Bilan

Le sujet nécessitait une bonne gestion du temps et une réflexion initiale suffisante pour d'une part délimiter le sujet à partir de son énoncé et d'autre part identifier rapidement les notions pouvant être construites à partir des documents.

Des candidats ont su valoriser judicieusement certains documents dans plusieurs parties de leur composition ; d'autres au contraire limités par la maîtrise de leurs connaissances n'ont pas su les intégrer, passant du temps à traiter les documents sans pouvoir les relier au sujet et traitant par ailleurs les notions que ces documents auraient pu étayer et argumenter.

2. Attendus et commentaires sur les notions scientifiques abordées dans l'épreuve disciplinaire

2.1. Objectifs généraux de l'épreuve de la session 2025

L'épreuve disciplinaire teste les connaissances et compétences scientifiques des programmes du secondaire et des classes préparatoires portées au niveau Master, en particulier les aptitudes à raisonner et argumenter, ainsi que les compétences de communication.

Le sujet proposé à la session 2025 qui aborde de nombreuses thématiques des géosciences permettait de traiter l'intervention des fluides aqueux dans de nombreux processus internes et externes affectant toutes les grandes familles de roches (sédimentaires, magmatiques et métamorphiques) mais aussi de mettre en avant l'importance des fluides aqueux dans la genèse primaire ou secondaire de ressources minérales.

L'énoncé et les consignes accompagnant le sujet incitent les candidats à centrer leur synthèse sur la genèse, l'altération et l'érosion des roches (autrement dit l'action des fluides aqueux sur les roches) ainsi que la libération de fluides lors des transformations des roches. Les mécanismes abordés lors de la synthèse devaient mettre en avant tant que possible la formation de ressources minérales. Les documents fournis sont de natures diverses : photographies de terrain, de roche, des graphiques variés, des cartes et des coupes géologiques. S'ils ne suffisaient pas pour aborder l'ensemble des éléments nécessaires au sujet,

ils fournissaient aux candidats des points d'appuis pour de nombreuses notions sur les mécanismes affectant les fluides et les grandes familles de roches (sédimentaires, magmatiques et métamorphiques) permettant ainsi de balayer la plus grande partie du sujet.

2.2. Les principaux éléments attendus dans le traitement du sujet

Quatre axes principaux devaient être traités dans la copie et intégrer des connaissances ainsi que l'exploitation des documents. Ces axes pouvaient constituer les grandes parties de la composition mais toute structuration logique et justifiée a été acceptée.

Axe 1 : Les fluides aqueux et l'altération et l'érosion des roches

On attendait que les candidats traitent de l'altération chimique et mécanique exercée sur des roches soumis à l'action des fluides aqueux ainsi que les facteurs de contrôles de cette altération tels que la pétrologie, la minéralogie mais aussi le climat. Puis les candidats devaient traiter des conditions de l'érosion chimique et mécanique des roches à travers notamment l'exploitation du diagramme d'Hjulström. Les candidats pouvaient préciser que certains résidus d'altération constituent des ressources telles que les smectites, la kaolinite ou les bauxites.

Axe 2 : Les fluides aqueux et les roches sédimentaires

Il était attendu que les candidats traitent de l'action des fluides dans la genèse des roches sédimentaires de différentes manières :

- Les fluides participent aux réactions chimiques et aboutissent à la formation des roches évaporitiques, carbonatées ou siliceuses qui constituent des ressources. L'exhaustivité n'était pas attendue mais un ou deux exemples bien décrits (origine et contrôle de la formation) suffisaient.
- Les fluides participent au transport puis au dépôt de particules sédimentaires. Le candidat devait faire des choix et décrire la dynamique du transport et du dépôt par les fluides en précisant certaines caractéristiques du dépôt (granoclassement, figures de courant, variations dans le temps...). Le tri lié au transport peut induire une concentration secondaire de substances d'intérêt et la formation de ressources, avec par exemple les placers aurifères ou les gisements d'uranium sédimentaires.

Axe 3 : Les fluides aqueux et les roches magmatiques

Certains documents appelaient le candidat à traiter de l'importance des fluides dans la fusion partielle des roches mantelliques ou crustales. Les documents permettaient aussi de montrer que les fluides impliqués dans les processus de fusion partielle sont aussi responsables d'un enrichissement en certaines substances d'intérêt tel le plomb ou le cuivre créant un enrichissement primaire à l'origine de ressources. Les variations du dynamisme éruptif selon les fluides contenus dans le magma ou extérieurs au magma (phréatomagmatisme) étaient attendues mais ont été peu abordées par les candidats. La remobilisation des produits volcaniques par les eaux météoritiques (lahars) était quasiment absente des compositions.

Axe 4 : Les fluides aqueux et les roches métamorphiques

Les fluides peuvent modifier la rhéologie des roches en facilitant la déformation cassante ou ductile selon les conditions de pression/température. Par leur circulation, les fluides facilitent les échanges de matières et les réactions métamorphiques au cours du trajet prograde tandis que les réactions du trajet rétrogrades sont absentes ou incomplètes car en conditions le plus souvent anhydres.

Le document 4a invitait les candidats à traiter de l'hydrothermalisme (à l'origine de ressources : nodules polymétalliques...) et des nombreux échanges entre les fluides et la jeune lithosphère océanique dans les boucles hydrothermales mais aussi de la métasomatose permise lors de la subduction ainsi que l'effet moteur du plongement exercé par la déshydratation de la plaque en subduction.

2.3. Des utilisations privilégiées des documents dans l'argumentation

Les documents proposés étaient tous explicitement titrés et légendés pour limiter les difficultés d'appropriation du contexte. L'objectif est en effet de concentrer le travail des candidats sur l'analyse des données et leur mise en lien avec les notions issues de leurs connaissances pour construire une argumentation. Le candidat doit montrer qu'il maîtrise les attitudes scientifiques qu'il doit développer chez ses élèves (observer, décrire, interpréter, analyser, expliquer).

Les documents ne doivent pas être utilisés à des fins simplement illustratives au moyen d'allusions vagues et descriptives (« comme on le voit dans le document x », ou « ... (document x) »), mais doivent faire l'objet d'une description précise, avec des termes exacts, en vue d'exploitation précise puis d'une démarche logique et démonstrative (démarche scientifique).

2.4. Présentation des documents

Document 1 : du continent vers l'océan – exemple du granite

Document 1a : Réseau hydrographique de la Loire et localisation des sites étudiés

Ce document permettait de repérer les sites étudiés le long de la Loire depuis l'amont à Ceyrat (63) dans le Massif Central puis Orléans (45) et enfin l'estuaire de la Loire près de Nantes (44) mais aussi d'aborder les notions de source, bassins versants, affluents et embouchure d'un fleuve comme la Loire. Aucun développement important n'était attendu puisque l'hydrographie en tant que telle était exclue du sujet.

Document 1b : Photographies d'affleurement du granite de Ceyrat

La photographie de la vue d'ensemble montrait un paysage granitique et son altération « en boules » en climat tempéré. La partie basse est constituée d'un granite sain avec un débit en parallélépipèdes dû aux plans de fractures ou diaclases (à distinguer des failles qui impliquent un déplacement) formées lors du refroidissement du platon à la suite de sa mise en place lors de l'orogenèse hercynienne (ici Massif Central). La partie haute du massif présente une forme plus arrondie laissant apparaître les figures « en boules ». Le sommet est recouvert d'une végétation impliquant la présence d'un sol.

La photographie de détail de la partie supérieure du profil présentait une arène granitique en formation avec du quartz et des feldspaths alcalins (minéraux résiduels du granite sain peu ou pas altérés) et des argiles (rouges et blanches) issues de l'altération des autres minéraux du granite.

Document 1c : Exemples de réactions d'altération à partir de l'orthose

Le document montre trois réactions d'hydrolyses partielle à totale de l'orthose. L'intensité croissante de l'hydrolyse des tectosilicates fait évoluer le rapport Silicium/Aluminium de la bisiallitisation à l'allitisation et le passage d'argiles constituées de deux feuillets tétraédriques entourant un feuillet octaédrique (argiles de types T-O-T comme l'illite) vers des argiles composées d'un feuillet tétraédrique et d'une couche d'octaèdres (argiles de types T-O comme la kaolinite) puis l'hydrolyse totale aboutissant à la formation d'un hydroxyde d'aluminium (la gibbsite) et dans ce cas la roche résiduelle enrichie en gibbsite constitue une ressource minérale (exemple Bauxites de Provence).

L'intensité de l'altération dépend du climat, de la nature de la roche et de la topographie. Les candidats pouvaient à juste titre faire référence au diagramme de Pédro indiquant l'évolution de l'altération d'un substratum granitique en fonction de la latitude, au diagramme de Goldich montrant l'altérabilité des minéraux en fonction de leur réseau cristallin complété pour le transport en solution par le diagramme de Goldschmidt montrant la mobilité des cations selon leur charge et leur rayon ionique.

Considérant que Ceyrat se trouve sous un climat tempéré, la réaction d'hydrolyse principale est la bisiallitisation. On s'attend donc à trouver des argiles de types illites au niveau de l'affleurement d'arène granitique.

Le sujet demandait d'indiquer l'importance des fluides aussi bien comme solution d'attaque à l'origine de l'hydrolyse que comme solution de lessivage transportant les éléments résiduels de l'hydrolyse.

Attention à ne pas confondre « hydrolyse » pour laquelle il reste une fraction résiduelle solide et « dissolution » qui est une mise en solution totale des éléments constitutifs d'un minéral (exemple de la calcite).

Document 1d : Loire et sédiments associés à Orléans

La photographie de la Loire près d'Orléans montre des barres sableuses et la végétation installée dans le lit majeur (plaine d'inondation) du fleuve.

Les graphiques (histogramme ou courbe cumulative) montrent que la taille moyenne des grains déposés est supérieure à 63 µm, confirmant ainsi que le dépôt est sableux (une particule de sable à une taille comprise entre 63 µm et 2 mm). L'existence à ce niveau d'un mauvais tri granulométrique (clastes de tailles comprises entre 15 µm et 4,5 mm) est à relier avec la variabilité de la vitesse du courant de la Loire comme le prévoit le diagramme de Hjulström.

Document 1e : Loire et sédiments associés à Nantes

La photographie de la Loire près de Nantes montre une certaine turbidité de l'eau s'expliquant par une présence de particules en suspension.

Les graphiques montrent quant à eux une taille moyenne des grains inférieure à 0,63 mm. Le bon tri granulométrique témoigne ici d'une vitesse de courant relativement constante et plus faible qu'en amont.

En reliant les observations tirées de l'ensemble des documents 1a à 1e, on constate une décroissance granulométrique des éléments transportés et déposés de la source vers l'estuaire s'expliquant par la topographie et la vitesse du courant (cf. diagramme de Hjulström).

Document 2 : du sédiment à la roche en milieu marin

Document 2.A : Photographie prise au microscope optique d'un grainstone à oolites

La photographie de lame mince en lumière analysée non polarisée d'un grainstone à oolites (sphères à structures concentriques) montre que le liant est un ciment (cristallisation diagenétique de taille supérieure à 4 µm facilitée par la circulation de fluides) et que la porosité initiale (pourcentage de vides) est encore en partie préservée (la cimentation n'est pas totale). Cette cimentation transforme le dépôt sédimentaire (meuble) en roche sédimentaire indurée.

Plusieurs candidats ont à juste titre fait référence à la classification de Dunham permettant de relier la texture, la proportion relative des grains et de la matrice à la dynamique du dépôt. En l'occurrence ici, le grainstone témoigne de conditions de haute énergie, peu profond et soumis à l'action des vagues et des marées.

Document 2.B : Evolution de la composition de sédiments marins argileux, initialement riches en smectites lors de l'enfouissement

Ce document montre l'évolution d'un sédiment marin argileux initialement riche en smectites lors du début de la diagenèse et l'origine des fluides expulsés. On observe que lors de l'enfouissement, l'eau interstitielle de la porosité est rapidement expulsée (jusqu'à 2 km environ). La suite de l'expulsion d'eau correspond à de l'eau interfoliaire issue de la transformation des smectites (nH_2O) en minéraux interstatifiés de type illites (sans H_2O).

Document 3 : de la péridotite aux basaltes

Document 3.A : Relations de phases simplifiées au liquidus dans le système synthétique Forstérite, Diopside et Quartz à 2 GPa.

Le document est un diagramme ternaire à diopside, forstérite et quartz à 2 GPa. Sur le joint forstérite-quartz, l'enstatite est notée. Il existe en effet une réaction incongruente entre la forstérite et le liquide silicaté donnant de l'enstatite. Ainsi forstérite et quartz ne sont pas co-stables, cela différencie le champ des tholéites à olivine du champ des tholéites à quartz.

On voit qu'une fusion anhydre de la lherzolite produit un liquide de composition eutectique E1 à 1200°C dans le champ des tholéites à olivine alors qu'une fusion hydratée de la lherzolite produit un liquide de composition eutectique E2 à 700°C dans le champ des tholéites à quartz (riche en SiO_2 et pauvre en Ca et Mg).

L'hydratation de la péridotite entraîne donc une baisse de sa température de fusion mais aussi un changement des relations de phase avec un liquide produit plus riche en silice et plus pauvre en calcium.

Document 3.B : Pourcentage de mobilité d'éléments traces dans les fluides issus d'expériences de déshydratation d'une amphibolite (N-MORB hydrothermalisé en amphibolite) à 5,5 GPa et 900°C pendant 20 heures

Ce document montre la mobilité de certains éléments en traces à la suite de la déshydratation d'une amphibolite portée à 5,5 GPa et 900°C pendant 20 heures. Ces conditions ne sont pas classiques dans la nature mais permettent d'accélérer la cinétique des réactions libérant les fluides car ici l'expérience ne dure que 20 heures.

On voit que certains éléments sont très mobiles (les LILE : *Large Ion Lithophile Elements*) comme par exemple le Rubidium (Rb), le Baryum (Ba), le Lanthane (La) ou le Plomb (Pb) et seront

évacués par les fluides tandis que d'autres le sont nettement moins (les HFSE : *High Field Strength Elements*) comme le Niobium (Nb), le Tantale (Ta), le Titane Ti.

Document 3.C : Concentrations normalisées au manteau primitif d'éléments traces pour deux familles de basaltes

Ce document est un diagramme de concentrations normalisées au manteau primitif (pour éviter l'effet en dents de scie lié à l'abondance relative des éléments à numéro atomique pair et impair) d'éléments traces des plus légers et plus incompatibles sur la gauche vers les plus lourds et plus compatibles vers la droite.

Les spectres des laves d'arc montrent un enrichissement en éléments légers et un appauvrissement en éléments lourds certains éléments sont moins abondants que leurs voisins Nb et Ta (les HFSE) et d'autre sont plus abondants que leurs voisins comme le Pb (les LILE).

La mise en relation des documents 3.B et 3.C permet de proposer que le spectre des laves d'arc présente un enrichissement préférentiel en éléments à forte mobilité dans les fluides aqueux à haute pression et un appauvrissement en éléments peu mobiles dans les fluides aqueux à haute pression.

Cela est un argument fort pour dire que la déshydratation des métagabbros amphibolitisés à l'axe de la dorsale et éclogitisés lors de la subduction à haute pression libère des fluides qui enrichissent le coin de manteau (manteau supérieur appauvri) en éléments mobiles mais pas en éléments peu mobiles.

Un lien peut être fait avec les documents 4.A et 4.B pour montrer le lieu principal de cette libération de fluides entre 40 et 80 km et l'expliquer avec les formules des minéraux.

La diversité des laves d'arc peut être dues à un degré de métasomatose (hydratation du coin de manteau) variable.

Document 4 : déformation et processus associés dans la lithosphère océanique

Document 4.A : Coupe synthétique (échelles verticale et horizontale non respectées) localisant les principaux processus géologiques affectant une zone de subduction jeune

La coupe montre les circulations de fluides au niveau d'une dorsale océanique puis dans différentes zones de du panneau plongeant lors d'une subduction. Nous constatons une entrée de fluides par le complexe de failles situées au niveau de la dorsale à l'origine du métamorphisme hydrothermal et en amont de la zone de subduction par les failles liées à la courbure du panneau. Un échappement de fluides se réalise en base du prisme d'accrétion puis entre 30 et 80 km de profondeur par le panneau plongeant permettant une lubrification de la subduction.

Cette coupe synthétique montre également que les séismes interplaques de zones de subduction se situent entre 0 et 30 km puis au-delà de 80 km dans les zones dites mécaniquement couplées. Entre 30 et 80 km de profondeur, se localise la zone de déshydratation principale (par éclogitisation) de la plaque plongeante. La libération de fluides va hydrater le coin de manteau lithosphérique formé de serpentinite, cette roche hydratée se déforme plus facilement par fluage car ne présente plus de résistance et ne casse plus (absence de séisme dans cette zone dite découpée).

L'histogramme montre que les roches métamorphiques échantillonnées (donc exhumées et retrouvées en surface) dans les zones de subductions fossiles montrent deux clusters de conditions P-T : 30 km-300°C et 80 km 550°C. Les roches échantillonnées proviennent donc

des zones couplées et sont séparées de la lithosphère plongeante grâce à la sismicité de ces zones.

Document 4.B : Tableau donnant les formules des minéraux principaux constitutifs de certaines roches métamorphiques et du protolithe des métabasites

Le tableau montre que les gabbros produits à l'axe de la dorsale sont anhydres alors que les schistes bleus enfouis à 30 km sont hydratés. Il existe donc un processus d'hydratation de ces roches : hydrothermalisme océanique visible sur la coupe 4.A. Les éclogites présentant une minéralogie anhydre (Grenats, Omphacite), le passage Schiste bleu / Eclogite s'accompagne donc d'une libération de fluides.

Document 5 : ressources minérales : exemple pris dans le désert de l'Atacama (cordillère des Andes)

Document 5.A : Coupe schématique d'un stratovolcan de zone de subduction et minéralisations associées

Ce document montre que le volcanisme d'arc est associé à des minéralisations primaires riches en Or (Au), Plomb (Pb), Zinc (Zn), Cuivre (Cu), Argent (Ag) et Molybdène (Mo). A noter que Cu et Pb sont des éléments mobiles dans le document 3.B ce qui explique leur enrichissement. Un stockwork est un ensemble de filons, très serrés, ici encaissés dans une cheminée volcanique qui peuvent devenir des gisements minéraux lorsqu'ils sont imprégnés par des fluides enrichis en métaux (Fe, Cu et Mo).

Document 5.B : Carte physiographique des grandes unités géologiques d'une zone de la cordillère des Andes

La carte permet de relier les zones minières (dépôts de Cuivre et d'Or) à l'arc volcanique. De plus les dépôts sont situés sur les failles montrant le rôle de drain exercé par celles-ci.

Document 5.C : Cartes de détail de la teneur en cuivre en partie par million des roches et de l'indice d'altération des mêmes roches

Les cartes montrent une corrélation entre les sites enrichis en Cuivre et les sites à fort taux d'altération, témoignage de l'enrichissement secondaire par altération. Ainsi, les fluides magmatiques associés aux eaux météoriques génèrent par concentrations successives des gisements minéraux primaires (ici liés à la géodynamique interne) puis secondaires (liés ici à la géodynamique externe) qui forment des ressources métallogéniques d'intérêts économiques majeurs.