

## DST n°5 Eléments de correction

### I. Le bore dans les roches magmatiques

**Question 1.**

- Quelle est le nom de la roche prise comme exemple dans la détermination des coefficients de partage ?

En supposant que les 4 minéraux soient majoritaires dans cette roche, il s'agit alors de **péridotite**. Plus précisément, le spinelle constitue la phase alumineuse d'une péridotite à des profondeurs de 40 à 100 km environ.

- Commentez les valeurs des coefficients de partage de B, Na et Mg. Quelle propriété le coefficient de partage permet-il de mettre en évidence ?

Le B a un coefficient de partage très inférieur à 1, tout comme le Na. Cela signifie donc que ces deux éléments ont tendance à passer dans la phase liquide lors d'un événement de fusion partielle : ils sont donc **incompatibles**. Par un raisonnement similaire, on montre que le Mg, par son coefficient de partage très supérieur à 1, est **compatible**.

- Analysez l'abondance en bore dans les différentes enveloppes solides de la Terre, et proposez une explication pour les variations observées.

On constate l'ordre d'abondance du B suivant :

manteau supérieur < manteau inférieur < MORB < croûte continentale < argiles

On peut proposer l'explication suivante :

- Au cours des événements de fusion partielle ou de cristallisation fractionnée, les éléments incompatibles s'accumulent dans les phases liquides. Le manteau supérieur est un manteau **appauvri en incompatibles**, en raison de sa participation massive aux événements de fusions partielles. Par opposition, le manteau inférieur est moins appauvri.
- Le MORB est un magma **produit par fusion partielle de manteau supérieur**, ce qui explique l'enrichissement en B par rapport à sa source (le manteau sup).
- L'OIB est un magma **produit par fusion partielle de manteau en partie issu d'une remontée de manteau inférieur** (points chauds), ce qui explique l'enrichissement par rapport à sa source (le manteau inf), mais également le plus fort enrichissement par rapport au MORB (car issu d'un réservoir plus riche en B).
- Les granitoïdes sont issus soit de la **différenciation d'un magma basique**, soit de la **fusion partielle d'un granitoïde préexistant**. Dans chacun des deux cas, le liquide s'enrichit en incompatibles, donc en B, ce qui explique que le taux de B soit beaucoup plus important que celui des MORB et OIB.
- L'argile est issue de l'altération des continents, donc des granitoïdes, qui sont des roches très riches en B. On peut faire l'hypothèse que le bore entre dans la composition de l'argile, au même titre que d'autres éléments chimiques. On peut aussi supposer qu'il interagit avec les feuillets, comme le font de nombreux cations. Toute hypothèse cohérente a été valorisée.

**Question 2.**

- Placez la roche du document 2a dans le diagramme du document 2b.

On recalcule les pourcentages (%<sub>R</sub> = pourcentages recalculés)

total: %Alb + %An + %Qz + %Orth = 19 + 5 + 20 + 36 = 80 %

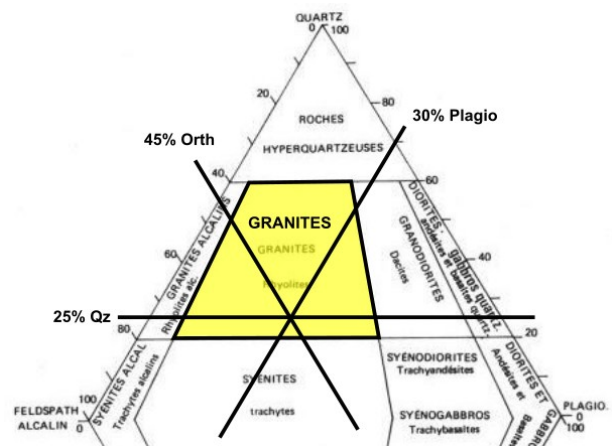
%<sub>R</sub>Plagio = (%Alb + %An)/0,8 = 24/0,8 = 30 %

%<sub>R</sub>Qz = %Qz/0,8 = 20/0,8 = 25 %

%<sub>R</sub>Orth = %Orth/0,8 = 36/0,8 = 45 %

D'où :

- Dans le document 2c, que représente la courbe tracée ?



La courbe sépare le domaine où la roche n'est pas fondue, et celui où elle est partiellement fondue. Il s'agit donc d'un **solidus**.

- Analyser le document 2c afin de déterminer l'influence du bore sur la fusion partielle.

Le solidus est une fonction décroissante de la concentration en B ; en d'autres termes, le B permet à une roche de fondre à plus basse température.

- **Rappelez principaux contextes géodynamique à l'origine de magmas. A l'aide des informations des document 1 et 2c, discutez l'influence du bore sur chacun de ces contextes.**
  - *Dorsales* : fusion de manteau supérieur par décompression adiabatique, très pauvre en B. Le B n'a donc a priori pas ou peu d'effet dans ce contexte.
  - *Points chauds* : fusion par réchauffement isobare de manteau supérieur enrichi par des apports de manteau inférieur. Il y a donc un peu plus de B que dans le contexte de dorsale, donc le bore a a priori une influence faible sur ce contexte, mais plus forte que pour le dorsales.
  - *Subductions* : fusion de manteau supérieur métasomaté par les fluides provenant du slab. Or, le slab peut contenir des sédiments océaniques, très riches en B. Donc le bore pourrait avoir une grande influence sur ce contexte, et contribuer à l'abaissement du solidus (comme l'eau).
  - *Anatexis de la croûte continentale* : fusion partielle de la croûte continentale en contexte orogénique. Or, le granite est riche en B, donc le bore pourrait avoir une grande influence sur ce contexte, et contribuer à l'abaissement du solidus.

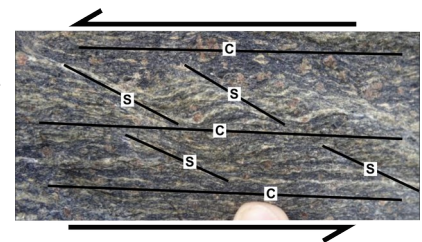
## II. Le bore au cours du métamorphisme

### Question 3.

- **Décrivez et interprétez les trois photographies du document 3, en vous concentrant sur la paragenèse, le faciès métamorphique et les déformations.**
  - *Paragenèse* :
    1. gros minéraux rougeâtres sphériques → grenats ; pâte ou petits cristaux bleutés : difficile à dire. Peut être glaucophane ? peut-être argiles, mais étonnant pour une roche métamorphique. On penche plutôt pour glaucophane.
    2. gros minéraux rougeâtres, mais moins nombreux que dans la roche 1 : grenat ; lits jaune très clair, qui tire sur le vert : épidote (non exigible) ; lits bleus sombre : glaucophane
    3. minéraux trop petits pour être identifiés, mais phase clairement bleue sombre : glaucophane ; lits plus claires : épidote (non exigible)
  - *faciès* : pour chacune des trois roches (qui appartiennent à la même formation), on a le même faciès. La paragenèse à grenats et glaucophane est caractéristique des **schistes bleus**.
  - *déformation* :
    1. pas de déformation apparente, roche visiblement isotrope.
    2. importante **foliation**, doublée d'un **cisaillement**, dont la direction est déduite d'une schistosité oblique (voir ci-contre)
    3. Outre la foliation, déduite plus qu'elle visible, on a de très forts plissements, qui semblent anisopaques.

On en déduit que ces roches ont subi un **métamorphisme au faciès schiste bleu**, soit un faciès de **moyenne à haute pression et basse température**. Ces roches ont donc vraisemblablement subi une **subduction**. De plus, les intenses déformations peuvent être reliées à la fois au contexte et au métamorphisme :

- Les subductions sont des limites de plaques, avec de nombreuses contraintes, à l'origine d'intenses déformations.
- Les déformations accélèrent les réactions métamorphiques, et le métamorphisme observé ne serait peut être pas aussi poussé s'il n'y avait pas eu autant de déformations.



### Question 4.

- Complétez le tableau du document 4b.

nom	conditions	gradient	type.s de contexte géodynamique.s
franciscain	HP-BT	5 K.km <sup>-1</sup>	subduction
barrovien	MP-MP	20 K.km <sup>-1</sup>	collision
Abukuma	BP-HT	50 K.km <sup>-1</sup>	effondrement gravitaire d'une chaîne de montagne, métamorphisme de contact

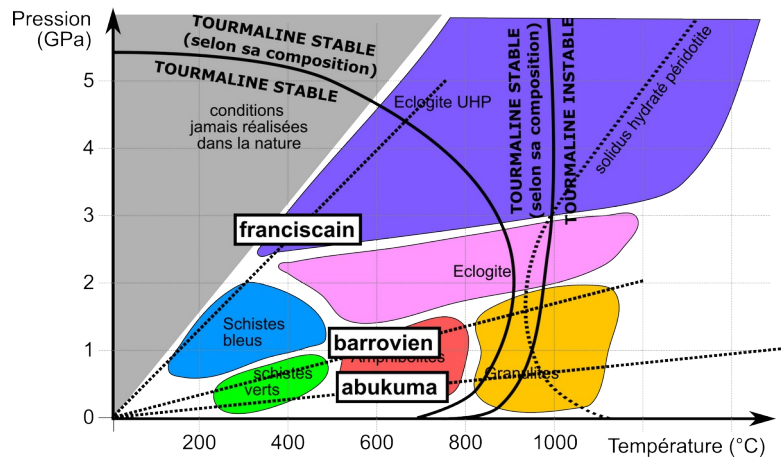
Document 4b: Les trois principaux types de gradients métamorphiques.

- Tracez sur le document 4a le gradient métamorphique correspondant aux roches de l'île de Syros analysées dans la question précédente.

On prendra la correspondance 1 GPa ↔ 30 km

- Discutez la stabilité de la tourmaline dans le contexte géodynamique de l'île de Syros.

On est dans le faciès des schistes bleus, donc dans une zone où la tourmaline est stable quelles que soient les conditions.



- Discutez l'intérêt d'utiliser la tourmaline comme géothermomètre ou géobaromètre.

Un bon géothermomètre (resp. géobaromètre) est une courbe de stabilité indépendante de la température (resp. pression), donc verticale (resp. horizontale) dans la grille pétrogénétique. La limite de stabilité de la tourmaline n'est ni verticale ni horizontale, c'est donc un mauvais géothermomètre et géobaromètre a priori. On peut toutefois tenter de définir un géothermomètre ou géobaromètre conditionnel :

- dans des conditions de pression supérieures à 1 GPa (~30 km), la courbe de stabilité de la tourmaline est quasiment indépendante de la température. On pourrait alors considérer qu'il s'agit d'un géothermomètre pour des pressions supérieures à 30 km.
- cependant, l'existence d'un domaine « stable selon la composition » rend cette utilisation très délicate. Si la présence de tourmaline signe bien des conditions particulières de P et T, son absence pourrait être due au fait que la composition chimique de la roche ne permet pas sa cristallisation, et elle ne peut donc pas être utilisée simplement comme géothermobaromètre.

**Question 5.**

- Rappelez ce qu'est un minéral zoné.

Un minéral zoné est un minéral dont la composition varie au cours de sa cristallisation. Son cœur n'a pas la même composition que sa périphérie.

- Analyser le δ<sup>11</sup>B de la tourmaline zonée du document 5, et proposez une histoire géologique permettant d'expliquer ces variations.

Il y avait une erreur dans l'énoncé : les fluides circulants s'appauvrissent en <sup>11</sup>B, donc le δ<sup>11</sup>B de la lithosphère océanique augmente. On pouvait toutefois proposer des hypothèses malgré cette erreur.

Le δ<sup>11</sup>B de la tourmaline est faible au cœur, et diminue lorsqu'on se déplace vers l'extérieur. On rappelle que les roches de Syros ont une histoire en trois temps : elles sont 1. formées par cristallisation d'un MORB au niveau de la dorsale, 2. hydrothermalisées au faciès amphibolite, et 3. subduites et métamorphosées au faciès schiste bleu. Si tout le minéral s'est formé pendant la même phase, il n'a pas de raison d'être zoné.

On peut donc construire l'histoire suivante :

- Le cœur s'est formé d'abord, dans un contexte de bas δ<sup>11</sup>B (hydrothermalisme).

- La périphérie s'est formée secondairement, après déshydratation. Or les fluides ont un bas  $\delta^{11}\text{B}$ , donc la lithosphère a un  $\delta^{11}\text{B}$  par rapport ces fluides.

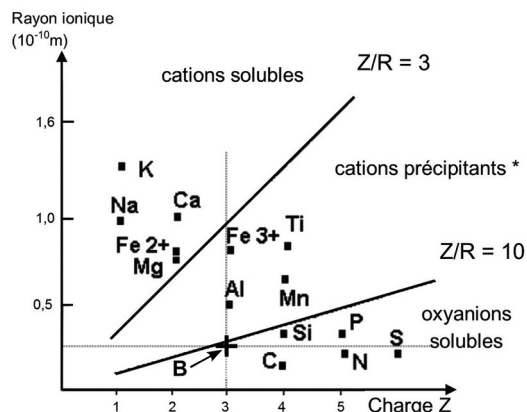
Avec l'erreur d'énoncé, on pouvait proposer que la périphérie de la tourmaline se forme alors que les fluides circulent à proximité, transportant un B à  $\delta^{11}\text{B}$  positif. Toute hypothèse cohérente a bien entendu été validée.

### III. Le bore dans les sols

#### Question 6.

- Placez le bore dans le document 6.
- Déterminez le devenir du bore dans le processus d'altération chimique de la roche mère lors de la formation d'un sol.

Le bore est dans le domaine des oxyanions solubles, et va donc être emporté avec les eaux de ruissellement, et non rester sur place comme l'Al ou le Fe.



#### Question 7.

- Analysez le document 7a.

Le sol est d'autant plus adsorbant que sa texture est fine. Cela peut s'expliquer par la richesse en argile : les argiles, dont les surfaces sont chargées négativement, peuvent adsorber les cations. Or, le bore est un cation  $\text{B}^{3+}$ .

- Documents 7b et 7c : déterminez l'effet du bore sur le rendement du riz, et proposez des explications.

#### Doc 7b

Pour toutes les variétés, le pourcentage d'augmentation est positif ou nul. Le bore provoque donc l'augmentation des rendements.

Cependant, l'augmentation n'est pas la même pour toutes les variétés, et selon si on s'intéresse à la paille ou aux grains. Pour certaines variétés (Basmati-6129 par exemple), le rendement est plus augmenté pour la paille que pour les grains. Pour d'autres (la plupart, comme super-basmati par exemple), le rendement est plus augmenté pour les grains que pour la paille.

De plus, les différentes variétés n'ont pas du tout la même réaction. Si on s'intéresse aux grains, la variété IR-6 ne voit son rendement augmenter que de 10 %, quand la variété super-basmati augmente de près de 80 %.

Cependant, on ne donne aucune barre d'erreur, ce qui permet de douter du résultat, et rend cette interprétation sujette à caution.

#### Doc 7c

Chez toutes les variétés à l'exception notable de basmati-6129, la quantité de B dans les tissus augmente significativement après traitement (augmentation de 20 % à 120 % selon les variétés). Donc, pour ces variétés, le bore excédentaire peut permettre aux cellules de réaliser plus efficacement des processus, comme la photosynthèse par exemple.

Pour la variété basmati-6129, le bore provoque une augmentation du rendement, mais sans pour autant que la quantité de bore n'augmente de façon significative. On peut alors proposer :

1. que le bore stimule des symbiontes de la plante, ou est toxique pour des parasites
2. que le bore pénètre dans la plante, mais ne s'accumule pas dans les tissus qui ont été prélevés (on ne sait pas si le prélèvement eu lieu dans la plante entière ou dans un organe précis).

Toute autre hypothèse intéressante validée par ailleurs.

- Bilan : déterminez les choix permettant d'optimiser le rendement du riz.

Il faut se porter sur une variété dont le rendement de grains augmente fortement avec traitement, comme la variété super-basmati, et envisager une culture sur sol riche en B, ou amender en ajoutant du B dans le sol.

**Question 8.**

- Analysez le document 8.

**Doc 6 gauche**

On observe une augmentation significative de la quantité de carbone organique après amendement, et ce, à partir de 100 t.ha<sup>-1</sup>. Les chutes de papier sont constituées de cellulose, donc de matière organique, utilisable par les décomposeurs. On se serait attendu à ce que la quantité de carbone organique soit significativement augmentée dès le traitement ; la raison est probablement que la quantité ajoutée est faible 1. par rapport à la quantité présente naturellement, et 2. par rapport à la variabilité naturelle au sein de la parcelle.

**Doc 6 milieu**

On observe une augmentation significative de la CEC du sol après amendement. On l'interprète comme étant due à l'apparition d'humus, à l'origine de molécules anioniques (carboxylates), qui participe grandement à la CEC d'un sol.

**Doc 6 droite**

On observe une augmentation significative de la concentration de B, dès l'ajout de 50 t.ha<sup>-1</sup> (le traitement le plus léger).

- Pour les traitements de 100 t.ha<sup>-1</sup> et plus : on s'attendait à cette augmentation, puis qu'on a vu précédemment que la CEC du sol était augmentée, et donc la capacité du sol à retenir le bore, qui est un cation.
- Pour le traitement de 50 t.ha<sup>-1</sup> : on ne s'attendait pas à cette augmentation, puisque ni la quantité de matière organique ni la CEC n'augmente de façon significative pour ce traitement. On peut faire l'hypothèse que le papier utilisé contient lui même du B, et que l'augmentation observée est en partie due au B apporté directement par le papier.

**IV. Le bore au cours du développement embryonnaire****Question 9.**

- Déterminez l'effet du bore sur la physiologie du chondrocyte, et proposez des hypothèses expliquant cet effet.

**Doc 9a**

L'unité des ordonnées n'est pas expliquée ici. On observe une augmentation significative de la capacité des chondrocytes à synthétiser des protéoglycanes lors que la concentration en B du milieu augmente. Cependant, au-delà de 2 %, la synthèse de protéoglycanes diminue significativement, sans pour autant revenir au niveau basal. On peut donc déduire que le bore **stimule** la production de protéoglycanes, mais que cet effet est diminué au-delà d'une concentration seuil de 2 %. Il est même possible que le B soit toxique au-delà de cette même concentration.

**Doc 9b**

On n'observe pas de changements notables entre A et B. Il s'agit d'un **témoin négatif**, qui peut donc servir de comparaison avec l'expérience C.

En C, on observe (après traitement au B) un réticulum endoplasmique granuleux (REG) particulièrement développé. Il occupe environ 25 % de la surface de la coupe, alors qu'il occupe environ 5 % de la surface de la coupe en B.

On déduit de cette observation que le traitement provoque un développement du REG. On peut faire l'hypothèse très vraisemblable que ce développement du REG est à l'origine de la forte production de protéoglycanes par les cellules traitées au B (doc 9a).

**Explications :**

Le B peut être un cofacteur d'une enzyme du métabolisme des protéines (ribosome, enzyme permettant la synthèse d'un acide aminé...). Il est peut être aussi impliquée dans un messager intracellulaire permettant de stimuler le développement du REG. Toute autre hypothèse a été validée.

**Question 10.**

- Montrez que Hex est un facteur de transcription inhibiteur.

**Doc 10a**

Avec ce construit, on cherche à faire en sorte de forcer Hex à se fixer sur le promoteur SV40, afin de tester s'il provoque une modification de l'expression du gène Luc, sous le contrôle de ce promoteur.

Avec GAL4 seul, l'expression de Luc est à peine augmentée par rapport au témoin sans protéine. Avec GAL4 + Hex, l'expression de Luc est fortement diminuée (facteur 3). La fixation de Luc sur le promoteur SV40 inhibe donc l'expression.

### Doc 10b

On compare deux protéines : une protéine AbdB (qui est en fait une protéine Hox de drosophile), et la protéine Hex. On voit que la protéine AbdB se fixe sur l'ADN sous forme d'un dimère. De plus, on reconnaît l'homéodomaine en bHLH typique de beaucoup de facteurs de transcription : deux hélices  $\alpha$  parallèles, et une troisième pivotée de  $90^\circ$  dans le même plan. On constate que la protéine Hex a des mêmes trois hélices  $\alpha$ , disposées de la même façon.

On peut donc faire l'hypothèse que Hex se fixe sur l'ADN, et que le rôle mis en évidence dans le doc 10a passe par une fixation directe sur la molécule d'ADN (ce qui est une condition pour être un facteur de transcription).

### Doc 10c

La RT-PCR permet de détecter l'expression des gènes. La piste du bas est le témoin de charge, qui est satisfaisant.

Si on injecte Hex, on constate que l'expression de goosecoid diminue, et de façon dose dépendante. Donc, *in vivo*, Hex provoque la diminution de l'expression d'un gène (le gène goosecoid).

NB : l'intérêt de l'expérience du doc 10c par rapport au doc 10a est l'utilisation d'une protéine Hex non recombinée, alors que l'utilisation d'une protéine fusion introduit un biais qui doit inviter à prendre le résultat de l'expérience du doc 10a avec précaution.

### Question 11.

- Déterminez le(s) tissu(s) où s'exprime Hex dans l'embryon de xénope.

Il s'agit d'une hybridation *in situ*, qui permet de déterminer la localisation de l'expression d'un gène par hybridation de son ARNm avec une sonde spécifique et détectable. Au début de la gastrulation, l'expression de Hex est dans la zone ventro-végétative, c'est-à-dire l'endoderme ventral (voire le mésoderme ventral). Cette localisation est confirmée en cours de gastrulation. En fin de gastrulation, on peut orienter l'embryon : dos dans la partie dr. de l'image, ventre à l'opposé, antérieur dans la partie haute de l'image, postérieur à l'opposé. La localisation est toujours ventrale, et cette fois plutôt postérieure. Par ailleurs, elle est à la fois superficielle et profonde : elle donc localisée dans le mésoderme et l'endoderme postérieur ventral de l'embryon.

### Question 12.

- Analysez le document 12.
- Pourquoi les auteurs de l'étude ont-ils surexprimé Hex dans les tissus dorsaux ?

On observe que l'embryon micro-injecté par l'ARNm Hex possède une chorde et un tube neural surnuméraire. Par ailleurs, le somite gauche est particulièrement peu visible. Or, on a vu que Hex s'exprimait normalement dans les tissus **ventraux**. L'expression de Hex dans des tissus dorsaux est donc ectopique (à une position anormale).

On déduit de ces observations que l'expression ectopique de Hex dans les tissus dorsaux de l'embryon provoque une désorganisation forte de ces tissus. Or, on a vu que Hex provoquait une diminution de l'expression de goosecoid. On peut faire l'hypothèse que goosecoid est un gène impliqué dans la coordination du développement des structures dorsales (tube neural, chorde, somites), et que ce soit par inhibition de l'expression de goosecoid que Hex provoque les modifications observées.

### Question 13.

- Quittez la salle en sifflotant gaiment.

