

CORRIGÉ DST # 2

EXERCICE 1 : MOBILISATION DES CONNAISSANCES {10 POINTS }

Organisation cohérente par rapport à la question posée	Organisation cohérente mais maladroite. (Des maladresses toutes les grandes idées sont présentes dans le devoir)		Organisation insuffisamment cohérente par rapport à la question posée. (La question n'est que partiellement traitée, toutes les grandes idées ne sont pas présentes)		Réponse incohérente par son organisation ou son contenu. (La question n'est pas traitée, l'élève récite son cours sans lien avec la question).							
Des connaissances et des éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) complets et exacts (issus ou non du ou des documents ²) et bien mis en relation	Des connaissances et des éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) complets et exacts (issus ou non du ou des documents ²) mais maladroitement mis en relation	Des connaissances et des éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) incomplets et exacts (issus ou non du ou des documents ²)	Des connaissances et des éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) (issus ou non du ou des documents ²) incomplets mais exacts	Des connaissances et des éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) (issus ou non du ou des documents ²) incomplets et avec des erreurs³	Quelques rares connaissances et éléments argumentatifs (expériences, observations, ...) exacts (issus ou non du ou des documents ²)	Aucun élément pour répondre à la question						
10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	2	1	0
La qualité de communication permet de discriminer les points attribués (7 ou 8 par exemple).												

LA FORMATION DE MAGMAS DANS 2 CONTEXTES GÉOLOGIQUES DIFFÉRENTS

A la surface de notre planète, de nouvelles roches se mettent en place en permanence pour former la croûte océanique ou la croûte continentale. Ces roches se forment dans des contextes géologiques différents mais elles ont un point commun: ce sont toutes des roches magmatiques.

Présenter les mécanismes de formation des magmas dont sont issues les roches de ces 2 types de croûtes, dans leurs contextes géologiques respectifs.

Vous rédigerez un exposé structuré. Vous pouvez vous appuyer sur des représentations graphiques judicieusement choisies. On attend des arguments pour illustrer l'exposé comme des expériences, des observations, des exemples ...

Différentes roches de croûte se forment sur le globe, le volume continental formé étant compensé par la disparition de roches lithosphériques annuelles par subductions.

3 conditions permettent de recouper le solidus d'une péridotite : remontée adiabatique en décompression (dorsale), apport de chaleur (point chaud) et hydratation par un fluide (subduction, via H₂O)

COMMENT SE FORME UNE NÉOROCHE MAGMATIQUE DE CROÛTE OCÉANIQUE DE DORSALE, BASALTE DE SURFACE À 1300°C ENVIRON DANS DE L'EAU DE MER À 4°C ET GABBRO PLUS EN PROFONDEUR ET UNE NÉOROCHE DE CROÛTE CONTINENTALE ISSUE DU VOLCANISME D'ARC EXPLOSIF DE SUBDUCTION : REFROIDISSEMENT RAPIDE : ROCHE MICROLITHIQUE DACITE, RHYOLITE OU ANDÉSITE, OU MACROLITHIQUE GRENUE ISSUE D'UN REFROIDISSEMENT PLUS LENT (GRANODIORITE, GRANITE, DIORITE) ?

I / GENÈSE DE MAGMAS DIFFÉRENTS DANS 2 CONTEXTES DIFFÉRENTS

A/ en subduction

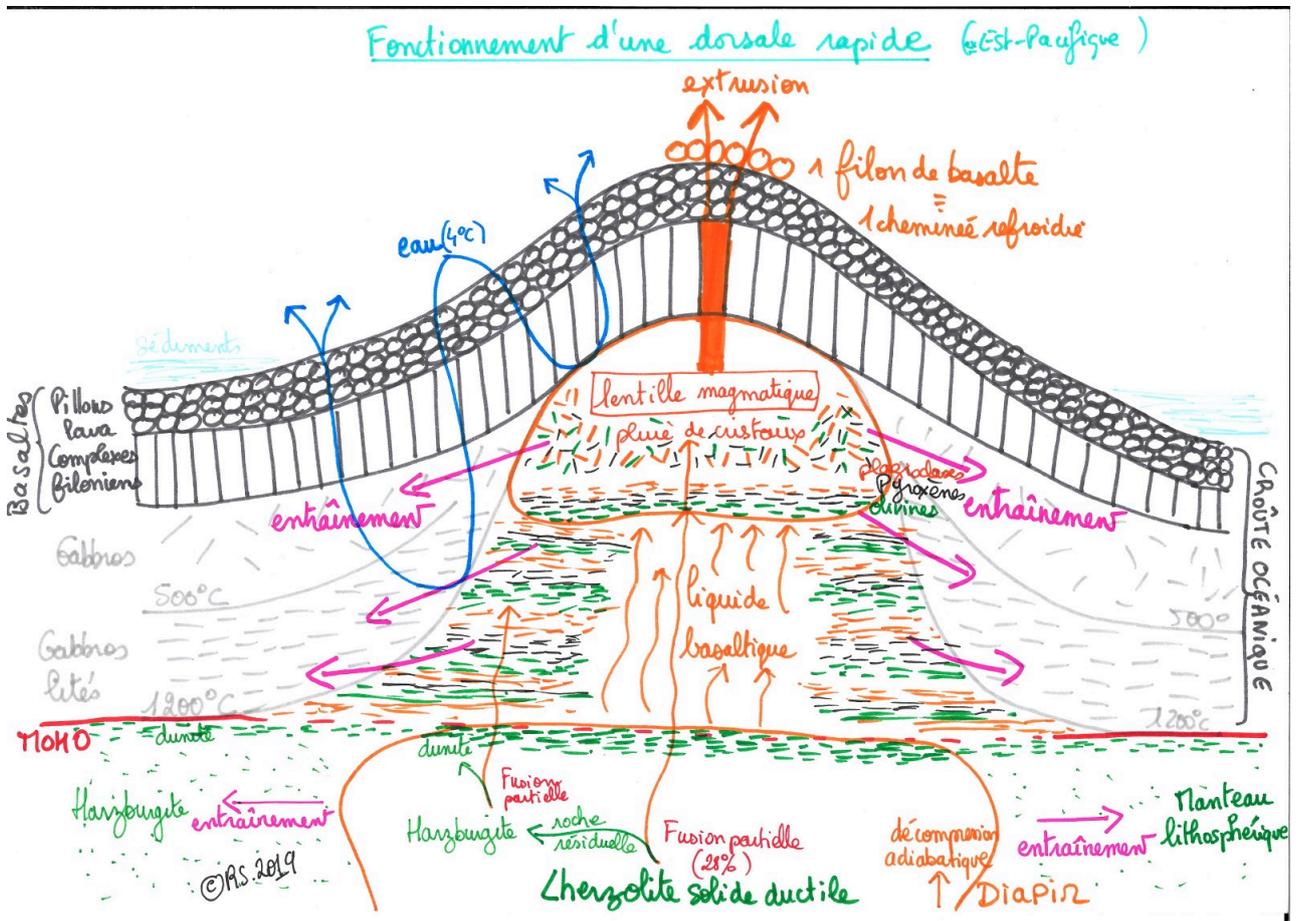
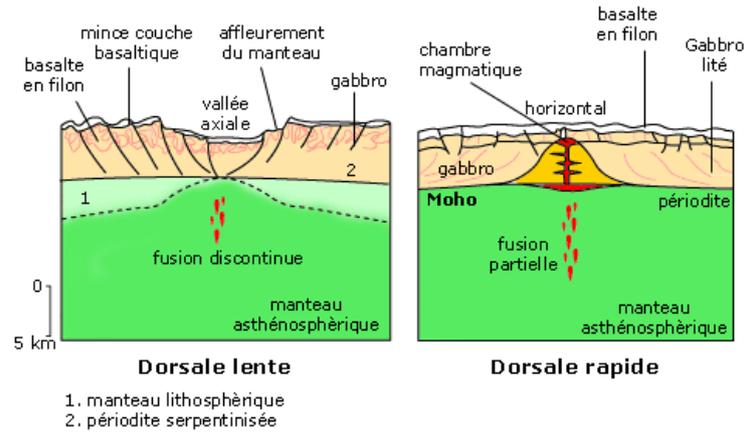
Il n'existe pas de formation de magma continue, il se forme toujours en des endroits particuliers dans les conditions particulières exceptionnelles précisées dans l'introduction précédente. Un magma provient toujours de la fusion partielle d'une roche préexistante. En dépit des variations de valeur du pendage (angle de plongée) de la lithosphère plongeante, les volcans se situent à l'aplomb d'une zone où le toit de la lithosphère en subduction est à une profondeur de - 100 km au plus. La péridotite de la plaque chevauchante située à ces profondeurs subit une fusion partielle à l'origine d'un magma. Les données thermiques indiquent que la température de la péridotite de la plaque chevauchante vers - 100 km est d'environ 1000°C, insuffisante pour une fusion partielle

péridotite chevauchante montre un couplage métamorphisme de subduction avec déshydroxylation du panneau plongeant / magmatisme (déshydratation) dans le faciès schistes bleus et élogites (voir schéma ci-dessus) au-delà de -40km de profondeur pour le slab (panneau plongeant)

L'introduction d'eau caractérise toutes les régions qui, en surface, correspondent au plongement d'une plaque océanique (chapelet d'îles comme le Japon, "marges" continentales actives comme la Cordillère des Andes...). La tomographie sismique du manteau dans les zones de subduction montre qu'il existe un coin de manteau entre la croûte de l'arc et la plaque plongeante.

B/ au niveau des dorsales, zones d'accrétion

L'étude du diagramme de phases de la péridotite indique que cette dernière entre en fusion partielle dans différentes combinaisons de températures et de pressions. Ainsi, si la péridotite entre en fusion partielle sous une dorsale c'est qu'elle rencontre des conditions de pressions/températures qui le permettent. L'étude de la répartition des isothermes révèle que l'isotherme 1300°C correspondant à la limite lithosphère / asthénosphère et normalement présent entre -80 et -100 kilomètres de profondeur, est plus haute que prévu sous la surface du plancher océanique à l'aplomb de la dorsale (-3 km) : => cela indique bien la remontée de matériau chaud par la cellule de convection. Or si la température de ce matériau reste constante à plus de 1300°C, sa pression va progressivement diminuer au fur et à mesure de son ascension : on parle de décompression adiabatique car il n'y a pas de changement de température. Ce matériau à température constante finira par arriver à une pression suffisamment faible pour permettre une fusion partielle : cela se produira vers -80 km de profondeur. Si le géotherme de la lithosphère océanique ne recoupe pas le domaine de fusion partielle des péridotites, celui de la lithosphère océanique au niveau d'une dorsale oui, créant ainsi des conditions permettant la naissance d'un magma d'origine mantellique



II / DEVENIR DU MAGMA ET GENÈSE DE NÉOROCES CRUSTALES

A/ en subduction

1/ cristallisation fractionnée, remontées et refroidissements rapides de subductions : genèse d'andésites et rhyolites volcaniques

Ce magma est injecté dans les couches situées au-dessus, le manteau lithosphérique chevauchant puis la croûte continentale plus en surface où il est stocké dans des chambres magmatiques où ce magma provoque la fusion partielle des roches continentales encaissantes : il y a mélange des 2 magmas mantelliques et granitique d'origine crustale, l'arc volcanique de la plaque chevauchante étant généralement situé à l'aplomb du coin mantellique fusionnant situé à - 100km.

L'analyse des roches volcaniques des zones de subduction et l'expérimentation montrent des produits de fusion très différents de ceux qu'engendre la fusion sous les dorsales. Au lieu de basaltes (à 40 à 45% de SiO₂), on obtient des andésites et des diorites à 50 à 60% de SiO₂. Le magma résultant génère par refroidissement des roches effusives microlithiques, andésites et rhyolites, arrivant en surface au cours d'éruptions volcaniques explosives, plutôt imprévisibles, dangereuses, à nuées ardentes, laves visqueuses et gaz tels que la vapeur d'eau, engendrées par des surpressions rares faisant sauter un bouchon d'accumulation dans la chambre magmatique sous-jacente au point de sortie.

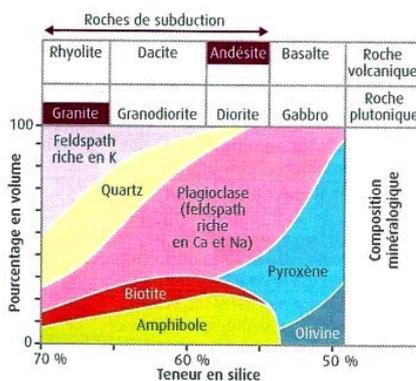
Le fractionnement des éléments légers comme Si, Na, K ou lourds comme U, Th, est alors maximum. Ces produits sont en outre de faible densité (d=2,8 au lieu de 3 pour les basaltes). Ils ne peuvent plus être recyclés dans le manteau et donnent naissance à de la croûte continentale, dont la composition chimique moyenne peut être assimilée à celle des diorites, roches intermédiaires entre les basaltes, liquides quasi indifférenciés, et les granites, qui constituent le terme le plus évolué de ce fractionnement.

La rhyolite, issue de laves acides (riches en silice Si dans l'espèce chimique SiO₂ dite intermédiaire), a une composition chimique proche du granite avec des minéraux essentiels quartz et feldspaths et où on trouve également des minéraux ferromagnésiens hydroxylés (riches en OH) comme la biotite et l'amphibole. L'andésite, issue de laves intermédiaires (richesse en silice entre 53 et 66%) de couleur gris clair, ne contient pas de quartz et essentiellement feldspaths et minéraux ferromagnésiens type amphiboles et biotite, hydroxylés, résiduels, à relier à l'hydratation de la péridotite source.

La dacite, roche magmatique volcanique microlithique claire composée de quartz, de plagioclase, de verre et de minéraux ferromagnésiens : biotite, hornblende ou pyroxène, équivalent volcanique de la granodiorite, se distingue minéralogiquement de l'andésite par la présence de quartz ...

NB : la remontée rapide du magma à l'origine de ses roches ne doit pas faire oublier une première cristallisation fractionnée préalable dans une autre chambre plus en profondeur avant cette remontée dite rapide reliée à la structure minéralogique microlithique qui leur est propre.

Structure	Composition minéralogique			Vitesse de refroidissement
	Quartz Feldspaths Orthose avec ou pas de F. Plagioclases minéraux secondaires : biotite - amphibole	Quartz Feldspaths Plagioclases (plus abondant que les F. orthose) minéraux secondaires : biotite - amphibole - pyroxène	Feldspaths Plagioclases Amphibole verte (Hornblende) biotite et pyroxène plus rares	
Microlithique	Rhyolite	Dacite	Andésite	Refroidissement rapide
Grenue	Granite	Granodiorite	Diorite	Refroidissement lent
	Magma riche en silice (entre 65 et 75 %)	Magma assez riche en silice (entre 60 et 65 %)	Magma moyennement riche en silice (entre 50 et 60%)	Chimie du magma



La **granodiorite** (de « grain » et de « diorite ») est une roche magmatique plutonique grenue proche du granite. Elle est le résultat de la fusion partielle de la péridotite du manteau au niveau de l'arc magmatique d'une zone de subduction. Cette péridotite en fusion partielle remonte et reste bloquée dans des réservoirs où elle va entamer une lente cristallisation en profondeur, donnant naissance à la granodiorite. Elle est principalement constituée de **quartz (> 10 %)** et de **feldspaths**, mais contrairement au granite, elle contient **plus de plagioclases** que d'orthose. Les minéraux secondaires sont la **biotite**, l'**amphibole** et le **pyroxène**.

La **diorite** est une roche magmatique plutonique grenue composée de **plagioclase, d'amphibole verte (hornblende)**, de mica et de **biotite** plus rare. Elle se distingue du **gabbro** par l'**absence d'olivine**.

La **rhyolite** est une roche volcanique de couleur assez claire : rosée ou grise. C'est une roche à structure microlithique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et amphibole.

2/ cristallisation fractionnée, remontées et refroidissements lents de subductions : formation de plutons et granitoïdes

La majeure partie du magma se refroidit en profondeur et donne des roches plutoniques grenues (granitoïdes, à composition minéralogique proche du granite), caractéristiques de la croûte continentale, contribuant à produire un néomatériau continental. Si le magmatisme des dorsales engendre la croûte océanique (basaltes et gabbros), celui des zones de subduction donne naissance à des roches de la croûte continentale (granitoïdes).

Un pluton est un massif de roches plutoniques, magmatiques grenues, en montagne, formées par refroidissement lent d'un magma, plusieurs dizaines de milliers d'années, permettant la formation de gros cristaux (macrocristaux), due à la grande profondeur de mise en place du pluton. Les roches plutoniques affleurent ensuite grâce à l'érosion qui cisèle les montagnes et retire les couches de terrain sous lesquelles le pluton s'était installé.

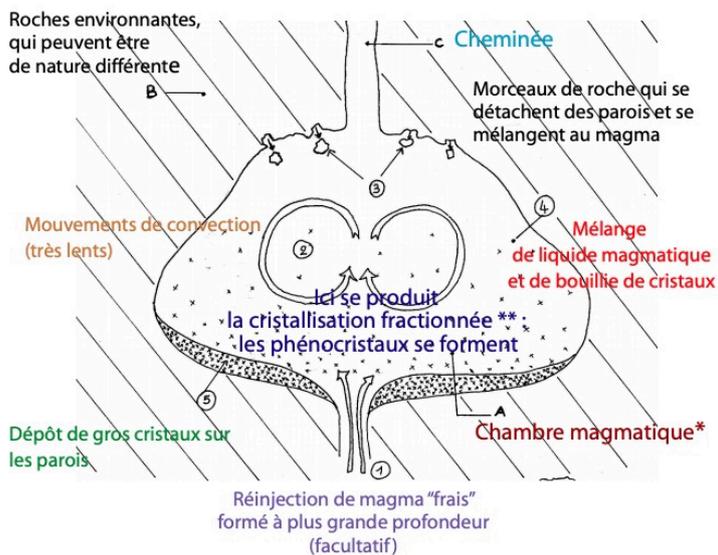
B/ en zone d'accrétion aux dorsales

Il existe 2 grandes catégories de dorsale dont le fonctionnement dépend du taux de fusion partielle de la péridotite :

- 1/ les dorsales rapides, à vitesse d'expansion de 5 à 10 cm.an⁻¹. Leur importante activité volcanique provient d'un taux de fusion partielle Tf assez élevée (28 % maximum), avec comme exemple la dorsale Est Pacifique. La péridotite du manteau, une lherzolite, une fois entrée en fusion partielle, produit un liquide magmatique de type basaltique, la roche résiduelle appauvrie s'appelle une harzburgite qui peut subir une fusion partielle dont la roche résiduelle correspondra à une accumulation de cristaux d'olivine et appelée « Dunité ». Le magma issu de la fusion partielle de la péridotite mantellique est injecté dans la chambre magmatique à une température de 1300°C au minimum. Il va se retrouver en contact avec les parois froides de cette dernière et va perdre en température. Il va ainsi y avoir une diminution de l'agitation des molécules favorisant leur association formant des minéraux qui pourront adopter une forme géométrique et prendront alors le nom de cristaux. Les premiers minéraux à cristalliser sont les olivines puis avec la baisse des températures ce sont les pyroxènes puis enfin les feldspaths plagioclases. Sous leur propre poids, les cristaux vont se déposer au fond de la chambre magmatique puis en raison de la divergence, être entraînés sur les côtés et former des gabbros lités. Ainsi le magma de départ a subi des cristallisations successives d'où l'appellation « cristallisation fractionnée ». Les roches formées en surface, des « basaltes », ont été formées par refroidissement rapide au contact de l'eau de mer, constituées d'une pâte non cristallisée appelée « verre » ou « mésostase » de couleur sombre car riche en Fer et Magnésium. Au cours de son ascension dans la cheminée volcanique vers la surface, ce magma résiduel a subi un refroidissement assez rapide mais pas aussi rapide qu'en surface : de microcristaux ont amorcé leur croissance mais ont été figés dans la mésostase au moment de l'épanchement en surface. On peut donc ainsi observer des microlites ou microcristaux au sein d'une mésostase : on parle de structure microlitique. Ce magma a pu entraîner avec lui de gros cristaux (phénocristaux) formés préalablement. On peut ainsi observer des phénocristaux d'olivines au sein d'une mésostase donnant un « basalte à olivine ». Cette structure révèle une formation en deux temps : une cristallisation des olivines puis une évacuation du magma avant que ces dernières ne se déposent au fond de la chambre magmatique

- 2/ les dorsales lentes : d'activité volcanique inférieure à l'activité tectonique. Sous l'effet de la divergence, la lithosphère océanique s'affine, se fracture, donnant naissance à une vallée d'effondrement volcanique appelée « rift ». Si l'activité volcanique est quasi inexistante, sous l'effet de la divergence, une faille majeure se met en place facilitant la remontée de la péridotite sous-jacente (la lherzolite) qui formera des dômes de plusieurs kilomètres de long et de large et appelées O.C.C (Océanics Core Complexes) ou encore Mégamullions. Dans le cas des dorsales rapides, l'injection dans la croûte d'un énorme volume de magma provoque un bombement du plancher océanique, fracturant le sol. Ainsi, à l'axe de la dorsale rapide on n'observe pas de vallée centrale alors que c'est le cas dans les dorsales lentes ou intermédiaires. Les dorsales lentes ont une vitesse d'expansion allant de 0,5 à 1 cm par an avec faible activité volcanique provenant d'un faible taux de fusion partielle (de 8 à 13 %). On peut citer comme exemple de dorsale ultra lente la dorsale du sud-ouest de l'Océan Indien et comme dorsale lente (voire intermédiaire), la dorsale médio-Atlantique.

QUE SE PASSE-T-IL DANS LA CHAMBRE MAGMATIQUE ?



* La chambre magmatique existe parce que les conditions physique (P et T) et chimiques sont favorables à une fusion des roches et son accumulation à cet endroit précis. Il peut exister plusieurs réservoirs à différentes profondeurs. Dans le cas des volcans explosifs, c'est la présence d'eau qui fait fondre des roches vers -100km : un réservoir se forme à cette profondeur. Dans le cas des volcans "de point-chaud" comme le Piton de la Fournaise, le magma remonte directement du manteau, il peut ne pas y avoir de réservoir.

** La cristallisation fractionnée est le processus de fabrication des différents minéraux les uns après les autres. Cela fait évoluer la composition du magma, qui passe de "basique" (comme le basalte) à "acide" (comme le trachyte). Donc, plus le magma séjourne longtemps dans la chambre magmatique, plus les cristaux seront gros et plus il sera acide, donc visqueux.

BILAN

	NÉOCROÛTE CONTINENTALE EN SUBDUCTION	NÉOCROÛTE OCÉANIQUE EN ACCRÉTION (CONTEXTE DE DIVERGENCE AVEC DORSALE)
roche source	péridotite hydratée	péridotite
conditions de fusion partielle Fp	abaissement du solidus d'environ 300°C par apport de fluide (eau, résidus hydroxyles)	décompression adiabatique et vitesse de production du magma liée à l'écartement d'accrétion et supérieur pour les dorsales rapides
taux de fusion partielle	10% environ	5 à 5%, vitesse d'expansion de 1 à 12 cm.an ⁻¹
roches générées	par refroidissement rapide : andésites, rhyolites lent : granodiorites, dacites, granites	par refroidissement rapide : basaltes lent : gabbros grenus

EXERCICE 2 : PRATIQUE D'UN RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE (PRS) (10 POINTS)

La sismologie a mis en évidence une organisation en couches concentriques de la Terre via des discontinuités sismiques croûte / manteau et manteau / noyau imputables à de forts contrastes chimiques induisant des contrastes physiques. La chimie globale du manteau étant relativement homogène, l'origine des discontinuités observées vers 410, 520 et 670 km de profondeur a été recherchée par des expériences en laboratoire dans des conditions de hautes pressions (HP) afin de suivre l'évolution minéralogique d'une roche de composition péridotitique ou de ses phases minérales majeures dont le comportement a été "testé" lors d'expérience en laboratoire à hautes températures et pressions (HPHT).

Vers - 670 km de profondeur, montrons en quoi, par des faits scientifiques, il existe une discontinuité identifiée entre manteau supérieur et inférieur péridotitique.

Dans le manteau supérieur, la phase majeure observée dans les péridotites échantillonnées (enclaves, par exemple) est l'olivine, (Mg90%,Fe10%)₂SiO₄. L'extrait visuel du logiciel Minusc (document 1) montre des liaisons inter-atomiques O-O dans la forme olivine bridgmanite plus stable à cette profondeur (document 2, aux données dont on peut penser qu'elles sont issues de mesures réalisées dans des cellules à enclume de diamant), sous-jacente à celle de la forstérite (Mg₂SiO₄), dans les conditions de pression-température locales, ce qui peut s'expliquer par l'effet compressif (c'est davantage, document 2, l'effet pression qui double entre les domaines de stabilité des 2 formes avec en moyenne 34 Mpa.Km⁻¹ d'enfoncement quand la température n'augmente que de 200°C à cette profondeur induisant donc une hausse de masse volumique de la péridotite via sa forme d'olivine subissant une transition. La forme bridgmanite FeMgSiO₃ présente moins d'atomes de magnésium et avec d'autres valeurs de distances inter-atomiques mais plus de silicium or la masse atomique du silicium excède largement celle du magnésium (42 g. mol⁻¹ contre 24). Or on en compte 9 à 12 (3 à 4 fois plus) que la forme forstérite quand celle du nombre d'atomes de Mg diminue d'autant. Tout ceci contribue à **augmenter la masse volumique de 40%** (document 2 : ((4,295-3,273)/3,273) x 100) en lien avec une **compaction corrélable de 36%**. Le document 3 illustre qu'à cette profondeur de - 670 km, les ondes P et S sont accélérées (+10% pour les 1ères environ graphiquement et +16 pour les S), ce qui suggère à l'état solide une **augmentation de masse volumique** ce qui appuie l'hypothèse précédente faite sur le changement de structure 3D de l'olivine à cette interface. Enfin le document 4 suggère une subduction de pendage faible et peu profonde (anomalies positives de la tomographie sismique jusque vers - 670 km environ interprétable comme une zone anormalement dense à cette profondeur, où la lithosphère ne devrait excéder - 100 km soit 7 fois plus bas, et identifiée comme un slab froid), c'est-à-dire de la plaque Pacifique. Ceci suggère à cette profondeur un changement de viscosité, d'état de la péridotite qui s'oppose à l'enfoncement donc une moins grande fluidité, plasticité, soit plus grande viscosité environnante expliquant cette résistance, due aussi à un slab qui perd sa rigidité.

Complément, pour aller plus loin et pour la petite histoire :

La limite manteau supérieur / manteau inférieur, correspondant à la discontinuité sismique de - 670 km est physique et majeure puisque certains plaques en subduction y trouvent une "résistance" à leur poursuite. Des expériences à très hautes pressions (-25 GPa) mimant les conditions de cette limite, montrent que la ringwoodite dont la forstérite est le pôle magnésien pur subit non pas un passage vers une forme isochimique plus compacte mais une dissociation en 2 phases distinctes selon la réaction : (Mg,Fe)₂SiO₄ → (Mg,Fe)SiO₃ (bridgmanite) + (Mg,Fe)O, la magnésio-wüstite. L'oxyde de magnésium est le périclase, l'oxyde de fer est la wüstite et le mélange (Mg,Fe)O est appelé magnésio-wüstite ou ferropériclase. La phase silicatée, dont la structure cristalline est voisine de celle de la pérovskite, CaTiO₃, titanate (rare) naturel de calcium. De là découlent les noms de MgSiO₃-perovskite ou Si-pérovskite ou pérovskite silicatée donnés initialement. Cette phase silicatée de très haute pression (THP) n'avait jamais été observée dans un échantillon naturel avant 2009 dans une veine de choc de la météorite de Tenham (Australie). Une première observation ayant détruit le cristal lors de sa caractérisation cristallographique, 2 chercheurs, Chi Ma (Caltech) et Oliver Tschauner (Univ. du Nevada), ont repris les recherches en utilisant d'autres moyens d'investigation physique et ont pu décrire complètement cette phase dont le nom officiel est, depuis le 2 juin 2014, bridgmanite, en l'honneur du physicien américain Percy Williams Bridgman, prix Nobel de physique en 1946 pour ses travaux sur les systèmes permettant de reproduire de très hautes pressions en laboratoire. En volume, la bridgmanite est la phase minérale majoritaire du manteau inférieur (~70%) qui, lui-même, représente environ 55% du volume de la Terre soit environ 66% du volume du manteau et 65% du volume de Terre cristallisée. A elle seule, occupe plus de 40% du volume de la Terre et constitue donc sans aucun doute le minéral le plus abondant sur Terre !

LES 3 CRITÈRES DE NOTATION BAC	ANALYSE DES DOCUMENTS ET MOBILISATION DES CONNAISSANCES DANS LE CADRE DU PROBLÈME SCIENTIFIQUE POSÉ	EXPLOITATION (MISE EN RELATION/CONFRONTATION) DES INFORMATIONS PRÉLEVÉES & DES CONNAISSANCES AU SERVICE DE LA RÉOLUTION DU PROBLÈME		DÉMARCHE PERSONNELLE				
	Connaissances complètes et pertinentes Informations prélevées pertinentes et complètes (justification et tri)	4	Réponse explicative et cohérente au problème scientifique	Complétude et pertinence des arguments nécessaires à la réponse au problème posé	3	Rédaction correcte de la démarche	Bonne adaptation de la démarche au sujet (qualité de sa construction)	3
	Connaissances complètes et pertinentes mais informations prélevées incomplètes ou peu pertinentes (manque de justification ; tri incomplet)	3	Argumentation incomplète mais réponse explicative cohérente avec le problème posé		2	Rédaction incorrecte de la démarche		
			Absence d'explication ou réponse incomplète ou non cohérente au problème scientifique posé	1	Construction insuffisamment cohérente de la démarche <u>mais bonne rédaction</u>			1
	Connaissances incomplètes mais informations issues des documents complètes et pertinentes (justification et tri)	2	Arguments absents et/ou réponse explicative absente ou incohérente	0	Absence de démarche ou démarche incohérente			0
	Seuls quelques éléments pertinents issus des documents et/ou des connaissances	1						
	Absence de traitement des éléments prélevés	0						