

L'origine de l'activité magmatique au niveau des zones de subduction

Un exemple de « tâche complexe » au lycée – niveau Terminale scientifique

Principe de la tâche complexe

Confronter les élèves à une tâche complexe c'est leur proposer dans le cadre d'une situation concrète et nouvelle :

- une consigne globale et précise : ce qu'ils doivent faire et ce qu'ils doivent produire sans indiquer comment s'y prendre.
- des ressources externes (internet, matériel concret, documents « papier », observations microscopiques, sortie de terrain...)
- des aides pour ceux qui n'y parviennent pas (aides méthodologiques, cognitives, procédurales).

Dans ce cadre là, l'élève est libre pour atteindre l'objectif fixé.

Exemple de consigne

De nombreux volcans sont regroupés au niveau des zones de subduction. Cette activité volcanique est due à la fusion partielle d'un magma situé en profondeur. Vous faites partie d'une équipe de géologues cherchant à identifier l'origine de ces magmas.

En vous appuyant sur les documents et le matériel à disposition, vous expliquerez l'origine et la genèse de ces magmas. Pour cela, vous produirez un texte argumenté dans lequel vous intégrerez certains des documents proposés, complétés.

En conclusion, vous complèterez le schéma bilan à la lumière de vos arguments.

Durée indicative : 2h.

CRITERES DE REUSSITE :

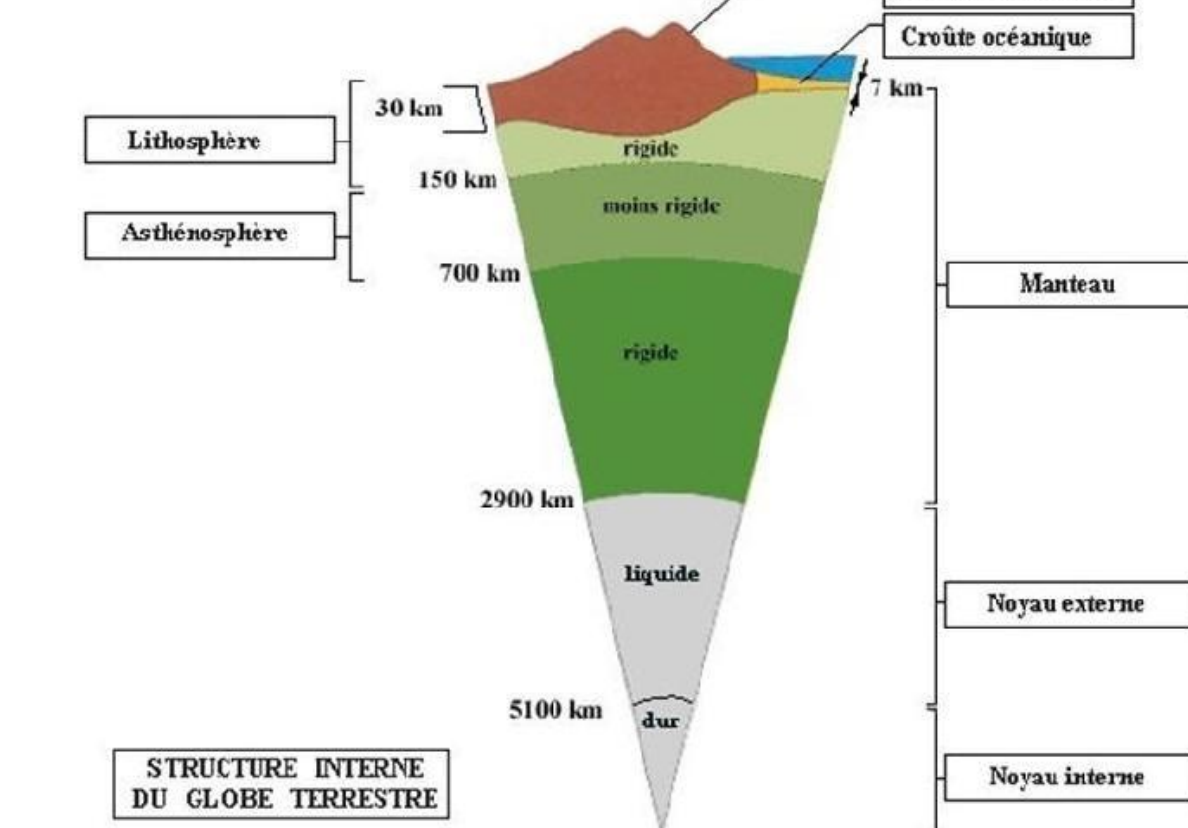
La production sera réussie si :

- votre compte rendu apporte des explications argumentées à la fusion partielle dans les zones de subduction.
- votre texte est grammaticalement correct et sans faute d'orthographe.
- le vocabulaire scientifique est correctement utilisé, dans le texte et les schémas.
- vos schémas respectent les consignes liées à la forme de ce type de représentation.
- les informations tirées des différents supports sont mises en relation par des connecteurs logiques.

Exemples d'aides proposées aux élèves rencontrant des difficultés pour résoudre cette tâche complexe

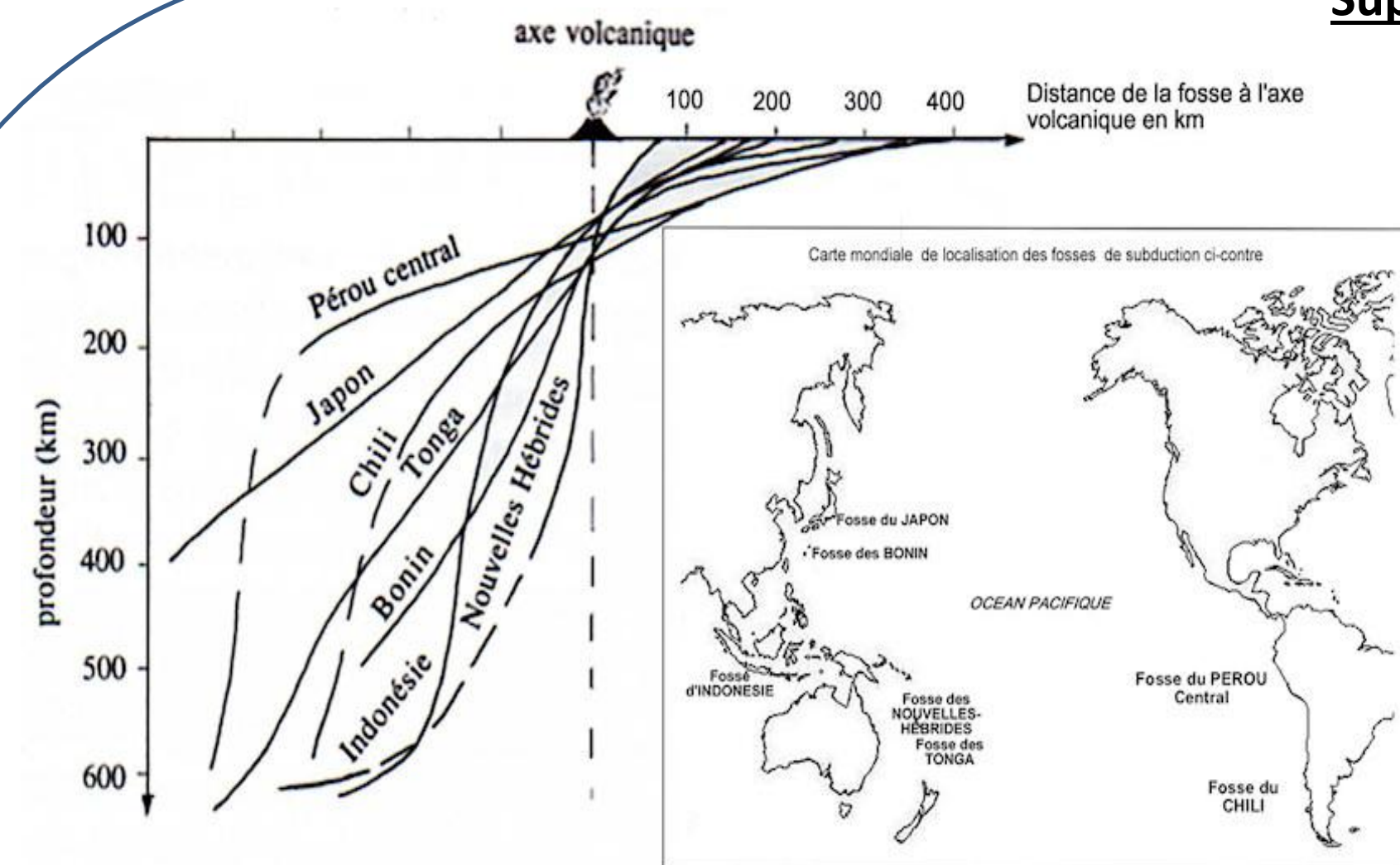
Aide de connaissances :

Rappels de 1^{ère} S sur la structure interne du globe terrestre :

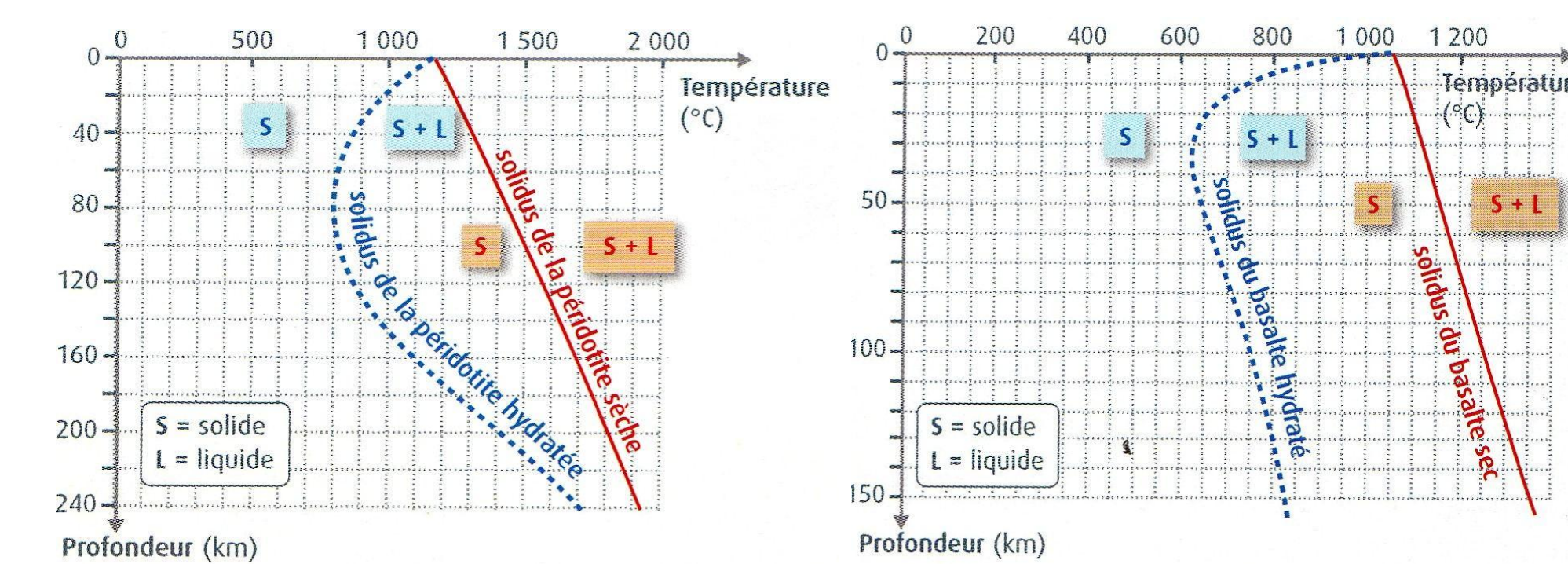


La croûte océanique est principalement constituée de basalte et de gabbro. La roche représentative de la composition chimique de la croûte continentale est le granite, celle représentative du manteau est la péridotite.

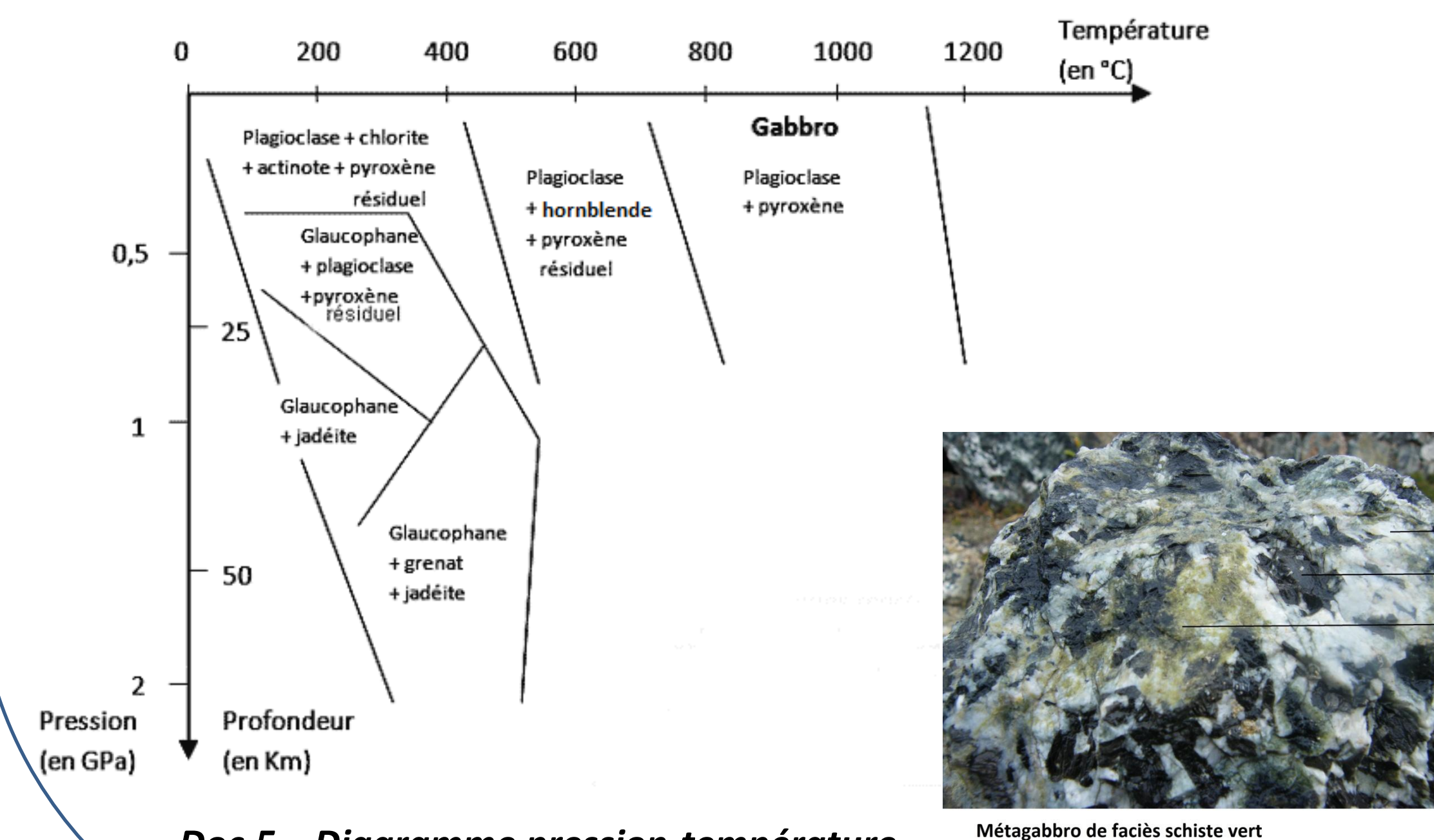
Supports proposés



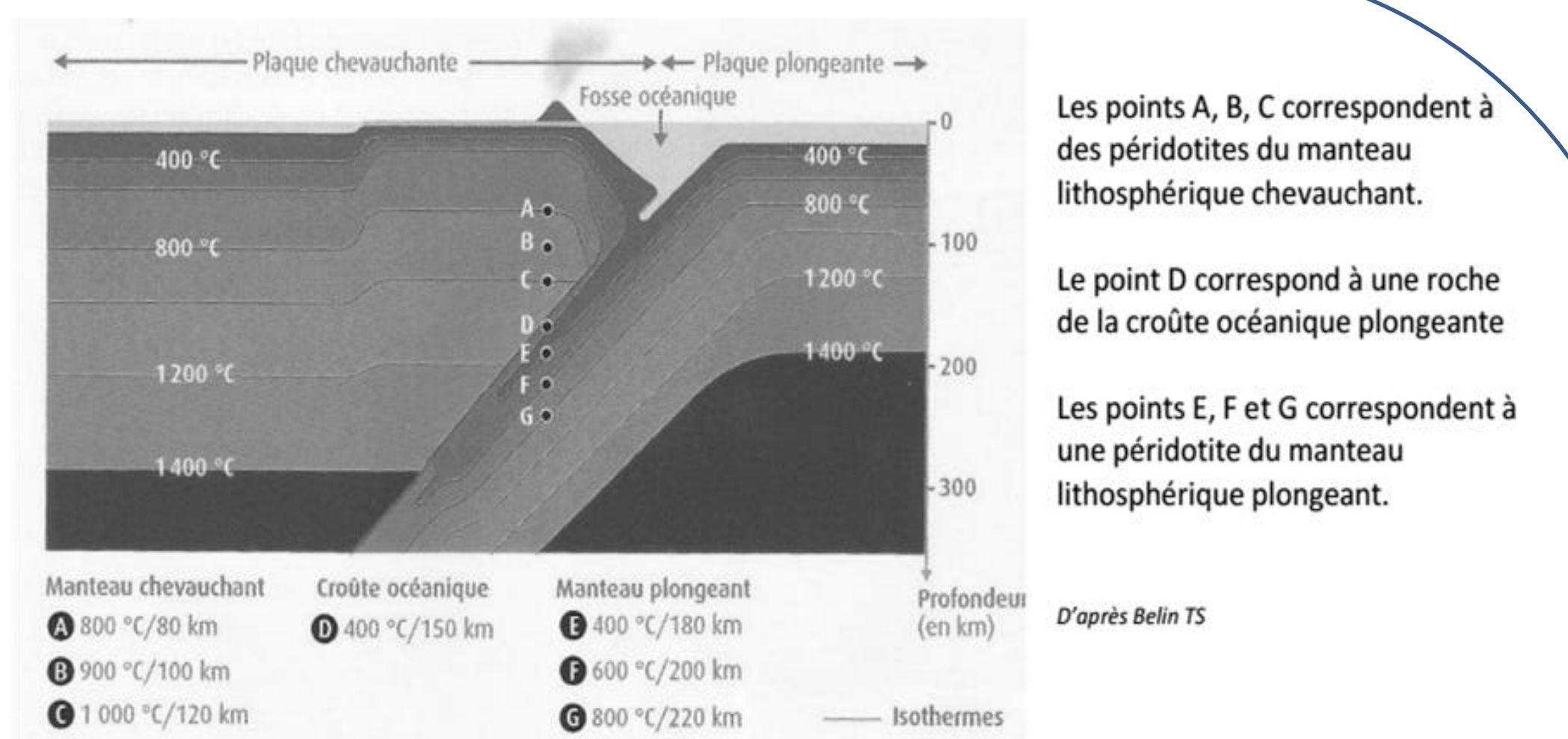
Doc.1 - Localisation du volcanisme par rapport au plan de Wadati-Benioff dans différentes zones de subduction



Doc.3 - Conditions de fusion d'une péridotite sèche ou hydratée (à gauche) ou d'un basalte sec ou hydraté (à droite) déterminées en laboratoire



Doc.5 – Diagramme pression-température, indiquant les domaines de stabilité de certains minéraux



Doc.2 - Répartition des isothermes dans une zone de subduction

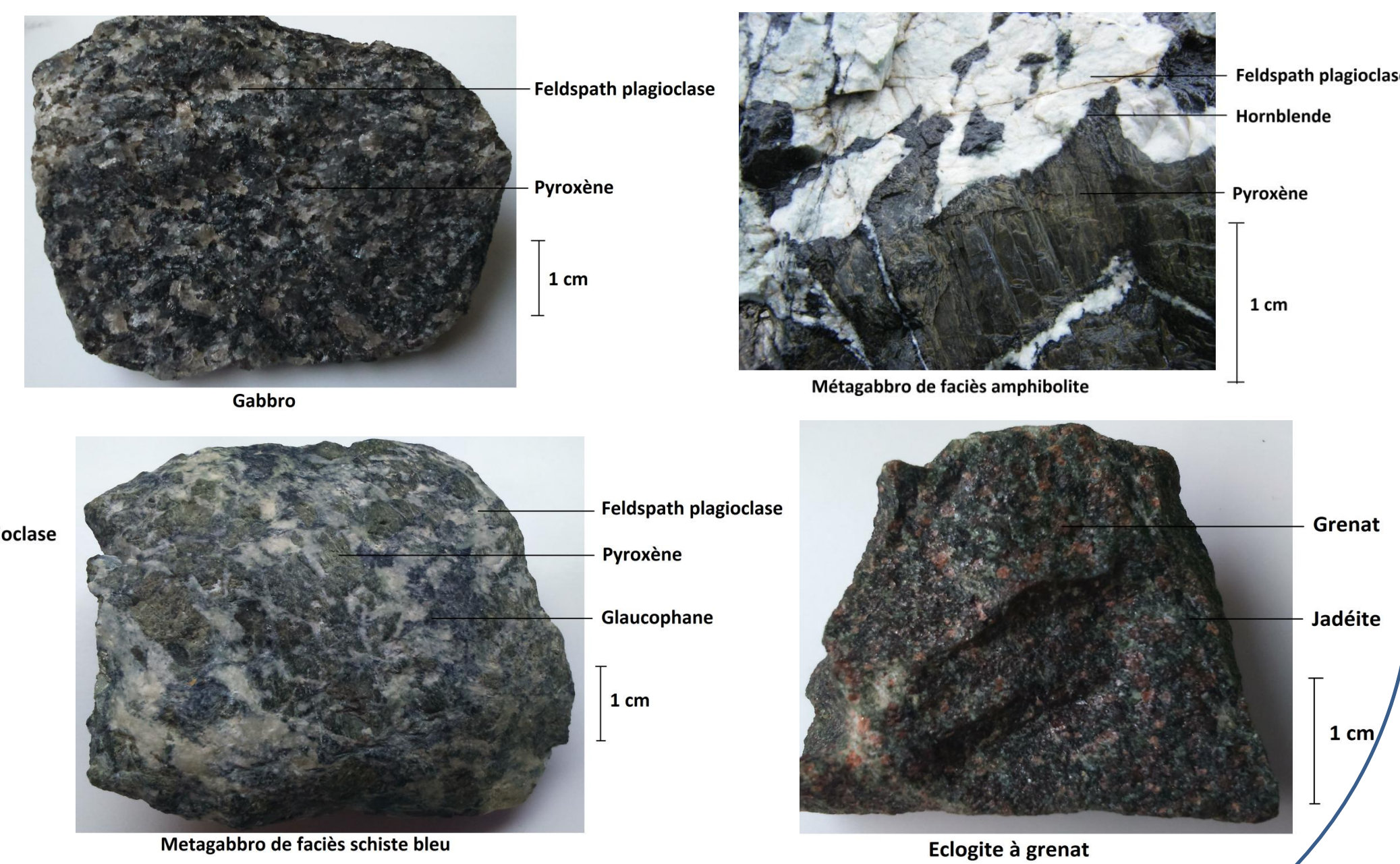
- A. Plagioclase + Pyroxène + eau → Amphibole Hornblende verte
B. Plagioclase + Hornblende + eau → Chlorite + Actinote
C. Albite + Chlorite + Actinote → Amphibole Glaucophane + eau
D. Albite → Pyroxène Jadéite + Quartz
E. Albite + Glaucophane → Grenat Pyrope + Pyroxène Jadéite + eau

Minéral hydroxylé :
Minéral contenant de l'eau dans son réseau cristallin sous forme de groupements hydroxyles (OH)

Minéraux non hydroxylés		Minéraux hydroxylés	
Nom du minéral	Formule chimique	Nom du minéral	Formule chimique
Plagioclase (dont albite)	(Na,Ca)[Si ₃ Al(Si,Al)O ₈]	Hornblende	(Ca,Na,K) ₂ (Mg,Fe ²⁺ ,Fe ³⁺ ,Al) ₇ [Si ₈ (Al,Si) ₈ O ₂₂](OH,F) ₂
Pyroxène	[(Si,Al) ₂ O ₆](Ca,Mg,Fe,Ti,Al) ₂	Chlorite	(Fe,Mg,Al) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Quartz	SiO ₂	Actinote	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
Grenat	(Fe,Mg) ₃ Al ₂ (SiO ₃) ₂	Glaucophane	Na ₂ Mg ₃ Al ₃ (Si ₃ O ₂₂)(OH) ₂
Jadéite	NaAlSi ₂ O ₆		

Tableau de la composition chimique de certains minéraux

Doc.4 – Equations de quelques réactions du métamorphisme et formules des minéraux associés



Doc.6 – Photographies de roches observées à l'œil nu (étudiées au cours de séances antérieures (en 1^{ère} S ou en Terminale S))

INDICATEURS DE REUSSITE (pour autoévaluation de l'élève et évaluation par le professeur). Les indicateurs de réussite correspondent aux critères de réussite, mais contextualisés.

Capacités testées	Indicateurs de réussite	Evaluation
Pratique de la démarche scientifique : - Recherche, extraction et organisation d'informations - Communication à l'aide de schémas	-Vous avez rédigé un texte court et précis avec un vocabulaire scientifique adapté : les conditions de la fusion partielle, l'importance de l'hydratation, l'origine des fluides et la migration du magma vers la surface ont bien été dégagés. Votre schéma est clair et complet.	Vous avez réussi
Maîtrise de la langue : - Rédaction d'un texte concis et complet - Utilisation d'un vocabulaire scientifique adapté	- Vous avez rédigé un texte court et précis avec un vocabulaire scientifique adapté mais manquant de précisions : les informations permettant de comprendre la fusion partielle dans ce contexte de subduction sont incomplètes et/ou vous n'avez pas retracé son origine. Le schéma n'est que partiellement complété et/ou ne respecte pas la méthode enseignée au lycée.	
	-Votre texte ne répond pas à la consigne : vous n'avez pas retracé l'origine et la genèse de ces magmas. Le schéma n'est pas informatif. Le vocabulaire scientifique n'est pas maîtrisé.	Vous pouvez progresser

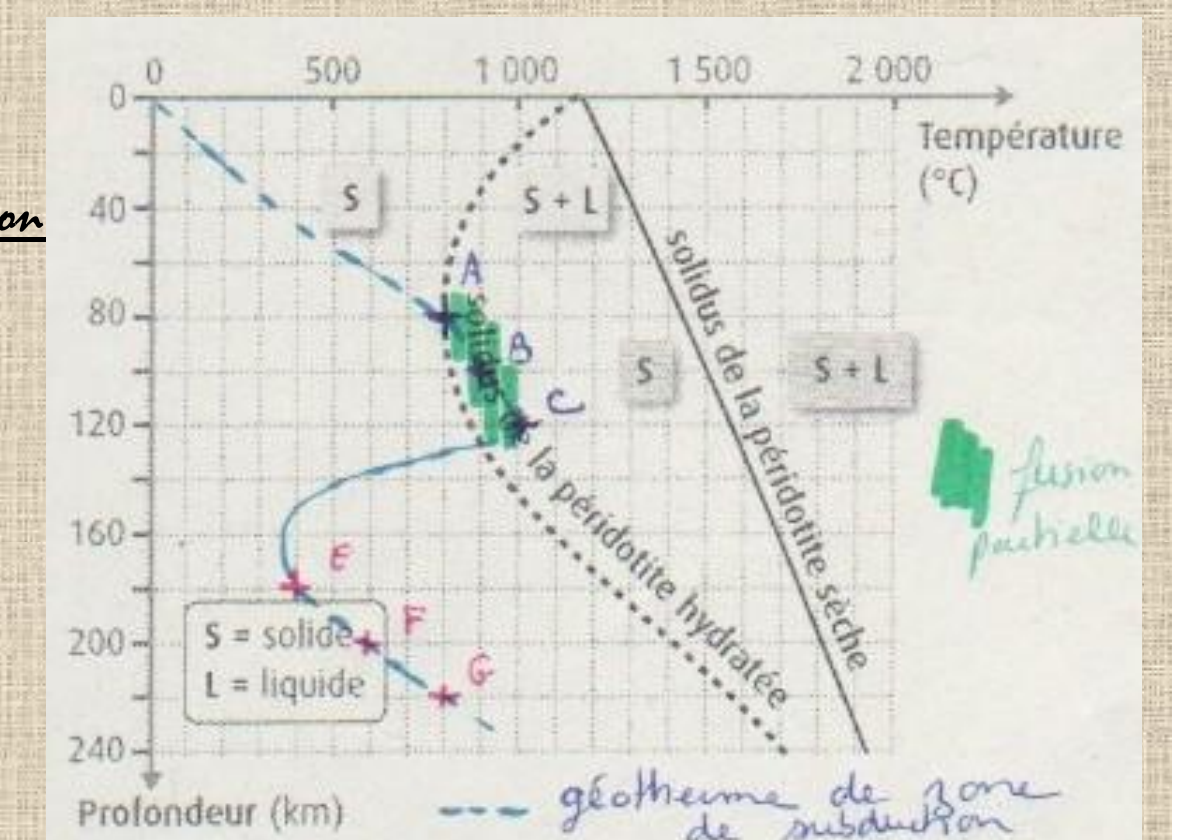
Exemple de production d'élève attendue

L'activité volcanique intense au niveau des zones de subduction est due à la fusion partielle d'un magma situé en profondeur. On cherche à identifier l'origine de ces magmas. Dans un premier temps, il s'agit d'identifier la roche à l'origine des ces magmas, puis de déterminer les conditions nécessaires à cette fusion partielle, et enfin mettre en évidence les mécanismes à l'origine de ces conditions.

Au niveau des zones de subduction, indépendamment de l'inclinaison du plan de Wadati-Benioff (doc.1) on peut observer que les roches en fusion, à l'origine de l'activité volcanique explosive sont toujours localisées à environ 100 km de profondeur sous l'arc volcanique. Nous savons qu'à cette profondeur, au niveau du manteau lithosphérique, la température est d'environ 900 °C (doc.2) et que la roche présente est la péridotite.

D'après les expériences réalisées en laboratoire sur la péridotite (voir doc.3 complété), on observe que dans les conditions indiquées précédemment, une péridotite sèche reste solide (la température est trop faible pour que son solidus soit atteint). En revanche, on découvre qu'une péridotite hydratée pourrait entrer en fusion partielle à 100 km de profondeur et 900 °C.

Graphique présentant les conditions dans lesquelles une péridotite peut entrer en fusion

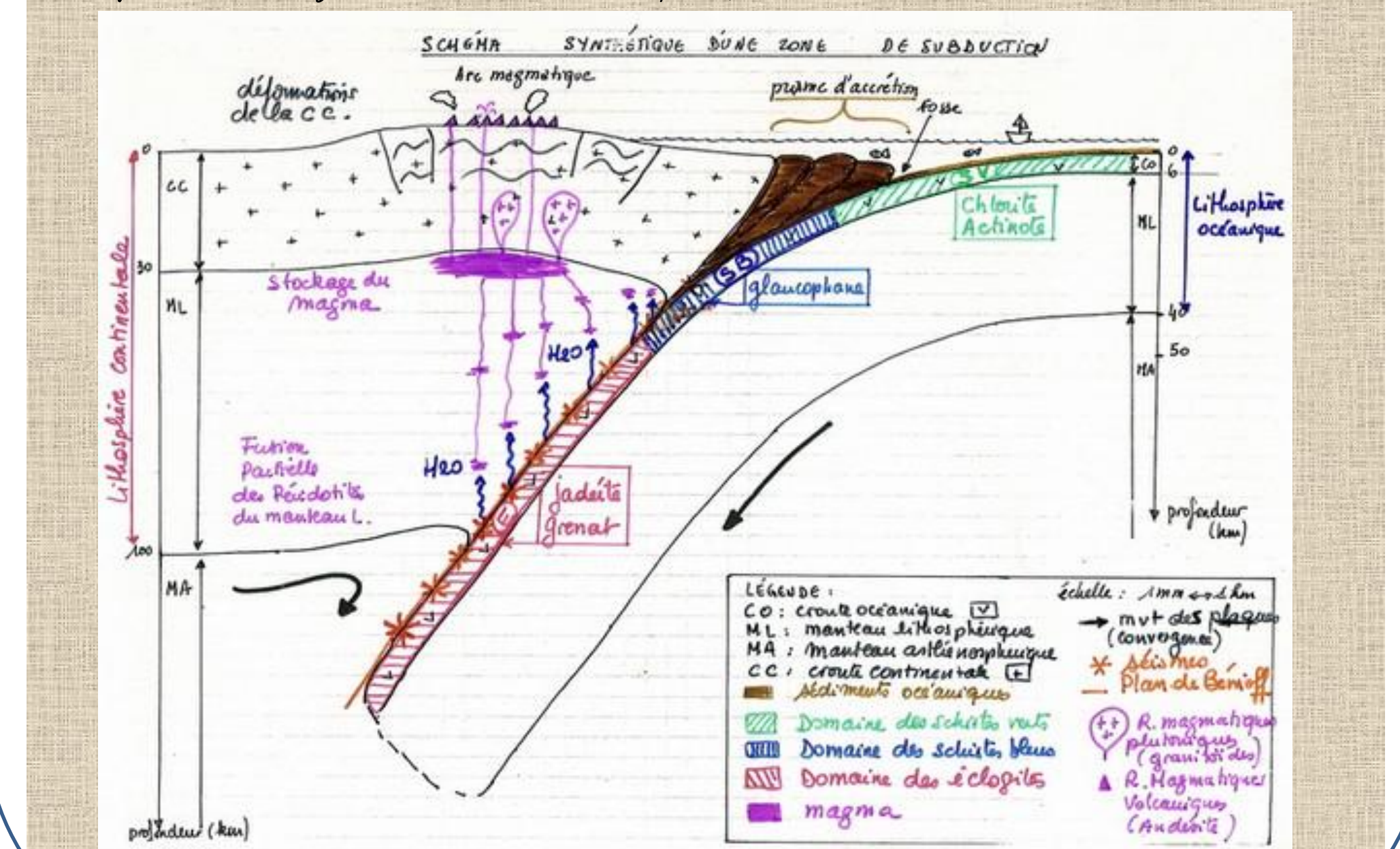
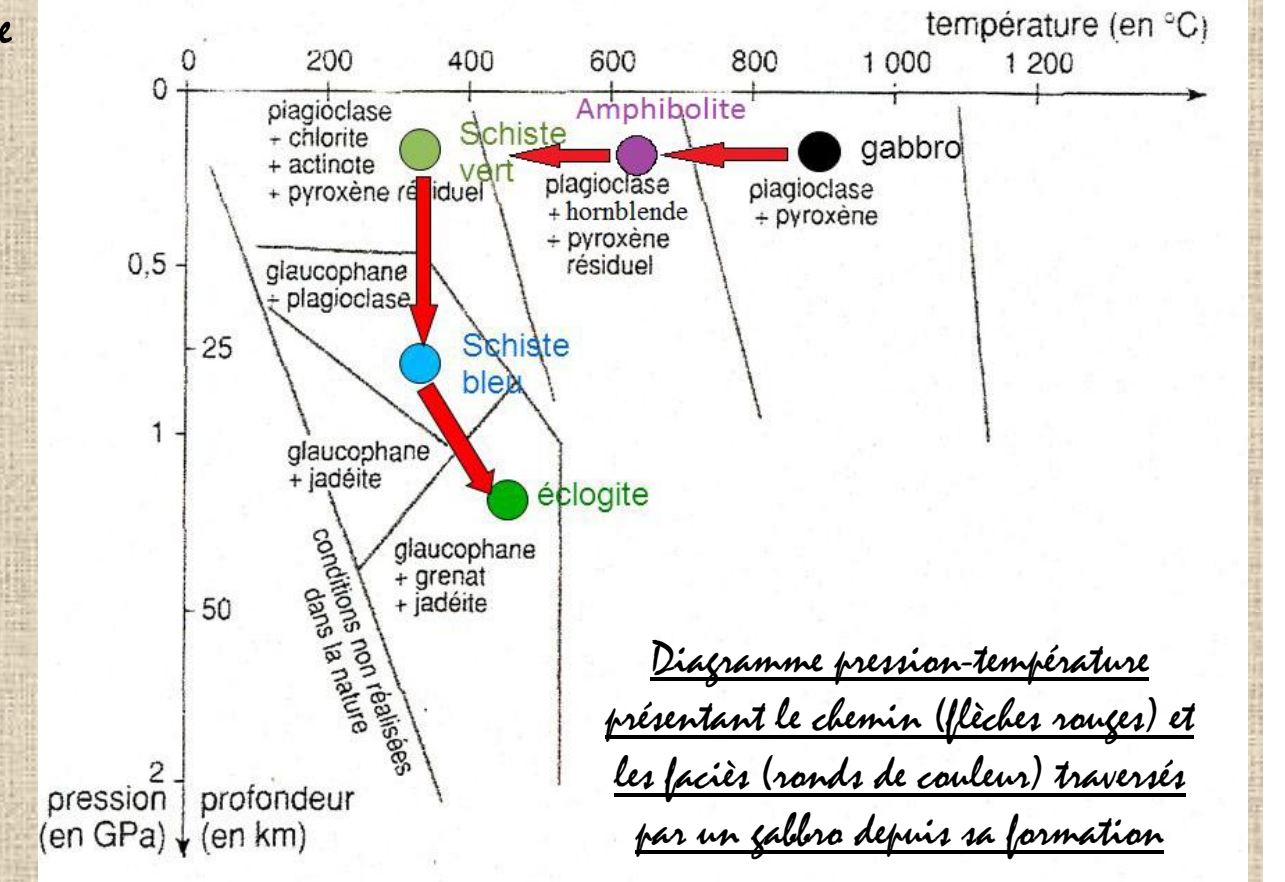


Il nous faut donc chercher si, au niveau d'une zone de subduction, existent des mécanismes permettant l'hydratation des péridotites du manteau.

Nous savons que le gabbro, lors de son éloignement de la dorsale océanique où il est mis en place, puis lors des premiers kilomètres de son entrée en subduction au niveau de la fosse océanique, subit des transformations minéralogiques à l'état solide, appelées réactions métamorphiques. On observe (doc. 5 complété et 6) qu'au cours de sa transformation en métagabbro en faciès amphibolite, puis en passant dans les faciès schiste vert et schiste bleu, certains minéraux formés sont hydroxylés (doc.4) : respectivement la hornblende, la chlorite et l'actinote, et la glaucophane.

Au cours de la transformation en éclogite à grenat, les minéraux formés ne sont plus hydroxylés et qui provoque la libération d'eau au niveau des péridotites du manteau situées au dessus de la lithosphère entrée en subduction. Ceci permet d'expliquer l'origine de la présence de péridotites hydratées au niveau des zones de subduction.

En conclusion, les réactions métamorphiques se produisant lors de l'enfouissement de la lithosphère océanique en subduction libèrent, à une certaine de km de profondeur, de l'eau favorisant l'hydratation des péridotites du manteau sus-jacent. Dans les conditions physicochimiques présentes à cet endroit, les péridotites hydratées peuvent fondre partiellement et former un magma, qui en cas de remontée jusqu'à la surface sera à l'origine d'une activité volcanique explosive.



Par Lucas BOLLORI, Faustine GENDRON et Félix VILLENEUVE, Professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre au lycée Henri Bergson – Paris XIXe Pour l'Ecole d'automne « Changements de phase et éruptions dans l'Univers » du Labex UnivEarthS - du 17 au 23 octobre 2015 à Santorin (Grèce)