

SESSION DE 2007

**Concours externe
de recrutement de professeurs certifiés
et concours d'accès à des listes d'aptitude (CAFEP)**

**section :
Sciences de la vie et de la Terre**

Composition sur un sujet de géologie

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.

Remarques importantes

- 1 – Le sujet s'articule autour de quatre thèmes et comprend 11 documents.
- 2 – Seront prises en compte dans la notation : la clarté de la présentation, la précision et la rigueur de l'analyse des documents, les illustrations personnelles et la rigueur des raisonnements.
- 3 – Certaines figures dotées d'un en-tête pourront être jointes à la copie si le candidat considère que des annotations en surcharge constituent des éléments appréciables de réponse aux questions. Les autres documents jugés nécessaires devront alors être collés sur la copie.
- 4 – Si au cours de l'épreuve le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les initiatives qu'il est amené à prendre de ce fait.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

CAPES EXTERNE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

SESSION 2007

Composition sur un sujet de géologie

RECTIFICATIF

Document 1a : Extrait de la Carte Géologique du Monde

Les longitudes ont été décalées par erreur de 10°.

<i>Il faut lire</i>	<i>au lieu de</i>
50°	60°
60°	70°
70°	80°
80°	90°
90°	100°
100°	110°

Document 3 : Carte de répartition des séismes enregistrés de 1964 à 1994

Les longitudes ont été décalées par erreur de 20°.

<i>Il faut lire</i>	<i>au lieu de</i>
30°	50°
40°	60°
50°	70°
60°	80°
70°	90°
80°	100°

Les Petites Antilles : une région géologiquement active

À partir de l'exploitation des documents, le candidat rédigera un exposé dégageant les caractéristiques géologiques de la région des Petites Antilles.

L'exposé comportera quatre parties reprenant les quatre thèmes étayés par les documents.

Le choix du plan, des illustrations complémentaires et de l'ordre dans lequel les documents sont présentés pour chacun de ces thèmes revient au candidat.

Cependant, l'exploitation de chaque document devra répondre aux attendus précisés.

Introduction

Il est demandé une introduction qui s'appuiera sur un des documents fournis.

Thème 1 : Géodynamique

Document 1 : Extrait de la Carte Géologique du Monde (1A) et de sa légende (1B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- un schéma structural (sur une page minimum) de la région identifiant les différentes plaques et les différents types de limites de ces plaques,
- le calcul de la vitesse d'expansion de la ride médio-atlantique.

Document 2 : Cinématique de la plaque Caraïbes (2A : méthode de géodésie spatiale ; 2B : vitesses calculées à l'aide du modèle NUVEL1-A)

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe du GPS (1 page maximum),
- le principe d'établissement du modèle de cinématique des plaques NUVEL1-A (1 page maximum),
- une comparaison des différentes données de vitesses issues d'une même méthode et entre méthodes.

Thème 2 : Sismologie

Document 3 : Carte de répartition des séismes en Atlantique Central

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe de la localisation des séismes (1 page maximum),
- la relation entre la répartition des séismes et la nature des différentes limites de plaques.

Tournez la page S.V.P.

Document 4 : Données sismologiques pour deux événements survenus dans la région des Antilles

Votre exploitation comprendra notamment :

- le commentaire des différentes données répertoriées,
- le principe de détermination des mécanismes au foyer (1 page maximum),
- l'interprétation des deux séismes dans leur contexte géodynamique.

Document 5 : Tomographie sismique sous l'arc des Petites Antilles

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe de la tomographie sismique (1 page maximum),
- l'interprétation et la comparaison des profils tomographiques,
- l'explication des différences entre ces profils à partir des modèles de vitesse utilisés.

Thème 3 : Pétrogenèse

Document 6 : Analyses de la composition moyenne de laves d'une série de Martinique (6A) et diagramme de classification chimique des roches volcaniques (6B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la nature des séries magmatiques caractéristiques des zones de subduction,
- le report de la composition des laves de Martinique dans le diagramme de classification et l'identification des différents termes de la série,
- la mention du diagramme supplémentaire qui serait nécessaire pour identifier précisément la série de Martinique (un schéma justificatif et son commentaire sont demandés).

Document 7 : Faciès métamorphiques (7A) et trajectoires P-T de croûtes océaniques en subduction (7B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la définition d'un faciès métamorphique,
- la détermination des minéraux hydroxylés stables dans les différents faciès,
- le choix raisonné d'une des deux trajectoires proposées en document 7B pour le panneau plongeant des Antilles,
- le report de la trajectoire sur le document 7A et son commentaire,
- le domaine P-T du lieu possible de production des magmas pour les Antilles,
- la coupe schématique commentée (sur une page) d'une zone de subduction récapitulant les processus pétrogénétiques.

Document 8 : Diagrammes multiélémentaires d'un basalte de type MORB-N et d'un basalte d'arc

Votre exploitation comprendra notamment :

- les caractéristiques de la distribution des éléments en traces incompatibles dans les MORB-N et les basaltes d'arc et leur comparaison,
- les processus permettant d'expliquer les spécificités géochimiques des basaltes d'arc.

Thème 4 : Volcanisme

Document 9 : Coupes du cratère sommital de la Montagne Pelée (9A) et évolution de la viscosité de différents magmas avec la température (9B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la caractérisation des différents processus volcaniques illustrés par le document 9A,
- la définition de la viscosité,
- les différents paramètres qui contrôlent cette propriété physique des magmas,
- la succession des différents phénomènes volcaniques de l'éruption de 1902 et le dynamisme général qu'ils caractérisent.

Document 10 : Chronologie des événements précédant le paroxysme du 8 mai 1902 (10A) et récit d'un témoin des événements du 8 mai (10B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- l'interprétation scientifique des différents signes annonciateurs du réveil du volcan,
- l'interprétation du mécanisme volcanique accompagnant le paroxysme éruptif.

Document 11 : Répartition des appareils de surveillance de la Montagne Pelée

Votre exploitation comprendra notamment :

- une définition du risque naturel,
- la nature des phénomènes précurseurs mis en évidence par les différents appareils de surveillance utilisés.

Conclusion

L'ensemble des informations tirées des documents sera synthétisé sur une coupe schématique à l'échelle de la croûte et du manteau supérieur, de la ride médio-atlantique au Pacifique en passant par l'archipel des Petites Antilles (sur 1 double page maximum, texte compris). Cette synthèse pourra également prendre en compte des structures dont les caractéristiques ne sont pas présentées dans les documents du sujet.

Les Petites Antilles : une région géologiquement active

À partir de l'exploitation des documents, le candidat rédigera un exposé dégageant les caractéristiques géologiques de la région des Petites Antilles.

L'exposé comportera quatre parties reprenant les quatre thèmes étayés par les documents.

Le choix du plan, des illustrations complémentaires et de l'ordre dans lequel les documents sont présentés pour chacun de ces thèmes revient au candidat.

Cependant, l'exploitation de chaque document devra répondre aux attendus précisés.

Introduction

Il est demandé une introduction qui s'appuiera sur un des documents fournis.

Thème 1 : Géodynamique

Document 1 : Extrait de la Carte Géologique du Monde (1A) et de sa légende (1B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- un schéma structural (sur une page minimum) de la région identifiant les différentes plaques et les différents types de limites de ces plaques,
- le calcul de la vitesse d'expansion de la ride médio-atlantique.

Document 2 : Cinématique de la plaque Caraïbes (2A : méthode de géodésie spatiale ; 2B : vitesses calculées à l'aide du modèle NUVEL1-A)

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe du GPS (1 page maximum),
- le principe d'établissement du modèle de cinématique des plaques NUVEL1-A (1 page maximum),
- une comparaison des différentes données de vitesses issues d'une même méthode et entre méthodes.

Thème 2 : Sismologie

Document 3 : Carte de répartition des séismes en Atlantique Central

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe de la localisation des séismes (1 page maximum),
- la relation entre la répartition des séismes et la nature des différentes limites de plaques.

Tournez la page S.V.P.

Document 4 : Données sismologiques pour deux événements survenus dans la région des Antilles

Votre exploitation comprendra notamment :

- le commentaire des différentes données répertoriées,
- le principe de détermination des mécanismes au foyer (1 page maximum),
- l'interprétation des deux séismes dans leur contexte géodynamique.

Document 5 : Tomographie sismique sous l'arc des Petites Antilles

Votre exploitation comprendra notamment :

- le principe de la tomographie sismique (1 page maximum),
- l'interprétation et la comparaison des profils tomographiques,
- l'explication des différences entre ces profils à partir des modèles de vitesse utilisés.

Thème 3 : Pétrogenèse

Document 6 : Analyses de la composition moyenne de laves d'une série de Martinique (6A) et diagramme de classification chimique des roches volcaniques (6B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la nature des séries magmatiques caractéristiques des zones de subduction,
- le report de la composition des laves de Martinique dans le diagramme de classification et l'identification des différents termes de la série,
- la mention du diagramme supplémentaire qui serait nécessaire pour identifier précisément la série de Martinique (un schéma justificatif et son commentaire sont demandés).

Document 7 : Faciès métamorphiques (7A) et trajectoires P-T de croûtes océaniques en subduction (7B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la définition d'un faciès métamorphique,
- la détermination des minéraux hydroxylés stables dans les différents faciès,
- le choix raisonné d'une des deux trajectoires proposées en document 7B pour le panneau plongeant des Antilles,
- le report de la trajectoire sur le document 7A et son commentaire,
- le domaine P-T du lieu possible de production des magmas pour les Antilles,
- la coupe schématique commentée (sur une page) d'une zone de subduction récapitulant les processus pétrogénétiques.

Document 8 : Diagrammes multiélémentaires d'un basalte de type MORB-N et d'un basalte d'arc

Votre exploitation comprendra notamment :

- les caractéristiques de la distribution des éléments en traces incompatibles dans les MORB-N et les basaltes d'arc et leur comparaison,
- les processus permettant d'expliquer les spécificités géochimiques des basaltes d'arc.

Thème 4 : Volcanisme

Document 9 : Coupes du cratère sommital de la Montagne Pelée (9A) et évolution de la viscosité de différents magmas avec la température (9B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- la caractérisation des différents processus volcaniques illustrés par le document 9A,
- la définition de la viscosité,
- les différents paramètres qui contrôlent cette propriété physique des magmas,
- la succession des différents phénomènes volcaniques de l'éruption de 1902 et le dynamisme général qu'ils caractérisent.

Document 10 : Chronologie des événements précédant le paroxysme du 8 mai 1902 (10A) et récit d'un témoin des événements du 8 mai (10B)

Votre exploitation comprendra notamment :

- l'interprétation scientifique des différents signes annonciateurs du réveil du volcan,
- l'interprétation du mécanisme volcanique accompagnant le paroxysme éruptif.

Document 11 : Répartition des appareils de surveillance de la Montagne Pelée

Votre exploitation comprendra notamment :

- une définition du risque naturel,
- la nature des phénomènes précurseurs mis en évidence par les différents appareils de surveillance utilisés.

Conclusion

L'ensemble des informations tirées des documents sera synthétisé sur une coupe schématique à l'échelle de la croûte et du manteau supérieur, de la ride médio-atlantique au Pacifique en passant par l'archipel des Petites Antilles (sur 1 double page maximum, texte compris). Cette synthèse pourra également prendre en compte des structures dont les caractéristiques ne sont pas présentées dans les documents du sujet.

Source des documents

- Arcay D., Tric E. et Doin M-P. (2005). Numerical simulations of subduction zones. Effect of slab dehydration on the mantle wedge dynamics. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 149, 133-153.
- Commission de la Carte Géologique du Monde (2002). Geological Map of the World - Carte Géologique du Monde 1/50 000 000 CGMW-CCGMUNESCO.
- DeMets C., Gordon. R.G., Argus D.F. et Stein S. (1990). Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101, 425-478.
- DeMets C., Jansma P., Mattioli G., Dixon T., Farina F., Bilham R., Calais E. et Mann P. (2000). GPS constraints on CA-NA plate motion. *Geophysical Research Letters*, 27, 437- 440.
- Engdahl E.R., van der Hilst R.D. et Buland R.P. (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, 722-743.
- Escalant M. (1988). Evolution spatiale et chronologique du volcanisme de l'île de la Martinique (Petites Antilles): implications pétrogénétiques. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille III, 188 p. + annexes.
- Francis P. (1993). *Volcanoes, a planetary perspective*, Clarendon Press, 443 p.
- Juteau T. et Maury R. (1997). *Géologie de la croûte océanique*, Masson, 364 p.
- Lacroix A. (1904). *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Editions Masson, Paris, 662 p.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streickeisen A. et Zanettin B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lindsay J.M., Trumbull R.B. et Siebel W. (2005). Geochemistry and petrogenesis of late Pleistocene to Recent volcanism in Southern Dominica, Lesser Antilles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148, 253-294.
- Miyashiro A. (1978). Nature of alkalic rock series. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 66, 91-104.
- Peacock S. (1990). Fluid processes in subduction zones. *Science*, 248, 329-337.
- Sun S.S. et McDonough W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implication for mantle composition and processes. In : Saunders A.D. et Norry J., Eds., *Magmatism of the ocean basins*. Geological Society Special Publication, 42, 313-345.
- van der Hilst R. D. et Spakman W. (1989). Importance of the reference model in linearized tomography and images of subduction below the Caribbean plate. *Geophysical Research Letters*, 16, 1093-1096.
- Westercamp D. et Traineau H. (1983). Notice de la carte géologique au 1/20 000^e de la Montagne Pelée, BRGM, 11 p.

Légendes des documents :

Document 1A : Extrait de la Carte Géologique du Monde (CCGM UNESCO, 2002). Les distorsions dues à la projection Mercator ne seront pas prises en compte dans cette région proche de l'équateur. Les tomographies présentées en document 5 ont été faites selon le segment A-A'.

Document 1B : Extrait de la légende de la Carte Géologique du Monde (CCGM UNESCO, 2002).

Document 2A : Mobilité horizontale de la plaque Caraïbes : vitesses mesurées par la méthode de géodésie spatiale GPS (modifié d'après DeMets *et al.*, 2000). Les vitesses relatives Caraïbes / Amérique du Nord ont été estimées aux stations SANA, ROJO, CRO1 et AVES. Une flèche de 1 cm représente une vitesse de 10 mm/an. Abréviations : SITF : faille transformante des Iles de Swann ; H : Hispaniola ; J : Jamaïque ; PR : Puerto Rico ; LAT : fosse des Petites Antilles.

Document 2B : Vitesses calculées par le modèle de cinématique des plaques NUVEL1-A (DeMets *et al.*, 1990).

Document 3 : Carte de répartition des séismes enregistrés de 1964 à 1994 (données tirées de Engdahl *et al.*, 1998). L'échelle de couleur à droite de la carte indique la profondeur de l'épicentre.

Document 4 : Données sismologiques pour deux événements survenus dans la région des Petites Antilles (catalogue CMT de l'université de Harvard).

Document 5 : Tomographie sismique de la région des Petites Antilles (d'après van der Hilst et Spakman, 1989). Les deux profils d'anomalies de vitesse des ondes P (A et B) ont été réalisés selon le segment A-A' reporté sur le document 1A en utilisant deux modèles de vitesse différents. Ces modèles de vitesse (courbes en rouge) sont comparés au modèle PREM (courbe en noir). Les points représentent des foyers de séismes locaux.

Document 6A : Analyses de la composition moyenne (% masse d'oxydes) de laves d'une série de Martinique (Escalant, 1988). FeO* : tout le fer est exprimé sous forme de FeO.

Document 6B : Diagramme de classification chimique des roches volcaniques, basée sur les variations conjointes des teneurs en alcalins et silice (Le Bas *et al.*, 1986). La frontière séparant les roches alcalines et subalcalines (en pointillés) est de Miyashiro (1978).

Tournez la page S.V.P.

Document 7A : Faciès métamorphiques pour une composition basaltique saturée en eau.

Traits pleins : Limites des faciès métamorphiques pour une composition basaltique saturée en eau. Les chiffres indiquent les teneurs en eau (en % massique) de la roche contenue par les minéraux hydroxylés présents aux conditions pression-température considérées. Les positions du solidus basaltique saturé en eau et du solidus basaltique anhydre sont aussi indiquées (simplifié d'après Arcay *et al.*, 2005). SV : Schistes verts ; AE : Amphibolite à épidote ; SBLa : Schiste bleu à lawsonite ; SBE : Schiste bleu à épidote ; ELa : Eclogite à lawsonite.

Traits pointillés : Solidus anhydre et solidus saturé en eau d'une péridotite lherzolitique.

Document 7B : Trajectoires pression-température de croûtes océaniques en subduction. Les trajectoires sont calculées au toit d'une croûte océanique en subduction âgée (cas A, âge > 100 Ma) et d'une croûte océanique jeune (cas B, âge < 10 Ma), pour une vitesse de subduction de l'ordre de celle connue dans les Antilles (d'après Peacock, 1990).

Document 8 : Diagrammes multiélémentaires d'un basalte de type MORB-N et d'un basalte d'arc (sources : Juteau et Maury, 1997, Lindsay *et al.*, 2005). Les compositions des roches sont normalisées au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989). Les éléments sont classés de la gauche vers la droite par ordre d'incompatibilité décroissante.

Document 9A : Coupes du cratère sommital de la Montagne Pelée avant et au cours de l'éruption, montrant les diverses phases de production du dôme. Extrait de Lacroix (1904). Le dôme andésitique commence à s'édifier dans le cratère au début du mois de mai 1902. Il ne va cesser de croître pendant un an et demi, jusqu'à la fin de septembre 1903. Une aiguille a commencé sa croissance au sommet du dôme en novembre 1902. Plusieurs phases de croissance se succéderont, entrecoupées de phases d'écroulement de l'aiguille.

Document 9B : Evolution de la viscosité en fonction de la température pour différentes compositions magmatiques (modifié d'après Francis, 1993).

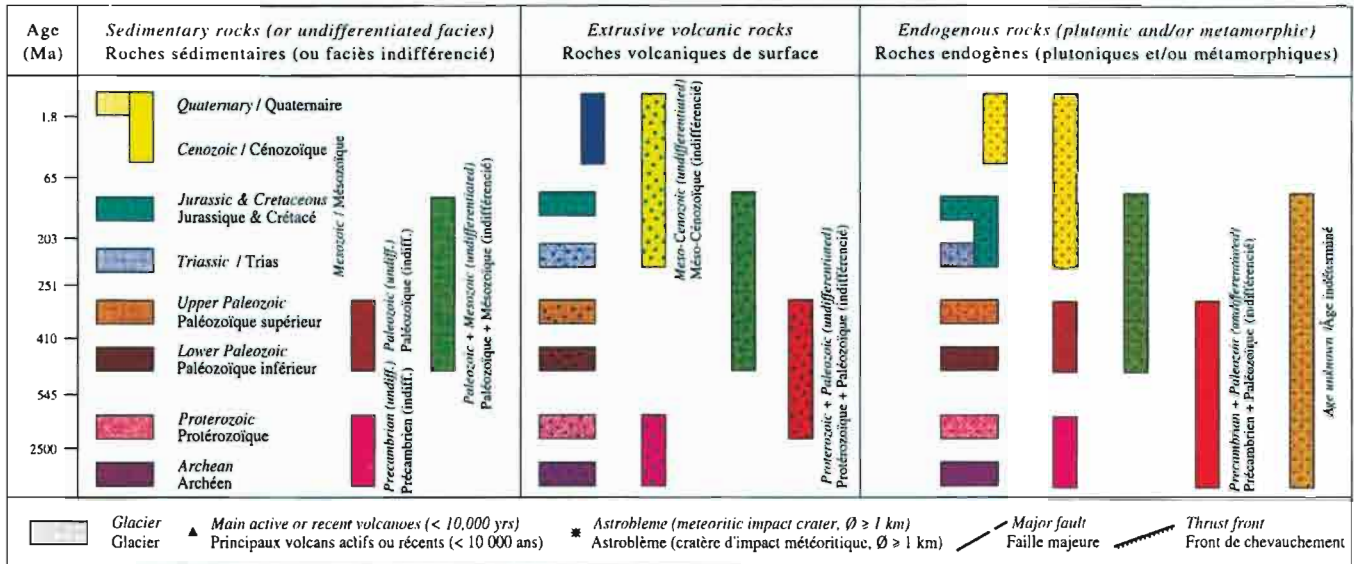
Document 10A : Chronologie des phénomènes précurseurs de l'événement du 8 mai 1902 de la Montagne Pelée, Martinique (d'après Westercamp et Traineau, 1983).

Document 10B : Récit d'un témoin du paroxysme de l'éruption de la Montagne Pelée, le 8 mai 1902. Cet événement a provoqué la destruction des villes de Saint-Pierre et de Morne-Rouge, et la mort d'environ 28 000 personnes (témoignage extrait de Lacroix, 1904. Les phrases en italiques du récit sont soulignées par A. Lacroix lui-même).

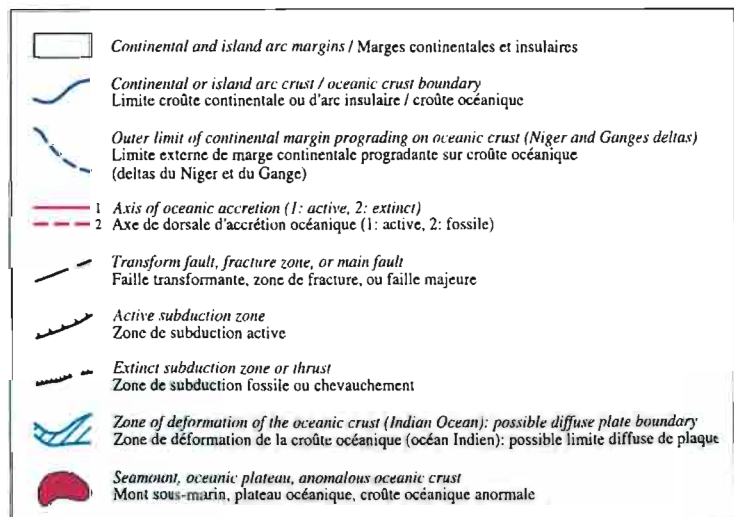
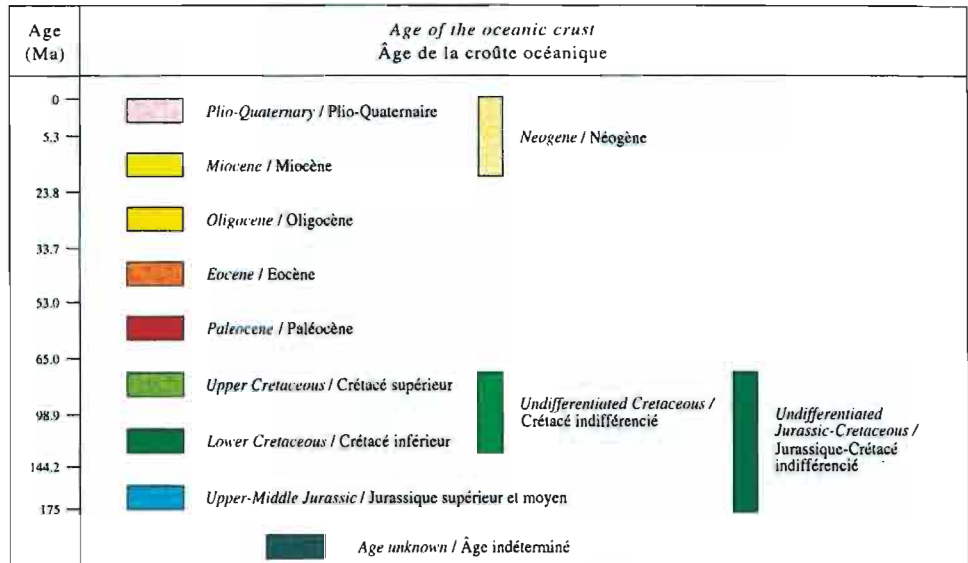
Document 11 : Répartition des différents appareils de surveillance de la Montagne Pelée (d'après un document de l'IPGP).

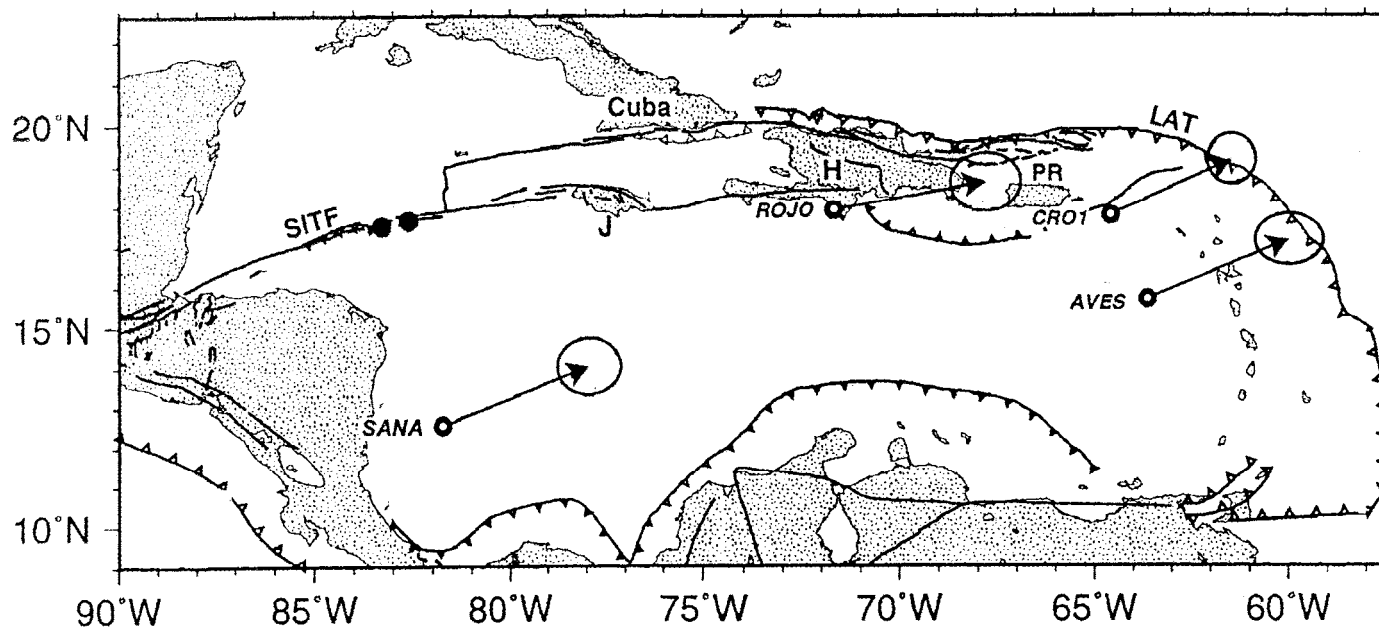
DOCUMENT 1B

CONTINENTAL AREAS / ZONES CONTINENTALES



OFFSHORE AREAS / ZONES SOUS-MARINES



DOCUMENT 2ADOCUMENT 2B

Station	Coordonnées (lat., long.)	/Afrique Valeur (mm/a), Azimut (°/N)	/Amérique du Nord	/Amérique du Sud
AVES	15.67°N, 63.62°E	16, 296°	11, 80°	11, 88°
ROJO	17.90°N, 71.67°E	16, 297°	11, 79°	11, 98°
SANA	12.53°N, 81.73°E	16, 295°	11, 77°	13, 107°
CRO1	17.76°N, 64.58°E	15, 297°	11, 80°	11, 89

DOCUMENT 4**Evènement 1 : 121804A Iles Vierges (Virgin Island)**

Date : 18/12/2004, Heure GMT : 00h06'31"

Latitude = 19,17°N, Longitude = 64,75°W

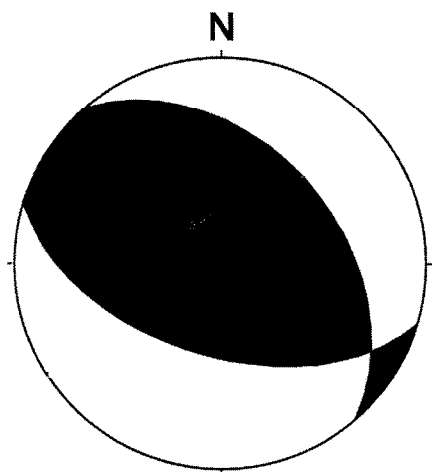
Profondeur = 36,8 km

Mw = 4.8

Plan nodal : Azimut = 319°, pendage = 42°

Plan nodal : Azimut = 107°, pendage = 53°

Mécanisme au foyer :

**Evènement 2 : 200502141805A Petites Antilles**

Date : 14/02/2005, Heure GMT : 18h06'03"

Latitude = 15,89°N, Longitude = 61,56°W

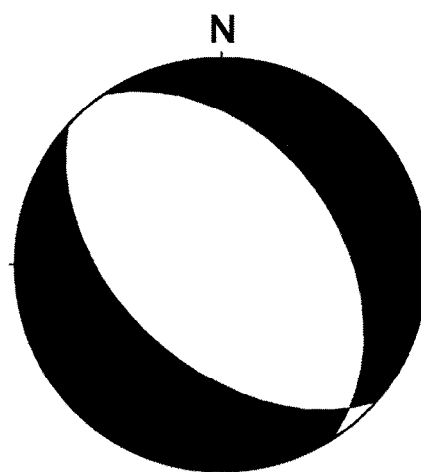
Profondeur = 12 km

Mw = 5.8

Plan nodal : Azimut = 326°, pendage = 41°

Plan nodal : Azimut = 132°, pendage = 50°

Mécanisme au foyer :



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

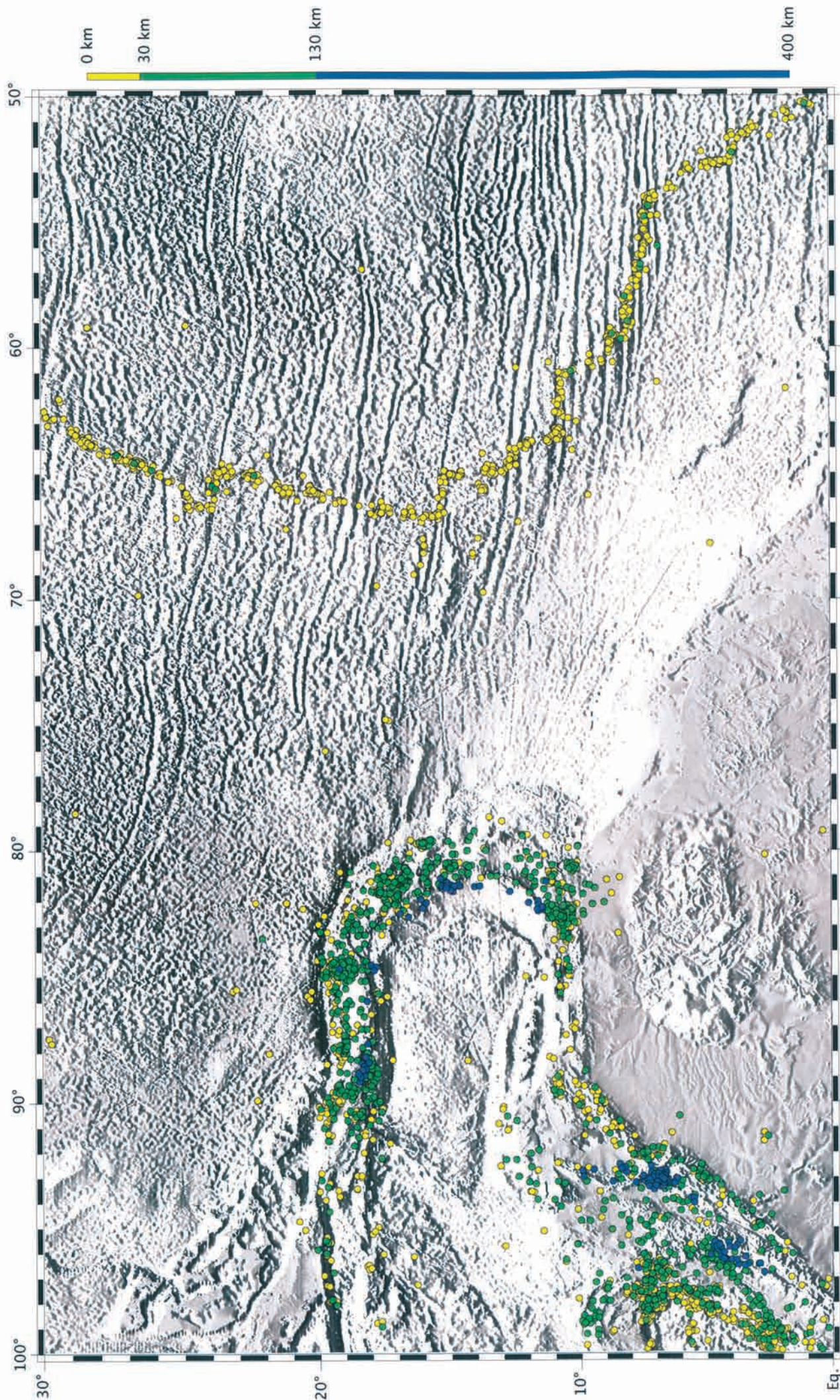
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

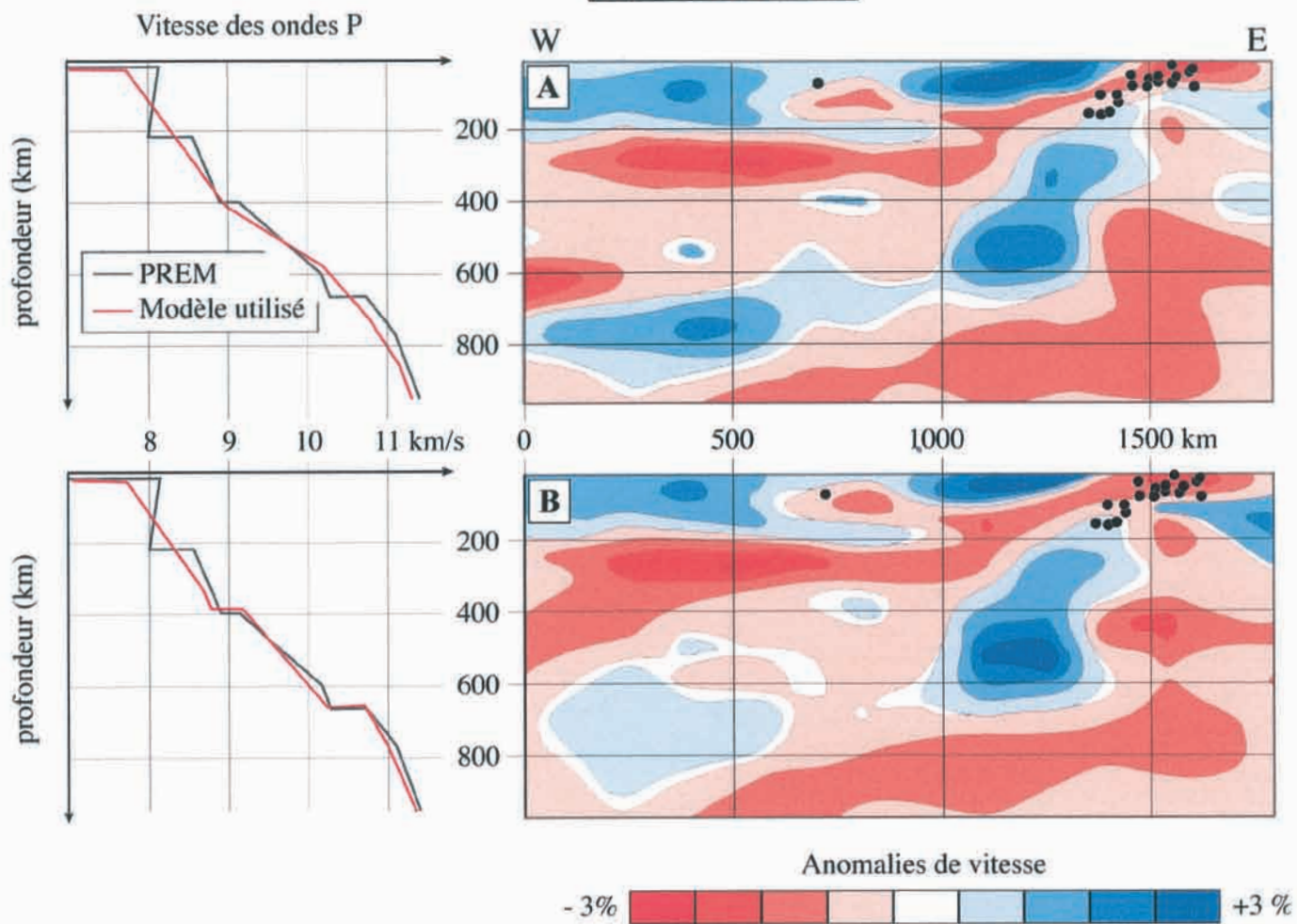
Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

5A92-47

DOCUMENT 3



DOCUMENT 5

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Académie : _____ Session : _____
 Concours : _____
 Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____
 Intitulé de l'épreuve : _____
 NOM : _____
 (en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)
 Prénoms : _____ N° du candidat

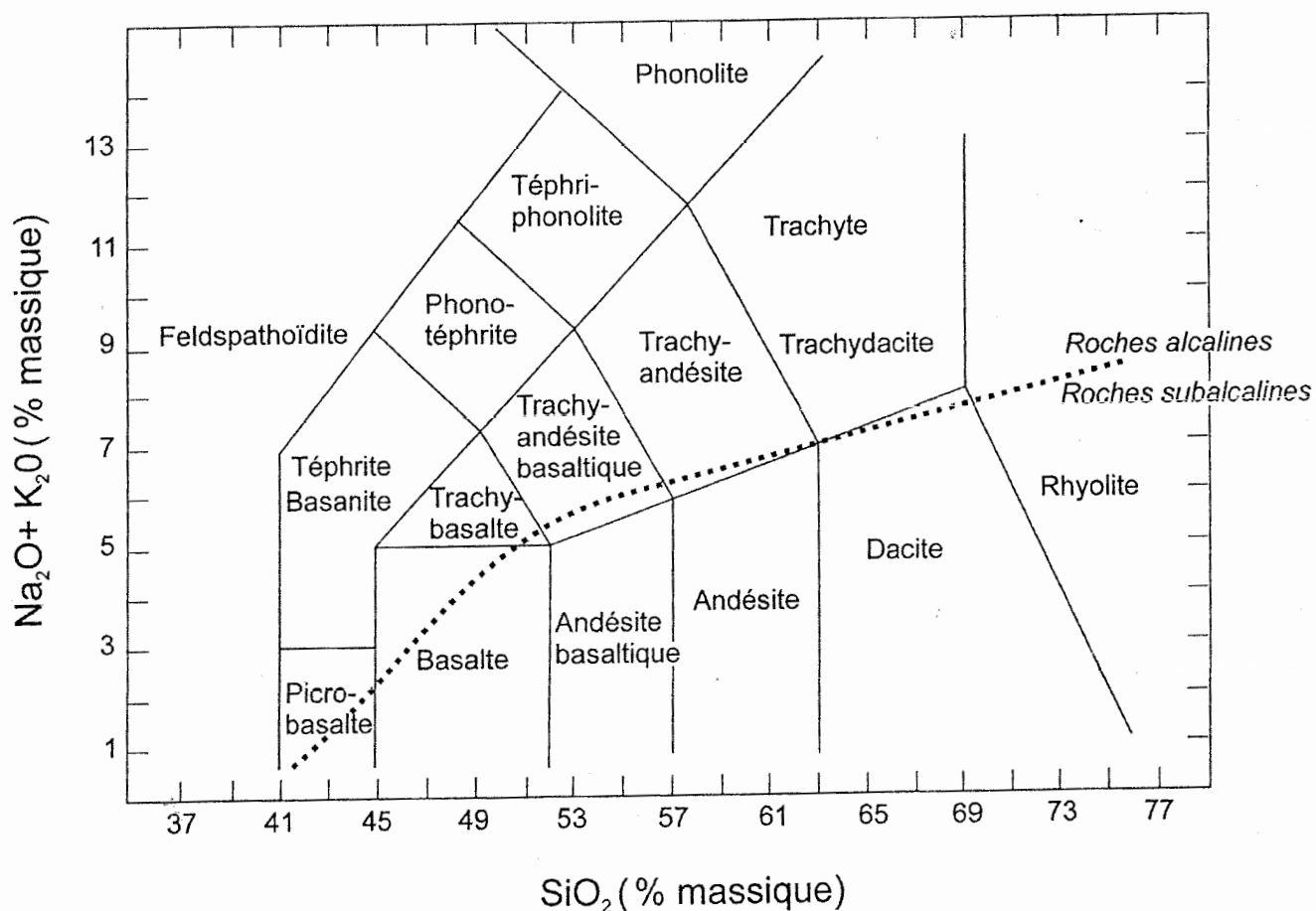
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

5A92-47

DOCUMENT 6A

	L1	L2	L3	L4
SiO ₂	52,11	59,25	67,05	72,62
TiO ₂	0,85	0,92	0,63	0,39
Al ₂ O ₃	19,13	16,83	14,93	14,63
FeO*	8,35	7,74	5,79	2,27
MnO	0,19	0,20	0,13	0,05
MgO	4,98	2,66	1,11	0,35
CaO	10,59	6,38	3,49	2,65
Na ₂ O	2,68	4,23	4,99	5,37
K ₂ O	0,49	0,75	1,05	1,33
P ₂ O ₅	0,12	0,18	0,18	0,09
Total	99,50	99,14	99,36	99,75

DOCUMENT 6B



I

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

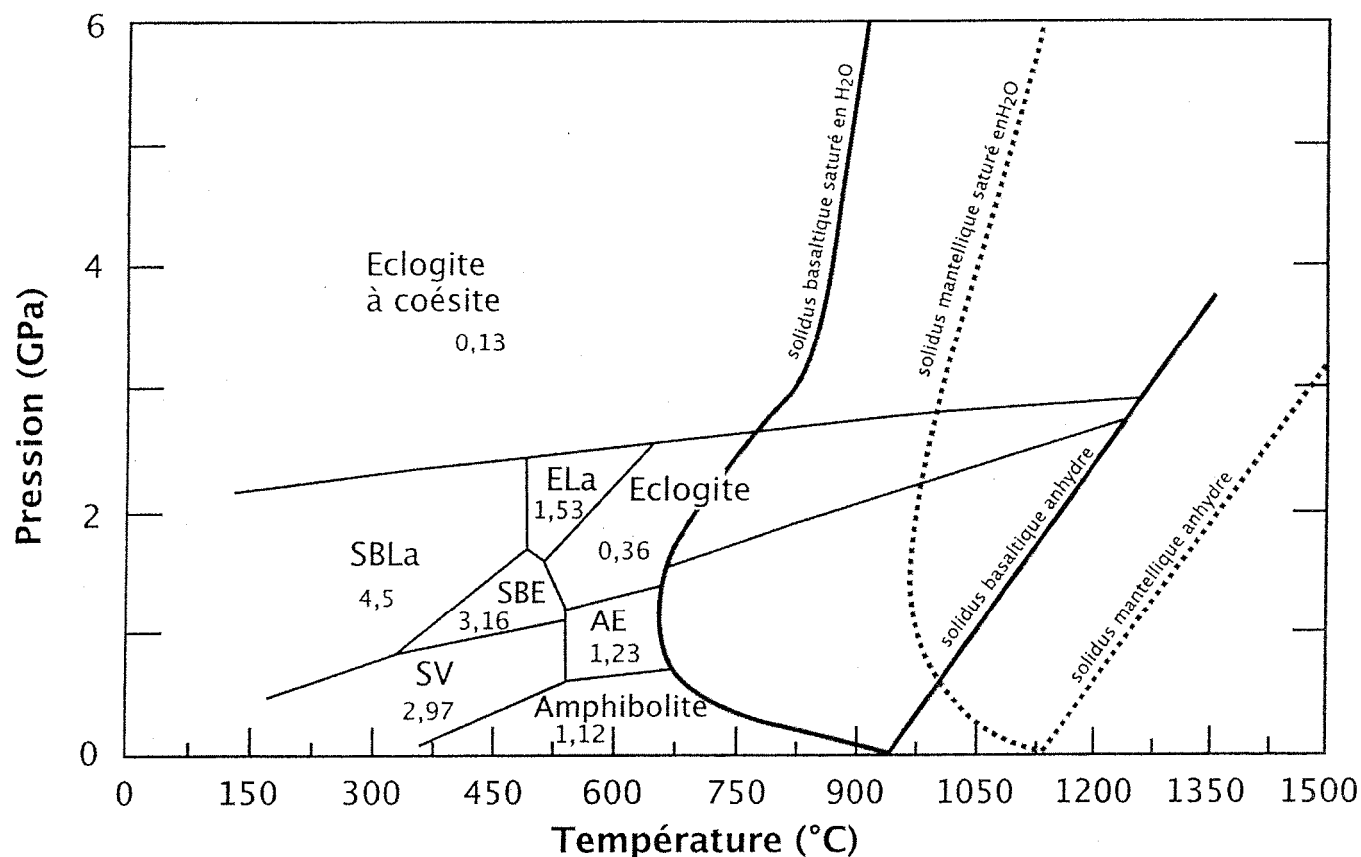
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

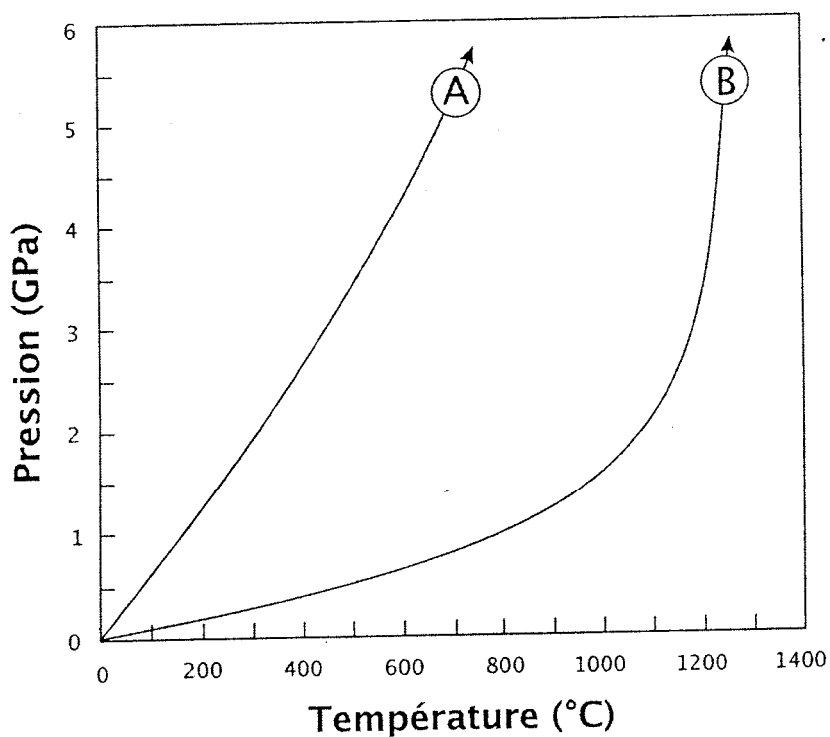
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

5A92-47

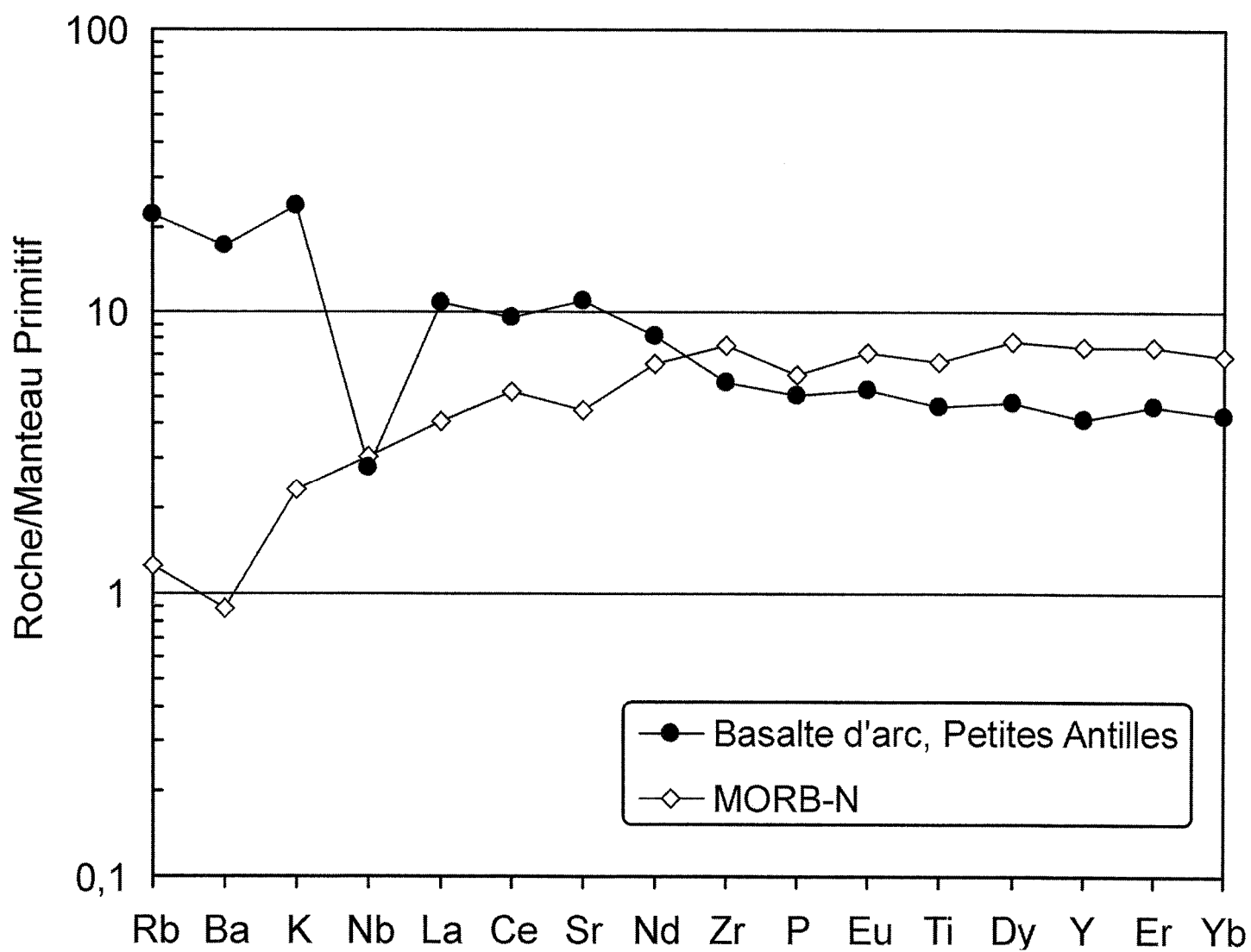
DOCUMENT 7A



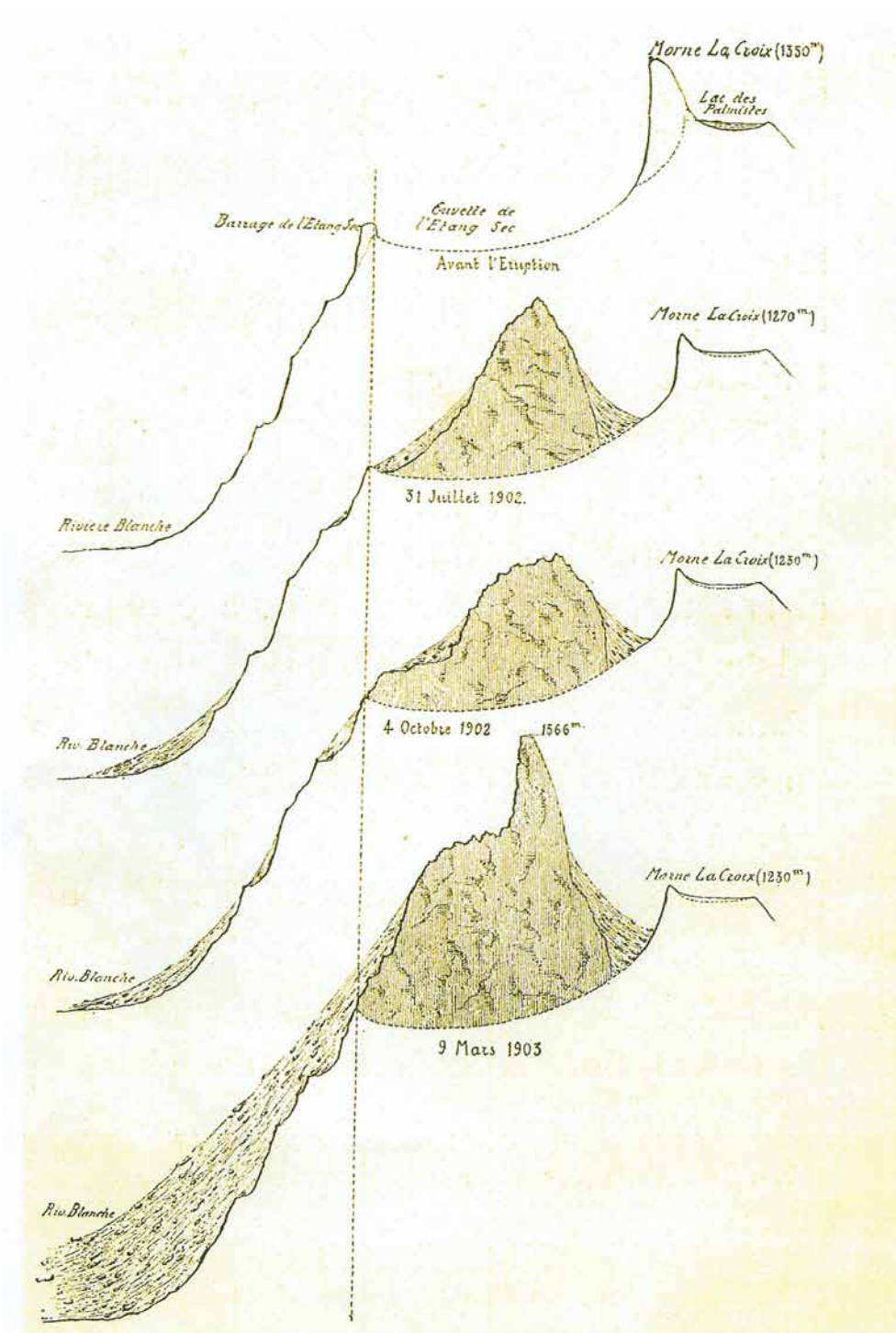
DOCUMENT 7B

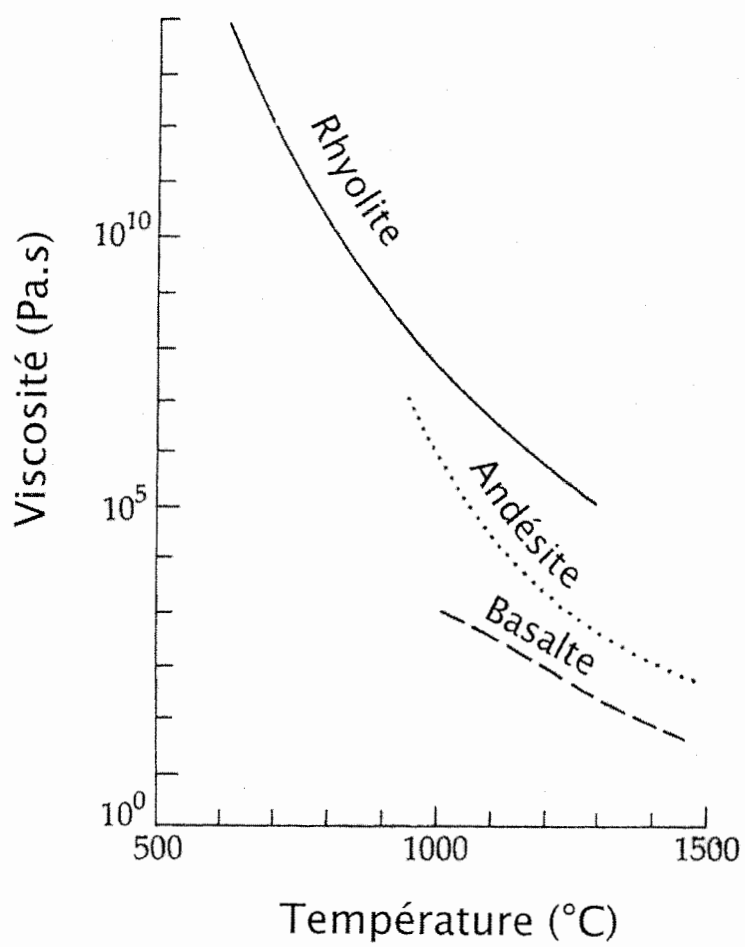


J

DOCUMENT 8

DOCUMENT 9A



DOCUMENT 9B

DOCUMENT 10A

1889 et 1901 : Apparition de fumerolles dans le cratère de l'Etang Sec.

février 1902 : Augmentation de l'activité fumerollienne.

22 avril 1902 : Séisme ressenti au Prêcheur.

24 avril : Explosion phréatique (le panache atteint 600 m d'altitude).

28 avril : Crues dans les rivières sans pluies et apparition d'un lac dans le cratère.

29-30 avril : Séismes ressentis.

2 mai (nuit) : Violentes explosions. Le panache de cendre atteint 6 km en altitude.

4 mai (nuit) : Plusieurs explosions. Crues dans la Rivière Blanche. Les cendres couvrent tout le Nord de l'île.

5 mai : Violentes explosions. Le lac de cratère est éjecté provoquant une coulée boueuse dans la rivière Blanche. Toutes les rivières du volcan sont en crue.

5 mai (nuit) : Lueurs et incandescences observées au sommet du volcan : le magma a atteint la surface et la croissance d'un dôme de lave a débuté.

6 mai (nuit) : Lueurs et blocs incandescents projetés du cratère. Epaisse chutes de cendres sur le Prêcheur et Grand- Rivière.

7 mai (nuit) : Rivière des Pères en crue. Accroissement des chutes de cendres.

8 mai au matin : Situation calme à Saint-Pierre. Les explosions se poursuivent et engendrent des nuages sombres obscurcissant la ville.

Tournez la page S.V.P.

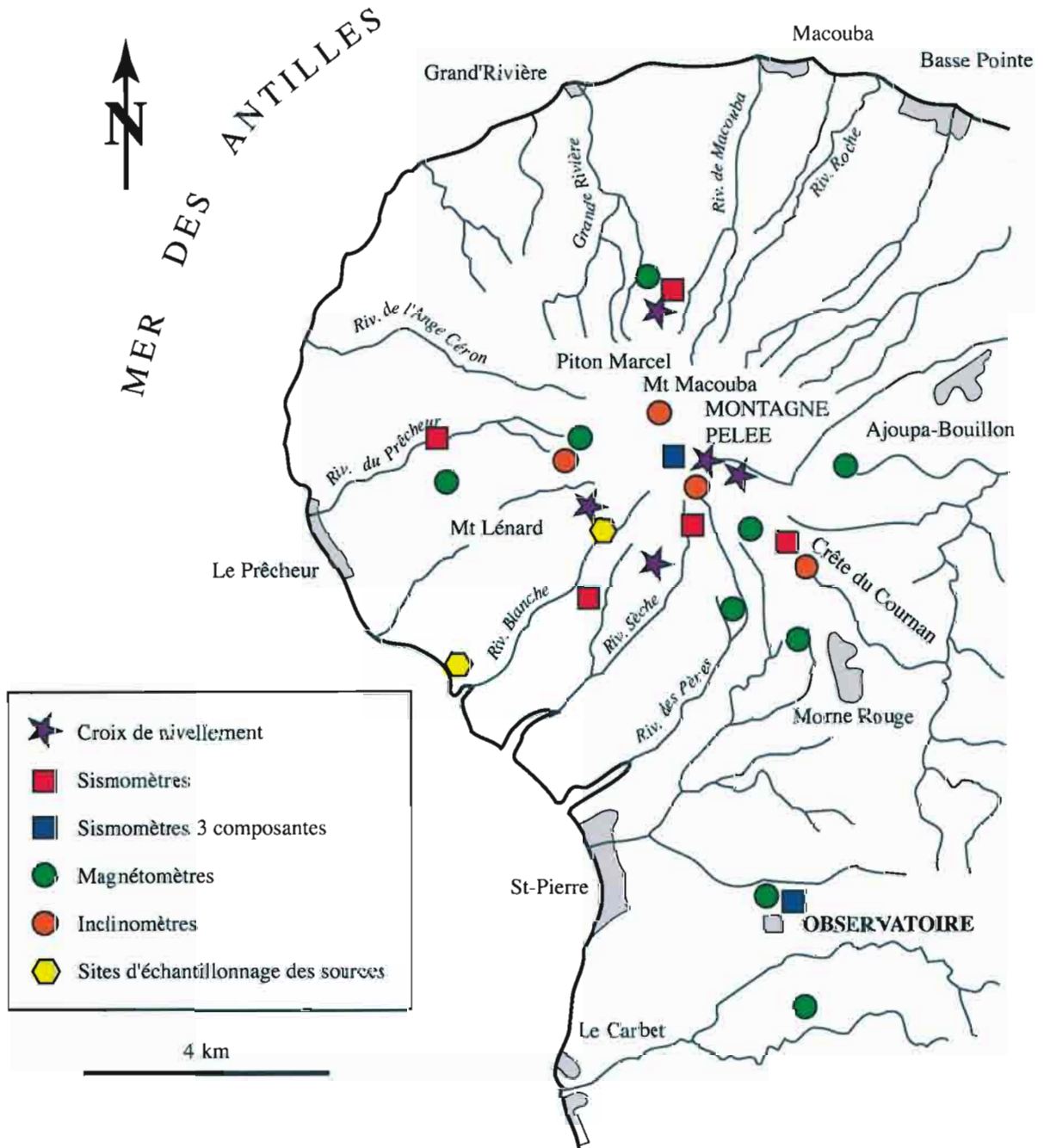
DOCUMENT 10B

Récit de M. Thierry, ancien directeur du Jardin Botanique de Saint-Pierre, depuis Morne Rouge , le 8 mai, vers 8 h du matin.

« En regardant la montagne, je vis d'abord sur la coulée de la rivière Blanche toute une série de colonnes de fumée qui paraissaient autant de petits cratères [*fumerolles*] et provenaient sans doute d'un écoulement de boue bouillante survenu pendant la nuit et qui aurait suivi la même voie que celui qui, trois jours avant, avait englouti l'usine Guérin... Je comptais ces colonnes de fumée : j'en comptais très distinctement six, avant d'arriver au vrai cratère sur lequel je venais à peine de fixer mes yeux pour compter sept, *lorsque je vis une gerbe de rochers sortir du cratère, projetés à une hauteur que, approximativement, je ne puis supposer à plus de 50 à 100 mètres au-dessus de la crête de la montagne, et prendre en retombant la direction du bord de la mer du côté de Saint-Pierre, enjambant la crête qui sépare la vallée de la rivière Blanche de la vallée de Saint-Pierre.* En même temps, un bruit formidable, et, sur les côtés de la gerbe ou de la fusée dont bientôt je ne pus continuer de voir le centre qu'une fumée épaisse emplissait, je vis encore d'énormes rochers qui filaient sur Saint-Pierre avec une vitesse énorme, laissant derrière eux une sorte de traînée qui se profilait en noir sur la blancheur intérieure du nuage.

Tout cela en moins de temps qu'il n'en faut pour le dire, car, d'un coup, l'espace compris entre le cratère et le bord de la mer s'est trouvé plein du nuage formé par les matières vomies par le volcan, et ce n'est qu'au début que je vis les rochers, car presque tout de suite un nuage épais couvrit toute la partie comprise entre la montagne et Saint-Pierre.

Je sortis alors dans la rue... j'allais ainsi pendant 100 mètres environ, quand je vis, à une distance qui me parut fort rapprochée, un énorme nuage gris roux, prenant depuis terre, qui s'avavançait sur nous comme une muraille et sur les bords duquel les éclairs formaient comme un véritable filet à mailles serrées ; j'eus alors comme une impression de vide devant moi, une sorte de vertige me prit et je crus que c'en était fini de nous et du Morne Rouge. Le bruit ne faisait qu'augmenter, le ciel s'obscurcissait et, ma curiosité cédant à l'instinct de conservation, je fis volte face pour aller dans la direction de ma maison où j'arrivais rapidement. En cours de route, je sentis un violent coup de vent, comme un petit cyclone qui arracha beaucoup de feuilles et cassa quelques branches, mais dura peu ; puis devant la maison de Monsieur Carassus, j'ai regardé le cratère ; il était absolument net et ne projetait plus rien que de la fumée comme à l'ordinaire, ce qui fait qu'en récapitulant j'estime que la projection de la trombe meurtrière n'a pas duré plus de deux minutes, si même elle a duré ce temps là. [...].

DOCUMENT 11

4

Epreuves écrites d'admissibilité
Composition sur un sujet de géologie

Composition sur un sujet de Géologie

Le sujet proposé était centré sur un objet géologique : la zone de subduction des Petites Antilles, et abordait un large ensemble de champs disciplinaires à travers les 11 documents fournis. Pour chacun d'entre eux, des consignes précisait les attendus du jury. L'introduction et la conclusion étaient elles aussi l'objet de consignes. L'ordre des quatre parties et l'ordre des documents à l'intérieur de ces parties étaient au choix du candidat, selon la problématique et le cheminement qu'il devait proposer.

Les 4 parties, « Géodynamique », « Sismologie », « Pétrogenèse » et « Volcanisme » représentaient 4 parts égales du barème. L'introduction, la conclusion, le choix du plan, l'ordre des documents, les liens et transitions entre les paragraphes comptaient pour une cinquième et égale part du total des points. L'équivalent de 1 point sur 20 était alloué à l'orthographe et au soin apporté à la copie.

L'épreuve tentait d'évaluer les candidats sur un éventail large de domaines des Sciences de la Terre depuis des aspects fondamentaux jusqu'à des aspects plus pratiques comme la gestion du risque naturel. La diversité des documents proposés se voulait aussi représentative de la diversité des supports scientifiques utilisés en géologie : des données en cartes, des tableaux d'analyses et de valeurs numériques, des courbes, des schémas descriptifs et du texte. A travers ces documents, diverses compétences étaient évaluées : l'analyse et le commentaire de données brutes, la lecture de diagrammes complexes, la saisie d'informations et leur synthèse (autour des documents relatifs à l'éruption de 1902), l'aptitude à mener des raisonnements sur des grandeurs physiques simples (la vitesse des plaques, la viscosité ...), la réalisation de schémas bilans (à travers le schéma de conclusion entre autres). Des questions ponctuelles sur les principes de quelques méthodes et processus classiques (le GPS, NUVEL-1...) ou sur des définitions de termes courants (les faciès métamorphiques, la viscosité ...) évaluaient les connaissances théoriques des candidats et leur capacité à les restituer de façon concise. Enfin l'ensemble visait à mesurer leur aptitude à l'articulation de différents arguments dans un raisonnement construit.

Il est difficile de rendre compte de l'extrême disparité des prestations des candidats. Si certaines copies révèlent un niveau de connaissance très faible et des difficultés d'expression absolument incompatibles avec l'exercice du métier d'enseignant à quelque niveau que ce soit, la plupart des candidats ont su tirer profit du large spectre évalué. L'ensemble des points répartis sur les différents attendus dans le barème a été attribué ... mais rarement dans la même copie. Il est d'ailleurs fréquent, étonnant et regrettable de trouver dans la même page un premier paragraphe parfaitement rédigé et construit et le second truffé d'imprécisions ou d'erreurs. A ce titre, il est rappelé aux candidats que le CAPES de SVT ne vise en aucun cas à valoriser des candidats experts de tel ou tel champ disciplinaire cloisonné, mais précisément de futurs enseignants dominant un socle large de connaissances connectées entre elles.

La seule partie des points qui n'a finalement été que très peu attribuée est celle relative au plan et à l'articulation logique des documents. Rares sont les candidats qui ont essayé de construire leur exposé ... ce qui ne demandait qu'un peu de bon sens. Les candidats qui ont su lever la plume quelques minutes sur les 5 heures d'épreuve pour prendre du recul sur le sujet et réagencer les différentes parties entre elles, se sont vu largement récompensés de cet effort.

Enfin, il n'est pas normal que tous les candidats à un CAPES quel qu'il soit n'aient pas une orthographe irréprochable. Là encore, beaucoup auraient eu une note significativement supérieure s'ils avaient gardé quelques minutes pour relire leur copie.

Introduction

Le choix du document de départ conditionnait la tournure de l'introduction. Deux idées ont été retenues par les candidats : certains sont partis d'un document « brut » comme les enregistrements sismiques du document 4, ou les appareils de mesure du document 11 ou encore les récits de l'éruption de 1902 pour mettre en évidence l'activité géologique de la région et le risque associé ; d'autres, plus nombreux, ont préféré partir d'un document général comme la carte géologique du document 1 et localiser les Antilles dans leur contexte géologique... Une problématique évidente était de chercher la cause de l'activité géologique de la région. Quel phénomène de grande échelle est responsable de cette sismicité et de ce volcanisme ? Comment le met-on en évidence ? Une annonce du plan était ensuite attendue.

Rares sont les candidats à avoir réellement proposé une problématique qui permette de relier entre elles les différentes données proposées. Rares encore ceux qui ont essayé d'ordonner leur exposé, et le plan retenu était dans une grande majorité de cas l'ordre des parties telles que présentées dans le sujet ... Commencer par la partie « géodynamique » était relativement anti-démonstratif, puisque la plupart des documents suivants permettait de caractériser la marge active des Caraïbes par les processus qui s'y déroulent. De la même façon traiter de la « pétrogenèse » avant d'aborder le volcanisme n'était pas une bonne idée. Même si d'autres démarches étaient possibles, les plans les plus judicieux partaient des manifestations visibles de l'activité géologique de la région, volcanisme et sismicité, pour les expliquer ensuite par le contexte géodynamique et les processus profonds. Malgré la consigne explicite qui demandait que l'on parte d'un des documents proposés, nombre d'introductions restaient floues et

maladroites. Commencer le devoir par la « dérive des continents » ou la structure interne du globe par exemple était sans intérêt.

En gras : les mots-clés et notions attendus et référencés dans la grille de barème, *en italique* les notions qui n'étaient pas requises.

1. L'activité géologique des Antilles se traduit par son volcanisme.

1.1 Les Antilles forment un arc volcanique.

Les « Petites Antilles » forment un chapelet d'îles en forme d'arc de cercle, comme on en trouve sur le pourtour du Pacifique. Il est formé d'une vingtaine d'îles volcaniques. Sa longueur est d'environ 850 km. *L'arc des Petites Antilles se construit depuis l'Eocène. Il est constitué d'un arc externe ancien (Eocène et Oligocène) et d'un arc interne dont l'activité a débuté au Miocène inférieur et se poursuit aujourd'hui. Les deux arcs sont confondus au sud de la Martinique (document1A).*

On répertorie le long de l'arc une dizaine de volcans actifs ayant connu des éruptions depuis le 17^{ème} siècle, dont la Soufrière de Montserrat (île britannique, aujourd'hui en activité), la Soufrière de Guadeloupe et la montagne Pelée en Martinique. *La Martinique est la plus grande des îles de l'arc des Petites Antilles. La montagne Pelée est un stratovolcan (volcan composite, polygénique, caractérisé par de nombreux points de sortie) actif depuis 300 000 ans environ. C'est aujourd'hui le seul volcan actif de l'île. Pendant la période historique (très brève car elle débute par l'implantation des européens en 1635) seules deux éruptions phréatiques mineures aux 18^{ème} et 19^{ème} siècle sont documentées. Pourtant en mai 1902, le volcan s'est réveillé et a produit l'éruption volcanique la plus meurtrière de la période historique (près de 30 000 victimes tuées directement par l'éruption).*

1.2 L'éruption de 1902 de la montagne Pelée, un dynamisme typique de la région.

Des signes annonciateurs jusqu'au paroxysme, la succession d'événements décrite dans les documents 9A, 10A et 10B permet de reconstituer l'éruption de 1902. Les signes annonciateurs de l'éruption (document 10A) sont les suivants :

- Les **fumerolles** correspondent à un *dégagement de vapeur d'eau du sol*. Elles sont formées par la **vaporisation de l'eau météorique** infiltrée dans le sol et rencontrant en profondeur une zone où la température d'ébullition de l'eau est atteinte (échange thermique avec le magma chaud remontant dans le conduit). En plus de cela, les fumerolles peuvent contenir des **fluides magmatiques** (modification de la composition chimique des gaz, par exemple teneurs en Cl, en S) issus du dégazage du magma en ascension.

- **L'activité sismique** (trémors, de faible magnitude) témoigne de la **montée du magma** dans le(s) conduit(s) d'alimentation volcanique.

- Les **explosions phréatiques** correspondent au réchauffement, à la vaporisation et la détente brutale des nappes d'eau superficielles à la rencontre du magma ascendant. Le cône du volcan était gorgé d'eau météorique et cette eau a été en quelque sorte "expulsée" vers l'extérieur par le front thermique lié à la colonne magmatique ascendante.

- **La croissance du dôme** marque le début de l'éruption à proprement parler.

- *L'écoulement de "boue bouillante" décrit par M.Thierry est en fait un lahar, provoqué par la vidange du lac de cratère sommital de la montagne Pelée.*

Le paroxysme du 8 mai 1902, à 8h02, commence par une violente explosion au sommet du volcan. L'explosion du dôme est due à la détente brutale des gaz magmatiques encore contenus à l'intérieur du dôme. L'explosion est superficielle : elle se produit à la base du dôme et se dirige latéralement dans la direction de St-Pierre. Le mélange de gaz, de cendres et de blocs s'épanche en un écoulement qui déferle sur le flanc du volcan. Cette **coulée pyroclastique**, baptisée nuée ardente par A. Lacroix, se déplace à très grande vitesse, *de l'ordre de 120 à 150 m/s*. Elle franchit les reliefs et atteint la ville de St-Pierre tuant ses 28 000 habitants, à l'exception de deux survivants. Les habitants sont tués par les effets mécaniques et surtout par brûlure et asphyxie par ingestion de gaz et cendres chaudes.

La coulée pyroclastique destructrice du 8 mai est donc causée par **l'explosion du dôme** (M. Thierry parle de "gerbe de rochers sortant du cratère")... *Cette coulée est en fait une déferlante pyroclastique (surge pour les anglo-saxons, concentration de solide très faible, 0,1 à 1% du volume)*. Ces éruptions à dôme de lave visqueuse et écoulements pyroclastiques associés (produits soit par instabilité gravitaire du dôme soit par explosion du dôme pour les plus énergétiques) sont depuis lors appelées des **éruptions péléennes**.

Cette partie de l'exercice consistait simplement à réordonner les faits et à recouper les témoignages de façon à présenter une description scientifique de cette éruption. Le manque de clarté et de concision de nombreux candidats les ont pénalisés ... quelques analyses se révélaient aussi longues à lire que les documents eux-mêmes ! Seuls quelques candidats ont confondu les termes « effusif » et « explosif », mais la plupart se sont arrêtés à ce niveau de précision, le terme de « péléen » pourtant assez indiqué pour la montagne Pelée n'a pas été souvent mentionné.

Pour expliquer ce dynamisme éruptif très particulier, il faut s'intéresser aux propriétés mécaniques des laves émises, et en particulier à leur **viscosité**. La viscosité mesure la **résistance d'une substance au fluage**, à l'écoulement. Elle est définie par le rapport de la **contrainte appliquée (en Pa) sur la vitesse de déformation (en s^{-1})**, elle s'exprime donc en **Pa.s**. La viscosité des magmas est contrôlée par la **température, la composition chimique du bain silicaté**, comme présenté sur le document 9B, mais aussi **la teneur en eau du liquide** et la présence de cristaux ou de bulles.

D'après le document 9B, la viscosité des magmas **diminue à température croissante et augmente à teneur en silice croissante**. La structure de base des liquides silicatés est représentée par le tétraèdre SiO_4^{4-} . Les tétraèdres se lient entre eux en partageant des oxygènes et constituent ainsi une charpente tridimensionnelle continue, qui s'écoule difficilement. *Le cation silicium est un formateur de réseau*, c'est-à-dire qu'il construit cette charpente. L'introduction d'autres cations alcalins mais aussi de H_2O dans le bain silicaté va casser des liaisons Si-O-Si et ainsi "fluidifier" le magma. *Ces cations sont appelés des cations modificateurs de réseau.*

La viscosité est une grandeur physique précise. Des futurs enseignants de SVT doivent avoir une connaissance de cette grandeur qui dépasse les acceptions vernaculaires usuelles (et fausses) telles que « état pâteux » ou encore « propriété entre les liquides et les solides ».

Les magmas mis en place au cours de l'éruption de 1902 de la montagne Pelée sont dominés par des compositions **andésitiques** (57-63 % SiO_2 , d'après le document 6B). A $1000^\circ C$ (température de mise en place raisonnable pour des compositions andésitiques), leur viscosité est de l'ordre de 10^7 Pa.s (document 9B). Ces magmas visqueux ne vont pas former de coulées de lave comme les basaltes mais se mettre en place sous forme **d'extrusion**. L'extrusion de laves visqueuses conduit typiquement à la formation de **dômes de laves**. Un dôme est une accumulation de lave qui se forme au-dessus d'un point de sortie par poussée interne. Dans les cas extrêmes, la lave est suffisamment visqueuse pour qu'il n'y ait pas d'expansion latérale, on parle alors de **protrusion**. Le document 9A montre la croissance du dôme andésitique de la Montagne Pelée suivie de la croissance de l'aiguille (protrusion). L'aiguille atteindra 350 m de hauteur avant de s'écrouler totalement.

L'instabilité gravitaire du dôme de lave visqueuse génère des **écoulements pyroclastiques** de cendres et blocs (*nuées ardentes d'avalanche*) qui se canalisent dans la vallée de la rivière Blanche qu'ils comblent partiellement.

Cette dernière éruption catastrophique à la Martinique a plus d'un siècle. A cette époque, aucun système de prévention ou de protection n'existait. Pour réduire les dommages potentiels (humains et matériels), c'est-à-dire la **vulnérabilité**, il convient d'étudier en détail et de mesurer en continu les phénomènes précurseurs des éruptions volcaniques.

La description du dynamisme éruptif a rarement été faite de manière simple. De nombreux candidats se sont contentés de remettre les événements dans leur ordre chronologique ... il s'agissait ensuite de les expliquer et de les lier entre eux. Le point essentiel était de lier la coulée pyroclastique à l'explosion du dôme. De la même façon, recouper le document 9B et les noms de roches déduits du document 6 permettait une approche quantitative de l'édification du dôme.

1.3 Les îles sont placées sous haute surveillance.

Afin de détecter les signes avant-coureurs des grandes éruptions, des outils spécifiques sont déployés sur les flancs des édifices volcaniques. Le document 11 présente la localisation des appareils de surveillance de la montagne Pelée, mis en oeuvre par l'observatoire de la Martinique. La **géométrie du volcan** est surveillée, pour cela on utilise des points de nivellement, dont la position est régulièrement mesurée, et des clinomètres qui détectent des variations des pentes du volcan. Les phénomènes de **tumescence**, qui peuvent annoncer une éruption sont ainsi détectés. Des sismomètres permettent de détecter les **tremblements de terre** associés aux mouvements de magmas et de gaz dans le volcan (les tremors). Les sismomètres 3 composantes sont en fait 3 sismomètres simples orientés dans les **3 directions** de l'espace. Les magnétomètres mesurent le **champ magnétique et ses variations** dues à des **circulations de fluides** chargés électriquement ou de magmas portant des minéraux ferromagnétiques. Enfin les sites d'échantillonnage des sources permettent de surveiller la **composition et la température des fluides** émis par le volcan. *En plus de ces outils in situ, des surveillances à distance (interférométrie radar par exemple) permettent une couverture globale des régions volcaniques.* L'ensemble de ces mesures permet d'évaluer la probabilité qu'une éruption ait lieu dans un laps de temps donné, on parle d'**aléa** volcanique. Le **risque** volcanique est le **produit** de l'aléa par la vulnérabilité.

La définition du risque est à connaître. Ce pan des sciences de la Terre est particulièrement important puisqu'il ancre la connaissance fondamentale dans les préoccupations de la société civile. Vis à vis de l'épreuve elle-même, il était peu judicieux de garder ce document pour la fin de l'exposé, ce qui obligeait à des redites sur le lien entre sismicité et volcanisme ... En outre un magnétomètre ne mesure pas la magnitude ...

Les éruptions sont, entre autres, associées à des séismes relativement superficiels et de magnitude faible, mais une sismicité plus profonde et de plus grand impact est localisée dans la région des Antilles.

Une part non négligeable des points du barème était dévolue aux transitions entre parties et aux liens entre documents. Les candidats qui se sont contentés de répondre aux consignes édictées l'une après l'autre, n'ont pas pu être évalués sur leur aptitude à articuler un raisonnement scientifique.

2. L'activité géologique des Antilles se traduit aussi par une forte sismicité.

2.1 Les sismomètres locaux sont inclus dans des réseaux mondiaux.

Les sismomètres localisés dans la région (document 11) sont incorporés à des **réseaux** mondiaux, comme le réseau Géoscope, qui permettent de localiser précisément un foyer sismique. A chaque station sismique, parfaitement synchronisée à ses homologues par des **horloges** de haute précision, on enregistre les trains d'ondes sismiques provoqués par le séisme dont on ne connaît ni la position de l'épicentre (2 inconnues), ni la profondeur, ni l'heure exacte. On peut donc théoriquement déterminer ces **4 inconnues** avec 4 sismomètres, si on se donne un **modèle de vitesses** sismiques qui permette de reconstituer le trajet parcouru par les rais sismiques et de remonter des données en temps aux distances. *On utilise en fait 3 stations pour déterminer l'heure et l'épicentre du séisme, la relocalisation en profondeur, plus difficile, nécessite un traitement plus complexe des données.*

La plupart des candidats connaissent le principe de localisation des séismes, certains ont même expliqué la méthode d'utilisation d'un hodographe, ce qui était une bonne réponse. La nécessité d'un réseau synchronisé est plus rarement mentionnée. Il est en revanche regrettable de lire de longs paragraphes sur le fonctionnement du sismographe ou sur les propriétés des ondes sismiques qui n'étaient pas demandés, qui constituaient pour certains une bonne occasion d'erreur et qui n'étaient de toute façon pas pris en compte dans le barème.

2.2 Les séismes répertoriés ont plusieurs sources.

Les données recueillies par ces réseaux sont organisées en catalogues, dont le document 4 nous présente 2 extraits. Pour chaque événement, la **localisation** du foyer en latitude, longitude et profondeur est précisée ainsi que la **date et l'heure** du séisme. La **magnitude** (M_w , magnitude de moment) rend compte de l'énergie libérée par le séisme. Le **moment** M_0 est calculé à partir des sismogrammes ou à partir de mesures géodésiques et converti en une valeur sans dimension : la magnitude du séisme. Les **plans nodaux**, dont on précise azimut et pendage sont les deux plans qui limitent les quadrants représentés en projection stéréographique sur le mécanisme au foyer. Concrètement, l'un d'eux est le **plan de faille** sur lequel la rupture a eu lieu, l'autre est son **complémentaire** et n'a pas de réalité géologique (il matérialise la réaction des compartiments au glissement) mais **on ne peut les distinguer** d'après les données sismologiques. Le mécanisme au foyer représente la façon dont les compartiments de la faille ont joué l'un par rapport à l'autre. Il est déterminé à partir du **premier mouvement ressenti aux stations**. Si celui-ci est vers le haut, alors la station est dans un quadrant en **compression**, et s'il est vers le bas, elle se trouve dans un quadrant en **dilatation**. On doit alors reconstituer le trajet du rai sismique reliant le foyer à cette station et représenter sa direction au foyer en **projection stéréographique**. On fait de même pour

toutes les stations et on tente de déterminer deux plans perpendiculaires qui séparent les rais reçus aux stations en compression des rais reçus aux stations en dilatation. Si ces deux plans existent, alors on parle de mécanisme au foyer en **double-couple**, et ce sont les deux plans nodaux. **Par convention, le quadrant en compression est ombré, le quadrant en dilatation est en blanc.**

Une proportion raisonnable de candidats connaissent la convention de lecture des mécanismes au foyer, plus rares sont ceux qui savent expliquer le principe de leur établissement. La confusion entre magnitude et intensité est inadmissible au niveau CAPES.

Sur le document 4, l'évènement 1 localisé au nord de l'arc des Antilles, dans les îles Vierges, à la profondeur de 37 km, c'est à dire à la base de la croûte, a une magnitude de 4,8 et un mécanisme au foyer en **compression**, compatible avec une direction de contrainte horizontale maximale NE-SW, c'est à dire perpendiculaire à la limite de plaque à cette latitude. L'évènement 2 a été localisé à l'aplomb de l'arc au sud de la Guadeloupe. Il montre un mécanisme au foyer en **extension**, compatible avec une direction de contrainte horizontale minimale NE-SW, là encore perpendiculaire à la limite de plaque. L'interprétation des deux mécanismes aux foyers, apparemment incompatibles en termes d'état de contrainte, nécessite la connaissance du contexte géodynamique que nous déterminerons en partie 3

Une étude statistique de la répartition des séismes permet d'aller plus loin dans la caractérisation de l'activité sismique de la région des Antilles.

2.3 La localisation des séismes montre une zone sismogène étendue.

Le document 3 nous montre les foyers des séismes survenus en 30 ans dans la région des Antilles classés selon leur profondeur. L'arc des Antilles se distingue par une activité sismique **profonde**, bien au delà des 15 premiers kilomètres de croûte, réputés fragiles. On distingue quelques séismes crustaux de part et d'autre de l'arc, une ceinture dense à l'aplomb de l'arc entre 30 et 130 km et une ceinture profonde située à l'intérieur de l'arc. Les foyers vont donc **en s'approfondissant sous l'arc de l'est vers l'ouest**. Le document 5 qui représente une vue en coupe E-W à travers la région, montre des foyers sismiques (points noirs) qui s'alignent en effet le long d'un plan incliné vers l'Ouest, appelé **plan de Wadati-Benioff**. Cette région sismique se distingue clairement de la zone sismique située en Atlantique, particulièrement étroite et ne montrant que des séismes de profondeurs inférieures à 30 km. Les zones sismiques qui prolongent l'arc de Antilles au Nord et au Sud ne montrent pas d'organisation simple.

La légende du document 3 étant mal rédigée (on ne doit pas parler de « profondeur d'un épicentre ») la confusion entre épicentre et hypocentre n'a pas été sanctionnée dans les copies. Ce document a souvent été bien compris, de nombreux candidats ont eu la bonne idée de représenter les données en coupe. La démarche était souvent plus décevante, la description factuelle de la répartition des foyers était trop souvent mélangée, quand elle ne faisait pas suite, à l'explication de cette répartition.

La région des Antilles montre donc une activité géologique bien particulière : un volcanisme de type péleén et une sismicité importante, profonde, organisée selon un plan oblique sous l'arc volcanique. Ces spécificités sont directement corrélables au contexte géodynamique des Antilles.

3. Les Antilles sont situées sur une limite de plaques en convergence.

3.1 La lithosphère est découpée en plaques rigides.

Le document 2A représente les vitesses de déplacement de stations situées entre l'Amérique Centrale et les Antilles, par rapport à l'Amérique du Nord. Ces vitesses ont été déterminées par GPS (**Global Positioning System**), une méthode de positionnement par satellite. Une **constellation** de satellites NAVSTAR (30 actuellement, 24 nécessaires) envoient en permanence un signal complexe qui précise **leur position et l'heure** donnée par une **horloge** atomique. Le système est descendant, l'utilisateur possède une antenne qui doit capter au moins **4 signaux** pour déterminer les 4 inconnues que sont sa position en **longitude, latitude, altitude et temps**. Une estimation de l'**incertitude** est possible ; elle est de l'ordre de 5 mètres en mesure simple, mais on peut la réduire à l'ordre du centimètre en utilisant des systèmes **GPS différentiels**, qui mesurent la position relative de deux antennes par rapport à la constellation. Pour estimer des vitesses de déplacements relatives (en direction et en norme, on peut les représenter par les vecteurs de la figure 2A), on doit mesurer la position de balises sur un intervalle de temps par rapport à une balise considérée comme fixe. Plus cet intervalle de temps est long, plus l'erreur relative sera faible. Ici elle est réduite à quelques millimètres par an, soit le rayon des ellipses entourant les vecteurs de la figure 2A.

Le document 2A nous montre aux incertitudes près que les 4 stations SANA, AVES, ROJO et CRO1 ont des vitesses semblables de **20 mm/a** (de 21 mm/a pour SANA, à 18 mm/a pour CRO1) et d'azimut **070** (de 080 pour ROJO à 064 pour CRO1). Si on néglige les effets de courbure de la Terre, elles ne bougent donc quasiment pas l'une par rapport à l'autre sur l'échelle de temps de la dizaine d'années, on peut considérer qu'elles

appartiennent à une plaque **rigide** qui se déplacerait vers l'est par rapport à l'Amérique du Nord. Une carte géologique permet de délimiter cette plaque et ses voisines.

Cette partie du sujet fut parmi les moins bien traitées. Le principe du GPS est rarement maîtrisé alors que c'est aujourd'hui un outil de tous les jours ! Les satellites ne sont pas stationnaires et le « GPS » est un récepteur ! Si beaucoup de candidats ont su retrouver la valeur de 20 mm/a indiquée par les flèches, rares sont ceux qui ont pris le soin d'en préciser l'azimut, le sens et le référentiel, aussi importants que la norme de cette vitesse. Il était important aussi de parler ici de la précision de la mesure, la signification des ellipses à l'extrémité des flèches n'a pratiquement jamais été commentée.

3.2 Les plaques américaines s'enfoncent sous la plaque Caraïbe.

Le document 1 est un extrait de la carte géologique mondiale, établie récemment sous l'égide de l'UNESCO. En plus des âges des formations, sont représentés d'après la légende : **les axes des dorsales d'accrétion océanique en rouge, les zones de subduction et les failles transformantes**. On peut caractériser ces trois grands types de limites de plusieurs façons. Leur activité sismique (cf chapitre 2.3) permet de les distinguer. On voit sur le document 1 et sur le document 3, que la zone sismique **étroite** située dans l'Atlantique correspond à un **axe de symétrie** de la **topographie** et de l'**âge du plancher océanique**. C'est la dorsale médio-atlantique, une frontière en **divergence**, qui limite la plaque Afrique AFR à l'Est des plaques Amérique du Nord NAM et Amérique du Sud SAM. La limite située à l'est des Antilles, caractérisée par une **fosse** dans la topographie, par une sismicité profonde organisée selon un **plan de Wadati -Benioff**, par la présence d'un **arc volcanique** à l'aplomb de ce plan est une limite en **convergence, une zone de subduction**. Les plaques NAM et SAM s'enfoncent sous la plaque Caraïbe CAR, qui contient les Antilles et les 4 stations GPS du document 2A. La limite entre les plaques NAM et SAM est matérialisée par un trait simple sur la carte géologique : elle est **peu sismique**, correspond à une **dépression étroite** et rectiligne dans la topographie, c'est une limite **décrochante**, une **faille transformante**. Sur la carte, on peut retrouver ces trois grands types de limite qui séparent **7 plaques** : AFR, NAM, SAM et CAR déjà mentionnées mais aussi de l'Ouest vers l'est : la plaque Pacifique PAC séparée par la dorsale Est-Pacifique des plaques COCOS et NAZCA qui subduisent sous les plaques NAM, CAR et SAM.

Cette question a été traitée dans la plupart des copies mais rarement de façon satisfaisante. Rares étaient les schémas qui possédaient une échelle, une orientation et une légende claire. Rares étaient les légendes qui mentionnaient clairement et avec des figurés explicites les trois grands types de limites de plaques. A ce titre les marges passives NE SONT PAS des limites de plaques ... Cette erreur très fréquente est symptomatique d'une mécompréhension grave de la notion fondamentale de plaque lithosphérique ; elle a été sévèrement sanctionnée lors de la correction. Il n'existe donc pas de plaque « Atlantique » comme la plupart des schémas le montrait.

Les vitesses relatives données en document 2B confirment et quantifient ces mouvements relatifs : CAR se déplace **vers l'Est de 11 mm/a** par rapport aux plaques NAM et SAM, et de 16 mm/a vers l'ouest par rapport à l'Afrique. En considérant toutes les vitesses comme colinéaires, AFR s'éloigne approximativement **de 27 mm/a par rapport à NAM** et SAM. De telles valeurs sont calculées sur la base d'un modèle de plaques rigides : le modèle NUVEL1-A. Les 4 stations appartiennent à la plaque CAR et possèdent donc une même vitesse de **rotation angulaire** autour d'un pôle de rotation, ou **pôle eulérien**. Leurs vitesses linéaires diffèrent car elles ne sont pas toutes placées à la même distance de ce pôle.

Les vitesses CAR/NAM sont plus faibles que les vitesses données sur le document 2A. Pour expliquer cette différence, il faut revenir aux données utilisées par NUVEL1-A. Ce modèle repose sur un ensemble de **13 plaques rigides**, en rotation sur une sphère. Les rotations sont calculées à partir des **vitesses moyennes d'expansion** des dorsales médio-océaniques depuis l'anomalie magnétique **2A** (3 Ma), de la **géométrie des failles transformantes** qui sont des **petits cercles dans le référentiel eulérien**, et des **vecteurs glissements des séismes** des zones de subduction déduits des mécanismes aux foyers. *Il mélange donc des données long terme sur plusieurs Ma et des données actuelles*, alors que les vitesses GPS sont évaluées sur quelques dizaines d'années au maximum.

L'analyse des données du document 2B a posé de graves problèmes à de nombreux candidats. Certains n'ont pas compris que vitesse (en mm/a) et azimut (en degrés) constituaient deux champs différents. D'autres ont fait la moyenne des valeurs dans les trois référentiels, ce qui n'a aucun sens ! La notion clé était celle de vitesse relative, il convenait de comparer les vitesses issues des deux méthodes et dans le même référentiel : Amérique du Nord fixe. Aucune des deux méthodes ne donne des vitesses absolues, et l'une n'est pas plus précise que l'autre ... elles ne mesurent pas les mouvements sur la même échelle de temps.

Le principe d'établissement de NUVEL-1A n'est, à de rares exceptions près, pas connu des candidats. Aucune donnée satellite n'entre dans ce modèle. De nombreux candidats ont perdu du temps à expliquer le principe même de la tectonique des plaques ... ce qui est difficile et hors sujet.

Pour illustrer le principe de détermination des vitesses d'expansion on peut s'intéresser à la ride médio-Atlantique. La largeur du plancher produit d'un côté de la dorsale depuis le début du Cénozoïque (65 Ma) est de 1095 km, soit 17 mm/a de **demi-vitesse** d'expansion. La vitesse NAM/AFR moyennée sur 65 Ma est donc de 34 mm/a (ce qui fait de la dorsale médio-Atlantique une dorsale lente). *Son azimuth est celui des failles transformantes qui jalonnent la ride soit 098*. La valeur ainsi calculée est du même ordre que celle donnée par NUVEL1-A, mais significativement différente. Cela s'explique par la **différence de l'intervalle de temps** considéré et pourrait être du à un **ralentissement** récent de l'accrétion atlantique.

Les candidats ont pour la plupart su faire ce petit calcul, mais rares sont ceux qui ont pensé à multiplier leur résultat par 2 pour obtenir la vitesse d'expansion de la dorsale ! Une valeur numérique doit être assortie d'une unité et d'un commentaire sur son ordre de grandeur.

L'ensemble de ces données permet de quantifier la convergence de NAM et SAM vers CAR visible en surface, la subduction est mise en évidence grâce aux données géophysiques profondes.

3.3 Le panneau plongeant est mis en évidence par la sismologie.

Le plan de Wadati-Benioff est la première expression de la subduction. Le mouvement relatif des 2 plaques lithosphériques est en partie accommodé par des glissements brutaux le long de plans de failles, ce sont les séismes du plan de Wadati-Benioff. L'événement 1 du document 4, en compression pourrait appartenir à cette catégorie.

Le document 5 présente des résultats de **tomographie sismique** qui permettent d'imager le manteau supérieur. Le principe de la tomographie est de comparer **les temps d'arrivée réels** des ondes sismiques à des **temps d'arrivée calculés** à partir d'un **modèle** de vitesse. En utilisant plusieurs séismes avec des ondes incidentes différentes on peut mettre en évidence des **zones lentes et des zones rapides** dans le manteau. Le document 5 nous montre les résultats de tomographie pour 2 modèles de vitesse différents. Le profil tomographique A montre une anomalie rapide continue qui prolonge le plan de Wadati-Benioff est s'horizontalise à la profondeur approximative de 700 km. Le profil B montre le même prolongement du plan de Wadati-Benioff qui s'arrête à 600 km de profondeur. Les deux modèles montrent une zone lente superficielle au niveau de l'arc des Antilles lui-même.

La vitesse des ondes dans le manteau supérieur dépend au premier ordre de la chimie et de la température des matériaux traversés. Si on considère que le manteau est partout de même minéralogie, alors les variations latérales de vitesses peuvent être dues à des variations de **température**, une anomalie positive de vitesse correspondrait donc à une masse plus froide que son encaissant. Ce serait donc le panneau lithosphérique plongeant et froid qui prolonge le plan de Wadati-Benioff dans les 2 modèles.

Le modèle de vitesse du profil A ne montre pas les **sauts de vitesses à 400 et 670 km** présents dans le modèle PREM et représentant **les transitions de phases** du manteau. Les sauts sont présents dans le modèle B. Il semble donc que l'anomalie rapide qui prolonge horizontalement le panneau plongeant sur le profil A soit en fait un artefact dû au modèle, la transition de phase non-incluse dans le modèle initial apparaîtrait dans les résidus utilisés pour la tomographie.

Le code de lecture des profils de tomographie est connu de la plupart des candidats, mais beaucoup font un raccourci outrancier : bleu = froid, rouge = chaud ... ce qui n'est vrai qu'à condition de faire quelques hypothèses non négligeables. La signification des courbes de vitesses comparées au modèle PREM s'est avérée plus problématique. Il s'agissait en fait des valeurs de vitesse utilisées pour calculer les vitesses théoriques et non du résultat de la tomographie. Pour dissiper toute confusion, les séismes utilisés pour des tomographies à l'échelle du manteau sont naturels ... et sûrement pas produits par un camion-vibreux ... Cette confusion fréquente entre tomographie et sismique-réfraction montre une méconnaissance de la taille des objets géologiques, des énergies mises en jeu et de la résolution des différentes méthodes.

Il semble donc que l'arc volcanique des Antilles soit l'expression en surface d'un phénomène qui met en jeu toute la lithosphère et le manteau supérieur. Comment cette subduction peut-elle générer du volcanisme ?

4. Les processus actifs en profondeur expliquent l'activité géologique visible en surface.

La production de magmas est due à la fusion partielle d'une source en profondeur. Quelle est cette source ? Pour la mettre en évidence on peut essayer de chercher sa signature dans les produits émis, puis de proposer un mécanisme qui expliquerait sa déstabilisation.

4.1 La composition chimique des laves émises est typique des arcs insulaires.

Les laves analysées en document 6A évoluent depuis des compositions **d'andésites basaltiques** jusqu'aux **rhyolites** et se placent dans le domaine **subalcalin** du document 6B. Les laves subalcalines sont saturées ou sur-saturées en SiO₂. Elles appartiennent soit aux séries **tholéitiques**, soit aux séries **calco-alcalines**. Ces deux types de séries subalcalines sont présentes dans les arcs, mais les termes calco-alcalins sont

plus typiques et prépondérants. Il est impossible de distinguer ces deux séries avec le diagramme alcalins/silice. Il est nécessaire de faire appel à un diagramme permettant d'illustrer l'évolution des teneurs en fer depuis les termes basiques vers les termes acides: le plus couramment utilisé est le diagramme **AFM** (A : Alcalins, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F: Fer, FeO ; M : Magnésium, MgO). Dans ce diagramme, les séries tholéiitiques montrent en début d'évolution une **augmentation des teneurs en fer**, tandis que pour les séries calco-alcalines la décroissance des teneurs en fer est immédiate. *Cette différence de comportement est liée aux fugacités d'oxygène ($f\text{O}_2$) d'évolution différentes pour les deux séries ($f\text{O}_2$ élevée pour les séries calco-alcalines - liées aux fortes teneurs en H_2O de ces magmas - ce qui change les relations de phases du magma, induisant notamment la cristallisation très précoce des oxydes ferro-titanés). Les conditions rédox d'évolution des séries tholéiitiques sont plus réduites, ce qui induit une cristallisation plus tardive des oxydes et une augmentation des teneurs en fer en début d'évolution.*

Un autre diagramme permettant de différencier séries tholéiitiques et calco-alcalines est le diagramme FeO/MgO vs SiO_2 . Les séries tholéiitiques présentent des rapports FeO/MgO plus élevés que ceux des séries calco-alcalines, à teneur en SiO_2 équivalente.

La quasi totalité des candidats a su replacer les points dans le diagramme et donner leur nom ... beaucoup ont cru nécessaire d'expliquer les processus de cristallisation fractionnée avec force schémas alors que ce n'était absolument pas demandé ... ils ont perdu un temps précieux. Quelques candidats ont judicieusement proposé d'utiliser le diagramme AFM ou en tout cas de se pencher sur les teneurs en FeO et MgO , plus nombreux sont ceux qui ont mentionné le diagramme de Streckeisen, pourtant basé sur les proportions modales en minéraux blancs et qui ne permet en aucun cas de classer des laves dont seules les analyses chimiques sont comparables.

4.2 La signature en éléments-traces renseigne sur l'origine des magmas.

Dans le diagramme du document 8, sont représentés les teneurs en éléments en traces incompatibles dans des diagrammes normalisés au Manteau Primitif (*les abondances sont normalisées pour gommer l'effet d'Oddo-Harkins: les éléments pairs étant plus abondants que les éléments impairs dans la nature, les spectres non normalisés sont en "zigzag"*). Les concentrations normalisées sont reportées en ordonnée sur une échelle logarithmique compte tenu de l'ampleur des variations observées.

Le spectre de MORB-N présente une pente positive, on parle de **spectre appauvri en éléments les plus incompatibles**. Ils sont forcément issus d'un manteau lui-même **appauvri** en éléments incompatibles (manteau supérieur source des MORB-N). En général, lors de la fusion partielle, les éléments les plus incompatibles, à gauche du diagramme, sont plus concentrés dans les liquides, il est donc impossible de produire un spectre appauvri par fusion d'un manteau enrichi.

Le spectre des basaltes d'arc est **enrichi sélectivement** en alcalins et alcalino-terreux (Rb, Ba, Sr ainsi que l'élément majeur K) et dans une moindre mesure en terres rares légères (LREE : La, Ce...) par rapport au MORB-N. En revanche il présente une **anomalie négative en Nb** (*élément à fort potentiel ionique = HFSE high Field strength element*). Pour les autres éléments incompatibles, les concentrations normalisées du basalte d'arc sont comparables voire inférieures à celles du MORB-N. On ne peut pas expliquer ces différences par des variations du taux de fusion partielle d'un même manteau. On peut supposer que le manteau source du magma d'arc est un manteau comparable à celui des MORB-N, mais **sélectivement enrichi** en alcalins, alcalino-terreux et LREE par rapport aux autres éléments en traces incompatibles. Le mécanisme de production des magmas d'arc à partir du manteau doit donc mettre en jeu une source capable de cet enrichissement en alcalins. L'étude des transformations subies par le panneau plongeant permet de localiser la source de ces magmas et de proposer un mécanisme pour sa fusion partielle.

Alors que les attendus sur ce document étaient modestes, beaucoup de candidats semblent avoir été déstabilisés par ces données. Il s'agissait simplement de connaître la signification du terme "incompatible" et de savoir distinguer un spectre "appauvri" d'un spectre "enrichi". Les candidats qui ont su décrire simplement le document, ses axes, et les deux courbes ont fait la différence.

4.3 Le régime thermique de la subduction et les transferts de fluides conditionnent la fusion partielle du manteau.

Le document 7A présente les solidi hydratés et anhydres des basaltes et du manteau. Une première hypothèse simple serait de considérer que le panneau plongeant atteint ces solidi en plongeant et génère les magmas échantillonnés dans l'arc. La lithosphère subduite aux Antilles est d'âge crétacé. Par conséquent, la trajectoire P-T la plus appropriée de la figure 7B est la **trajectoire A**. On constate que cette trajectoire **ne recoupe pas** les solidi basaltiques (sec ou hydraté) et a fortiori les solidi du manteau. Par conséquent la plaque plongeante ne peut pas fondre pendant son enfoncement dans le manteau ; elle subit néanmoins des transformations que la figure 7A permet de détailler.

La figure 7A présente les faciès métamorphiques d'une croûte océanique basaltique en subduction pour des conditions de saturation en eau du système. Un faciès métamorphique est un **domaine pression-température** défini par la **costabilité d'une association de minéraux** précise, appelée **paragenèse**. Ils ont été définis par **Eskola** au début du siècle pour les roches **basiques**. Les faciès ont été généralisés à tous les

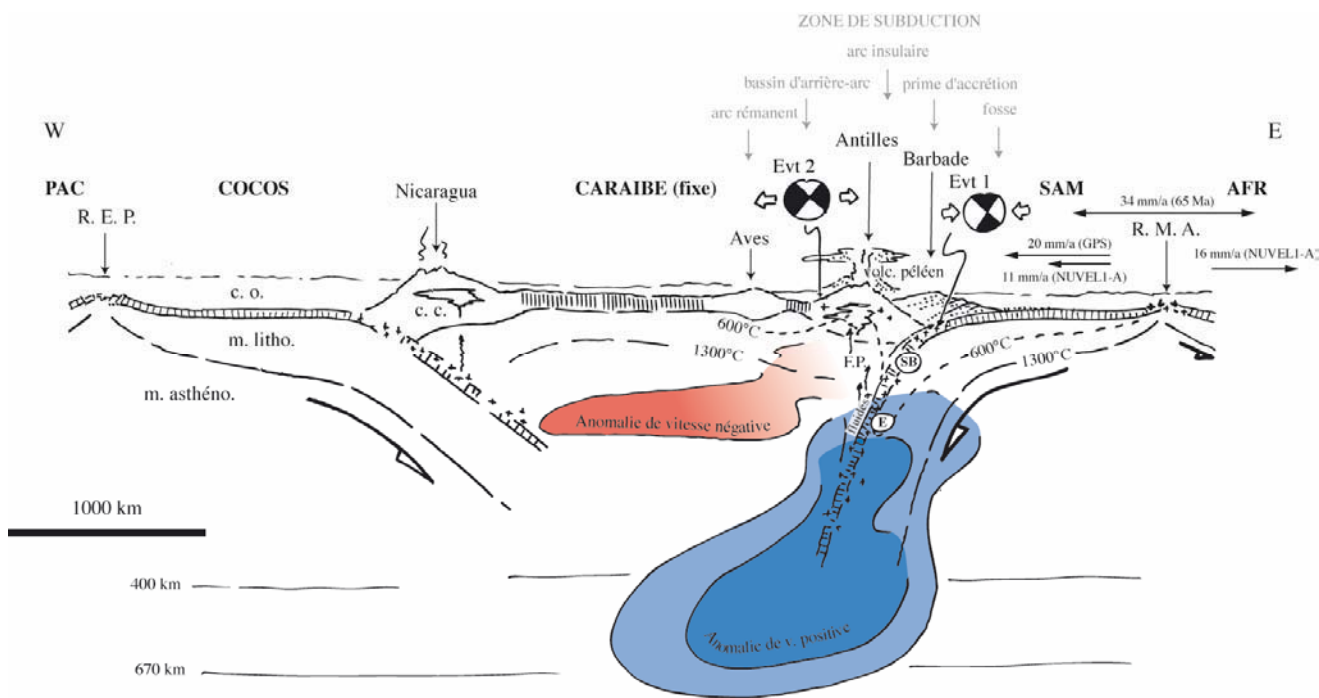
protolithes possibles, même si leur chimie ne permet pas le développement des paragenèses index. Plusieurs faciès contiennent des phases minérales hydroxylées, pour les roches métabasiques, qui nous intéressent ici, on trouvera notamment :

- dans le faciès des schistes verts : **épidote** (2 % masse d'eau), **chlorite** (12 % masse d'eau), **actinote** (amphibole calcique, 2% d'eau).
- dans le faciès des amphibolites : **amphibole** type hornblende (2 % masse d'eau) et aussi épidote dans le faciès des amphibolites à épidote
- dans le faciès des schistes bleus : **glaucophane** (amphibole sodique, 2% masse d'eau), **mica blanc** (*phengite* 4 % d'eau) et **lawsonite** (11 % masse d'eau) ou épidote selon le sous-faciès.
- dans le faciès des éclogites : mica blanc, épidote et éventuellement *phlogopite* (*biotite magnésienne*).

On constate qu'il y a moins de phases minérales hydroxylées présentes dans les paragenèses de HT et/ou HP que dans les paragenèses de bas grade. Au cours de l'enfouissement, celles-ci se déstabilisent au profit de phases minérales moins riches en eau ou nominalement anhydres. Une roche métamorphique voit donc sa teneur en ions hydroxyles diminuer au cours de son trajet prograde. La croûte subduite successivement équilibrée dans les faciès des schistes bleus puis des éclogites voit sa teneur en eau maximale passer de 4,5 à 0,13 % massique. *La déstabilisation des serpentinites du manteau lithosphérique peut elle aussi produire des fluides en grande quantité.* La déshydratation des metabasaltes va donc progressivement libérer des **fluides aqueux**. Ces fluides aqueux, issus d'une source enrichie en incompatibles sont peu denses et vont **percoler le manteau sub-arc** (cette zone de manteau à l'aplomb de l'arc est appelé le coin de manteau), l'hydrater et modifier son spectre de terres rares. L'hydratation du manteau va diminuer sa température de fusion (voir document 7B) et permettre sa fusion partielle. *Bien qu'un matériel froid (la lithosphère subduite) plonge dans le manteau et devrait donc le refroidir progressivement, la température de ce dernier est maintenue grâce aux mouvements de convection mantellique.* Cette **fusion du manteau** s'effectue à des températures comprises entre celle du solidus mantellique saturé en eau et celle du solidus sec (cas limite non considéré ici) et à des pressions inférieures à 3 GPa (les arcs sont situés en général à ~ 100 km à l'aplomb du panneau plongeant). Par exemple, entre 2 et 3 GPa, la fusion s'effectue entre ~1000 et ~1400 °C, selon la teneur en eau du système. *La fusion hydratée du manteau produit des magmas sur-saturés en silice (qui donneront des séries subalcalines ... cf 4.1)*

Cette partie fut traitée de manière très inégale. Trop nombreux sont les candidats qui confondent faciès et paragenèse, beaucoup ont donné tous les minéraux index de toutes les paragenèses, ce qui n'était pas demandé. Une bonne moitié des candidats ont choisi la trajectoire A, mais beaucoup se sont référés au solidus des basaltes pour localiser le domaine de fusion du manteau. Cette partie du devoir a révélé chez beaucoup un manque de compréhension des processus. En effet nombre de copies montrent un schéma bilan correct, montrant bien le transfert de fluide et la fusion du manteau ... et l'accompagnent d'un texte totalement faux expliquant que le panneau plongeant franchit tel ou tel solidus. Il ne suffit pas d'apprendre par coeur un schéma, il s'agit d'abord de comprendre les processus qu'il résume.

Figure de conclusion



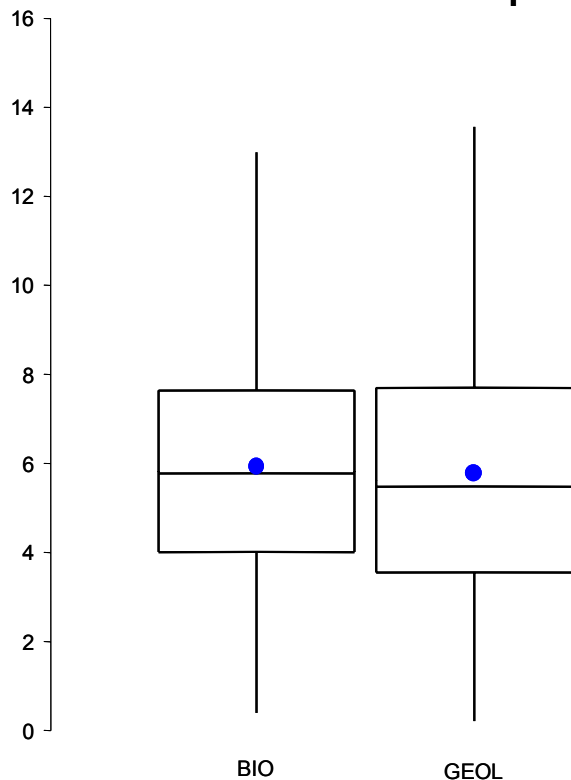
Seuls les candidats ayant su gérer leur temps de façon à arriver jusqu'à la conclusion ont tenté un schéma bilan. Parmi ceux-ci beaucoup ont oublié d'orienter leur coupe et de préciser les échelles verticale et horizontale. Le problème le plus fréquent était ensuite l'oubli du manteau lithosphérique ou la confusion entre Moho et LVZ ... là encore, ces imprécisions révèlent des mauvaises compréhensions de la notion même de lithosphère. Si la sismicité, le volcanisme et les faciès métamorphiques ont souvent été reportés, les données de tomographies, les vitesses de déplacement des plaques et les isothermes ont rarement été esquissés. Quelques candidats ont pensé à représenter le prisme de la Barbade, même si les documents proposés n'y faisaient pas allusion.

Le schéma bilan ne dispensait pas totalement de quelques lignes de texte, qui devaient reprendre les arguments démontrés en cours d'exposé pour répondre à la question (à la problématique) qui devait être posée en introduction. La plus simple était sans doute : pourquoi les Antilles sont-elles géologiquement actives ? Parce qu'elles sont à l'aplomb d'une zone de subduction.

Au vu de la prestation globale des candidats, encore une fois très hétérogène, il apparaît nécessaire qu'ils portent leurs efforts sur la rigueur de présentation de leurs connaissances. Séparer les descriptions des méthodes de celle des données et de leur interprétation, légender, orienter, référencer et commenter tout schéma, structurer leur exposé avec des titres qui annoncent en effet le contenu du paragraphe à venir ... Enfin relire la copie, rédiger introduction et conclusion de façon à ce qu'elles justifient et résument le cheminement du devoir. En terme de connaissances, il convient de privilégier une approche quantitative qui se soucie de la taille des objets et des temps caractéristiques des processus.

Analyse statistique des notes obtenues aux épreuves écrites

Box plots des notes d'écrit



Epreuve	Biologie	Géologie
Moyenne	5,94	5,79
Médiane	5,78	5,48
1 ^{er} quartile	4,01	3,55
3 ^{ème} quartile	7,64	7,7

Répartition des notes d'écrit

