

Olympiades de géosciences 2023
Académies de la métropole
Académie de Martinique
Académie de Guadeloupe
Académie de Guyane

Épreuve écrite du 17 mars 2023

Durée de l'épreuve : 4 h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

La calculatrice n'est pas autorisée.

Ce sujet comporte 18 pages

Des paysages rouges de neige !

La région de Briançon est située dans les Alpes. De nombreux sports d'hiver peuvent être pratiqués dans cette région, ce qui attire de nombreux vacanciers l'hiver. En février 2021, un paysage original attendait les visiteurs... Si certains sommets enneigés étaient, comme à l'accoutumée, maculés de neige blanche, d'autres étaient recouverts d'une neige rouge-orangée !

Plus étonnante encore était la répartition asymétrique de la couleur de la neige dans certaines vallées, dont les pentes à l'ubac étaient blanches alors que celles à l'adret présentaient, par place, une neige rouge-orangée. C'était le cas dans la vallée de Névache.



L'adret (de l'ancien provençal *adreg*, « le bon côté ») est le versant d'une montagne exposé au soleil. L'adret s'oppose à l'ubac (de l'ancien provençal, *opacus* « qui est à l'ombre ») qui est le moins ensoleillé.

CNRTL

Expliquer le paysage particulier qu'ont découvert les visiteurs de la région de Briançon en février 2021, en particulier dans la vallée de Névache.

Document 1 - Photographie d'un hameau dans la vallée de Névache, vallée proche de Briançon. Photographies prises le 18 février 2021

Les « plaques » de neige rouge-orangée s'observent dès le 15 février sur certains versants et souvent sur des zones limitées avant de s'étendre.



Ces deux photographies sont réalisées dans l'axe de la vallée de Névache

Altitude 1650 mètres



Cette photographie est réalisée sur les pentes à l'adret de la vallée de Névache.

Altitude 2000 mètres

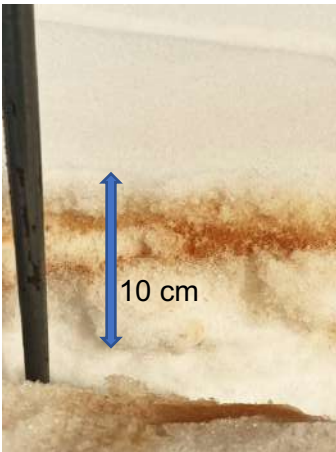
Source : photographies de l'auteur

Document 2 - Observation du manteau neigeux



Photographie réalisée le 20 février 2021, à 17 heures, au village de Névache (lieu ombragé)

La neige a une épaisseur totale de 30 cm.
La photographie a été prise à une altitude de 1 600 m.



Photographie d'un sillon creusé avec un bâton de ski dans de la neige blanche en surface le 22 février 2021 à 14 heures.

Détail au niveau d'une pente à l'ubac dans la vallée de Névache à une altitude de 2 000 m d'altitude.

Source : photographies de l'auteur

Document 3 - Recherche des constituants de la neige rouge-orangée

La neige rouge-orangée est prélevée. Elle est fondue et le liquide obtenu est récupéré dans des tubes à essais. Après complète évaporation de l'eau, le résidu sec est observé au microscope.

Les observations microscopiques sont réalisées à des grossissements de X 100 et de X 400.



Neige rouge fondue



Résidu sec



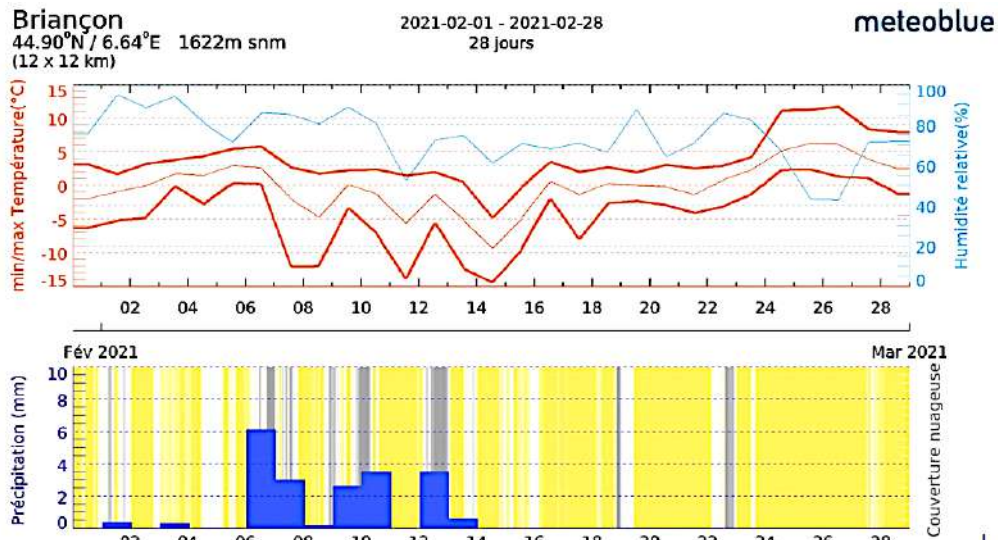
Observation X 100



Observation X 400

Source : photographies de l'auteur

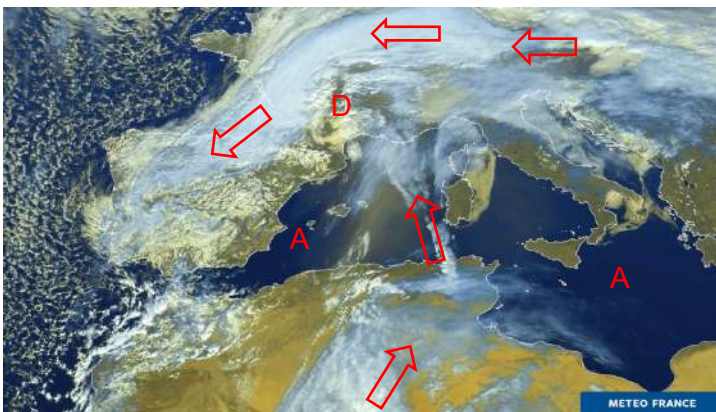
Document 4 - Archives météorologiques du mois de février 2021



On peut considérer que les précipitations sont sensiblement les mêmes à Briançon et dans la vallée de Névache pour la période considérée.

Source : Archives du site météorologique meteoblue.fr Consulté le 30 novembre 2021

Document 5 - Image satellite des masses nuageuses le 6 février 2021 à 12 heures

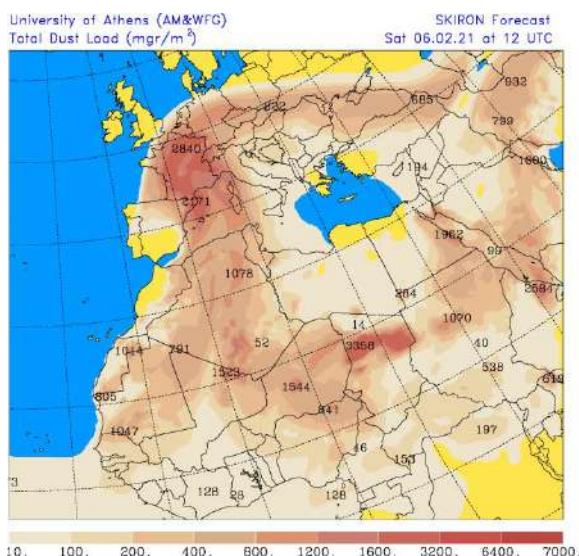


Sur cette carte est indiqué l'emplacement du cœur des anticyclones (A) et des dépressions (D).

Les flèches indiquent le sens de déplacement des masses d'air.

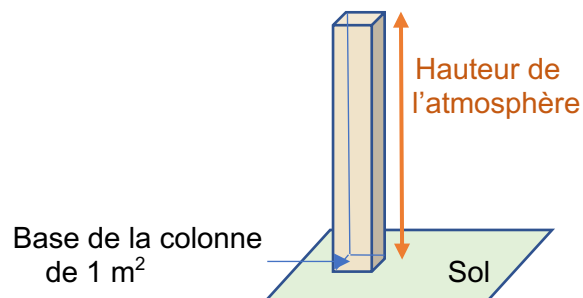
Source météo France. Consulté le 30 mars 2021

Document 6 - Quantité de poussières dans l'atmosphère le 6 février 2021 à 12 heures



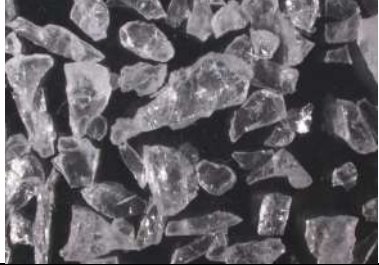
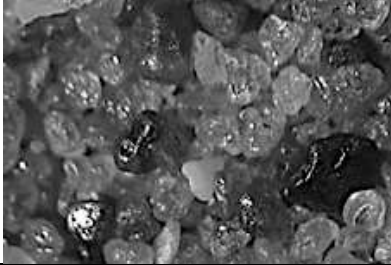

L'échelle sous la carte indique la charge en poussières de l'atmosphère, exprimée en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Chaque intervalle de l'échelle correspond à la masse des poussières contenue dans une colonne de base 1 m^2 et dont la hauteur est celle de l'atmosphère.



Source Université d'Athènes. Consulté le 30 mars 2021

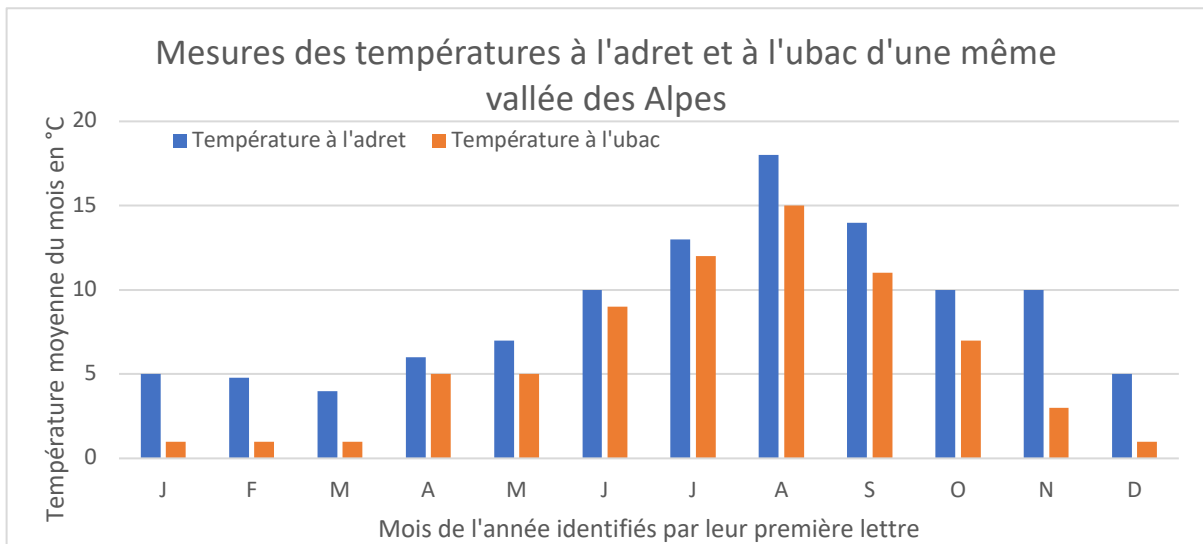
Document 7 - Caractéristiques des grains de quartz en fonction des conditions de transport

Grains de quartz très anguleux, non usés (X 20)	Grains de quartz émoussés luisants (X 40)	Grains de quartz ronds et mats (X 200)
		
Grains de quartz peu transportés, typiques d'un dépôt proche de la zone d'érosion	Grains de quartz transportés par l'eau, typiques d'un long transport dans des rivières ou sur les fonds océaniques	Grains de quartz transportés par le vent et usés, typiques des sables des déserts.

Source : école polytechnique de Montréal

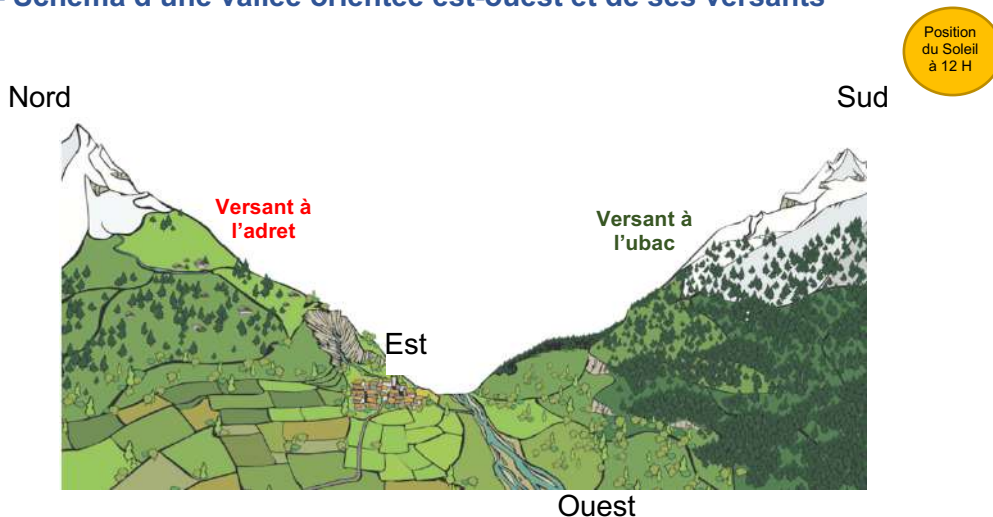
Document 8 - Comparaison des températures à l'adret et à l'ubac d'une même vallée des Alpes durant une année

Le graphique ci-dessous présente les mesures de températures moyennes mensuelles réalisées dans les Alpes. Les températures sont relevées à une même altitude (1 650 m).



Source : Les topo climats de la vallée de la Vésubie, 1980

Document 9 - Schéma d'une vallée orientée est-ouest et de ses versants

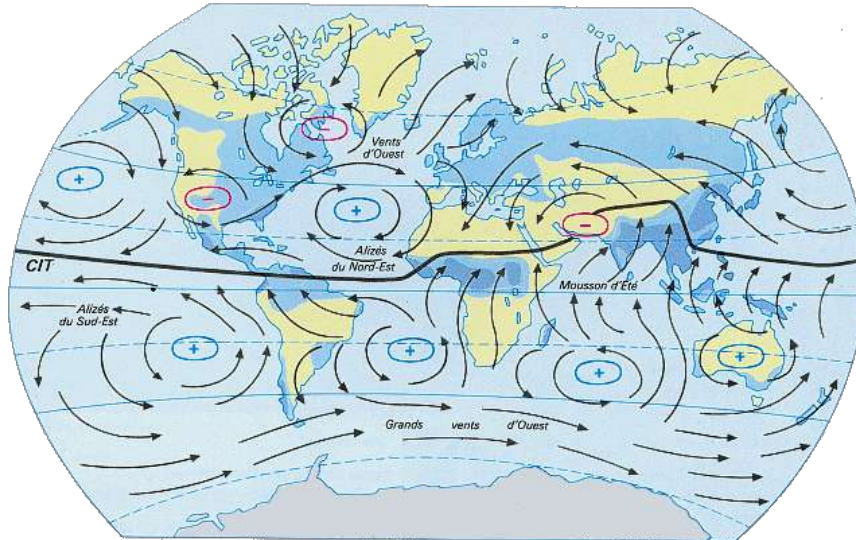


Source : Espace Montagne, Chambéry.fr. Consulté le 28 novembre 2021

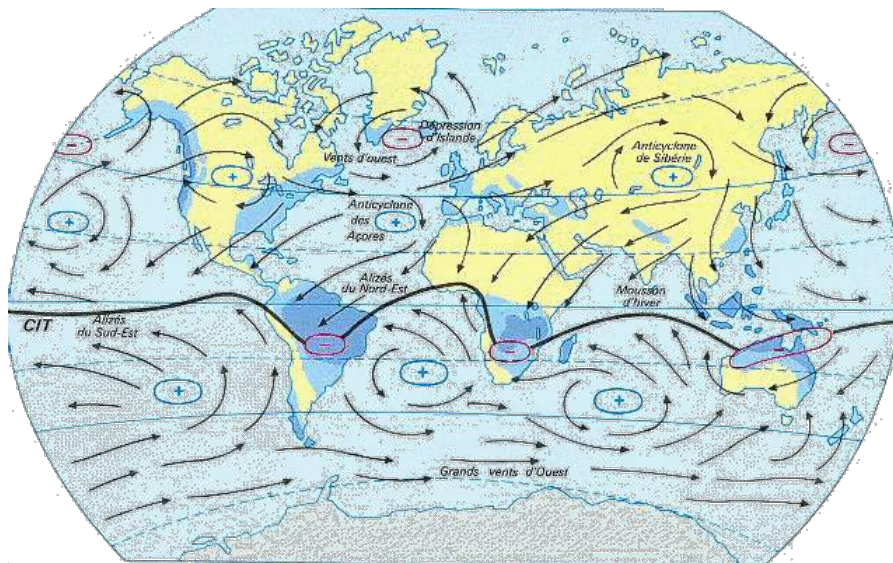
Document 10 – Mouvement moyen des masses atmosphériques

Les deux cartes ci-dessous présentent le sens des circulations moyennes des masses atmosphériques en juillet et en janvier.




- Moyenne des circulations atmosphériques en juillet



- Moyenne des circulations atmosphériques en janvier



Légendes

-  Centre de basse pression ou dépression
-  Centre de haute pression ou anticyclone
-  Sens des vents dominants

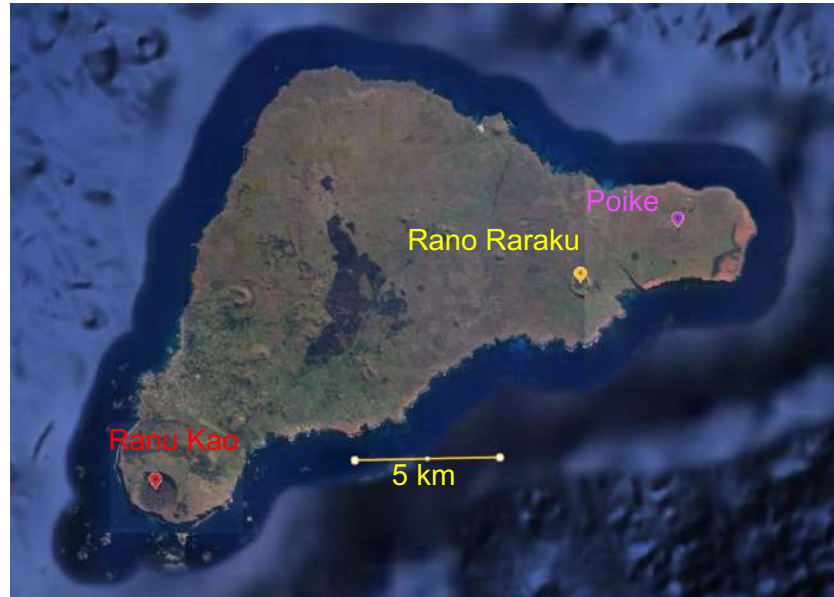
Source : Eduscol.fr

L'histoire géologique de l'île de Pâques

L'île de Pâques est une île reculée de Polynésie. D'une surface de 160 km², elle est isolée dans le Pacifique, à 3 000 km de la côte chilienne et à plus de 2 000 km de toute autre île. Elle est par ailleurs célèbre pour ses statues monumentales : les Moaï. On en dénombrait quelque 887 sur l'île. La majorité de ces monolithes a été sculptée autour du 14^e siècle dans du tuf issu principalement de la carrière d'un volcan, le Rano Raraku. Leur taille varie de 2,5 à 9 mètres.

On cherche à comprendre l'origine géologique de cette île du Pacifique.

Document de référence : à gauche, situation géographique de l'île ; à droite, vue satellite avec la position de trois édifices volcaniques remarquables sur l'île de Pâques.



Question 1

Déterminer les origines géologiques possibles des roches ayant servi à sculpter les statues de l'île de Pâques. Vous exploiterez les documents 1 et 2.

Question 2

Déduire de l'analyse documentaire le contexte géodynamique le plus probable à l'origine de cette île. Vous exploiterez les documents 3 à 5.

Attention : pour cette question un document en annexe est à rendre avec votre copie. Cf. document 3c.

Document 1 – Données sur les statues Moaïs

Document 1a - Photo d'un Moaï placé sur une plateforme appelée « Ahu ».

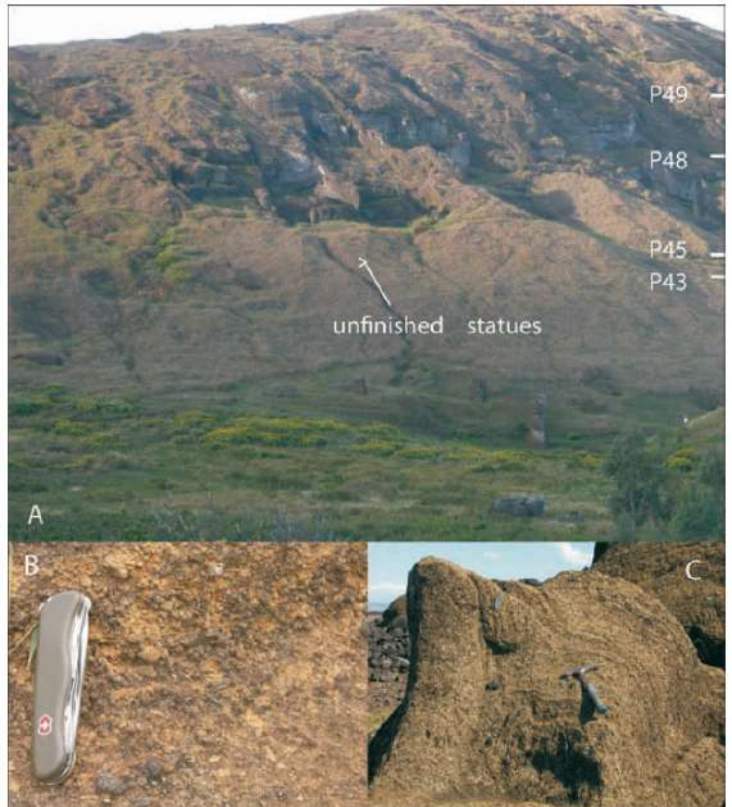
Certains Moaïs, comme celui-ci-dessous, est surmonté d'un chapeau appelé « Pukao ».



Document 1b - Échantillons de roches volcaniques qui ont servi à la sculpture des mégalithes de l'île de Pâques

Utilisation	Echantillon
Moai	P43
Moai	P45
Moai	P48
Moai	P49
Moai	P57
Moai	P1
Pukao	P18
Ahu	P8
Ahu	P21
Ahu	P29
Ahu	P6
Ahu	P47
Ahu	P35

Document 1c - Flanc du cône de tuf Rano Raraku



A : anciennes carrières et localisation des échantillons

B : gros plan du tuf dans l'affleurement

C : gros plan du tuf dans une statue face cachée

Le tuf volcanique est une roche formée par l'accumulation de projections volcaniques consolidées sous l'action de l'eau.

Document 1d - Composition chimique des prélèvements P43, P48 et P49

Remarque : mean signifie moyenne, SD signifie Standard Deviation c'est-à-dire l'écart-type, wt% weight % ou pourcentage de la masse.

Echantillon	P43		P48		P49	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
SiO ₂ (wt%)	50.02	0.34	50.12	0.22	50.28	0.35
TiO ₂	2.40	0.13	2.41	0.10	2.27	0.10
Al ₂ O ₃	14.51	0.18	14.57	0.12	14.69	0.30
FeOt	12.55	0.22	12.36	0.21	12.05	0.40
MnO	0.35	0.05	0.31	0.06	0.31	0.09
MgO	2.89	0.14	2.90	0.11	2.90	0.15
CaO	6.86	0.10	6.87	0.11	6.84	0.16
Na ₂ O	3.34	0.27	3.49	0.12	3.60	0.07
K ₂ O	1.43	0.03	1.44	0.05	1.43	0.08
P ₂ O ₅	0.49	0.05	0.42	0.07	0.48	0.12
Cl	0.12	0.02	0.09	0.03	0.12	0.02
S	0.14	0.09	0.03	0.03	0.03	0.03
Na ₂ O+ K ₂ O	4.77		4.93		5.03	

Note: SD: standard deviation; FeOt: all Fe as FeO.

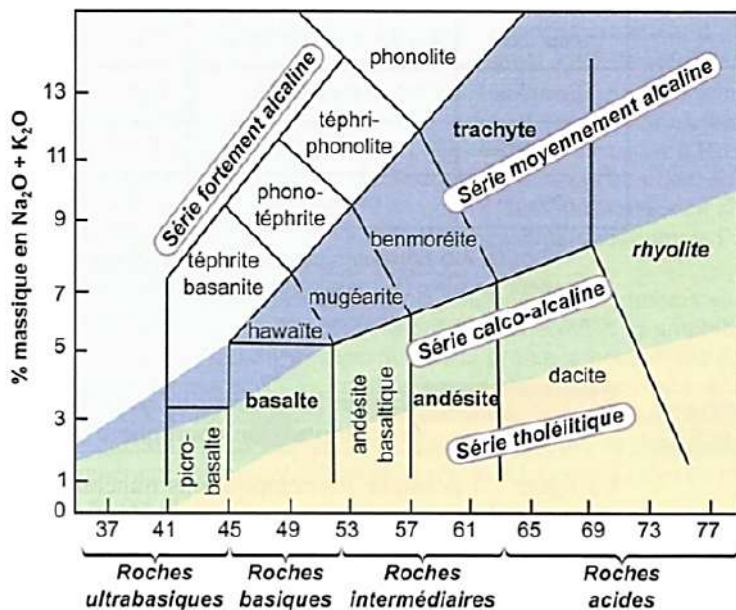
D'après A. Gioncada et al., The volcanic rocks of Easter Island (Chile) and their use for the Moai sculptures, Eur. J. Mineral., 2010

Document 2 – Le volcanisme, manifestation de la tectonique des plaques

Document 2a - La classification chimique des roches volcaniques

La classification TAS (pour Total Alkali Silica) est un système qui permet de définir une roche volcanique par sa composition chimique à partir du rapport entre le taux massique de silice (SiO_2) et le taux massique de minéraux alcalins (Na_2O et K_2O).

Le taux massique représente le pourcentage en masse d'une espèce chimique par rapport à la masse totale du mélange.



Cette classification permet de distinguer plusieurs séries magmatiques, selon leur teneur en Na et K.

Série magmatique : ensemble de roches magmatiques issues de la fusion d'un même magma mais dont la composition chimique a évolué au cours du processus de leur formation.

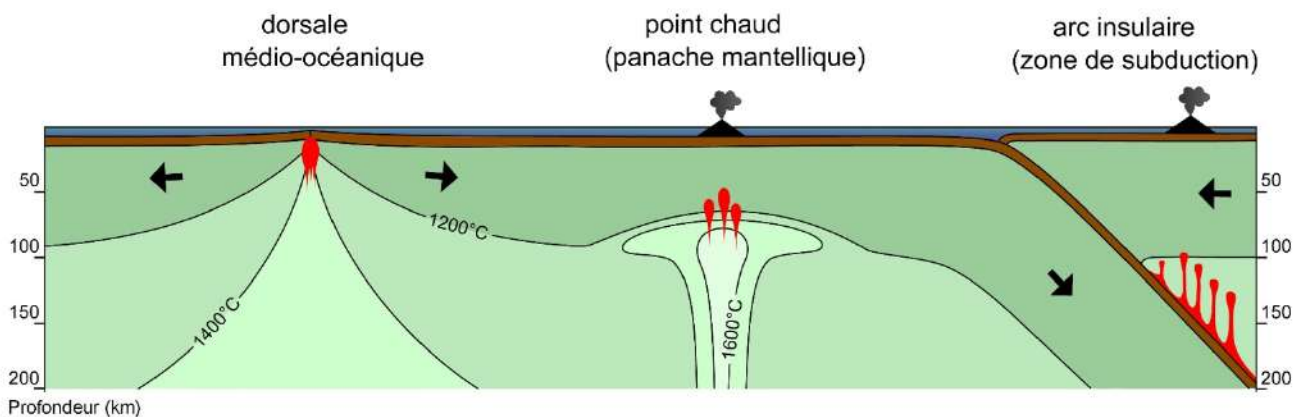
D'après Peycru et al. (2015)

Document 2b - Schéma des processus conduisant à une fusion partielle du manteau supérieur

Le volcanisme de surface est associé à des conditions particulières qui permettent au manteau solide de fondre.

Les conditions de fusion et des mécanismes de différenciation conduisent, à partir d'un magma initial, à la formation de roches magmatiques variées :

- la série tholéitique est un ensemble de roches volcaniques caractéristiques des dorsales océaniques ;
- la série alcaline est un ensemble de roches volcaniques caractéristiques des points chauds ;
- la série calco-alcaline un ensemble de roches volcaniques que l'on retrouve dans les zones de subduction.



Source : wiki

Document 3 - Analyse chimique de quelques basaltes échantillonnés

Document 3a - Intérêt de l'étude des éléments de terres rares dans les roches

Les éléments de terres rares sont 17 éléments chimiques. Ils sont subdivisés en deux groupes, les terres rares légères (La, Ce, Pr...), les plus abondantes, et les terres rares lourdes (Tm, Yb, Lu), les moins abondantes. En géologie, ce sont des éléments dits incompatibles : ils se concentrent, lors de la fusion, dans la phase liquide. Les roches issues de la fusion partielle du manteau contiennent des concentrations en éléments de terres rares différentes selon le contexte de fusion partielle qui est à leur origine.

Document 3b - Analyses de la composition chimique en éléments de terres rares de deux basaltes de l'île

Echantillons	basalte 1	basalte 1	basalte 2	basalte 2
	<i>Valeurs en ppm</i>	<i>Valeurs normalisées</i>	<i>Valeurs en ppm</i>	<i>Valeurs normalisées</i>
La	161,1	234,5	14,4	21,0
Ce	163	91,8	33	18,6
Pr	47,98	173,8	4,34	15,7
Nd	210,3	155,3	18,7	13,8
Sm	49,2	110,8	4,9	11,0
Eu	16,70	99,4	1,72	10,2
Gd	56,12	94,2	5,64	9,5
Tb	8,18	75,7	0,79	7,3
Dy	47,1	63,9	4,9	6,6
Ho	9,27	56,5	0,95	5,8
Er	25,5	53,1	2,5	5,2
Tm	3,87	52,3	0,40	5,4
Yb	22,77	46,2	2,22	4,5
Lu	3,39	45,8	0,35	4,7

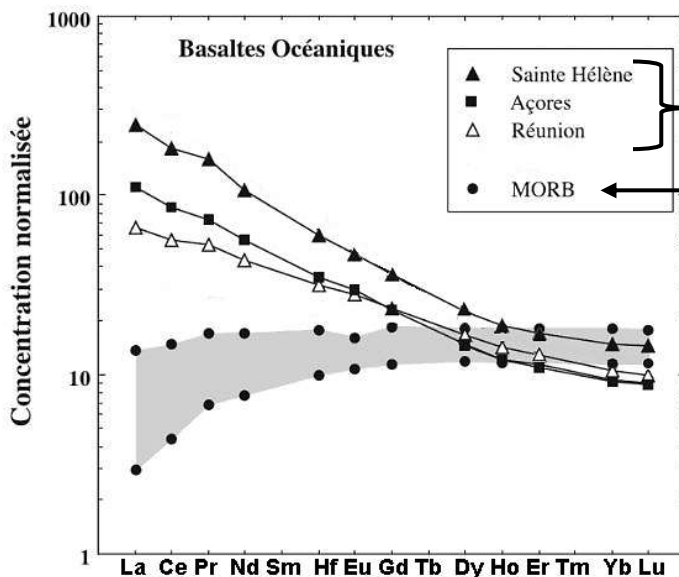
La valeur normalisée signifie que les valeurs des échantillons ont été divisées par les valeurs de référence du manteau primitif.

« ppm » signifie « partie par million », 1 ppm est une fraction de 1 sur 1 million.

*D'après Bernard DÉRUELLE, le volcanisme de l'île de Pâques, géologie de la France, 2002
Valeurs normalisées, D'après F McDonough, 1989*

Document 3c - Le spectre des terres rares de divers basaltes océaniques

Vous devez replacer les informations du document 3b dans le graphique ci-dessous qui est reproduit en annexe à la fin du sujet.



Volcanisme de point chaud

Mid-Ocean Ridge Basalt : basaltes de dorsale médio-océanique

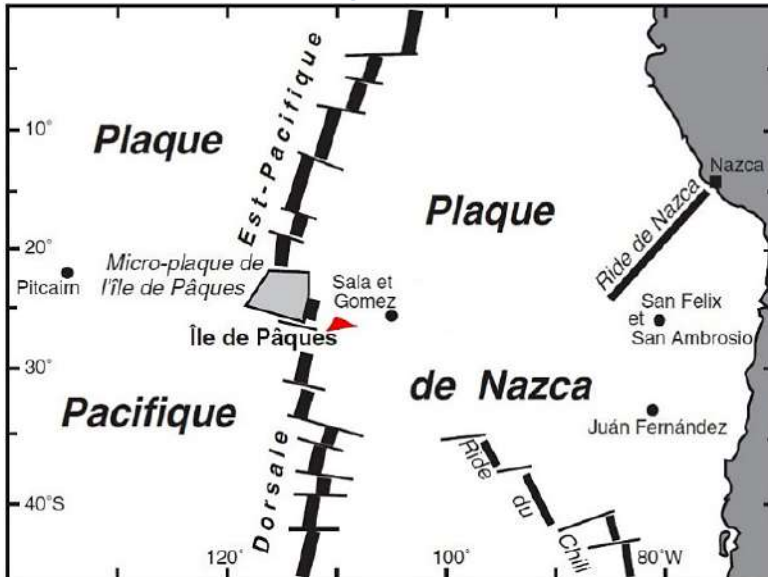
Les concentrations sont exprimées en valeurs normalisées.

D'après Jambon et Thomas, Géochimie, Dunod, 2009

Document 5 - Contexte géologique de l'île de Pâques

L'île de Pâques est située sur la plaque de Nazca, dont la frontière occidentale est la dorsale Est-Pacifique. La plaque de Nazca est aussi bordée par deux microplaques dont celle de Pâques. Elle présente trois grandes chaînes de monts sous-marins : deux sont visibles sur le document 5a et constituent ce que l'on appelle des rides (océaniques).

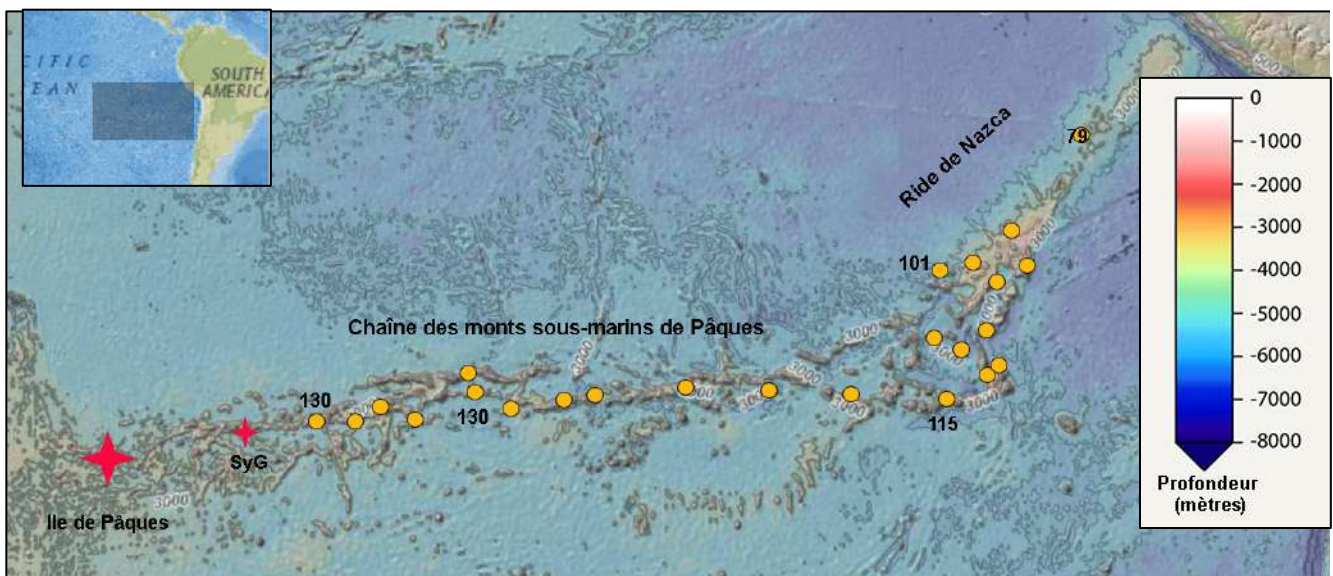
Document 5a - Situation générale de l'île de Pâques par rapport aux principales plaques



D'après Bernard DÉRUELLE, *le volcanisme de l'île de Pâques, géologie de la France, 2002*

Document 5b - Situation géographique de l'île de Pâques par rapport à différents monts sous-marins et à la ride de Nazca

L'étude d'une partie de cette plaque a été rendue possible grâce à la collecte d'échantillons par dragage.

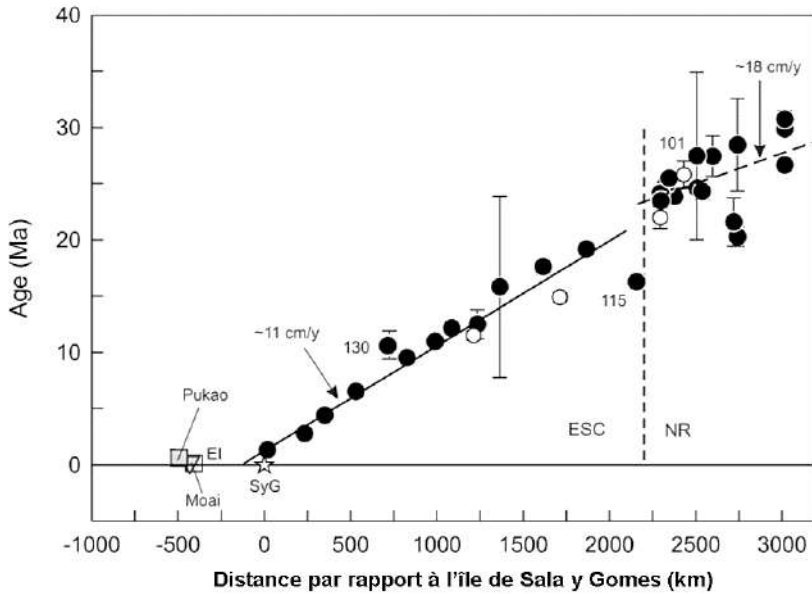


L'emplacement de chacune des stations de dragage, à partir desquelles des échantillons ont été obtenus, est marqué d'un cercle.

Les îles de Pâques et de Sala y Gomes (SyG), émergées, sont marquées d'une étoile.

D'après Ray et al., *Journal of petrology, 2012*

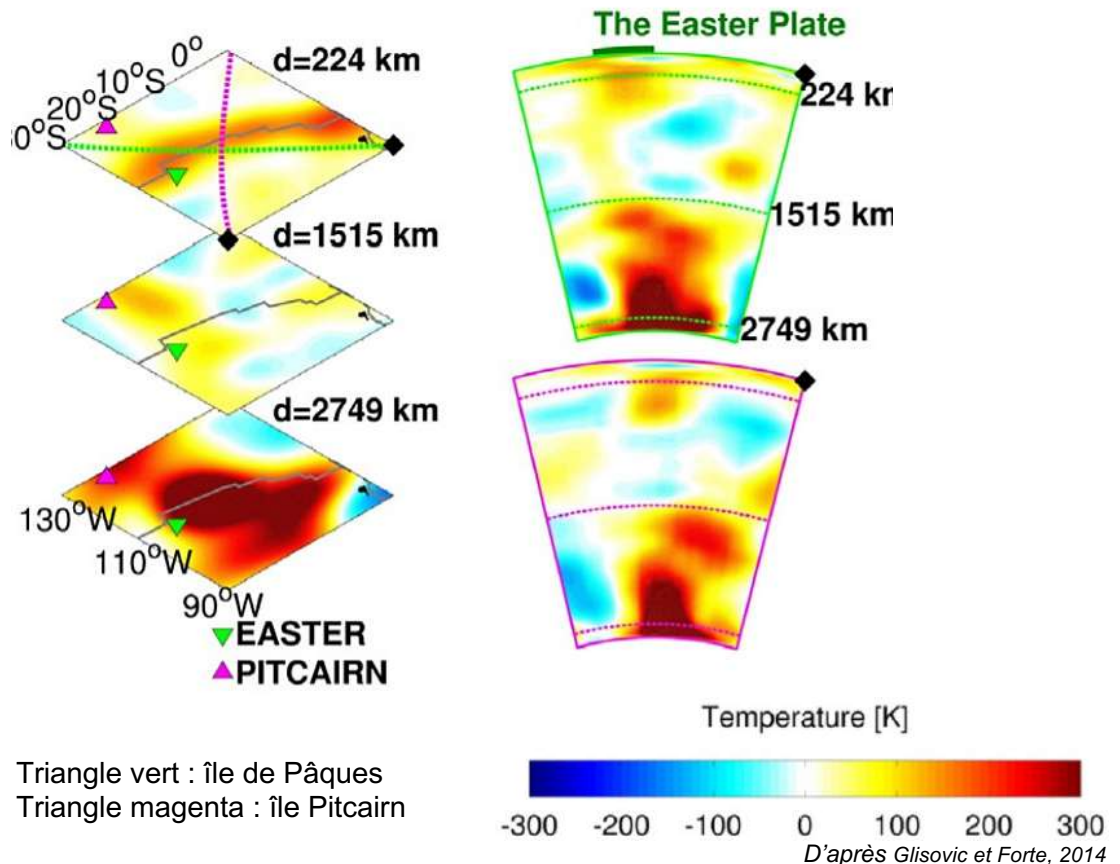
Document 5c - Distribution des âges des roches volcaniques des îles NR, ESC et de l'île de Pâques (EI) en fonction de la distance par rapport à Sala y Gomez (SyG)



D'après Ray et al., Journal of petrology, 2012

Document 6 - Reconstitution de la dynamique mantellique sous la microplaque de l'île de Pâques à 5 Ma

La tomographie sismique est une méthode utilisant l'enregistrement de tremblements de terre pour cartographier la structure interne de la Terre. Il a été possible, en utilisant des modèles mathématiques, d'évaluer la vitesse des ondes sismiques qui traversent le manteau. Cette vitesse des ondes sismiques dépend notamment de la température des matériaux traversés : l'enregistrement d'anomalies par rapport au modèle donne des indications sur une activité géologique particulière en profondeur. Des chercheurs ont utilisé cette technique afin de construire un modèle numérique de la convection dans le manteau dans la région de la microplaque de l'île de Pâques.



La Désirade, une île de l'archipel de la Guadeloupe au patrimoine géologique étonnant !



La Désirade est une des îles de la Guadeloupe, située à l'est de la Grande-Terre de Guadeloupe (Caraïbes). Cette île est recouverte d'une plate-forme calcaire de forme allongée, de 11 km de longueur pour 2 km de largeur. Elle se présente comme un vaste plateau d'une altitude maximale de 276 m, incliné vers le nord-est.

La Désirade est une réserve naturelle nationale à l'intérêt géologique majeur par sa diversité unique.

<https://www.google.com/maps/place/La+D%C3%A9sirade>

Un atelier de fabrication de bijoux est installé sur l'île de la Désirade. L'artisan utilise notamment la radiolarite, nommée jaspe en bijouterie, pour la confection de pendentifs.

Photographies © Véronique Tonton adaptées d'après <https://www.desi-jaspe.com>

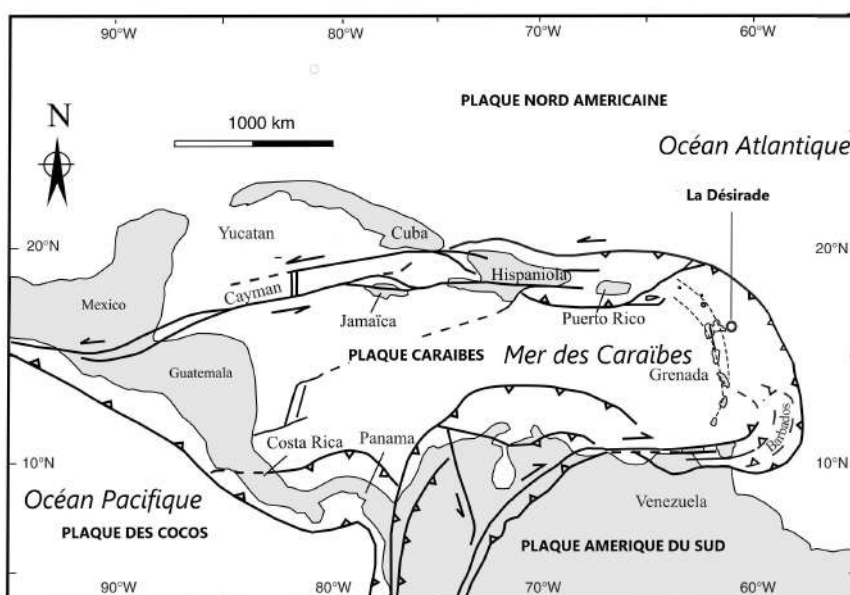


En visite à la Désirade, vous avez remarqué, dans un atelier de taille de pierres locales, des bijoux en jaspe rouge foncé, autre nom de la radiolarite, que l'on ne retrouve pas dans le reste des Caraïbes.

À l'aide des documents, reconstituer l'histoire géologique qui a abouti à la présence de jaspe sur l'île de la Désirade.

Document 1 (a, b, c, d, e) – Situation, échelle des temps et carte géologique de la Désirade

Document 1a – Situation de La Désirade sur la carte géodynamique de l'Amérique centrale (La carte montre les limites des plaques et leurs mouvements)



Zone de coulissage = déplacement horizontal, frottement de deux plaques l'une contre l'autre, sans qu'elles se rapprochent ni s'éloignent



Zone de subduction = rapprochement de deux plaques (=convergence) avec enfouissement (=plongement) d'une plaque sous l'autre (voir schéma 1c) ; la pointe indique le sens du plongement

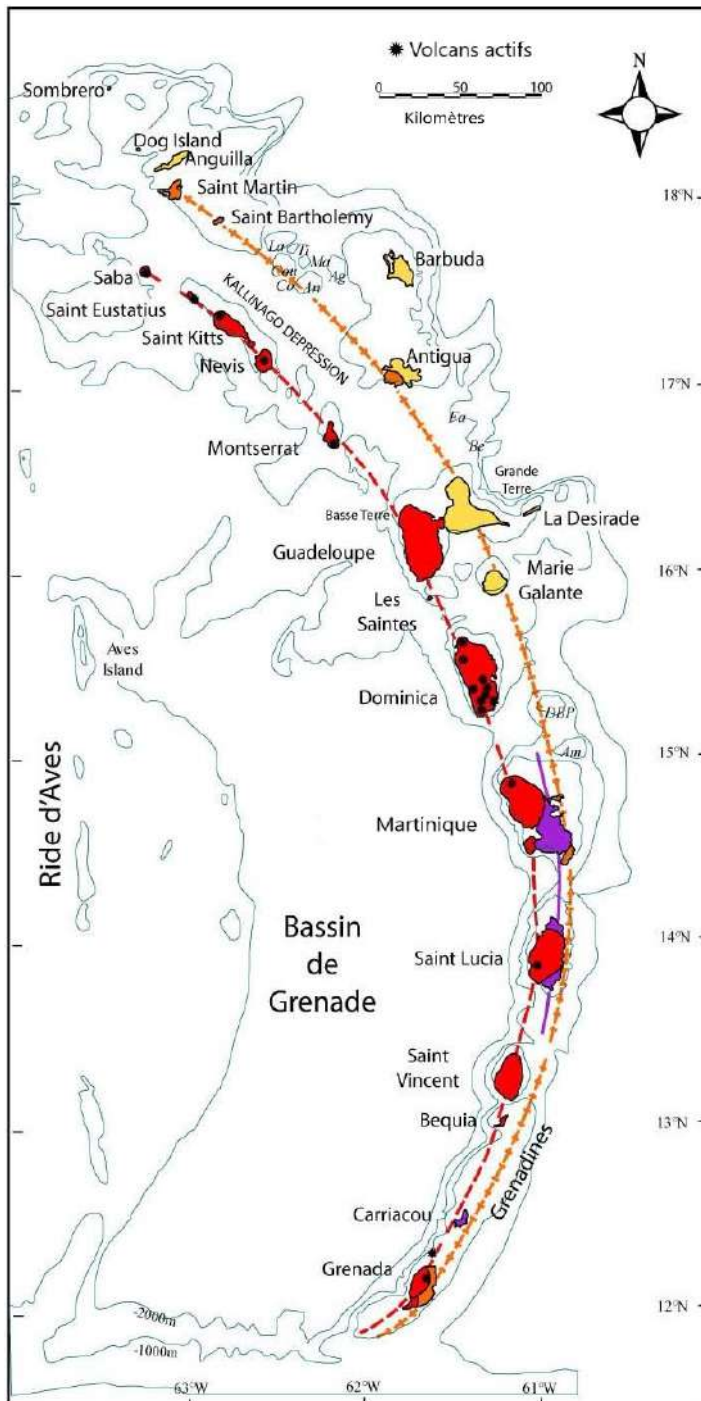
Carte modifiée d'après Lardeaux J-M et al., (2013) La Désirade Island (Guadeloupe, French West Indies): a key target for deciphering the role of reactivated tectonic structures in Lesser Antilles arc building. *Bull. Soc. geol. France* t. 184, n° 1-2 pp. 21-34.

Document 1b – Disposition des îles des Petites Antilles

Ces îles sont alignées, soit sur l'arc volcanique actuel actif, soit sur celui plus ancien daté de l'Oligo-Miocène, soit un peu à l'écart dans l'Océan Atlantique. Les deux arcs volcaniques, ancien et actuel, sont le résultat d'une subduction (voir schéma 1d).

L'ancien arc a été actif il y a plusieurs millions d'années (fin Oligocène). Il est à l'origine de nombreuses îles (Marie-Galante, Grande-Terre en Guadeloupe, Saint-Martin, Anguilla...) qui n'ont plus d'activité volcanique et sont recouvertes de roches calcaires. Le deuxième arc, plus à l'ouest, est l'arc actif, à l'origine des îles de la Dominique, de la Basse-Terre en Guadeloupe, Saint-Vincent, Sainte-Lucie, la Martinique etc. Ces îles sont le siège d'une activité volcanique.

Les roches les plus anciennes de la Désirade sont datées du Malm.



Stratigraphie	Dépôts volcaniques	Calcaires	Arcs volcaniques
Plio-pleistocène			Actif
Miocène			Intermédiaire
Eocène - Oligocène			Ancien

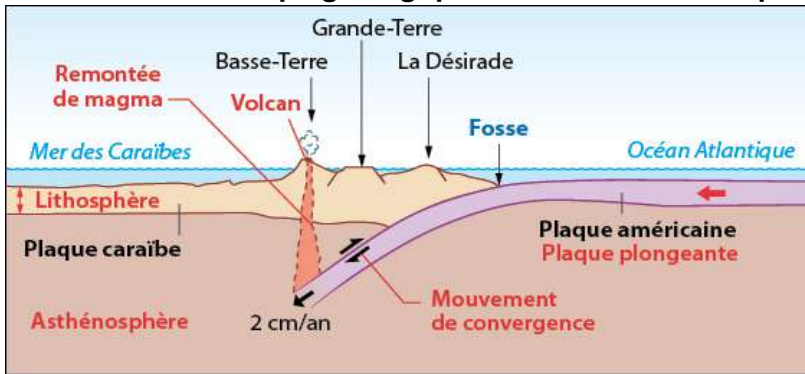
Carte modifiée d'après Bouysse P, Garrabé F. 1984.

Document 1c – Extrait de l'échelle des temps géologique simplifiée

Ere	Syst	Série	Etage				
CENOZOÏQUE (Tertiaire + Quaternaire)	QUAT	PLIOCENE	1,25	DELZENIEN			
			34	ZANCLEEN			
			53	MESSINIEN			
			7,3	TORTONIEN			
			NEOGENE	MIOCENE	11	SERRAVALLIEN	
					14,3	LANGHNIEN	
					15,8	BURDIGALIEN	
			PALEOGENE	OLIGOCENE	20,3	AQUITANIEN	
					23,5	CHATTIEN	
					28	RUPELIEN	
			PALEOGENE	EOCENE	33,7	PRIABONIEN	
					37	BARTONIEN	
					40	LUTETIEN	
					48	YPRESIEN	
					53	THANETIEN	
					53	DANIEN	
			CRETACE	PALEOCENE	65	MAASTRICHTIEN	
					72	CAMPANIEN	
					SUPERIEUR	83	SANTONIEN
						87	GONIACIEN
						89	TURONIEN
92	CENOMANIEN						
96	ALBIEN						
INFERIEUR	108	APTIEN					
	113	BARREMIEN					
	117	HAUTERIVIEN					
	123	VALANGINIEN					
	131	BERRIASIEN					
	135	TITHONIEN					
MALM	MALM	141			KIMMERIDGIEN		
		148			OXFORDIEN		
		DOGGER	154	CALLOVIEN			
			160	BATHONIEN			
			164	BAJOCIEN			
		LIAS	LIAS	170	AALENIEN		
				175	TOARCIEN		
				184	PLIENSBACHIEN		
		JURASSIQUE	JURASSIQUE	191	SINEMURIEN		
200	HETTANGIEN						

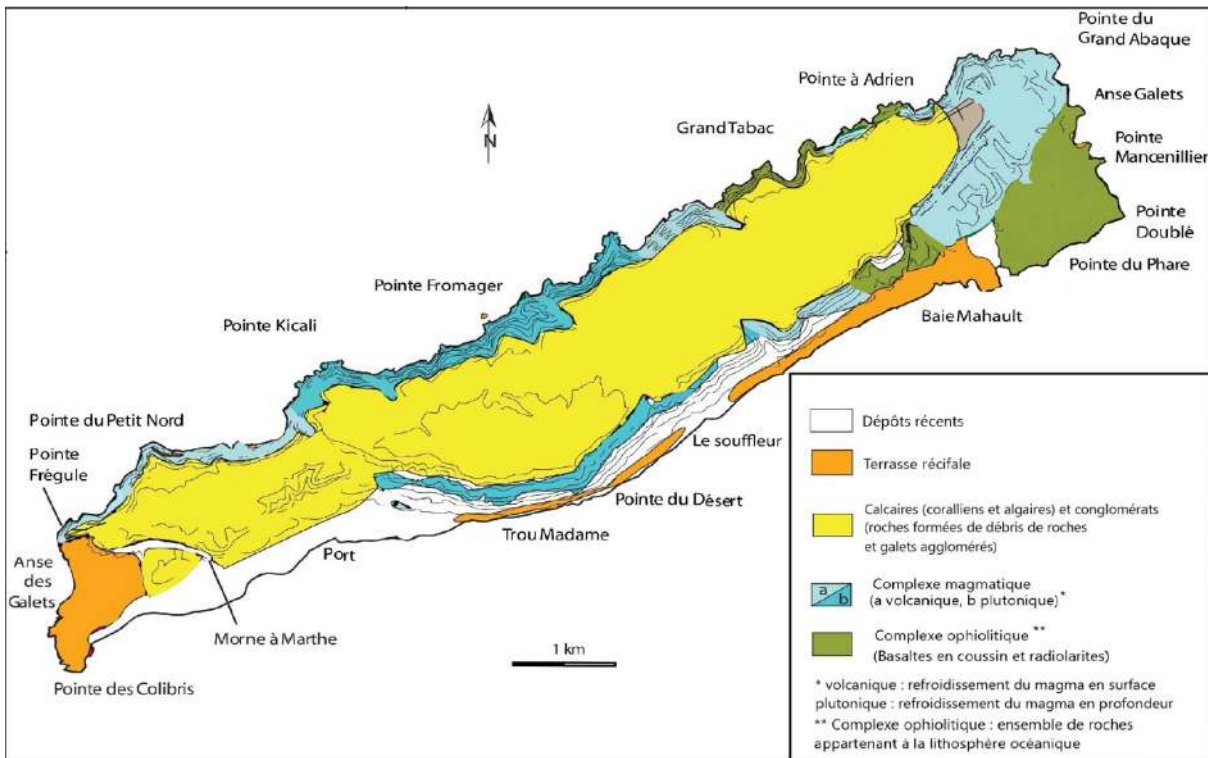
<https://sigesaqi.brgm.fr/Echelle-simplifiee.html> © BRGM Editions

Document 1d – Coupe géologique au niveau de l'archipel de Guadeloupe



Coupe modifiée d'après
M. Corsini
<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/1/11/111.html>

Document 1e – Carte géologique simplifiée de la Désirade



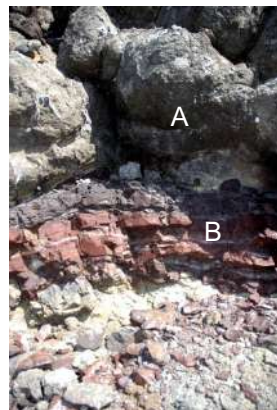
Carte modifiée d'après Lardeaux J-M et al., (2013) La Désirade Island (Guadeloupe, French West Indies)

Document 2 (a, b) – Complexe ophiolitique de la Désirade : basaltes en coussins et radiolarite

Doc. 2a – Photographie d'un basalte en coussin (A) et d'une radiolarite (B) observés au sein d'un des complexes ophiolitiques visibles sur la carte à l'Est de la Désirade



Photographie de l'affleurement



Détail du contact entre les radiolarites et les basaltes

© JM. Moullet



https://fr.wikipedia.org/wiki/Pillow_lava#/

Les laves en coussin, en anglais *pillow lavas*, sont des roches magmatiques qui se forment au contact de l'eau lorsqu'une coulée de lave s'épanche sur le fond de l'océan. Ce sont le plus souvent des basaltes. Une fois émergées suite à des mouvements tectoniques, elles participent avec les radiolarites à la formation de complexes ophiolitiques. Ceux de la Désirade sont datés d'environ -145 Ma.

Document 3 (a, b, c, d, e) – La radiolarite de la Désirade

Doc. 3a – Radiolarite de la Désirade



© L.Legendre

Doc. 3b – Origine de la radiolarite

La radiolarite se présente sous forme de couches superposées de quelques centimètres d'épaisseur (document 3a). Cette roche se forme au fond des océans et est constituée à partir de squelettes de radiolaires.

Les radiolaires (documents 3d et 3e) sont des animaux planctoniques unicellulaires vivant encore aujourd'hui. Leur squelette n'est pas composé, comme chez la plupart des animaux, de calcaire (CaCO₃), mais de silice (SiO₂), similaire au verre du point de vue chimique.

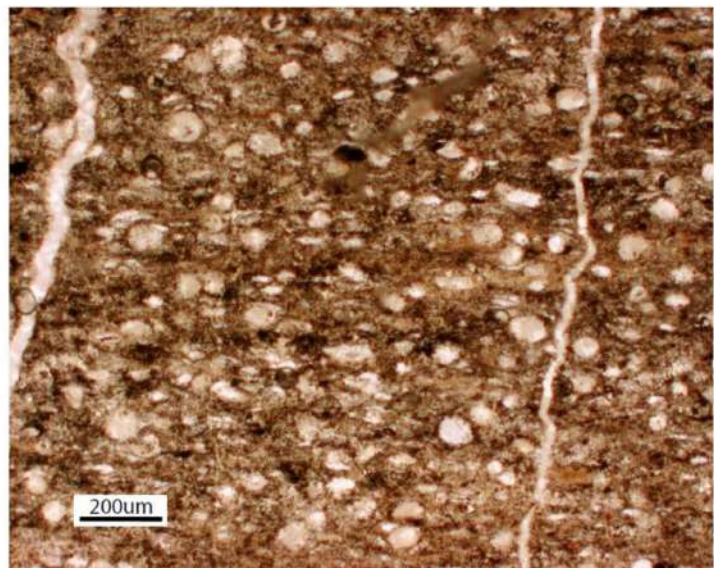
Lorsque les radiolaires meurent, leur squelette siliceux coule lentement vers le fond. Ils y forment une vase de radiolaires. Au cours des temps géologiques, cette couche est compactée en une roche siliceuse, la radiolarite (doc 3c).

D'après les auteurs du sujet

Document 3c – Fragment de radiolarite observée au microscope optique



Document 3d – Fine section de radiolarite



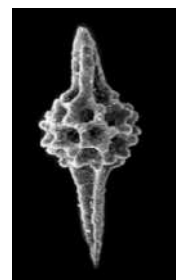
Doc. 3e – Quelques exemples de radiolaires observés au microscope électronique



Parvicingula sp., 385 µm



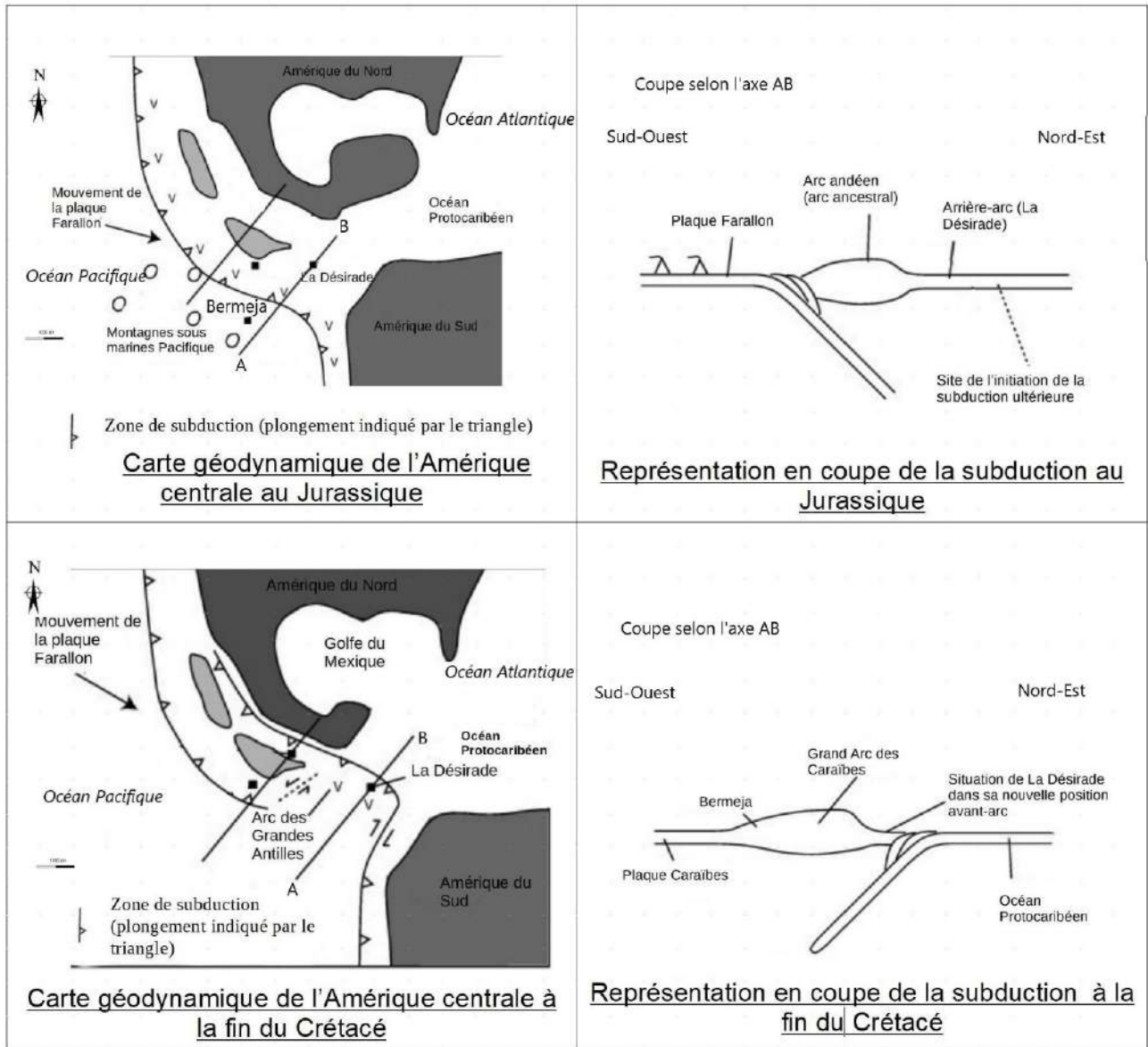
Eucyrtidiellum pyramis Aita, 200 µm



Pantanellium squinaboli (Tan), 290 µm

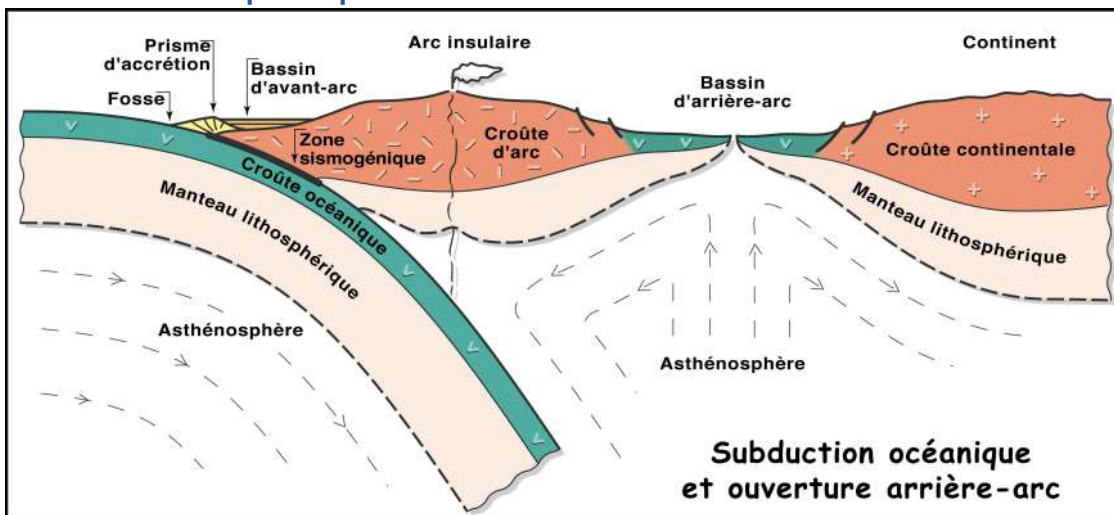
Fabrice Cordey, Jean-Jacques Cornee. New radiolarian assemblages from La Desirade Island basement complex (Guadeloupe, Lesser Antilles arc) and Caribbean tectonic implications. Bulletin de la Société Géologique de France

Document 4 – Modèle actuel de reconstitution tectonique



Modifié d'après Neil et al., (2010) Origin of the volcanic complexes of La Desirade, Lesser Antilles: Implications for tectonic reconstruction of the Late Jurassic to Cretaceous Pacific-proto Caribbean margin, fig 10

Document 5 – Coupe simplifiée d'une zone de subduction



À l'arrière des arcs volcaniques de subduction, on observe une zone d'extension qui permet la mise en place d'une croûte océanique de composition basaltique.
Géodynamique des zones de subduction
S. Lallemand CEFEG

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

