

# ***ILES, RISQUES ET RESSOURCES***

**Les îles océaniques  
françaises , Réunion,  
Martinique,  
Guadeloupe**



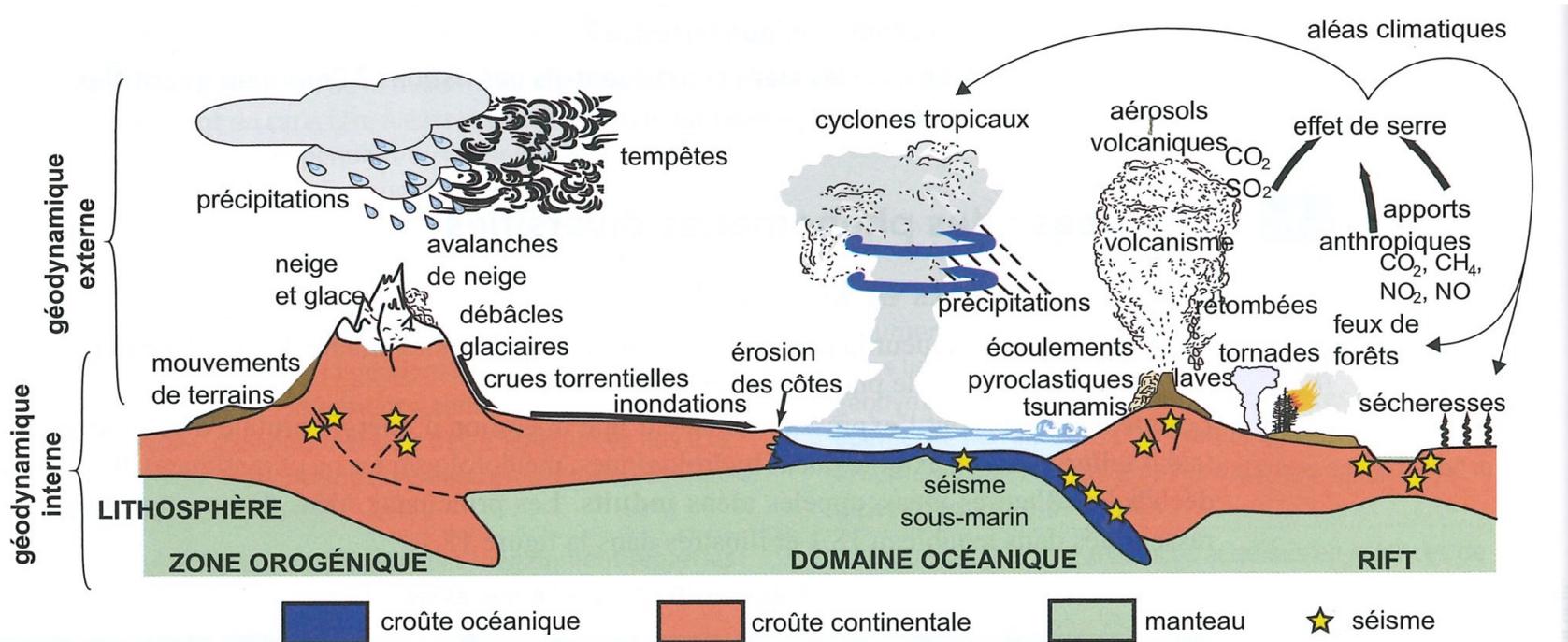
# I- LES RISQUES EN LIEN AVEC LA GÉODYNAMIQUE INTERNE OU EXTERNE

## I.1- Qu'est-ce qu'un risque ?

Risque = aléa x vulnérabilité des enjeux / résilience du système

## I.2- Les différents types d'aléas liés à la géodynamique terrestre : aléas directs et induits

**Document 1** : Diversité des aléas dans leurs contextes géodynamiques (D'après Lefèvre et Schneider, 2003).



## Document 2 : Diversité des aléas

	Aléas directs	Aléas induits
Évènements liés à la géodynamique interne	Aléa tellurique : séisme, éruption volcanique	Tsunamis, inondations (perturbations de cours d'eau, destruction de barrages...), glissements de terrain

<b>Évènements liés à la géodynamique externe</b>	<b>Aléa gravitaire : effondrement de volumes rocheux</b> (de 10 à 100 m <sup>3</sup> : éboulement ; > 100 m <sup>3</sup> : écroulement) ; <b>glissements de terrain</b>	<b>Formation de barrages naturels et risques d'inondations</b>
	<b>Aléa hydrologique : inondations</b> liées aux perturbations du régime des cours d'eau	<b>Glissements de terrain</b> liés à l'imbibition du sous-sol.
	<b>Aléas météorologiques</b> : phénomènes atmosphériques de courte durée - minutes ou jours ( <b>tempêtes, cyclones</b> ) ou semaines ( <b>canicules, vagues de froid...</b> ). <b>Cyclone</b> = tempête tropicale violente caractérisée par des vents tourbillonnants à plus de 120 km.h <sup>-1</sup> autour d'une dépression (« œil » calme). Un cyclone s'étend sur plusieurs centaines de km de diamètre. Sur Terre : <b>20 à 30 cyclones par an.</b> <b>Tornado</b> = tourbillon de vents très violents qui prend naissance à la base d'un nuage d'orage. Localisé ; qq centaines de mètres de diamètre, ; hauteur de plusieurs km et vitesse atteignant 100 km.h <sup>-1</sup> . Abondant dans le sud-est des E.U : un <b>millier par an en moyenne. Très destructeurs et difficiles à prévoir</b> Remarques : on parle de <b>cyclone</b> dans l'océan indien et le Pacifique Sud-Ouest, <b>d'ouragan</b> dans l'Atlantique et le Nord-Est du Pacifique et de <b>typhon</b> dans le Nord-Ouest du Pacifique.	<b>Inondations</b> des côtes liées à l'avancée des vagues et à la dilatation des eaux océaniques par les basses pressions.
	<b>Aléas climatiques : aléas météorologiques</b> récurrents sur une longue durée. L'augmentation progressive de leur fréquence induit un grand nombre d'aléas induits.	Ex ; augmentation de la fréquence des <b>canicules : incendies, perturbations durables du cycle de l'eau</b> , accentuation du retrait-gonflement des argiles du sous-sol (déstabilisation des constructions)

## I.3- La caractérisation des aléas

## I.4- La gestion des risques géologiques repose sur deux axes : prévoir et prévenir.

**Document 3** : Outils et fiabilité de la prévision de quelques aléas.

Nature de l'aléa	Outils de prévision	Fiabilité de la prévision spatiale (PS) et temporelle (PT)
<b>Sismique</b>	Établissement de cartes de la sismicité historique (cartes de l'accélération du sol). Surveillance des déplacements inter-sismiques (GPS, interférométrie radar), repérage des failles sismogéniques, repérage des effets de site.	PS : fiabilité forte PT : fiabilité faible (la notion de cycle sismique est un modèle trop simpliste pour permettre une prévision temporelle fiable)
<b>Volcanique</b>	Cartes historiques des éruptions (types d'éruption, localisation des points de sortie du magma, étendue des coulées, des projections, des avalanches de débris...) Surveillance volcanologique	PS : fiabilité forte pour tous les types d'éruption PT : fiabilité forte pour les éruptions effusives à faible à moyenne pour les éruptions explosives.
<b>Gravitaire</b>	Eboulement, écroulements, glissements de terrain	PS et PT : fiabilité variable
<b>Météorologique</b>	Mesures et modèles météorologiques	PS et PT : fiabilité forte
<b>Climatique</b>	Travaux multidisciplinaires synthétisés par le GIEC (Groupes d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (IPCC en anglais))	PS et PT : fiabilité forte reconnue par la communauté scientifique

## **BILAN**

Les aléas sont des phénomènes libérant de grandes quantités d'énergie, caractérisés par leur magnitude, leur fréquence et leur récurrence. **Leur répartition n'est pas aléatoire** : les zones les plus concernées sont les zones de convergence de plaques (séismes, éruptions volcaniques) et les zones tropicales (cyclones). La prévision des aléas-repose sur une démarche probabiliste, fondée sur une étude historique.

Les risques résultent de la confrontation des aléas et des enjeux à leur vulnérabilité et à la résilience du système. La bonne gestion des risques impose une **surveillance précise des aléas, une solide prise en compte de ceux-ci dans l'aménagement du territoire et l'installation des activités humaines, et une éducation des populations afin de diminuer la vulnérabilité des enjeux et augmenter la résilience du système.**

Le retour d'expérience, le recensement des événements passés et la diffusion au niveau international de ces données sont fondamentaux pour mieux appréhender les risques et leurs conséquences potentielles.

CARACTÉRISATION DE L'ALÉA  
PUISSANCE FRÉQUENCE RÉCURRENCE

$$\text{risque} = \text{aléas} \times \frac{\text{vulnérabilité des enjeux}}{\text{résilience}}$$



PRÉVISION

**SPATIALE**  
cartes de risque

**TEMPORELLE**  
\* surveillance permanenté  
\* recherche d'une récurrence  
\* application de modèles prévisionnels



PRÉVENTION

\* culture du risque  
\* organisation de plans de secours  
\* réglementation de l'occupation du territoire  
\* normes (parasismiques, paracycloniques...)



## II- LES ILES OCEANIQUES ET LES RISQUES GEOLOGIQUES LIÉS A LA GEODYNAMIQUE INTERNE



**Les îles françaises : localisation géographique**

A tropical beach scene with turquoise water, white sand, and palm tree shadows. The image is used as a background for the title text.

**GEOLOGIE DE LA FRANCE**

**LE POINT CHAUD DE L'ILE DE LA REUNION**

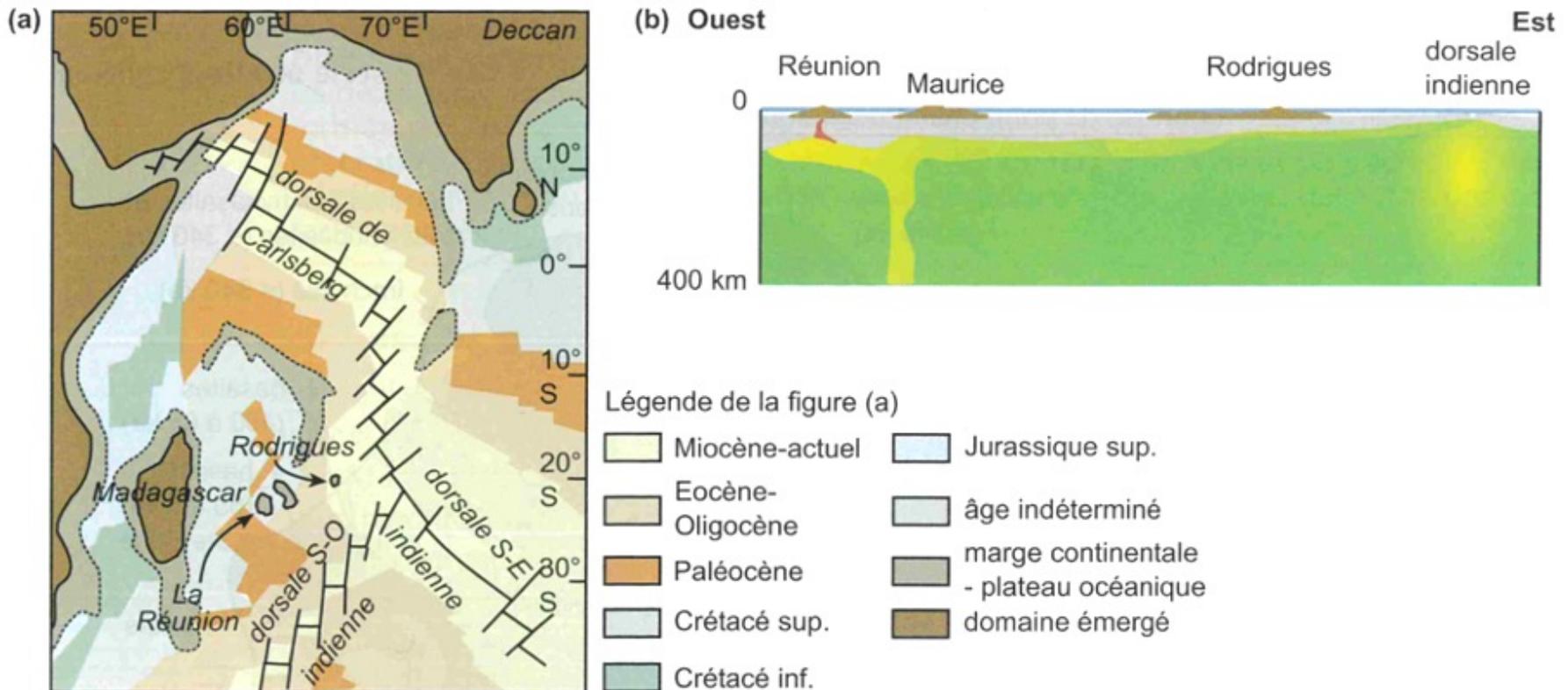
## II.1 Le contexte géodynamique de la Réunion

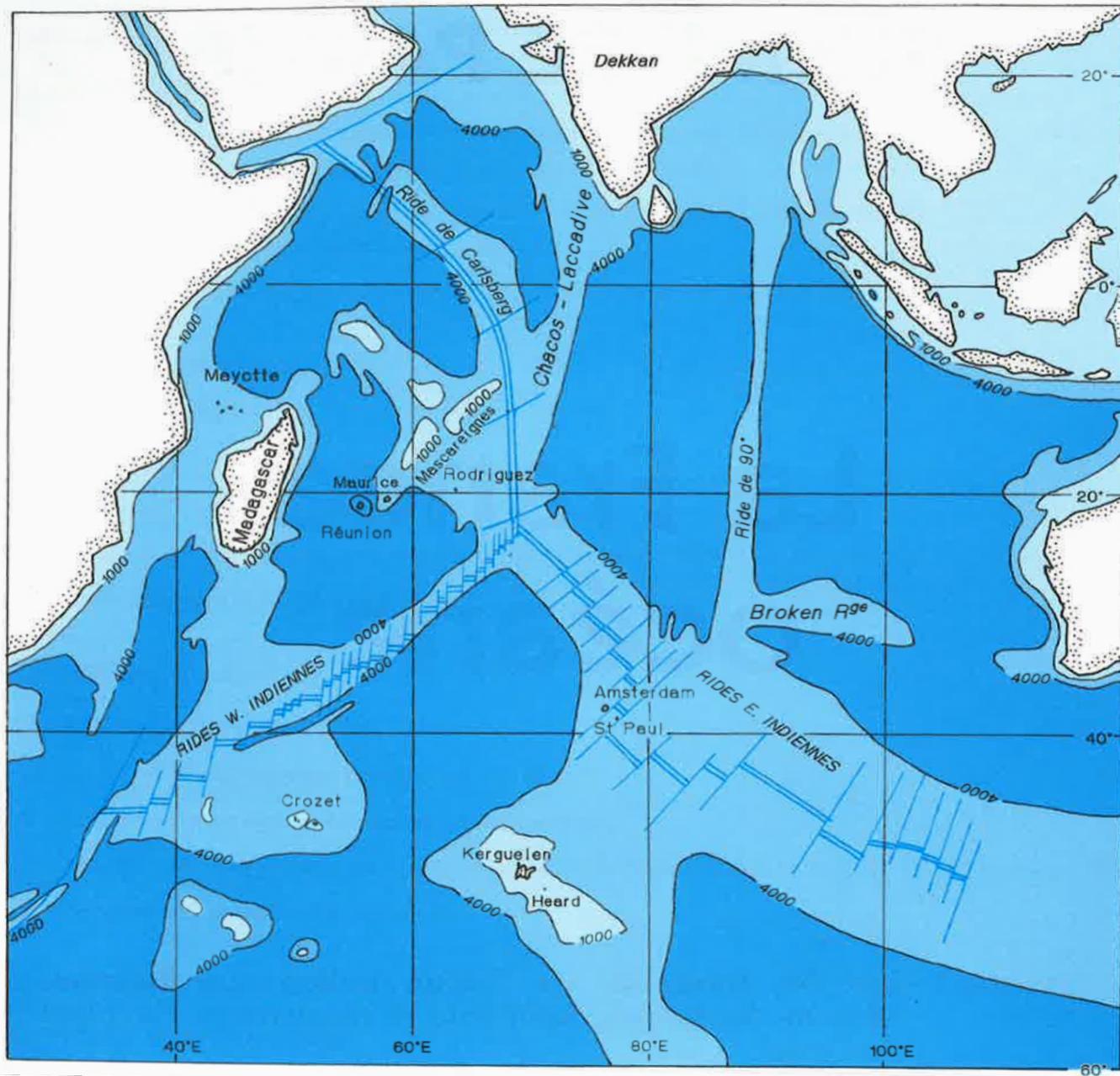
Cette île tropicale (20° de latitude sud) fait partie d'un archipel de trois îles volcaniques (avec l'île Maurice et l'île Rodrigues), qui se situe sur la lithosphère de l'océan Indien, à **l'est de Madagascar** et à l'ouest de la dorsale indienne, donc sur la plaque Afrique.

Île française de l'océan Indien, située à l'extrémité d'une ligne formée de volcans éteints (dont celui de l'île Maurice) et qui s'étend jusqu'aux trapps du Deccan en Inde : la formation de l'ensemble aurait été **simultanée**, liée à l'activité d'un « **point** » **chaud** (qui n'a de point que le nom, puisque commun aux trois îles), il y a **7 à 10 Ma**. Le point chaud est corrélé à l'existence d'un panache mantellique chaud, révélé par ailleurs par tomographie sismique. Le volcanisme de point chaud **n'est actif actuellement que sur l'île de la Réunion**

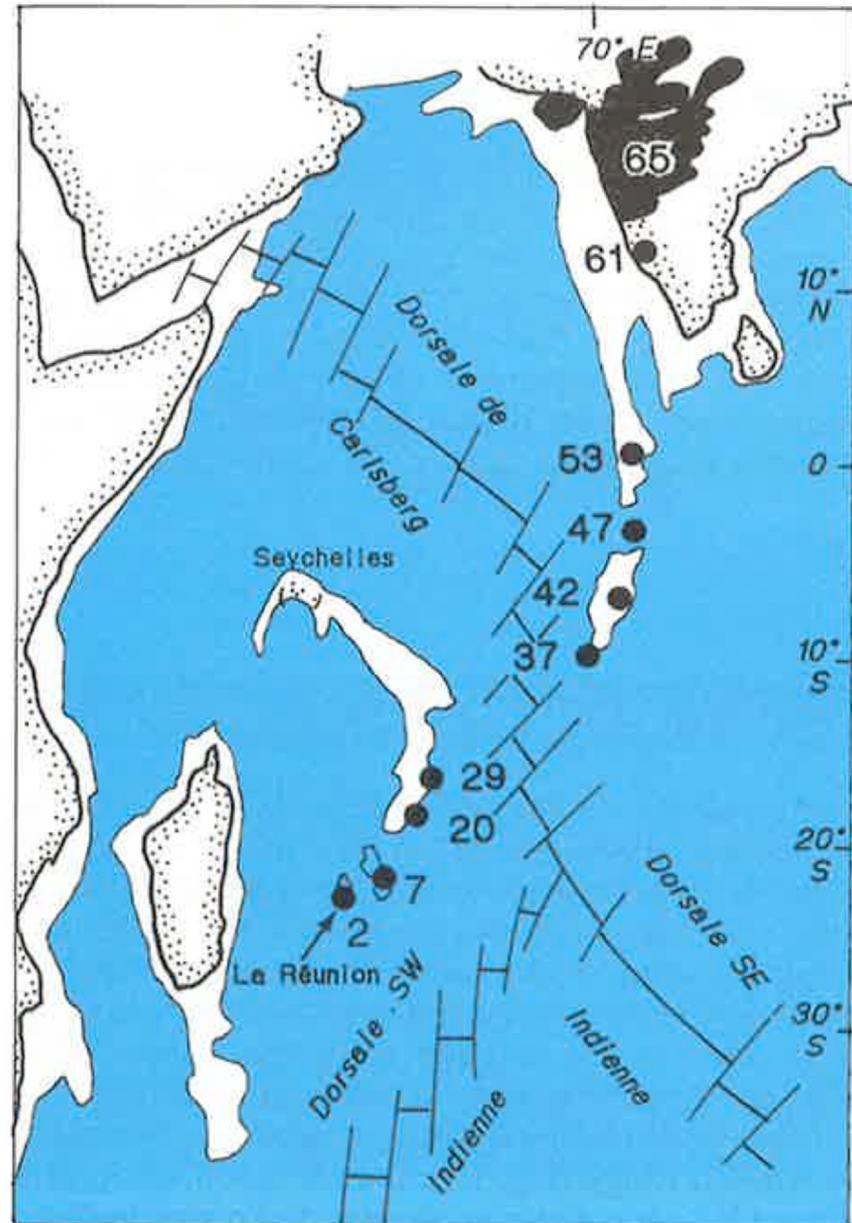
# La Réunion : île bouclier au dessus du panache mantellique d'un point chaud

**Document 4 :** (a) Localisation de la Réunion dans l'océan Indien ; (b) localisation hypothétique (d'après des données géochimiques et de tomographie sismique) du panache mantellique (en jaune) associé à la formation des îles Réunion, Maurice et Rodrigues.

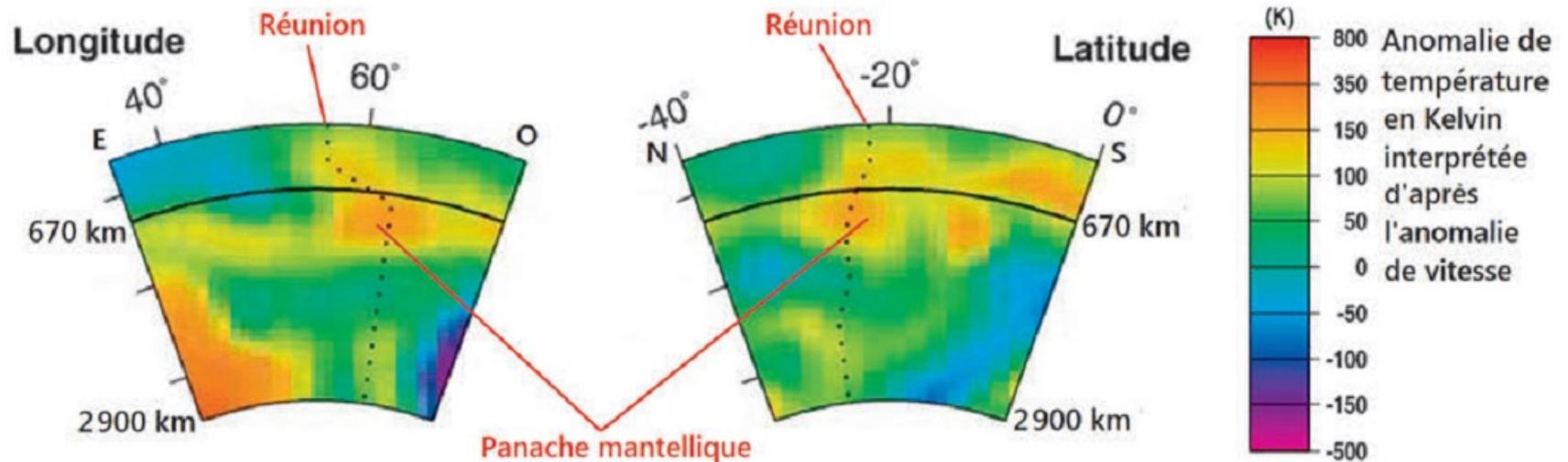




Alignement des volcans  
formés au-dessus du  
panache situé actuellement  
sous le Piton de la Fournaise.



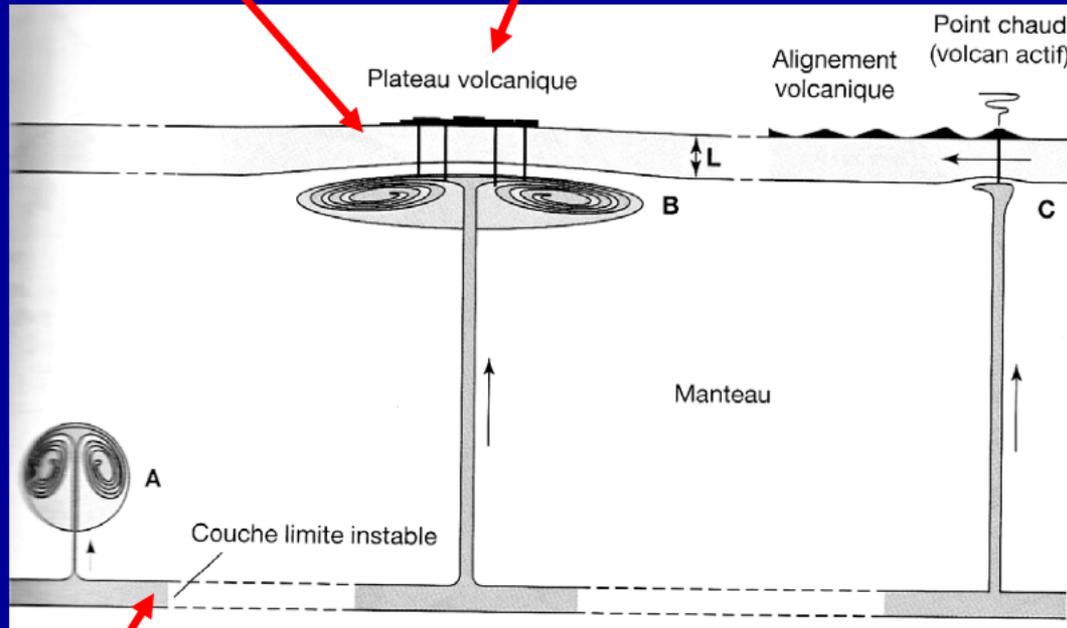
**Document 5 : Profils de tomographie sismique réalisés sous la Réunion.** Les anomalies ont été converties en température. La ligne en pointillé correspond à l'intersection des deux plans de coupe. d'après Nolet, 2006).



La lithosphère s'amincit, se bombe et se fracture.

Trapps ou LIP : début du fonctionnement du point chaud.  
Episode « bref » (1 Ma).

Alimentation à plus faible débit, par la queue du panache.  
Episode plus long (10 Ma).



Couche D'' ou discontinuité 670 km

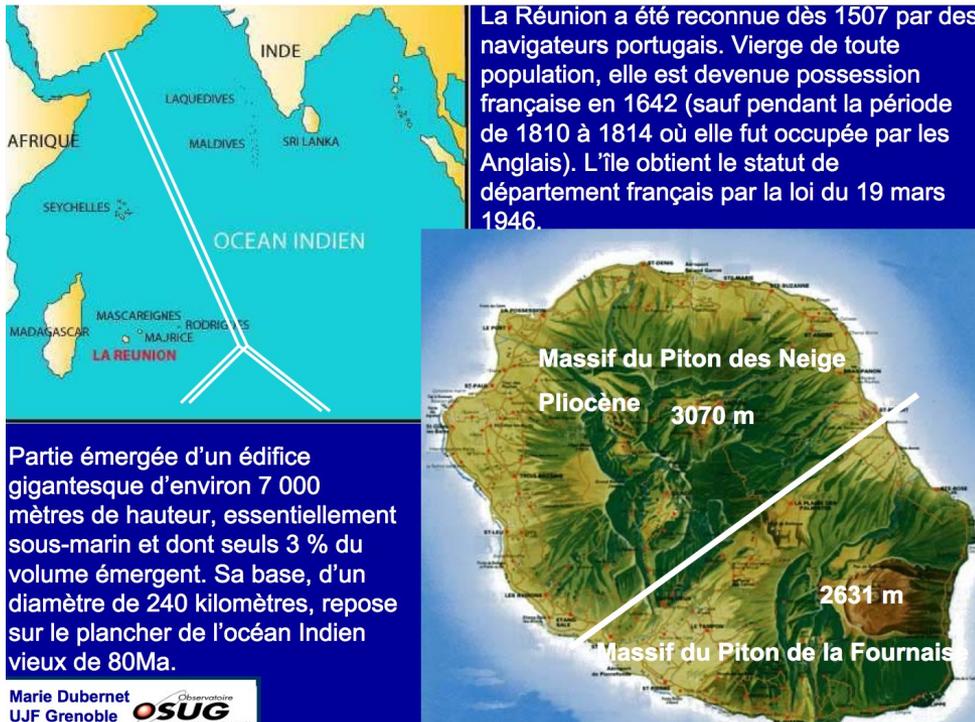


Le modèle admis est le suivant :

- (i) l'actuel volcanisme de l'île de la Réunion est alimenté par l'étroite "queue" d'un panache mantellique venant de la limite manteau-noyau
- (ii) Les trapps du Deccan viennent de la "tête" de ce même panache mantellique, au cours de l'épisode très précoce de son histoire à la fin du Crétacé
- (iii) La ride Lakshadweep-Chagos, représentant un important alignement volcanique dans l'océan Indien, est le produit de ce panache.

L'île de la Réunion est un complexe volcanique dont la portion émergée culmine à plus de 3 000 m d'altitude (sommet du piton des Neiges), et la portion immergée atteint 4 000 m d'épaisseur. C'est donc un édifice de plus de **7 000 m de hauteur**.

- Au nord-ouest, le **piton des Neiges, volcan bouclier, inactif** depuis 12 000 ans, profondément affecté par l'érosion (entaillé par trois cirques). Ce volcan polygénique a produit essentiellement des **laves basaltiques**. Ses dernières phases d'activité ont engendré des laves différenciées (dont des trachytes) : le dynamisme éruptif du piton des Neiges est alors **devenu explosif** (des dépôts de nuées ardentes affleurent à l'ouest de l'île).
- Au sud-est, le **piton de la Fournaise** (2 600 m d'altitude) : **volcan actif depuis au moins 550 000 ans** (les éruptions ont actuellement une fréquence annuelle).



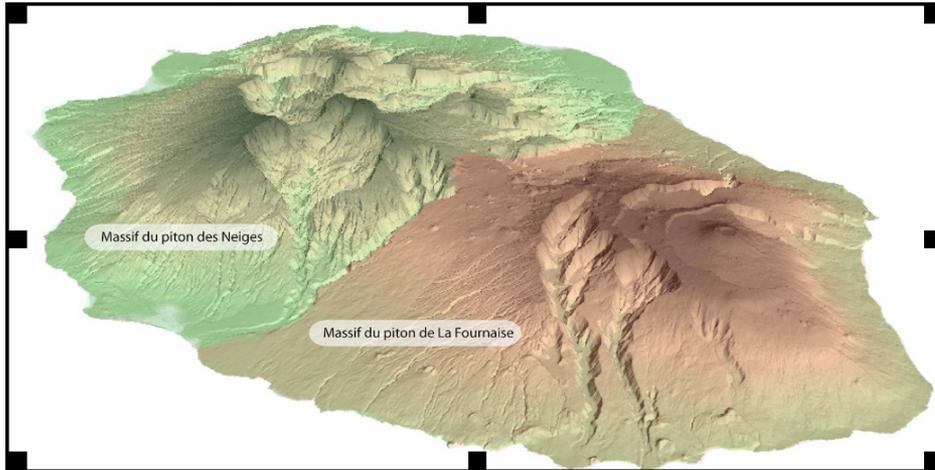
**La Réunion : une île volcanique de l'Océan Indien, sur une lithosphère océanique de 80Ma (Crétacé)**

L'île est formée par l'accolement de 2 volcans elliptiques :

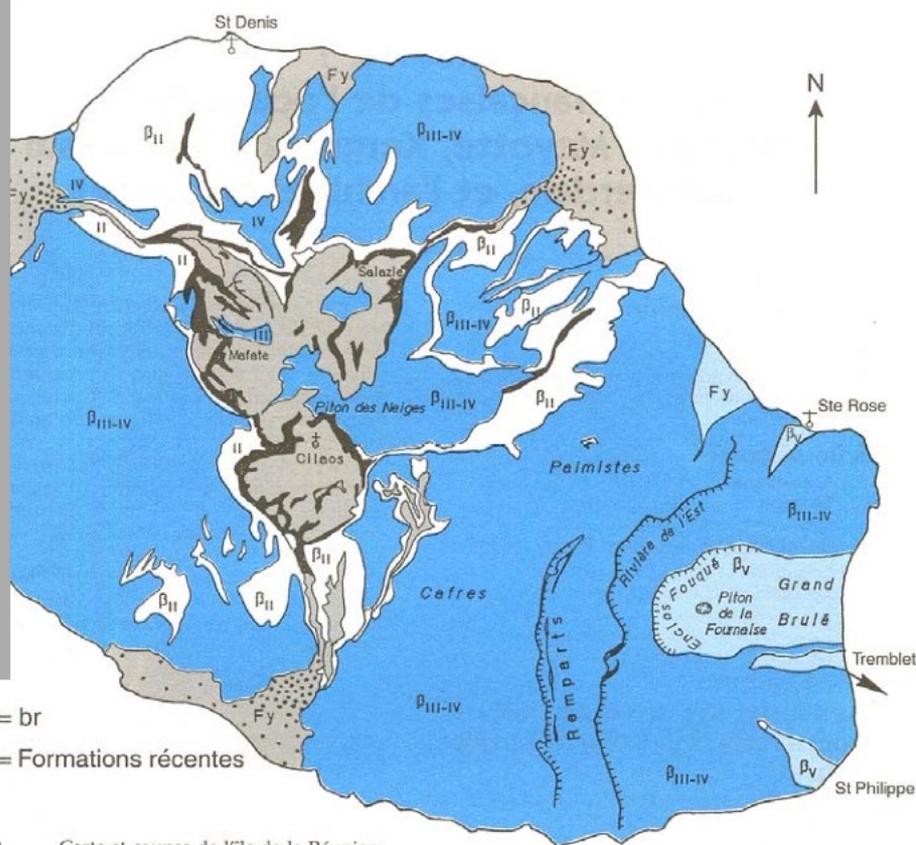
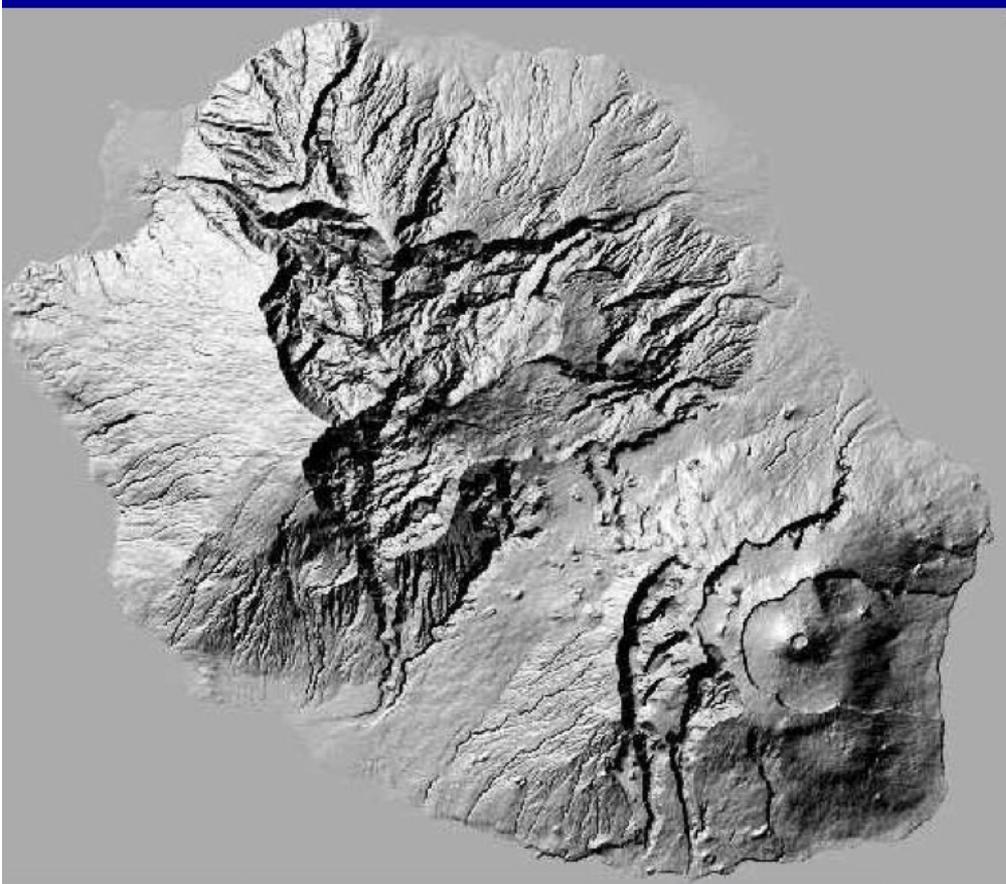
- **le Piton des Neiges (3069m)** : au nord, le plus ancien, le plus vaste, volcan non actif

**Le piton des neiges** à l'ouest de l'île est entaillé par 3 cirques : Salazie, Mafat, et Cilaos . Dans ces cirques, les entailles dûes à l'érosion permettent **une analyse de l'activité du volcan sur une épaisseur de plus de 2500m.**

- **le Piton de la Fournaise (2630m)** : au sud, **volcan actif de type hawaïen** : une à plusieurs éruptions annuelles, **de laves basaltiques très fluides** : les plus anciennes ont été datées du Pliocène : **-2,1Ma.**



L'île n'est que le sommet d'un très vaste volcan-bouclier. Le Piton des Neiges est profondément entaillé en « cirques » par l'érosion guidée par des effondrements et des directions morpho-tectoniques.



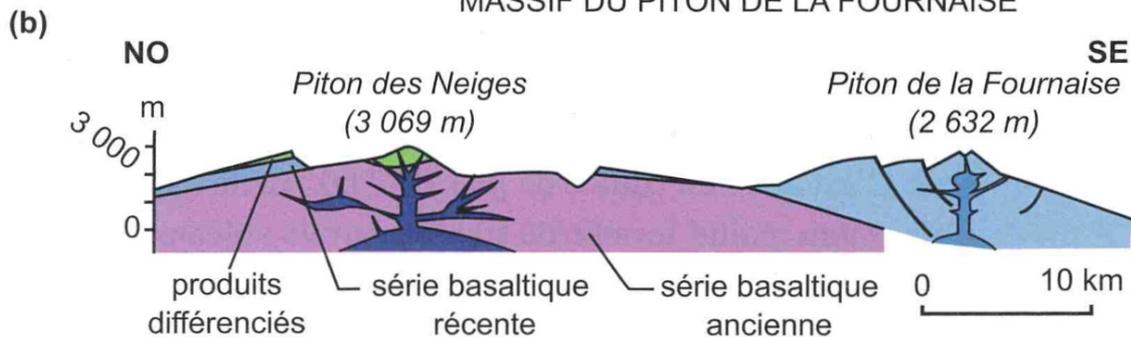
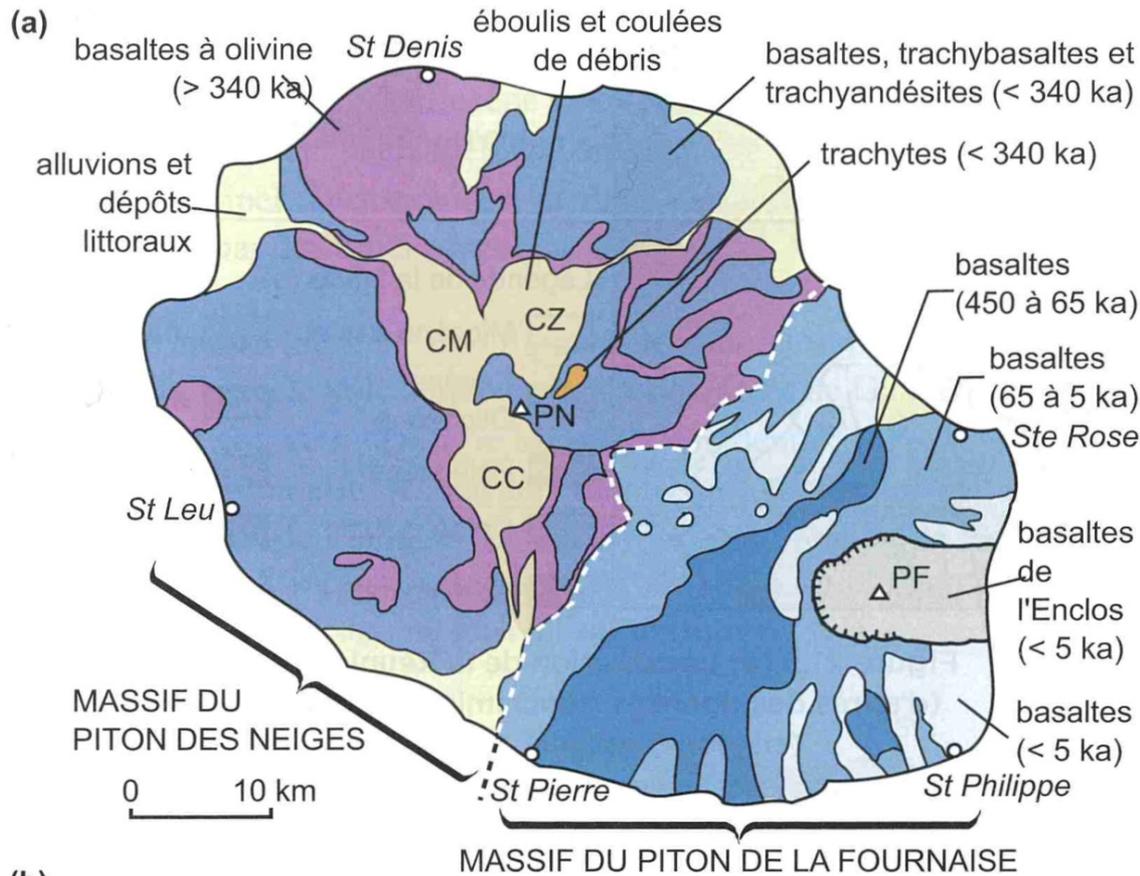
$\beta_I = br$   
 $F_y$  = Formations récentes

Fig. 1.2. Carte et coupes de l'île de la Réunion. D'après Billiard, 1975; Chevallier, 1979.



Les éruptions, de style **hawaïen** ont conduit à l'édification d'un **volcan polygénique bouclier** dont le sommet est occupé par une **caldera** (zone effondrée en fer à cheval, ouverte sur l'est de l'île) appelée l'Enclos, qui concentre la grande majorité des éruptions actuelles. Plusieurs calderas emboîtées sont visibles, traduisant la coexistence d'une dynamique de construction (superposition des coulées basaltiques, augmentant le volume de l'édifice) et d'épisodes destructifs (effondrement sommital et glissement latéral du flanc du volcan polygénique). Les calderas pourraient avoir deux origines possibles : **vidange d'une chambre magmatique profonde** au cours d'éruptions latérales, le sommet du volcan s'effondrant sous son poids ou **fluage du cœur du volcan**, fragilisé par les injections volcaniques répétées et par son altération par des fluides hydrothermaux, induisant un glissement généralisé du flanc de l'édifice.

# Document 6 : a) Carte géologique simplifiée de la Réunion ; (b) coupe géologique schématisique



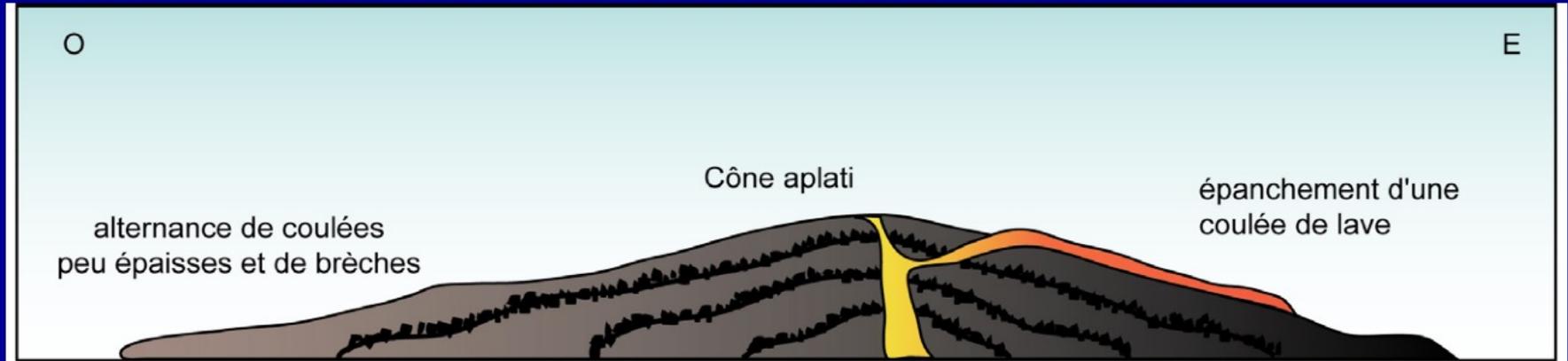
Piton de la Fournaise, Réunion



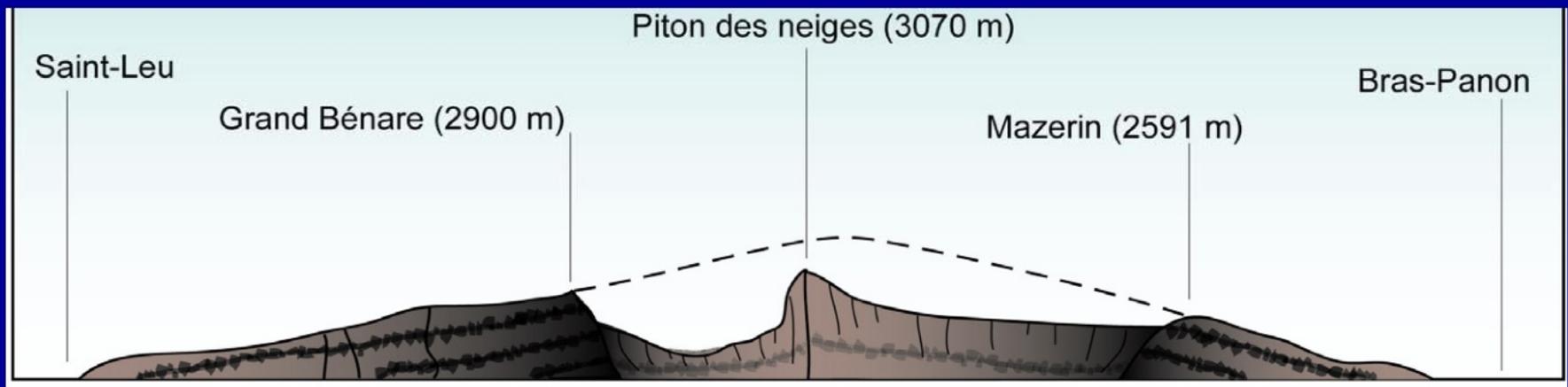
Volcan bouclier

Avant Avril 2007

**Un volcan bouclier** est presque exclusivement constitué de coulées de laves basaltiques très fluides, produites par des éruptions volcaniques effusives et responsables d'une morphologie caractéristique en bouclier.



*La morphologie du massif du Piton des Neiges montre bien l'ancienne forme en bouclier du volcan primitif qui a été érodé.*



<http://www.fournaise.info/>



Des fontaines et des rideaux de lave sont ainsi actifs pendant plusieurs heures voire plusieurs jours. Les projections de magma à partir de la fissure éruptive édifient progressivement un ou plusieurs cônes par accumulation des éjectas (cendres, lapilli, bombes) produits par les explosions.



Eruption avril 2007



CLICANOO.COM



ABERT

Serge GELABERT

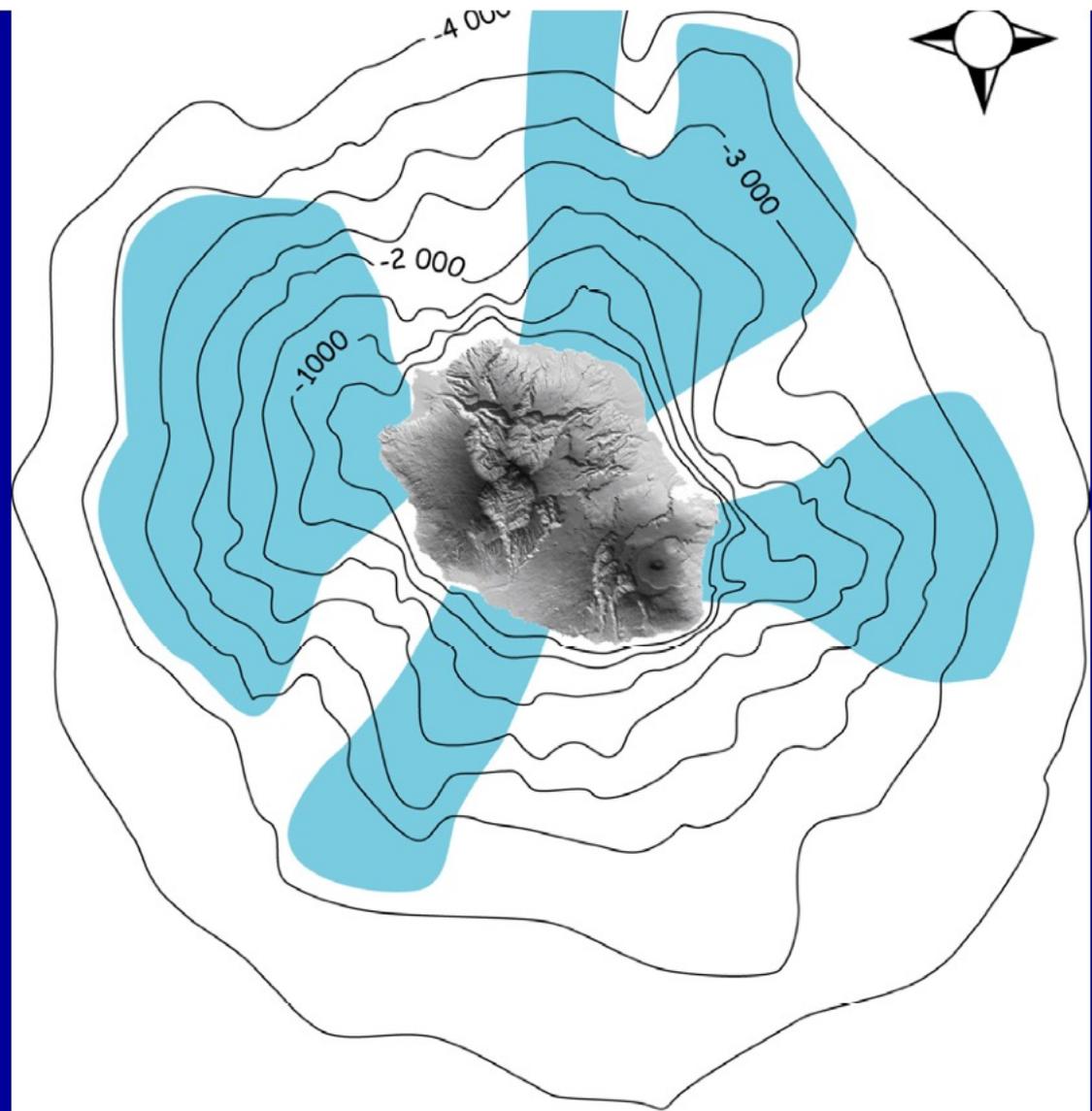


Serge GELABERT

Les avalanches de débris résultent de glissements de terrains de plusieurs km<sup>3</sup> qui affectent la structure de l'édifice volcanique : en résultent des caldeiras d'avalanche.

Les avalanches de débris volcaniques ont une très grande mobilité par rapport aux mouvements de terrains non volcaniques, ce qui indique un coefficient de friction très faible.

(Vitesse >100km/h)





Serge GELABERT

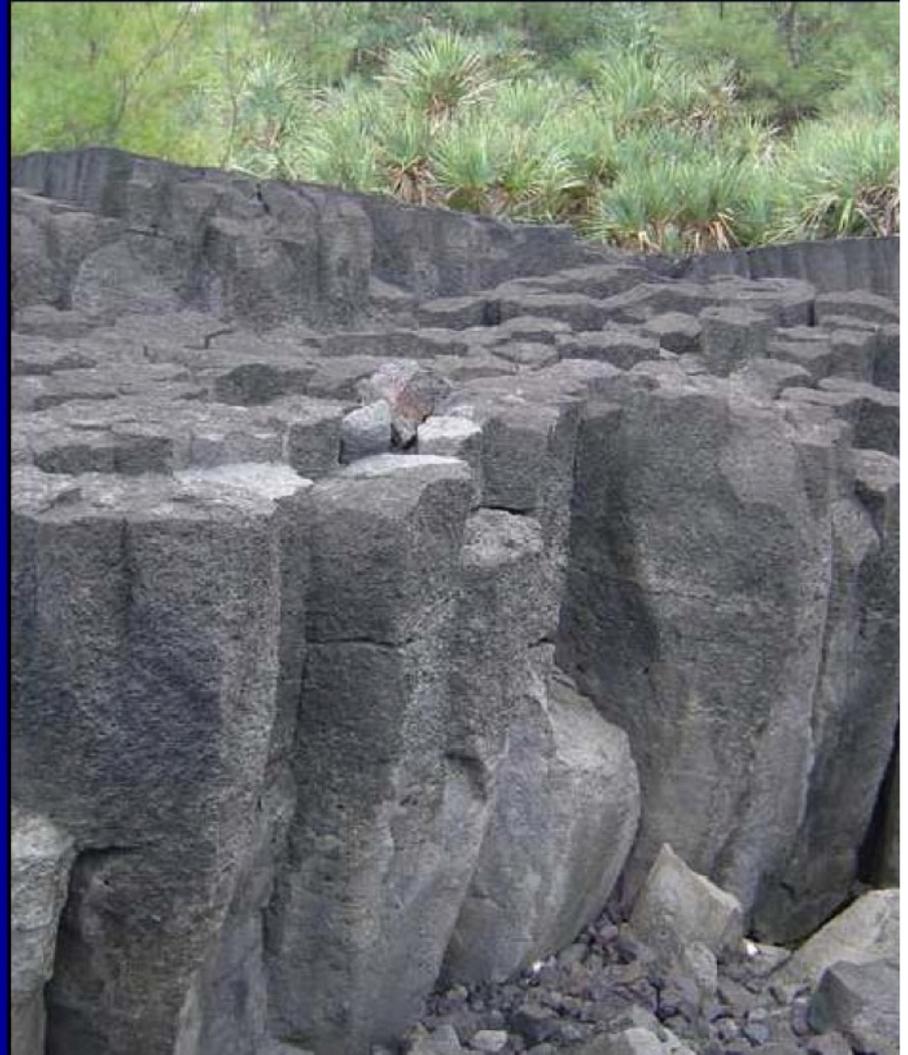
Après l'éruption d'avril 2007 = le cratère Dolomieu s'est effondré en laissant place à une gigantesque Caldeira de plus de 300m de profondeur.



Coulées de laves fluides qui empruntent les creux topographiques. ces derniers peuvent être d'anciens cours d'eau et c'est pourquoi il n'est pas rare de trouver des dépôts alluviaux à leur base.

Les coulées épaisses qui se refroidissent plus lentement développent parfois des structures en prismes appelées orgues basaltiques.

*Orgues basaltiques à la Pointe de la Table à Saint-Philippe ; ces prismes correspondent à des figures de refroidissement de la coulée de 1776.*





*Les laves aa (en « gratons »), plus visqueuses, à la surface meuble constituée d'éléments mats, épineux et de taille variable.*

*Morphologie de type aa ou « gratons » à la surface de la coulée 2002 dans le Grand Brûlé.*

*Les laves pahoehoe (cordées, en boudins, en plaques), moins visqueuses, dont la surface forme une croûte brillante plus ou moins déformée et parfois morcelée. Sous cette surface, la lave peut s'écouler dans des tunnels.*

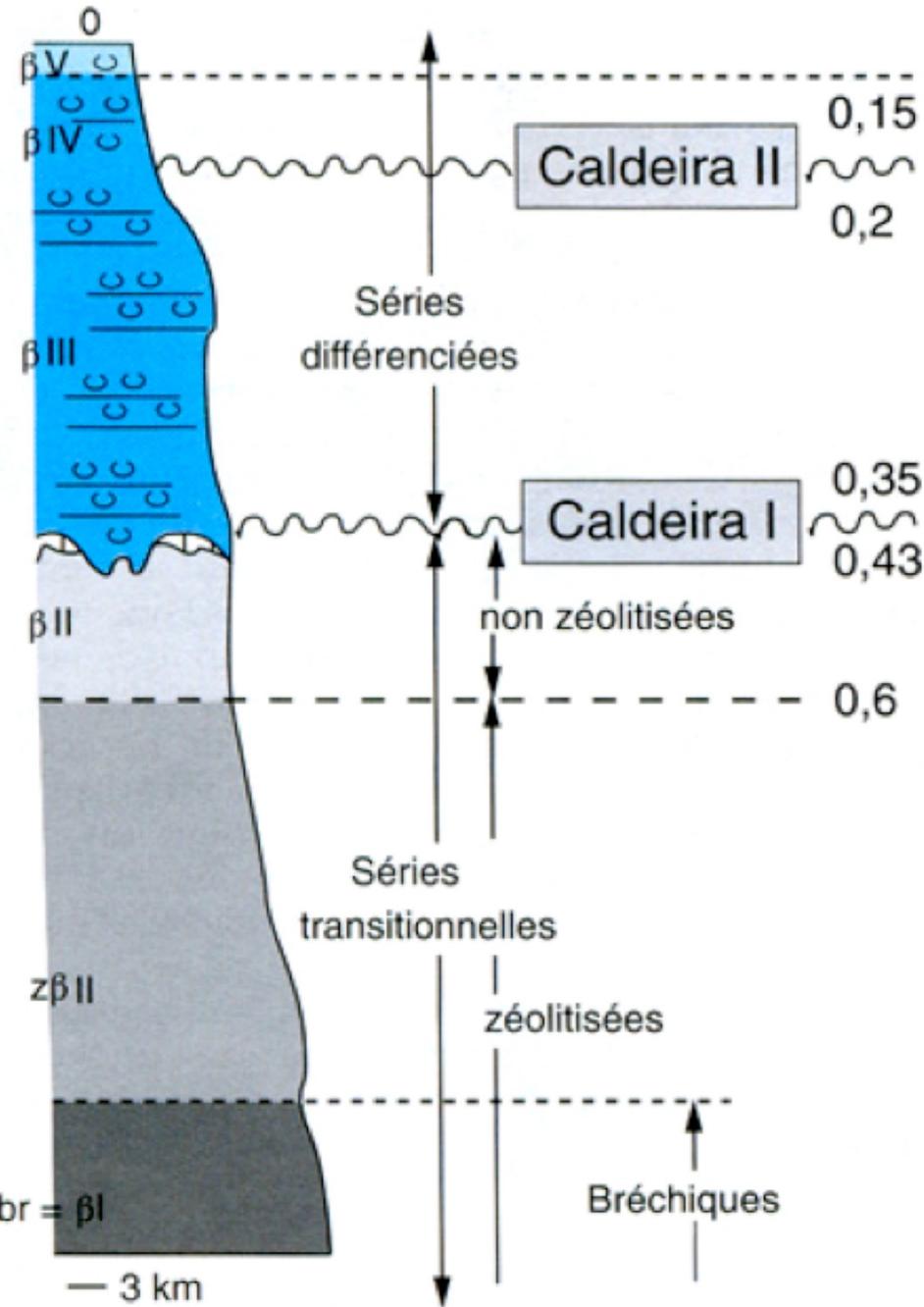


Photographie : Fabrice Robin



Eruptions explosives dues à l'interaction magma-eau souterraine contenue dans l'édifice volcanique. La vaporisation de l'eau provoque des éruptions phréatiques (éjections de roches anciennes sans magma frais), ou hydromagmatiques (présence de magma frais dans les produits d'éjection).





## Struct 16 : Les laves de la Réunion : colonne synthétique (in Dercourt, Dunod, 1997, modifié).

Le massif du Piton des neiges ne renferme pas de lave actuelles (βIV) alors que les termes les plus anciens n'affleurent pas au Piton de la Fournaise (br, zβII)

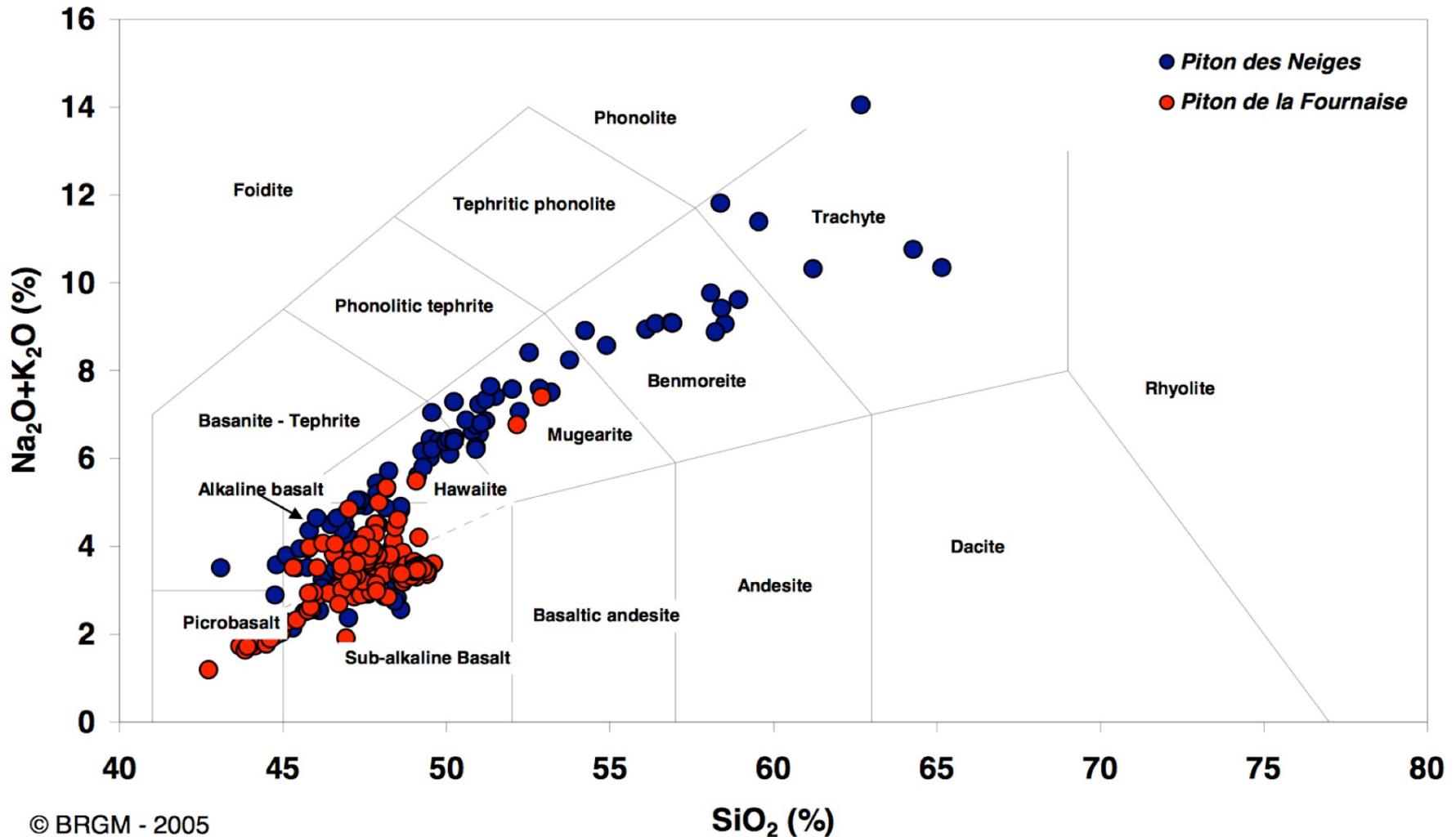
Une **série alcaline différenciée** (βIII) marquée par une reprise des coulées qui empruntent des paléovallées et comblent la caldeira I. Les laves sont plus acides (hawaïtes et mugéarites), l'activité devient plus explosive (pyroclastites et ignimbrites). Des fractures radiales et concentriques (cone sheets) provoquent la création d'une deuxième caldeira (caldeira II) plus petite (15 km de diamètre) remplie surtout de pyroclastites (βIV).

Une **série tholéitique transitionnelle récente** (2/3 du volcan émergé). Empilements de coulées, métriques à décimétrique, de basalte (βII) dont la base est zéolitisée (zβII).

Une **série tholéitique transitionnelle ancienne** (br) : brèches à éléments basaltiques et coulées anciennes émises par une fissure NW-SE. La période de calme éruptif qui succède se traduit par des injections de nombreux sills et dykes.

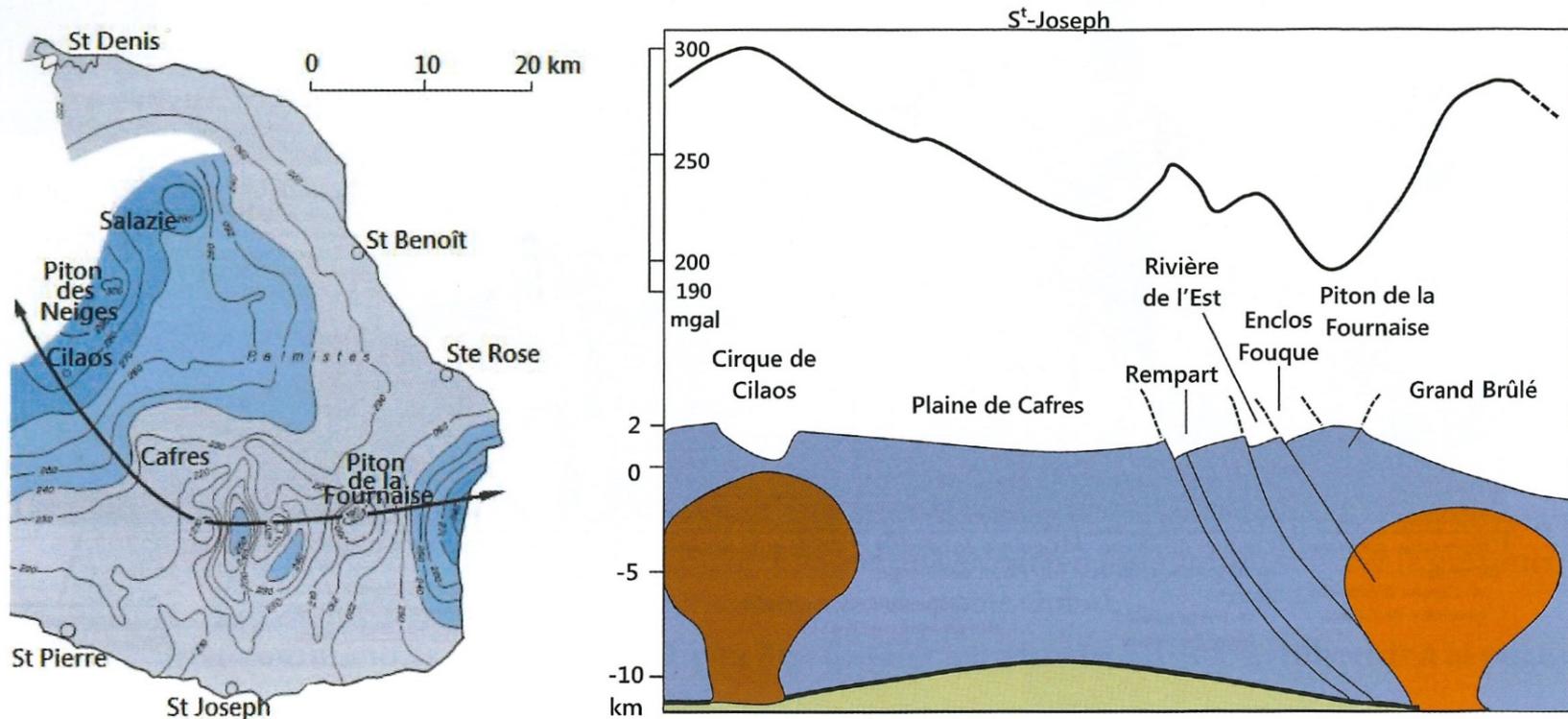
# Données pétrologiques : des séries magmatiques faiblement alcalines

- Les roches volcaniques de la Réunion dans un diagramme de HARKER



L'analyse des anomalies gravimétriques (Anomalies de Bouguer) apporte des informations sur le sous-sol

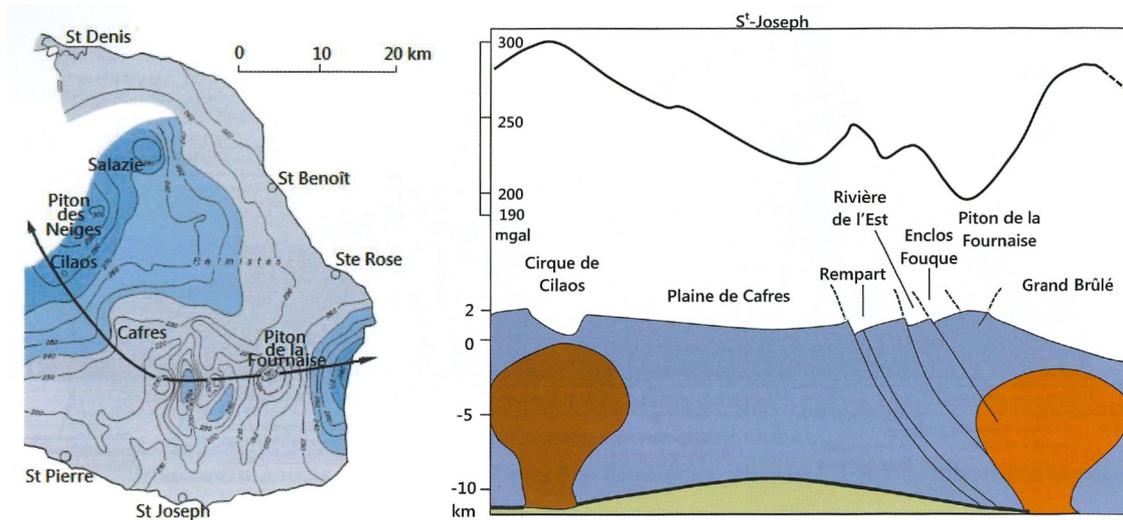
## Document 7 : Carte et coupe des anomalies gravimétriques de la Réunion (d'après Benderitter et sl., 1981).



**Activité 1 :** *Interprétez les anomalies gravimétriques de la coupe proposée.*

# Données géophysiques

## • Carte et coupe des anomalies gravimétriques de la Réunion



**Analyse : 2 anomalies positives très fortes au piton des neiges (300 mGal) et au piton de la Fournaise (280mGal) + une série d'anomalies positives mais un peu moins fortes entre les 2 volcans.**

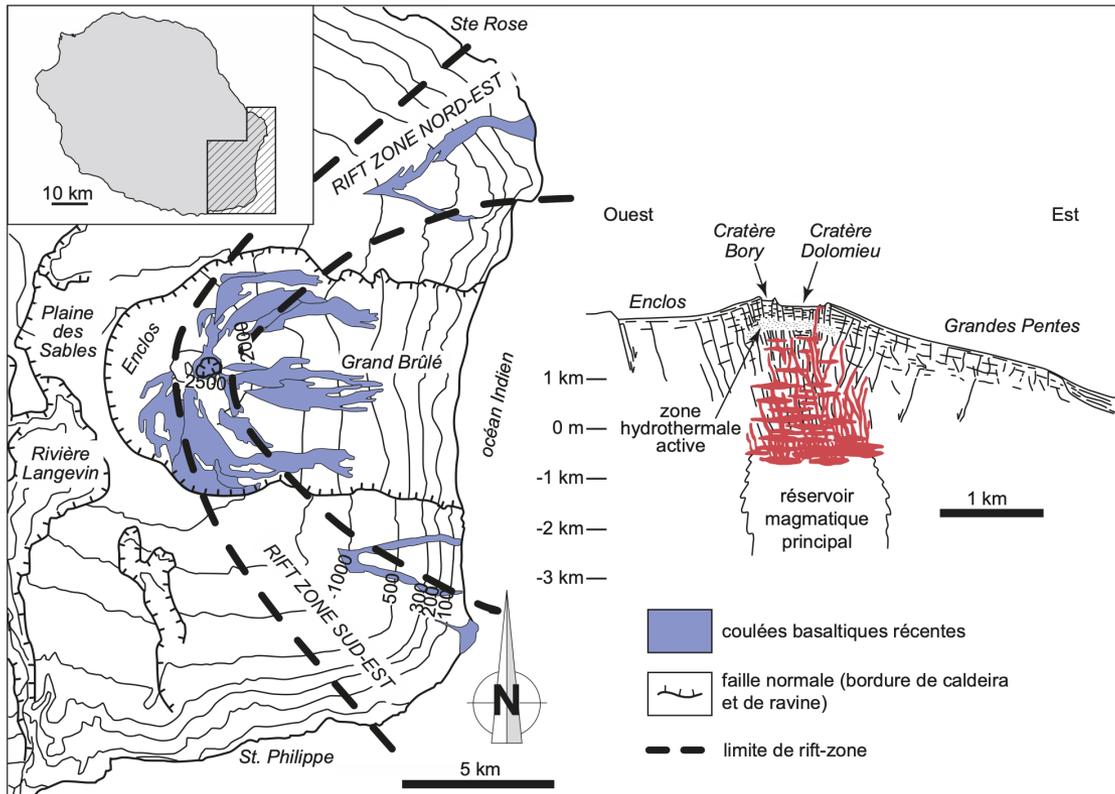
**anomalies >0 → excès de masse** attribuable aux roches de forte densité présentes dans les chambres magmatiques ayant alimenté les pitons.  
**autres anomalies >0 (excès de masse)** correspondent à la tectonique des caldeiras impliquant des injections de roches dans des plans de faille.

### III.3- La prévision des éruptions au piton de la Fournaise (La Réunion)

Importants **épanchements de laves (coulées)** issues du **cône central** (cratères Bory et Dolomieu).

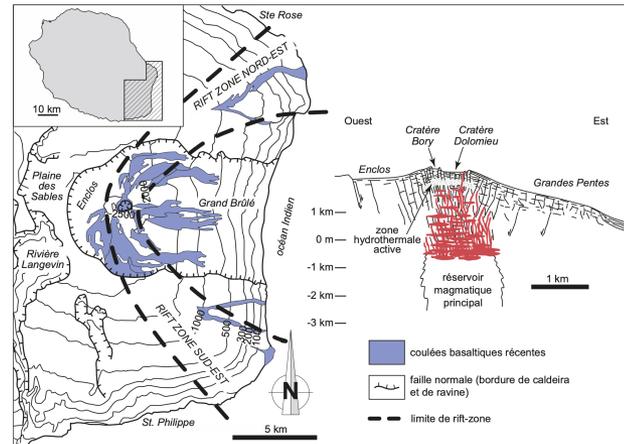
D'autres se produisent le long des fissures qui le joutent au niveau d'une vaste caldeira en forme de fer à cheval, l'Enclos, ouverte vers l'océan Indien à l'est. Les coulées s'étalent le long des Grandes Pentes pour atteindre le Grand Brulé et les plus importantes atteignent la mer.

#### Document 8 : Carte et coupe volcanologiques simplifiées du piton de la Fournaise (d'après Bachèlery et Lénat, 1993).

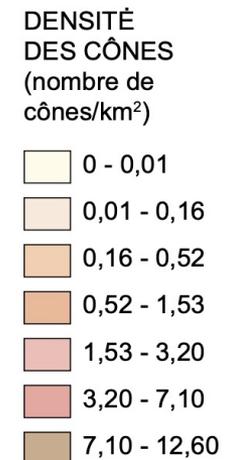
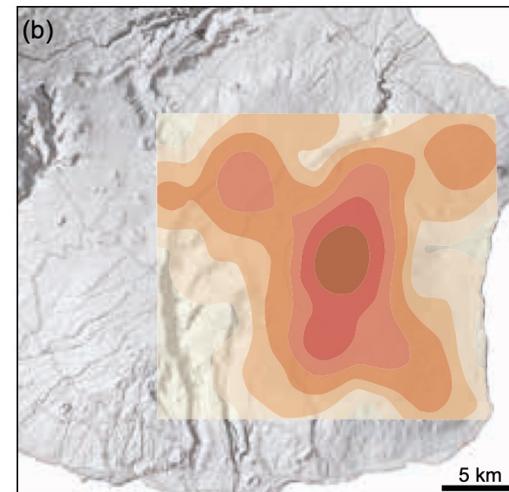
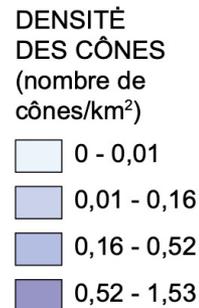
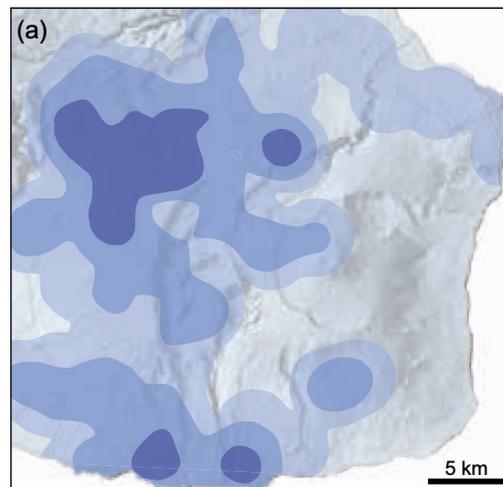


Le piton de la Fournaise est un **édifice composite**. Un grand nombre de cônes volcaniques de petite taille est associé au volcan central. Ils témoignent d'éruptions localisées de courte durée : **activité strombolienne**.

On accède à l'activité ancienne de la Fournaise par la datation des formations volcaniques, en particulier de ces cônes.

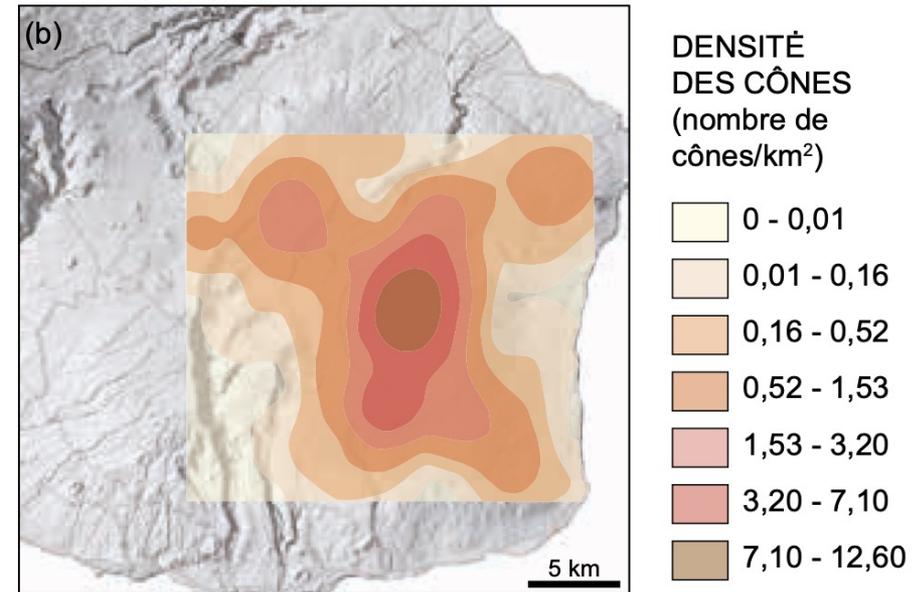
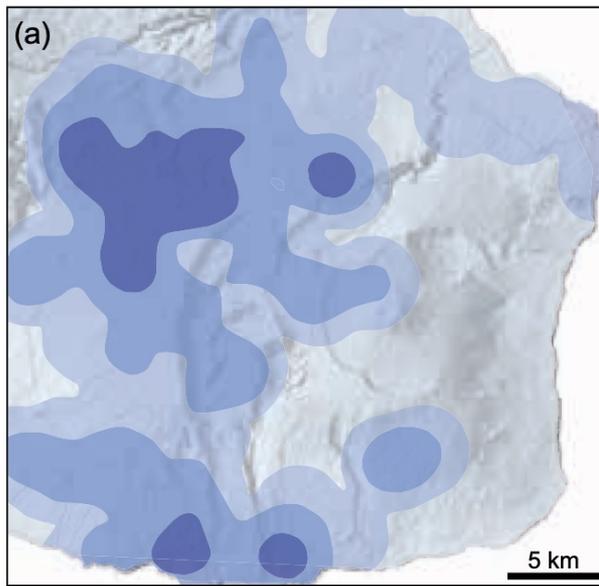


**Document 9** (a) Cônes anciens (entre 60 et 6 ka) ; (b) Cônes récents (entre 6 ka et l'Actuel). Les densités sont moyennées par unité de surface.



**Activité 2 :** Comparez les deux cartes A et B. Quelle conclusion peut-on tirer de l'évolution de l'activité du piton de la Fournaise au cours du temps ?

**Document 9** (a) Cônes anciens (entre 60 et 6 ka) ; (b) Cônes récents (entre 6 ka et l'Actuel). Les densités sont moyennées par unité de surface.



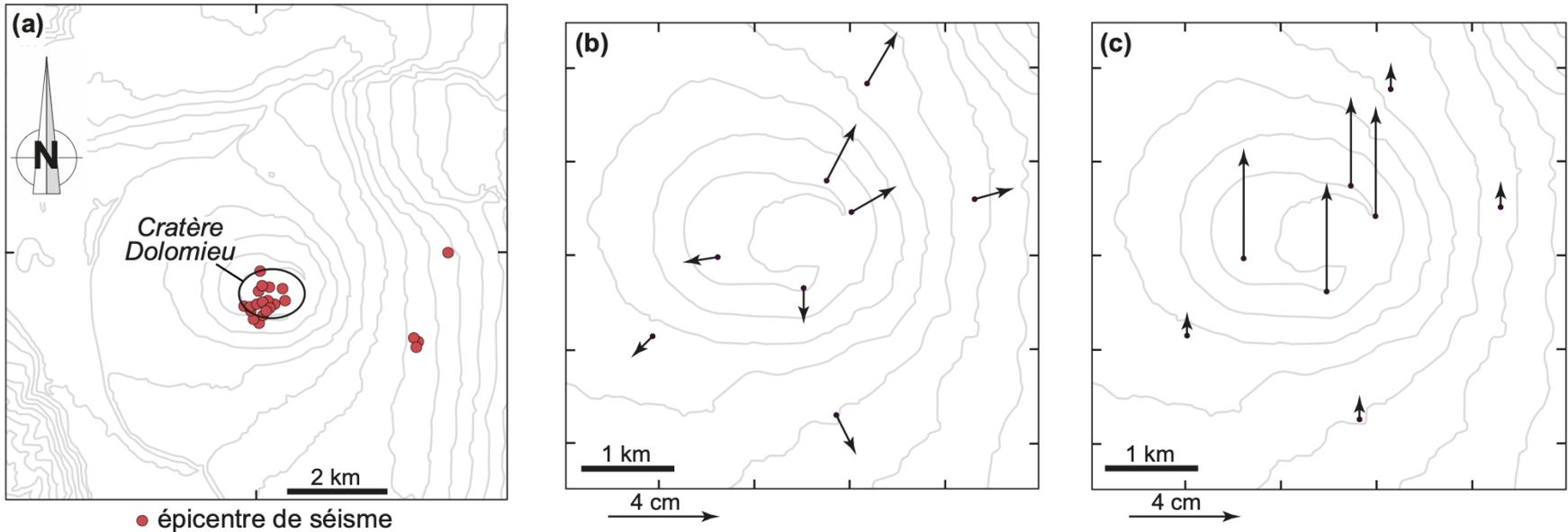
**Activité 2 : Comparez les deux cartes A et B. Quelle conclusion peut-on tirer de l'évolution de l'activité du piton de la Fournaise au cours du temps ?**

Les cônes volcaniques anciens se concentrent à l'ouest de l'Enclos. Les cônes récents et actuels se situent dans l'Enclos et à sa périphérie.

L'examen de la figure 8 suggère que les structures tectoniques qui **contrôlent l'édifice sont un ensemble de failles normales dont la plus importante a une forme en fer à cheval qui limite l'Enclos**. Ces failles sont les drains privilégiés qui permettent l'ascension des magmas qui alimentent les cônes en surface.

## Document 10 : Données d'observations obtenues avant un épisode éruptif du piton de la Fournaise en décembre 2005

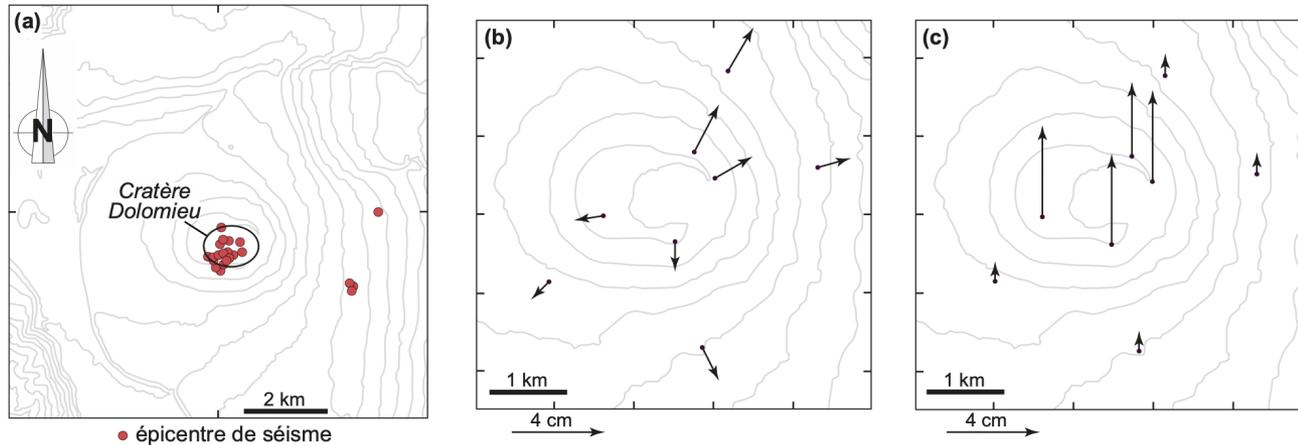
(d'après Peltier et al., 2008). (a) Carte des épicentres des séismes sur l'ensemble de l'Enclos ; (b) Données GPS des déplacements horizontaux au niveau du cratère Dolomieu ; (c) Données GPS des déplacements verticaux dans la même zone que (b).



**Activité 3 :** *Quelles informations peut-on tirer des données présentées ? En quoi sont-elles utiles à la prévision volcanique ?*

## Document 10 : Données d'observations obtenues avant un épisode éruptif du piton de la Fournaise en décembre 2005

(d'après Peltier et al., 2008). (a) Carte des épacentres des séismes sur l'ensemble de l'Enclos ; (b) Données GPS des déplacements horizontaux au niveau du cratère Dolomieu ; (c) Données GPS des déplacements verticaux dans la même zone que (b).

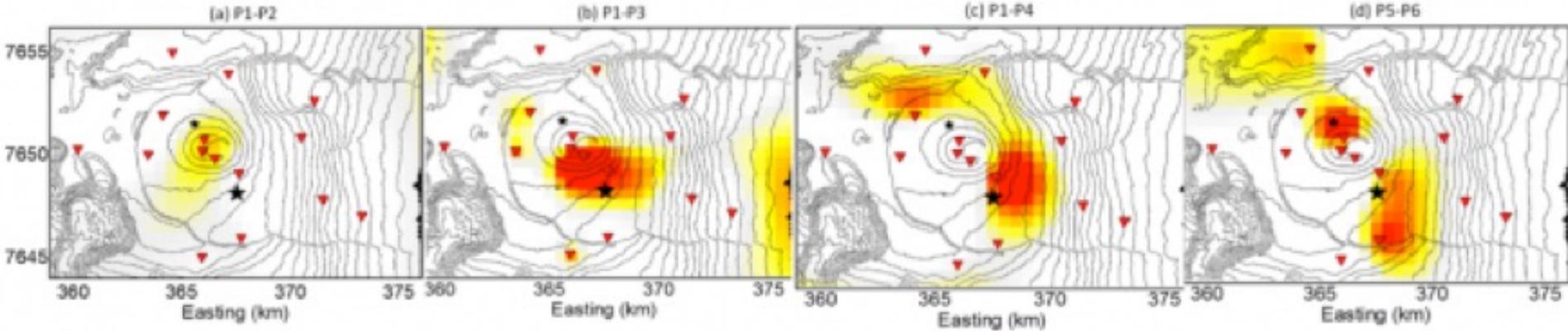
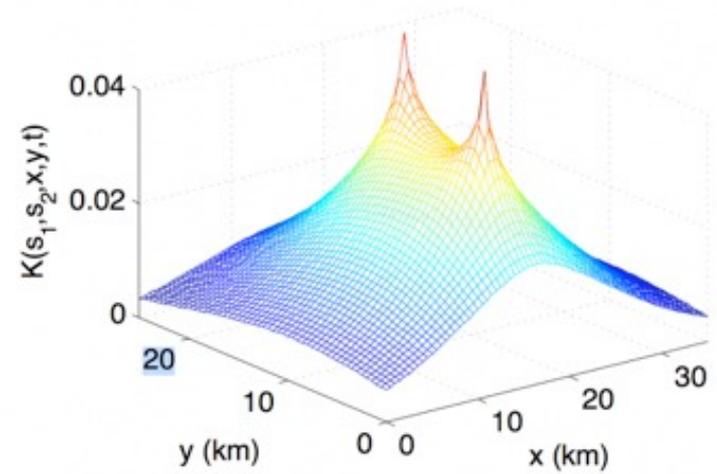


Pendant la période pré-éruptive, les **épicaentres des séismes se concentrent au niveau du cratère Dolomieu**. Quelques séismes se produisent au niveau des Grandes Pentes. Cette sismicité témoigne de l'ascension du magma, principalement à l'aplomb du cratère central. Les séismes périphériques sont à mettre en relation avec des injections dans des filons. Dès lors, des épanchements de lave sont possibles hors du cratère central.

Les données GPS, quant à elles, suggèrent un **gonflement de l'édifice** dont l'amplitude est maximale au niveau du cratère central. Cependant, les données des déplacements horizontaux montrent que la déformation est **maximale dans la partie orientale du cône central**. Ces données témoignent d'une **injection superficielle de magma** qui laisse présager d'un **épisode éruptif dans un proche futur**.

# Analyse du bruit sismique et localisation des futures éruptions volcaniques (in insu.CNRS.ff)

(a): Environ 3 sem avant l'érupt°, changements sous le cratère principal

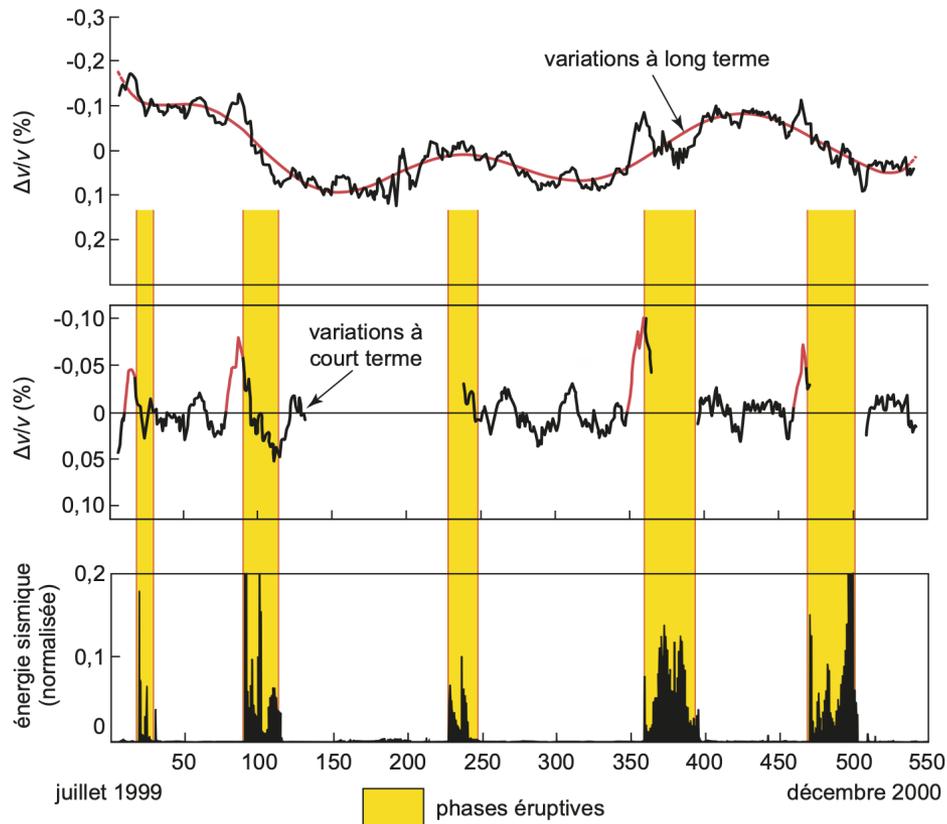


(b) : Environ 1 sem avant l'éruption, changements localisés à l'endroit de la future érupt° : fissure en préparation, par lesquelles le magma va s'injecter pour arriver à la surface ?

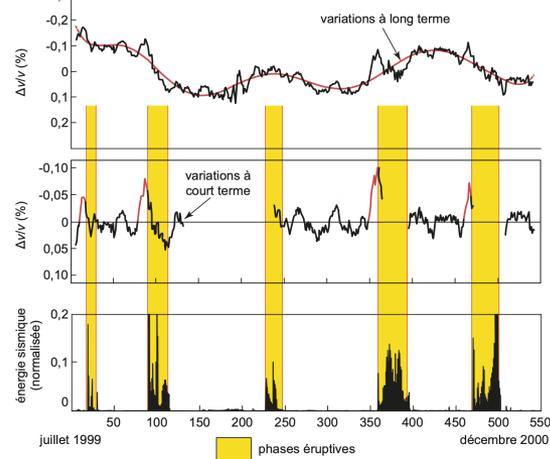
(c) : Pendant la première érupt°, les changements observés correspondent à l'épanchement du magma en surface. Observer au NW un changement annonciateur de la seconde érupt° (plus petite).

(d) : Durant la seconde éruption, les changements les plus significatifs interviennent autour du deuxième épanchement de magma

**Document 11 : Données sismologiques obtenues sur le piton de la Fournaise entre juillet 1999 et décembre 2000.** Les valeurs en abscisse indiquent le nombre de jours après le début des observations. Les courbes du haut donnent les variations des vitesses des ondes sismiques au niveau de l'édifice ( $\Delta v/v$ ) à long et court termes (remarquer la différence d'échelle des variations de vitesse pour les deux courbes). En bas l'énergie sismique dégagée (normalisée par rapport au bruit de fond considéré comme nul) est indiquée.



**Activité 4 :** Comment peut-on interpréter les variations de vitesse des ondes sismiques et de l'énergie sismique dégagée au niveau de l'édifice ?



La vitesse de propagation des ondes sismiques est fonction de la densité des matériaux rocheux traversés (impédance acoustique). Les variations de la vitesse des ondes à long terme présentent une certaine corrélation avec les épisodes éruptifs au cours du temps. La tendance apparaît plus nettement sur les données des variations de vitesse à court terme. Ces dernières montrent clairement un ralentissement qui précède de peu le début des phases éruptives.

Ces variations de vitesse de propagation sont à mettre en relation avec des variations de la densité des matériaux traversés.

Au cours des périodes pré-éruptives, l'ascension du magma (fluide chaud incompressible) conduit à un gonflement de l'édifice. Son augmentation de volume est liée à une baisse de la densité moyenne des masses rocheuses impliquées dans le gonflement. Par conséquent, la vitesse des ondes diminue.

Au cours des phases éruptives, l'énergie sismique dégagée est importante en raison de la fracturation des roches associée à l'ascension rapide du magma vers la surface et aux phénomènes de dégazage. L'épanchement du magma en surface s'accompagne d'une perte de matière dans les parties superficielles du volcan et, corrélativement, d'une augmentation de densité des volumes rocheux affectés.

On peut donc raisonnablement envisager qu'une baisse de la vitesse des ondes sismiques soit un phénomène précurseur des épisodes éruptifs imminents.

## II.4 Aléas volcaniques associés au piton de la Fournaise

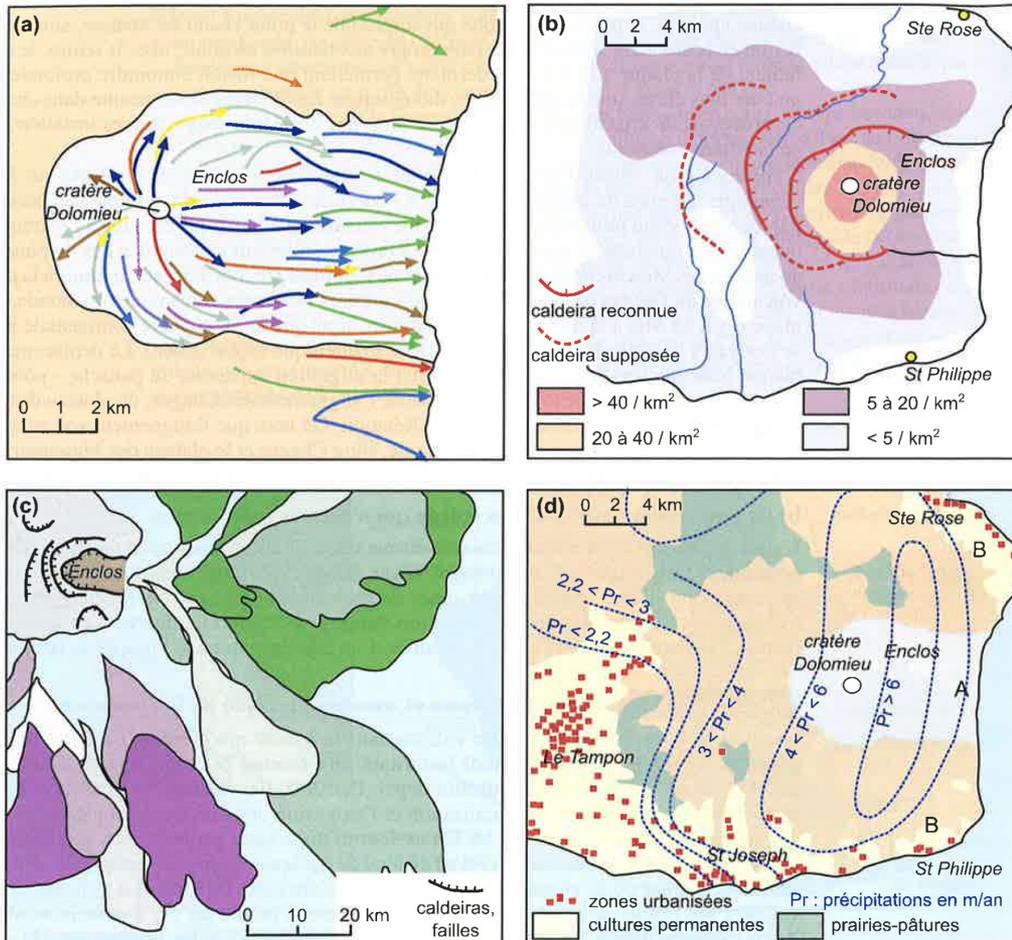
La localisation et l'extension des différentes coulées depuis 1950 ont été cartographiées ; la figure a du document en fournit une vision partielle mais représentative de l'ensemble. La vitesse des coulées est en général de quelques km/h sauf lorsqu'elles empruntent les lits de torrent où la vitesse peut ponctuellement atteindre **60 km/h**.

La structure même du volcan a fait l'objet de nombreuses études : elle laisse à penser qu'il y a emboîtement de plusieurs caldeiras (figure b) dont la plus récente, celle de l'Enclos Fouqué, date de -4,7 ka ; chaque caldeira qui correspond à un cratère d'effondrement circulaire ou elliptique consécutif à la vidange de la chambre magmatique est bordé d'une faille majeure qui est le lieu préférentiel d'infiltration des eaux météoriques ou de remontée des eaux géothermales. Le volcan est également parsemé de petits cônes stromboliens (quelques dizaines à centaines de m de diamètre) dont la densité est présentée sur la figure b.

L'érosion imprime également sa marque de manière très forte dans la morphologie de l'île en raison de l'abondance des précipitations sur sa façade orientale (figure d) et de l'architecture du volcan (pente, zones faillées, dépôts de pyroclastites ...) ce qui occasionne à terre divers types de mouvements de terrain (éboulements de falaises, glissements en masse de talus, de versants, coulées boueuses ...).

Par ailleurs les levés bathymétriques et acoustiques ont permis de dresser une carte de la distribution des avalanches de débris issus de vastes glissements sous-marins tout autour de l'île, dont tous les produits récoltés par dragage sont issus d'éruptions aériennes (figure c) ; certaines sont directement liées aux éruptions (rupture des flancs du volcan lors de l'injection de magma dans la chambre et gonflement de l'édifice); d'autres surviennent lors de crises sismiques ou à la suite de fortes pluies.

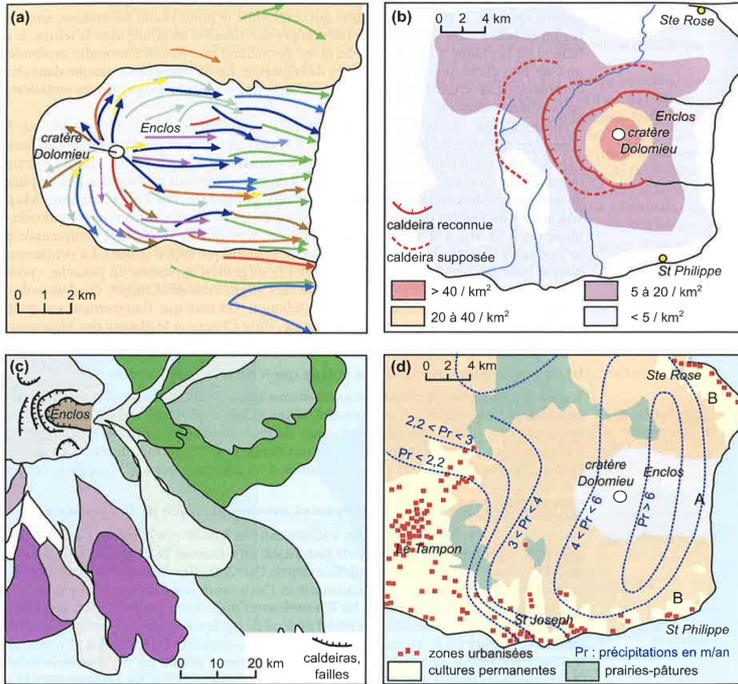
**Document 12 :** (a) Exemple de distribution des coulées de laves du Piton de la Fournaise sur la période historique; (b) position des caldeiras reconnues et supposées et densité des cônes stromboliens par km<sup>2</sup>; (c) distribution en mer des avalanches de débris sur le flanc est et sud du volcan ; (d) occupation du territoire du sud-est de l'île et cartographie de la pluviométrie.



**Activité 5 :** À partir des informations précédentes et compte tenu de la vulnérabilité des enjeux (carte de l'emprise des zones urbanisées et des cultures - figure d), discutez des aléas et risques, volcaniques et autres, de ce secteur.

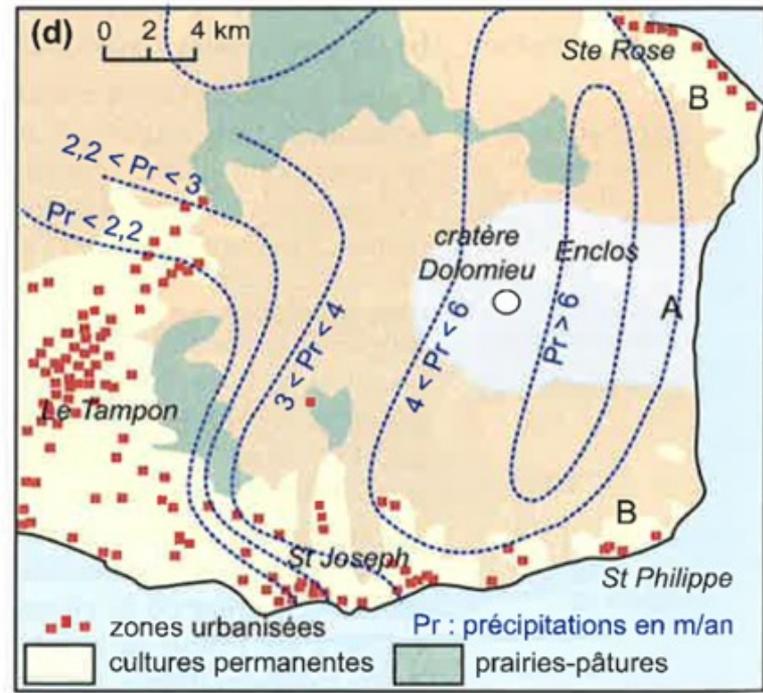
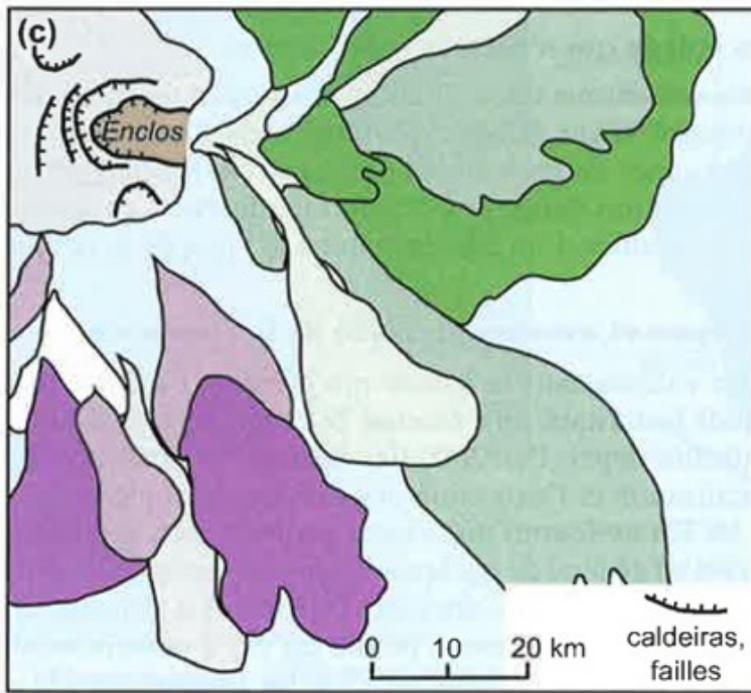
Comparez en particulier le risque volcanique au sein de l'Enclos (secteur noté A- figure d) et hors Enclos (secteur B).

La distribution des coulées du piton de la Fournaise (figure a) permet de constater que la grande majorité d'entre elles est circonscrite à l'Enclos et que les coulées hors Enclos sont assez rares



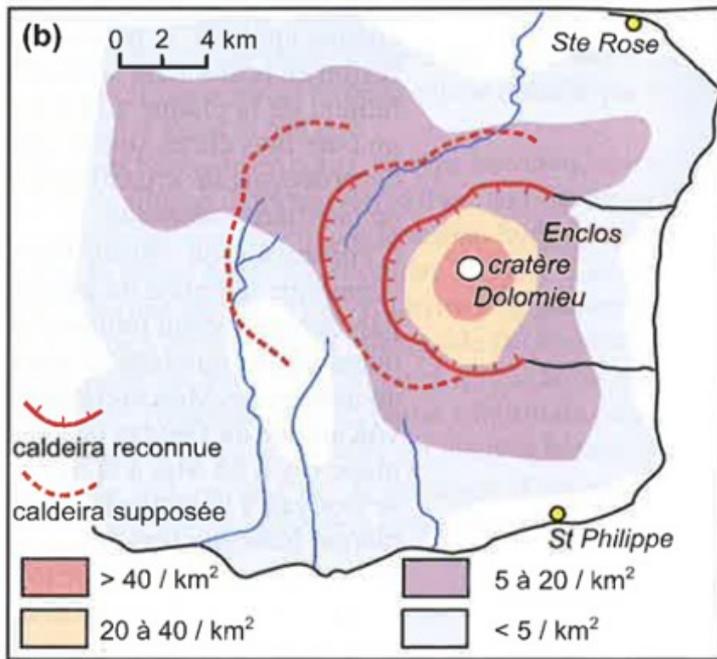
Mais en terme de risque (aléa X enjeux), il faut également prendre en compte la vulnérabilité du lieu considéré ; ainsi, dans le secteur A au sein de l'Enclos, l'absence d'urbanisation et d'implantation de cultures fait que le risque est très faible; à contrario, au niveau des secteurs B, où l'aléa volcanique est bien moindre (peu de coulées hors Enclos), le risque est plus élevé en raison de l'urbanisation, des zones agricoles, voire des ravines qui font que les rares coulées qui pourraient les emprunter se déplaceraient alors à grande vitesse (cas du village de Sainte Rose en 1977).

La comparaison des figures b et d montre que l'activité explosive des petits cônes stromboliens ne présente pas de risque important car elle se situe dans des zones non urbanisées et faiblement agricoles (pâtures surtout). Le risque y est donc limité et ce d'autant plus que l'aléa volcanique est faible.



Mais les risques ne se limitent pas aux seuls événements volcaniques répertoriés sur la période historique. La déstabilisation des versants lors ou en dehors des éruptions est un autre facteur de risque.

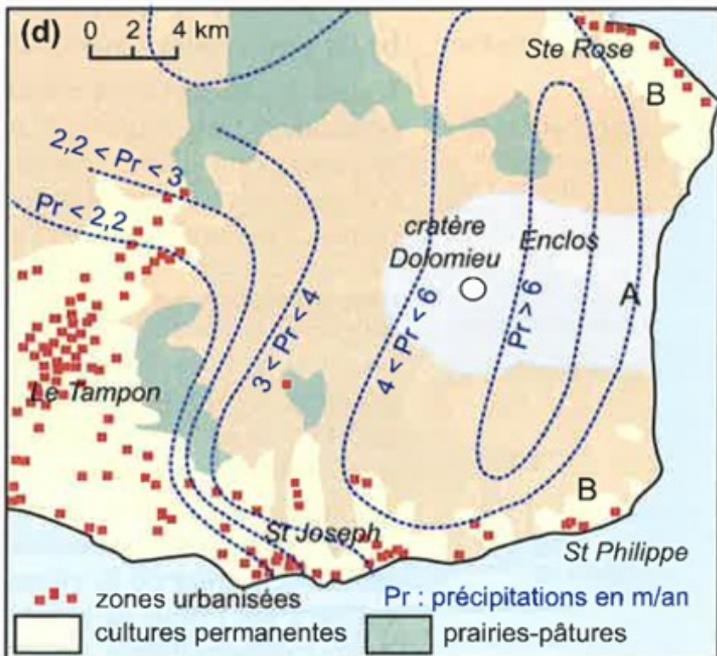
La figure c souligne la grande instabilité de ces derniers à moyen ou long terme sous forme d'avalanches de débris (aucune n'a été signalée sur la période historique soit depuis 1640 environ ce qui suggère un temps de retour de plusieurs siècles au minimum et donc une probabilité faible à l'échelle d'une vie humaine).



L'étendue des dépôts en mer traduit néanmoins l'ampleur des volumes engagés ce qui laisse à penser que ce sont des flancs entiers du volcan qui ont été impliqués à chaque fois.

La forme des amphithéâtres en fer à cheval qui relève d'une fracturation du bâti (figure b) est à ce titre typique des glissements de terrain.

Associée à la carte pluviométrique (figure d), elle permet de souligner le danger que peut représenter l'infiltration de grandes quantités d'eau le long des plans de rupture (réduction de la résistance des matériaux le long de surfaces de glissement par augmentation de la pression du fluide), processus qui risque à terme de déstabiliser tout l'édifice; l'activité sismique est souvent un facteur déclenchant.



Ce danger concerne donc l'ensemble des versants du volcan dont les bords nord et sud urbanisés (Ste Rose et St Philippe voire St Joseph).

# BILAN

C'est la prise en compte simultanée des aléas volcaniques (événements tant actuels qu'anciens) et climatiques (précipitations mais également cyclones dans le cas de la Réunion) qui permet de dresser des cartes de risque en fonction des enjeux humains et économiques.

La surveillance du volcan et les prévisions météorologiques sont autant de moyens visant à prévoir les événements potentiellement dangereux.

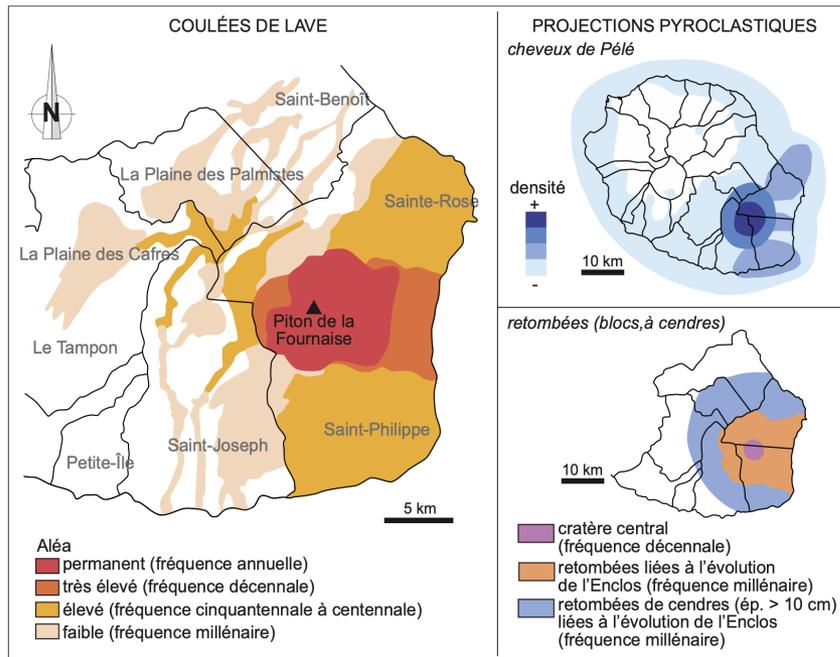
## II.5 Comparaison des cartes d'aléas volcaniques du piton de la Fournaise (île de La Réunion) et de la montagne Pelée (Martinique)

Le piton de la Fournaise : **activité effusive et fontaines de laves avec émissions de pyroclastes vitreux de petite taille (mm), les cheveux de Pélé.** Des épisodes explosifs se produisent également : émission de pyroclastes de taille variables (blocs, lapilli et cendres, des plus grossiers au plus fins).

La montagne Pelée : **comportement explosif dominant** avec émission de **panaches de cendres et d'écoulements pyroclastiques très dévastateurs** (ex. la destruction de la ville de Saint-Pierre le 8 mai 1902 ; 28 000 morts). La croissance de l'édifice s'accompagne de déstabilisations gravitaires (glissements de terrain volcaniques) et de l'écoulement de **lahars**.

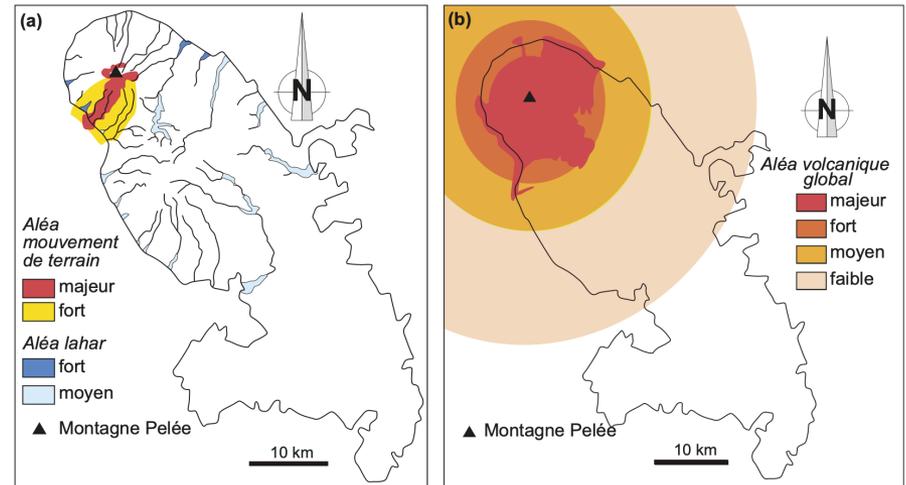
## Doc 13 : Cartographie des aléas volcaniques au piton de la Fournaise.

Les traits noirs sur les cartes indiquent les limites de communes



## Cartographie des aléas volcaniques à la montagne Pelée( : a)

Mouvements de terrain et lahars ; (b) carte de l'intensité potentielle des aléas volcaniques.

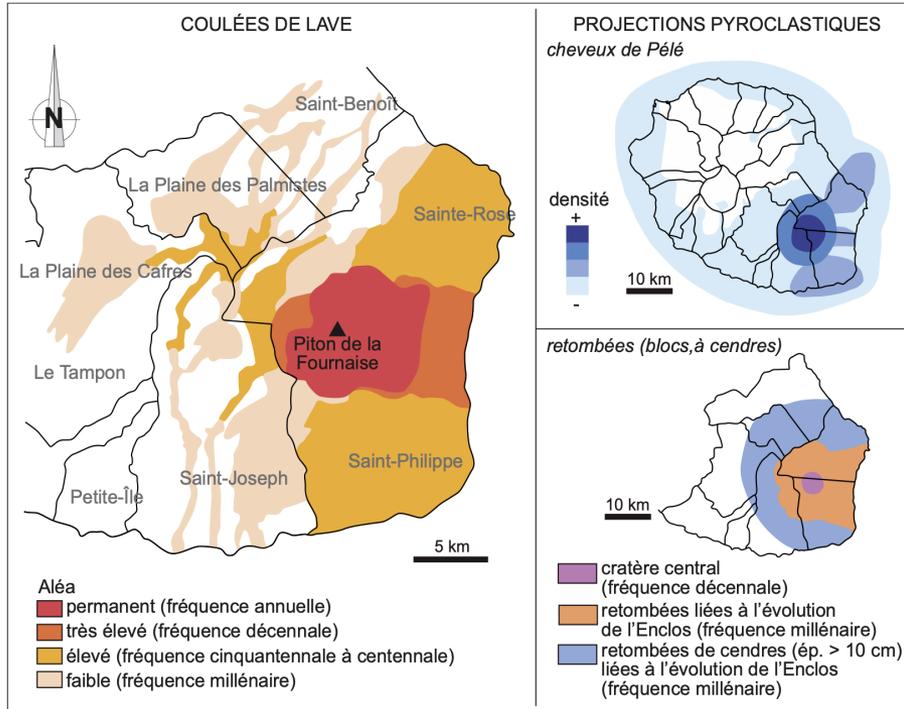


### Activité 6 :

a. Comparez les données reportées sur les deux cartes.

b. Discutez la notion de risque volcanique à la périphérie des deux édifices volcaniques. Quelles mesures est-il nécessaire de prendre dans chaque cas lors d'une crise volcanique

## a. Comparez les données reportées sur les deux cartes.

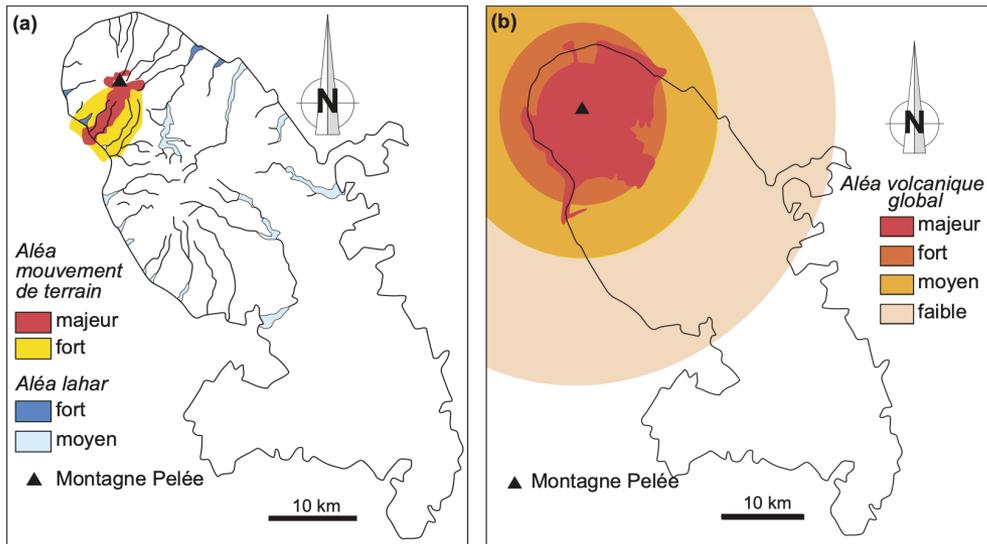


Autour du piton de la Fournaise, les coulées se limitent aux ravines qui incisent l'édifice et qui les canalisent.

Les coulées anciennes se répartissent à l'ouest du volcan alors que les plus récentes se localisent dans l'Enclos Fouqué et s'épanchent jusqu'à la mer. En termes de fréquence, l'aléa est le plus fort sur le versant oriental du piton de la Fournaise.

Des coulées issues d'éruptions fissurales peuvent se produire en dehors de l'Enclos sur les territoires des communes de Saint-Philippe et de Sainte-Rose.

Les dépôts de retombées pyroclastiques peuvent recouvrir des surfaces relativement importantes à la périphérie du piton de la Fournaise. Les retombées fines (cheveux de Pélé) se répartissent autour de l'édifice, tout d'abord au niveau des « rift-zones » où se produisent les éruptions fissurales accompagnées de fontaines de laves, mais également sur de plus vastes surfaces de l'île sous l'influence des vents (le massif du volcan du piton des Neiges est relativement épargné en raison de son altitude élevée).



À la Martinique, les mouvements de terrain se limitent aux pentes SW de la montagne Pelée (figure a). Les lahars, quant à eux, se produisent dans les vallées qui rayonnent autour du volcan (soit lors d'épisodes éruptifs ou encore par le remaniement de produits volcaniques préalablement déposés lors du passage des cyclones tropicaux).

Cependant, les aléas volcaniques les plus dangereux sont les retombées pyroclastiques qui se mettent en place lors des explosions majeures à la périphérie de la montagne Pélée. Les matériaux pyroclastiques affectent une surface qui correspond de fait à la zone d'aléa volcanique global majeur (figure b).

Cet aléa majeur se combine aux effets des mouvements de terrain. Plus loin, seuls les lahars et éventuellement les retombées pyroclastiques constituent un aléa d'ampleur plus faible.

Ainsi, les aléas ne sont pas semblables selon que le volcan présente une activité dominante effusive ou explosive

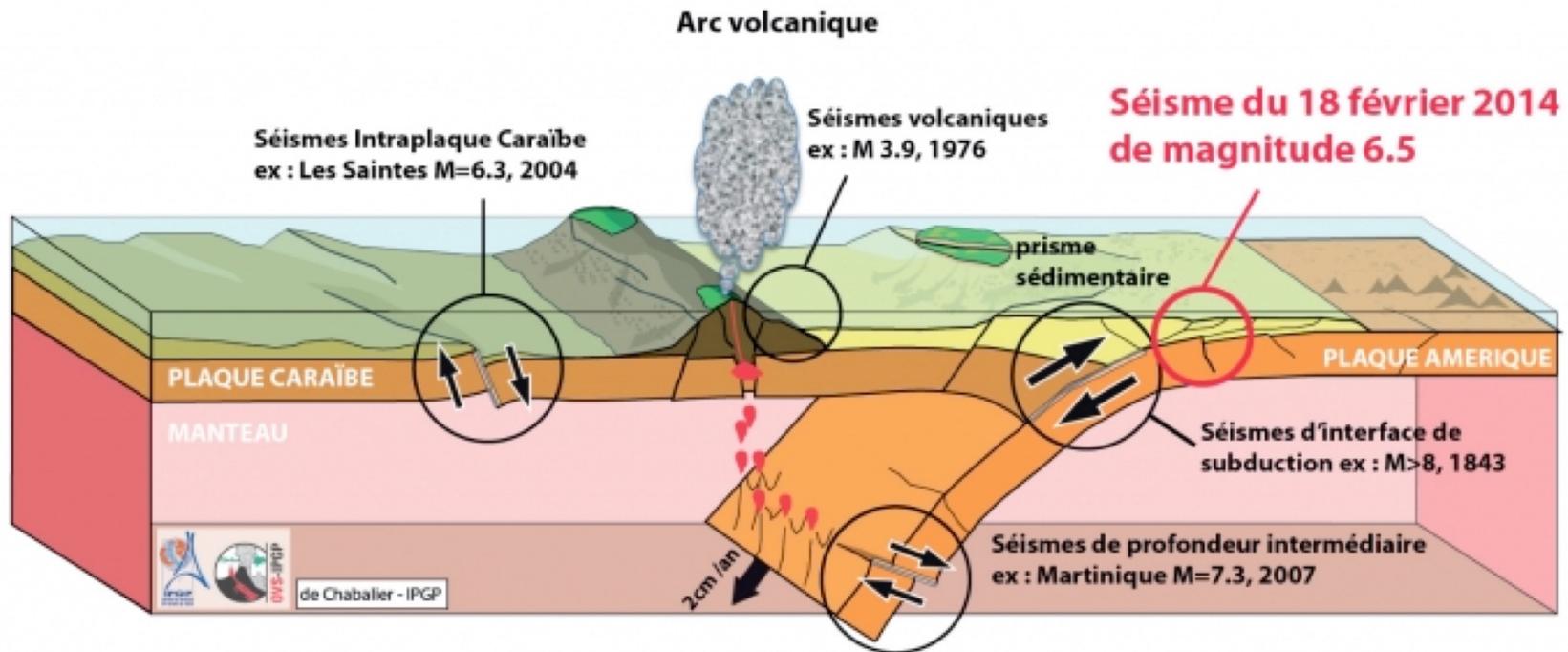
**b. Discutez la notion de risque volcanique à la périphérie des deux édifices volcaniques. Quelles mesures est-il nécessaire de prendre dans chaque cas lors d'une crise volcanique ?**

Les risques volcaniques n'existent que par la présence de populations et d'infrastructures humaines. Malgré les apparences, à La Réunion, le risque volcanique n'est pas plus important à l'est du piton de la Fournaise comme pourrait le laisser penser la fréquence élevée des coulées de lave. En effet, la vulnérabilité des enjeux est presque nulle car elle n'implique que la route côtière dans cette zone inhabitée. Cependant, en cas de crise volcanique, les autorités décident de la fermeture de la route côtière et l'interdiction d'accès des touristes à l'Enclos. L'aléa lié aux retombées pyroclastiques est plus important dans l'Enclos qu'à la périphérie du volcan comme l'indiquent les fréquences des événements. Par conséquent, le risque volcanique doit être considéré comme très faible à La Réunion.

La situation n'est pas identique à la Martinique. Le risque est principalement lié aux écoulements pyroclastiques et aux mouvements gravitaires qui sont susceptibles de toucher des villages dans la proche périphérie de la montagne Pelée.

Dès lors, le risque volcanique est relativement élevé à la Martinique et plus important qu'à La Réunion. En cas de crise volcanique, l'unique solution offerte aux autorités demeure l'évacuation des populations.

# Risques sismique et volcanique : une nécessaire surveillance

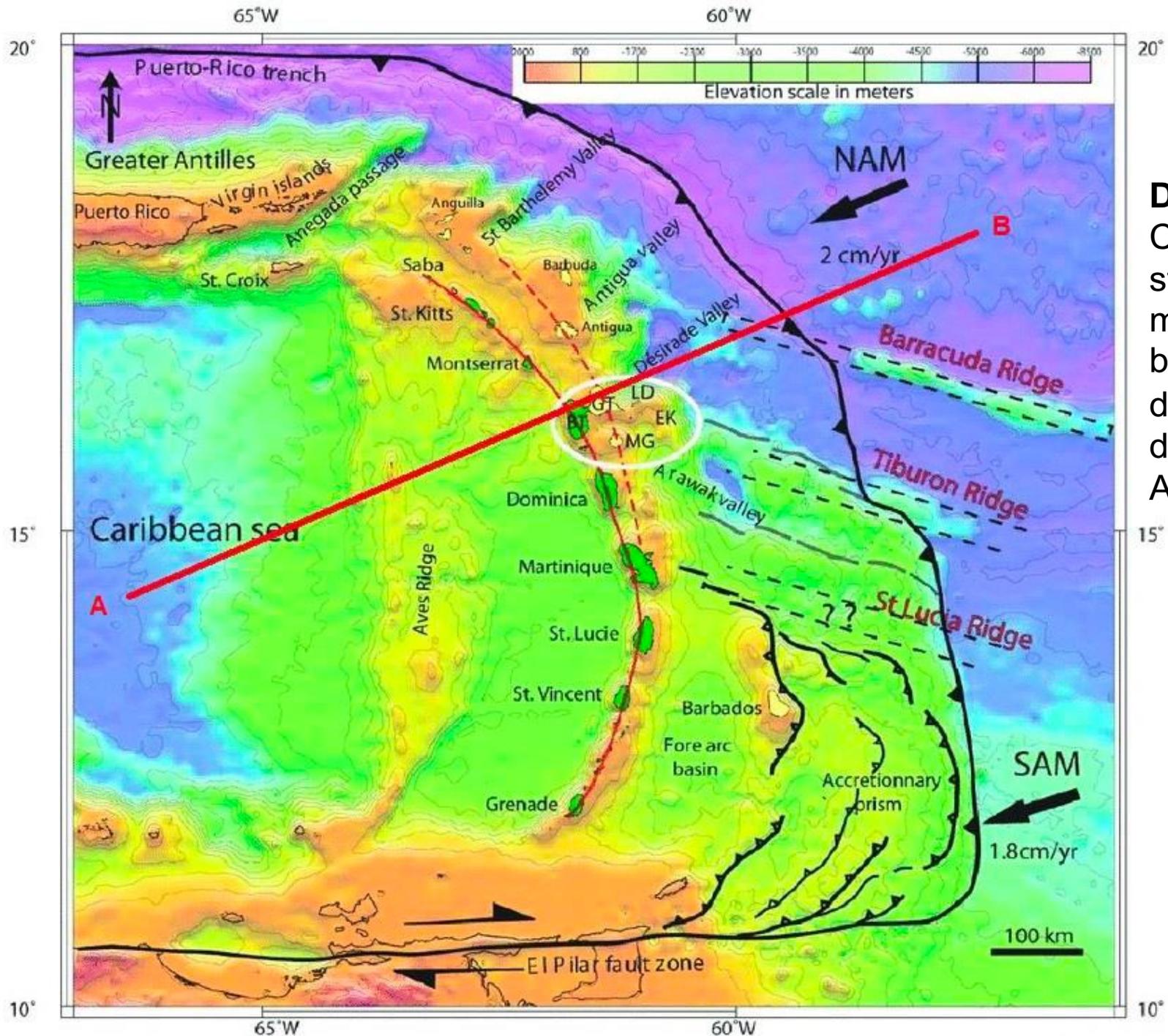


# GUADELOUPE ET MARTINIQUE : DES ILES DES ANTILLES FRANÇAISES

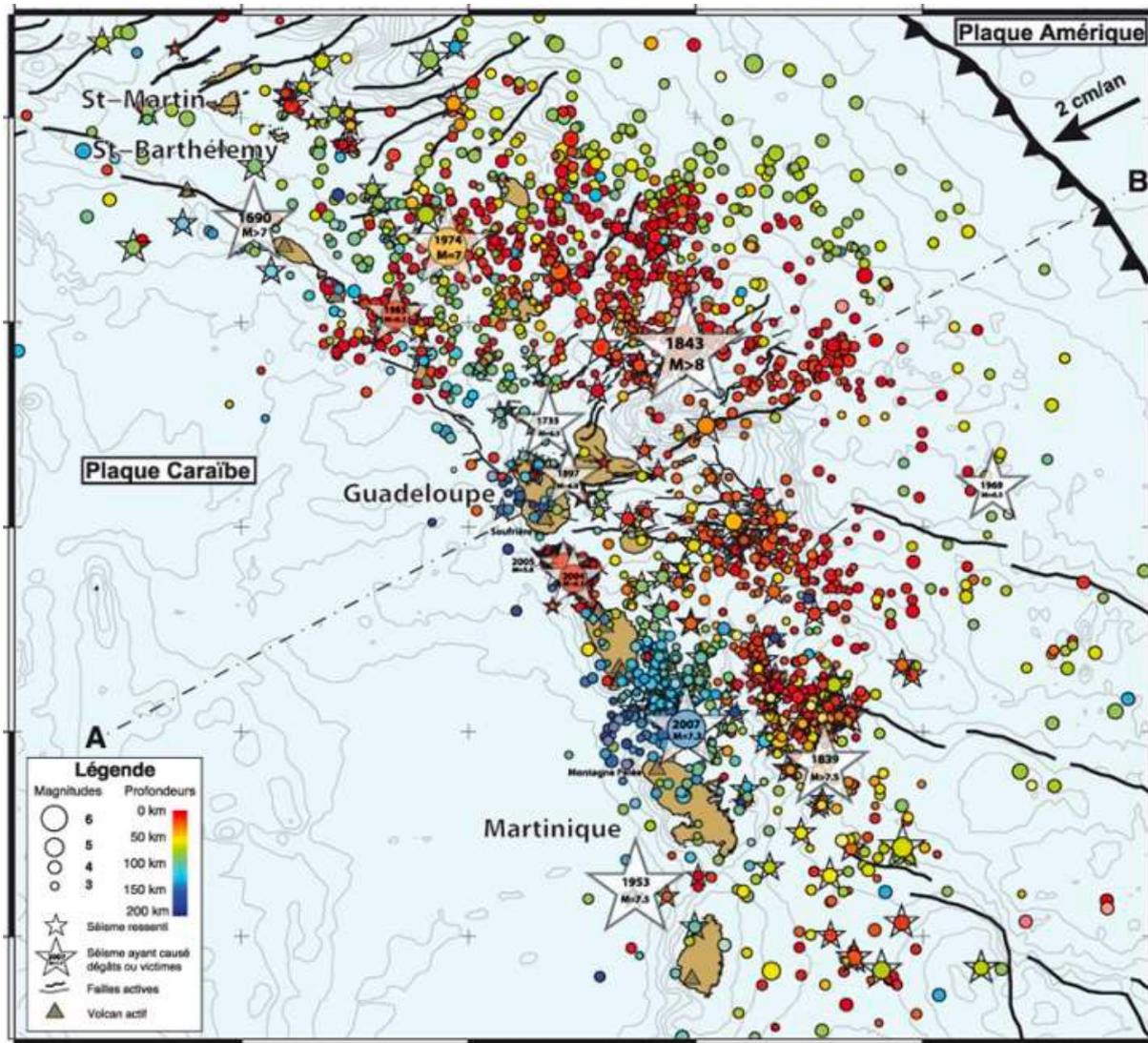
## Le contexte géodynamique des Petites Antilles







**Document 1 :**  
 Carte  
 structurale et  
 morpho-  
 bathymétrique  
 de l'archipel  
 des petites  
 Antilles

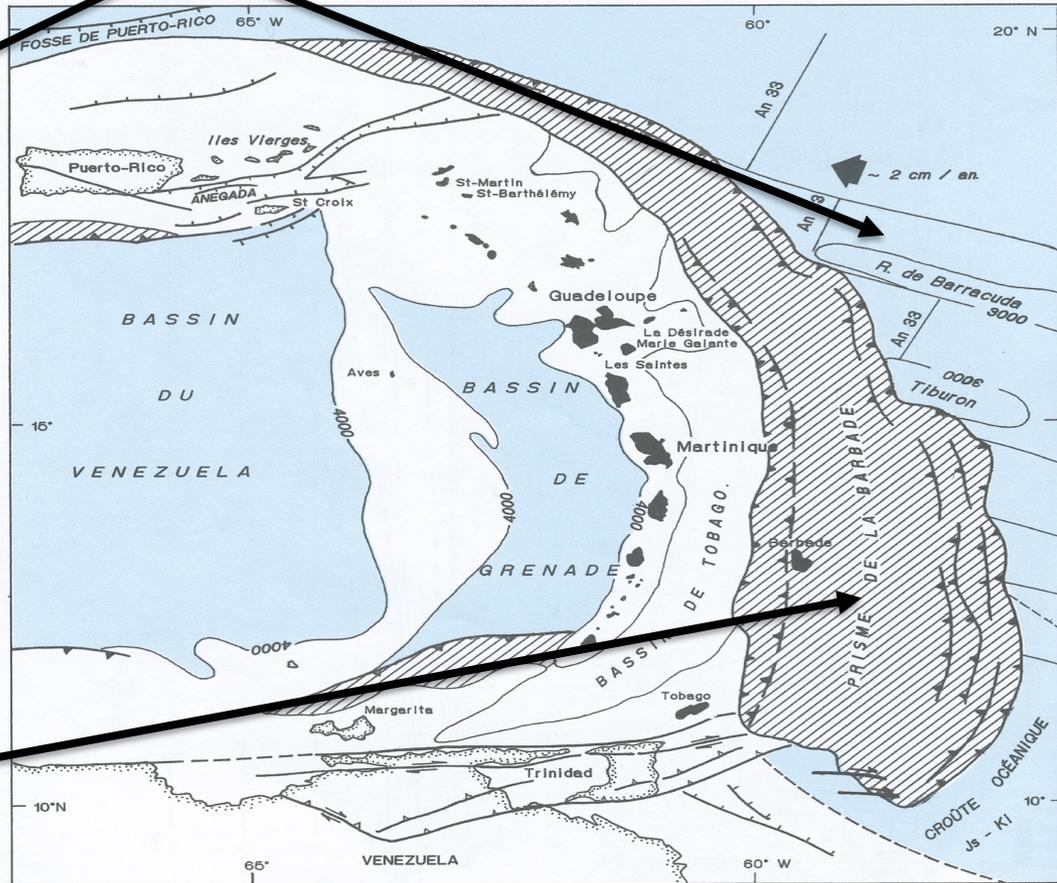
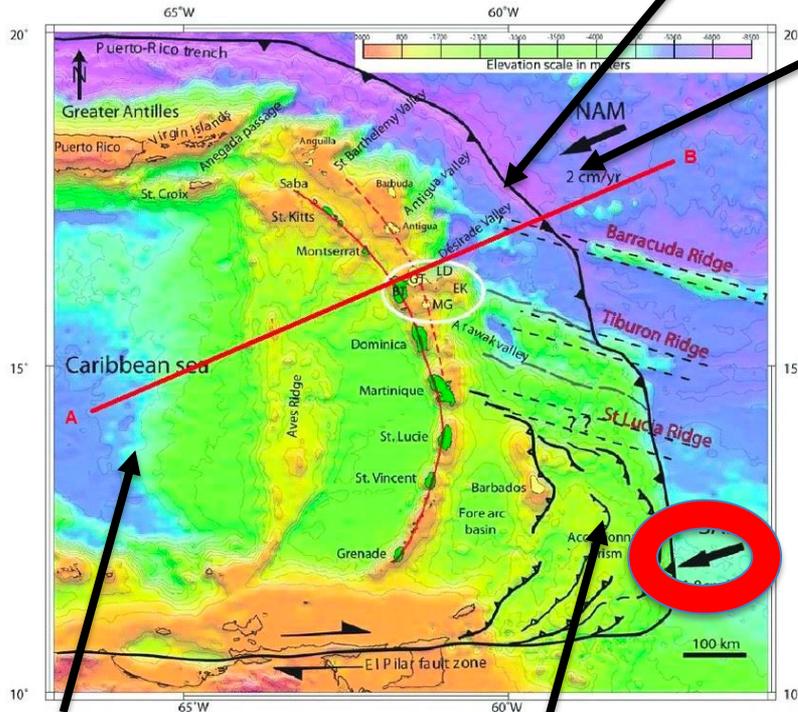


La région est caractérisée par une forte activité sismique et volcanique ; le document 2 recense l'ensemble des séismes (magnitude supérieure à 3) aux Petites Antilles entre 1996 et 2011.

**Document 2** : Carte de la sismicité d'une partie de l'arc des petites Antilles (source IPGP)

**chevauchement**

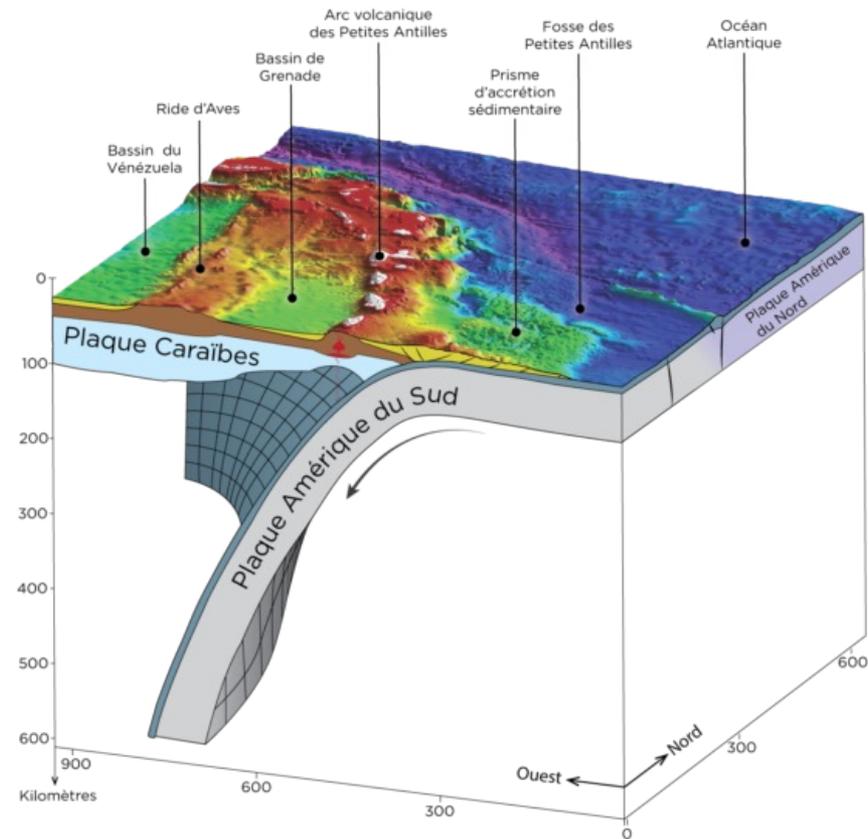
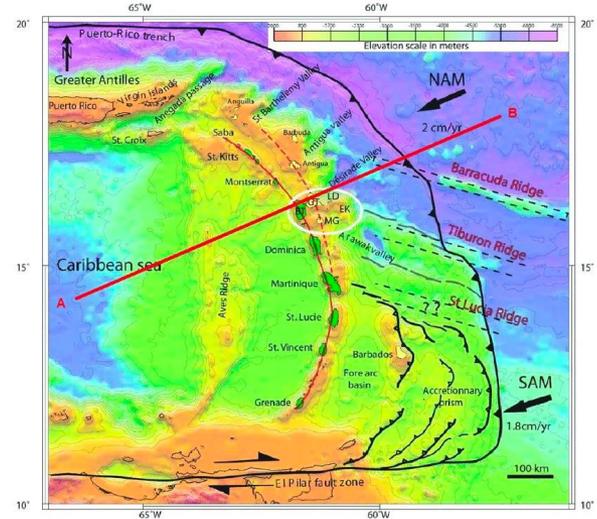
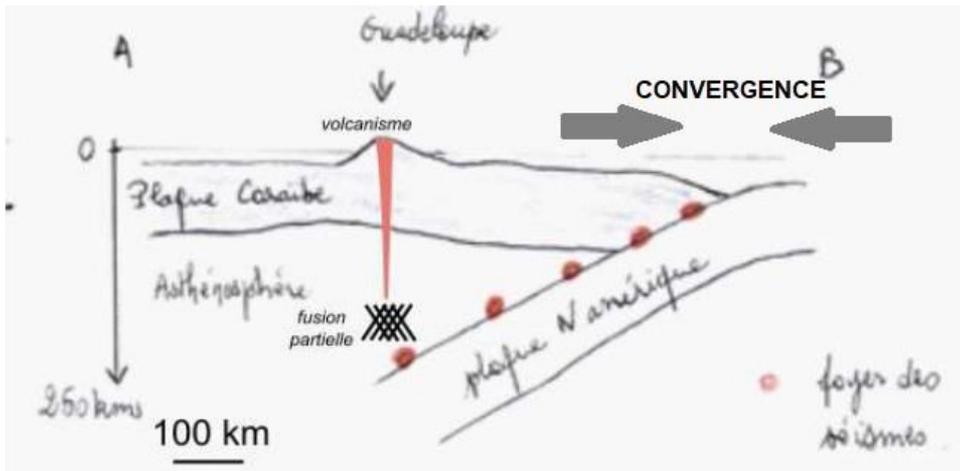
**fosse : plus de 5000 m**



**bassin d'arrière arc**

**prisme d'accrétion**

- la présence du figuré qui indique un **chevauchement** traduisant un contexte de convergence entre deux plaques avec la plaque située à l'Est, qui passe sous la plaque située à l'Ouest (noter la vitesse de déplacement vers l'Ouest de la plaque N Amérique qui confirme la convergence) ;
- la présence d'un **arc volcanique** : les petites Antilles ;
- la présence au contact des 2 plaques d'une zone de plus forte profondeur : **fosse : plus de 5000 m**
- la présence d'un **prisme d'accrétion** au Sud-Est de la carte ;
- la présence d'un **bassin d'arrière arc** : la mer des Caraïbes.



## II.6 Le magmatisme des Petites Antilles

Les différents volcans de Basse-Terre en Guadeloupe possèdent des morphologies différentes.

### Document 14 : Édifices volcaniques

Volcans de la Citerne



Volcans des Mamelles



**Activité 7 :** Déterminez les types éruptifs probables des volcans de la Citerne et des Mamelles, et le type de laves associées

## Volcans de la Citerne



## Volcans des Mamelles



Le volcan de la Citerne présente un **cratère circulaire** bien marqué ce qui fait penser à un **cône strombolien**, c'est-à-dire un **type éruptif mixte**, marqué par une alternance de coulées assez fluides (donc des laves pauvres en silice) et de petites explosions.

Les volcans des Mamelles ne présentent pas de cratère sommital, ils ont des formes de **dômes** et produisent des laves assez riches en silice qui s'accumulent sur place [*la lave est ici la dacite, une roche proche de la rhyolite*].

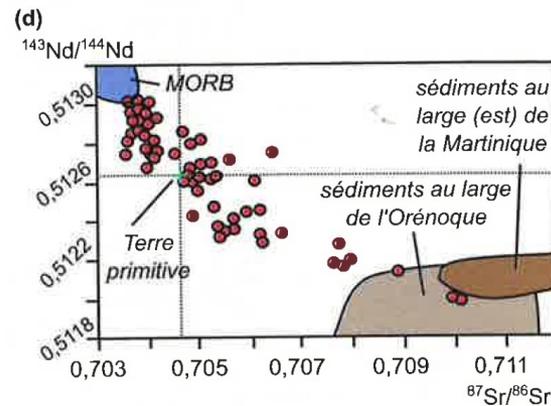
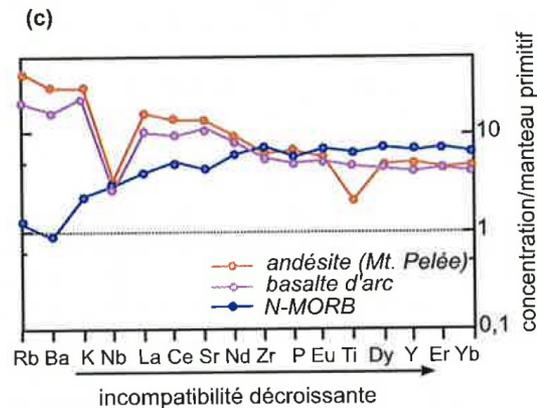
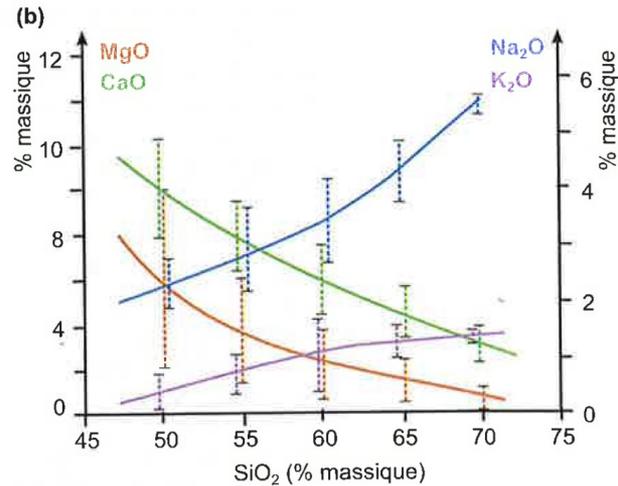
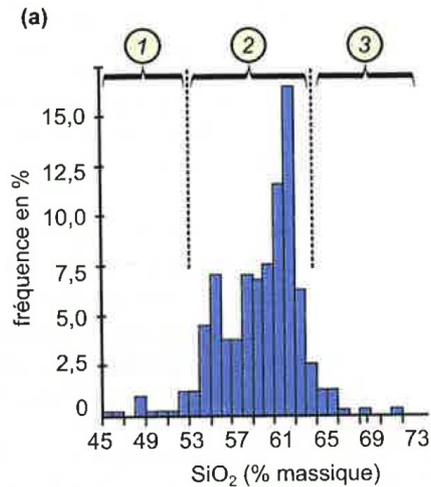
# Document 15 : caractéristiques des laves de la Martinique.

(a) Histogramme de fréquence des laves en fonction de leur teneur massique en silice ;

(b) évolution des concentrations en oxydes en fonction de la teneur en silice (*diagramme de Harker*) ;

(c) diagramme multi-élémentaire normalisé par rapport au manteau primitif ;

(d) compositions isotopiques en Sr et Nd.



## **Activité 8**

a) Qualifiez géochimiquement chaque catégorie 1, 2 et 3 et donnez le nom de la lave correspondante, compte tenu du contexte. À quelle série magmatique peut se rattacher cette association ?

- A partir de la composition chimique des diverses laves (b), quelle hypothèse peut être privilégiée pour expliquer cette diversité et pourquoi ?

- Sachant que les laves comportent majoritairement des plagioclases (du pôle anorthite, 45 % de SiO<sub>2</sub> au pôle albite, 62 % de SiO<sub>2</sub>) auxquels sont associés des pyroxènes (50 à 55 % de SiO<sub>2</sub>), un peu d'olivine (40 % de SiO<sub>2</sub>) et d'oxydes pour certaines d'entre elles, expliquez le principe du mécanisme retenu pour interpréter cette diversité.

Pour résoudre la question de la (des) source(s) du magma originel, il est fait appel aux diagrammes multi-élémentaires normalisés et aux compositions isotopiques des laves (figures c et d).

a) La catégorie 1 correspond aux laves basiques soit aux **basaltes** ; la catégorie 2 est celle des **laves intermédiaires avec comme représentants les andésites** ; la catégorie 3 relève des **laves acides avec dacite et rhyolite comme laves de référence**.

La faible représentation des basaltes et la fraction largement majoritaire d'andésites sont des caractéristiques de la **série calco-alkaline**.

L'évolution des éléments majeurs (exprimés sous forme d'oxydes) apparaît continue avec une décroissance graduelle (appauvrissement) de Mg, Ca, et l'enrichissement en alcalins ; cette double tendance, régulière pour chaque élément, suggère l'existence **d'une source magmatique unique qui aurait connu une différenciation par cristallisation fractionnée**. Il serait possible de l'expliquer en se référant aux laves les plus pauvres en silice, les basaltes, qui pourraient s'apparenter à un magma originel, et en leur appliquant un processus de cristallisation fractionnée : la cristallisation précoce de plagioclase calcique (45 % de silice) accompagné d'olivine (40 % de silice) et d'oxydes (0 % de silice) au sein d'un magma basique (basaltique) est en mesure d'enrichir le magma restant en silice et en alcalins. Les pyroxènes peuvent conduire au même résultat sur des termes déjà partiellement différenciés (plus de 55 % de silice).

*b) Que peut-on déduire de ce diagramme en termes de source magmatique et comment interpréter les différences entre les basaltes des Petites Antilles et les andésites de la montagne Pelée ?*

*Dans quelle mesure les compositions isotopiques confortent-elles et précisent-elles la réponse à la question précédente ?*

**b)** Si les MORB sont issus d'un manteau supérieur appauvri en éléments incompatibles (par suite de la production de croûte continentale au cours de l'Archéen), les basaltes d'arc qui présentent un spectre enrichi en éléments les plus incompatibles et assez identique à celui des N-MORB pour le reste amènent à conclure à **une source mantellique elle-même enrichie**.

La comparaison entre les laves des Antilles et les basaltes des dorsales se justifie par le fait que les **magmas sources sont tous deux issus du manteau supérieur** (le plan de subduction sépare l'arc volcanique de toute relation avec le manteau inférieur par ex.).

Les compositions isotopiques (figure d) montrent nettement un enrichissement assez général en  $^{87}\text{Sr}$  des laves des Petites Antilles et un appauvrissement en  $^{143}\text{Nd}$ . L'enrichissement en  $^{87}\text{Sr}$  est le fait d'un enrichissement en élément père  $^{87}\text{Rb}$ , élément très incompatible (figure c) alors que l'appauvrissement en  $^{143}\text{Nd}$  est le fait du caractère plus compatible de son élément père,  $^{147}\text{Sm}$ . Cet enrichissement, fort modeste pour la moitié des échantillons qui se cantonnent dans le champ d'un manteau appauvri à l'image des MORB, caractère de manteau supérieur, peut être très conséquent pour certaines laves.

La confrontation avec la qualité isotopique des sédiments du prisme sédimentaire suggère que ce seraient ces derniers ou du moins la fraction entraînée dans le plan de subduction à l'origine de cet enrichissement. On peut donc supposer que **les sédiments, via les fluides qu'ils produisent lors de leur métamorphisme au sein du plan de subduction, participent à la formation des magmas d'arcs**.

**BILAN** : L'origine des Antilles est **volcanique** : elles résultent de la subduction de la plaque Atlantique sous la microplaque Caraïbe. Un magmatisme de subduction est associé.

L'arc insulaire des Petites Antilles est bordé à l'est par une fosse de plus de 5 000 m de profondeur. Il est le lieu où se concentre une triple anomalie géophysique (mécanique, thermique et gravitaire), caractéristique d'une limite latérale convergente entre deux plaques : subduction de la portion ouest de la lithosphère atlantique (plaque Amérique) sous la plaque Caraïbe.

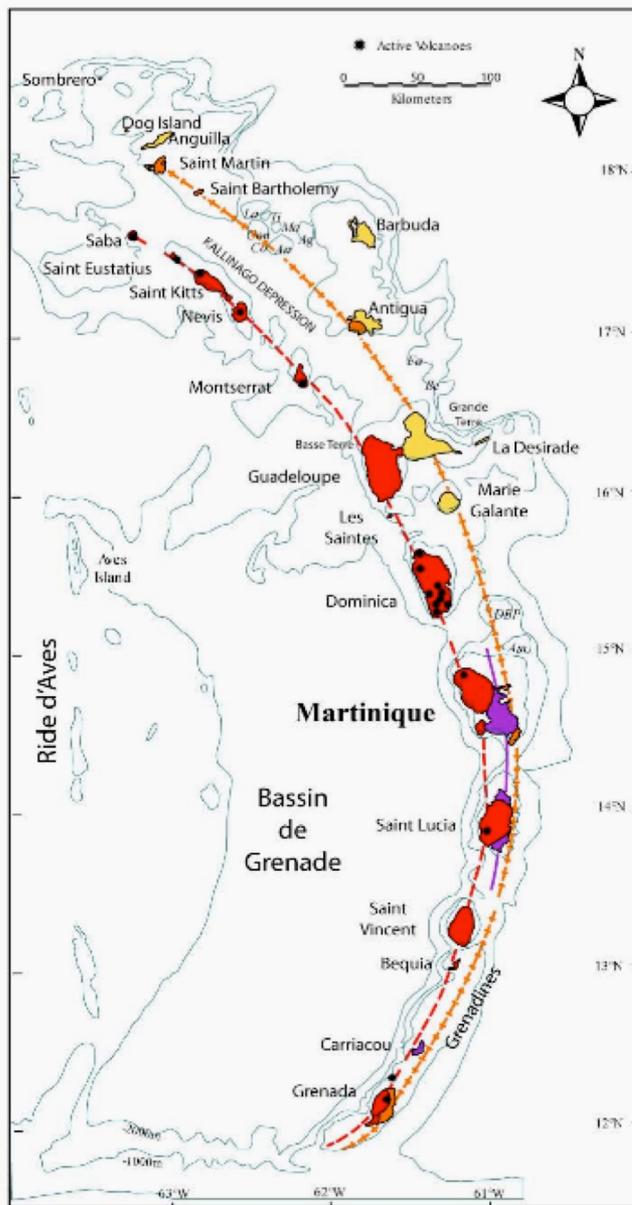
On observe :

- A l'est : un **arc externe ancien** (actif à l'Eo-Oligocène), constitué de **volcans éteints** (comme à Saint Martin et Saint Barthélemy) et par le socle volcanique de la Grande Terre de Guadeloupe.
- A l'ouest : un **arc interne, récent, actif** depuis le Miocène, dont la convexité est plus importante et composée de volcans actifs, comme à Basse-Terre (Soufrière Guadeloupe) ou la Martinique.

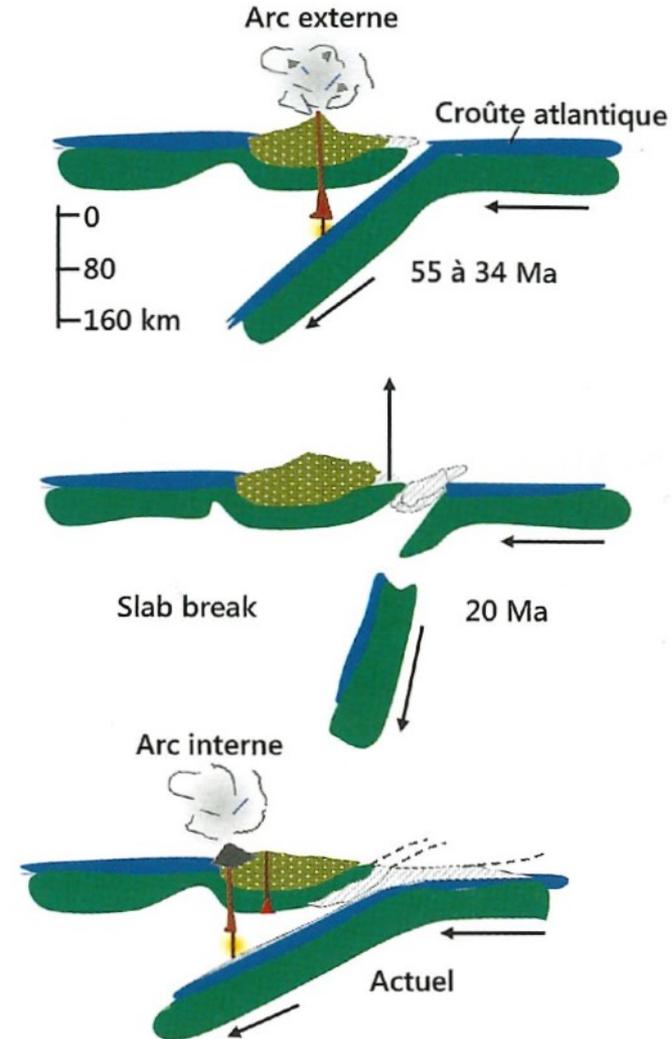
Les deux îles qui constituent la Guadeloupe ont donc été structurées à deux périodes distinctes.

L'étude chronologique précise des terrains montre que le volcanisme a subi une interruption d'environ 10 Ma à la fin de l'Oligocène. Cet arrêt s'interprète par le blocage de la subduction. Sa reprise au début du Miocène se serait effectuée selon un plan moins incliné, entraînant le développement d'un arc volcanique plus à l'ouest.

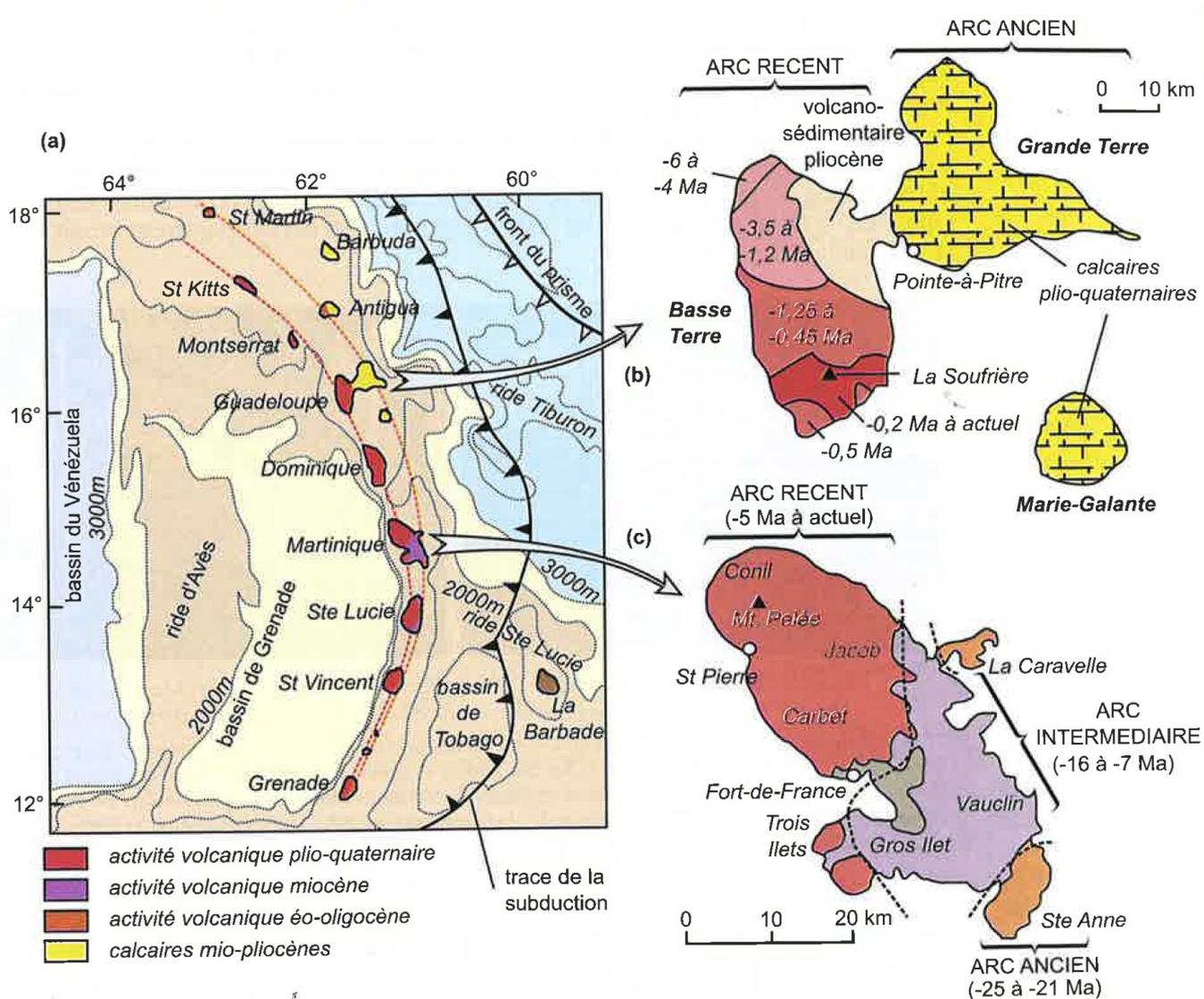
# Document 16 : Évolution du contexte de subduction dans la région des Antilles et de la position successive de l'arc insulaire



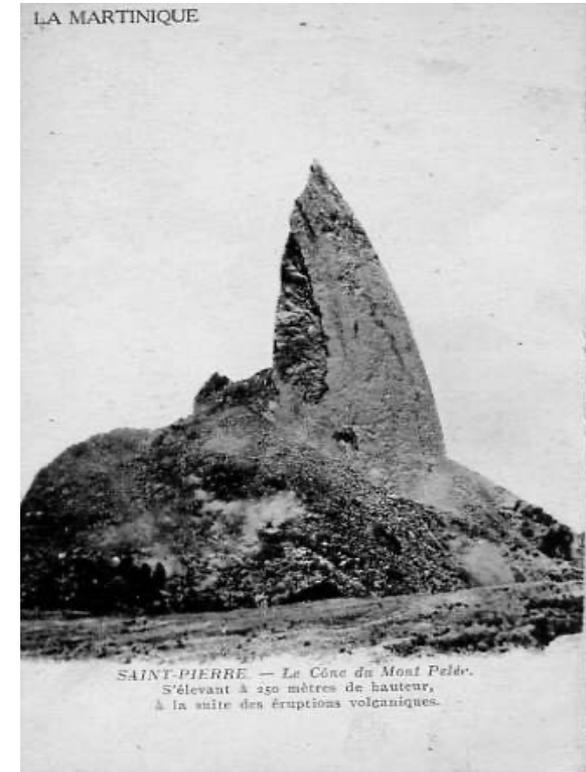
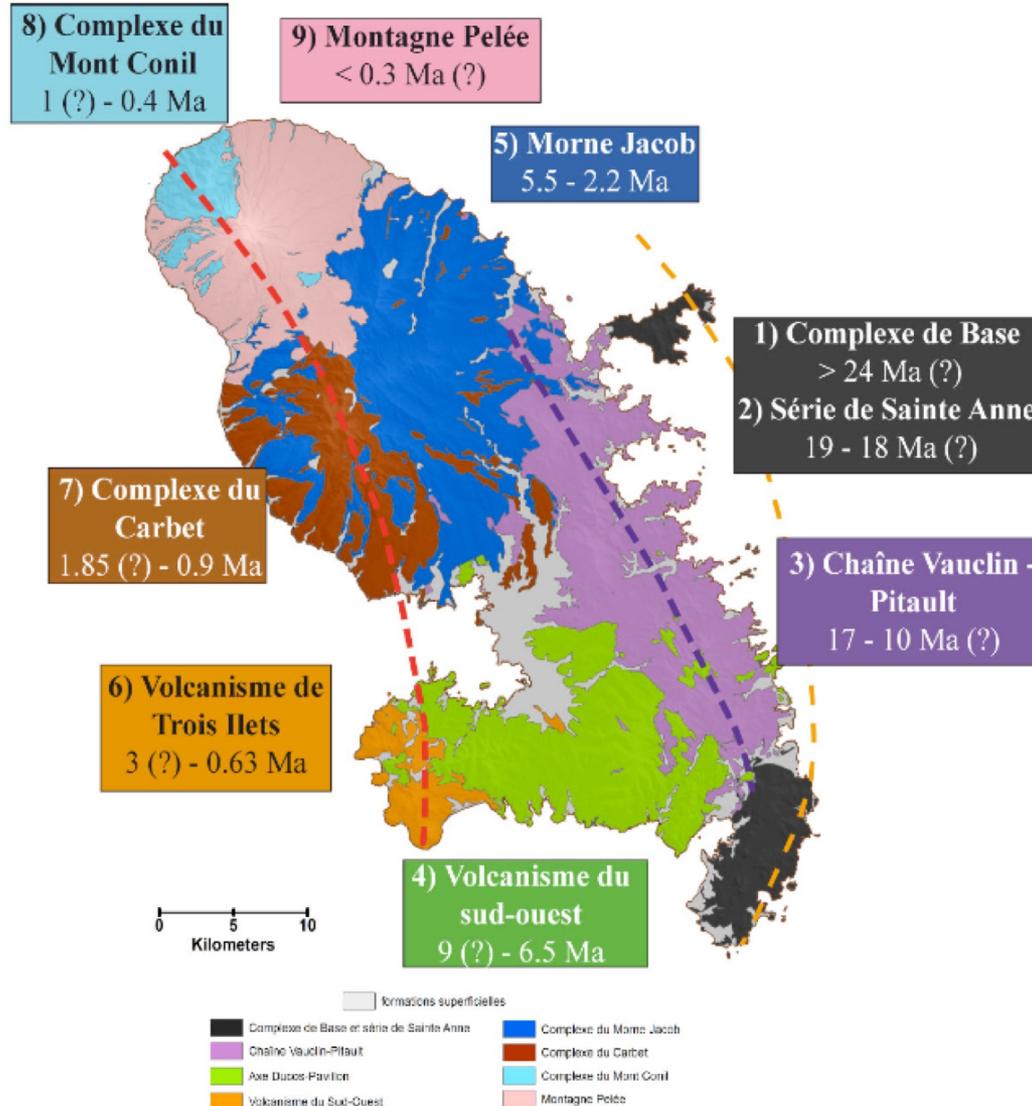
Stratigraphy	Volcanic deposits	Limestones	Volcanic Arcs
Plio-pleistocene	<span style="color: red;">■</span>	<span style="color: yellow;">■</span>	Active arc <span style="color: red;">—</span>
Miocene	<span style="color: purple;">■</span>	<span style="color: yellow;">■</span>	Intermediate Arc <span style="color: purple;">—</span>
Eocene - Oligocene	<span style="color: orange;">■</span>	<span style="color: yellow;">■</span>	Older arc <span style="color: orange;">—</span>



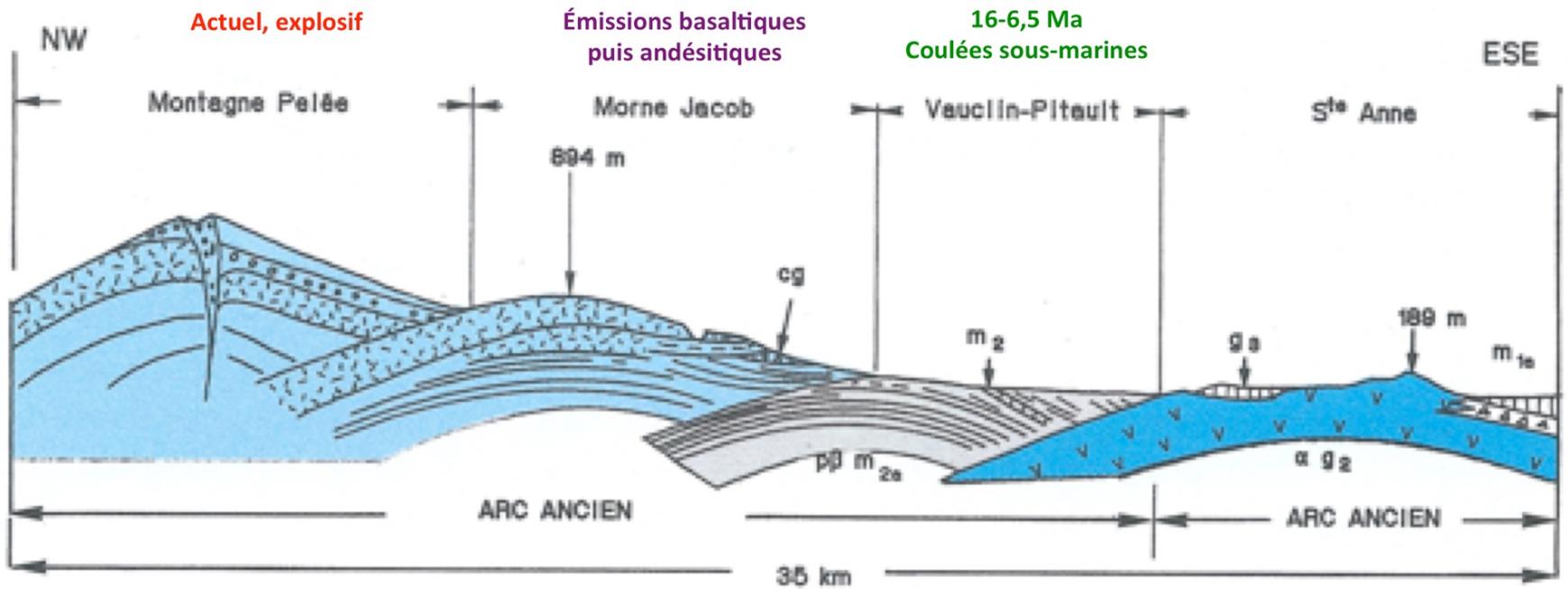
(a) L'arc volcanique double des Petites Antilles; (b) carte géologique simplifiée de l'archipel de la Guadeloupe; (c) carte géologique simplifiée de la Martinique.



# La Martinique renferme les témoins de l'activité volcanique de l'arc depuis 24 Ma.



b : coupe schématique (g : oligocène ; m : miocène et cg : conglomérat)

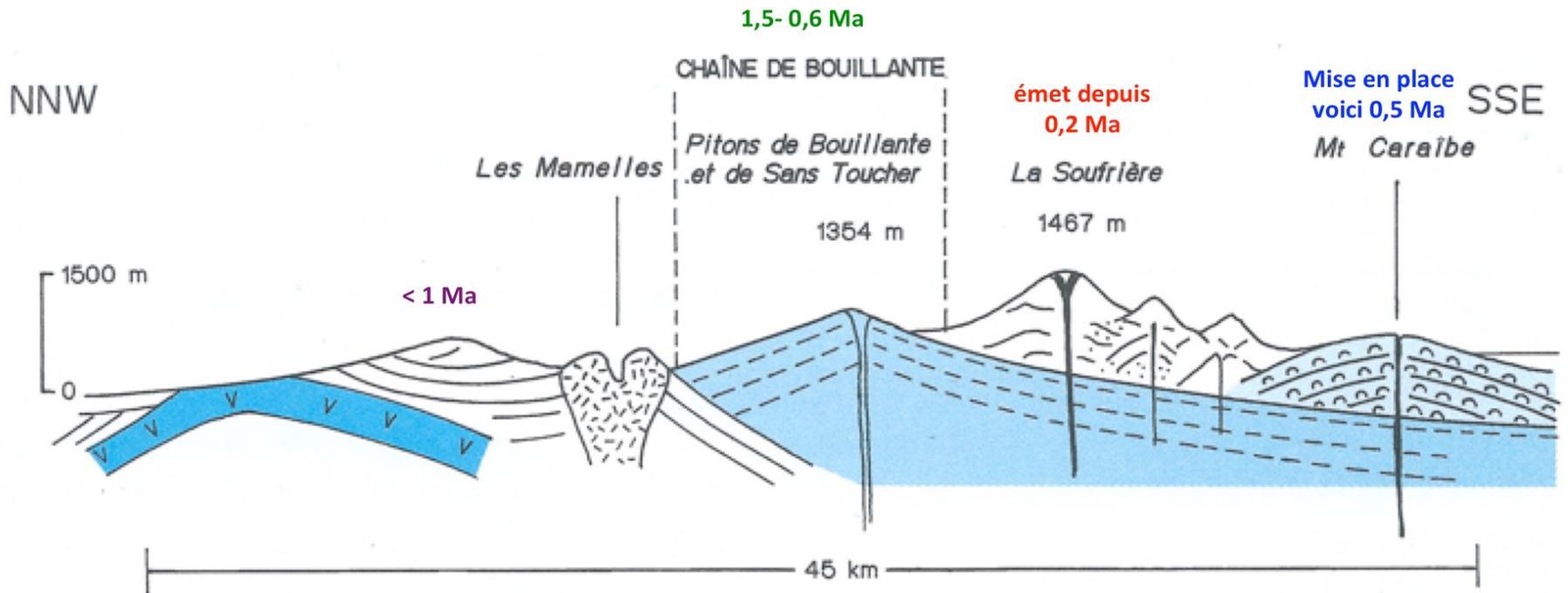


## La Guadeloupe : un archipel au cœur des Petites Antilles



# Archipel de Guadeloupe

c : coupe schématique du domaine volcanique de basse Terre



### III- LES RESSOURCES GEOLOGIQUES ET LEUR EXPLOITATION RAISONNEE

Une ressource géologique est une propriété locale de la lithosphère exploitée par l'homme.

Les principales sont l'eau douce, des substances minérales (matériaux ou minerais) et des substances organiques (charbons, hydrocarbures). Une ressource est extraite d'un gisement, dont la formation généralement implique des processus de concentration

#### III.1- Diversité des ressources géologiques et répartition

- Ces ressources sont **renouvelables** si leur stock peut se reconstituer sur une période courte à l'échelle humaine (quelques dizaines d'années).
- Elles sont **non renouvelables**, si elles ne se reconstituent pas ou si leur reconstitution est très lente (plusieurs milliers voire millions d'années).

**A- Les matériaux de carrière (matériaux de construction) :  
ressources généralement abondantes**

**B- Les gisements d'eau douce : lacs, rivières et aquifères :  
ressource fondamentale à usages multiples**

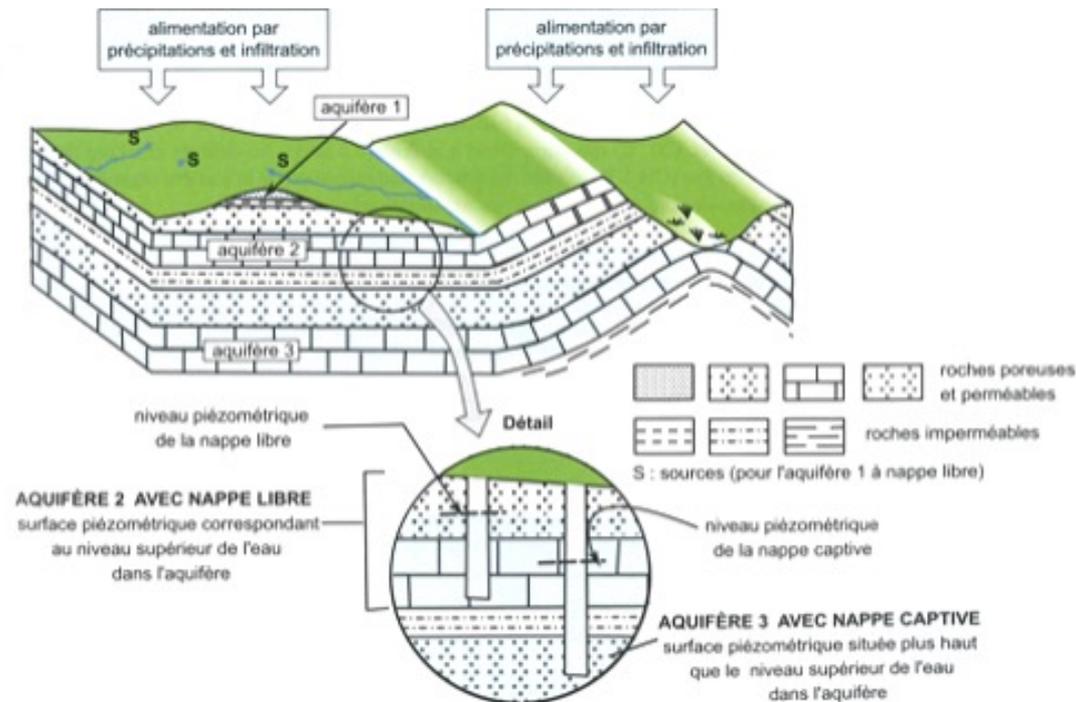
## **Document 17 : Aquifères et nappes dans une formation sédimentaire.**

Trois aquifères sont présents dans le sous-sol de cette région fictive. Là où la nappe de l'aquifère 1 recoupe la surface, se trouvent des sources (S).

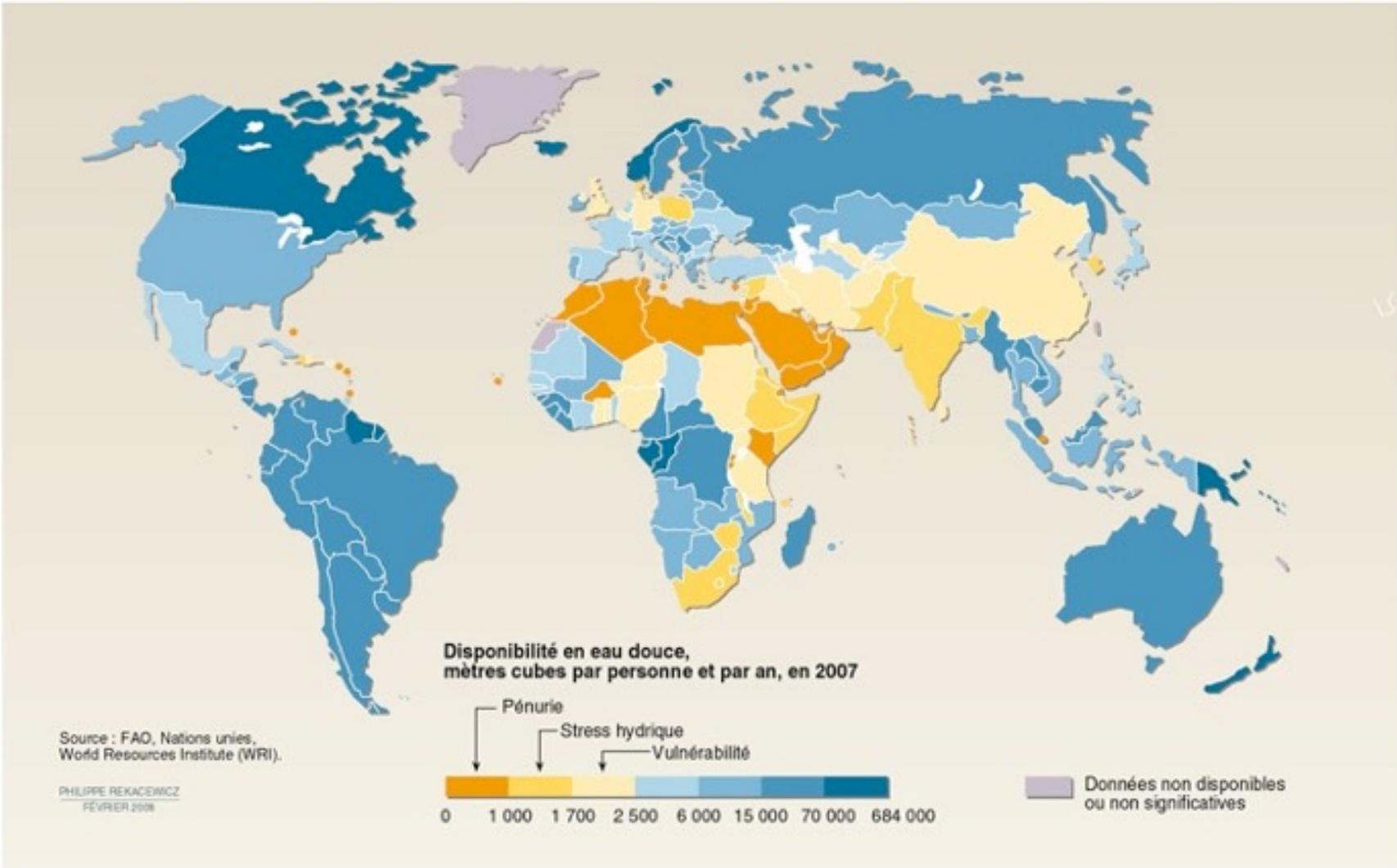
Les nappes des **aquifères 1 et 2** sont libres.

La nappe de **l'aquifère 3** est captive.

L'aquifère 2 est en relation avec la rivière. Selon les cas, l'aquifère peut alimenter la rivière ou être alimenté par elle.



# Document 18 : Disponibilité en eau douce au niveau mondial



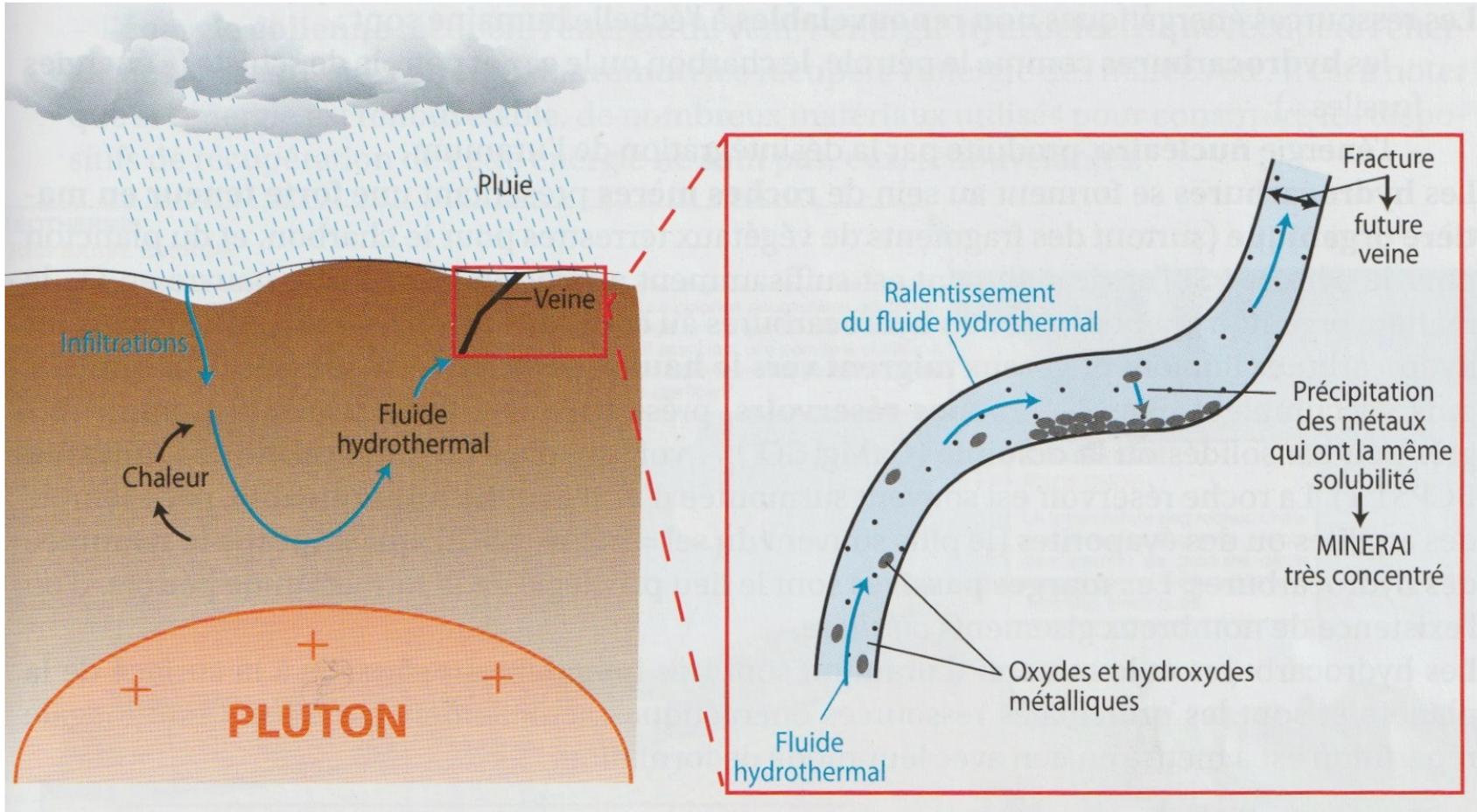
**III.2 Les roches sédimentaires font l'objet d'études pour y stocker du CO<sub>2</sub>**

**III.3 Les ressources énergétiques : des ressources renouvelables ou non**

**III.4 Les ressources minérales métalliques : des ressources très inégalement réparties sur le globe**

**Un minerai est un minéral ou une roche dont on peut extraire, avec profit, un ou plusieurs éléments chimiques.**

**Figure 19 : La formation de veines de minerais métalliques par hydrothermalisme continental.**

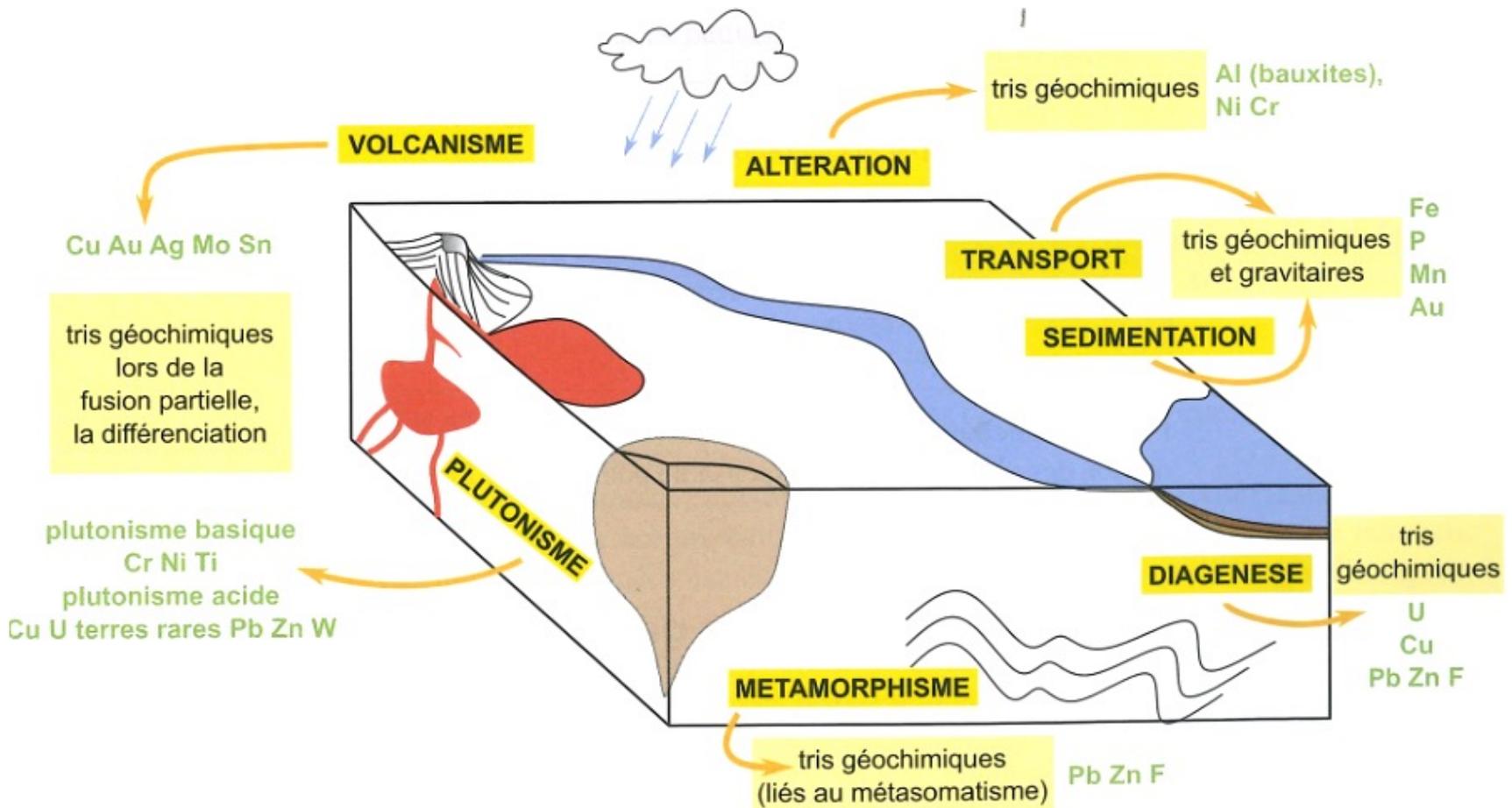


## Document 20 : Facteurs d'accumulation de quelques éléments exploités.

Élément chimique	Utilisation	Clarke	Teneur moyenne des gisements exploitables (en % massiques)	Facteur d'enrichissement
<b>Aluminium (Al)</b>	Ustensiles de cuisine, un emballage, canettes carrosseries	8% massique	30	<b>3,75</b>
<b>Fer (Fe)</b>	Industrie automobile, confection de l'acier (alliage fer- carbone)	7% massique	60	<b>8</b>
<b>Or (Au)</b>	Bijouterie, dentisterie, électronique	0,4 ppb	0,0008	<b>20</b>
<b>Nickel (Ni)</b>	Nombreux alliages métalliques	0,011 % massique	3	<b>270</b>
<b>Cuivre (Cu)</b>	Industrie mécanique et électrique, alliages	50 ppm	05- 5	<b>100- 1000</b>
<b>Plomb (Pb)</b>	Plomberie, batteries	16 ppm	8	<b>5000</b>
<b>Tungstène (W)</b>	Industrie électrique, alliages	1 ppm	1,0	<b>10 000</b>
<b>Uranium (U)</b>	Ressource énergétique	1 ppm	0,02 -20	<b>200 -200 000</b>

# Document 21 : Les tris géochimiques au cours des processus magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, et les concentrations métallifères associées.

Al : aluminium ; Ag : argent ; Au : or ; Cr : chrome ; Cu : cuivre ; F : fluor ; Fe : fer ; Mn : manganèse ; Mo : molybdène ; Ni : nickel ; P : phosphore ; Pb : plomb ; Sn : étain ; U : uranium ; W : tungstène ; Zn : zinc.



**Activité 6 : À l'aide des deux textes 1 et 2 et du document 18, déterminez le contexte et les processus géologiques conduisant à la présence d'or dans les cours d'eau cévenols. Vous complèterez le document 19 afin de localiser les gisements aurifères et de montrer les mécanismes géologiques à l'origine de leur formation.**

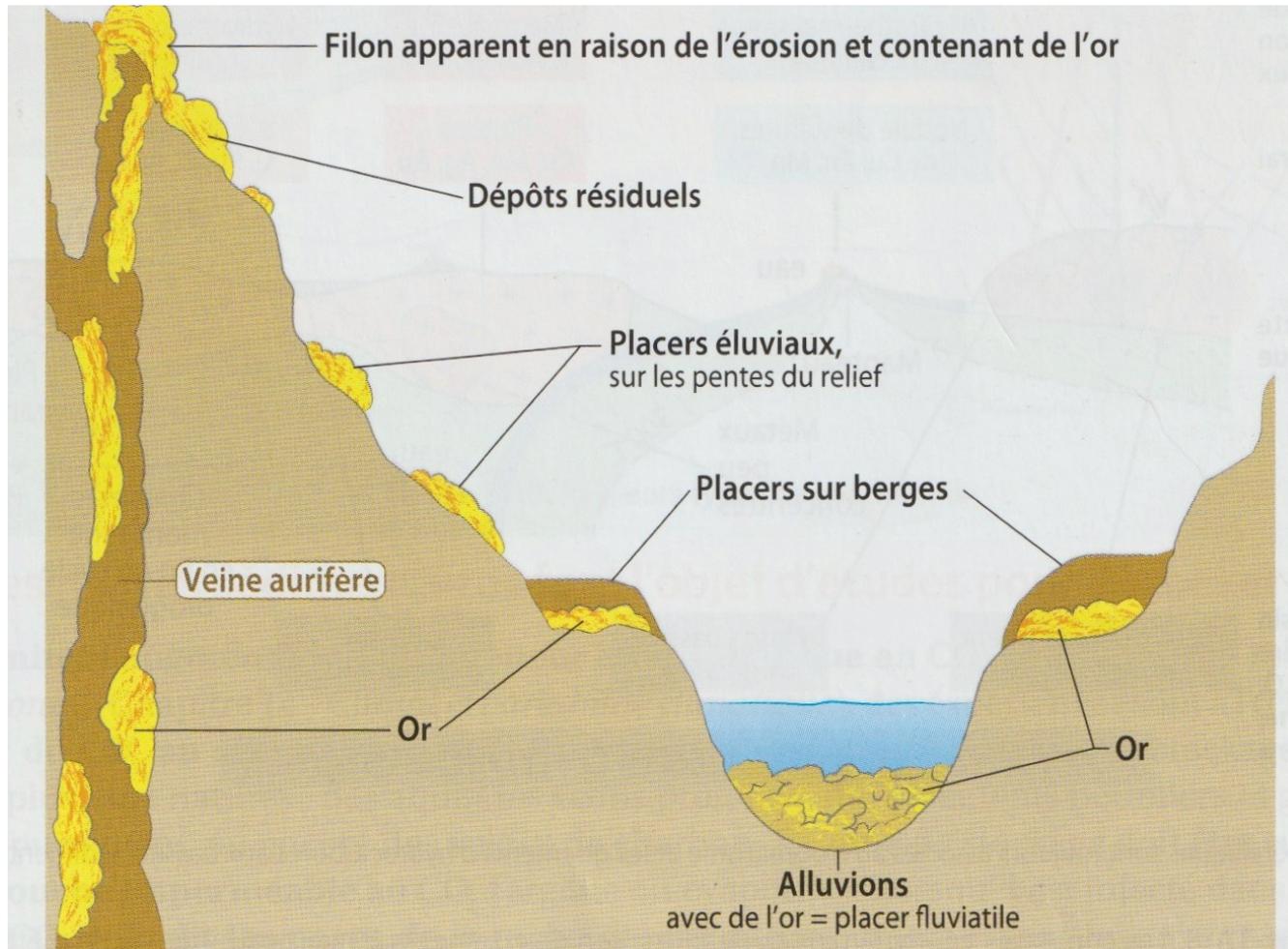
La figure 7 indique la présence en amont du Gardon de granites et de roches métamorphiques (schistes et micaschistes).

D'après le texte 1, ces roches contiennent des filons de quartz aurifères. Ce sont les roches " mères » à l'origine de l'or dans la région qui sont érodées, ce qui détache des particules d'or fines.

Une partie des particules d'or reste à proximité du lieu d'érosion (placers éluviaux, voir texte 2). Les particules d'or les plus fines sont entraînées par l'eau vers le cours d'eau qui les emporte vers l'aval. Elles se déposent alors avec les alluvions sur les bords de la rivière (placers alluviaux).

## A) Les placers à or

### Document 22- La formation d'un placer à or



## Exploitation des gisements aurifères cévenols

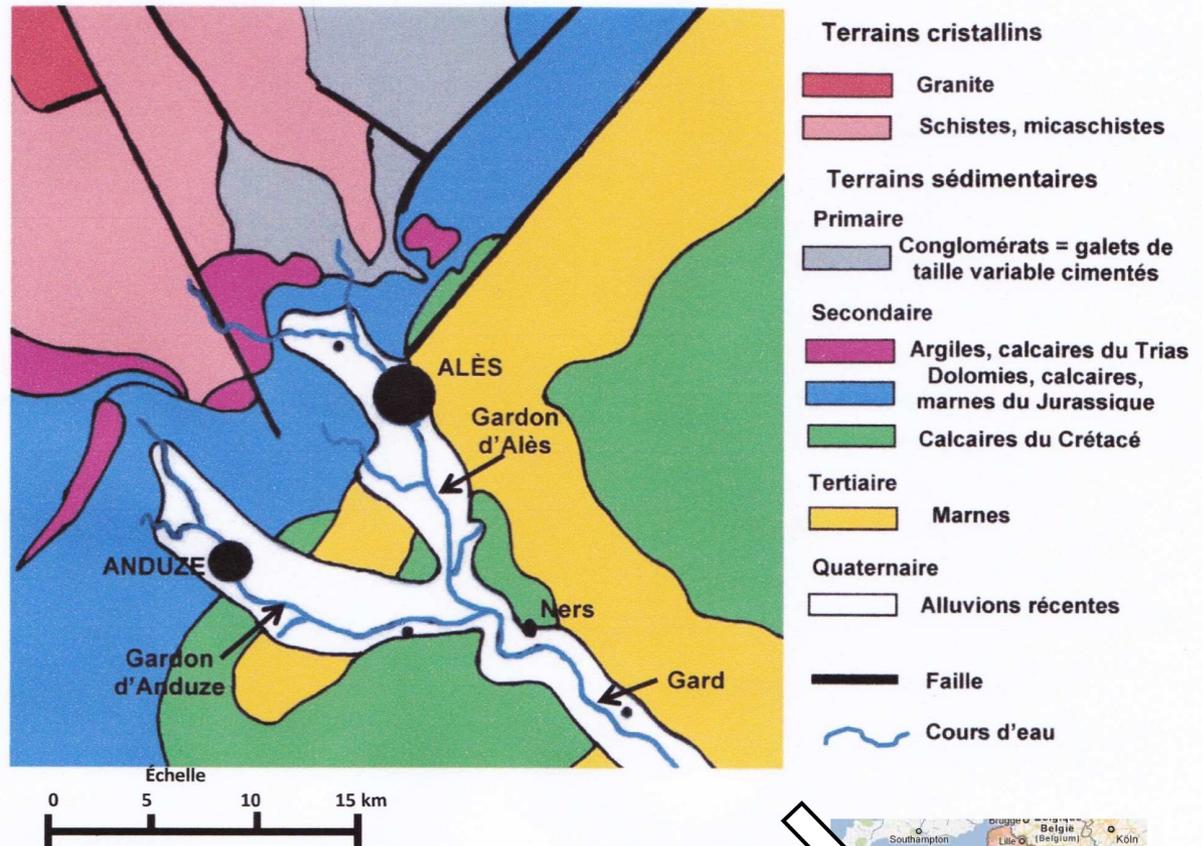
L'exploitation de l'or en France, qui remonte au moins à l'époque gauloise, reprend en France à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle après un long abandon. Les Cévennes, situées au sud-est du Massif central, ont abrité d'importantes exploitations de ce métal précieux. La dernière mine d'or en exploitation en France ferme en 2004. La valeur du lingot d'or, qui se négocie actuellement entre 50 et 60 000 €, a pratiquement triplé en quatre ans, car l'or constitue une valeur refuge en période de crise économique. On se propose de déterminer si, aujourd'hui, la prospection et l'exploitation des gisements cévenols présentent un intérêt économique.

**Texte 1 : Les Cévennes, une région aurifère.** Dans le bord est des Cévennes, les roches granitiques et métamorphiques de plus de 300 Ma contiennent des filons de quartz aurifères. La partie aisément exploitable de ces filons l'a été à l'époque gallo-romaine. Actuellement, les orpailleurs amateurs continuent de rechercher l'or dans les alluvions des cours d'eau réputés aurifères (Cèze, Gardon, Gard) grâce à des techniques simples d'orpaillage. L'immense majorité des particules que récupèrent les orpailleurs a une taille inférieure à 1 mm.

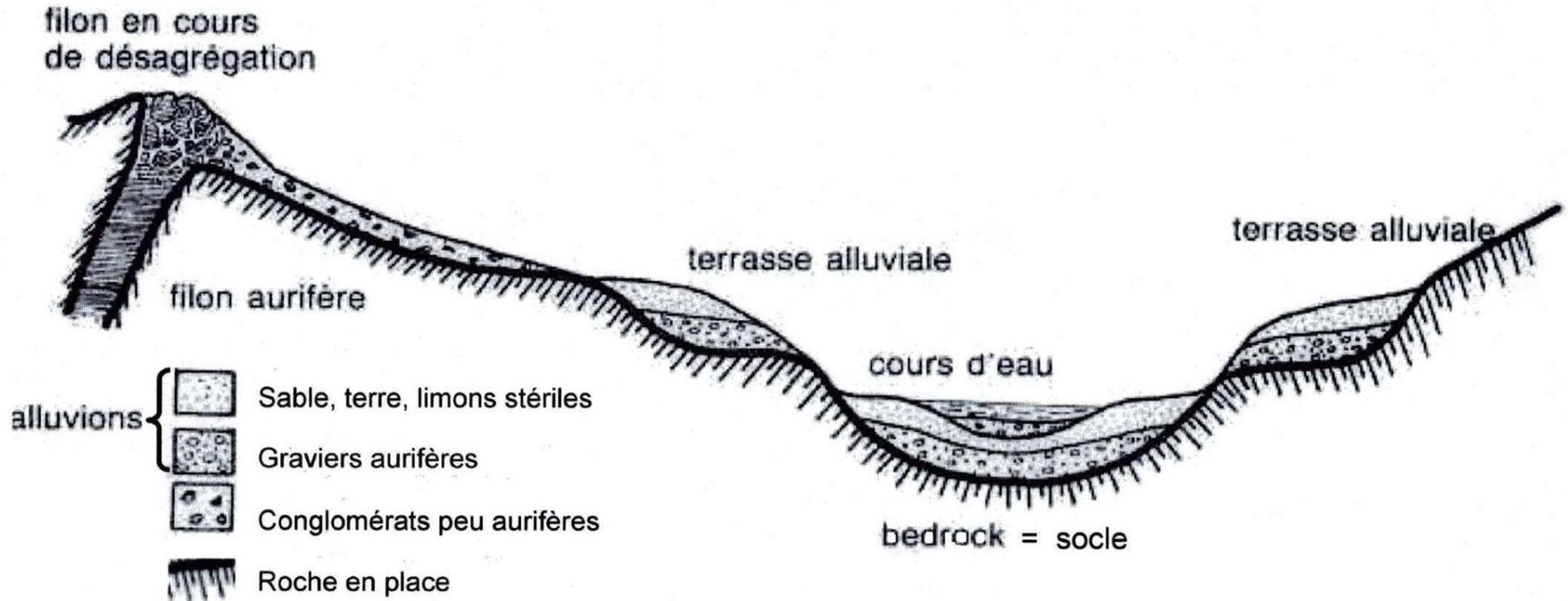
**Texte 2 :** Les différents types de gisements aurifères. Les chercheurs d'or **appellent placer un gisement détritique récent (généralement quaternaire)**. L'or s'y trouve mélangé à des sables, graviers ou galets. Les particules d'or ont une masse volumique de  $15 \text{ g.cm}^{-3}$ , alors que des particules détritiques ont une masse volumique de  $2,5 \text{ g. cm}^{-3}$ .

Il existe trois sortes de placers : les **placers éluviaux** (éboulis de pentes, conglomérats) qui restent proches des roches sources, les **placers alluviaux** qui se forment au niveau des cours d'eau et sont constitués des apports successifs d'alluvions transportées par ces cours d'eau, et les **placers marins ou lacustres** qui se forment à l'embouchure d'un cours d'eau aurifère.

Document 23 : Extrait simplifié de la carte géologique du département du Gard (d'après carte géologique du Gard au 1/250 000 éditée par le BRGM) et sa localisation sur la carte de France. (Google Map.)

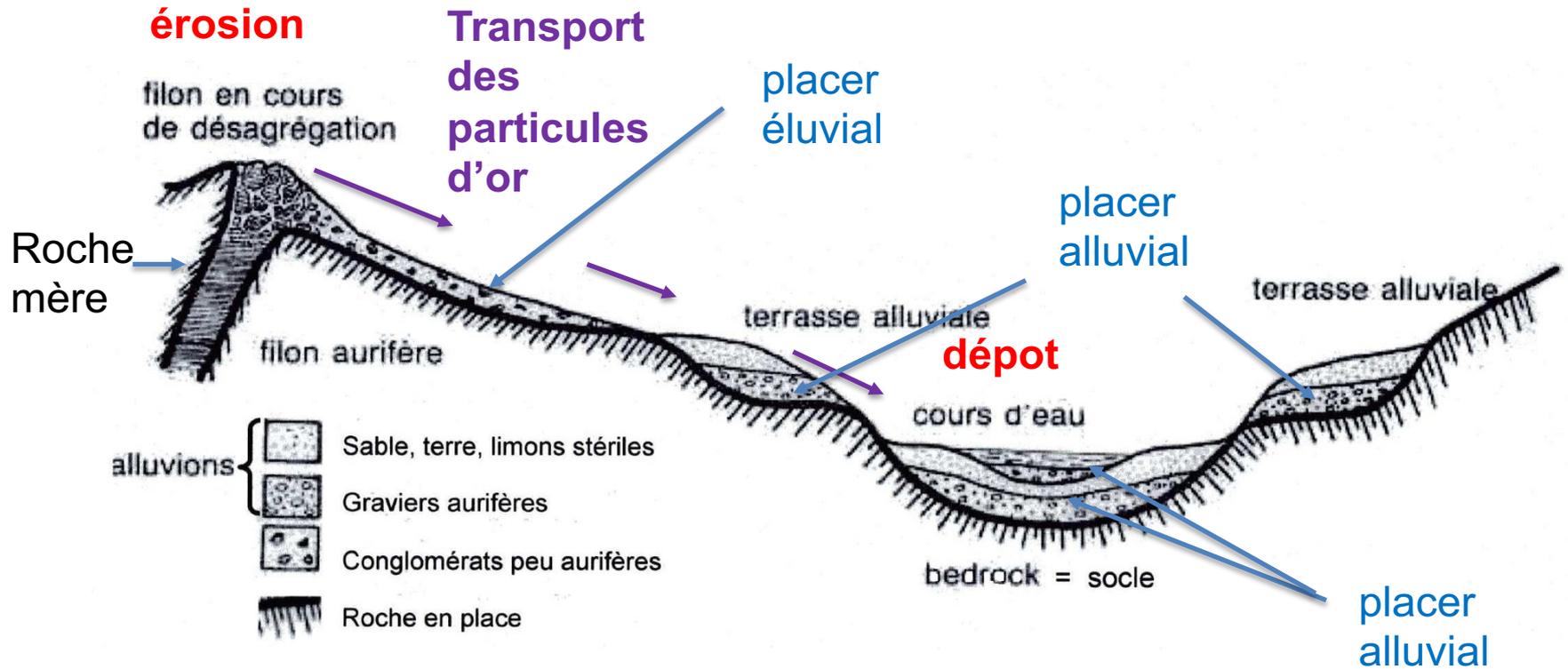


## Document 24 : Coupe schématique des différents gisements aurifères,



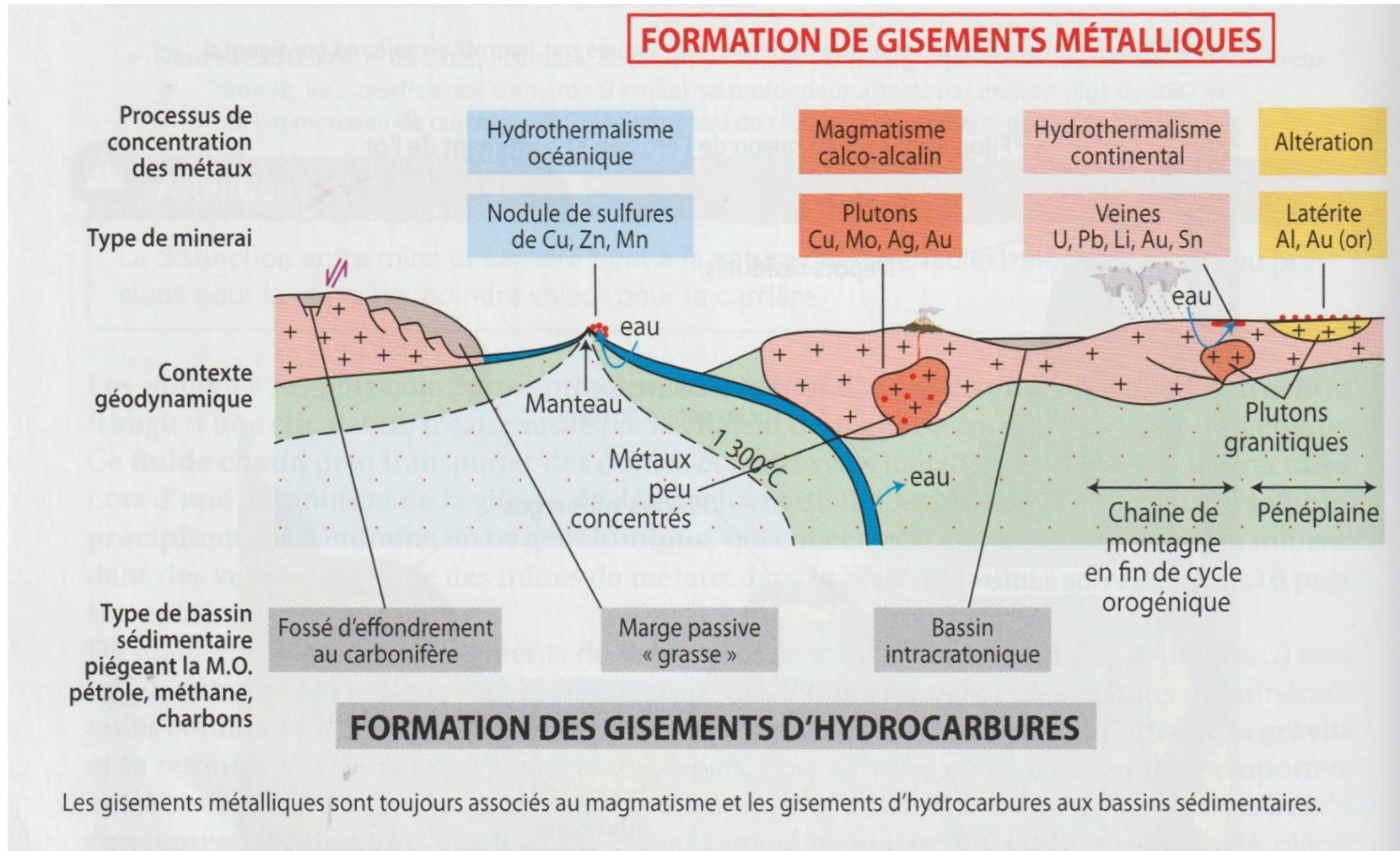
**Activité 9 :** À l'aide des deux textes 1 et 2 et du document 23, déterminez le contexte et les processus géologiques conduisant à la présence d'or dans les cours d'eau cévenols. Vous complèterez le document 24 afin de localiser les gisements aurifères et de montrer les mécanismes géologiques à l'origine de leur formation

La figure présente la localisation des différents gisements et les mécanismes de formation de ces gisements



## B) Les placers à diamant

**Bilan : Les contextes géodynamiques de formation de gisements d'hydrocarbures ou de métaux.**



## II.5 L'impact environnemental de l'exploitation des ressources

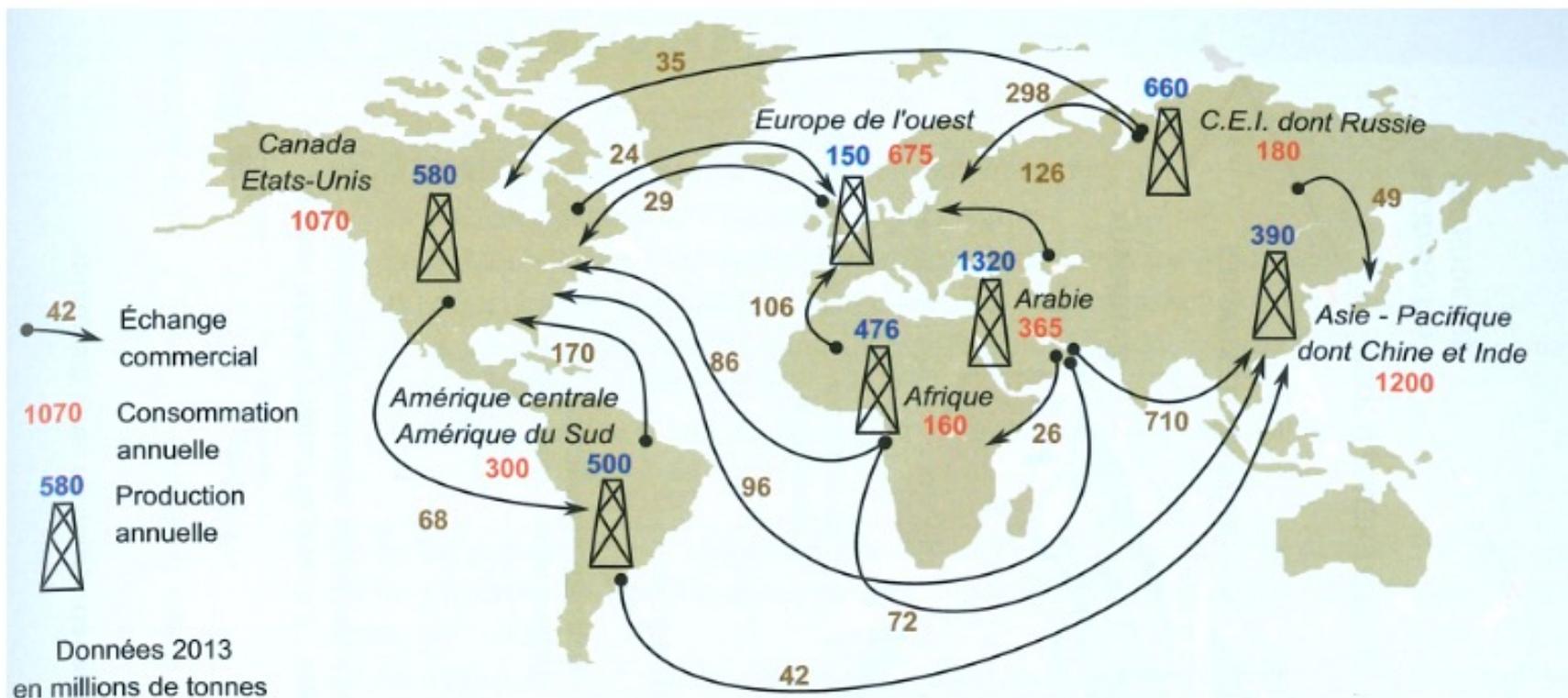
**Géothermie : seule ressource géologique durable, dont l'exploitation est non polluante** et présente des nuisances réduites. L'exploitation des autres ressources entraîne le risque de leur épuisement et a des impacts environnementaux notables, pas forcément négatifs.

### Document 25 : Quelques impacts liés à l'exploitation des granulats alluvionnaires et marins.

	Impact négatif	Impact positif	Type d'exploitation
Impact sur les ressources en eau superficielles et souterraines	Mise à nu de la nappe et diminution de sa protection	<b>Atténuation des crues par stockage temporaire au sein de ballastières.</b> <b>Activité de pêche, conversion en base de loisir nautique</b>	Exploitation du granulat alluvionnaire
	Perturbation de l'écoulement des nappes		
	Pollution liée au remblaiement par des matériaux extérieurs		
Impact sur les paysages et les écosystèmes	Destruction de zones humides	<b>Développement de nouvelles zones humides</b>	Exploitation de granulats marins
	Suppression d'habitats pour la faune	<b>Dénitrification (lutte contre l'eutrophisation )</b>	
	Destruction des plages littorales par accélération de l'érosion		
	Disparition d'îles basses		
	Destruction d'écosystèmes littoraux et sous-marins		

### III.6- Les flux des ressources géologiques à l'échelle mondiale

#### Document 26 : Flux de ressources pétrolières et gazières.



## IV- RISQUES ET RESSOURCES : LES LAHARS DU MERAPI

Visualisation du volcan merapi

[https://youtu.be/9\\_F3DOhd2xU](https://youtu.be/9_F3DOhd2xU)

<https://youtu.be/WZwy6cQwuqA>



# L'éruption d'octobre-novembre 2010

**30 à 40 millions de m<sup>3</sup> de matériel déposé.  
Stock abondant prêt à être remobilisé en  
lahars par les pluies de mousson.**



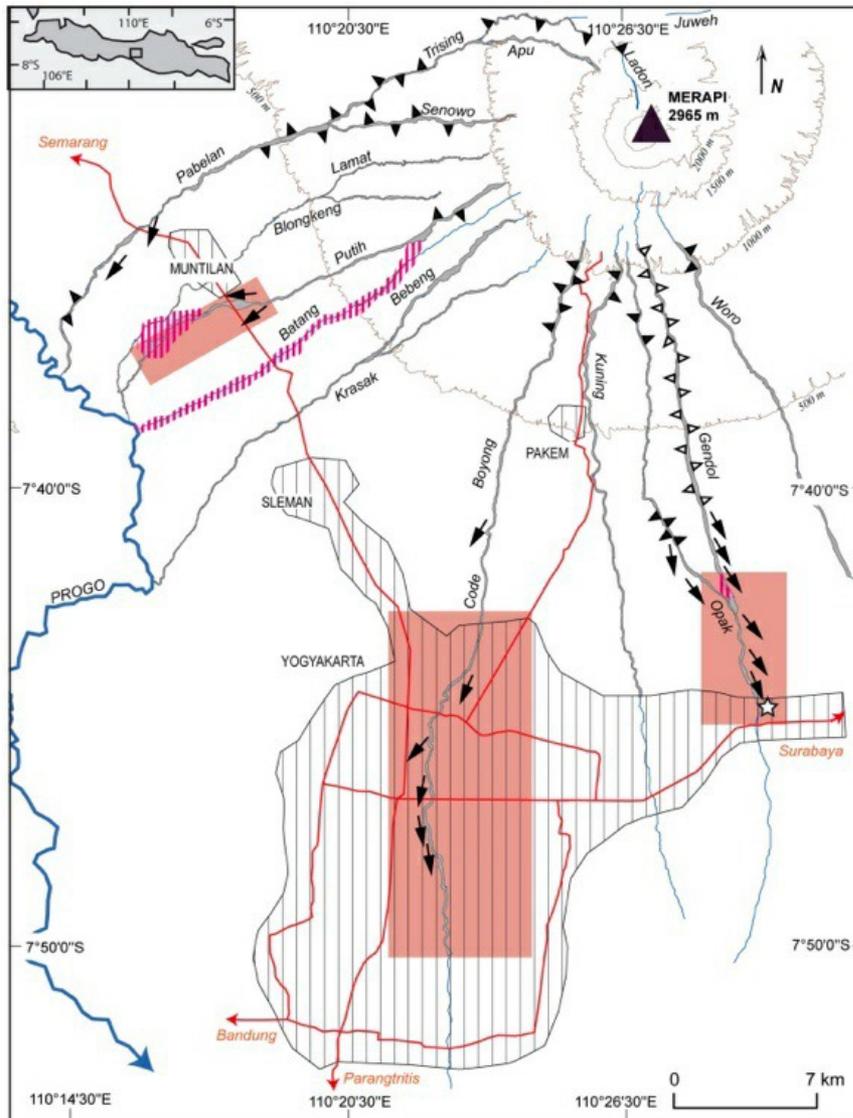
# Les lahars du Merapi

- Les pluies remobilisent le matériel pyroclastique en:
- Coulées de débris (concentration  $C > 60\%$ )
  - Ecoulements hyperconcentrés (concentration  $20\% < C < 60\%$ )



**Activité 10 :** Analysez ces documents pour mettre en évidence les interrelations entre risques et ressources

# Documents 27. Les risques liés aux lahars sur les flancs du volcan Merapi dans les années suivant l'éruption de 2010



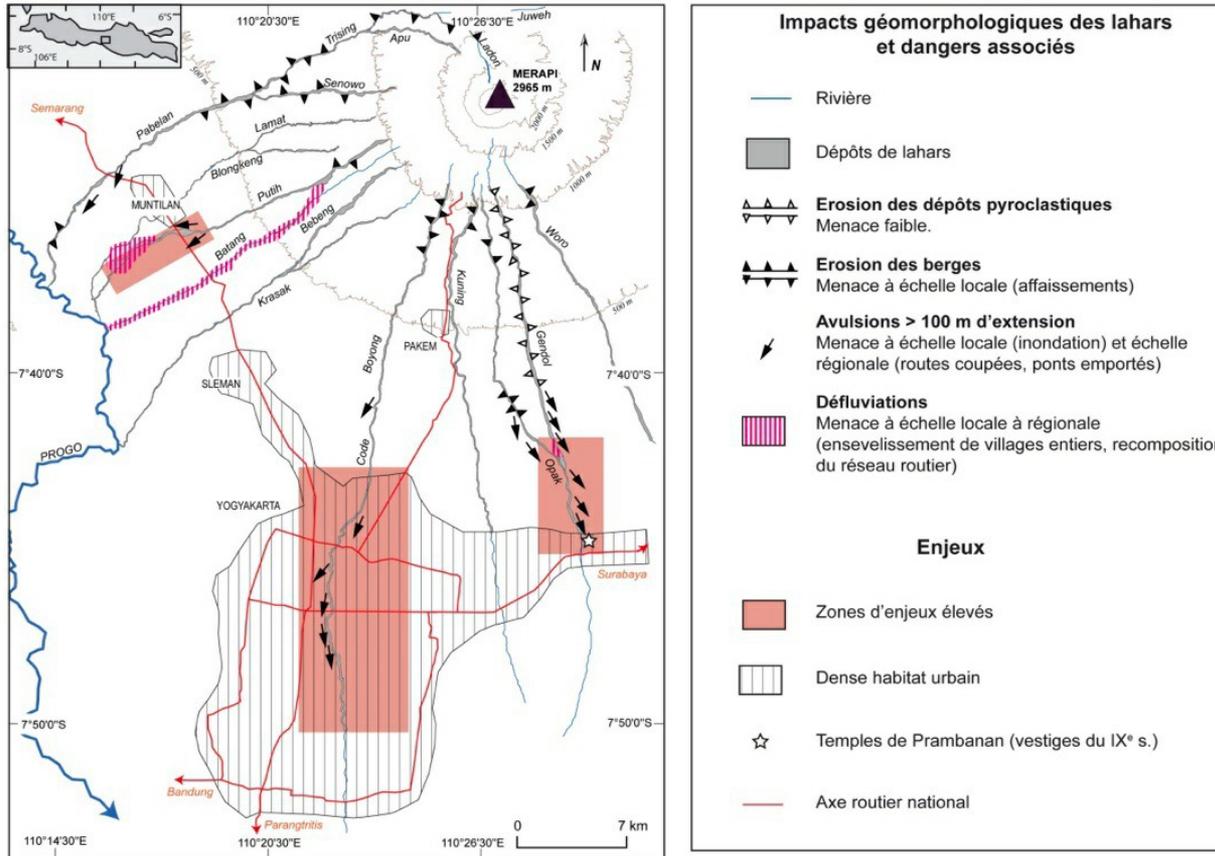
### Impacts géomorphologiques des lahars et dangers associés

- Rivière
- Dépôts de lahars
- Erosion des dépôts pyroclastiques**  
Menace faible.
- Erosion des berges**  
Menace à échelle locale (affaissements)
- Avulsions > 100 m d'extension**  
Menace à échelle locale (inondation) et échelle régionale (routes coupées, ponts emportés)
- Défluviations**  
Menace à échelle locale à régionale (ensevelissement de villages entiers, recomposition du réseau routier)

### Enjeux

- Zones d'enjeux élevés
- Dense habitat urbain
- Temples de Prambanan (vestiges du IX<sup>e</sup> s.)
- Axe routier national

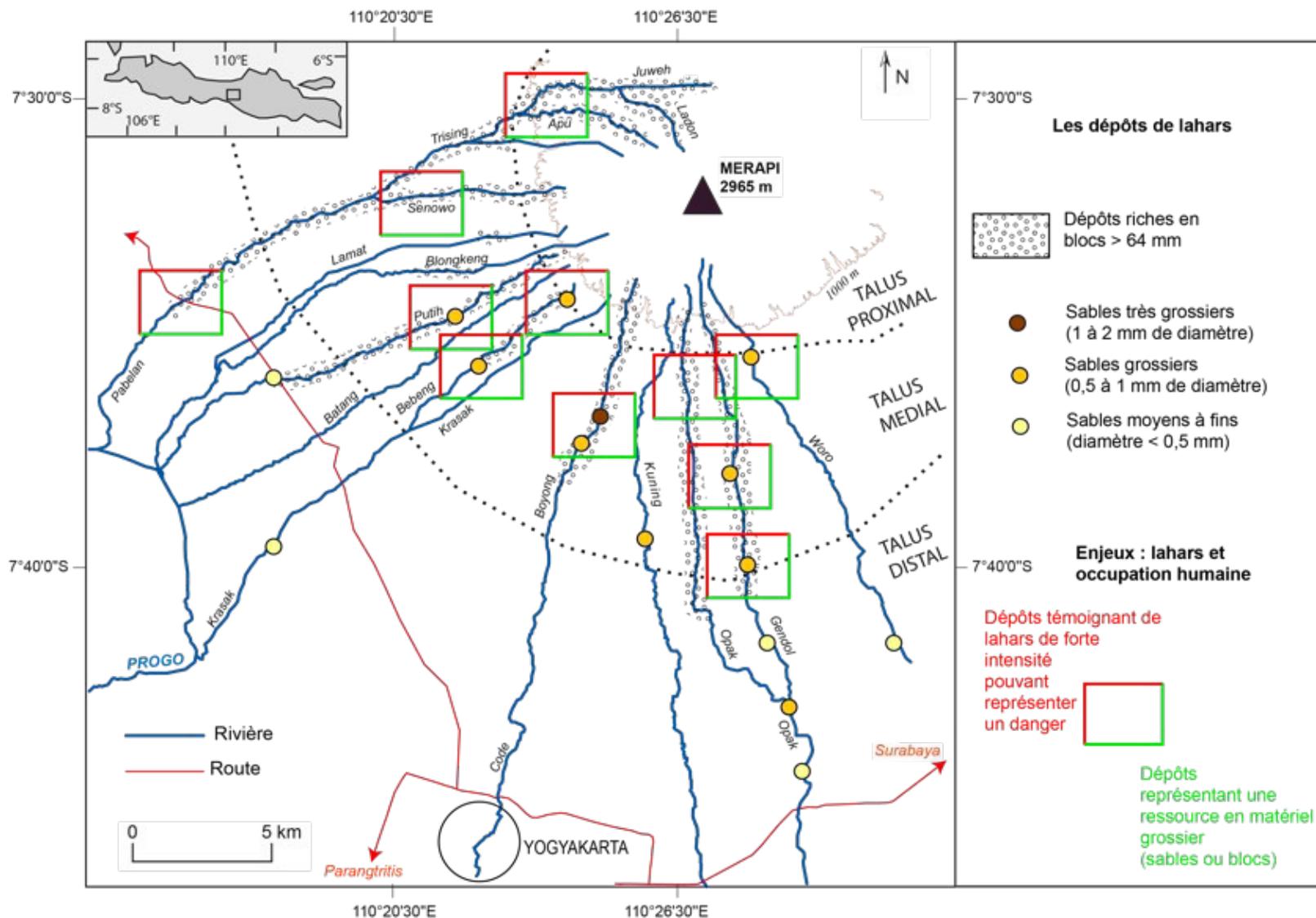
## Documents 27. Les risques liés aux lahars sur les flancs du volcan Merapi dans les années suivant l'éruption de 2010



→ Les lahars se sont produits dans tous les bassins-versants situés sous le cône actif.

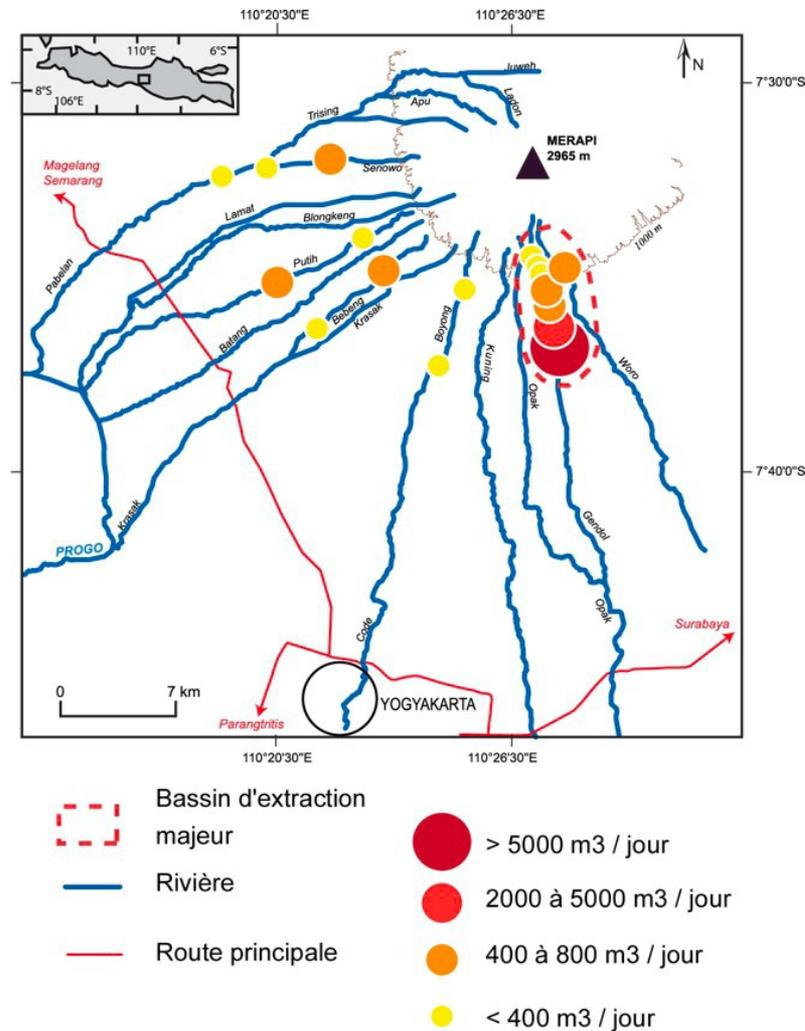
→ Les lahars ont atteint le centre-ville de Yogyakarta.

# Document 28 : La ressource en sables et en blocs après l'éruption de 2010





## Document 29 : Localisation des carrières du Merapi en septembre 2014



**→ Après l'éruption de 2010, les lahars fournissent des matières premières aux communautés du Merapi**

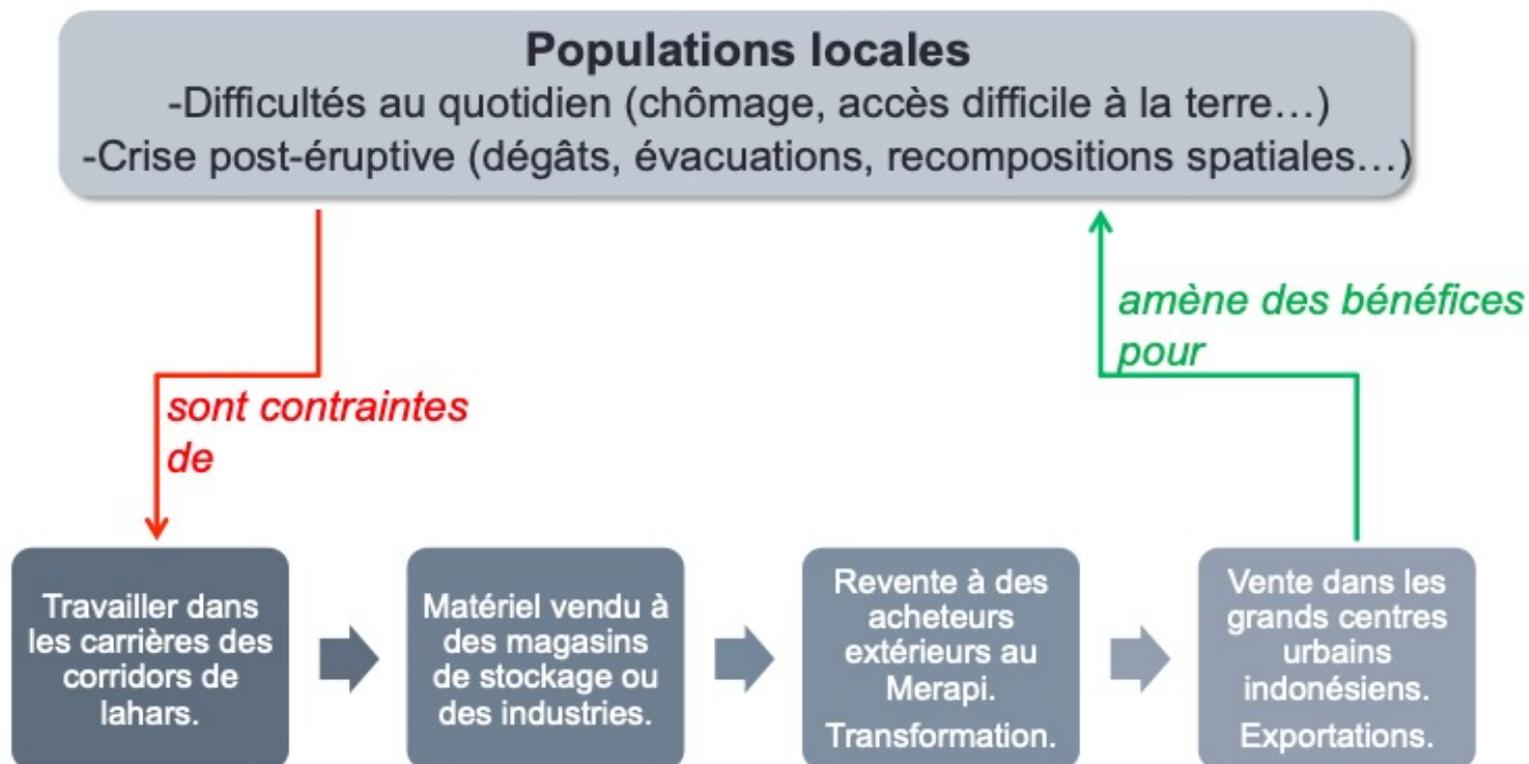
## **L'EXTRACTION DES DEPÔTS VOLCANOCLASTIQUES:**

- Apporte une ressource utilisable directement par les populations locales**
- Apporte des moyens financiers aux populations locales si les matériaux extraits sont vendus**
- Permet d'apporter une solution à l'emploi au Merapi.**

***La ressource en sables et en blocs ainsi que son exploitation compensent les déséquilibres induits par une éruption au Merapi.***

***Cette activité permet de participer à la résilience des communautés du Merapi en limitant les pertes causées par une éruption***

## Extractions et risque: ressource et résilience



**Mais d'un autre coté, elle contraint les travailleurs à une mise en danger en forçant leur exposition aux lahars, sur des sites souvent mal protégés.**

**Quelle est donc la place à accorder à cette activité dans les processus de vulnérabilité ou de capacité face aux risques au Merapi ? Les extractions facilitent-elles réellement une résilience complète des communautés du Merapi**

**La ressource est épuisable et est à l'origine de conflits, de dégradations, de corruption, qui risque de grever sur le long terme, le développement régional...**

***La résilience que permettraient les extractions est incomplète : l'activité n'est pas durable. Le système se maintient dans une situation instable, entre risque et ressource : pas de véritable résilience, et tendance à l'aggravation.***