

PRÉFECTURE DE LA GUADELOUPE

SERVICE DE LA PROTECTION CIVILE

DYNAMISMES ÉRUPTIFS ET
ZONATION DES RISQUES VOLCANIQUES
A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE

par

D. WESTERCAMP



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cedex 02

B. R. G. M.
Service Géologique
des Antilles

Préfecture de la Guadeloupe
Service de la Protection civile

Dynamismes éruptifs et zonation des risques
volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe.

Par D. WESTERCAMP

R E S U M E

On montre en premier lieu qu'une carte de zonation des risques volcaniques dépend d'un grand nombre de facteurs, certains étant difficilement contrôlables, qui rendent le document assez subjectif dans l'état actuel de nos connaissances. Pour déterminer les principaux risques, leur ampleur et les zones qu'ils menacent, l'histoire géologique récente du Massif Madeleine - Soufrière est scrutée en priorité.

Quelques lignes de réflexion sur le dynamisme éruptif en région d'arc insulaire justifient ce point de vue. Toutefois, on a dû exploiter les éruptions de volcans andésitiques étrangers lorsque la géologie régionale et son côté statique ne livrait pas d'hypothèses valables.

On insiste particulièrement sur les risques d'émission de cendres et lapilli et les lahars qui en découlent, la construction de dôme ou la mise en place de coulées de lave et leurs avalanches incandescentes secondaires, qui sont jugés les plus probables en cas d'éruption.

Quelques lignes enfin traitent de l'utilisation de la carte de zonation des risques volcaniques avant, pendant et après une éruption et dans la recherche d'un site "idéal" de surveillance volcanologique.

TABLE DES MATIERES

I. Introduction

II. Evaluation des risques naturels en région volcanique

A - Approche du problème

B - Evaluation des risques à la Soufrière de Guadeloupe

B.1 - les facteurs controlant le dynamisme éruptif

B.2 - choix des principaux facteurs

B.3 - probabilité pour que les phénomènes envisagés surviennent
à nouveau

III. Ouverture de la cheminée

IV. Zonation des risques

A - Introduction

B - Evaluation de l'ampleur des phénomènes

C - Intervention du relief

D - Eruptions phréatiques

E - Coulées de lave et dômes

F - Nuées ardentes verticales

1. généralités

2.. cas n° 4

3. cas n° 5

4. cas n° 6

5. protection

6. effets secondaires.

V. Utilisation de la carte de zonation des risques volcaniques

A - Recherche d'un emplacement "idéal" pour l'observatoire scientifique chargé de la surveillance du volcan

B - Quand, comment et combien de temps doit-on utiliser la carte de zonation des risques en cas d'éruption.

VI. Conclusion

A - Les zones à risque maximal

B - Les zones à risque moyen

C - Les zones à risque nul.

VII. Bibliographie

LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE

- Figure 1 - Carte conjecturale des zones susceptibles d'être menacées par une éventuelle éruption de type péléen du volcan de la Soufrière, dans le Sud de la Guadeloupe et particulièrement dans la région de Basse Terre.
réduction de la carte au 1/50.000 de L. BARRABE.
- Figure 2 - Correspondance probable entre les zones menacées et le secteur d'ouverture de la cheminée volcanique.
- Figure 3 - Les différents types de nuées ardentes et d'avalanches incandescentes.
- Figure 4 - Types de répartition des cendres soumises à l'action d'un vent dominant
- Figure 5 - Relation dénivellation/distance parcourue par les nuées ardentes et avalanches incandescentes.
- Figure 6 - Dépôts et zones soumises à l'effet de souffle des nuées ardentes pour quelques volcans d'arc insulaire.

LISTE DES TABLEAUX DANS LE TEXTE

- Tableau 1 - Liste des principaux facteurs intervenant dans l'élaboration de la carte de zonation des risques volcaniques.
- Tableau 2 - Probabilité pour que divers types de phénomènes surviennent durant la prochaine éruption volcanique de la Soufrière de Guadeloupe.
- Tableau 3 - Pourcentages d'éruptions "à nuées ardentes" pour quelques volcans d'arc insulaire et de marge continentale.
- Tableau 4 - Ordre de grandeur des épaisseurs minimales de cendres accumulées dans les bassins de réception des principales rivières, nécessaires au déclenchement de lahars importants.

ANNEXES JOINTES AU RAPPORT

- Annexe 1 - carte des zones menacées par une éruption centrale à la Soufrière de Guadeloupe en l'absence de modifications topographiques notables
échelle 1/20.000 S.G.ANT. 236
- Annexe 2 - Tableau récapitulatif par secteurs géographiques des dangers en cours, par les constructions et les infrastructures sous l'effet des lahars et des nuées ardentes
S.G.ANT. 237

I. INTRODUCTION

La crise sismique actuelle attire à nouveau l'attention sur les dangers potentiels que représente le volcan La Soufrière de Guadeloupe. En effet, pour la ville de Basse Terre, une première carte de zonation des risques volcaniques a été réalisée en 1960 par L. BARRABE, professeur de géologie appliquée à la faculté des Sciences de Paris, à la demande des autorités préfectorales. Une réduction de ce document, établie à l'échelle du 1/50.000, est présentée en fig. 1. Ce travail est entièrement axé sur les risques d'émission de nuées ardentes paroxysmales dirigées (éruption de style péléen) du type de celle qui a détruit Saint-Pierre de Martinique en 1902.

En fait, les risques que font peser ce type de phénomène éruptif, ne représentent qu'un des aspects du problème. Une réunion interministérielle de juin 1974, qui étudiait les problèmes d'urbanisme et de construction posés par les dangers d'éruption volcanique ou de secousses sismiques, proposait alors l'établissement d'une carte des zones dangereuses, à la fois plus nuancée et plus détaillée.

Une réunion tenue le 20 avril 1976 au Secrétariat d'Etat chargé des départements et territoires d'Outre-Mer, décidait de confier au B.R.G.M. la réalisation de cette carte de zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe (à l'échelle du 1/20.000).

Son but est :

- d'évaluer les divers types d'éruptions possibles au volcan, la probabilité que chacun d'eux survienne, et l'ampleur qu'ils peuvent prendre, d'après l'histoire géologique du massif volcanique et le déroulement des éruptions historiques.
- de délimiter les secteurs menacés, directement et indirectement par chaque type d'éruption en tenant compte de la localisation de la bouche éruptive.
- d'indiquer les effets de chaque phénomène volcanique sur les populations et les édifices et les mesures qu'il faut prendre pour s'en protéger ou y pallier.

En cela cette carte et la notice explicative qui l'accompagne, se veulent un complément utile au plan ORSEC-Eruption et au rapport sur les "risques volcanosismiques à la Soufrière de Guadeloupe" précédemment rédigé à l'intention de la préfecture de Basse Terre (WESTERCAMP, 1976).

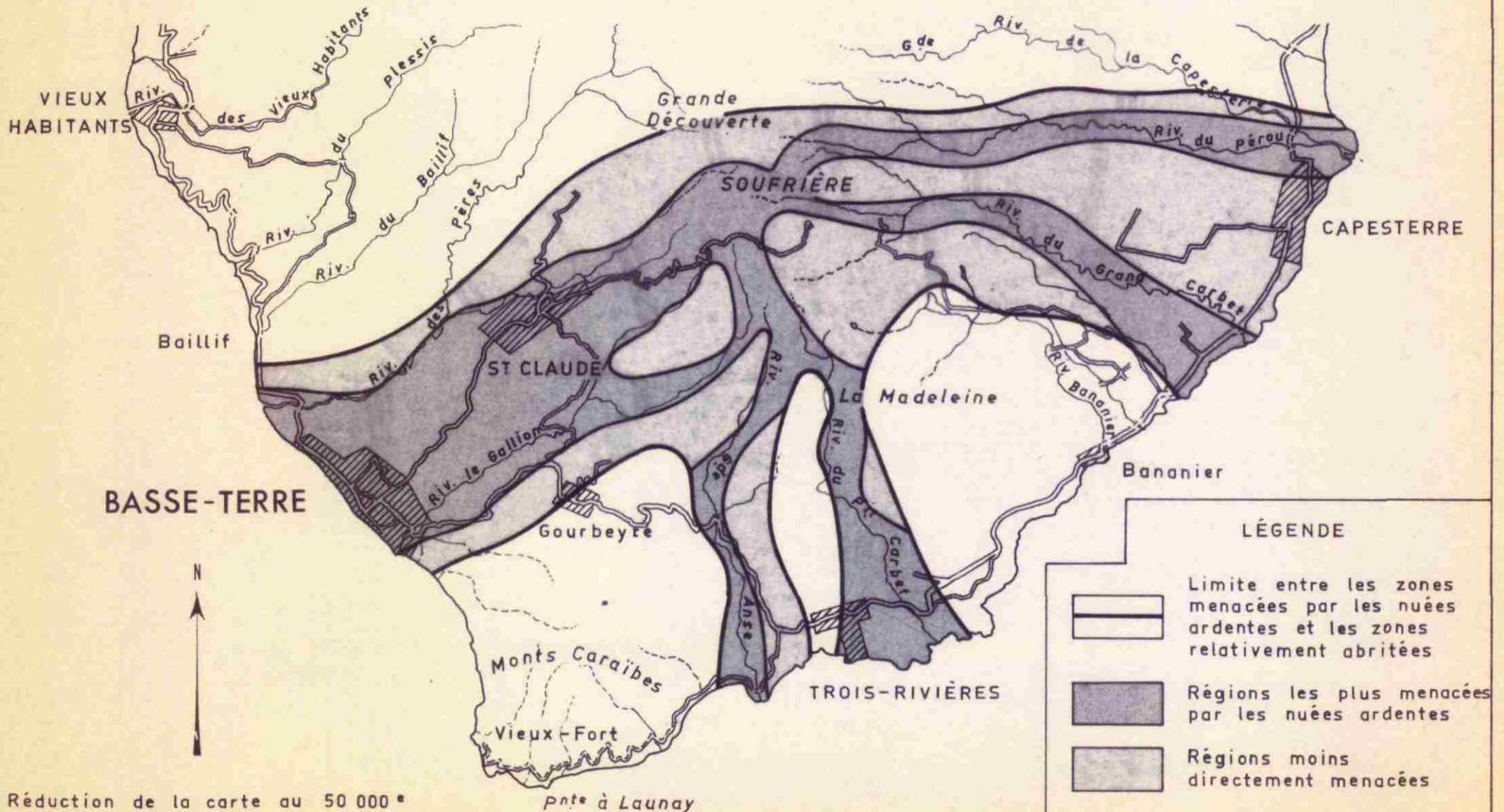
A l'étranger des travaux semblables sont réalisés systématiquement :

- en U.R.S.S., chaque volcan actif, ou supposé tel, est étudié en détail sur les plans morphologique, climatique, géologique, dynamique et géophysique. Ces études permettent la réalisation des cartes de zonation des risques (VLLODAVETZ, 1960).
- en Indonésie, Java en particulier, le "Vulcanological Survey" a entrepris depuis 1932, l'étude des régions menacées par les 11 volcans jugés les plus dangereux. Les secteurs sont délimités selon la topographie et le type d'éruptions. Pour ces raisons, chaque volcan est étudié séparément (NEUMANN VAN PADANG, 1960).
- en Nouvelle Zélande, les risques qu'encourent des villes comme Auckland, ont été estimés (SEARLE, 1964).

.../...

FIG. 1 - CARTE CONJECTURALE DES ZONES SUSCEPTIBLES D'ÊTRE MENACÉES PAR UNE ÉVENTUELLE ÉRUPTION DE TYPE PÉLÉEN DU VOLCAN DE LA SOUFRIÈRE DANS LE SUD DE LA GUADELOUPE ET PARTICULIÈREMENT DANS LA RÉGION DE BASSE-TERRE

par M.L. BARRABE, professeur à la Faculté des Sciences de Paris (1960)



- Aux Etats Unis, le Geological Survey établie les cartes de risque pour les volcans des Cascade Range (GRANDELL et MULLINEAUX, 1967) et de l'Alaska. Hawaï a été plus particulièrement étudiée en raison des éruptions fréquentes du Mauna Loa et du Kilavea (cf. Mc DONALD, 1958 et BOLT et al., 1975).

II. EVALUATION DES RISQUES NATURELS EN REGION VOLCANIQUE

A - Approche du problème

Les risques naturels sont déterminés en fonction d'un grand nombre de facteurs que l'on peut regrouper en deux grands types : les facteurs fixes, d'une part et les facteurs variables d'autre part (ANTOINE, 1975) (cf. tableau 1).

Comme pour les cartes ZERMOS qui delimitent les zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol, la réalisation d'une zonation des risques naturels en région volcanique est paradoxale puisqu'il faut tenir compte de facteurs à la fois fixes et variables. L'abondance des éléments qui interviennent oblige d'abord à un choix quantitatif puis à l'évaluation qualitative de chacun d'eux. Une telle opération est, dans l'état actuel de nos connaissances, assez subjective, et laisse une place importante au hasard.

Tableau 1 : Liste des principaux facteurs intervenant dans l'élaboration de la carte de zonation des risques volcaniques.

: <u>facteurs fixes</u> : (naturels)	: - morphologie (surface et raideur des pentes, forme et stabilité des vallées, découpage des côtes) : - histoire géologique du volcan
: <u>facteurs intermédiaires</u> : (Socio-économiques)	: - degré de développement de la région : - importance de l'implantation humaine : - qualité des voies de communication
: <u>facteurs variables</u> : A) non volcaniques	: - fluctuation des nappes aquifères : - conditions climatiques (vents, pluviosité) : - modifications du relief (action de l'érosion et activité humaine)
: B) volcaniques	: - phénomènes volcaniques (cendres, coulée de lave, lahar,) : . possibilité d'apparition : . ampleur : . effets directs : . effets indirects (dépendent aussi des facteurs variables non volcaniques et fixes)

Selon les auteurs et les volcans, le problème est pour ces raisons approché différemment.

- certains considèrent que des zones sinistrées historiquement, sont menacées dans l'avenir en priorité. Cela revient à admettre plus ou moins que les manifestations historiques d'un volcan sont les phases d'une seule et même éruption à l'échelle géologique.
- d'autres raisonnent en admettant que tout volcan d'une province volcanique, peut, à priori, être le siège d'une éruption au moins égale en puissance à la plus forte enregistrée historiquement dans la région. Cela consiste à établir une zonation pour le seul risque paroxysmal possible ; c'est ce qui a été fait par exemple en Guadeloupe par L. BARRABE.
- on peut aussi supposer que des volcans en même position structurale et ayant une minéralogie et un chimisme comparables, auront des comportements proches. Le passé est bien souvent la clef du présent et l'histoire géologique d'un volcan (cycles éruptifs répétitifs, évolution dynamique et chimique, rapports de fréquence ou /et de volume entre tel ou tel dépôt...) donne à mon avis les meilleurs renseignements.

B - Evaluation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe

B.1 - Les facteurs contrôlant le dynamisme éruptif

Les possibilités dynamiques d'un magma dépendent de deux qualités principales :

- la teneur en gaz
- la viscosité (qui dépend elle-même de la température, du degré de cristallinité et de la composition chimique de la lave).

La description de nombreuses éruptions en région d'arc insulaire permet de constater que :

- les éléments contrôlant la viscosité restent souvent constants au cours d'une éruption à dynamisme variable. En particulier, la température des dépôts de nuées ardentes, et de coulées de ponces, tout à fait comparables, suggèrent qu'il en est de même des températures d'émission (MAURY et al., 1974).
- des magmas de composition chimique très éloignée peuvent gagner la surface selon des dynamismes identiques et vice-versa.
- les magmas dégazés peuvent s'accumuler sous forme de dôme ou alimenter des coulées relativement fluides.

On en conclut :

- que la teneur en gaz est le facteur qui dicte seul les possibilités dynamiques d'un magma
- que la viscosité intervient seulement d'une façon prépondérante pour dicter l'état de fluidisation d'un magma dégazé.

.../...

Un des constituants majeurs des gaz magmatiques, dans le volcanisme andésitique, est l'eau.

Cette eau proviendrait du dégazage naturel et régulier de la terre (eau juvénile), du "craquage" des minéraux hydroxylés qui composent pour partie les plaques océaniques subductées (WYLLIE, 1974 - BOETTCHER, 1974), des magmas ignimbritiques d'anatéxie produits à la base des croûtes continentales (COULON, 1976).

Elle provient surtout de la surface, d'où elle a pu gagner la profondeur grâce à la perméabilité de certains terrains, et à la fracturation régionale (TONANI, 1971 ; Mc BIRNEY, 1973).

Cette eau circule par convection à proximité des masses magmatiques, s'incorporant plus ou moins facilement et rapidement à elles.

Les caractères dynamiques d'un volcan, dépendent en priorité de son environnement géothermal, lui-même étroitement lié au contexte géologique et structural de la région ; chaque volcan a donc sa personnalité propre

B.2 - Choix des principaux facteurs

En l'absence d'éruptions magmatiques historiques, les caractéristiques probables de l'éruption future doivent être recherchées dans l'histoire géologique récente du massif Madeleine - Soufrière (cf. De REYNAL, 1965 ; DOREL et al., 1973 ; MERVOYER, 1974 ; WESTERCAMP, 1976).

On admet donc que tout phénomène volcanique ayant eu lieu par le passé à une date assez récente peut survenir lors de la prochaine éruption de la Soufrière. A savoir :

- explosions phréatiques
- production de coulées de ponces
- production de coulées de lave
- production de coulées de boue (lahars)
- production d'**avalanches** incandescentes de dôme ou de front de coulée de lave
- émission de cendres et lapilli
- émission de nuées ardentes verticales
- construction de dômes.

B.3 - Probabilité pour que les phénomènes volcaniques envisagés surviennent à nouveau.

Plus un phénomène volcanique a eu lieu récemment, plus il a de chance de se reproduire de nouveau à la condition essentielle qu'aucune modification importante du contexte régional ne soit intervenue entre temps. Ce facteur "temps" nous paraît prépondérant car il tient compte de l'évolution du volcan et tente de cerner sa personnalité du moment.

Un second facteur à prendre en considération, est la fréquence au cours des dernières éruptions des phénomènes volcaniques. Malheureusement, en l'absence de coupes géologiques complètes et de bonne qualité, ce facteur est difficile à estimer.

Un dernier élément dont on peut tenir compte est le pourcentage volumique des dépôts dus à tel phénomène, par rapport à l'ensemble des produits relativement récents du volcan. Cet élément peut, en l'absence d'évolution dynamique nette indiquer le style "préféré" du volcan.

Déterminer si tel ou tel facteur doit intervenir dans l'évaluation du risque, et à quelle place, est assez subjectif puisque nous ne savons pas si avant l'arrivée des colons au XVII^e siècle, il n'y a pas eu des crises sismiques (du genre de celle que nous vivons en ce moment) qui ont modifié le contexte régional.

On conçoit donc que, dans l'état actuel de nos connaissances, l'apparition future de tel ou tel phénomène volcanique ne puisse être qualifiée que de "très probable", "probable", "peu probable" et "très peu probable" (tableau II).

Chaque risque est analysé plus en détail au chapitre IV. On indique son effet et les dégâts qu'il peut occasionner et les méthodes de prévention et de défense qu'on peut déployer contre lui.

TABLEAU 2

Probabilité pour que divers types de phénomènes surviennent durant la prochaine éruption volcanique de la Soufrière de Guadeloupe

	VOLUME APPROXIMATIF EN Km ³	REMARQUES	% VOLUMIQUE*	AGE	TRES PROBABLE	PROBABLE	PEU PROBABLE	TRÈS PEU PROBABLE
Explosions phréatiques.	—	Aucun dépôt reconnu	—	Historique				
Emission de cendres et lapilli. Avalanches incandescentes nuées ardentes type Mérapi.	> à 0,7 > à 0,5	Volume sous estimé - chute en mer. - érosion - lahar Volume sous estimé - lahar	3% 20% 2%	Ancien récent				
Coulées de lave et dômes.	> à 17	Volume sous estimé : - partie bréchique des coulées remaniées par les lahars	70%	Ancien récent				
Coulées de ponce	1	—	4%	Ancien				
Nuées ardentes verticales (type St Vincent).	1	—	4%	Ancien (?)				
Nuées ardentes paroxysmales (type Pelée).	—	Aucun dépôt reconnu	—	(?)				
Lahars primaires.	—	Aucun dépôt reconnu	—	Historique				

* Le volume total du massif Madleine-Soufrière est estimé à 25 km³

III. OUVERTURE DE LA CHEMINÉE

Il ne peut y avoir zonation de risques, que si un lieu d'origine est connu. La carte de Guadeloupe a donc été établie dans l'hypothèse d'une éruption centrale à la Soufrière.

Le cratère s'ouvrirait probablement sur la fissure hypothétique majeure qui a déjà émis le Carmichael, la Madeleine, la Citerne, l'Echelle et la Soufrière S.S. La répartition des foyers sismiques de juin semble bien confirmer l'existence de cet axe tectonique (J.P. VIODE, Comm. pers.).

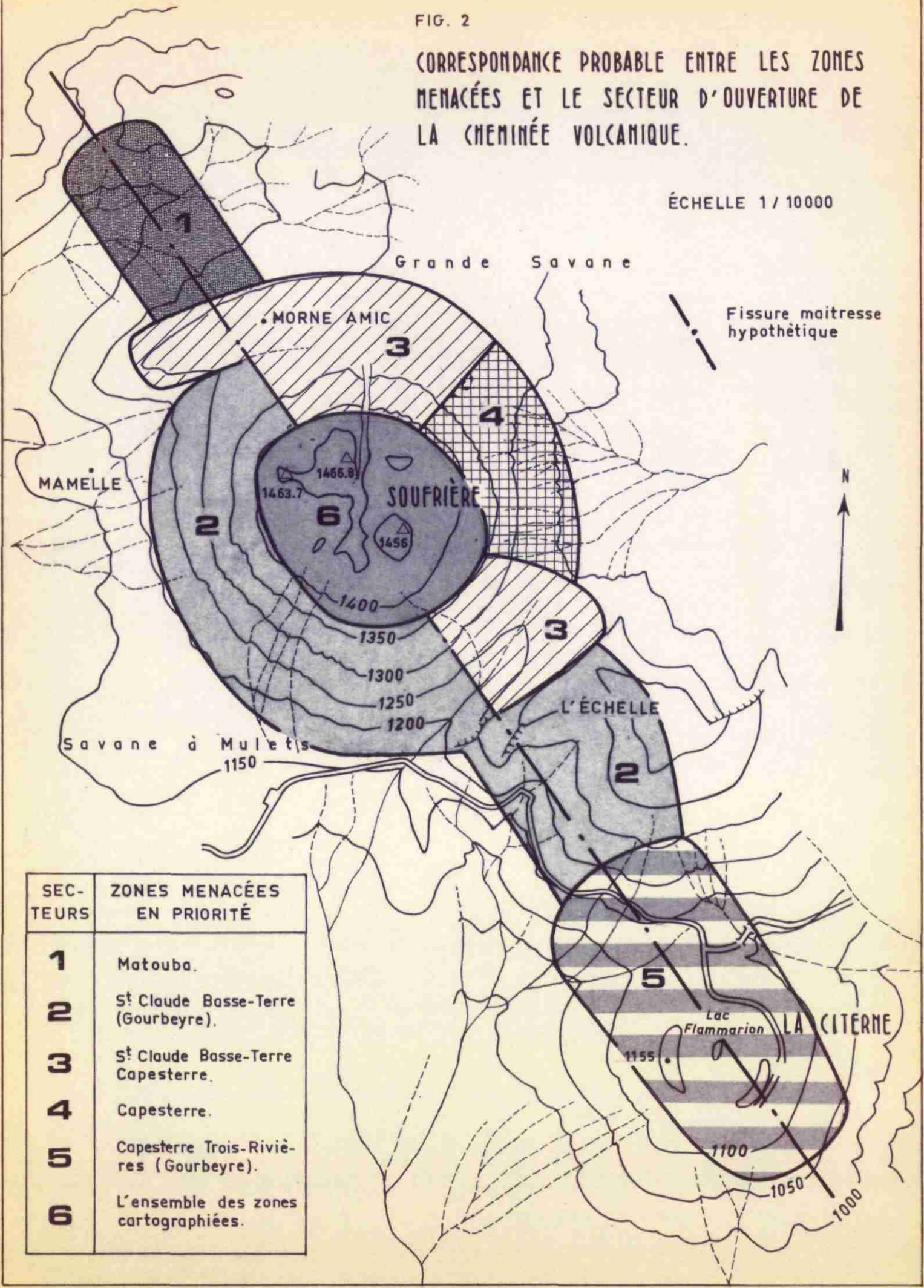
Il est difficile d'en dire plus pour le moment, mais on peut supposer que les épencentres des foyers sismiques peu profonds (inf. à 1 km), dans l'hypothèse où ils annoncent bien l'éruption, cernent plus ou moins l'emplacement de la cheminée future.

Selon que l'ouverture aura lieu dans le dôme (cas des éruptions phréatiques historiques), à sa périphérie (schéma de la Montagne Pelée, du Mérapi (Java)....) ou dans la zone des fumerolles (opinion de L. BARRABE), les secteurs menacés en priorité ne seront pas les mêmes. En effet, les reliefs topographiques très proches, jouent le rôle d'écran ou d'obstacle, pour bon nombre de phénomènes volcaniques (figure 2).

FIG. 2

CORRESPONDANCE PROBABLE ENTRE LES ZONES MENACÉES ET LE SECTEUR D'OUVERTURE DE LA CHEMINÉE VOLCANIQUE.

ÉCHELLE 1 / 10000



SEC-TEURS	ZONES MENACÉES EN PRIORITÉ
1	Matouba.
2	St Claude Basse-Terre (Gourbeyre).
3	St Claude Basse-Terre Capesterre.
4	Capesterre.
5	Capesterre Trois-Rivières (Gourbeyre).
6	L'ensemble des zones cartographiées.

IV. ZONATION DES RISQUES

A - Introduction

La zonation des risques consiste à délimiter les régions menacées directement ou indirectement par une nouvelle éruption volcanique. Une fois déterminé le type de phénomènes volcaniques dont on doit tenir compte (paragraphe II), deux problèmes se posent :

- l'évaluation de l'ampleur des phénomènes
- l'intervention du relief, des vents, ... dans la répartition des produits émis.

B - Evaluation de l'ampleur des phénomènes

Le problème se résume à évaluer l'ampleur maximale que peut avoir chaque phénomène volcanique envisagé. Pour respecter ici aussi le caractère individualiste des volcans, on a recherché dans l'histoire géologique récente du massif de la Soufrière les arguments permettant une telle estimation. L'examen de la carte géologique permet en effet de repérer les surfaces couvertes, les distances parcourues par tel type de produit, dans la mesure où les dépôts primaires sont conservés. Lorsque cette démarche s'est révélée infructueuse, certaines éruptions décrites dans la littérature (en particulier dans le catalogue of active volcanoes of the world, Roma, Intern. Assoc. volcan.), ont servi de base de réflexion.

C - Intervention du relief

Aucun phénomène volcanique est totalement indépendant du relief. La raideur des pentes influe sur la stabilité des dépôts, sur l'accélération des produits qui "coulent", donc sur la distance qu'ils vont parcourir.

Les vallées canalisent ou stoppent ces produits, les collines les arrêtent, les détournent ou perturbent leurs effets,.....

Selon l'énergie initiale et le type de phénomène volcanique, cette intervention du relief est déterminante dès la sortie du cratère et tout au long du processus (coulées de lave, avalanches incandescentes,) à une certaine distance du cratère seulement (émissions verticales de nuées ardentes, cendres et lapilli, de nuées ardentes obliques, ...), ou au contraire au début du processus uniquement (production de lahars qui inondent les basses plaines).

Chaque cas est envisagé séparément en détail.

.../...

D - Eruptions phréatiques

Les témoins des éruptions phréatiques historiques de la Soufrière de Guadeloupe les ont décrites comme des phénomènes de courte durée et de faible ampleur. Il semble donc que les conditions ne soient pas réunies pour le moment à la production d'éruptions phréatiques violentes.

La crise sismique actuelle peut toutefois modifier la perméabilité générale de la région et créer dans l'avenir les conditions pour qu'une forte éruption de ce type devienne possible.

Dans l'état actuel des choses, les risques que font encourir ce type d'explosion sont assimilée à ceux des éruptions à cheminée ouverte de faible ampleur (petites nuées ardentes verticales ; émission de cendres et de lapilli)

E - Coulées de lave et dômes

L'effet direct de ces deux phénomènes ne devrait toucher que la partie sommitale du massif.

Les mesures effectuées sur les coulées de lave du massif Madeleine - Soufrière montrent qu'elles sont d'autant plus courtes qu'elles sont récentes et sorties proche du sommet actuel (WESTERCAMP, 1976, fig. 1).

Cette règle empirique suggère que les coulées de l'avenir ne dépasseront pas 3 km de long.

Ce type d'activité effusive visqueuse est un effet direct de la perte progressive, en fonction du temps, du caractère explosif du massif Madeleine - Soufrière.

Les nombreuses et fortes ruptures de pente du coeur du massif pourront provoquer des éboulements importants au front des coulées. Ils se mettront en place comme les nuées ardentes, dans les mêmes secteurs et leurs risques sont comparables.

F - Nuées ardentes verticales

1 - Effets directs

Les dépôts possibles de nuées ardentes verticales du type St-Vincent ; cf. fig. 3), sont limités au coeur du massif, autour du Carmichael. En raison de l'âge assez ancien des éruptions et des remaniements postérieurs importants, on ne connaît pas la surface détruite par les produits émis, ni la distance maximale jusqu'à laquelle ils ont été dangereux.

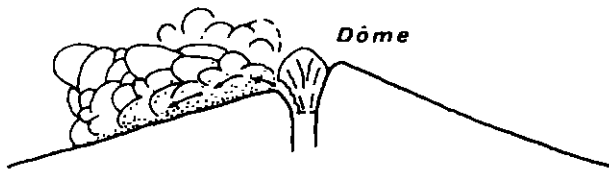
Il est peu probable qu'ils aient atteint la région actuelle de Basse-Terre puisque des dépôts directs de coulées de ponces de même âge environ, et bien plus meubles, y existent.

Que se soit au Mt Kelud (Java) ou à la Soufrière de St-Vincent, les dégâts ont été sérieux jusqu'à 6 km du cratère. C'est l'ordre de grandeur que l'on peut retenir en cas d'émission de ce type à la Soufrière de Guadeloupe.

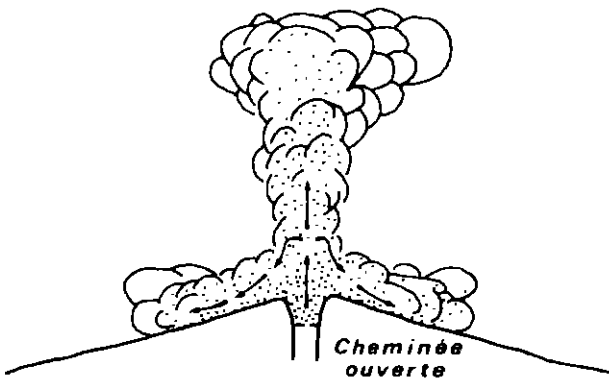
FIG. 3

LES DIFFÉRENTS TYPES DE NUÉES ARDENTES
ET D' AVALANCHES INCANDESCENTES.

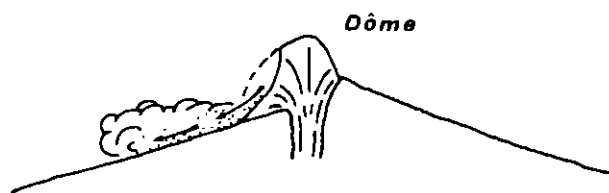
d'après Macdonald, 1972



Type Pelée



Type Soufrière de S^t Vincent



Type Mérapî

2 - Effets secondaires

Les retombées de nuées ardentes verticales et les avalanches incandescentes secondaires qu'elles provoquent laissent des portions étroites de terrain intactes entre des secteurs complètement détruits, (éruptions historiques du Papandayan (Java) en 1772 et de Semerou (Java) en 1885 ; d'après VERBECK et FENNEMA, 1896 - cité par LACROIX, 1904 - p. 367).

On en conclut que les nuées ardentes verticales ne produisent pas d'effet de souffle et que seuls leurs dépôts sont menaçants.

3 - Protection

Au-delà de 6 km de distance au cratère, les retombées de nombreux petits blocs ne devraient pas présenter de danger pour les populations réfugiées dans les habitations.

G. Cendres, lapilli et bombes

1 - Effets directs

La dernière éruption magmatique connue, rapportée au XVI^e siècle par datation au 14 C, a essentiellement constitué en l'émission de cendres et lapilli.

Dans le secteur N.W. de St-Claude, elles ne seraient accumulées sur une dizaine de mètres d'épaisseur (BRUET, 1953). L'étude des dépôts dus à l'activité de la Citerne, de l'Echelle et du Carmichael (?) révèle que les bombes de plusieurs kilogrammes sont confinées à proximité immédiate de la bouche éruptive.

Les éléments fins sont sensibles aux alizés, fréquents dans la région. Ils se déposeront en plus grande quantité à l'Ouest de la bouche éruptive selon une bande d'autant plus étroite que le vent sera violent. (fig. 4).

L'émission même très abondante de cendres ne présente pas de danger direct pour les populations. Leur long trajet dans l'air assure un refroidissement rapide et des incendies ne sont pas à craindre.

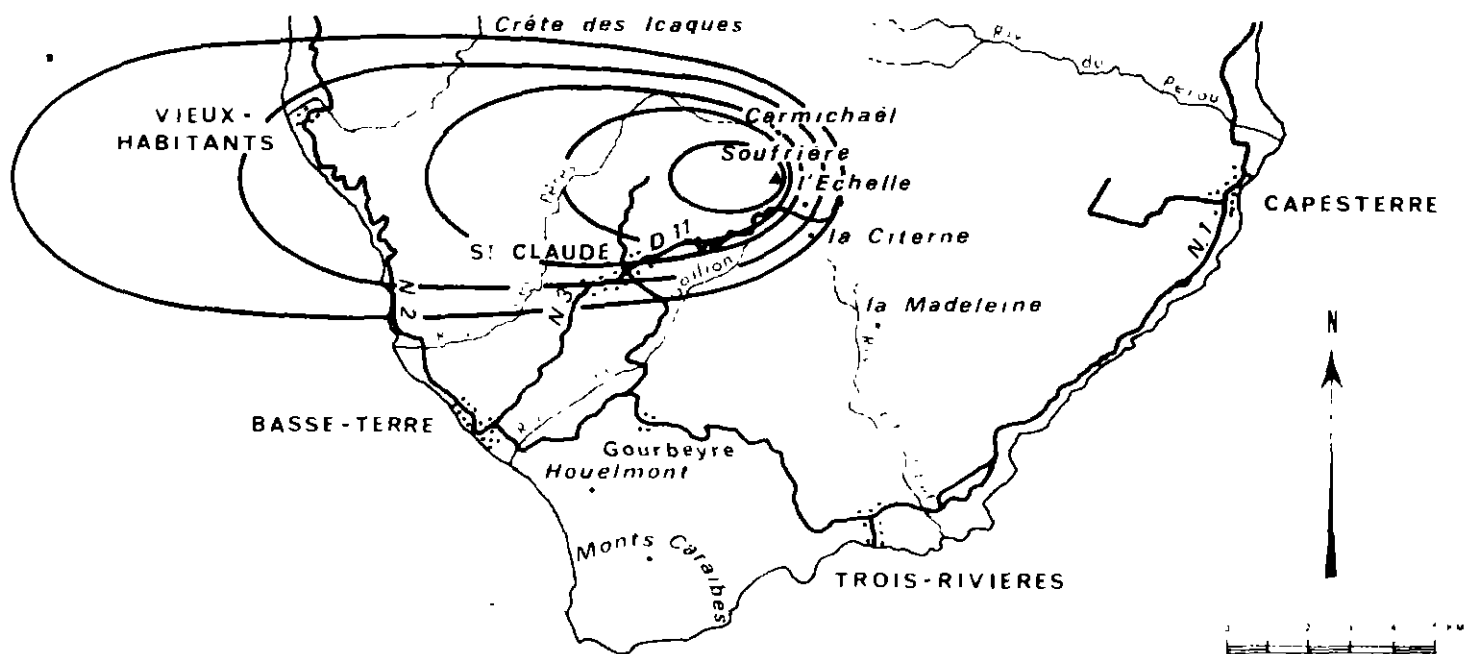
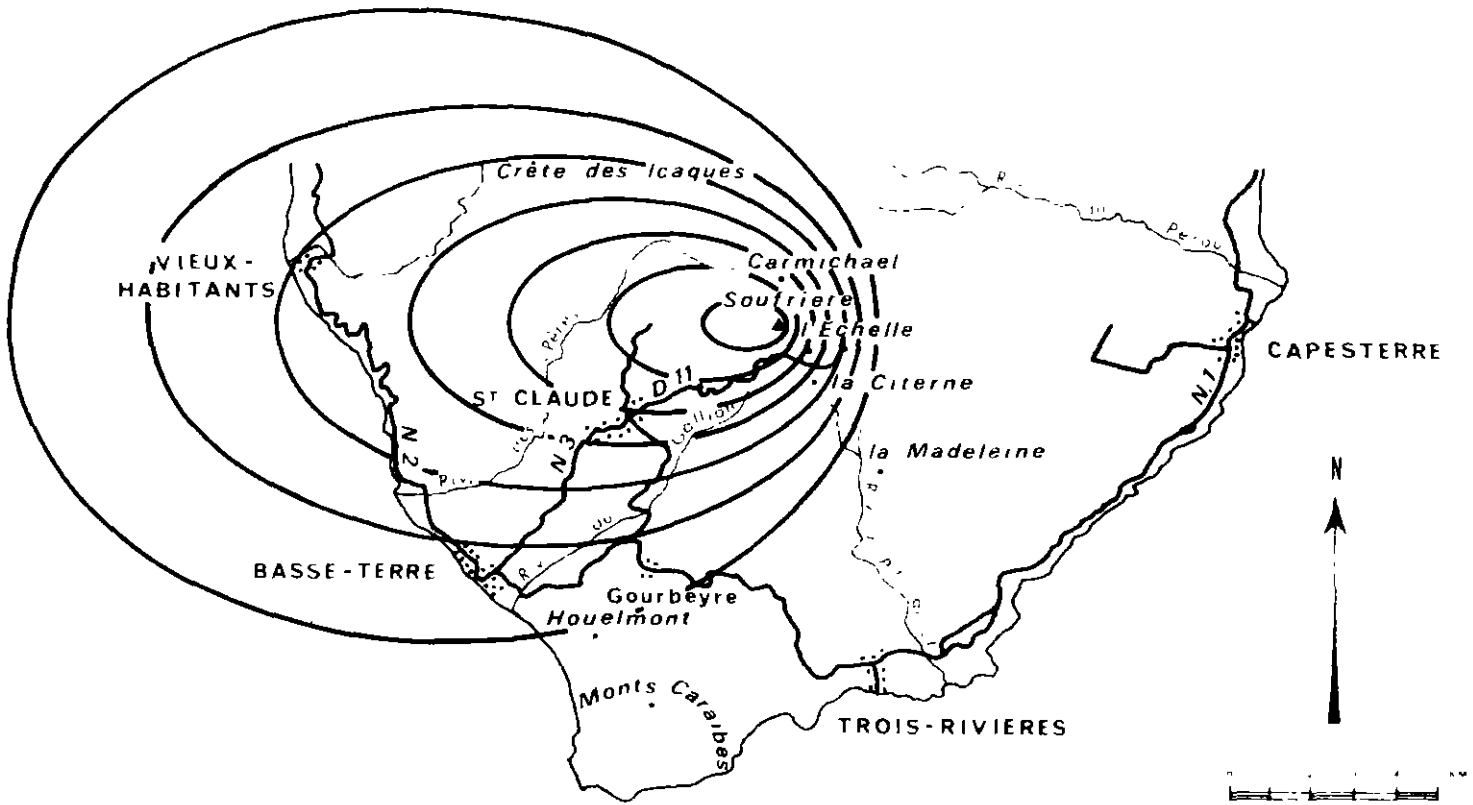
2 - Effets secondaires

L'accumulation des cendres sur les pentes déboisées du volcan proches du sommet peut créer les conditions au déclenchement de lahars dévastateurs. Cette question est étudiée en détail au paragraphe I.

3 - Protection

Il faut nettoyer les toits pour éviter les risques d'effondrement, dégager les voies de communication au cas où une évacuation ultérieure s'avèrerait nécessaire.

FIG. 4 - TYPES DE RÉPARTITION DES CENDRES SOUMISES A L'ACTION D'UN VENT DOMINANT.



H. Nuées ardentes et avalanches incandescentes

1 - Généralités

L'absence de dépôts récents de nuées ardentes et leur faible pourcentage volumique, suggèrent que la probabilité d'une éruption volcanique avec production de nuées ardentes est faible à la Soufrière de Guadeloupe.

En outre, le développement d'une éruption, en région d'arc insulaire ou de marge continentale ne conduit pas nécessairement à la production de nuées ardentes (tableau III) dans bien des cas, ce phénomène reste secondaire et la tragédie de Saint Pierre fausse d'autant plus le problème dans la Caraïbe.

Généralement, les nuées ardentes sont de type Mérapî, sans explosion initiale oblique, plutôt que de type péleén à forte énergie explosive de départ (figure 3).

L'absence de dépôts de nuées ardentes en bordure de mer loind du cratère, suggère aussi que les nuées ardentes produites à la Soufrière de Guadeloupe ont été de type Mérapî. Nous considérons donc que les risques de nuées ardentes paroxysmales dirigées sont quasi nulles.

Leurs effets directs et indirects seront toutefois décrits dans le paragraphe V.g avec ceux des coulées de ponces.

2 - Zone de dépôt

Les nuées ardentes de type Mérapî et les avalanches incandescentes de front de coulée n'ont pas, ou peu, d'énergie cinétique au départ, et empruntent dès le début le fond des vallées.

Soumises avant tout à la force de gravité, la distance qu'elles parcourent dépend essentiellement de la dénivellation. Les volcans qui sont le siège de ces phénomènes se caractérisent sur le plan topographique par une décroissance régulière des pentes du sommet à la base, selon une loi exponentielle.

Les nuées ardentes de type Mérapî et autres avalanches incandescentes dessinent donc une droite si on fait le rapport dénivellation / log. distance parcourue (figure 5).

- le secteur situé du côté des plus grandes distances de la droite caractérise les nuées ardentes à explosion initiale dirigée
- le secteur situé de l'autre côté groupe les nuées ardentes et avalanches incandescentes qui ont été gênés dans leur progression (butte, coude de rivière, ...)

Du diagramme on déduit que les agglomérations de Capesterre et probablement de Basse Terre sont à l'abri du dépôt des nuées ardentes de type Mérapî et des avalanches incandescentes. La limite des dépôts dans chaque secteur est obtenue en cherchant le rapport adéquat dénivellation / distance au cratère sur la droite ainsi tracée.

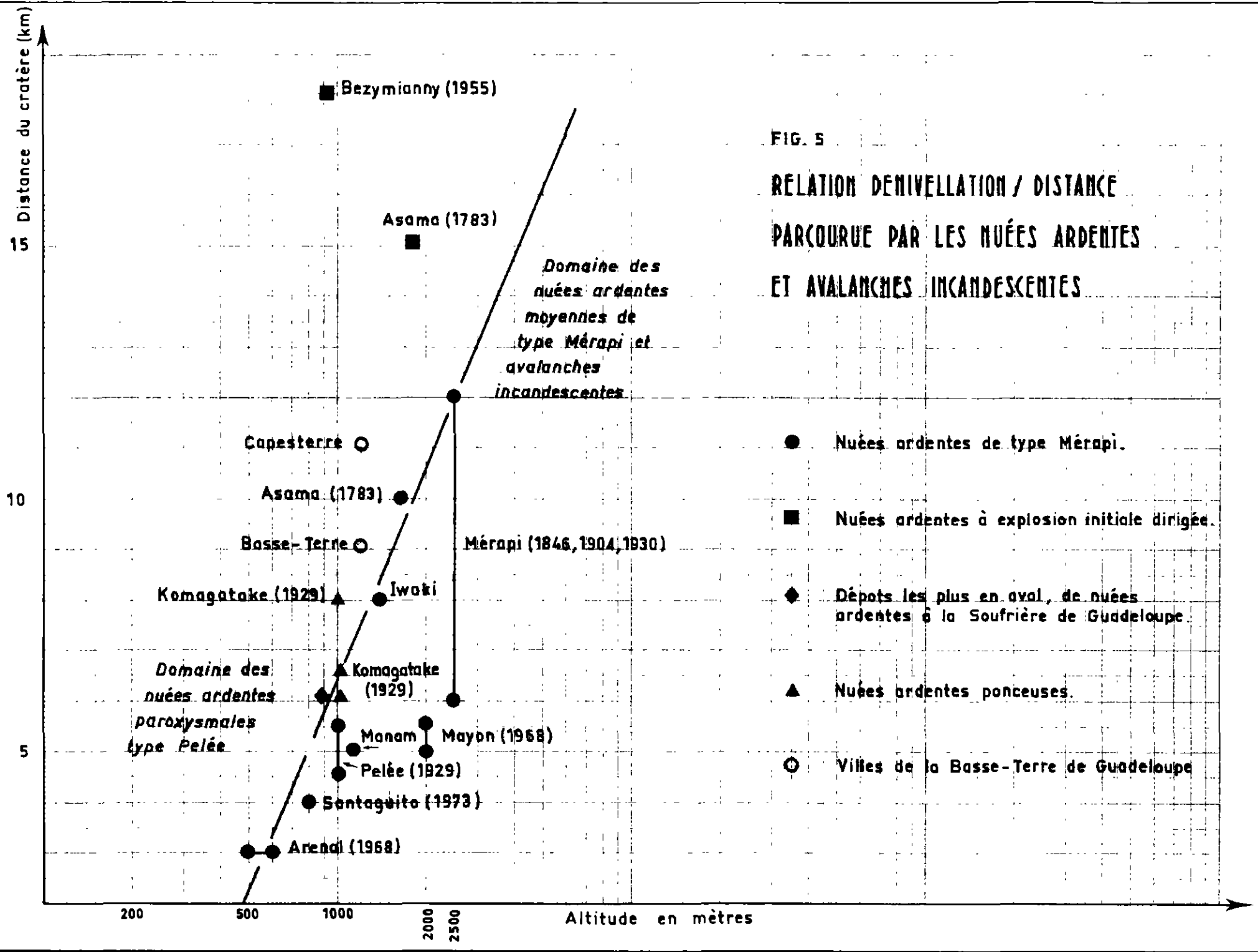
La mise en place d'une nuée ardente s'accompagne d'un nuage de cendres et graviers qui, contrairement à la brèche proprement dite, n'est pas sensible au relief et peut s'élever à plusieurs kilomètres d'altitude. L'action de ce nuage dense s'apparente à celle des retombées de cendres et lapilli mais sa température est plus élevée. Il y a généralement inflammation des constructions en bois et de la végétation.

TABEAU 3

Pourcentage d'éruptions historiques "à nuées ardentes" pour quelques volcans actifs d'arc insulaire ou de marge continentale

Nom du volcan	Nombre total d'éruptions historiques*	Nombre d'éruptions ayant produit des nuées ardentes*	Rapport de fréquence en %	Chimie de la lave
MÉRAPI (Java)	33 (de 1000 à 1872)	10	30 %	Basalte
	17 (de 1872 à 1949)	6	35 %	Andésite
SAKURA JIMA (Japon)	< 40 (depuis 708)	1 (1939)	2.5 %	Andésite
ASAMA (Japon)	< 50	2	4 %	Andésite
USU (Japon)	6	1	16 %	Dacite
COLIMA (Mexique)	10	2	25 %	
MONTAGNE - PELÉE (Martinique)	4	2	50 %	Andésite
SANTA-MARIA (Guatemala)	5	2	40 %	Andésite
FUEGO (Guatemala)	< 20 (de 1799 à 1957)	1 (1932)	5 %	Andésite

* d'après le catalogue of the active volcanoes in the world (Roma, int. Ass. volc.)



Les gaz qui s'échappent des graviers contribuent avec les cendres à rendre l'air suffocant, brulant, voir asphixiant.

3 - Effets secondaires

La mise en place d'une brèche de nuée ardente et de son nuage **dense** provoque un déplacement d'air de l'atmosphère environnante. Ce déplacement est de plusieurs dizaines de m/s (les vitesses du vent pendant un cyclone peuvent atteindre 60 m/s) et son effet se fait sentir à une distance de quelques centaines de mètres, voire de 1 ou 2km, du dépôt de la brèche.

A titre indicatif le secteur de dépôts des nuées ardentes et la zone soumise à l'effet de souffle des éruptions du Mayon (Philippines) en 1968, de l'Asama (Japon) en 1783 et de la Montagne Pelée en 1902 sont dessinés en figure 6.

4 - Protection

Aucune lutte n'est possible contre l'effet direct des nuées ardentes, même moyennes.

Dans les secteurs de souffle, les règles de sécurité à appliquer s'apparentent à celles préconisées en cas de cyclone. Les édifices à construire dans ces secteurs devront présenter au volcan le minimum de surface et leurs murs de soutien être autant que possible radiaux par rapport au sommet.

1. Coulées de ponces (et nuées ardentes de type Pelée)

Les coulées de ponces se mettent en place comme un liquide qui déborde d'un récipient, sur des distances qui peuvent être énormes. De telles éruptions se sont produites à la Soufrière de Guadeloupe il y a 15.000 ou 30.000 ans, et les chances pour qu'elles se reproduisent ne sont pas nulles. Le volume de matériaux émis est considérable, de 100 à 1.000 fois plus importants que celui des nuées ardentes.

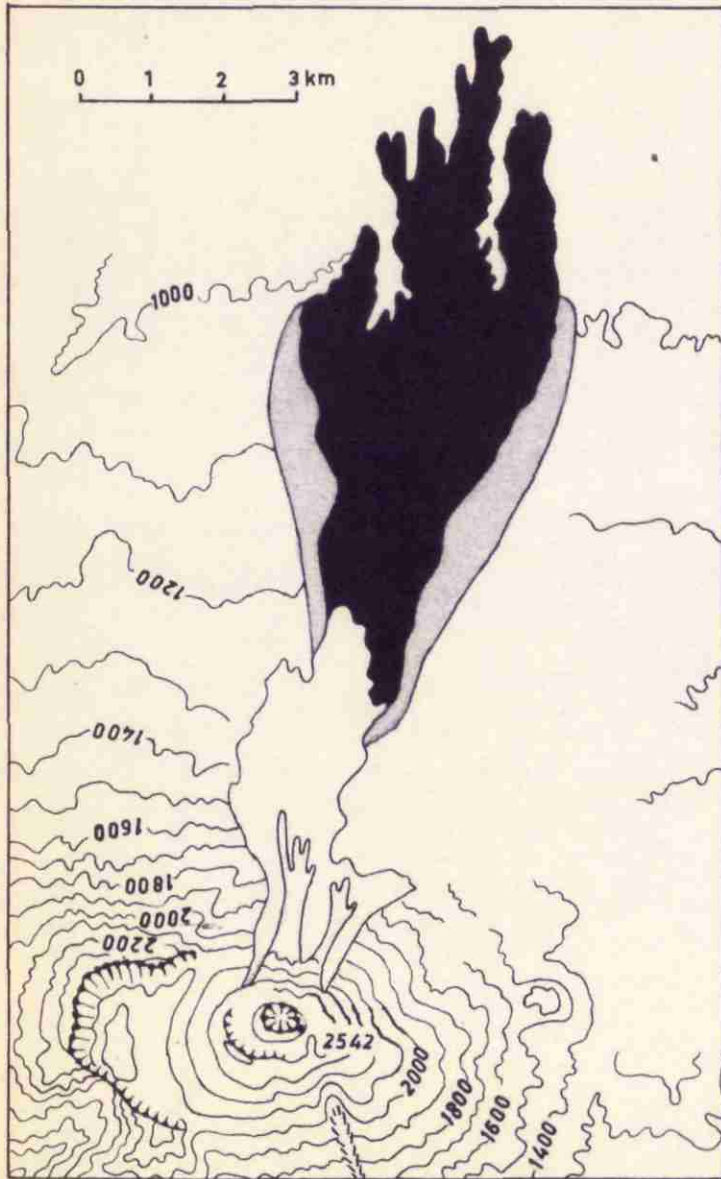
En raison de la lenteur de mise en place, les coulées de ponces ne provoquent pas d'effet de souffle.

La zone de dépôts des nuées ardentes de type Pelée, coïncide plus ou moins avec celle des coulées de ponces. L'effet de souffle de tels phénomènes mettrait en danger quasiment l'ensemble du massif. On sait toutefois que le relief est un écran efficace à son action.

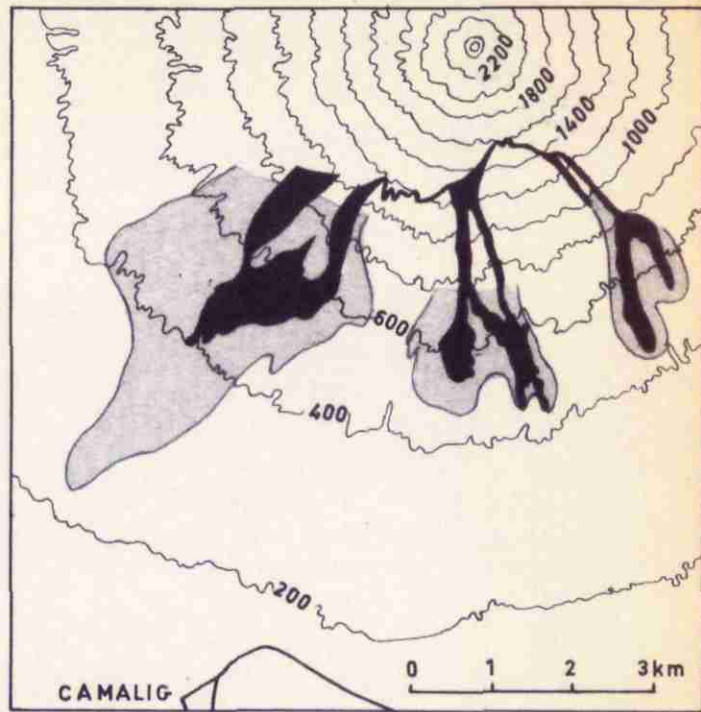
La seule protection possible est dans tous ces cas l'évacuation complète des zones menacées.

.../...

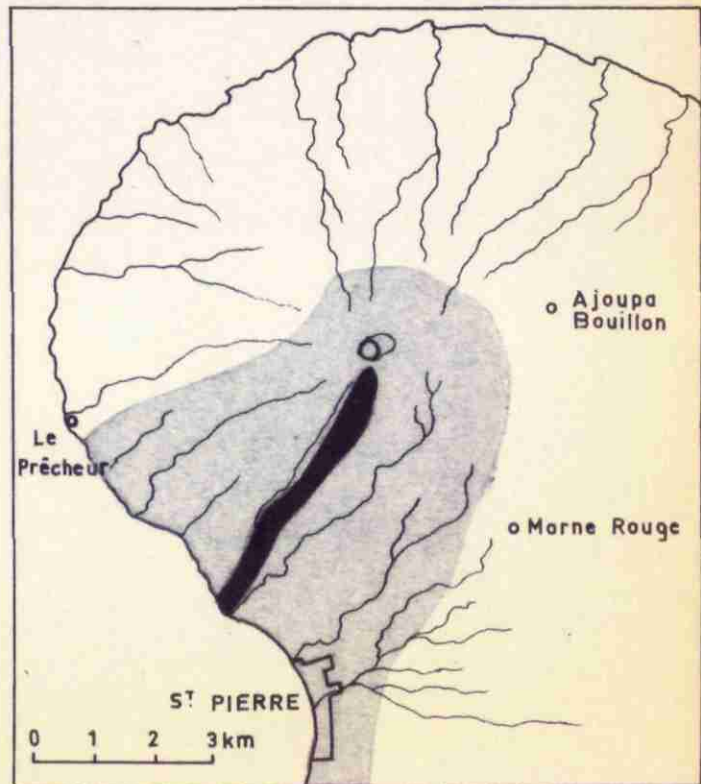
FIG. 6
 DÉPÔTS ET ZONES SOUMISES A L'EFFET DU SOUFFLE DES
 NUÉES ARDENTES POUR QUELQUES VOLCANS D'ARC INSULAIRE



ASAMA, 1783 (Aramaki, 1956)



CAMALIG
 MAYON, 1968 (Moore et Melson, 1969)



MONTAGNE PELÉE, 1902 (Lacroix, 1904)

LÉGENDE



Dépôt de nuées ardentes.



Zone soumise à l'effet de souffle.

J. Lahars

1 - Généralités

Les lahars résultent de la remobilisation par des eaux boueuses de dépôts de brèches diverses (dépôts de nuées ardentes, ponces, éboulis, galets de rivière, ...).

Ils peuvent se produire à la Soufrière de Guadeloupe par :

- 1 - explosion de vapeur au sommet ou proche du sommet ; c'est l'exemple d'une éruption phréatique de faible ampleur
- 2 - secousses sismiques qui produisent le glissement de terrains gorgés d'eau
- 3 - altération de vastes pentes rocheuses en argile mouvante sous l'action des fumeroles
- 4 - "déversement" de la nappe phréatique, par glissement des terrains encaissant, dans le haut des vallées.
- 5 - déversement brutal des lacs perchés
- 6 - glissement à la suite des pluies des dépôts de cendres, ponces, lapilli, accumulés sur pente.

2 - Cas n° 4

De tels phénomènes se sont produits avant les phases explosives des éruptions historiques de la Soufrière de Guadeloupe. Les lahars produits sont restés mineurs et n'ont pas occasionné de dégâts. Le contrôle éventuel du phénomène, qui reste pour le moment assez mystérieux, nécessite une étude hydrogéologique complète du massif (profondeur, vitesse d'écoulement, de la nappe phréatique).

3 - Cas n° 5

Des lacs installés en altitude, seul le Grand Etang est un danger potentiel pour les populations et habitations installées en aval. Le barrage isolant le lac du haut de la vallée est constitué de blocs empilés les uns sur les autres, à peine cimentés par une argile sableuse. Cette brèche, assez perméable puisque les eaux du lac s'écoulent à travers, serait certainement emportée en cas de débordement du lac.

Environ 0,5 million de m³ seraient suffisant pour cela, quantité tout à fait compatible avec les volumes de cendres boueuses qui peuvent dégouliner des hauteurs. Ce serait environ un million de m³ d'eau qui se déverserait dans la vallée de la rivière. Les dégâts occasionnés au niveau des basses plaines pourraient être importants.

4 - Cas n° 6

La formation des lahars de ce type est subordonnée à plusieurs facteurs concomitants, que G. MARINELLI (1969) énonce ainsi :

- 1 - éruption volcanique avec émission de quantités importantes de produits pyroclastiques fins. La granulométrie de ces pyroclastites joue un rôle primordial dans la formation des lahars dont la probabilité sera fonction de la finesse et de la proportion des cendres et des sables par rapport aux produits plus grossiers (lapilli, ponces, scories, blocs) ;

.../...

- 2 - dépôt de cendres ou sables volcaniques (plus ou moins mélangé avec des lapilli ou des produits plus grossiers) en épaisseur suffisante pour effacer les aspérités du sol et la végétation, annulant leur capacité de freinage ;
- 3 - la couche de produits pyroclastiques doit être déposée sur une pente d'une part inférieure à l'angle limite de glissement de ces matériaux incohérents à l'état sec, d'autre part, supérieure à l'angle limite pour des matériaux imprégnés d'eau ;
- 4 - enfin chute de pluie suffisamment intense et abondante pour imprégner rapidement la couche pyroclastique. Le déclenchement d'un lahar sera d'autant plus probable que la pluie sera forte et qu'elle suivra de peu le dépôt de cendres. Au bout d'un certain temps en effet, le risque de lahars diminue d'une part, par tassement du matériau, d'autre part, par sa "pouzzolanisation", l'humidité et les infiltrations d'eau attaquant le verre volcanique des pyroclastites et amenant progressivement leur cimentation.

A la Soufrière de Guadeloupe, seuls les pentes proches du sommet et dépourvues de végétation haute répondent aux critères détaillés ci-dessus.

Les éruptions historiques du volcan Kelud (Java) où le lac de cratère a été éjecté à chaque fois lors de l'explosion initiale permettent d'évaluer grosso modo le volume d'eau (donc de cendres liquifiées) nécessaire à la production de lahars dévastateurs.

- en 1901 : éjection de 30 à 40 millions de m³ ; hauteur dans certaines ravines : 58 m ; production de lahars dévastateurs.
- en 1919 : éjection de 30 millions de m³ qui se répartissent dans trois vallées. Les lahars détruisent 130 km² et font 5.110 victimes.
- en 1951 : éjection de 2 millions de m³, pas de lahars importants.

On considère d'après ces données que le déversement d'un volume de cendre mouillée de 10 millions de m³ dans le haut d'une vallée, produira des lahars dévastateurs.

La zonation a été faite en supposant une hauteur d'eau maximale de 40 m dans les rivières, diminuant de moitié environ, au début de l'étalement dans les basses plaines.

L'épaisseur de cendre nécessaire à la production des 10 millions de m³ est estimée en fonction de la surface du bassin d'alimentation de chaque rivière, en supposant :

- un glissement homogène de l'ensemble du dépôt (cas le plus défavorable)
- une réduction au moins de moitié du volume de cendres sèches en cendres mouillées. (Un modèle expérimental pourra facilement être réalisé en début d'éruption, avec les cendres émises pour préciser ce rapport de volume).(cf. tableau IV).

Il est probable, compte tenu de la forte pluviosité à la Soufrière de Guadeloupe tout au long de l'année, que les conditions de sécheresse requises à l'accumulation des quantités suffisantes de cendres se réaliseront rarement.

TABLEAU 4

ORDRE DE GRANDEUR DES ÉPAISSEURS MINIMALES DE CENDRES ACCUMULÉES DANS LES BASSINS DE RÉCEPTION DES PRINCIPALES RIVIÈRES, NÉCESSAIRES AU DÉCLANCHEMENT DE LAHARS IMPORTANTS.

	Rivière Bains Jaunes	Rivière Rouge (Matauba)	Rivière Noire (St. Claude)	Rivière du Gallion (Basse-Terre)	Rivière Grande-Anse	Petite riv. du Carbet (Trois-Rivières)	Rivière du Carbet	Rivière du Pérou (Capesterre)	Grande rivière de Capesterre	Rivière du Bananier
Surfaces projetées (calculées sur la carte au 1 / 20000).	110 x 10 ³	390 x 10 ³	1030 x 10 ³	1050 x 10 ³	690 x 10 ³	2780 x 10 ³	2070 x 10 ³	3080 x 10 ³	270 x 10 ³	
Surface vraie.	125 x 10 ³	430 x 10 ³	1120 x 10 ³	1130 x 10 ³	740 x 10 ³	3100 x 10 ³	2140 x 10 ³	3140 x 10 ³	300 x 10 ³	
"Hauteur de cendre mouillée pour faire un volume de 10 millions m ³ .	80m	20m	9m	9m	13m	3m	4,5m	3m	35m	
Capacité d'accroissement de volume en cours de glissement.	Forte (4 fois)	Faible (2 fois)	Faible	Faible	Très forte (5 fois)	Moyen (3 fois)	Faible	Faible	Forte > 6 Étang = 10m ³	
Hauteur minimum de cendre sèche pouvant déclencher un lahar dévastateur.		20m	~ 10m	~ 10m	6 - 7m	2m	5m	3m	5m	

5 - Protection

Les bassins de réception des cendres, susceptibles de nourrir les lahars dévastateurs, doivent être balisés de jalons gradués et de pluviomètres, et surveillés constamment en cas d'émission de produits pyroclastiques fins.

L'alerte est donnée dès le moment où les cendres auront atteint l'épaisseur minimale nécessaire au déclenchement des grands lahars en fonction de l'importance des pluies. La production probable de petits glissements avortés, sera signe précurseur à prendre en considération.

La construction de digues ayant pour but de dévier et nous d'arrêter le torrent boueux est réalisable. Toutefois, la seule expérience faite jusqu'à présent à ma connaissance, au Mt Kelud pour protéger la ville de Blitan, s'est soldée par un échec. Le barrage a été mis en pièce par les lahars consécutifs à l'éruption de 1919 et la ville a été détruite (ZEN et HADIKUSUMO, 1965).

Les lahars constituant un risque majeur, chaque cas est étudié en détail dans le dossier-annexe. (annexe 2)

6 - Effets secondaires

L'arrivée en mer des lahars provoque fréquemment la formation de petits tsunamis (raz-de-marée).

Leur effet sur les côtes convexes à la mer est généralement faible (SOLOVIEV, 1975) et l'amplitude des vagues produites ne devrait pas dépasser 4 à 5 m. Il convient toutefois de mettre au courant les populations en particulier les pêcheurs de la possibilité de tels phénomènes pour qu'ils puissent prendre leurs dispositions.

V. UTILISATION DE LA CARTE DE ZONATION DES RISQUES VOLCANIQUES

La carte de zonation des risques volcaniques est un document qui intervient utilement :

- dans la planification de l'économie en période de récession du volcanisme ;
- dans la protection des populations en cas d'éruption.

A - Recherche d'un emplacement "idéal" pour l'observatoire scientifique chargé de la surveillance du volcan.

Le problème se pose en Guadeloupe puisque l'observatoire du Parnasse est installé dans un secteur particulièrement menacé quelque soit le type d'éruption au cratère.

Le risque est grand d'être contraint de déménager la station d'enregistrement et tout le matériel scientifique vers une zone de repli, dans des conditions peut être difficiles, à un moment où il ne faudrait pas que la surveillance se relâche un seul instant ; situation paradoxale pour ne point dire absurde, dénoncée depuis longtemps déjà par les responsables de la surveillance sismo-volcanique aux Antilles françaises (cf. en particulier JOLIVET, 1960, p. 41).

Le Fort St Charles, situé à l'entrée de Basse-Terre a été retenu comme observatoire de repli. Il n'est guère menacé que par l'action des lahars de grande ampleur qui peuvent déborder de la rivière du Galion. Au cas peu probable d'émission de coulées de ponces et de nuées ardentes de type Pelée, il devrait être évacué lui aussi.

Le meilleur emplacement pour un observatoire est l'endroit proche du cratère, où aucun dépôt massif de lave n'est à craindre quelque soit le dynamisme éruptif, et qui offre le plus large panorama sur le maximum de secteurs menacés.

Dans le massif Madeleine - Soufrière, le haut du plateau du Palmiste (le morne Lenquet en particulier) me paraît l'emplacement le meilleur.

Il n'est toutefois pas à l'abri totalement de retombées associées aux nuées ardentes de type St Vincent et demeure dans la zone d'effet de souffle des nuées ardentes de type Pelée. Ces inconvénients nécessitent seulement la construction d'un tunnel ou d'un abri blindé, comme cela a été réalisé sur les flancs du volcan Mérapî à Java (NEUMANN VAN PADANG, 1960).

Ses avantages sont divers :

- 1 - vue imprenable sur les secteurs menacés de St Claude - Basse Terre et Trois Rivières.
- 2 - possibilité de gagner directement par Moscou et l'As de Pique le plateau de la Grande Chasse :
 - . qui serait un très bon observatoire en cas d'activité vers le secteur de Capesterre ;
 - . qui permettrait de gagner directement le sommet en cas d'activité moyenne au cratère pour installer ou récupérer du matériel de surveillance, surveiller les épaisseurs de cendres (protection contre les lahars), ...

.../...

3 - l'environnement calme permettrait d'accroître la qualité des enregistrements effectués sur place.

Enfin, le réseau routier existant déjà jusqu'au morne Lenglet, seul le coût de la construction proprement dite serait à supporter.

B - Quand, comment et combien de temps doit-on utiliser la carte de zonation des risques en cas d'éruption.

Tant que le volcan ne présente pas d'activité visible, même en cas de crise sismique (cas actuellement à la Soufrière de Guadeloupe) le document n'est pas utilisé.

Dès qu'une éruption est prévisible, les zones où le risque est maximal sont mises en état d'alerte.

L'éruption se produit: selon le lieu d'ouverture au cratère et le type d'activité volcanique, les zones menacées en priorité sont évacuées, les secteurs où le risque est moins fort sont mis en état d'alerte.

Au cas où des phases d'activités paroxysmales surviennent, tout le secteur menacé doit être abandonné.

La diminution de l'activité volcanique peut n'être qu'une phase de repos et non l'indice que la fin de l'éruption est proche. Toute zone qui a été évacuée, sinistrée ou non, ne devrait pas être regagnée avant un certain temps (qui dépend surtout du rythme éruptif précédent).

En cours d'éruption, selon les modifications du relief, l'apparition ou non de cratères secondaires, la carte doit être actualisée sans cesse.

VI. C O N C L U S I O N

La carte de zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe, découpe l'ensemble du volcan en trois types de secteurs où les dangers à craindre sont estimés nuls, moyens et forts, en cas d'éruption centrale au volcan.

A - Les zones à risque maximal

Ces zones sont celles qui ~~seront~~ menacées par les phénomènes volcaniques ayant le plus de chance de se produire dans l'avenir. On a estimé d'après l'histoire volcanique du massif Madeleine - Soufrière que tel était le cas pour :

- les émissions de cendres et lapilli juvénile ou non (explosions phréatiques).
- la production de lahars primaires et secondaires
- la mise en place de dômes et de coulées de laves, et des avalanches incandescentes qui l'accompagnent.

Les limites des zones dépendent de l'ampleur que ces phénomènes peuvent avoir et du mode de dépôt des produits qu'ils émettent, dépôt directement lié au relief.

Elles ne peuvent être dessinées de façon réaliste que si une relation même approchée est trouvée entre ces deux facteurs.

La tentative a été faite de relier la distance parcourue des avalanches incandescentes avec la dénivellation et la production de lahars importants (sans doute dévastateurs) avec l'épaisseur des cendres accumulées en amont des bassins de réception des principales rivières.

Ces zones pourraient être mises en état d'alerte dès que l'éruption proprement dite commence.

B - Les zones à risque moyen

Sont celles qui sont soumises à la fois aux paroxysmes anormaux des phénomènes précédemment évoqués, et aux phénomènes ayant peu de chance de se produire en cas d'éruption.

Les secteurs menacés par des phénomènes explosifs de grande ampleur, tels nuées ardentes de type St Vincent et Pelée, coulées de ponces, sont rassemblées ici. En effet, l'histoire volcanique du volcan montre que ces phénomènes sont anciens et mineurs en volume, deux arguments qui rendent leur réapparition peu probable.

Il n'est donc pas réaliste à mon avis de craindre avant tout une nuée ardente du style de celle qui a détruit St Pierre en 1902. Ce serait nier le rôle primordial du contexte régional sur le dynamisme éruptif, différent de celui de la Montagne Pelée, et refuser à la Soufrière de Guadeloupe une individualité, une personnalité qui découle d'une évolution étalée sur plus de 30.000 ans.

La mise en état d'alerte de ces zones, pourrait se faire une fois les zones à risque maximal évacuées, dès qu'une phase paroxysmale serait à craindre.

.../...

C - Les zones à risque nul

Les secteurs éloignés, n'ayant jamais été soumis au risque volcanique de la Soufrière proprement dite ne sont absolument pas menacés.

Il en est de même des secteurs séparés du coeur du volcan par des reliefs importants.

D - Epilogue

La carte de zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe est un document empirique qui doit tenir compte d'un grand nombre de facteurs, fixes ou variables, souvent difficilement contrôlables. En outre, le choix des principaux d'entre eux, sur lesquels cette carte s'appuie est plus ou moins subjectif.

Pour ces raisons, ce document n'a pas la prétention de "prévoir" le déroulement de la prochaine éruption à la Soufrière de Guadeloupe mais d'indiquer en termes de "probabilités" et non "d'affirmations" ce qui pourrait arriver. C'est dans cet esprit qu'il peut aider les responsables de la protection civile dans leur tâche.

=====

B I B L I O G R A P H I E

- ANTOINE , P. (1975) : carte zermos La Grave n° 7, notice explicative - B.R.G.M.
- ARAMAKI, S. (1956) : the 1783 activity of Asama volcano-japanese Journ. of Geol. and Geom. vol. 27, n° 2 - 4 - p. 189.
- BARRABE, L. (1960) : Rapport sur les risques qui pourraient résulter de la présence du volcan de la Soufrière pour la ville de Basse-Terre, avec une carte de zonation des risques volcaniques au 1/50.000. Rapport inédit - 6 p.
- BOETTCHER, A.L., (1973) : volcanism and orogenic belts - the origin of andesites. Tectonophysics, vol. 17, p. 223 - 240.
- BOLT, B.A., HORN, W.L., Mc. DONALD, G.A., et SCOTT, R.F., (1975)
Geological Hazards. Springer - verlag. Berlin Heidelberg
New-York - 315 p.
- COULON, C., DUPUY, C. et LEFEVRE, C. (1976)
Quelques aspects de la genese des andésites : rôle de la
croute continentale. III. congreso-latino-americano de
geologia, Mexico.
- CRANDELL, D.L. et MULLINEAUX, D.R. (1967)
Volcanic hazards et Mount rainier, Washington.
U.S. Geol. Surv. Bull. 1238, 26 p.
- DOREL, J., ESCHENBRENNER, S., FEUILLARD, M. (1972)
Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique,
Petites Antilles. Bull. volc., t. 26, série II, p. 359 - 381.
- JOLIVET, J. (1960) : Surveillance géophysique des volcans des Antilles françaises
possibilité de prévision et de contrôle des éruptions.
Bull. volc. T. XXIII, série II, p. 31 - 44.
- LACROIX A., (1904) : La Montagne Pelée et ses éruptions. Paris, Masson, 662 p.
- MARINELLI, G. (1969) : Cameroun : développement des recherches volcanologiques.
Unesco, n° de série 1581 / BMS - RD / SCE, Paris, 19 p.
- MAURY, R., MERVOYER, B. et WESTERCAMP, D. (1974)
Températures de mise en place des pyroclastites fossilifères
de la montagne Pelée, Martinique et de la Soufrière de Gua-
deloupe - VII. conf. geol. des Caraïbes, Pointe à Pitre.
- Mc BIRNEY, A.R., (1974) : Factors governing the intensity of explosive andesite erup-
tions. Bull. volc. vol. 37, n° 3, special issue,
p. 443 - 453.
- Mc DONALD, G.A. (1958) : Barriers to protect hilo from lava flows. Pacific science,
12, 258 - 277.
- - (1972) : Volcanoes - Englewood cliffs, N.J. : Prentice - Hall, inc.
- MERVOYER, B. (1974) : Généralités sur le volcanisme récent et actuel de la Basse
Terre. Livret-guide d'excursions dans les Antilles françai-
ses. VII. conf. geol. des Caraïbes, Pointe à Pitre.

.../...

- MOORE, J.G., et MELSON, W.G. (1969)
Nuées ardentes of the 1968 eruption of Mayon volcano,
philippines. Bull. volc. T. 33 - 2 , p. 600 - 620.
- NEUMANN VAN PADANG, M., (1960) : Measures taken by the authorities of the vulcanologi-
cal survey to safeguard the population from the consequences
of volcanic out bursts.
Bull. volc., série II, t. 23, p. 181 - 192.
- REYNAL de Saint-Michel A. de (1966)
Carte géologique dét. explicative de la France, département
de la Guadeloupe et notice explicative.
- SEARLE, E.J. (1964) : volcanic risle in the Anckland metropolitan district. New
Zealand Journ. Geology and Geophysics, 7, 94 - 100.
- SOLOVIEV (1975) : Tsunamis
Conférence intergouvernementale sur l'évaluation et la dimi-
nution des risques sismiques. UNESCO, SC - 76 / SEISM/ 7, 7 p
- TONANI, F. (1971) : Concepts and techniques for the geochemical forcasting of
volcanic eruption. The surveillance and prediction of volca-
nic activity. UNESCO, Paris, p. 145 - 166.
- VLODAVETZ, V.I. (1960) : Principes de la division régionale volcanique en U.R.S.S.
Bull. volc., série II, T. 23, p. 145 - 150.
- WESTERCAMP, D. (1976) : Les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe.
rapport BRGM inédit, 76.ANT.11 - 16 p.
- WYLLIE, P.J. (1973) : Expérimental petrology and global tectonics. Tectonophysics,
vol. 17, p. 189 - 209.
- ZEN, M.T., et MADIKUSUMO, D., (1965) : The future danger of Mt Kelut (eastern Java -
Indonesia). Bull. volc., t. 28, p. 275 - 282.

Tableau récapitulatif par secteurs géographiques des dangers encourus par les constructions et les infrastructures sous l'effet des lahars et des nuées ardentes

A - LAHARS

Secteurs menacés Vallée canalisatrice des produits	Localités et Hon menacées	Principaux dégâts routiers à prévoir	Remarques
1) Rivière Rouge et ses affluents. Plateau Papaye (glissement de terrain)	<u>Matouba</u> Usine frigorifique, maison forestière, restant "chez Paul" Matouba clinique eaux vives	Pont de Matouba	peu menaçant tant que la végétation ne sera pas détruite
2) Rivière St Louis	-	-	bassin de réception peu perturbé
3) Rivière Noire puis rivière des Pères	distilleries Pères Blancs - Bologne <u>Pintade</u>	Pont Nozière (sapage de son assise rive gauche) Pont de la rivière des Pères	bassin de réception des cendres peu étendu mais bien alimenté en raison des vents dominants
4) Ravine des Bains jaunes	Bagatelle	Pont sur la ravine Bains jaunes	
5) Rivière du Gallion	Plantation du Bassin Bleu quartier sud de Basse Terre Fort St Charles (?) (sapage de son assise sud)	Pont des Marsoins Pont de la rivière du Gallion	Lahars probablement dévastateurs en cas d'écoulement limité de (4) et (5)
6) Rivière Grande Anse Madame et rivière du Petit Carbet	Concession Darboussier Monca Pont de la Grande Anse Hon. Grand Mère Carbet	Pont de la station thermal de Dolé Pont de la rivière du Petit Carbet	Surveiller l'inondation de la concession Darboussier
7) Rivière du Carbet	Anse St Sauveur Pointe de Carbet Plantation Pais à Gratter	Route nationale coupée au Nord Est de St Sauveur Inondation de l'Allée Duval noir Pont de la rivière du Carbet	Débordement au niveau de Bait Debout
8) Lac de Grand Etang	Zone basse de Baranier Hon. Grande Chasse	Pont de Baranier Route des chutes du Carbet au Nord de Hon Grande Chasse	Surveiller le barrage naturel du lac
9) Rivière du Pérou	Illet Pérou <u>Capesterre</u> Hon. Pères Grand Rivière	Route nationale coupée sur 2 km environ	Risque majeur présenté par les Lahars Tsunami secondaire
10) Rivière de Capesterre	Supplément plantation Grand Rivière Illet Pères <u>Quartier Brest de Capesterre</u>	route nationale coupée sur 3 km environ	vaste secteur inondé risque majeur avec (9) présenté par les Lahars

B - AVALANCHES INCANDESCENTES

Secteurs menacés Vallée canalisatrice	Zones et localités menacées par		Principaux dégâts routiers à prévoir	Remarques
	Les dépôts	L'effet de souffle		
<u>Secteur Nord</u>				
1) Vallée de la rivière Noire Ravine des Bains jaunes et bas de la rivière du Gallion	Camp Jacob <u>St Cloud</u> Azincourt Circovilletière	<u>Basse Terre</u> Cité Duchermoy Hôpital psychiatrique	Pont Nozière Route de St Claude à route de Clécy	Matouba est à l'abri L'effet de souffle du Pont Nozière est très limité
<u>Secteur Sud</u>				
2) Haut de la rivière du Gallion Vallée de la rivière Grande Anse Madame		Dolé	Pont de la station thermique de Dolé Route nationale à l'Est de Dolé	
<u>Secteur Est</u>				
		Routiers Hon. Duval noir Fond Cacaon		Les Petites Mamelles protègent efficacement Capesterre de l'effet de souffle