

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

DÉLÉGATION GÉNÉRALE  
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

LEVÉS GÉOLOGIQUES,  
ÉVALUATION ET ZONATION DES RISQUES VOLCANIQUES  
A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE F. W. I.

RAPPORT DE MISSION : MAI - JUIN 1977

par

D. WESTERCAMP

LE MINISTRE DE L'INDUSTRIE, DES TECHNOLOGIES ET MINIERES  
17, AVENUE DE LA REFORME, 92122 NEUILLY SUR SEINE, FRANCE  
TELEPHONE (1) 438 63 80 01

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Service géologique  
des ANTILLES

77 ANT 29

NOVEMBRE 1977

Levés géologiques, évaluation et zonation des risques  
volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe, F.W.I.

-----  
E R R A T A

Une erreur de numérotation des pages subsiste : après le page 9, on repasse à la page 5 : il y a donc 2 pages 5, 6, 7, 8 et 9.

p.1 1.1 les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe

lire commandé en mars 1976 et remis ...

p.7 première phrase soulignée : supprimer le point après sortie et lire la phrase d'une traite.

figure 9 les chiffres en indice des figures de nuées ardentes représentent respectivement :

- . l'épaisseur du dépôt : cette épaisseur est minimale lorsque le chiffre est souligné
- . le numéro d'échantillon prélevé (chiffre et lettre associés entre parenthèses).

p.10 VI.A Introduction

Remarque complémentaire :

Les analyses de verre sain dans les cendres de la Soufrière (BROUSSE, MONNEYRON, SEMET, 1977 ; C.R.A.S., t. 285, p. 753-754) ont très probablement été effectuées sur le liquide résiduel de laves anciennes cristallisées. La composition chimique de ce verre (SiO<sub>2</sub> entre 72 et 73 %) très largement plus acide que les laves habituelles du volcan confirme ce point de vue.

La persistance de verre sain dans les laves anciennes de la Soufrière est une caractéristique générale à l'ensemble des roches volcaniques non altérées de la Basse Terre et des autres îles de l'archipel, quelque soit leur âge.

p.12 - 1ere phrase

lire : les émissions de poussières ont toujours été liées à des débits gazeux....

figure 13 l'échelle de la figure est environ du 1/12.500

p.26 - 1ere phrase

lire : STIELTJES, L. et WESTERCAMP, D., 1978, ..... : rapport B.R.G.M. Inédit, 78.ANT.08 (en cours).

Levés géologiques, évaluation et zonation des risques  
volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe, F.W.I.

-----

E R R A T A

- p. 1      1.1 les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe  
lire commandé en mars 1976 et remis ...
- p. 12      première phrase soulignée : supprimer le point après sortie et lire la phrase d'une traite.
- figure 9    les chiffres en indice des figures de nuées ardentes représentent respectivement :  
. l'épaisseur du dépôt : cette épaisseur est minimale lorsque le chiffre est souligné  
. le numéro d'échantillon prélevé (chiffre et lettre associés entre parenthèses).
- p. 17 VI.A Introduction  
Remarque complémentaire :  
Les analyses de verre sain dans les cendres de la Soufrière (BROUSSE, MONNEYRON, SEMET, 1977 ; C.R.A.S., t. 285, p. 753-754) ont très probablement été effectuées sur le liquide résiduel de laves anciennes cristallisées. La composition chimique de ce verre (SiO<sub>2</sub> entre 72 et 73 %) très largement plus acide que les laves habituelles du volcan confirme ce point de vue.  
La persistance de verre sain dans les laves anciennes de la Soufrière est une caractéristique générale à l'ensemble des roches volcaniques non altérées de la Basse Terre et des autres îles de l'archipel, quelque soit leur âge.
- p. 18 - 1ere phrase  
lire : les émissions de poussières ont toujours été liées à des débits gazeux....
- figure 13    l'échelle de la figure est environ du 1/12.500
- p. 32- 1ere phrase  
lire : STIELTJES, L. et WESTERCAMP, D., 1978, ..... : rapport B.R.G.M. Inédit, 78.ANT.08 (en cours).

Levés géologiques, évaluation et zonation des risques  
volcaniques à la Soufrière  
de Guadeloupe, F.W.I.

-----

E R R A T A

p.1

1.1 les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe,  
lire commandé en mars 1976 et remis ....

p.7

première phrase soulignée : supprimer le point après sortie et  
lire la phrase d'une traite.

figure 9

les chiffres en indice des figures de nuées ardentes représentent  
respectivement :

- . l'épaisseur du dépôt ; cette épaisseur est minimale lorsque le  
chiffre est souligné
- . le numéro d'échantillon prélevé (chiffre et lettre associés entre  
parenthèses).

p.10 VI.A

Introduction

Remarque complémentaire :

Les analyses de verre sain dans les cendres de la Soufrière (BROUSSE,  
MONNEYRON, SEMET, 1977 ; C.R.A.S., t. 285, p. 753-754) ont très proba-  
blement été effectuées sur le liquide résiduel de laves anciennes  
cristallisées. La composition chimique de ce verre (SiO<sub>2</sub> entre 72 et  
73 %) très largement plus acide que les laves habituelles du volcan  
confirme ce point de vue.

La persistance de verre sain dans les laves anciennes de la Soufrière  
est une caractéristique générale à l'ensemble des roches volcaniques  
non altérées de la Basse Terre et des autres îles de l'archipel, quel-  
que soit leur âge.

p. 12 - 1ere phrase

lire : les émissions de poussières ont toujours été liées à des débits  
gazeux .....

fig. 13

l'échelle de la figure est environ du 1/12.500

p. 26 - 1ere phrase

lire : STIELTJES, L. et WESTERCAMP, D., 1978, .... : rapport B.R.G.M. Inédit,  
78.ANT.08. (en cours)



B. R. G. M.

Service Géologique  
des Antilles

0,900 km Route de Didier  
97200 Fort de France

Ministère de l'Industrie

Délégation Générale à la Recherche Scientifique  
et Technique

Levés géologiques  
Evaluation et zonation des  
Risques volcaniques, à la  
Soufrière de Guadeloupe, F.W.I.

-----  
Rapport de mission  
Mai-juin 1977

-----  
D. WESTERCAMP

## R E S U M E

La méthode d'évaluation et de zonation des risques volcaniques utilisée à la Soufrière de Guadeloupe est essentiellement fondée sur la géologie et les éruptions historiques du massif volcanique Madeleine-Soufrière (WESTERCAMP, 1977a).

Le premier but du présent rapport était donc de préciser la stratigraphie du volcan. Deux mois de terrain ont permis de lever des coupes géologiques détaillées sur le flanc ouest du volcan (entre la Soufrière (S.S.) et les hauts de Basse-Terre), dans la région sommitale, et au sud de Capesterre.

La reconnaissance des secteurs nord et nord-est de la Soufrière (rivières Class et de Capesterre), difficiles d'accès et presque inconnus sur le plan géologique, a été également effectuée.

Le caractère relativement effusif du Massif est confirmé. La paléodistribution des produits de certaines éruptions anciennes commence à être connue. L'hypothèse d'une caldera centrale consécutive à l'émission des coulées de ponces de Pintade est formulée.

L'étude détaillée des dépôts consécutifs à l'éruption magmatique du XVI<sup>e</sup> siècle confirme que la puissance de cette éruption a été limitée et qu'aucune émission de nuée ardente n'y a eu lieu. Le cratère localisé au niveau de l'Echelle renforce l'impression que la zone de faiblesse principale du volcan se situe entre le dôme actuel et la Citerne.

La découverte de dépôts de nuées ardentes verticales et de lahars "d'effondrement" (dus aux explosions phréatiques) attire plus particulièrement l'attention sur les risques volcaniques inhérents à tels phénomènes et permet de préciser leur zonation. Les risques des éruptions phréatiques sont d'ailleurs revus à la lumière des nouvelles données géologiques et des enseignements de la crise sismo-phréatique de 1976-1977.

Les secteurs susceptibles d'être affectés par des coulées de lave sont déterminés plus en détail.

Les risques inhérents aux retombées de cendres et lapilli sont abordés à travers une étude de la météorologie nationale sur le régime actuel des vents. Des schémas de répartition, différents selon l'altitude atteinte par les produits volcaniques, ou le moment de l'année, sont proposés.

L'évaluation des risques de lahar d'accumulation (consécutifs aux chutes de cendres) est également revue en fonction des surfaces peu couvertes de végétation, des bassins de réception, de leur pente, et de l'influence du vent. Des coefficients de risque chiffrés, provisoires, sont proposés pour chaque vallée rayonnante à partir du sommet du volcan.

En conclusion on dresse le bilan des acquis, des travaux à réaliser et des moyens à mettre en oeuvre pour les réaliser.

## TABLE DES MATIERES

- I. Travaux antérieurs et travaux en cours
- II. Les méthodes de zonation des risques volcaniques utilisées
  - II.1 - Principe de base
  - II.2 - méthodes de travail
  - II.3 - évaluation des facteurs fixes
  - II.4 - évaluation des facteurs variables qui ne s'inscrivent pas dans la géologie
  - II.5 - conclusion
- III. Les principaux types d'activité volcanique de la Soufrière
  - III.1 - introduction
  - III.2 - les coulées de lave et les dômes
  - III.3 - les nuées ardentes
  - III.4 - les émissions de cendres et lapilli
  - III.5 - les coulées de ponces
  - III.6 - les lahars d'accumulation
  - III.7 - les tsunamis
  - III.8 - les lahars d'effondrement
- IV. Données nouvelles sur la géologie du massif volcanique Madaline-Soufrière
  - IV.A - Introduction
  - IV.B - la région sommitale
    - IV.B.1 - avant propos
    - IV.B.2 - coupes de détail
    - IV.B.3 - l'éruption magmatique de la Soufrière, au XVIe siècle
  - IV.C - le flanc ouest du massif de la Soufrière (S.S)
    - IV.C.1 - avant propos
    - IV.C.2 - coupes de détail
  - IV.D - la région sud de Capesterre
    - IV.D.1 - avant propos
    - IV.D.2 - coupes de détail
  - IV.E - Reconnaissance géologique des Rivière Class et de Capesterre entre le Morne du Col et Bois Riant.
- V. Esquisses paléogéographiques de quelques formations géologiques
  - V.A - introduction
  - V.B - le système pyroclastique de Pintade et l'hypothèse d'une caldera d'effondrement

.../...

- V.C - les cendres grises de la Rivière aux Herbes
- V.D - nuées ardentes verticales à la Soufrière de Guadeloupe
- V.E - les avalanches incandescentes de St Claude en liaison avec la mise en place du système effusif Mamelle - Morne Goyavier.

## VI. Les éruptions phréatiques de la Soufrière de Guadeloupe

- VI.A - introduction
- VI.B - les éruptions phréatiques préhistoriques
  - VI.B.1 - les lahars d'effondrement
  - VI.B.2 - les produits ferrugineux finement lités
  - VI.B.3 - les retombées directes
- VI.C - les éruptions phréatiques historiques
- VI.D - l'éruption phréatique de 1976-1977.
  - VI.D.1 - avant propos
  - VI.D.2 - retombées de poussières
  - VI.D.3 - chutes de blocs
  - VI.D.4 - lahars d'effondrement

## VII. Zonation des retombées de cendres et de lapilli dans la partie centrale des Petites Antilles.

- VII.A - introduction
- VII.B - le régime des vents aux Petites Antilles
  - VII.B.1 - avant propos
  - VII.B.2 - variation des vents en fonction de l'altitude et de la saison.
- VII.C - répartition des dépôts de cendres et lapilli en fonction du régime des vents.
  - VII.C.1 - géométrie de base
  - VII.C.2 - application des formes géométriques de base à un régime de vent unique.
  - VII.C.3 - ~~remarques~~ remarques relatives à l'existence de plusieurs régimes des vents.

## VIII. Evaluation et zonation des risques

- VIII.1 - d'éruption phréatique
  - VIII.1.1 - avant propos
  - VIII.1.2 - les lahars d'effondrement
  - VIII.1.3 - les chutes de blocs
  - VIII.1.4 - les retombées de poussières et l'émission de gaz.
- VIII.2 - de retombées de cendres et lapilli
  - VIII.2.1 - avant propos
  - VIII.2.2 - le risque direct
  - VIII.2.3 - le risque indirect : les lahars d'accumulation

.../...

VIII.3 - de nuées ardentes verticales

VIII.4 - de coulées de lave

IX. Conclusion

IX.1 - données acquises

IX.2 - travaux à réaliser

IX.3 - moyens à mettre en oeuvre

X. Bibliographie

---

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Reconnaissances géologiques dans le Massif Madeleine-Soufrière, Guadeloupe, Mai-juin 1977.
- Figure 2 - Coupes géologiques dans la région sommitale de la Soufrière de Guadeloupe
- Figure 3 - L'éruption magmatique de la Soufrière de Guadeloupe au XVIe siècle
- Figure 4 - Coupes géologiques sur le flanc ouest du massif de la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 5 - Coupes géologiques dans la région sud de Capesterre.
- Figure 6 - Le système pyroclastique de Pintade et l'hypothèse d'une caldera centrale
- Figure 7 - Evolution volcano-morphologique d'une hypothétique caldera centrale à la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 8 - Répartition des cendres grises de la rivière aux Herbes.
- Figure 9 - Nuées ardentes verticales à la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 10 - Les avalanches incandescentes de St Claude en liaison avec la mise en place du système effusif Mamelle - Morne Goyavier.
- Figure 11 - Répartition des affleurements connus de lahar d'effondrement et dépôt d'oxydes de fer, préhistoriques, à la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 12 - Les produits volcaniques de l'éruption phréatique de 1976-1977 à la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 13 - Localisation des secteurs susceptibles de glisser sous l'action des explosions phréatiques ou des secousses sismiques superficielles.
- Figure 14 - Les variations du vent en fonction de l'altitude aux Petites Antilles
- a) d'octobre à juin  
b) de juillet à septembre
- Figure 15 - Construction de courbes isopachs théoriques pour certains régimes de vents aux petites Antilles.
- Figure 16 - Représentation graphique de la dispersion d'une colonne pyroclastique émise verticalement, sous l'action d'un régime composite des vents.
- Figure 17 - Carte des risques relatifs de déclenchement de vastes lahars d'accumulation dans la partie sommitale de la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 18 - Zonation des dépôts et des régions soumises à l'effet de souffle des nuées ardentes de type St Vincent 1902 à la Soufrière de Guadeloupe.
- Figure 19 - Zonation des risques potentiels de coulées de lave à la Soufrière de Guadeloupe.

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Reconnaissance géologique au long des rivières Class et de Capes-terre entre Morne du Col et Bois Riant.

Tableau 2 - Résumé climatologique des directions d'où souffle le vent en fréquences mensuelles (%) à différents niveaux isobariques.

a :	60	millibars
b :	200	-
c :	500	-
d :	700	-
e :	850	-
f :	1.000	-

Tableau 3 - Quelques différences entre les dépôts de nuage de nuées ardentes et d'éruption plinienne,

Tableau 4 - Surface, pente, coefficients énergétique et de risque, des bassins de réception des principales vallées entaillant le massif de la Soufrière (S.L.).

## I. TRAVAUX ANTERIEURS ET TRAVAUX EN COURS

La première étude complète du massif volcanique Madeleine-Soufrière a été réalisée par A. de REYNAL (1966) dans le cadre du levé de la carte géologique de France à l'échelle du 1/50.000. Ce travail déjà ancien et général, a été complété par B. MERVOYER (1974) lors de la préparation de la 7e conférence géologique des Caraïbes.

Lors de la reprise d'activité sismique de la Soufrière de Guadeloupe au printemps 1976, les autorités civiles ont fait appel au S.G.R./Antilles du B.R.G.M. pour évaluer et zoner les risques volcaniques dans l'hypothèse d'un réveil effectif du volcan. Depuis cette date, 4 études ont été réalisées, dont le présent rapport.

### 1.1 - Les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe,

et remis à la Préfecture de Guadeloupe en avril

1976, ce rapport B.R.G.M. esquisse l'histoire géologique du massif volcanique Madeleine-Soufrière, et infirme le caractère à nuées ardentes de type péleén de la dernière éruption magmatique de la Soufrière au XVIe siècle.

Les phénomènes volcaniques directs et indirects sont décrits, leurs effets analysés et les préventions possibles signalées.

x

x x

### 1.2 - Dynamismes éruptifs et zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe

Commandé par la Préfecture de Guadeloupe et remis début juillet 1976, ce rapport propose une carte de zonation des risques volcaniques possibles, et esquisse à partir de l'histoire géologique connue de la région, une 1ère échelle relative d'occurrence des risques. En particulier, il insiste sur la différence existant entre la Montagne Pelée et la Soufrière de Guadeloupe, et sur le fait qu'il ne faut pas chercher dans le comportement passé de la première, le comportement futur de la seconde. Une carte provisoire des risques à l'échelle de 1/20.000 est jointe au rapport.

x

x x

### 1.3 - Esquisse provisoire des zones exposées aux effets d'une éruption volcanique, volcan le Soufrière de Guadeloupe.

Commandée par la Direction de la Sécurité Civile du Ministère de l'Intérieur, et remis courant Février 1977, cette carte de risques, à l'échelle de 1/20.000, est à la fois une simplification et une amélioration du document de Juillet 1976. L'ensemble des risques magmatiques et phréatiques sont envisagés.

.../...



Le degré de risque dépend dans chaque zone, du nombre de phénomènes volcaniques différents qui la menace.

Ces travaux préliminaires, les observations de terrain effectuées pendant la crise, les discussions avec les collègues volcanologues français et étrangers, sont synthétisés dans : "une méthode d'évaluation et de zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe, note présentée oralement à la 8e conférence géologique des Caraïbes (Curaçao, Juillet 1977) lors d'un symposium sur les risques volcaniques, et soumise pour publication au Bulletin Volcanologique.

Parallèlement aux travaux poursuivis en Guadeloupe, une étude préliminaire des risques potentiels en cas d'une nouvelle éruption de la Montagne Pelée a été réalisée (STIELTJES et WESTERCAMP, 1977).

Il était intéressant d'attendre avant de rédiger définitivement ces deux rapports traitant du risque volcanique aux Antilles françaises, les enseignements d'un voyage d'étude sur ce thème effectué aux Etats Unis d'Amérique en août et septembre 1977 (J. VARET et D. WESTERCAMP, 1977).

Le présent rapport s'appuie également sur des communications traitant de l'éruption phréatique 76-77 de la Soufrière, présentées lors des congrès de DURHAM (Angleterre, août 77) et Naples (Italie, juin 77).

En particulier une étude phénoménologique par F. LE GUERN et A. BERNARD (1977) et une méthode statistique d'évaluation des risques volcaniques au Vésuve, à partir de ses éruptions historiques (équipe de P. GASPARINI; Naples).

---

## II. LES METHODES DE ZONATION DES RISQUES VOLCANIQUES UTILISEES.

### II.1 - Principes de base

Le risque auquel une région donnée est soumise en cas d'éruption volcanique dépend :

- des différents phénomènes volcaniques directs et indirects susceptibles de se produire.
- de la fréquence d'apparition, de chacun d'eux.
- de l'intensité, de l'ampleur et de la rapidité d'action de leurs effets
- de la localisation du cratère.
- des conditions climatiques régnant au moment de l'éruption.
- des caractéristiques topographiques et hydrogéologiques, de la couverture végétale du volcan.
- de l'état de fissuration, d'altération des formations anciennes....

De l'ensemble de ces facteurs, seule la fréquence d'apparition du phénomène n'intervient pas dans la zonation. Elle est par contre prépondérante pour évaluer le risque.

Le nombre de critères à prendre en compte conduit à traiter du problème, phénomène par phénomène. Les plus complexes sont en outre décomposés par type d'effets (par exemple on sépare dans le cas des nuées ardentes, les effets dus à la brèche principale, au nuage de cendres associées, au souffle de mise en place).

L'intervention de facteurs dynamiques non contrôlables à priori est appréciée selon le principe de base suivant :

"le comportement futur d'un volcan est avant tout inscrit dans son passé", qui conduit à évaluer l'intensité et l'ampleur maximale des phénomènes à craindre, **et à situer, les régions menacées** en fonction des caractéristiques des événements passés.

Dans cette optique, la connaissance la plus approfondie possible des éruptions historiques et préhistoriques est nécessaire à une véritable quantification du risque.

x

x x

### II.2 - Méthode de travail

La cartographie géologique du volcan est entreprise à une échelle détaillée (1/20.000) qui permet de corréler les coupes stratigraphiques levées par ailleurs.

Compte tenu du relief accidenté dans la partie centrale du volcan et de l'érosion rapide qui s'y produit, il est important de rechercher les affleurements à sa périphérie, dans les zones de faible pente. C'est dans la partie située

.../...

sous le vent que les meilleures et les plus complètes successions de couches de cendres et lapilli (S.L.) sont observées. Les indications relevées dans la partie centrale du volcan permettent ultérieurement de corréliser les émissions de pyroclastites avec les mises en place concomitantes de coulées de lave, de lahars, de dômes.

A la base de la reconstitution téphrochronologique détaillée nécessaire, peu de méthodes onéreuses mais un travail de terrain extrêmement minutieux. Chaque couche doit être étudiée quelque soit son épaisseur, phénomène à son origine reconnu sa minéralogie et son âge déterminés.

CRANDELL et MULLINEAUX, de l'U.S.G.S. appliquent cette méthode depuis une vingtaine d'années aux volcans andésitiques des Cascades. Le résultat prouve de son efficacité. Les nombreuses coupes détaillées que ces deux auteurs ont faite autour des Mts St Helens et Rainier par exemple, leur permettent de reconstituer la paléodistribution des produits volcaniques événement par événement. Les premiers résultats obtenus dans ce sens à la Soufrière, sont présentés au chapitre V.

x

x x

### 11.3 - Evaluation des facteurs fixes

Certains phénomènes volcaniques sont avant tout contrôlés par la morphologie des pentes et les conditions climatiques (lahar d'accumulation), l'état d'altération et de fissuration du sommet (lahar d'effondrement),.... Dans la mesure où des études géophysiques, météorologiques existent, la quantification de ces facteurs fixes devient possible. Ils jouent alors comme compléments dans la zonation des critères géologiques.

x

x x

### 11.4 - Evaluation des facteurs variables qui ne s'inscrivent pas dans la géologie

Les phénomènes qui ne laissent pas de traces dans la géologie (effet de souffle des nuées ardentes, limites risque-nuisance pour les retombées du nuage associé ou descendres et lapilli en général...) ne peuvent être évalués et zonés en référence à la géologie. L'expérience acquise au cours des éruptions historiques du volcan est ici primordiale mais on peut aussi la compléter en fonction des éruptions historiques d'autres volcans où le phénomène craint a eu lieu.

x

x x

## 11.5 - Conclusions

Trois démarches interviennent dans la zonation du risque volcanique

- connaissance exhaustive des éruptions passées du volcan.
- quantification des facteurs fixes naturels qui le caractérisent.
- application de l'expérience acquise sur d'autres volcans actifs, les mêmes phénomènes produisant les mêmes effets.

D'une façon générale, chaque fois qu'un phénomène volcanique sera contrôlé sur le terrain par des facteurs fixes, naturels, les limites qui pourront être tracées entre les zones seront des limites physiques (par exemple, les grands traits morphologiques régionaux pour les risques de coulée). Lorsque dans le détail, ou en raison du type de phénomène lui-même, des facteurs variables, volcaniques ou non volcaniques, interviendront (qui nécessitent des hypothèses de base non contrôlables; par exemple, les conditions climatiques ou le degré d'explosivité d'un phénomène), les limites tracées entre les zones seront des limites de jugement.

-----

### III. LES PRINCIPAUX TYPES D'ACTIVITE VOLCANIQUE DE LA SOUFRIERE

#### III.1 - Introduction

La Soufrière est caractérisée par une activité volcanique explosive plus ou moins violente, productrice de brèches pyroclastiques et de téphra, alternant avec des phases effusives de mise en place de coulées de lave et de dômes.

Les principaux phénomènes à craindre sont :

- les coulées de lave et les dômes
- les nuées ardentes
- les émissions de cendres, lapilli et bombes
- les lahars d'accumulation
- les tsunamis
- les coulées de ponces
- les lahars d'effondrement

x

x x

#### III.2 - Les coulées de lave et les dômes

Les coulées de lave s'épanchent à partir de la fissure mère en suivant la ligne de plus grande pente, jusqu'à refroidissement et solidification. Celles des volcans andésites et de la Soufrière sont très visqueuses et s'écoulent lentement (quelques mètres par heure ou par jour), ceinturées de blocs, sur un front de plusieurs dizaines de mètre d'épaisseur. Les dômes ont la même origine mais trop visqueux pour couler, ils s'accumulent en surface au-dessus du point de sortie de la lave.

x

x x

#### III.3 - Les nuées ardentes

L'effondrement de certains secteurs de dôme sous la poussée des gaz ou par simple instabilité gravitative donne lieu à des avalanches incandescentes appelées nuées ardentes de type Mórapi. Le mélange de cendres et de blocs qui en résulte est relativement pauvre en cendres et riche en gros blocs plurimétriques à prismation radiale perpendiculaire aux épontes. L'effondrement des fronts de coulées qui abordent une rupture de pente produit également ce type de brèche pyroclastique.

L'arrivée en surface d'une colonne magmatique et la croissance embryonnaire d'un dôme peut modifier le type de dégazage antérieur du magma.

Si la teneur des gaz est élevée la production par explosion initiale oblique d'une nuée ardente est possible. De tels phénomènes ont été observés par LACROIX (1904) lors de l'éruption de la Montagne Pelée en 1902 et portent le nom de nuées ardentes de type Pelée 1902. La brèche grossière est constituée d'un mélange

.../...

de petits blocs pluridécimétriques emballés dans une matrice cendreuse abondante. Le nuage volcanique de cendres associé est important ainsi que l'effet de souffle qui résulte de l'explosion initiale.

Un troisième type de nuées ardentes résulte d'explosions dans un cratère ouvert sans liaison avec un dôme, le mélange de cendres et blocs produit est particulièrement riche en éléments arrachés au conduit de la cheminée et en grosses scories. Il s'élève au-dessus du cratère, retombe sur les fentes du sommet puis s'écoule dans les vallées. On parle de nuées ardentes verticales ou nuées ardentes de type St Vincent - 1902 en référence à l'éruption cette année-là de ce volcan antillais.

x  
x x

#### III.4 - Les émissions de cendres et lapilli

L'activité volcanique à cheminée ouverte produit par explosion dans le cratère des cendres, des lapilli (taille 2 à 6 cm) et des bombes qui s'empilent en couches de granulométrie différente, chaque couche étant caractérisée par des éléments bien calibrés. Les dépôts ne se répartissent pas d'une façon homogène autour du centre émetteur, mais s'accumulent préférentiellement dans des secteurs elliptiques plus ou moins étroits et décentrés par rapport au cratère. La direction et la force du vent au moment de l'éruption, sont responsables d'une telle géométrie.

Lorsque ces émissions de cendres et lapilli deviennent importantes et abondantes, on parle d'éruption plinienne.

x  
x x

#### III.5 - Les coulées de ponces

Le phénomène plinien annonce parfois l'arrivée en surface d'un "dôme" de ponces, qui s'écoule en vagues successives sur les flancs du volcan.

Ces coulées de ponces sont une émulsion de gaz, cendres et ponces douée d'une grande mobilité.

Les dépôts de coulées de ponces diffèrent des brèches de nuées ardentes par les volumes mis en jeu beaucoup plus importants, la texture vacuo-laire des blocs, le litage grossier et en grandes unités des formations.

x  
x x

### III.6 - Les lahars d'accumulation

Les lahars d'accumulation résultent de la mobilisation par l'eau des dépôts instables de cendres, lapilli et ponces qui recouvrent les pentes sommitales du volcan. Le mélange de boue formé dévale les vallées qui rayonnent du sommet du volcan, arrachant arbres et blocs de lave ancienne sur leur passage.

x

x x

### III.7 - Les tsunamis

Les tsunamis, parfois improprement appelés raz-de-marée résultent de l'arrivée en mer de masses importantes de brèches sous forme de lahars ou de nuées ardentes. Leur étude n'est pas reprise dans le présent rapport.

x

x x

### III.8 - Les lahars d'effondrement

Les secousses sismiques superficielles, les explosions phréatiques peuvent décoller des masses de roches argilisées (altération climatique ou / et hydrothermale) et fissurées, qui constituent les régions sommitales de volcans à activité fumerolienne permanente tel la Soufrière. Les lahars d'effondrement qui en résultent sont essentiellement constitués de blocs altérés à surface oxydée, emballés dans une argile gris-bleuté à cristobalite et pyrite. Ces coulées de blocs et d'argiles sont très mobiles en raison des fortes teneurs en eau de condensation des fumerolles et de l'abondance des argiles de la matrice.

-----

## IV. DONNEES NOUVELLES SUR LA GEOLOGIE DU MASSIF VOLCANIQUE

### IV.A - Introduction

Les secteurs géographiques suivants ont plus particulièrement été visités (figure 1) :

- la région sommitale
- la flanc ouest de la Soufrière
- la région sud de Capesterre
- les vallées des rivières Class et Capesterre entre le sommet et les hauts de Capesterre.

La moitié des journées de terrain a été effectuée en la compagnie de A. BERNARD, coopérant belge rattaché à l'I.P.G. A la descente des rivières Class et Capesterre, participaient également L. STIELTJES, S.G.N/ gth et P. ALLARD, de l'équipe Tazieff, volontaire à l'aide technique (V.A.T.) en affectation à l'O.N.F.

x  
x x

### IV.B - La région sommitale

#### IV.B.a - Avant propos

Les éruptions phréatiques de 1976 - 1977 ont détruit la végétation aux alentours immédiats ouest et sud-ouest du dôme, rendant plus facilement accessibles un grand nombre d'affleurements. Plusieurs coupes de détail ont pu être levées dans ces conditions.

#### IV.B.b - Coupes de détail

Les coupes sont présentées en figure 2. Les datations absolues et les lames minces qui sont en cours de réalisation permettront de corréliser précisément ces coupes entre elles. Les relations, qui sont données ici sur les seuls faciès de terrain doivent donc être jugées avec prudence.

Un dépôt de nuée ardente paraît représenter un niveau repère. Le faciès des blocs est très comparable à ceux qui constituent la carapace plus ou moins scoriacée et oxydée du dôme actuel de la Soufrière. Ce dépôt pourrait donc être lié à sa mise en place. La répartition des dépôts connus suggère une origine par explosion verticale du sommet de la colonne magmatique ascendante selon un processus dynamique de type St Vincent 1902.



**Fig 1. RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES DANS LE MASSIF VOLCANIQUE MADELEINE. SOUFRIÈRE, GUADELOUPE MAI-JUIN, 1977**

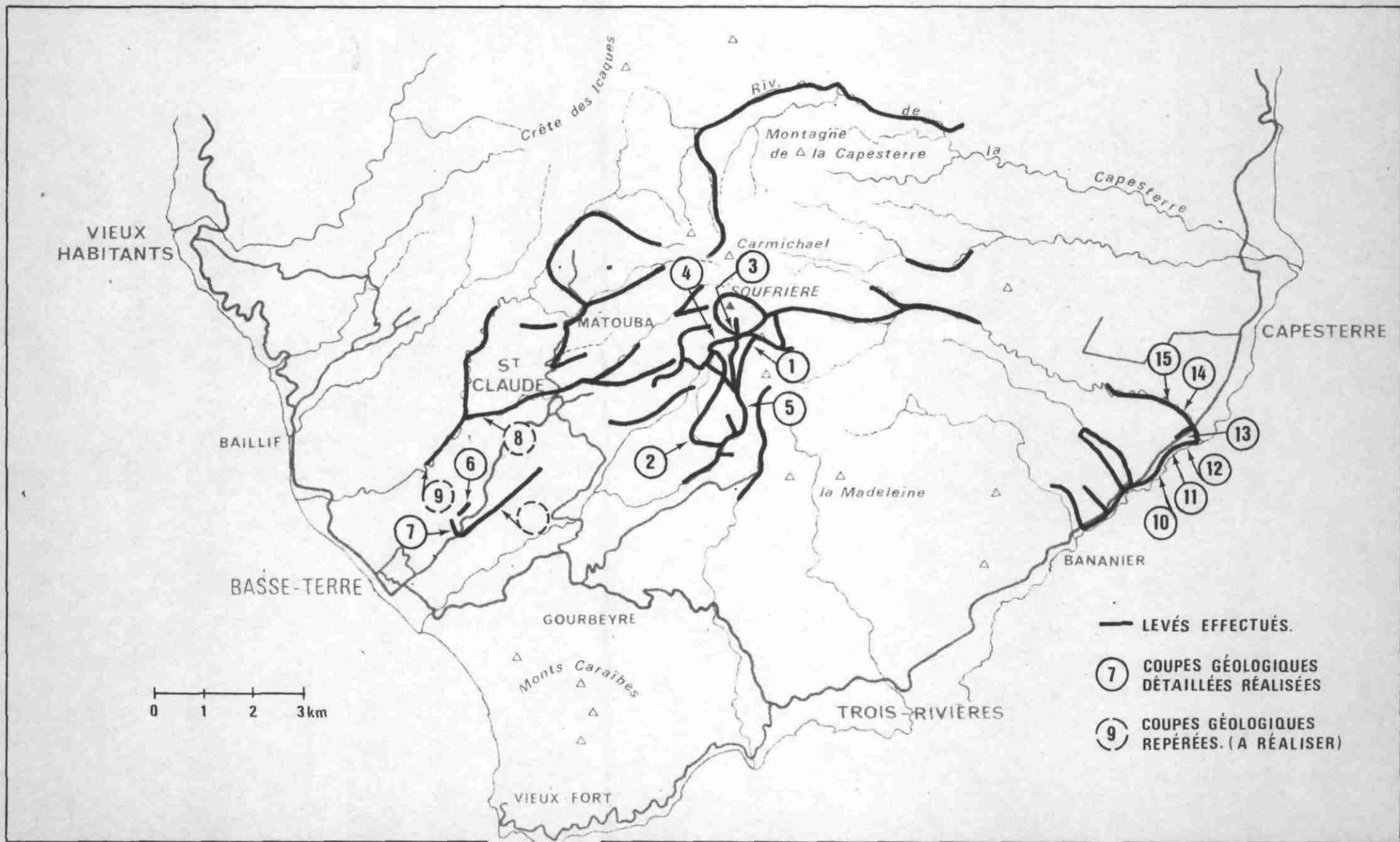
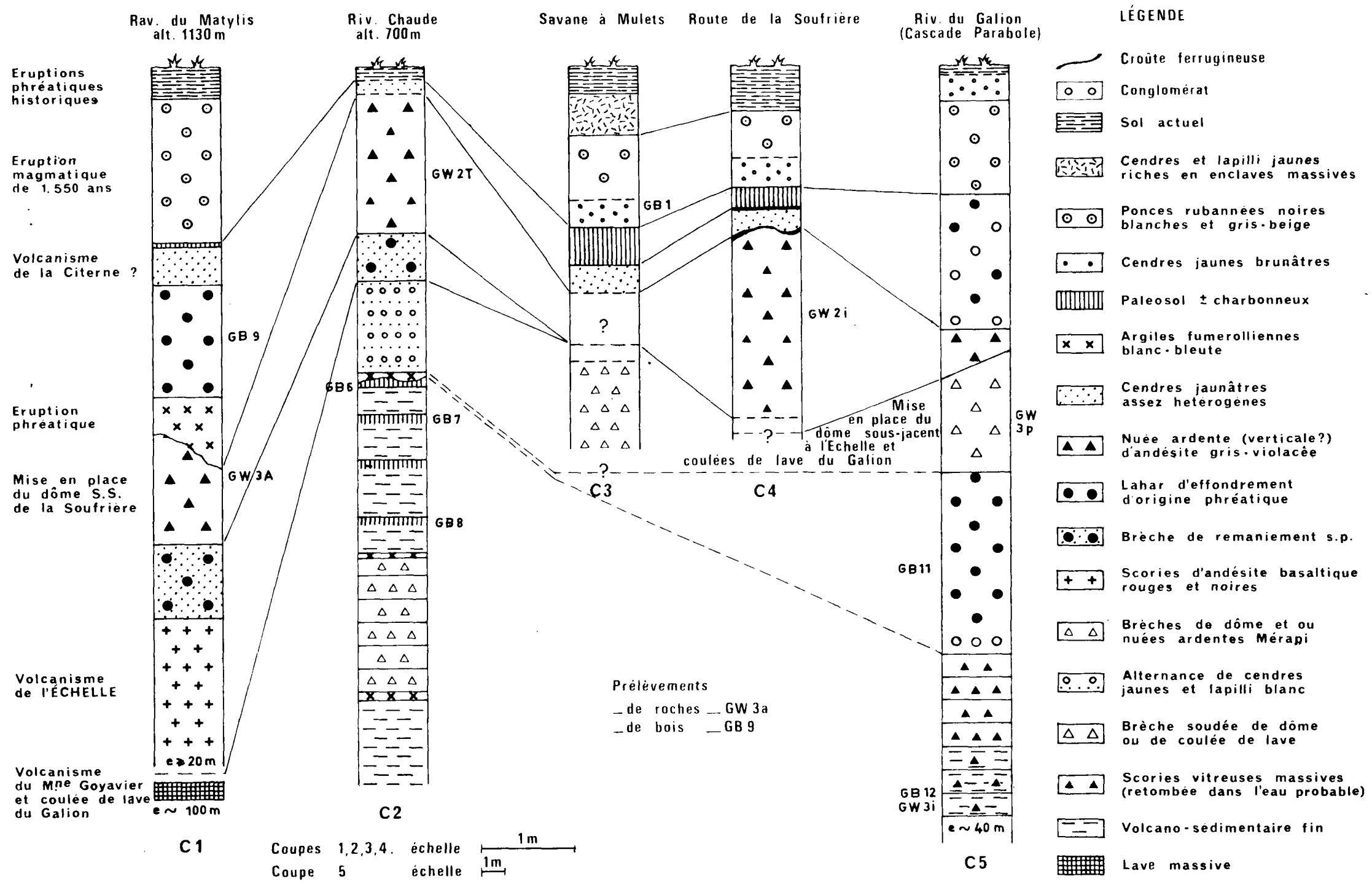


FIG. 2 - COUPES GÉOLOGIQUES DANS LA RÉGION SOMMITALE DE LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE



A signaler, qu'il existe un deuxième dépôt de même faciès, plus ancien, localisé à l'Ouest du sommet et qu'une confusion entre les deux à ce stade de l'étude est possible.

A noter également la constance des éruptions phréatiques dans l'histoire récente de la Soufrière. Plusieurs événements de ce type (au moins quatre) ont été repérés sous les derniers dépôts magmatiques de 1.550 ans. L'évaluation et la zonation des risques d'éruptions phréatiques font l'objet d'un chapitre à part.

Plusieurs formations au niveau de ravine Chaude, de la rivière du Galion paraissent liées à la présence d'un lac, dont la plaine de Moscou constitue actuellement le témoin morphologique le plus net. Il occupait peut être une vaste région au Sud et sous le sommet de l'actuelle Soufrière.

#### IV.B.c - L'éruption magmatique de la Soufrière de Guadeloupe au XVI<sup>e</sup> siècle

Le dynamisme de l'éruption, son origine, la répartition des produits émis sont maintenant déterminés avec une assez grande certitude (figure 3). L'étude de terrain devrait être prochainement complétée sur les plans minéralogique, pétrochimique et géochimique.

Il s'agit d'une éruption ponceuse à cheminée ouverte qui a eu lieu au niveau du volcan de l'Echelle. Le cratère est exactement situé entre le dôme de la Soufrière S.S et le cône pyroclastique de la Citerne, le long de l'axe fissural majeur du massif Madeleine-Soufrière. Ces trois volcans qui sont les plus récents de l'ensemble du massif, soulignent et limitent la zone d'ouverture la plus probable du cratère futur.

Les ponces émises sont fréquemment rubanées en zones beiges et brunes ou franchement noires et blanches. Ce rubanement est une caractéristique des produits de cette éruption.

A proximité du cratère, les ponces sont de grande taille (jusqu'à 40 cm de diamètre) et empilées en couches pluridécimétriques très grossièrement stratifiées. L'épaisseur maximale de dépôt mesurée est de 5 mètres. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du cratère, les dépôts diminuent en épaisseur, les ponces s'arrondissent et deviennent plus petites. Leur taille est inférieure à 10 cm à 1 km à l'Ouest du lieu d'origine ; à 2 km, on ne trouve plus que des lapilli d'un centimètre de diamètre au maximum. Les couches à granulométrie différentes (alternance de cendres et petites ponces) sont aussi mieux individualisées.

Le cratère est souligné par un culot et une courte coulée de lave massive noirâtre à "éléments" plus ou moins anguleux blancs.

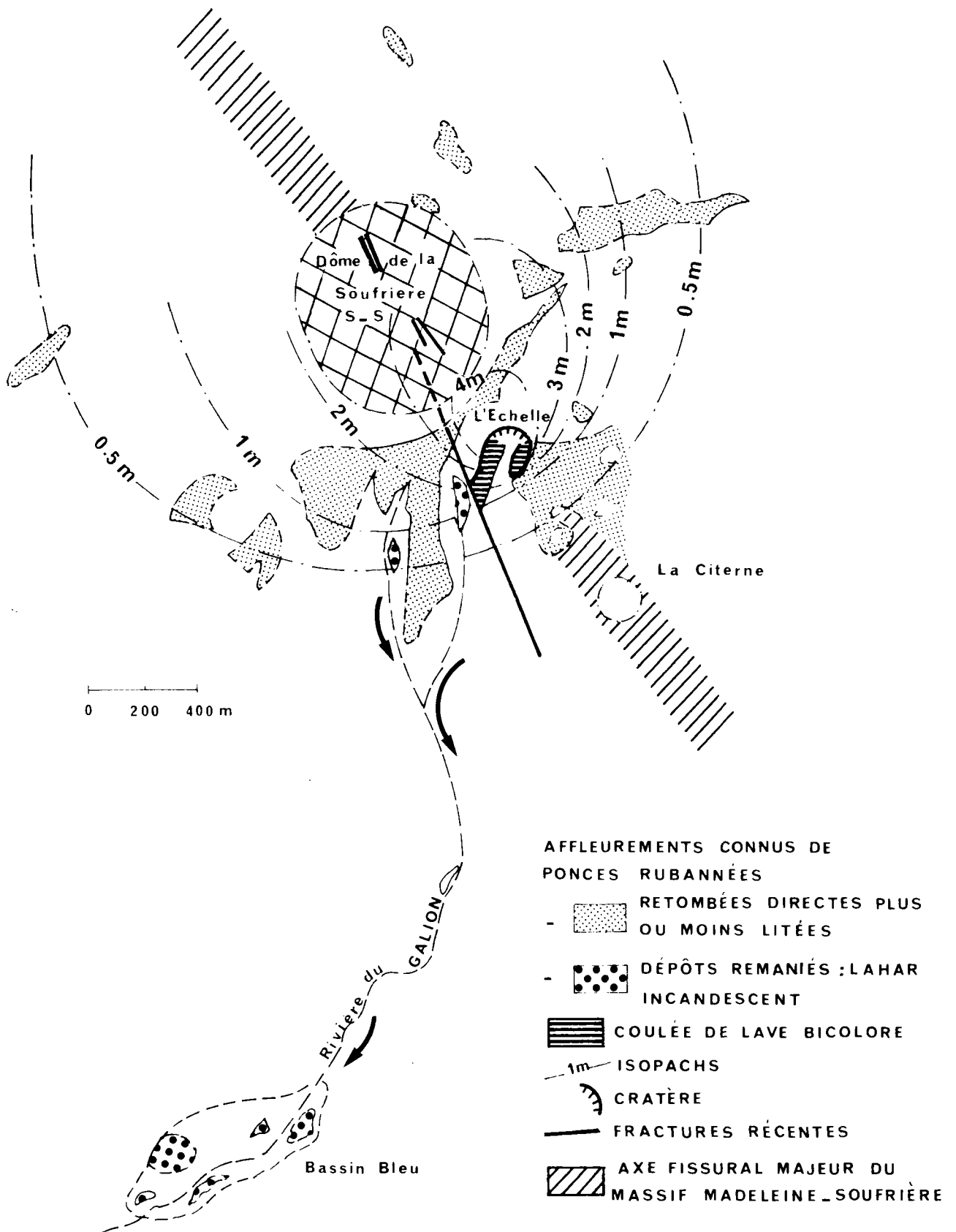
Une partie des dépôts incandescents, en déséquilibre sur les pentes qui dominent les ravines Matylis et de la Citerne, se sont effondrés et ont dévalé la rivière du Galion. L'avalanche incandescente s'est transformée durant le trajet en lahar chaud (incorporation d'eau de la rivière ?) qui a pu s'étaler largement au niveau du bassin Bleu. On retrouve dans cette région des dépôts non classés, à éléments étrangers massifs abondants.

L'ensemble des dépôts est riche en bois carbonisés :

- ceux du bassin Bleu ont donné un âge de 370 ans B.P.
- ceux de la Savane à Mulets un âge de 200 ans d'une part et moins de 200 ans d'autre part.

.../...

Fig. 3. L'ÉRUPTION MAGMATIQUE  
DE LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE AU XVI<sup>e</sup> SIÈCLE



Ces deux derniers âges ne sont pas compatibles avec le premier et, de surcroît, situeraient l'éruption dans la période historique (sup. à 1635), ce qui n'est guère possible compte tenu des témoignages de l'époque. L'âge du Bassin-Bleu est donc considéré comme le plus plausible (DOREL et al., 1972) mais il est évident qu'un problème demeure. La datation en cours sur un nouvel échantillon de bois prélevé à la Savane à Mulets, apportera peut-être une réponse définitive sur l'âge de l'éruption.

#### IV.C - Le flanc Ouest du massif de la Soufrière (S.S.)

##### IV.C.a - Avant propos

Plusieurs bonnes coupes stratigraphiques peuvent être levées dans cette région, mais les éléments de datation (bois) sont rares et les affleurements souvent verticaux.

Certaines coupes n'ont pu être détaillées pour cette raison et nécessitent la mise en place d'un système de cordes permettant de travailler le long de falaises (qui dépassent parfois 50 m d'à pic). On envisage de telles opérations dans l'avenir, qui pour être menées dans de bonnes conditions de sécurité, doivent être minutieusement préparées.

##### IV.C.b - Coupes de détail

Les coupes sont présentées en fig. 4.

La formation la plus ancienne rencontrée dans la région est un lahar polygénique à andésites massives sombres et claires, porphyriques ; à noter la présence de rares cumulats. Cette formation est le substratum du "complexe de coulées pyroclastiques de Pintade", qui est particulièrement développé dans la région de Basse Terre.

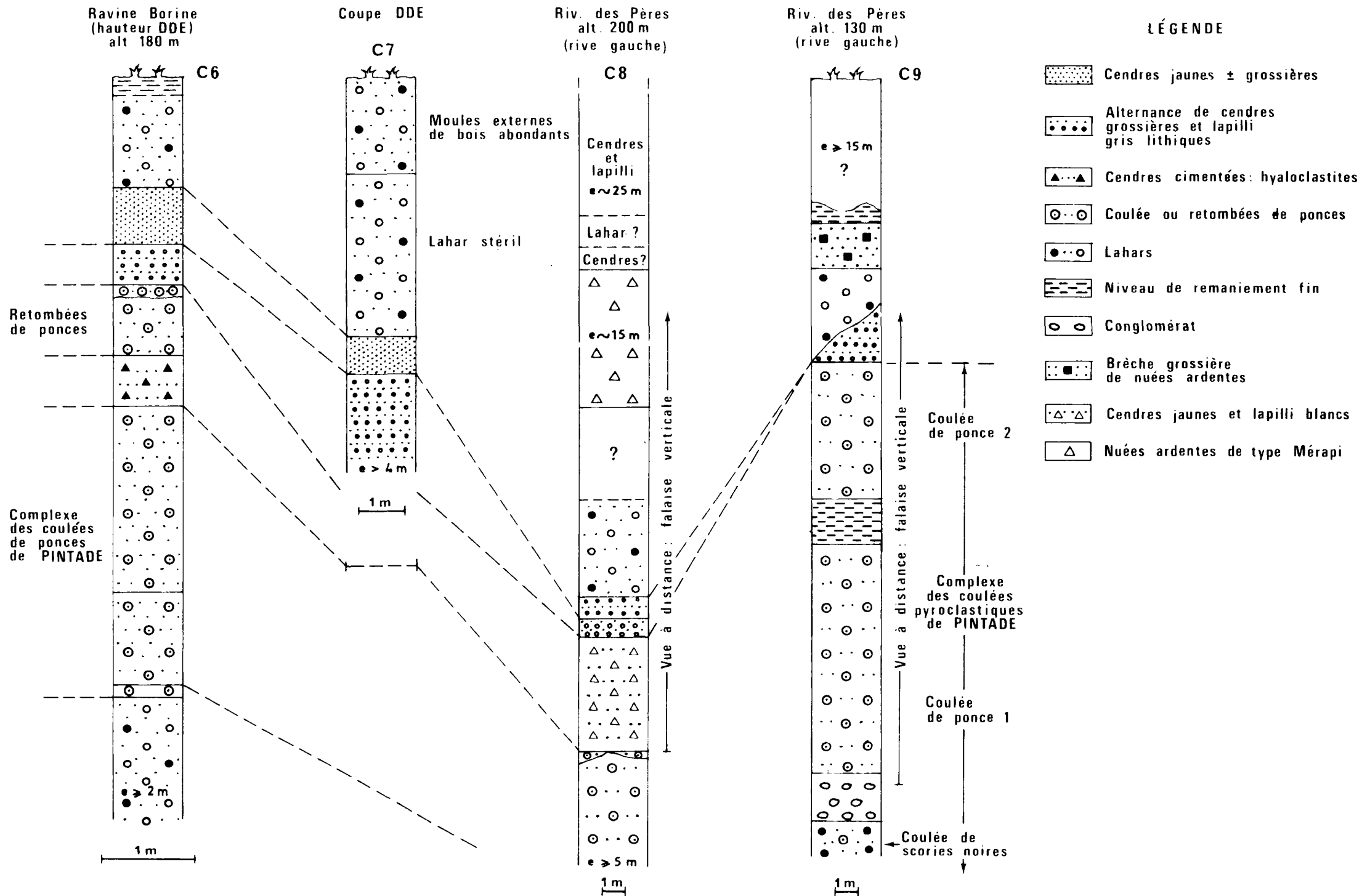
L'éruption de cette unité débute avec la mise en place de coulées de scories noires et denses, suivies d'au moins deux épisodes de coulées de ponces légères, de même composition minéralogique apparente. Ces coulées affleurent d'une façon spectaculaire à la carrière de Pintade, à Basse Terre où elles ont été datées à - 35.000 ans B.P.

Fréquemment sur les ponces de Pintade repose une formation de cendres jaunes à lapilli blancs, qui peut atteindre 40 mètres d'épaisseur. Faut-il associer ce faciès aux dépôts rythmiques de cendres et lapilli argillisés qui couvrent l'ensemble du secteur Ouest de la Soufrière ?

Les cendres grossières grises, qui séparent les ponces de Pintade, des dépôts de lahars pourraient être l'équivalent des scories noires vitreuses "tombeées dans l'eau" qui affleurent sur 40 mètres d'épaisseur dans le haut du cours du Galion (cf. fig. 2).

Si les datations en cours et les études minéralogiques à venir confirment cette hypothèse, il deviendra possible de raccorder l'ensemble des coupes de terrain effectuées dans le massif de la Soufrière et de proposer une chronologie des événements volcaniques responsable de son édification depuis ces 35.000 dernières années.

FIG. 4 - COUPES GÉOLOGIQUES DANS LE FLANC OUEST DE LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE



#### IV.D - La région sud de Capesterre

##### IV.D.a - Avant propos

La cote au Sud de Capesterre et les flancs de la rivière du Carbet présentent plusieurs coupes stratigraphiques assez complètes. Dans cette région on peut s'attendre à relever des dépôts principalement liés à l'activité du massif volcanique de la Madeleine. L'intercalation des produits issus des événements majeurs de la Soufrière doit permettre en outre de situer l'activité de ces deux "centres" principaux l'un par rapport à l'autre. Rappelons en effet que les données géologiques disponibles actuellement placent la construction du système de la Madeleine entre l'événement pyroclastique de Pintade (~35.000 ans) et la construction du massif Soufrière (Morne Goyavier, Echelle, citerne, dôme S.S. de la Soufrière,...) proprement dit.

##### IV.D.b - Coupes de détail

Plusieurs coupes ont été levées (fig. 5). Des faciès comparables à ceux de la région sommitale de la Soufrière et de son flanc Ouest ont été rencontrés, mais leurs extensions ne peuvent pas être <sup>évaluées</sup> dans l'état actuel de la cartographie, et leur centre d'émission -Soufrière, ou bien Madeleine- déterminé.

Les coulées pyroclastiques de scories sombres qui apparaissent sous des nuées ardentes datées à 25.500 ans (M. Feuillard, comm. pers) pourraient toutefois être des témoins ~~est~~, de l'éruption des ponces de pintade (S.L.). Le lieu d'émission des nuées ardentes sus-jacentes n'est pas connu. Des faciès à andésite ponceuse aussi clair ont été rencontrés à plusieurs niveaux dans l'histoire du Massif Madeleine - Soufrière. Etablir leur lien d'origine est important car si elles proviennent de la région de la Soufrière elles seront alors sans contexte en raison de leur éloignement de la bouche de sortie. Le 1er exemple connu d'éruption péleénne type 1902, à la Soufrière de Guadeloupe.

#### IV.E - Reconnaissance géologique des rivières Class et Capesterre, entre le morne du Col et Bois Riant.

La reconnaissance de ces vallées a été effectuée en deux jours : le tableau 1 consigne les principales observations de terrain et l'échantillonnage effectué. Les remarques suivantes peuvent en être faites :

- aucun affleurement de brèches pyroclastiques reliable à la Soufrière ou au Carmichael n'a été rencontré.
- le caractère très effusif du volcanisme du Carmichael et de la montagne de la Capesterre est confirmé. Ce sont d'énormes coulées de lave qui constituent le plateau situé entre les rivières Class et de la Capesterre (cours supérieur non reconnu) et des hauts de Bois Riant, l'hypothèse antérieure d'un remplissage de paléovallée par des nuées ardentes et des lahars (WESTERCAMP, 1977, esquisse géologique du Massif Madeleine - Soufrière, au 1/50.000), est infirmée.
- le socle volcanique affleure jusqu'à 800 m d'altitude sous forme de tufs polygéniques. Il pourrait s'agir de reliefs sous-marins remaniés, liés aux phases précoces d'édifications de la Basse-Terre. Les coulées de lave aphyrique qui les recouvrent directement illustreraient l'épisode suivant, particulièrement bien développé dans toute la région N.W de Capesterre (B. MERVOYER, Comm. pers.).

FIG. 5 - COUPES GÉOLOGIQUES DANS LA RÉGION SUD DE CAPESTERRE

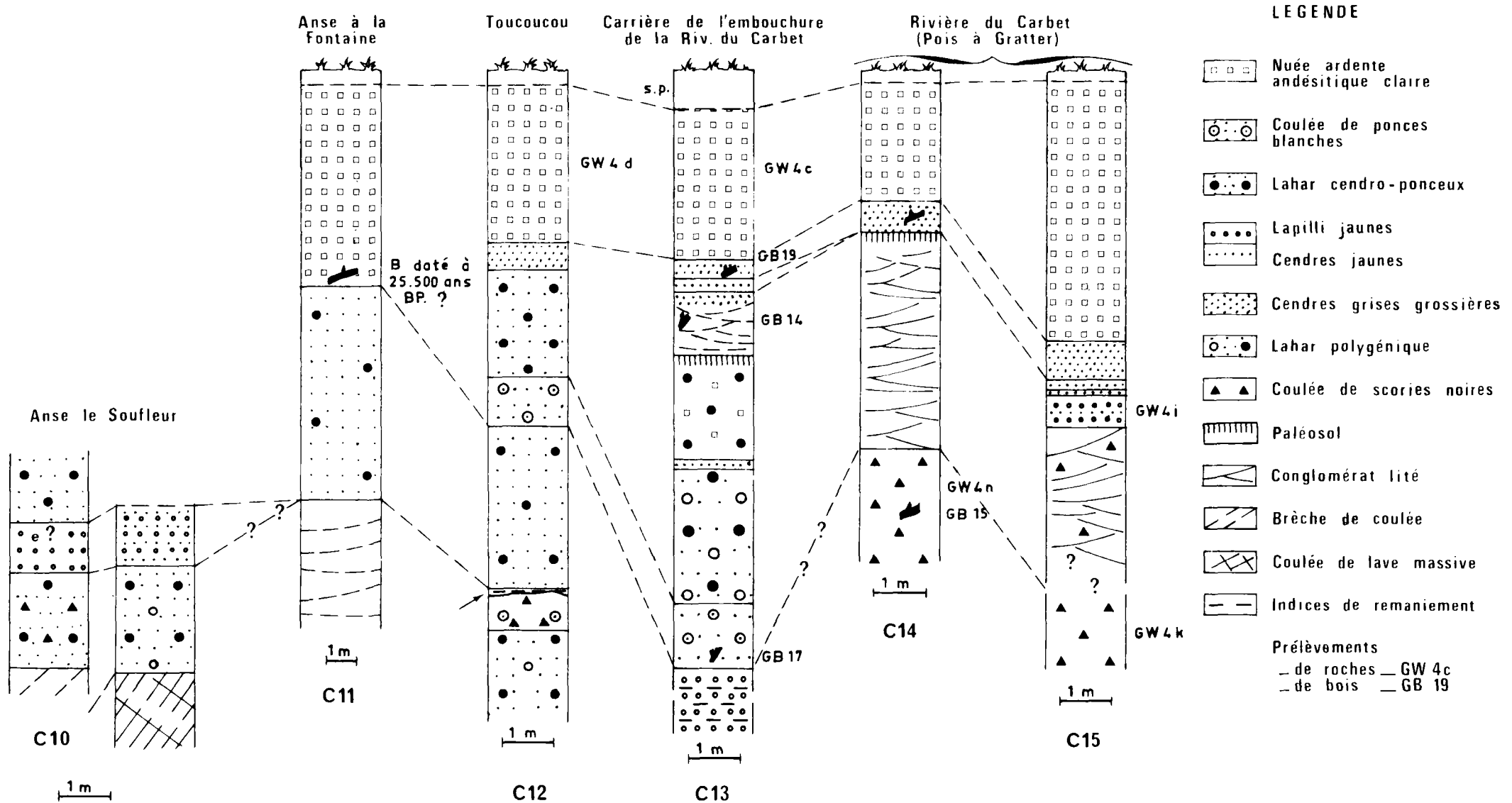




TABLEAU 1

Reconnaissance géologique au long des Rivières Class  
et de Capesterre entre Morne du Col et Bois Riant.

altitude (m)	description rapide des faciès	échantillons
1.160 à 1.135	éboulis de lave massive provenant du Morne du Col	
1.135 à 1.130	lave massive en place	G W 5 F
1.100	" " "	
1.040 à 1.020	" " " (Cascade)	G W 5 G
970 à 890	" " "	G W 5 H
880 - 870	lave massive altérée aphyrique, gris-bleuté	G W 5 I
850		G W 5 K'
	tuf polygénique de type micro conglomérat rec-	G W 5 K
840	coupé par un dyke d'épaisseur 1,5 m direction géographique 180°.	G W 5 L
810	Lahar récent à bois froids et matrice d'argilles d'altération fumerollienne.	
800	lave aphyrique chloriteuse	G W 5 M
	base altérée	G W 5 M'
	tufs polygéniques associés	
750 à 740	lave aphyrique saine : coulée probable	G W 5.0
	contact vertical (paléofalaise probable) entre	
	une lave massive aphyrique ancienne identique	
725	aux précédentes et une coulée de lave massive porphyrique basique ; qui affleure rive droite en falaise (?) sur 70 à 80 mètres d'épaisseur.	G W 5 p
660	lave massive assez altérée, porphyrique	G W 5 q
650	tuf polygénique induré, verdâtre, hydroclastiques remaniés et montmorillonitisés probable.	G W 5 R
630	lave aphyrique vacuolaire. La structure suggère une origine sous-marine.	
600	lahar de remaniement de coulée. Blocs d'andésite sombre abondants.	
590	coulée de lave massive aphyrique, débitée en petits blocs sub-en glace.	
570 à 530	lahar riche en blocs massifs d'andésite sombre	
520	lave massive débitée en boules, très altérée, fracturation grossière.	G W 5 T
490	" "	G W 5 V
490 à 450	enveloppe bréchique grossière de coulée de lave	
440	tufs polygéniques grossiers	
430	coulée de lave massive d'andésite sombre	G W 5 W
410	coulées de lave superposées	G W 5 Y (Inf.) G W 5 X (sup.)

.../...

: 400 à 390	: cendres grossières altérées de lave aphyrique :	
:	: coulée de lave sombre (non observée) reposant :	
: 380	: (?) sur lave aphyrique. :	
:	:	
: 360	: lave massive caractérisée par un sheeting très :	GW 5 Z
:	: fin, pendage vers l'Est, altérée :	
: 345	: (Identique 5 Z) :	
:	:	
: 320	: tuf polygénique à lapilli ponceux (?) clairs :	
:	:	
: 310	: lave massive d'andésite porphyrique sombre à :	GW 6 A
:	: phénoblastes de plagioclase :	
:	:	
: 290	: lave massive porphyrique peu altérée :	GW 6 B

## V. ESQUISSES PALEOGEOGRAPHIQUES DE QUELQUES FORMATIONS GEOLOGIQUES

### V.A - Introduction

Les esquisses paléogéographiques, présentées à l'échelle du 1/100.000, doivent être regardées pour la plupart d'entre elles comme des hypothèses de travail. Elles sont destinées également à ébaucher le type de résultats que l'on peut, et doit attendre d'une reconnaissance de terrain en profondeur (cf. chapitre n° II) : une bonne connaissance quantitative de la répartition et de l'extension des produits volcaniques émis, éruption par éruption.

### V.B - Le système pyroclastique de Pintade, et l'hypothèse d'une caldeira d'effondrement (fig. 6).

Les coulées pyroclastiques de Pintade sont probablement un des premiers épisodes volcaniques dans l'histoire du massif Madeleine-Soufrière (MERVOYER, 1974). Elles sont nettement postérieures au Nez Cassé et au Carmichael qui appartiendraient de ce fait au Petit et au Grand Sans Toucher, et illustreraient les phases finales des Pitons de Bouillante. L'escarpement sud-Est du Nez Cassé pourrait être le tronçon d'un mur de caldera, caldera ultérieurement remplie et oblitérée. La présence de dépôts lacustres (argiles grises varvées à bois flottés, scories vitreuses et prismées retombées dans l'eau, (cf. Fig. 2), terrains volcano sédimentaires de la plaine de Moscou,.....) à l'altitude de 700 m, qui reposent sur des coulées de lave, suggère également une dépression perchée occupée par un lac.

La limite sud du paléolac est en inversion de relief et est constituée par la bordure ou le front des coulées de lave massive sous-jacentes. La figure 7 propose une explication à cette particularité dans l'hypothèse d'une ancienne caldeira d'effondrement produite après l'émission des scories et ponces de Pintade. La confirmation d'une telle structure serait particulièrement importante pour orienter d'éventuelles recherches géothermiques dans la région (WESTERCAMP, 1977c). La région de Baillif Vieux Habitants paraît la plus favorable à l'étude du substratum immédiat de cette formation pyroclastique, et des tous premiers produits reliables au volcanisme du massif Madeleine-Soufrière.

### V.C - Les cendres grises de la rivière aux Herbes (fig. 8).

Directement sur les ponces de Pintade, reposent des cendres grises, grossières, bien calibrées. Les scories noires vitreuses et prismées du Galion pourraient être un équivalent grossier, déposé à proximité du cratère. Les affleurements connus suggèrent l'action d'un vent de direction W.SW assez rapide (isopachs assez serrés). Le lieu d'émission serait situé au sud de la citerne. La coupe géologique de la rivière aux Herbes où ces cendres atteignent une 20e de mètres d'épaisseur, reste à faire (cf. fig. 1).

### V.D - Nuées ardentes verticales à la Soufrière de Guadeloupe (fig. 9)

Des dépôts de nuées ardentes à blocs décimétriques et pluridécimétriques affleurent en de nombreux endroits autour de la Soufrière.

Les affleurements situés à l'Ouest du massif, vers St Claude sont les témoins d'un épisode ancien, antérieur à la mise en place du système effusif Mamelle-Morne Goyavier et des avalanches incandescentes qui lui sont liées (cf. fig. 10).

Ceux situés à proximité du Sommet seraient le résultat d'éruptions verticales à cheminée ouverte ayant précédé la mise en place du dôme actuel de la Soufrière ; la répartition et l'épaisseur des dépôts, la texture gris-violacée des blocs, très

.../...

FIG. 6 - LE SYSTÈME PYROCLASTIQUE DE PINTADE ET L'HYPOTHÈSE D'UNE CALDÉRA CENTRALE

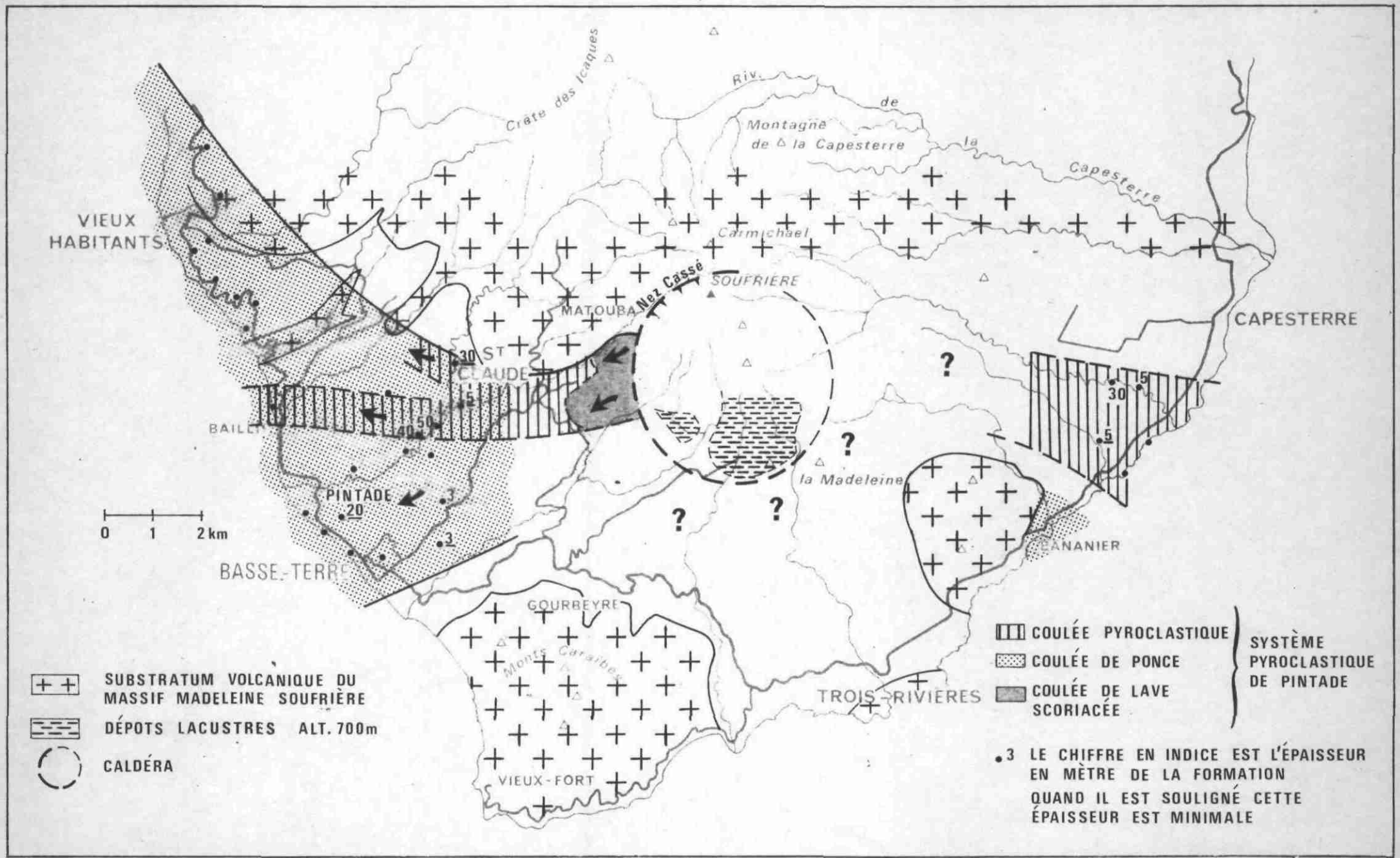


FIG. 7 - ÉVOLUTION VOLCANO - MORPHOLOGIQUE D'UNE HYPOTHÉTIQUE CALDÉRA CENTRALE A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE

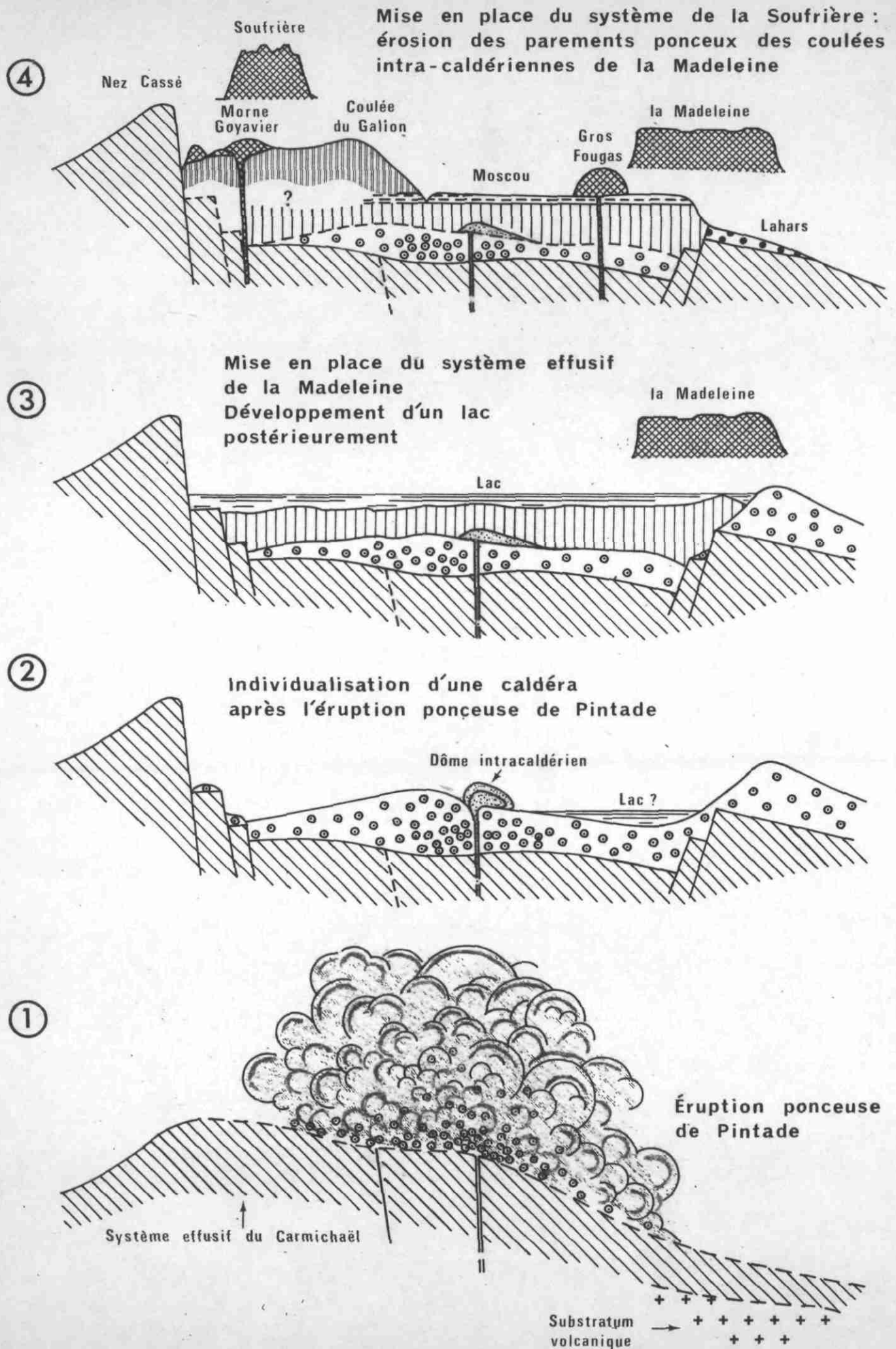


Fig 8. RÉPARTITION DES CENDRES GRISES DE LA RIVIÈRE AUX HERBES

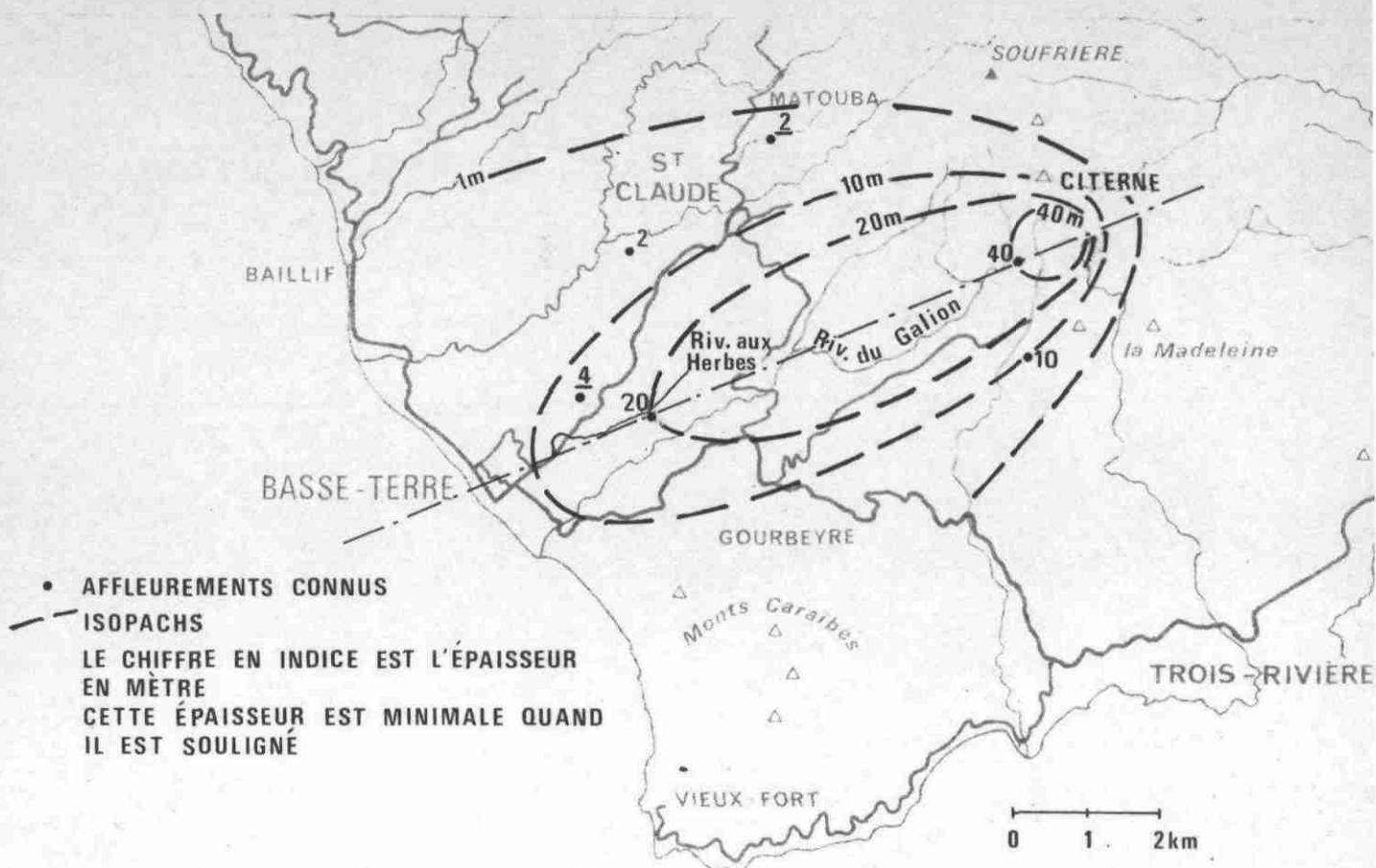
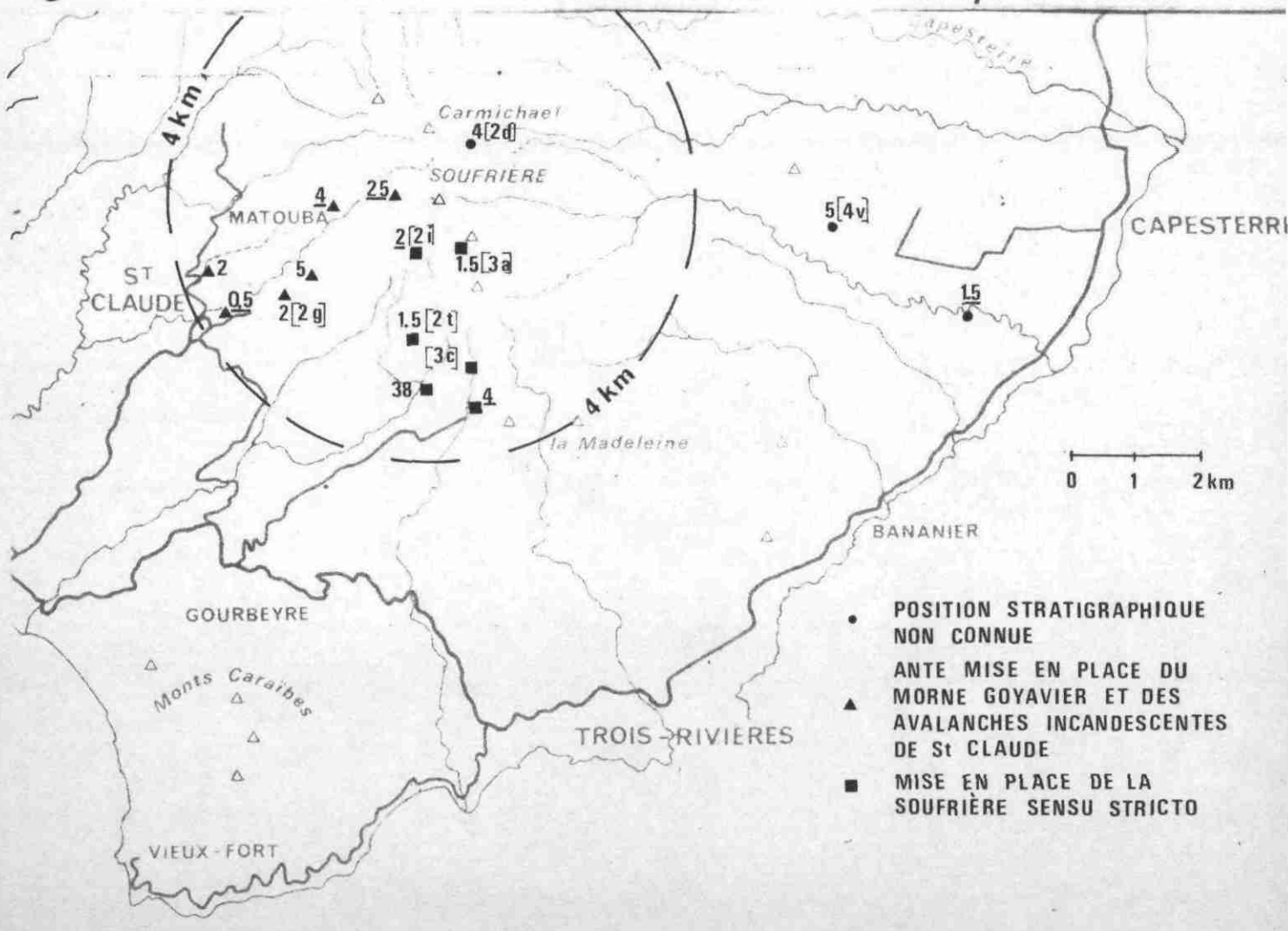


Fig 9. NUÉES ARDENTES VERTICALES À LA SOUFRIÈRE, GUADELOUPE



comparables à ceux formant la carapace du dôme, et la position stratigraphique élevée de cette formation dans l'histoire générale du volcan le suggèrent fortement.

Un affleurement situé à proximité de Capesterre prouve qu'à la retombée, la brèche incandescente s'écoule assez bas dans les vallées, à l'instar de ce qui a été observé à St Vincent en 1902.

La grande majorité des affleurements connus et l'ensemble des retombées sont confinés à l'intérieur d'un cercle de 4 km de rayon autour du sommet actuel.

V.E - Les avalanches incandescentes de St Claude en liaison avec la mise en place du système effusif Mamelle-Morne Goyavier.

La ville de St Claude et ses alentours, sont édifiés sur la surface structurale d'importants dépôts de brèche pyroclastique monogénique, plus ou moins remaniés.

Les blocs sont abondants par rapport à une matrice cendro-argileuse. Ils sont constitués d'une andésite d'un gris très clair, plus ou moins bleuté, voire violacé, porphyrique. Les blocs métriques sont courants et certains d'entre eux atteignent 5 mètres dans la plus grande dimension. Ces caractéristiques de faciès sont celles des avalanches incandescentes et nuées ardentes de type Mérapî.

Une brèche pyroclastique plus fine, à blocs andésitiques centimétriques et pluricentimétriques leur sont associés. Ces dépôts de nuage de nuées ardentes sont bien développés dans la région de Matouba où ils peuvent mesurer 80 centimètres d'épaisseur. Au Parnasse (St Claude) un affleurement de 50 centimètres d'épaisseur a été observé.

En aval de St Claude ces dépôts de nuées ardentes passent à des faciès de lahars qui recouvrent une bonne partie de la région de Basse-Terre. Il est mal établi si ce passage nuée ardente-lahar s'est effectué au cours des éruptions elles-mêmes ou bien s'il traduit des phénomènes de remaniement postérieur.

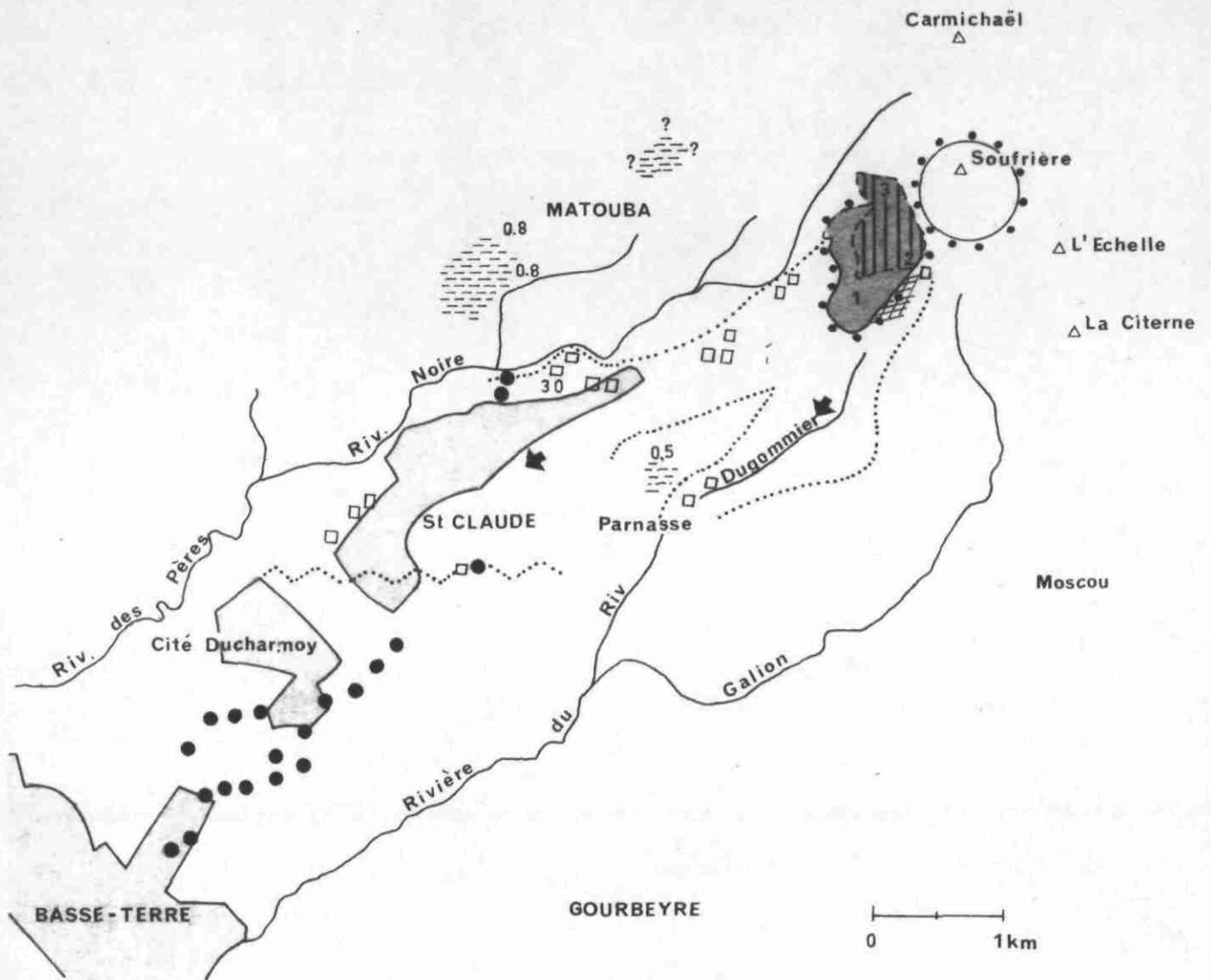
Ces brèches volcaniques sont liées à la mise en place d'un ou plusieurs dômes antérieurs à la Soufrière (S.S).

La répartition des dépôts semble désigner l'ensemble effusif Mamelle-Morne Goyavier comme étant à leur origine. (fig. 10).

-----



**Fig 10 - LES AVALANCHES INCANDESCENTES DE ST CLAUDE EN LIAISON AVEC LA MISE EN PLACE DU SYSTÈME EFFUSIF - MAMELLE - MORNE GOYAVIER**



**SYSTÈME EFFUSIF - MAMELLE - MORNE GOYAVIER**

- 1 MORNE GOYAVIER
- 2 PITON TARADE
- 3 MAMELLE
- LIMITE DE DÔME
- ALTÉRATION FUMEROLLIENNE
- COULÉE DE LAVE

**BRÈCHE**

- 1) NUÉE ARDENTE DU TYPE MERAPI
- BRÈCHE GROSSIÈRE
- LIMITES APPROXIMATIVES DE LA BRÈCHE GROSSIÈRE
- NUAGE DE NUÉE ARDENTE
- 30 ÉPAISSEURS EN MÈTRES
- 2) ● LAHAR
- 3) LIMITE APPROXIMATIVE NUÉE/LAHAR



## VI. LES ERUPTIONS PHREATIQUES DE LA SOUFRIERE DE GUADELOUPE

### VI.A - Introduction

Les éruptions phréatiques sont une constance de l'histoire volcanique récente de la Soufrière. Plusieurs événements préhistoriques de ce type, non datés, mais postérieurs à la mise en place de l'Echelle, ont été reconnus.

Depuis 1635, année d'arrivée des premiers colons européens aux Antilles, 6 manifestations de ce type ont eu lieu. Le doute qui a longtemps subsisté sur la nature juvénile ou non de certains éléments des "cendres" rejetés durant l'éruption de 1976-1977 est écarté. L'ensemble des analyses effectuées n'a pu mettre en évidence de verre frais d'origine juvénile et l'ensemble des volcanologues admettent que les explosions de surface étaient, à l'instar de celles des éruptions historiques, d'origine phréatique sensu stricto.

Que d'autres manifestations phréatiques aient lieu dans un avenir proche, est donc une quasi-certitude (WESTERCAMP, 1977).

L'étude des dépôts préhistoriques couplée aux dynamismes qui se sont développés pendant la crise sismo-volcanique de 1976-1977 permet d'établir le type de risques que ces éruptions font courir.

L'évaluation et la zonation du risque, sont traitées sur la base des données géologiques.

-répartition des produits, et état de fissuration et d'altération du sommet-, et d'après l'étude phénoménologique de l'éruption de 1976-1977 de LEGUERN et BERNARD (1977).

### VI.B - Les éruptions phréatiques préhistoriques

Trois types de dépôts ont été reconnus dans le massif de la Soufrière comme originaires d'éruptions phréatiques : les lahars d'effondrement, les dépôts ferrugineux finement lités, et les cendres grossières polygéniques (figure 11).

#### a) les lahars d'effondrement

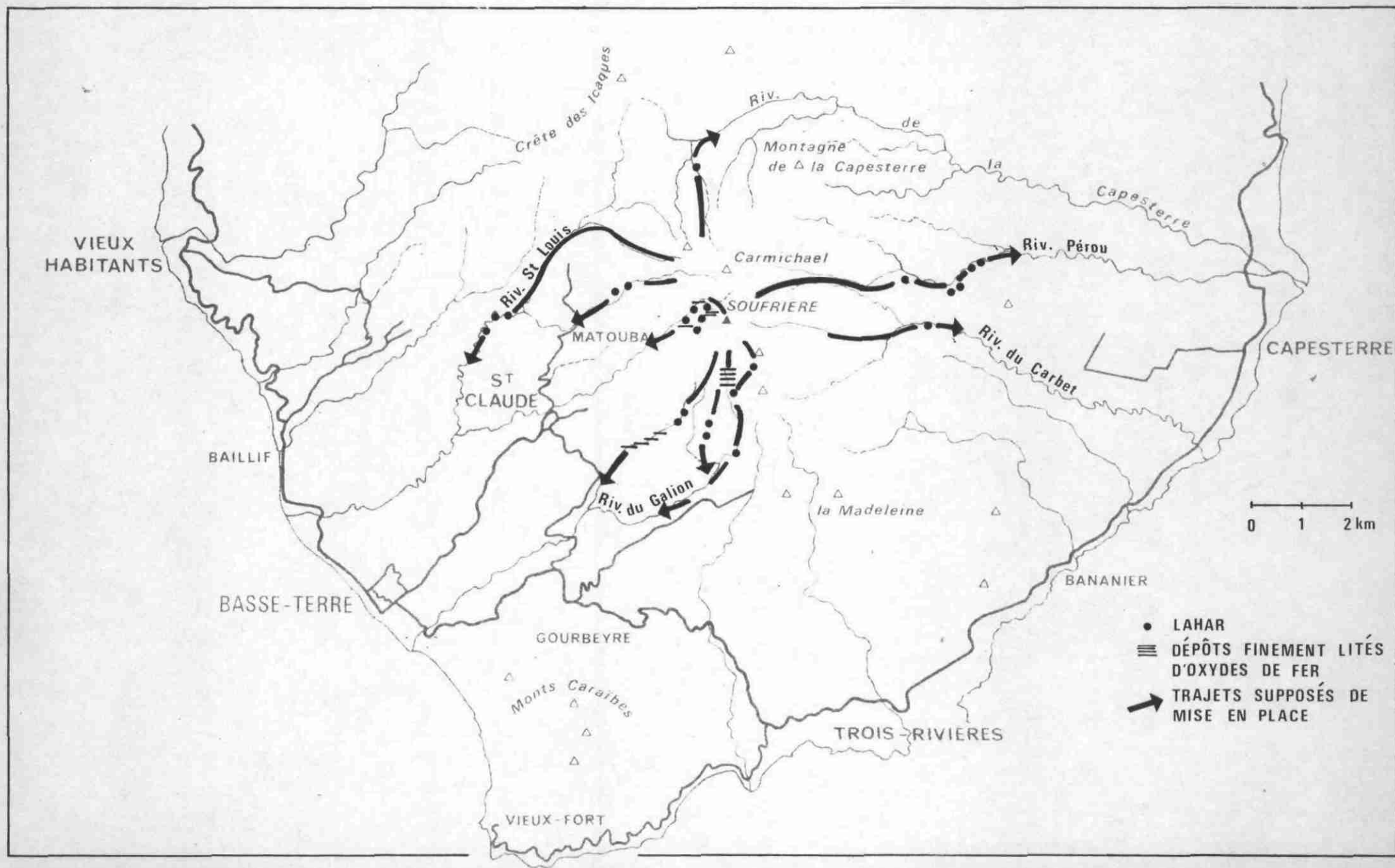
Les lahars d'effondrement sont essentiellement constitués de blocs altérés, voire pyritisés, à surface oxydée, emballés dans une argile gris-bleuté clair, d'origine fumarolienne. Ils résultent de l'effondrement de secteurs entiers du sommet du volcan, particulièrement argillisés et saturés en eau de condensation sous l'action des fumerolles, à la suite d'une explosion phréatique (exemple : le lahar du 8 juillet 1976). Il est possible que des secousses sismiques superficielles intenses produisent le même effet. Toutefois, aucun exemple n'ayant été observé durant la période historique, nous admettons que, à la Soufrière de Guadeloupe, se sont seulement les explosions phréatiques qui sont à l'origine des lahars.

Des brèches de lahars d'effondrement ont été observées à plusieurs niveaux dans l'histoire du volcan. Leur répartition suggère que la zone du Carmichael, particulièrement hydrothermalisée, est à l'origine de certains d'entre eux. La majorité provenant toutefois des alentours du dôme actuel de la Soufrière.

Le lahar observé à l'altitude de 340 mètres dans la rivière du Pérou mesure au moins 30 mètres d'épaisseur. C'est l'indice que des phénomènes de grande ampleur peuvent résulter des explosions phréatiques à la Soufrière de Guadeloupe, sans atteindre toutefois -et de loin- les lahars monstrueux de même origine étudiés par CRANDELL (1971) au Mt Rainier, (U.S.A.).

.../...

**Fig 11. RÉPARTITION DES AFFLEUREMENTS CONNUS DE LAHAR D'EFFONDREMENT ET DÉPÔTS D'OXYDES DE FER PRÉHISTORIQUES À LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE**



b) Les dépôts ferrugineux finement lités

Associés aux brèches de lahar d'effondrement, cimentant parfois leurs éléments, on observe des dépôts finement lités d'oxydes de fer (la composition exacte est à confirmer aux R.X.). Ils résultent d'un phénomène de précipitation à partir des eaux chaudes qui s'échappent des fissures ouvertes par les explosions phréatiques. Ces eaux, grises à l'origine, deviennent en effet de couleur rouille, par oxydation du fer en suspension. Des dépôts d'1 mètre d'épaisseur ont été observés aux pieds ouest et sud (haut de la rivière du Galion) du dôme actuel de la Soufrière.

c) Les cendres grossières polygéniques

Des cendres grossières polygéniques sont rejetées à chaque explosion phréatique. A proximité du dôme elles peuvent s'accumuler sur plusieurs dizaines de centimètres. Ailleurs elles sont rapidement remaniées par les pluies.

VI.C - Les éruptions phréatiques historiques (cf. LACROIX, 1904, p. 56 à 71)

- la première éruption phréatique transcrite, à la Soufrière de Guadeloupe a probablement eu lieu en 1695-1696.
- la deuxième, cent ans plus tard en 1797-1798. Son trait majeur est la production d'un petit lahar d'effondrement connu sous le nom "d'éboulement Faujas".
- 10 ans plus tard en 1809, éruption de faible ampleur.
- en décembre 1837, débute une éruption importante. Un petit lahar d'effondrement recouvre l'éboulement Faujas lors de l'explosion du 12 février 1838.
- un repos de cent vingt ans précède la petite manifestation explosive de 1956.
- l'année dernière, de juillet 1976 à mars 1977 se produit une des plus violentes éruptions phréatiques de la Soufrière. Elle est étudiée plus en détail au paragraphe suivant.

Actuellement aucune relation n'apparaît entre la puissance des éruptions et la durée des périodes de repos sur l'ensemble des 5 éruptions historiques.

VI.D - L'éruption phréatique de 1976-1977 (figure 12)

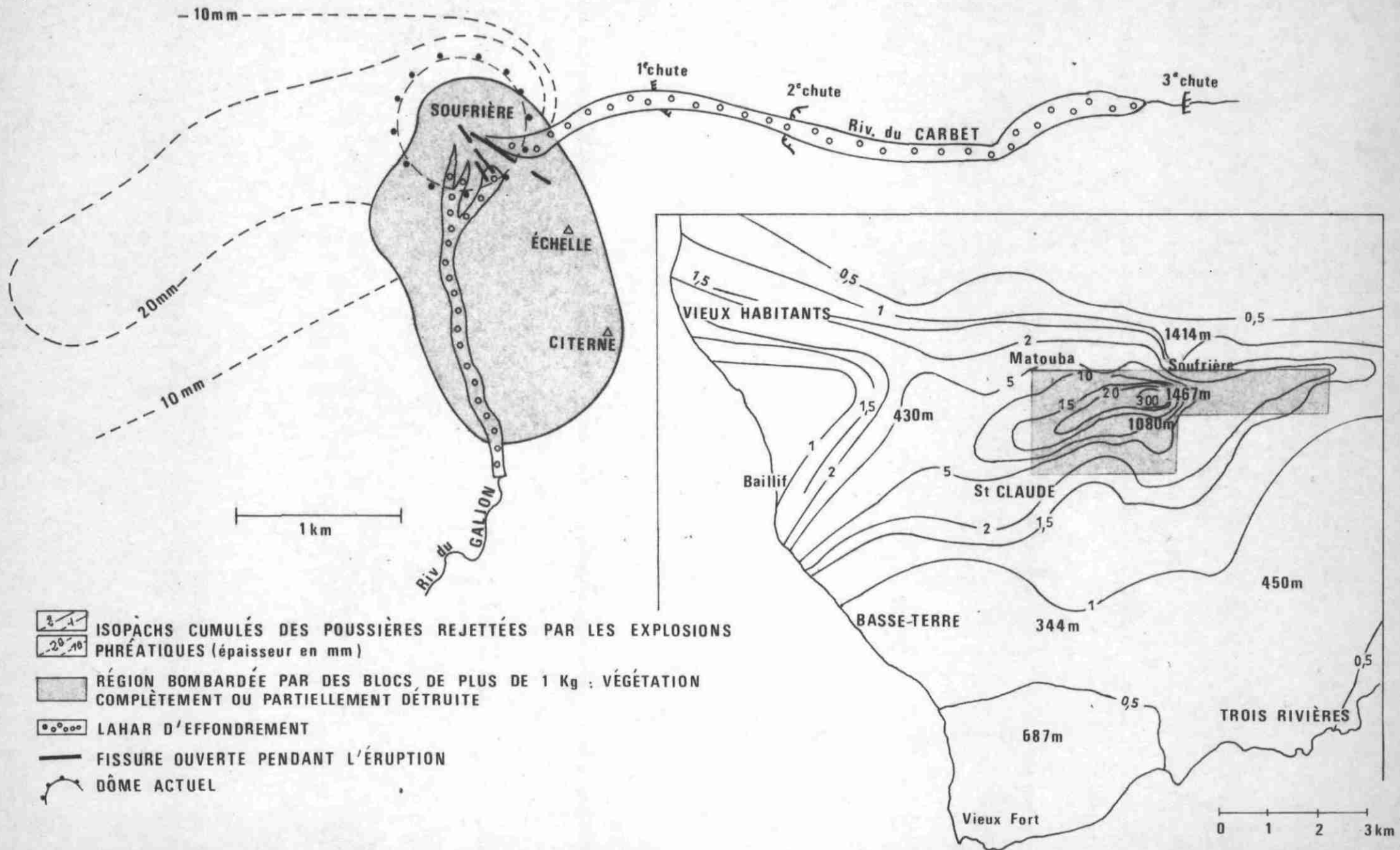
VI.D.a - Avant-propos

L'aspect phénoménologique de l'éruption phréatique de 1976-1977, qui nous intéresse au premier chef pour l'évaluation et la zonation des risques a surtout été traité par LE GUERN et BERNARD (1977). Les résultats qui sont présentés maintenant, sont essentiellement empruntés à ces deux auteurs.

L'éruption est caractérisée par un régime calme émettant vapeur d'eau et poussière volcanique interrompue par des explosions phréatiques de courte durée (entre 10 et 40 minutes) à la fréquence d'environ 2 par mois. Ces manifestations explosives qui se produisent au sommet du dôme émettent de grandes quantités de poussières et de blocs. Elles ont plus ou moins détruit la végétation qui recouvrait le sommet.

.../...

**Fig 12. LES PRODUITS VOLCANIQUES DE L'ÉRUPTION PHRÉATIQUE DE 1976-1977  
A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE. D'après LE GUERN et BERNARD (1977)**



#### VI.D b - Retombées de poussière

Les émissions de poussières ont toujours été liées à des débits gazeux importants le long des fissures créées ou réactivées par les explosions phréatiques.

L'essentiel des projections fines, poussées par les alizés Est-Ouest, est retombé dans la région très peuplée de St Claude-Basse Terre ; on peut évaluer à 10 ou 15 % les éléments tombés en mer, selon la force de l'explosion.

#### VI.D.c - Chutes de blocs

Des blocs variant en poids de quelques kilogrammes à plusieurs tonnes ont été projetés lors des explosions phréatiques à des centaines de mètres du sommet. Ces blocs ont été arrachés aux couches géologiques sous-jacentes au dôme, et aux parois des fissures.

On note que les blocs ne se répartissent pas d'une façon homogène autour du sommet mais s'inscrivent dans une ellipse dont le grand axe est confondu avec la fissure mère. La plus grande distance mesurée entre les points de sortie et d'impact est de 1,6 km.

#### VI.D.d - Lahars d'effondrement

L'explosion phréatique du 8 juillet 1976, qui amorce l'éruption proprement dite, provoque le seul lahar d'effondrement important de la crise.

Il s'est écoulé dans la rivière du Carbet, jusqu'à la troisième chute située à environ 3,5 kilomètres du sommet. Son front d'avancée atteignit un maximum de puissance de 15 à 20 mètres, et une largeur de 30 à 50 mètres.

-----

## VII. ZONATION DES RETOMBÉES DE CENDRES ET DE LAPILLI DANS LA PARTIE CENTRALE DES PETITES ANTILLES ET EVALUATION DES RISQUES.

### VII.A - Introduction

On étudie dans les pages qui suivent les types de zonation des produits volcaniques projetés au-dessus du volcan, quel que soit le dynamisme éruptif.

Sont concernés

- les poussières projetées par les explosions phréatiques,
- les cendres et lapilli ponceux émis au cours d'éruption plinienne à cheminée ouverte.
- les mélanges de cendres et graviers qui constituent le nuage des nuées ardentes de tous types,
- les cendres ponceuses, fines, des nuages de coulées de ponces.

La répartition de ces produits volcanoclastiques est contrôlée par les vents. Aux Petites Antilles le régime des alizés est comparable d'une île à l'autre. C'est pourquoi, l'étude des vents conduite à la station météorologique du Raizet, en Grande Terre de Guadeloupe, est applicable non seulement à la Soufrière de Guadeloupe mais aussi à la montagne Pelée et aux autres volcans actifs de la partie centrale des Petites Antilles.

Les vents variant avec l'altitude, la répartition des retombées pyroclastiques dépend de la hauteur qu'elles ont atteinte ; ceci est lié à la force des explosions initiales ou encore au dynamisme éruptif.

x

x x

### VII.B - Le régime des vents aux Petites Antilles

#### VII.B.1 - Avant propos

Une compilation des radio-sondages effectués journalièrement au Raizet entre 1953 et 1958, a été conduite par Monsieur GRUOT, de la météorologie nationale. Les statistiques mensuelles présentées (tableaux 2a à 2f), la représentation graphique des vents en fonction de l'altitude, les roses des vents, (fig. 14a et 14 b) sont basées sur les 28.954 mesures effectuées pendant cette période de cinq ans. Selon les météorologues martiniquais (comm. pers.) cette étude très complète est tout à fait représentative du régime des vents régnant en altitude aux Petites Antilles.

#### VII.B.2 - Variation des vents en fonction de l'altitude et de la saison

L'étude de GRUOT montre clairement qu'il existe deux régimes des vents aux Antilles, selon la période de l'année

- d'octobre à juin (fig. 14a), les vents à basse altitude (inférieure à 5 km) sont d'est (alizés). La vitesse croît en fonction de l'altitude jusqu'à 5 km où elle se situe autour de 8 m/s. Les vents de moyenne altitude (entre 6 et 20 km) sont d'ouest (contre-alizés), leur vitesse

.../...

RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 60 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet, Guadeloupe

altitude moyenne\* : 19.643

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme	0.8	1.1	1.8	0.9	0.9							1.2
N	4.7	3.2	2.7	9.2	4.3						7.3	4.7
NNE	1.6	5.4	6.2	2.8	5.2	0.7		0.7	0.6	1.9	7.3	5.8
NE	5.5	2.2	3.5	10.1	11.3	2.0			0.6	5.5	9.1	7.6
ENE	7.9	11.8	11.5	10.1	16.5	10.2	1.9	1.4	4.3	12.3	9.1	9.9
E	18.1	21.5	8.8	16.5	36.5	76.2	85.8	88.4	84.0	54.0	27.9	29.2
ESE	4.7	2.2	4.4	3.7	7.0	8.1	9.7	8.8	7.4	14.7	7.9	5.3
SE	3.9	2.1	3.5	2.7	3.5		0.6		1.9	4.3	3.0	3.5
SSE	1.6	2.2	1.8	3.7	2.6		1.3		0.6	0.6	0.6	1.2
S	3.9	2.1	2.7	1.8	0.9	1.4		0.7		1.2	3.6	3.5
SSW	2.4		4.4	1.8						1.2	0.6	1.2
SW	2.4		7.1	4.6		0.7				3.1	1.2	1.8
WSW	3.1	4.3	7.1	6.4	1.7						2.4	1.2
W	7.1	17.2	15.9	9.2	3.5	0.7			0.6		6.7	10.5
WNW	11.8	17.2	13.3	4.6	3.5		0.7			1.2	4.8	5.0
NW	13.4	3.2	2.7	5.5	0.9						3.6	5.3
NNW	7.1	4.3	2.6	6.4	1.7						4.9	2.3

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.



RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 200 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet, Guadeloupe

altitude moyenne\* : 12.409.

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme								0.5				
N	1.1	2.1	2.3	2.2	11.1	6.6	4.8	3.4	4.6	7.2	6.3	2.6
NNE	0.5		0.6		2.6	2.3	3.3	4.1	3.2	3.2	5.9	0.4
NE	1.1				2.7	4.7	4.3	6.4	6.0	6.8	2.7	0.9
ENE			0.6			2.8	4.3	4.5	2.3	2.3	3.6	0.4
E	0.5		1.1			2.3	5.7	20.9	6.9	3.6	2.2	0.9
ESE						1.4	4.8	6.8	1.4	1.8		
SE		0.7				1.4	4.3	9.5	3.2	0.5	0.5	
SSE						0.9	7.6	5.9	6.0			
S	2.2		0.6			2.8	9.5	10.0	6.9	3.2	1.4	
SSW		0.7		0.6	0.5	3.8	5.7	3.2	8.2	7.7	1.3	
SW	0.5	4.9	5.1	2.8	4.2	8.0	7.1	4.1	6.0	8.1	1.8	0.9
WSW	8.7	16.1	13.7	18.5	12.2	14.6	11.0	4.5	8.7	12.2	10.4	13.4
W	48.9	48.2	46.9	41.6	33.9	24.4	18.6	8.2	15.1	17.6	27.5	48.1
WNW	22.3	20.3	16.6	19.1	19.0	9.9	4.8	2.7	8.7	12.2	15.8	20.3
NW	9.3	4.2	9.1	11.8	10.1	10.3	2.8	0.9	7.8	8.2	13.1	9.5
NNW	4.9	2.8	3.4	3.4	3.7	3.8	1.4	1.4	5.0	5.4	7.6	2.6

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.



RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 500 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet, Guadeloupe

altitude moyenne\* :

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme	0.5	0.6		0.5	1.0	0.4			0.4	0.8	0.4	
N	10.1	4.3	9.2	6.5	11.5	4.5	2.7	1.7	2.6	5.1	6.9	8.3
NNE	8.6	3.7	3.3	3.8	8.0	3.2	1.3	3.4	6.5	5.1	10.7	8.3
NE	8.1	5.0	4.9	4.9	5.0	5.5	4.0	9.8	6.1	6.0	9.0	7.9
ENE	3.5	3.7	4.3	5.4	2.5	11.8	11.7	17.0	17.7	14.5	16.7	9.5
E	11.1	8.0	6.0	6.5	5.0	27.3	36.8	32.9	25.6	17.9	16.7	14.5
ESE	4.6	5.0	4.4	3.2		9.1	20.6	17.9	8.7	8.5	3.9	8.3
SE	3.0	1.2	4.4	1.6	2.0	10.0	9.9	6.9	5.2	5.5	1.3	5.0
SSE	2.5	1.8	2.7	1.1	2.0	5.9	4.0	4.3	3.9	1.7	3.0	3.3
S	1.5	5.0	5.4	2.2	3.5	8.2	4.5	1.3	7.4	6.0	2.1	0.8
SSW	2.0	4.3	2.7	2.7	5.0	2.7	1.3	0.4	4.3	4.2	2.2	1.7
SW	1.0	4.3	2.2	5.4	8.0	3.2	1.8	0.9	3.9	6.8	3.9	3.7
WSW	4.6	9.9	6.0	14.0	7.5	1.4	0.4	1.3	2.2	2.1	7.3	5.0
W	13.1	14.2	14.1	21.1	16.5	3.6	0.5	0.9	3.0	8.1	4.7	7.1
WNW	11.1	13.6	9.8	8.1	9.5	0.5			1.7	4.7	1.7	6.2
NW	5.6	11.1	10.3	9.2	6.0	1.8		0.4	0.4	1.3	4.3	5.0
NNW	9.1	4.3	10.3	3.8	7.0	0.9	0.5	0.9	0.4	1.7	5.2	5.4

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.

RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 700 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet, Guadeloupe

altitude moyenne\* : 3.170 m

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme	1.5			0.5						1.3	0.9	
N	6.1	6.6	4.2	6.4	5.5	1.4	0.4	0.8	0.9	1.7	6.0	2.0
NNE	8.1	6.0	3.2	6.4	2.0	0.4		2.9	0.8	1.7	3.4	3.3
NE	6.6	3.6	7.9	5.9	8.0	3.6	3.1	3.4	6.1	4.2	7.3	8.2
ENE	14.7	10.1	9.0	11.8	8.9	6.3	8.5	16.0	16.4	12.6	19.6	18.4
E	29.8	30.5	25.9	20.9	26.3	36.9	46.6	35.7	35.5	29.7	27.8	37.1
ESE	6.1	9.0	14.3	9.1	14.9	29.7	26.5	16.8	17.3	18.8	8.1	11.4
SE	3.0	3.0	7.4	1.1	7.9	10.4	9.9	13.5	5.6	7.5	2.1	4.9
SSE	2.0	3.6	3.7	2.7	8.0	3.6	1.8	2.9	3.9	6.7	1.7	1.6
S	1.0	6.6	2.6	5.3	3.0	2.7	1.8	4.2	3.5	3.8	5.6	3.7
SSW	2.0	0.6	3.2	2.1	2.0	1.8	0.5	0.4	1.3	0.8	2.1	2.5
SW	3.5	1.8	3.2	3.2	1.5	1.8	0.4	1.7	2.2	2.9	4.3	1.2
WSW	1.5	2.4	3.2	7.0	2.0	0.4		0.4	1.3	1.6	3.8	0.8
W	3.5	7.8	3.7	5.3	2.0	0.5	0.5	0.9	3.0	4.2	3.0	1.6
WNW	2.0	3.6	3.2	7.0	2.0			0.4	0.9	1.7	2.1	
NW	2.0	4.2	1.6	3.2	3.0	0.5			0.9	0.4	1.3	1.7
NNW	6.6	0.6	3.7	2.1	3.0				0.4	0.4	0.9	1.6

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.

RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 850 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet; Guadeloupe

altitude moyenne\* : 1.539

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme	1.5	0		0.5						0.9	1.3	
N	2.5	1.2	0.5	0.5	1.5			0.4	0.4	0.4	1.3	1.2
NNE	2.4	1.2	2.1	1.1	1.5			0.4	1.3	1.3	1.7	
NE	4.0	5.3	5.8	1.6	1.5		0.9	0.8	3.0	0.8	3.4	2.0
ENE	14.3	10.7	7.4	10.0	5.5	3.1	4.0	10.6	4.3	5.9	15.3	14.8
E	41.0	51.8	29.7	47.1	35.3	46.4	59.8	49.0	50.0	37.5	47.6	53.3
ESE	16.2	15.5	20.6	21.7	34.3	36.6	30.4	21.9	25.0	28.8	13.6	18.9
SE	3.9	7.1	15.4	7.4	15.4	8.5	3.1	9.7	6.0	12.1	3.8	6.6
SSE	1.5	3.0	7.4	4.7	3.0	2.7	0.9	3.0	1.7	2.9	3.4	1.6
S	2.0	1.2	5.3	1.6		1.4	0.4	2.1	3.0	2.9	2.6	
SSW	2.9		1.1	1.6		0.4	0.5	1.7		2.9	1.3	0.4
SW		1.2	1.6			0.5			3.0	0.8	2.6	0.8
WSW	1.5		1.6						0.5	0.4	1.7	
W	2.9		0.5		0.5				1.3	0.8		
WNW		1.2	0.5		0.5	0.4			0.5	0.8	0.4	0.4
NW	0.5		0.5	1.1	0.5			0.4		0.4		
NNW	2.9	0.6		1.1	0.5					0.4		

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.

RESUME CLIMATOLOGIQUE DES DIRECTIONS D'OU SOUFFLE LE VENT  
EN FREQUENCES MENSUELLES (%) AU NIVEAU ISOBARIQUE 1 000 Mb

Années 1953 à 1958

Station météorologique du Raizet, Guadeloupe

altitude moyenne\* : 136 m

	JANV.	FEVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
calme	40	21	20.5	16.4	16.4	11.6	9.1	16.7	20.2	21.6	18.7	13.5
N	1	0.6	1.1	0	0				0.4		0.9	0.4
NNE	1	0.6	1.1	0	0			1.7	0.5		2.6	0.8
NE	6.4	5.3	4.7	2.1	1.0	1.3	2.7	8.8	2.7	2.2	7.0	9.4
ENE	19.4	13.0	13.2	15.9	7.5	11.2	28.5	17.1	18.8	11.3	23.9	22.4
E	23.7	42.0	26.8	35.4	38.3	54.5	52.0	32.0	30.0	35.1	32.2	43.3
ESE	5.4	13.0	16.3	16.4	26.3	12.9	6.8	12.4	16.6	16.4	6.6	8.6
SE	2.0	3.0	10.1	9.6	7.5	7.1	0.4	7.4	4.9	3.9	1.7	0.8
SSE	0	1.2	4.7	3.2	1.5	0.4	0.5	3.1	2.7	4.8		
S	0.5	0	1.0	0.5	1.5	0.5		0.4	0.4	1.3	4.3	
SSW			0.5						0.5	1.7	1.3	
SW									1.4		0.4	
WSW									0.9			
W						0.5				0.4	0.4	
WNW				0.5								
NW										0.4		
NNW	0.5									0.9		

\* l'altitude est donnée par la moyenne totale des altitudes en mètres géopotentiels correspondant au niveau isobarique auquel les mesures sont effectuées.

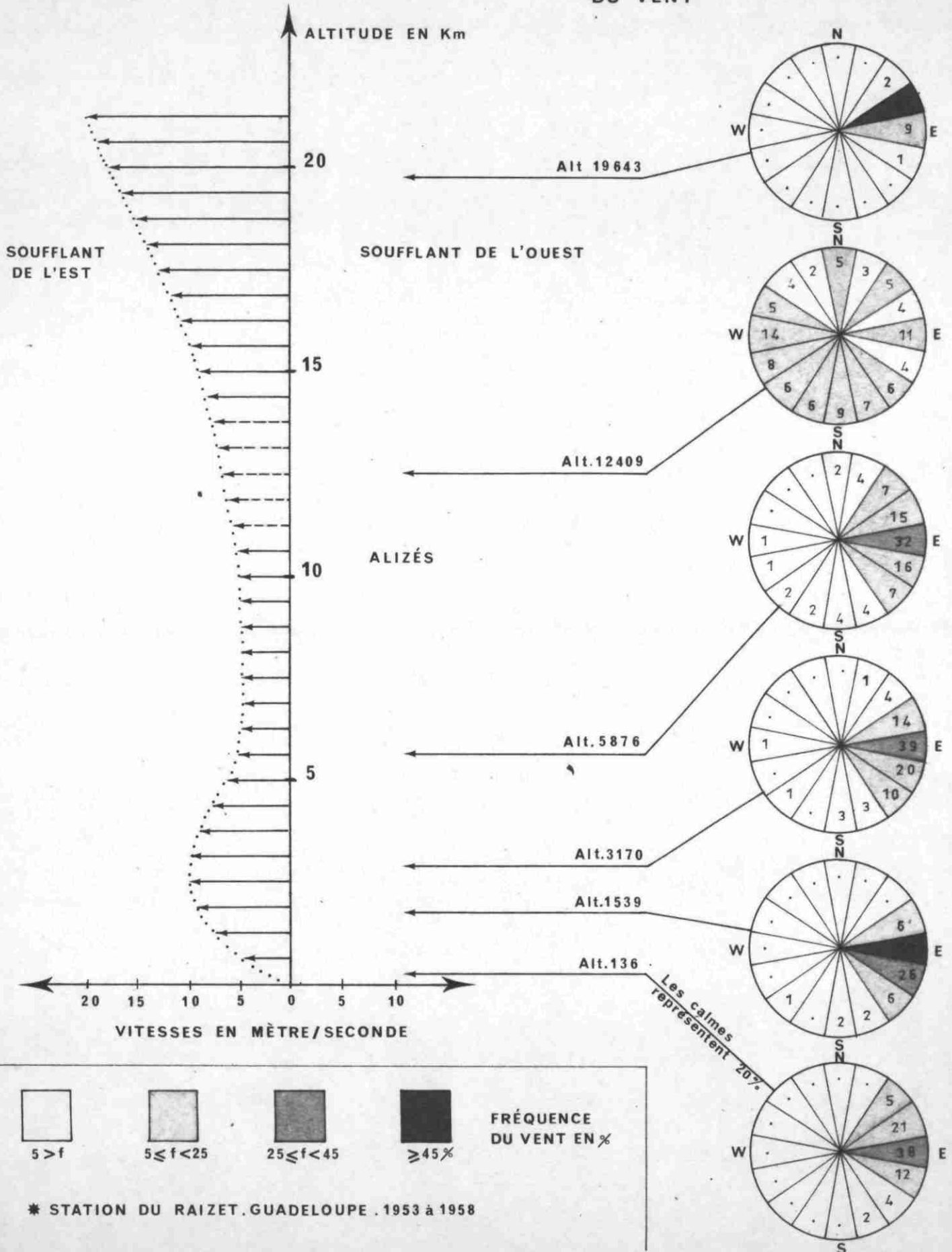




Fig 14b. LES VARIATIONS DU VENT EN FONCTION DE L'ALTITUDE AUX PETITES ANTILLES DE JUILLET A SEPTEMBRE \*

VITESSE DES VENTS DOMINANTS PAR RAPPORT A L'ALTITUDE

FRÉQUENCE DE L'OCCURENCE SIMULTANÉE DES DIRECTIONS DU VENT



maximale est de 25 m/s aux environs de 13 km d'altitude. Les vents de haute altitude (au-dessus de 20 km) sont à nouveau d'est et croissent en vitesse avec l'altitude.

- de juillet à septembre, (fig. 14b) le régime des contre alizés n'existe pour ainsi dire pas. Les vents sont en moyenne d'est. Leur vitesse croit jusqu'à un maximum de 10 m/s vers 3 km d'altitude, pour décroître ensuite (minimum 5 m/s entre 5 et 10 km d'altitude). Au-dessus de 10 km ils croissent à nouveau régulièrement.

La fréquence des vents en direction, aux altitudes correspondant aux vitesses minimales et maximales, dictent les lois de répartition des retombées de cendres. Les roses des vents (fig. 14), entre 136 mètres d'altitude (régime des vents au sol) et 19.643 mètres (altitude limite estimée, susceptible d'être atteinte par les cendres dont la retombée risque d'affecter les îles au cours d'éruptions cataclysmales) sont déduits pour les niveaux isobariques se rapprochant au mieux des altitudes clefs (cf. tableau 2).

On considère que les calmes (vitesse du vent inférieure à 0,5 mètre par seconde) permettent une répartition homogène des cendres et lapilli tout autour du point d'émission.

x

x x

#### VII.C - Répartition des dépôts de cendres et lapilli en fonction du régime des vents.

##### VII.C.1 - Géométrie de base

La géométrie des dépôts de cendres et lapilli est visualisée par le tracé de courbes d'égale épaisseur appelées isopachs.

En l'absence de vent ces isopachs sont des cercles concentriques centrés sur le point d'émission ; les épaisseurs diminuent régulièrement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de ce dernier.

En présence d'un vent de direction donnée, les isopachs sont des ellipses emboîtées dont les grandes axes sont confondues avec cette direction. Les ellipses sont d'autant plus allongées et décentrées par rapport au point de sortie que le vent est fort.

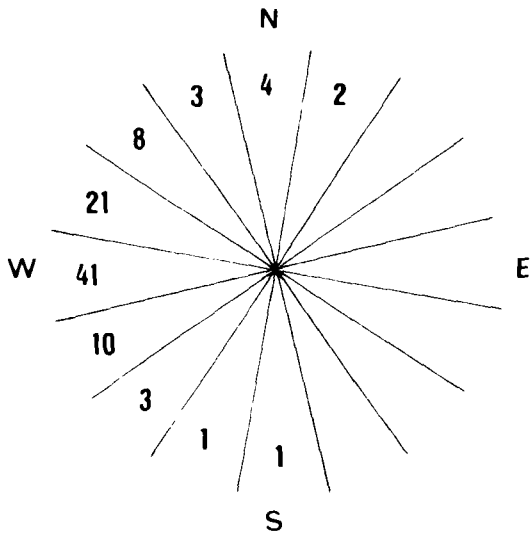
##### VII.C.2 - Application des formes géométriques de base à un régime de vent unique .

La répartition des cendres et lapilli émis pendant une période de temps représentative du régime des vents (quelques jours au moins) peut être déterminé en décomposant le problème. Chaque direction de vent (en pratique chaque cadran de la rose des vents) est traitée séparément. L'ensemble des courbes isopachs obtenues sont superposées, chacune d'elles étant affectée d'un indice d'épaisseur proportionnelle à la fréquence du vent selon cette direction. On détermine ainsi un certain nombre de "cases", limitées par des tronçons d'isopachs, où les indices "épaisseurs" sont sommés. (fig. 15). On en déduit la forme générale intégrée des isopachs. Dans le cas d'une direction

.../...

Fig. 15

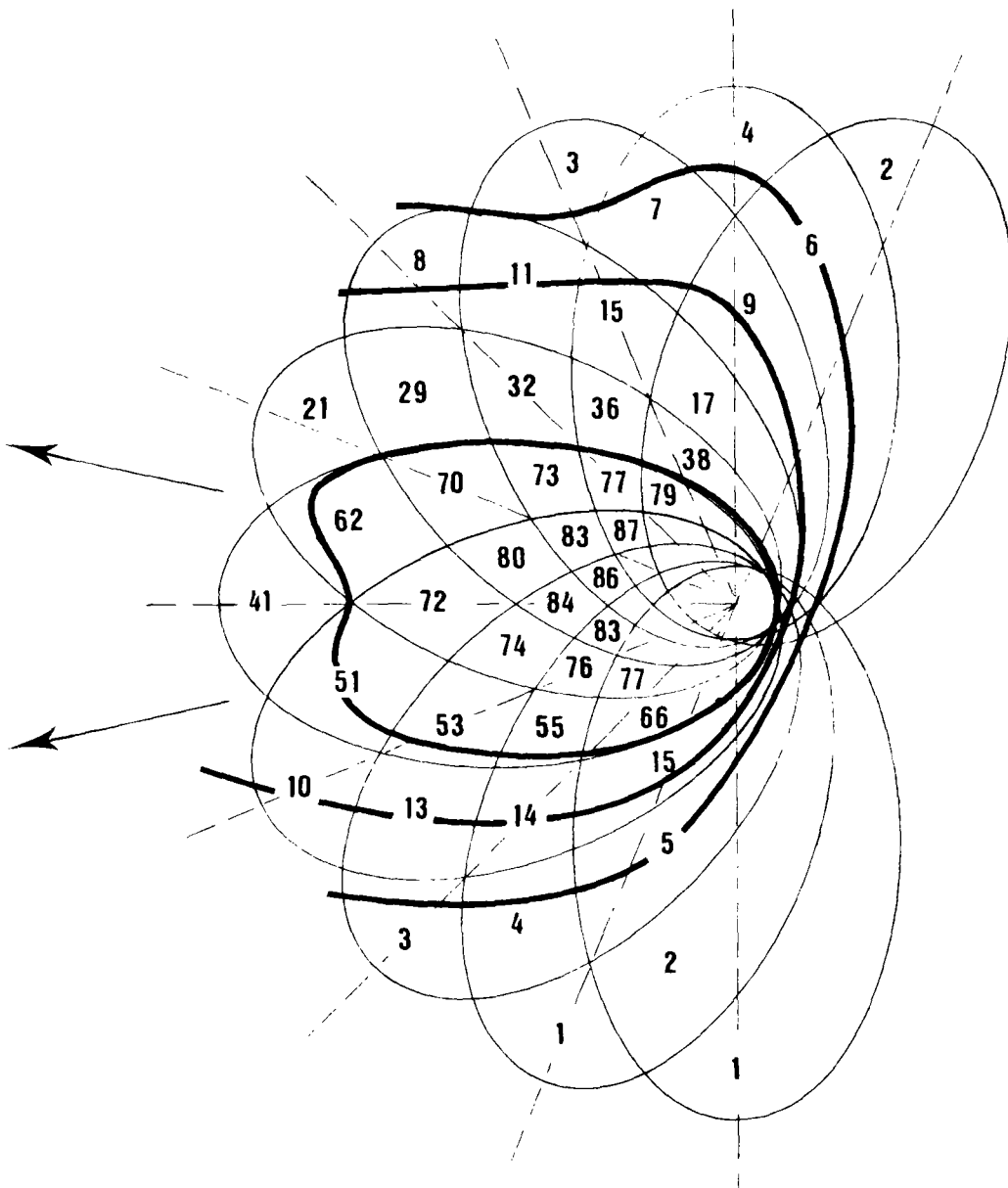
CONSTRUCTION DE COURBES ISOPACHS  
THEORIQUES POUR CERTAINS REGIMES DE VENT  
AUX PETITES ANTILLES



A - Cas des cendres et lapilli atteignant 3.000 m d'altitude, soumises à des vents de vitesse constante, émises à n'importe quel moment de l'année.

Rosace des directions vers où souffle le vent, obtenue à partir des rosaces correspondant aux altitudes 1.539 et 3.170 des figures 14a et 14 b.

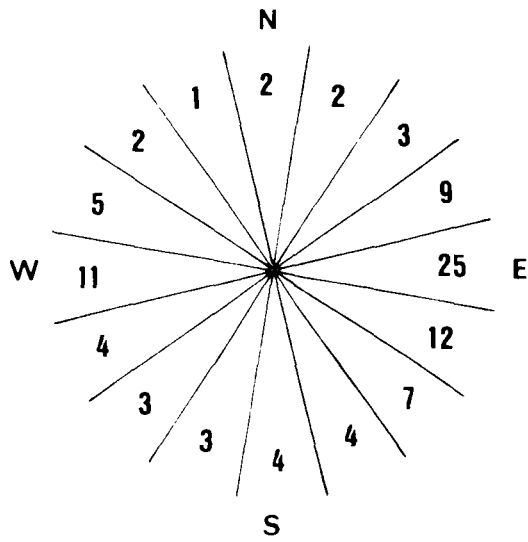
L'influence des vents régnant à la surface du sol (rosace altitude 136) est négligée en raison de leur faible vitesse.



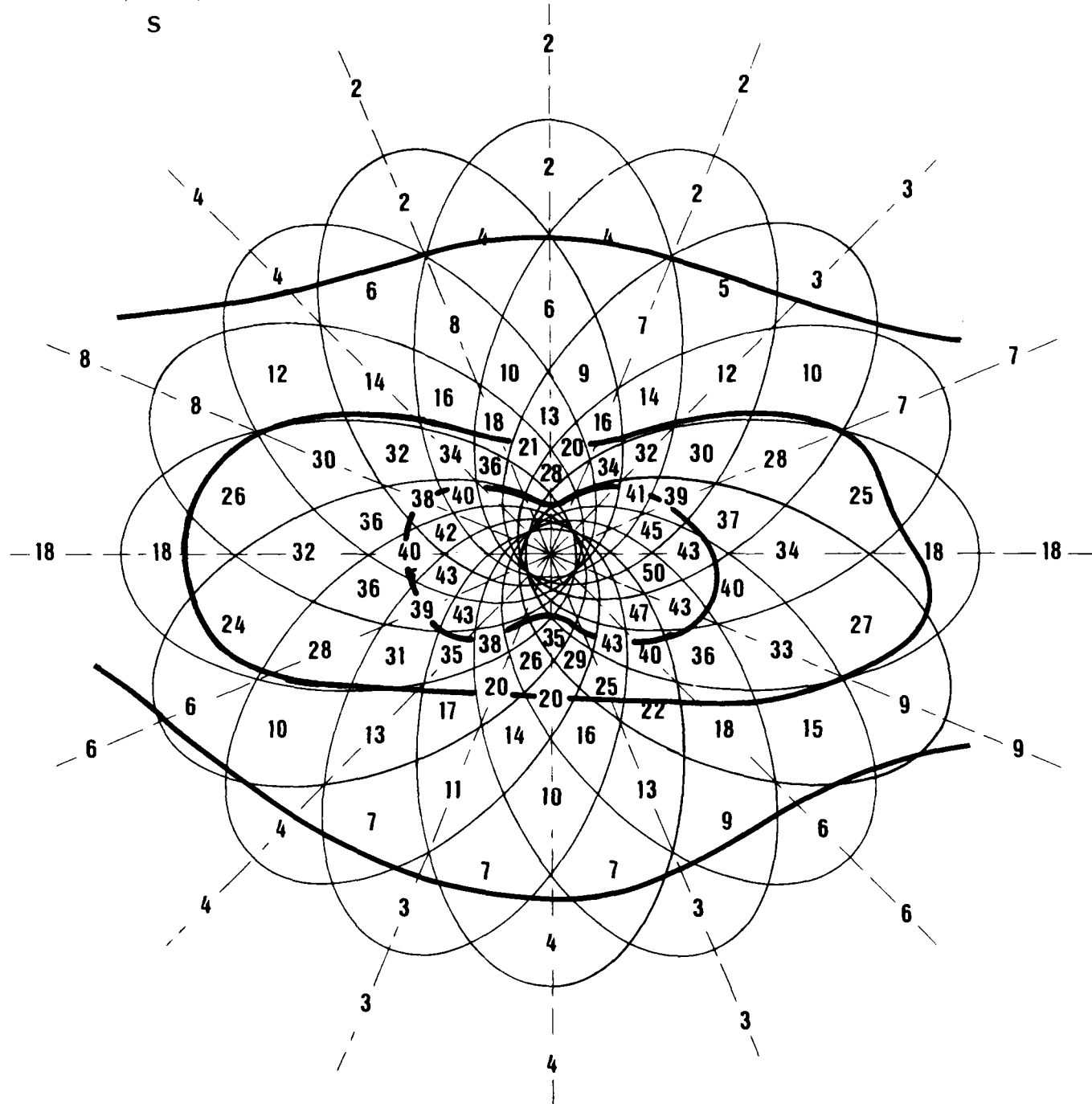
Les retombées se font préférentiellement le long des deux axes indiqués.



Fig. 15 - B. Cas des cendres et lapilli atteignant 12.500 m d'altitude, soumises à des alizés de vitesse constante, et contre alizés de vitesse constante deux fois plus élevée, entre octobre et juin.



Rosace des directions vers où souffle le vent, obtenue à partir des rosaces correspondant aux altitudes 1.539, 3.170, 5.876 et 12.409, de la figure 14a. La rosace 12.409 est comptée cinq fois, en raison de la vitesse double des contre alizés et de la tranche d'altitude représentée environ 2,5 fois plus grande que pour les autres rosaces. La rosace correspondant à l'altitude 136 est négligée.



dominante nette, on obtient un type de répartition dichotomée très bien illustré par les courbes d'égale épaisseur de l'ensemble des retombées de poussière de l'éruption phréatique de 1976-1977 à la Soufrière de Guadeloupe (cf. fig.12).

Ce mode de répartition prévaut de juillet à septembre pour tous les phénomènes explosifs possibles et d'octobre à juin pour les éruptions phréatiques, les nuages de nuées ardentes Mérapî et d'éruptions pliniennes moyennes qui projettent leurs matériaux à moins de 5 km d'altitude.

### VII.C.3 - Remarques relative à l'existence de plusieurs régimes des vents

Le problème se complique passablement dans le cas d'un régime des vents variable avec l'altitude tel qu'il existe aux Antilles d'octobre à juin de 0 à plus de 25 km d'altitude.

En première approximation on peut considérer que :

- la couche des vents de basse altitude, amorce la dispersion des produits volcaniques à la montée, et contrôle leur distribution à la retombée.
- la couche des vents de moyenne altitude, contrôle leur dispersion locale, celle de haute altitude, leur dispersion régionale, voire mondiale.

Prenons le cas d'un nuage de cendres atteignant une hauteur de 15 km au-dessus de la mer. La vitesse initiale peut être estimée à plusieurs centaines de mètres par seconde, de l'ordre de 400 environ (WILSON, 1976, fig.2). En tout cas elle sera :

- inférieure à 600 m/s : mesures de MELSON et SAENS (1973) pour les explosions de l'Arenal qui, en 1968, ont projeté des blocs de plusieurs tonnes à 5 km du cratère.
- supérieure à 100-150 m/s : estimations de LE GUERN et BERNARD (1977) pour la plupart des explosions phréatiques de la Soufrière de Guadeloupe durant l'éruption de 1976-1977.

Si on applique les lois de la cinématique à ces données on calcule qu'il faut environ 1 minute et demie à un élément de matière **volcanique** pour atteindre 15 km d'altitude, moins de 20 secondes pour traverser la limite alizés-contre-alizés.

Dans ce cas précis où on connaît l'état initial et l'état final les problèmes de **frottement** sont pris en compte sans avoir à être spécifiquement étudiés.

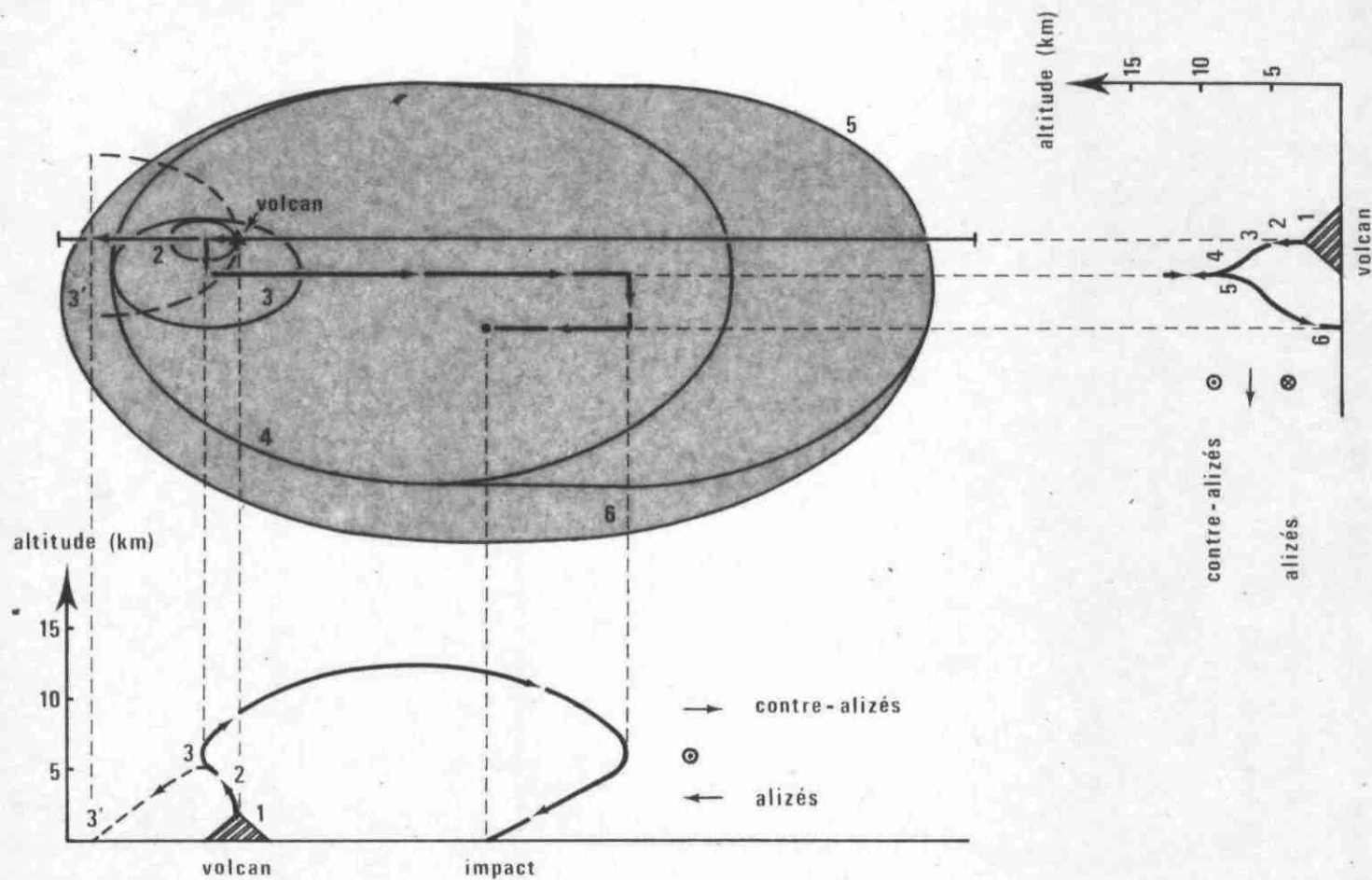
La dispersion des éléments peut être calculée en fonction de la vitesse moyenne des vents retenue pour chaque couche de vent. Cette dispersion ne peut plus qu'être estimée à la retombée puisque l'état final (vitesse d'arrivée au sol) n'est pas déterminé. Le fait qu'elle **est** de toute évidence largement inférieure à celle de l'émission, en particulier pour les éléments fins très sensibles au frottement, indique que l'influence des vents va être prépondérante à ce niveau.

.../...

Etablir à partir des fréquences du vent aux altitudes clefs retenues une rosace moyenne, utilisée selon la méthode développée au paragraphe précédent, constitue une autre approche possible (fig. 16). Les éruptions pliniennes et ponceuses, et les nuées ardentes paroxysmales de la Montagne Pelée sont concernées dans ce cas. Les premières par la très large répartition des affleurements préhistoriques sur la moitié nord de la Martinique, qui prouve l'influence des contre alizés sur les éléments projetés ; les deuxièmes grâce à la mesure directe des altitudes atteintes (10 km) par les nuages de certaines nuées ardentes historiques (LACROIX, 1904).

---

FIG. 16 - REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA DISPERSION D'UNE COLONNE PYROCLASTIQUE ÉMISE VERTICALEMENT SOUS L'ACTION D'UN RÉGIME COMPOSITE DES VENTS



## VIII. EVALUATION ET ZONATION DES RISQUES

### VIII.1 - D'érup<sup>t</sup>ion phréatique

#### VIII.1.1 - Avant propos

Les risques inhérents aux éruptions phréatiques n'ont pas, jusqu'à présent, été étudiés en tant que tel.

En effet, les éruptions historiques antérieures à celle de 1976 indiquaient que les conditions n'étaient apparemment pas réunies à la production d'explosions phréatiques violentes, et leurs risques potentiels ont été assimilés en première approximation à ceux des éruptions magmatiques à cheminée ouverte de faible ampleur (WESTERCAMP, 1976b, p.9). La découverte au cours de la mission de juin-juillet 1977 d'épaisses brèches de lahar d'effondrement à d'assez grandes distances du cratère, suggère que les explosions phréatiques ont la capacité de provoquer des glissements de terrain de grande ampleur. Le lahar du 8 juillet a d'ailleurs été le phénomène de surface le plus destructeur sinon le plus spectaculaire de l'éruption de 1976-1977.

Aux Etats Unis, ce type de phénomène est jugé porteur des plus grands risques au Mt BAKER (HYDE et GRANDELL, 1977 ; FRANK et al., 1977) et au Mt Rainier (GRANDELL, 1973). Il pourrait bien en être de même à la Soufrière de Guadeloupe. Les autres risques également étudiés, sont soit plus limités, soit moins intenses. L'ensemble est synthétisé sur une carte au 1/50.000 (annexe 1).

#### VIII.1.2 - Les lahars d'effondrement

L'ampleur potentielle des lahars d'effondrement dépend des masses de terrain susceptibles de glisser. Elles-mêmes dépendent de la morphologie des pentes, et de l'état de fissuration et d'altération (climatique et hydrothermale) du sommet.

La fragilité du dôme et de ses alentours à cet égard a été déterminée en groupant sur une même carte (fig. 13) :

- les **fractures** et les failles (étude photogéologique ; LE GUERN et BERNARD, 1977).
- les zones fumeroliennes actives (FEUILLARD, 1976) et anciennes.
- les zones à flux de chaleur maximal (FEUILLARD, 1976) qui correspondent probablement à des altérations hydrothermales profondes importantes.

On constate que deux secteurs sont particulièrement fragiles :

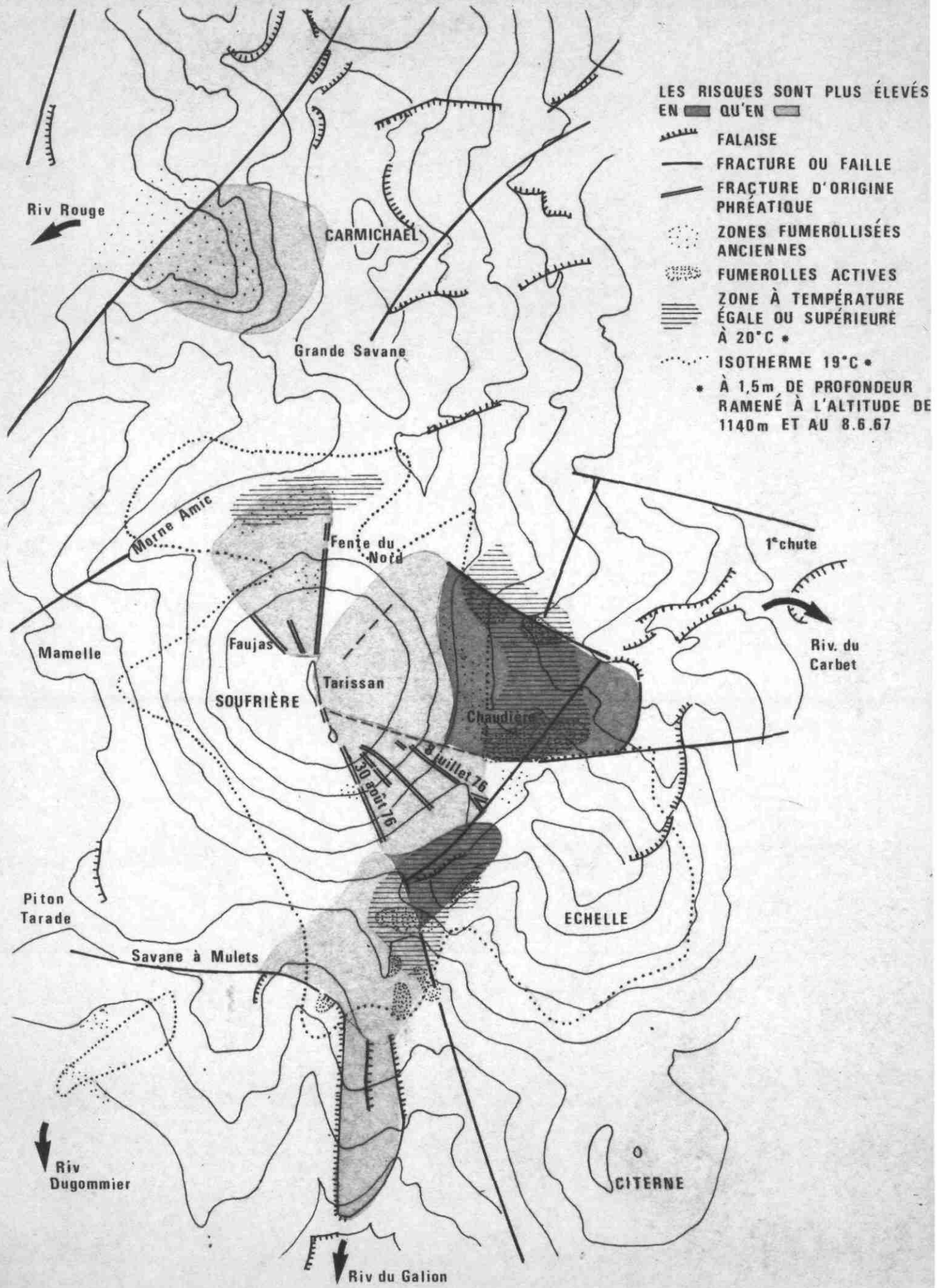
- le secteur ouest du dôme, et le col de l'Echelle

3 autres secteurs du sommet du volcan sont susceptibles de s'effondrer également :

- la partie nord du dôme et le flanc sud du morne Amic.
- le haut cours de la rivière Rouge, à l'ouest du Carmichaël. Cette région très hydrothermalisée, correspond probablement au cratère d'un ancien volcan dont le Carmichaël, le Nez Cassé, le Morne du

.../...

**Fig.13. LOCALISATION DES SECTEURS SUSCEPTIBLES DE GLISSER SOUS L'ACTION DES EXPLOSIONS PHRÉATIQUES OU DES SECOUSSES SISMQUES SUPERFICIELLES**



Col et la Grande Découverte sont les témoins les moins érodés.

- la base du Piton Tarade, qui est une limite probable du dôme du Morne Goyavier.

Les fractures relevées, les zones à fumerolles actives, la base des escarpements les plus pentus, limitent le volume susceptible de se décrocher. En cas d'effondrement du dôme, le long des fractures qui le sillonnent, les 2 premières zones constituent une semelle idéale de glissement vers les rivières du Carbet d'une part et du Galion d'autre part. Dans cette hypothèse pessimiste les lahars d'effondrement produits seraient d'une ampleur considérable.

L'évaluation et la zonation du risque sont établies à partir des trois documents ayant traités aux éruptions préhistoriques (fig. 11) à l'éruption de 1976-1977 (fig. 12) et aux zones de fragilité du sommet de la Soufrière (fig. 13).

Trois degrés de risque sont retenus :

- la zone de risque élevé est celle qui serait affectée par un lahar du type de celui du 8 juillet 1976. La répartition des lahars d'effondrement connus et la description des éruptions historiques, conduit à envisager ce risque pour le fond de toutes les vallées rayonnant à partir du dôme de la Soufrière et à chaque éruption phréatique.
- la zone de risque moyen est menacée par des lahars d'effondrement de plus grande ampleur. Ils sont moins fréquents puisqu'aucun phénomène de cette envergure ne s'est produit lors des 6 éruptions phréatiques historiques. La répartition des affleurements connus suggère que la majorité des vallées du sommet du massif est concernée par ce risque sur plusieurs dizaines de mètres au-dessus du thalweg.
- le risque faible correspond à l'effondrement de certaines parties du dôme de la Soufrière. Ce risque paraît de plus en plus élevé en raison du grand nombre de fractures qui le sillonnent, les blocs effondrés puis mélangés aux argiles fumerolliennes qui sont abondantes aux pieds des secteurs concernés, alimenteraient d'énormes lahars d'effondrement ; un front de coulée de 100 mètres d'épaisseur est possible dans ce cas, aboutissant à un large étalement sur les basses plaines. Seules les rivières du Carbet et du Galion sont concernées par un tel phénomène. Des petits tsunamis risquent de résulter de la brusque arrivée en mer, de ces lahars.

### VIII.1.3 - Les chutes de blocs

Le secteur affecté par les retombées de bloc est une ellipse dont le grand axe est confondu avec la fissure mère (fig.12). L'ensemble des fractures d'origine phréatique, qui sillonnent le dôme, reste compris dans le cadran N-S et NW-SE. La forme des zones susceptibles d'être affectées par les retombées futures de blocs n'est donc pas circulaire et les parties S.W et NE du sommet sont moins menacées.

Deux degrés de risque sont envisagés :

- le risque élevé concerne les zones soumises à un bombardement

.../...

du type de celui de 1976-1977. Aucun bloc ne dépasse 2 km en distance du point d'émission.

- une zone à risque faible est menacée par des retombées de blocs jusqu'à 5 km du point de sortie. Ce cas ne semble pas s'être produit pendant les éruptions historiques.

#### VIII.1.4 - Les retombées de poussière et les émissions de gaz

Les épaisseurs cumulées des "cendres" tombées sur St Claude et Basse-Terre pendant l'éruption de 1976-1977 sont restées inférieures à 1 cm.

Leur mise en place a pu soumettre la population à un certain nombre de nuisances sinon de risques.

Des dégâts assez sensibles en agriculture et une pollution très importante des eaux potables (prises d'eau de rivière) ont également eu lieu. L'ensemble de ces nuisances est étudié en détail par LE GUERN et BERNARD (1977).

Retenons pour la carte de risque une zone de nuisance, dont les limites tiennent compte des retombées de 1976-1977, et de l'étude générale sur l'influence des vents d'altitude dans la répartition des projections volcaniques fines (chapitre VII). L'hypothèse qu'un réel risque puisse résulter dans l'avenir des retombées de poussière n'est pas retenue en raison du caractère sporadique des émissions et des faibles volumes de matière qui sont susceptibles d'être produits (en admettant même un facteur multiplicateur de 10).

X

x x

#### VIII.2 - De retombées de cendres et lapilli

##### VIII.2.1 - Avant-propos

Le risque direct est constitué par les effets sur les populations, les infrastructures, les cultures et les activités d'élevage des "pluies" de cendres et lapilli. L'intensité décroît avec la distance au cratère parallèlement aux isopachs.

- le risque direct est lié à la capacité des cendres et lapilli accumulés sur les pentes proches du sommet, à évoluer en lahar (dit d'accumulation).

##### VIII.2.2 - Le risque direct

Ce problème ne peut être abordé quantitativement que si les études détaillées de terrain récemment entreprises à la Martinique et à la Guadeloupe, sont poursuivies.

De ces études on est en droit d'attendre :

- 1) le type de phénomène à l'origine du dépôt (nuée ardente Mérapé, Péléenne ou verticale ; éruption poncéeuse, explosions

.../...



plinienne,....) et sa fréquence dans l'histoire reconnue du volcan.

- 2) la carte de répartition de chaque niveau repère en épaisseur et en granulométrie, par rapport au cratère et aux dépôts de brèches grossières. La limite risque / nuisance pourrait être choisie pour les dépôts fins (5 à 15 cm) et refroidis (absence de bois carbonisés).

L'intensité du risque sera définie en référence à des dépôts anciens respectivement issus d'éruptions faibles, modérées et vastes (cf. VARET et WESTERCAMP, 1977).

Les éruptions historiques et l'étude (en cours) de la nuée ardente d'Ajoupa (Martinique) datée à 2.800 ans B.P. permettent une première évaluation du risque des retombées du nuage des nuées ardentes mériapi et pléiennes en intensité, à la montagne Pelée (STIELTJES et WESTERCAMP, 1977).

Les données disponibles relatives aux éruptions poncuses (GUNN et al., 1974 ; ROOBOL et SMITH, 1970 ; WESTERCAMP, carte géol. en cours) et pliniennes (Roobol et Smith, 1976 ; B.R.G.M., études en cours, cf. STIELTJES et WESTERCAMP, 1977) conduisent également à une pré-évaluation en intensité du risque.

Sans entrer dans le détail des résultats préliminaires, notons ici que certaines différences significatives existent entre les retombées des éruptions pliniennes et poncuses d'une part, et les dépôts des nuages de nuées ardentes d'autre part (tableau 3).

### VIII.2.3 - Le risque indirect : les lahars d'accumulation

Une première évaluation quantitative du risque a été amorcée à la Soufrière de Guadeloupe pour le bassin de réception des principales rivières. L'ordre de grandeur des épaisseurs minimales de cendres et lapilli nécessaires au déclenchement de lahars dévastateurs a été estimé en référence aux éruptions du Mont Kelut à Java (WESTERCAMP, 1976b). Plus les épaisseurs estimées sont faibles, plus la forte pluviosité régnant au sommet du volcan (environ 10 m), leur laisse une chance d'être atteinte, et plus le risque de lahar est grand (cf. MARINELLI, 1969 pour les critères de déclenchement des lahars d'accumulation, repris dans VARET et WESTERCAMP, 1977).

Dans ce contexte, les chances d'obtention de lahars importants, estimés à 40 millions de mètres cubes au minimum, sont plus grandes pour les rivières du Carbet, de Capesterre et du Pérou, que pour les rivières du Galion, noire et Grande Anse. Ils sont pour ainsi dire nuls pour les rivières Rouge, de Bananier et des Bains jaunes.

L'estimation est modifiée maintenant en tenant compte de la pente du bassin de réception, et de l'influence des vents (tableau 4).

- plus la pente est forte, plus le risque de petits lahars est élevé. La fréquence probable de tels événements en cas d'éruption poncuse ou plinienne augmente dans les régions sous le vent.
- plus la surface est grande plus la possibilité de déclenchement de lahars dévastateurs s'affirme. Le risque est aussi plus élevé pour les bassins de réception situés sous le vent.

.../...

Tableau 3

Quelques différences entre les dépôts  
de nuages de nuées ardentes et  
d'éruption pliniennes

	nuées ardentes	éruptions de ponce	retombées pliniennes
faciès	cendres et lapilli pierreux, nombreuses enclaves étrangères dans le cas d'éruption type St Vincent	cendres et lapilli ponceux, dépôt homogène	dépôt calibré riche en enclaves étrangères.
bois carbonisés	abondants	présents	rares et absents
extension	faible	importante	très importante
épaisseur	Inférieure à 1 mètre à proximité de la brèche principale, décroissance rapide.	variable : généralement de l'ordre d'un demi-mètre à plusieurs mètres	généralement de l'ordre d'un demi-km du cratère.
	250 à 300°C	250 à 300°C	* faibles, généralement incapables de carboniser le bois, sauf à proximité du point d'émission.

\* Les températures plus faibles des dépôts d'éruptions pliniennes sont essentiellement dues à leur long trajet dans l'atmosphère. Le tri du matériau produit au cours du processus (séparation cendres-lapilli) s'accompagne de la pénétration de l'air froid entre les éléments de lave. Notons qu'à l'altitude de 15 km, susceptible d'être atteinte par les produits d'éruptions pliniennes cataclysmales, la température de l'air est de - 67°C ; à 10 km d'altitude, elle est de - 34°C et à 5 km de 0°C (GRUOT). On conçoit qu'un refroidissement rapide puisse avoir lieu dans une telle atmosphère réfrigérée.

Tableau 4

Surface, pente, coefficient énergétique  
et de risque, des bassins de  
réception des principales vallées  
entallant le massif de la Soufrière (S.L.)

caractéristiques Bassins de réception		surface appa- rente (s.a) en km <sup>2</sup> des zones pauvres en végétation	$\alpha$ Inclinaison (en degré)	surface vraie (s.v) en km <sup>2</sup> (S.a x 1/ Cos. $\alpha$ )	coefficient énergétique: CE (S.v x $\alpha$ )	coefficient de risque. CR (CE x In- dice de ré- partition des cendres)
n° 1	Rivière St Louis	1.38	7°	1.39	10	10
n° 2	Rivière Class	2a	30°	0.24	7	7
		2b	14°	3.17	45	45
		2c	34°	0.37	12	12
n° 3	Grande rivière à Capesterre	0.22	24°	0.24	6	6
n° 4	Rivière du Pérou	4a	10°	0.83	8	8
		4bb	27°	0.46	12	12
		4c	20°	1.26	25	25
n° 5	Rivière Rouge	1.02	24°	1.12	27	202
n° 6	Rivière Noire	1.15	25°	1.27	32	320
n° 7	Rivière du Grand Car- bet	2.96	31°	3.46	108	540
n° 8	Rivière du Gallon	1.26	22°	1.36	30	300
n° 9	Rivière Grande Anse	0.43	23°	0.47	11	110
n° 10	Rivière Tonnelle	0.13	18°	0.14	3	3
n° 11	vers Grand Etang	0.16	1°	0.16	0.2	0.2
n° 12	Rivière Petit Carbet	12a	30°	0.45	1.4	7
		12b	22°	0.25	6	6
		12c	30°	0.63	19	19

Le produit de la surface (S) par la pente ( $\alpha$ ) donne un coefficient énergétique ( $C_E$ ) à chaque bassin de réception (ROSSI, 1977). Faire intervenir la fréquence en pourcentage des vents adapte ce coefficient aux facteurs climatiques spécifiques à la région. On peut définir ainsi un coefficient de risque (de lahar d'accumulation) ( $C_r$ ) comme le produit du coefficient énergétique par la fréquence des vents de basse altitude.

$$\begin{aligned} C_r &= C_E \times f \\ &= \alpha \times S \times f \end{aligned}$$

Le tableau 4, issu en partie de la figure 17 donne le coefficient de risque des principaux bassins de réception entourant le sommet de la Soufrière. La carte des risques de lahar est établie à partir de ces données. L'intensité maximale est fixée arbitrairement puisque l'étude exhaustive des dépôts de lahar n'a pas encore été entreprise à la Soufrière de Guadeloupe. Les limites des petits lahars sont basés provisoirement sur l'extension et l'épaisseur dans la rivière du Gallion des dépôts du lahar incandescent issu de l'éruption magmatique du XVI<sup>e</sup> siècle (cf. fig.3). La zonation des lahars établie pour la première carte globale du risque volcanique à la Soufrière de Guadeloupe de juillet 1976 est retenue : front de coulée de 40 mètres de hauteur dans les vallées, diminuant de moitié au début de leur élargissement dans les basses plaines. (WESTERCAMP, 1976b).

Elle constitue la limite supérieure provisoire aux vastes lahars susceptibles d'être déclenchés à la Soufrière de Guadeloupe (carte en annexe).

x

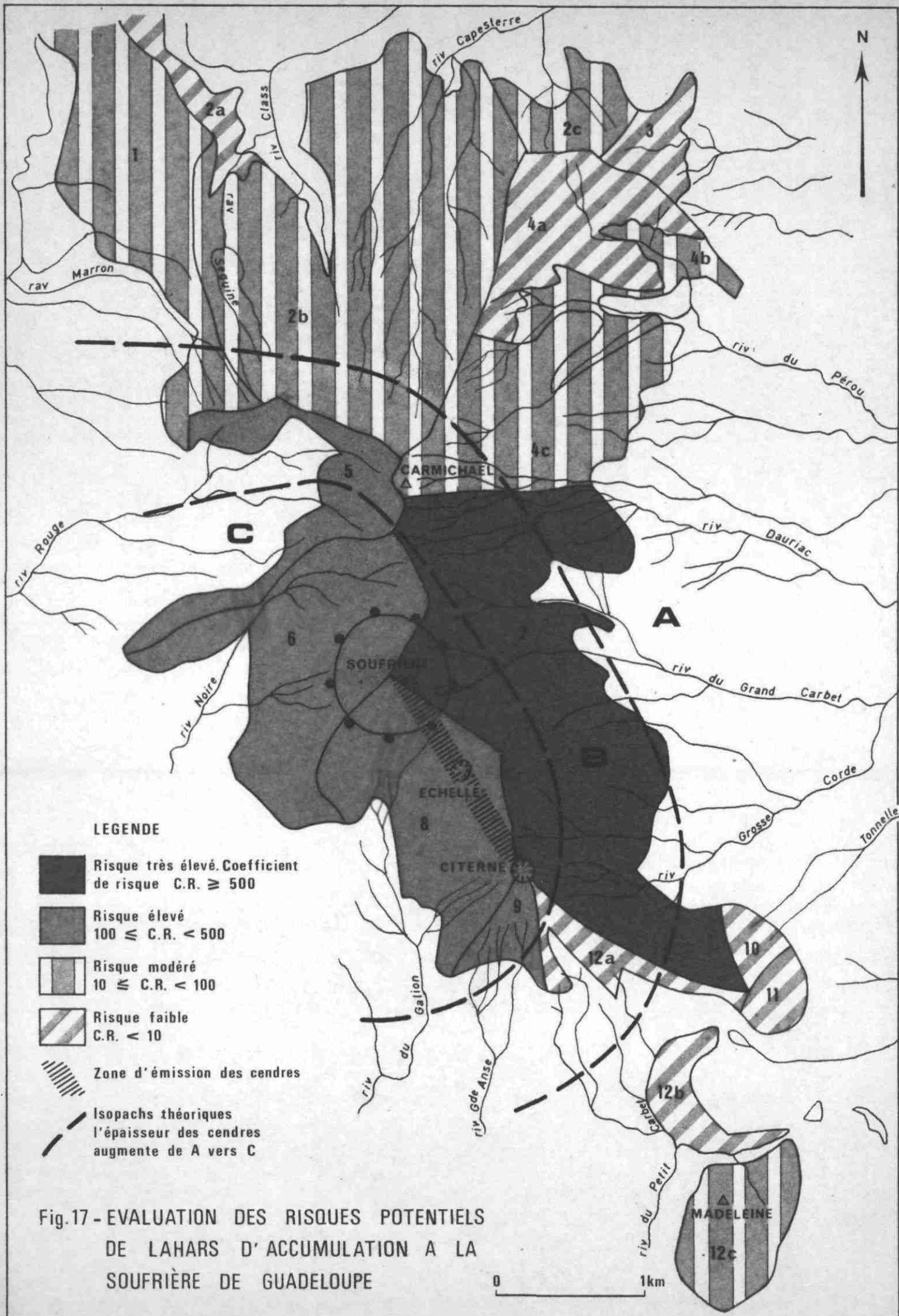
x x

### VIII.3 - De nuées ardentes verticales (fig.18)

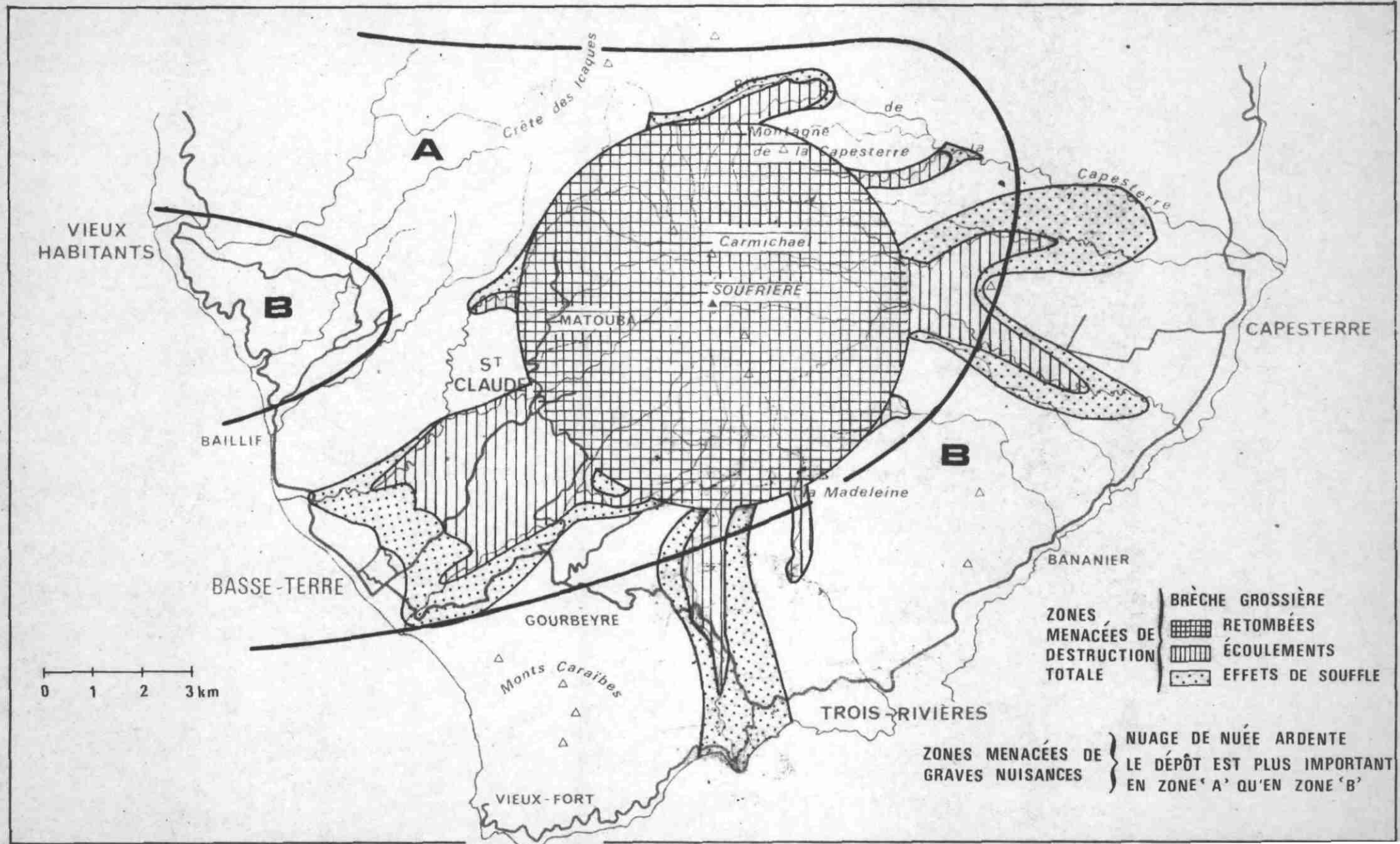
Les données de terrain actuellement disponibles (cf. fig.9) suggèrent que les nuées ardentes verticales de type St Vincent qui ont lieu récemment à la Soufrière de Guadeloupe, sont restées modestes. La limite du risque de retombée de la brèche grossière, préalablement confondue avec un cercle de 7 km de rayon centré sur le sommet (WESTERCAMP 1976b, carte de zonation des risques de juillet 1976), en référence aux éruptions historiques de la Soufrière de St Vincent et du Mt Kelut à Java, peut être resserré : retenir un cercle de 4 km de rayon autour du sommet paraît plus proche de la réalité géologique. L'extension de la brèche grossière dans les vallées, sous forme d'avalanches incandescentes, devrait rester plus ou moins confinée aux limites retenues pour les nuées ardentes de type Mérapi (WESTERCAMP, 1977a, fig.9 et 10) quelques vallées, à l'abri de ce dernier type de phénomène pourraient être cependant affectées. La répartition des éléments fins du nuage de nuée ardente qui a déjà été discutée au chapitre VII découle de la figure 15.

x

x x



**Fig. 18 - ZONATION DES DÉPÔTS ET DES RÉGIONS SOUMISES À L'EFFET DU SOUFFLE DES NUÉES ARDENTES DU TYPE ST VINCENT 1902 À LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE**



#### VIII.4 - De coulées de lave

Seuls les risques de coulées de lave à partir du sommet actuel ont été étudiés jusqu'à présent. Une plus juste approche du problème est de retenir des secteurs où le risque d'ouverture des fissures <sup>le secteur</sup> est le plus élevé, et d'établir la zonation en retenant/dans son ensemble comme point de sortie possible.

Deux régions sont particulièrement concernées :

- a) la zone fissurale majeure du massif, de direction NW-SE, qui aligne les principaux volcans récents et anciens Carmichaël - Soufrière - Echelle Citerne - Madeleine (WESTERCAMP, 1977a). Cette zone peut être divisée en deux :
  - le secteur compris entre la Soufrière et la Citerne, au milieu duquel s'est ouvert le cratère de l'éruption du XVI<sup>e</sup> siècle. Le risque d'ouverture du cratère future est jugé le plus élevé dans ce secteur.
  - les secteurs extérieurs à la Soufrière d'une part et à la Citerne d'autre part, qui n'ont pas été affectés d'éruptions récentes. Le risque d'ouverture de fissures nouvelles est considéré comme faible dans ces deux cas.
- b) l'alignement Morne Lenglet-Piton l'Herminier est une ancienne fracture le long de laquelle, outre ces deux volcans nommés ci-dessus, s'est également mis en place le cône de scories du Gros Fougas. Les dimensions de la principale coulée de lave, l'actuel plateau du Palmiste (longueur = 3 km ; largeur = 900 m à 2 km ; épaisseur environ 120 m), donnent une idée des dangers potentiels en cas de réactivation de cette fracture. Son prolongement possible en direction de Basse-Terre est une menace supplémentaire.

La zonation est établie (fig.18) en prenant comme référence :

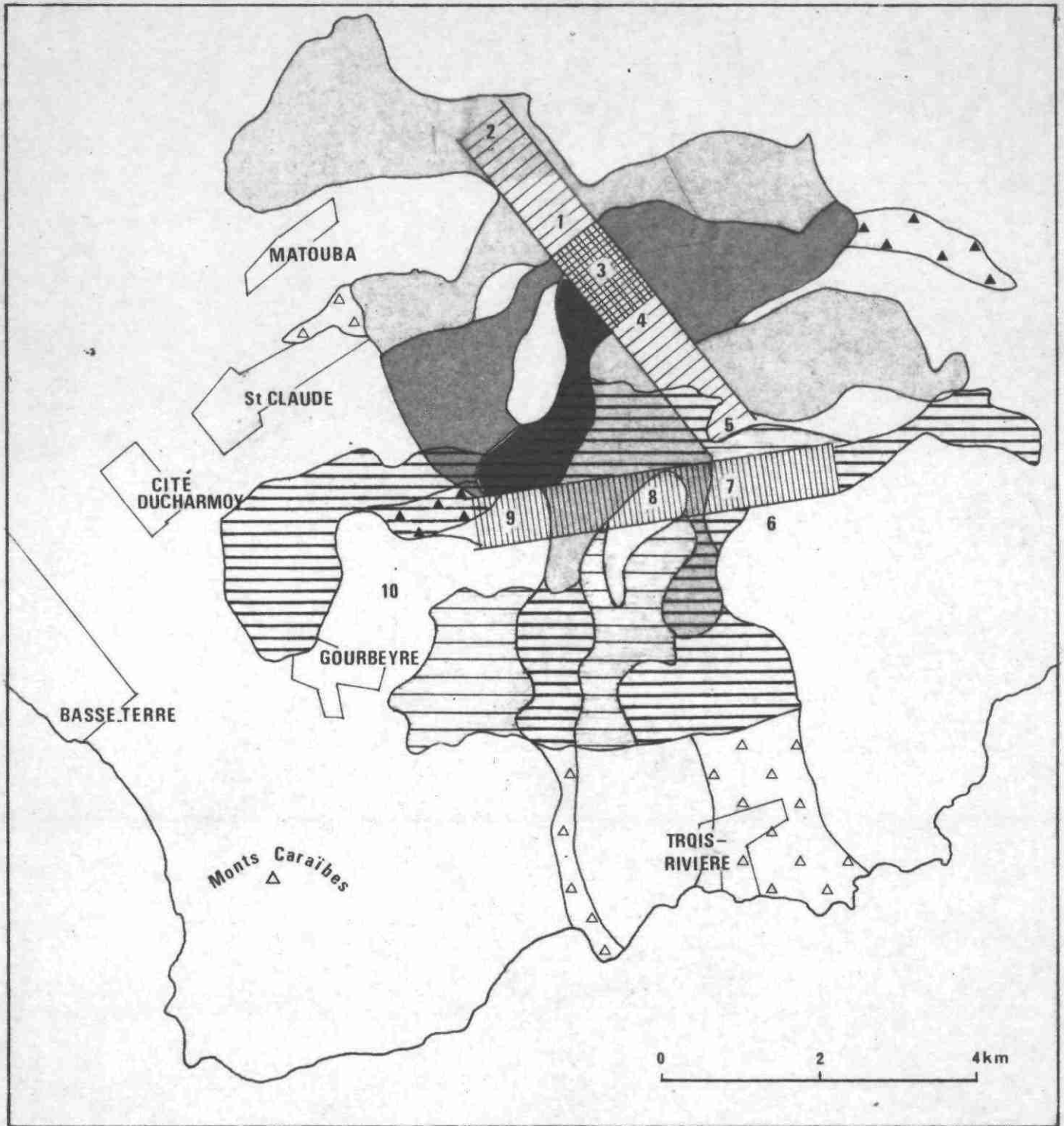
- la coulée du Palmiste, pour le secteur Morne Lenglet-Piton l'Herminier.
- la coulée du plateau de la grande chasse (longueur environ 3 km ; largeur 500 à 600 mètres, épaisseur de l'ordre de 120 mètres), probablement issue du volcan de l'Echelle, pour la région sommitale.










Les risques d'avalanches incandescentes des fronts de coulée sont également pris en considération.

---



Fig. 19 - ZONATION DES RISQUES POTENTIELS DE COULÉES DE LAVE A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE



		PROBABILITÉ D'ENFOUISSEMENT		AVALANCHES INCANDESCENTES DU FRONT DE COULÉE
		FORTE	MOYENNE	
SECTEUR D'OUVERTURE DES FISSURES MÈRES: RISQUE RELATIF RESPECTIVEMENT:	ÉLEVÉ 			▲
	MOYEN 			△
	FAIBLE 			

1 SOUFRIÈRE
2 CARMICHAEL
3 ECHELLE
4 CITERNE
5 BOUDOUTE
6 MADELEINE
7 HERMINIER
8 GROS FOUGAS
9 LENGLET
10 PALMISTE



## IX. CONCLUSION

Les résultats obtenus à partir des levés de terrain détaillés de mai et juin 1977 sont encourageants et montrent à quel point l'approche géologique a sa place dans les problèmes inhérents aux risques volcaniques.

### IX.1 - Données acquises

Un certain nombre de points paraissent d'ores et déjà établis

- la principale zone de faiblesse du volcan sur le plan structural, s'allonge entre le dôme actuel et l'ancien cône de la Citerne.

C'est entre ces deux volcans, peut être à proximité du dôme compte tenu des éruptions phréatiques historiques, qu'il faut situer -en terme de plus grande probabilité- l'ouverture des fissures de la "future" éruption magmatique.

- les dernières manifestations magmatiques du volcan (construction de la Citerne, mise en place de la Soufrière, éruption du XVI<sup>e</sup> siècle) n'ont pas présenté un caractère explosif paroxysmal. En particulier il est de plus en plus certain qu'aucune manifestation de nuées ardentes du type Pelée 1902 n'a eu lieu récemment (environ 5.000 ans).
- un des risques majeurs est illustré par les lahars d'effondrement (éruptions phréatiques) et d'accumulation (éruption magmatique produisant des cendres, lapilli, ponces, bombes). En particulier la possibilité de déclenchement d'un vaste lahar d'effondrement entraînant une partie du dôme existe, en raison de son intense fracturation et de l'importance de l'altération hydrothermale alentour.
- l'influence du vent sur les projections fines est abordée sur un plan quantitatif.
- il est clair que les deux volcans des Antilles françaises, Montagne Pelée et Soufrière de Guadeloupe, sont très différents, et l'on peut affirmer avec encore plus de force qu'il ne faut pas chercher le comportement futur de l'un dans le comportement passé de l'autre.

La fréquence d'occurrence de phénomènes cataclysmiques paraît au stade de nos études beaucoup plus élevé en Martinique qu'en Guadeloupe. Mais qu'il existe un schéma évolutif dynamique à la Soufrière et une telle hypothèse perd de sa valeur.

x

x x

### IX.2 - Travaux à réaliser

Toute amélioration de la zonation et toute approche quantitative de l'évaluation des risques volcaniques nécessitent la connaissance la plus approfondie possible de la stratigraphie du volcan. Cette approche est le complément indispensable de la surveillance et de la prévision de l'activité volcanique. Le comité scientifique international sur la Soufrière la juge prioritaire. Les expériences américaines dans ce domaine (WARRICK, 1975) montrent

.../...

que les moyens financiers à mettre en oeuvre pour l'évaluation et la zonation des risques volcaniques dépassent les besoins de toutes les autres tâches à poursuivre dans ce domaine.

Dans le cadre d'une telle étude géologique exhaustive un certain nombre de travaux paraissent prioritaires :

- étude approfondie des lahars anciens de la Soufrière afin d'en estimer la fréquence par rapport à l'histoire volcanique du massif Madeleine-Soufrière tout entier. Rappelons que Basse-Terre et Capesterre sont édifiées en grande partie sur des dépôts de lahar.

A cet égard les vallées du Gallion et Capesterre semblent particulièrement menacées et l'équipement et l'occupation des sols devraient en tenir compte dès maintenant.

- étude détaillée des conditions de fracturation et d'altération du sommet de la Soufrière. Calcul d'un certain nombre de scénarios possibles de rupture de secteurs du sommet ; confrontation des volumes calculés avec les possibilités de drainage des vallées menacées.
- établissement de l'échelle chronologique absolue du massif et étude de laboratoire des échantillons prélevés durant la mission de 1977 ; levé des coupes stratigraphiques repérées et recherche des meilleurs sites en vue de forages stratigraphiques carottés.
- bilan de la nappe phréatique du massif et circulation des eaux thermales profondes.

x

x x

### IX.3 - Moyens à mettre en oeuvre

Il convient de prévoir le travail d'un géologue à plein temps sur le volcan pendant une période de deux ans encadré par un volcanologue confirmé et conseillé par des missions d'experts du B.R.G.M., et de l'U.S.G.S. L'intervention d'un mécanicien des sols est également à prévoir.

Trois sondages carottés totalisant 300 mètres linéaires doivent être effectués alentour du volcan pour des études stratigraphiques et chronologiques.

L'installation de déversoirs à l'exutoire de sources jugées représentatives des écoulements souterrains dans le massif, et l'étude géochimique des eaux de l'ensemble des sources est à réaliser. Cette deuxième prestation sera assurée par le laboratoire de géochimie des eaux de l'U.E.R. Sciences de Pointe à Pitre.

Un support laboratoire important est nécessaire pour la réalisation de lames minces de roches, datations absolues au  $^{14}\text{C}$ , analyses chimiques des éléments majeurs et en traces des roches, études cristallographiques aux R.X. de la matrice des lahars.

Une proposition chiffrée de l'étude future des deux volcans, Montagne Pelée et Soufrière de Guadeloupe, sera prochainement soumise à la DGRST après consultation des instances régionales.

\*\*\*\*\*

## X. BIBLIOGRAPHIE

- BARBERI, F. et GASPARINI, P., 1976, Volcanic hazards : Bull : Intern. Ass. Engineering Geology, 14, p.217-232.
- CRANDELL, D.R., 1973, Map showing potential hazards from future eruptions of Mount Rainier, Washington U.S. Geol. Survey, Map I-836.
- CRANDELL, D.R., et MULLINEAUX, D.R., 1975, Technique and rationale of volcanic-hazards appraisals in the Cascade Range, northwestern united states : Environmental Geol., vol. 1 p.23-32.
- DOREL, J., ESCHENBRENNER, S., et FEUILLARD, M., 1972, les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles : Bull : volc., t.26 II, p.359-381.
- FEUILLARD, M., 1976, Etudes thermiques à la Soufrière de la Guadeloupe, Bull du B.R.G.M., sect. IV, n°4, p.375-388.
- FRANK, D., MEIR, M.F., SWANSON, D.A., Assessment of increased thermal activity at Mount Baker, Washington, March 1975, March 1976 : U.S. Geol. Survey, prof. paper 1022-A, 49 p.
- GRUOT; : les radio sondages au Raizet, 1953-1958 : rapport inédit météorologie nationale, S.M.A.G.
- GUNN, B.M., ROOBOL, M.J. et SMITH, A.L., 1974, Petrochemistry of the pelean-type volcanoes of Martinique : Geol. Soc. Am. Bull., 85, p.1023-1030.
- HYDE, J.H., et CRANDELL, D.R., 1977, Postglacial volcanic deposits at Mount Baker, Washington, and potential hazards/future eruptions : U.S. Geol. Survey prof. paper 1022-B. from
- LE GUERN, F., et BERNARD, A., 1977, Soufrière de la Guadeloupe - Eruption 1976-1977 : note présentée oralement au congrès de DURHAM, Angleterre : version provisoire.
- MARINELLI, G., 1969, Cameroun : développement des recherches volcanologiques. UNESCO, n° de série 1581/BMS - RD/SCE, Paris, 19 p.
- MERVOYER, B., 1974, Excursion en Basse-Terre de Guadeloupe : livret-guide d'excursions, 7e conf. geol. Caraïbes, Pointe à Pitre, Guadeloupe.
- REYNAL de Saint-Michel A. de, 1966 : carte géologique dét. explicative de la France, département de la Guadeloupe et notices explicatives, Paris
- ROOBOL, M.J., et SMITH, A.L., 1976, Mount Pelée, Martinique : a pattern of alternating eruptive styles : Geol. v.4 p.521-524.
- ROSSI 1977 : communication orale au congrès "les volcans actifs dans la région napolitaine", Naples, juin 1977. (d'après J. VARET, compte rendu de congrès, B.R.G.M., inédit).

.../...

- STIELTJES, L., et WESTERCAMP, D. 1977, première ébauche de zonation du risque volcanique à la Montagne Pelée : rapport B.R.G.M., inédit, 76.ANT.08.
- VARET, J., et WESTERCAMP, D., 1977, les méthodes d'évaluation et de zonation des risques volcaniques aux Etats Unis d'Amérique, rapport de mission août 77. rapport B.R.G.M. Inédit, 77.ANT.28.
- WARRICK, R.A., 1975, volcano hazards in the united states, a research Assessment : Univ. of Colorado, Inst. of Behavioral Science, programm on technology, Environment and man, monograph 012, 144 p.
- WESTERCAMP, D. 1976a, les risques volcano-sismiques à la Soufrière de Guadeloupe : Rapport B.R.G.M. inédit, 76.ANT.11.
- , 1976b, Dynamismes éruptifs et zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe : Rapport B.R.G.M. inédit, 76.ANT.26.
- , 1977a, une méthode d'évaluation et de zonation des risques volcaniques à la Soufrière de Guadeloupe. 8e conf. Geol. Caraïbes, Curaçao.
- WESTERCAMP, D., 1977b, compilation des données géologiques, géochimiques et géophysiques à l'échelle du 1/100.000 destinées à orienter les recherches géothermiques en Basse-Terre de Guadeloupe. Rapport B.R.G.M. inédit, en cours.
- WILSON, L., 1976, Explosive volcanic eruptions - III. plinian eruption Columns : Geophys. J. R. astr. Soc., 45, p.543-556.

=====



Les éruptions phréatiques historiques et les éruptions magmatiques récentes (éruption du XVIIe siècle ; édification de la citerne et de l'échelle, mise en place du dôme de la Soufrière, ...) ont toutes eu lieu dans la région sommitale du volcan le long d'un axe fissural majeur de direction NW-SE.

On considère donc que :

- 1) le "cratère" de la prochaine éruption magmatique s'ouvrira le long de cet axe structural majeur à l'intérieur de la partie hachurée.
- 2) l'origine des futures éruptions phréatiques se situera au niveau du dôme de la Soufrière, comme pour le passé.

Le tracé des différentes zones de risque est déterminé en conséquence.

I. ERUPTION PHREATIQUE



Risque de fréquence et d'intensité très élevées

Zone menacée par la retombée directe des blocs projetés au cours d'une explosion phréatique de la puissance de celles de l'éruption de 1976-1977. La zone est centrée sur le dôme de la Soufrière ; sa forme tient compte de la fracturation actuelle du dôme plus importante dans les cadrans NW et SE, qui influe sur la distance de projection estimée à 2 km au maximum.

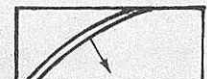
Cette zone est à interdire d'accès dès que la sismicité du massif atteint un niveau très anormal.



Risque de fréquence très élevée mais de faible intensité

Ce figuré limite la région située dans la zone de retombée du panache de l'explosion phréatique, rabattu vers l'Ouest par les alizés. Ce panache est constitué essentiellement de vapeur d'eau, de poussière de roches anciennes et d'argile, et de gaz toxiques (CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, F) en faible quantité.

II. ERUPTION MAGMATIQUE

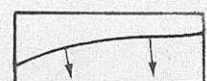


Risque d'intensité très élevée

La région menacée par les retombées directes grossières de nuées ardentes verticales est incluse dans une ellipse allongée le long de l'axe fissural majeur du massif. L'ensemble des points de cette région est situé à moins de 4 km de la "zone d'ouverture probable" du cratère.

A l'intérieur de cette zone, les chutes de cendres, lapilli et blocs pourront être importantes, surtout à l'ouest du cratère. Les coulées de lave devraient également rester confinées à l'intérieur de cette limite en menaçant principalement le haut cours des rivières du Carbet à l'Est et du Gallion à l'Ouest, ainsi que la région du Parnasse.

Cette zone est à évacuer dès que l'activité du volcan en surface devient de type magmatique.



Les retombées directes de nuées ardentes verticales peuvent continuer à progresser sous forme d'avalanches incandescentes dans les vallées, au même titre que les nuées ardentes de type Mérapî nées des effondrements partiels de dômes et des fronts de coulées de lave.

Le figuré limite les régions menacées par la brèche grossière et l'effet de souffle que sa mise en place occasionne.

La zone ainsi limitée est à évacuer en même temps que la zone elliptique large si des nuées ardentes verticales sont à craindre. Dans le cas contraire, la conduite à suivre pour ces régions dépendra du développement des dômes et coulées au cours de l'éruption.



Risque d'intensité élevée

Le figuré limite les régions menacées par l'action des nuages volcaniques de cendres et gaz qui accompagnent les émissions de cendres, lapilli et blocs et les divers types de nuées ardentes.



Risque de faible intensité

Les régions situées à l'extérieur du figuré sont menacées de nuisances, d'autant plus graves que l'éruption se développera vers l'ouest, conjuguant sa dynamique propre à l'action des alizés.

III. LES LAHARS



Risque d'intensité élevée et de fréquence très élevée (en cas d'éruption phréatique) à élevée (en cas d'éruption magmatique).

Il s'agit du fond des vallées susceptibles d'être affectées :

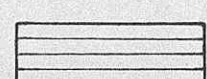
- 1) par un lahar d'effondrement de faible ampleur (du type de celui du 8 juillet 1976) à chaque éruption phréatique. Rayon d'action : quelques km ; front de coulée : 10 à 20 m.
- 2) par un lahar d'accumulation de faible ampleur en cas d'éruption magmatique.



Risque d'intensité très élevée et de fréquence moins élevée que dans le cas précédent.

Il s'agit du fond des vallées susceptibles d'être affectées par des lahars d'effondrement et d'accumulation d'ampleur moyenne (rayon d'action : jusqu'à la mer ; front de coulée : 20 à 30 m). Les vallées qui rayonnent à partir du dôme de la Soufrière sont plus menacées que celles s'individualisant au niveau du Carmichaël et de la Grande Découverte.

Aucun lahar de cette amplitude n'a eu lieu durant la dernière éruption magmatique ni au cours des éruptions phréatiques historiques.



Risque d'intensité très élevée mais de fréquence indéterminée ou faible.

Vallées et basses plaines menacées : par des lahars d'accumulation de grande ampleur ou par une succession de lahars de même type d'ampleur moyenne, (risque faible) : par un effondrement partiel du dôme de la Soufrière à la suite d'explosions phréatiques particulièrement violentes. Dans ce dernier cas un lahar d'effondrement s'écoulant sur un front d'une centaine de mètres de puissance pourrait en résulter (risque indéterminé).

Des lahars pouvant largement déborder leur vallée ont eu lieu, dans les régions de Basse-Terre et de Capesterre, plusieurs fois au cours des derniers 30.000 ans.

Remarques

Les risques a et b étant donné leur intensité et leur fréquence doivent entraîner l'évacuation des populations des zones concernées dès le déclenchement d'une éruption phréatique ou magmatique.

C'est l'observation de l'état de fracturation du sommet en cas d'éruption phréatique ou magmatique qui déciderait en revanche de l'évacuation des zones de risque c (en l'absence d'une étude fine de la fréquence d'occurrence de ce phénomène).

CARTE DE ZONATION DES RISQUES D'ÉRUPTION PHRÉATIQUE, ET D'ÉRUPTION MAGMATIQUE CARACTÉRISÉE PAR DES PHÉNOMÈNES EFFUSIFS ET MOYENNEMENT EXPLOSIFS A LA SOUFRIÈRE DE GUADELOUPE F. W. I.

par

D. WESTERCAMP (S.G.R. Antilles)

Novembre 1977



Remarques d'ordre général

La carte est établie dans l'hypothèse d'une éruption centrale du volcan, en n'importe quel point du secteur d'ouverture du cratère jugée la plus probable (cf. légende).

La carte est utilisable en l'absence de modifications notables du relief. En cours d'éruption, de telles modifications ne manqueront pas de se produire (mise en place de lave neuve, remobilisation de matériaux anciens, ...) qui impliqueront la réactualisation incessante du document.

Les phénomènes volcaniques directs et indirects suivants sont pris en considération :

- |                     |   |
|---------------------|---|
| ERUPTION PHRÉATIQUE | - l'explosion phréatique  |
|                     | - les lahars d'effondrement   |
|                     | - les émissions de cendres, lapilli et bombes                         |
| ERUPTION MAGMATIQUE | - les lahars d'accumulation   |
|                     | - la mise en place de dômes et coulées de lave                        |
|                     | - les nuées ardentes verticales et les nuées ardentes de type Mérapî. |

Les effets qui résultent de la mise en place de coulées de ponces et de nuées ardentes de type Pelée-1902, ne sont pas cartographiques, ces deux types de phénomènes paroxysmaux apparaissent comme les moins probables dans l'actuelle évaluation relative des risques. Cependant, une zonation des principaux risques (brèche grossière et effet de souffle) inhérents à ces deux phénomènes a été proposée sur les cartes de zonation des risques volcaniques de juillet 1976 et février 1977.

Dans la légende, les risques sont définis en fréquence relative les uns par rapport aux autres. Les travaux de terrain et de laboratoire qui pourront conduire à chiffrer chaque risque en terme de fréquence absolue sont en cours. On peut néanmoins noter que la probabilité d'occurrence d'une nouvelle éruption phréatique paraît plus élevée que la probabilité d'occurrence d'une éruption magmatique, sans que l'on puisse être plus précis ; cette prévision s'appuie sur deux faits :

- depuis quatre siècles, toutes les manifestations de surface de la Soufrière ont été de type phréatique.
- une éruption magmatique serait très certainement précédée de manifestations phréatiques.

En conséquence, la zonation des phénomènes phréatiques est séparée de celle des phénomènes magmatiques.

Le problème des lahars est traité à part et globalement (les deux types d'éruption condonés).

On parle d'intensité du risque maximum lorsque le phénomène auquel on fait allusion détruit totalement édifices et vies humaines. L'intensité est élevée lorsque les vies humaines peuvent être menacées mais non les infrastructures. L'intensité est faible lorsque seules cultures et les récoltes sont susceptibles d'être détruites ; les effets du phénomène considéré n'entraînent plus que des nuisances pour la population.