

AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

A.F.M.E.

JR

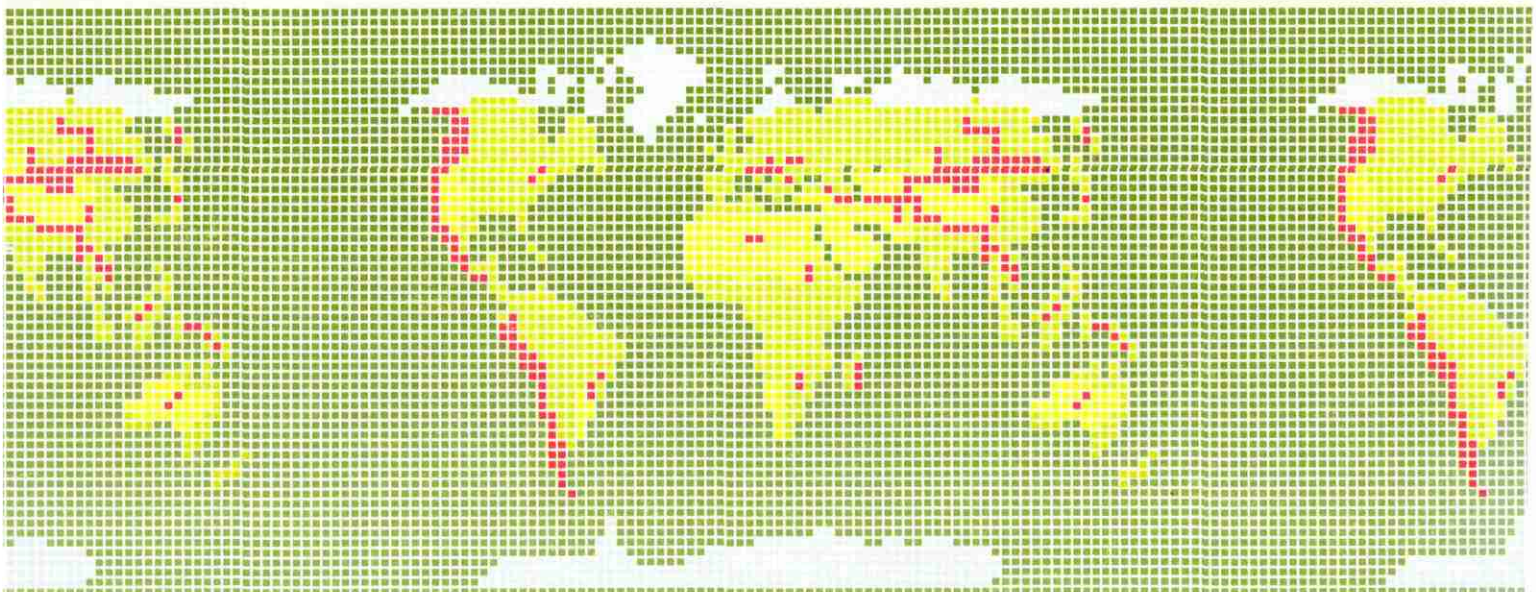
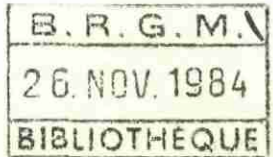
CADRE STRUCTURAL DES MINÉRALISATIONS HYDROTHERMALES DES PROSPECTS DU LAMENTIN ET DU MORNE ROUGE (Martinique)

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Géothermie et Hydroénergie



Rapport du B.R.G.M.

84 SGN 326 GTH



AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

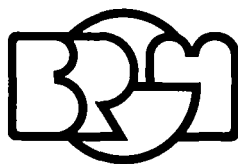
A.F.M.E.

Tour Béarn - 27, rue Louis Vicat - 75737 PARIS Cedex 15

**CADRE STRUCTURAL
DES MINÉRALISATIONS HYDROTHERMALES
DES PROSPECTS DU LAMENTIN ET DU MORNE ROUGE
(Martinique)**

par

P. CHOVELON



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département Géothermie et Hydroénergie

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

Rapport du B.R.G.M.

84 SGN 326 GTH

R E S U M E

Le rapport montre les liaisons existantes entre la fracturation et les minéralisations hydrothermales.

* Au Lamentin, trois familles tectoniques jouent successivement en ouverture au cours de l'histoire géologique du prospect (N10°W, N120°E, N140°E).

Au croisement de ces trois directions de fracture (compartiment nord du panneau tectonique de Rivière Salée), se succèdent trois phases hydrothermales ; la première et la troisième phases indiquant des fluides de haute température (dépôts de silice).

La présente étude confirme l'intérêt géothermique de la région.

* Au Morne Rouge, les phénomènes hydrothermaux sont moins développés qu'au Lamentin ; leur mise en place est essentiellement liée au jeu des failles majeures NW-SE.

Bien que la présente étude révèle la circulation de fluides chauds dans le graben du Morne Rouge, l'existence d'un gisement géothermique de haute enthalpie reste incertaine.

S O M M A I R E

I - <u>INTRODUCTION</u>	1
II - <u>METHODOLOGIE</u>	2
III - <u>LE PROSPECT DU LAMENTIN</u>	5
1 - LA FRACTURATION DU PROSPECT DU LAMENTIN.....	6
1.1. - Généralités.....	6
1.2. - Les failles NE-SW.....	6
1.3. - Les failles NW-SE.....	7
1.4. - Les failles N-S.....	8
1.5. - Les failles E-W.....	10
1.6. - Chronologie des phénomènes tectoniques.....	10
1.7. - Le graben du Lamentin - Structure.....	11
2 - L'HYDROTHERMALISME.....	13
2.1. - L'hydrothermalisme et la chaîne sous-marine Vauclin Pitault.....	13
2.1.1. - Généralités.....	13
2.1.2. - Observations de terrain.....	13
2.1.3. - Les analyses en laboratoire.....	14
2.1.4. - Carte de répartition.....	14
2.2. - L'hydrothermalisme et les structures du graben du Lamentin.....	14
2.2.1. - Observations de terrain.....	14
2.2.2. - La première période d'hydrothermalisme.....	17
2.2.3. - La deuxième période d'hydrothermalisme : l'hydroxydation.....	18
2.2.4. - La troisième période d'hydrothermalisme.....	19
2.2.5. - Remarque générale.....	19
2.3. - L'âge des dépôts hydrothermaux - Datation U/Th.....	20
2.4. - Conclusion sur l'hydrothermalisme : quelques considérations hydrogéologiques.....	22
2.5. - Tectonique et hydrothermalisme : un schéma d'évolution..	22
3 - CONCLUSION GENERALE.....	25

.../...

IV - <u>LE PROSPECT DU MORNE ROUGE</u>	27
1 - LA FRACTURATION DU PROSPECT DU MORNE ROUGE.....	28
2 - L'HYDROTHERMALISME.....	28
3 - CONCLUSION GENERALE.....	31
 BIBLIOGRAPHIE.....	 32
 ANNEXES.....	 36
. Datations par spectrométrie alpha méthode ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th	37
. Analyse minéralogique par diffractométrie de rayons X.....	40

LISTE DES FIGURES

- Figure 1* : Carte tectonique du prospect du Lamentin
- Figure 2* : Diagrammes d'orientation à chaque station du prospect du Lamentin
- Figure 3* : Les fractures conjuguées N10°W et N20°E
- Figure 4* : Le graben du Lamentin - Schéma tectonique
- Figure 5* : Nature et répartition des minéralisations hydrothermales du système ancien Vauclin Pitault (à l'Est) et du système du Lamentin (première phase hydrothermale)
- Figure 6* : Les trois phases hydrothermales du Lamentin - Aire de répartition
- Figure 7* : Datations U/Th (isochrones)
- Figure 8* : Schéma d'évolution
- Figure 9* : Les minéralisations hydrothermales du prospect du Morne Rouge

I - INTRODUCTION

Ce travail fait suite au rapport 84 SGN 003 GTH (Contexte géothermique des prospectus du Lamentin et du Morne Rouge). Les résultats présentés concernent essentiellement la région du Lamentin. Quelques précisions sont apportées sur le prospect du Morne Rouge.

Les données stratigraphiques et de tectonique régionale présentées dans le rapport précédent précisent le contexte géologique du prospect. La nouvelle mission de géologie effectuée en février 1984 a permis de collecter des informations plus ponctuelles à l'échelle de l'affleurement.

Les relations entre tectonique et minéralisations hydrothermales ont été étudiées. Pour cela, plusieurs centaines de directions structurales ont été relevées sur plusieurs sites ainsi que 175 prélèvements d'échantillons dont 86 ont été analysés aux RX. 13 datations U/Th (CEA Saclay) complètent l'étude en précisant l'âge du système géothermal.

II - METHODOLOGIE

La bonne compréhension de l'histoire d'un gisement géothermique demande d'abord de bien connaître son état de fracturation qui détermine son régime hydrothermal.

Deux méthodes complémentaires permettent d'aborder cette question. Ce sont :

- . l'étude photogéologique présentée dans le rapport 84 SGN 003 GTH (photo 1/20 000, IGN, 1982) (fig. 1),
- . l'étude structurale sur le terrain.

Vingt sites de mesures (stations) répartis sur la totalité du prospect ont été choisis pour l'étude structurale (fig. 2) en fonction de leur représentativité. Les mauvaises conditions d'affleurement en Martinique interdisent la sélection d'un plus grand nombre de sites.

A chaque station, les fractures mesurées étaient soit la totalité des fractures observées sur l'affleurement, soit toutes les fractures observées sur une partie de l'affleurement.

En plus, des mesures d'orientation ont été effectuées, chaque fois que cela était possible, pour chaque famille de fractures :

- . le degré de développement*
- . l'espacement entre chaque individu d'une même famille
- . la nature de la (des) minéralisation(s) injectée(s) dans les fractures (si elles existent) et la largeur des fractures minéralisées
- . l'âge relatif des différentes familles de fractures.

Un diagramme d'orientation est donné pour chaque station.

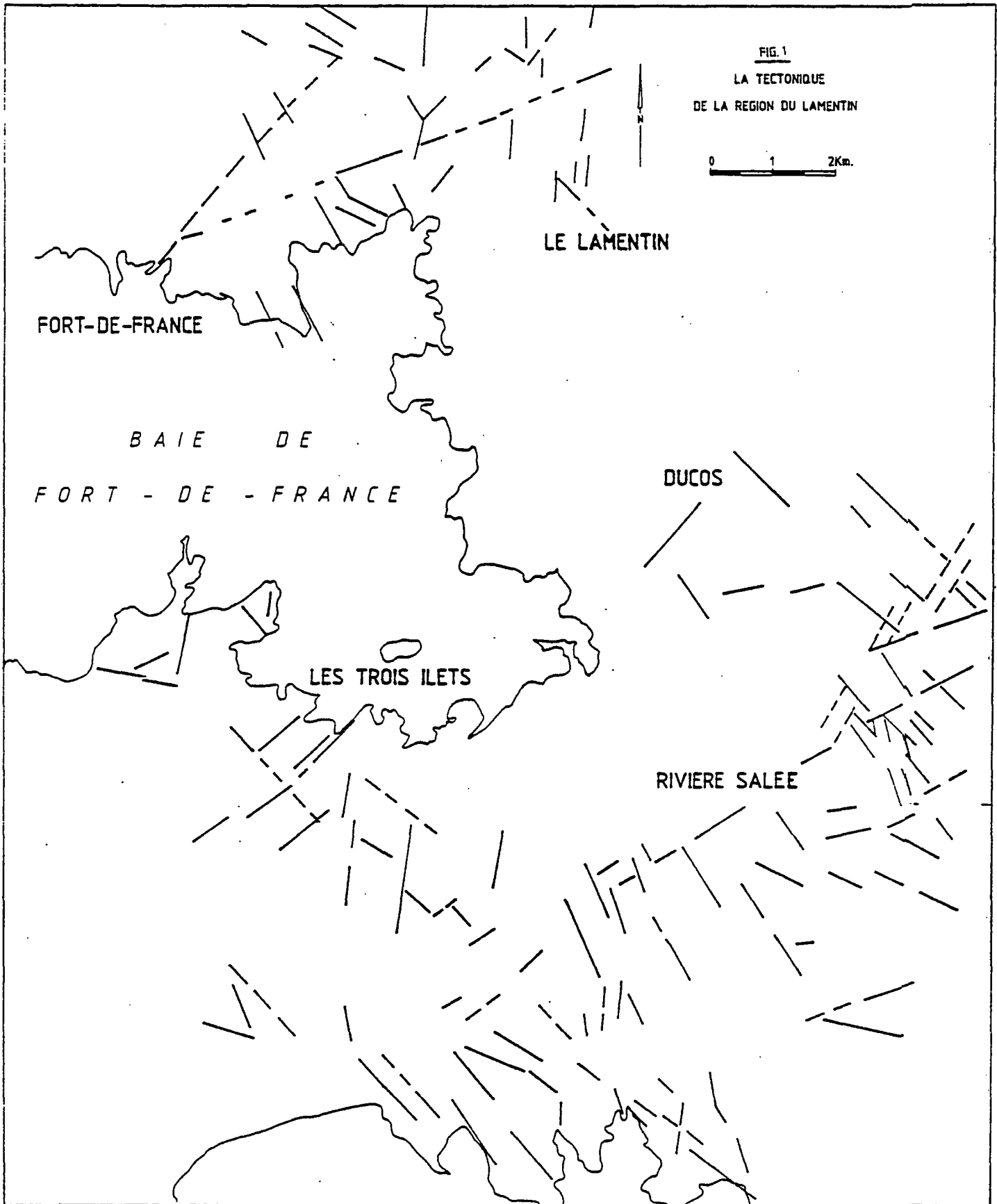
* Le degré de développement représente 3 critères différents :

- continuité de la fracture à l'échelle de l'affleurement,
- parallélisme des fractures au sein d'une même famille,
- linéarité des fractures.

FIG. 1

LA TECTONIQUE
DE LA REGION DU LAMENTIN

0 1 2Km.



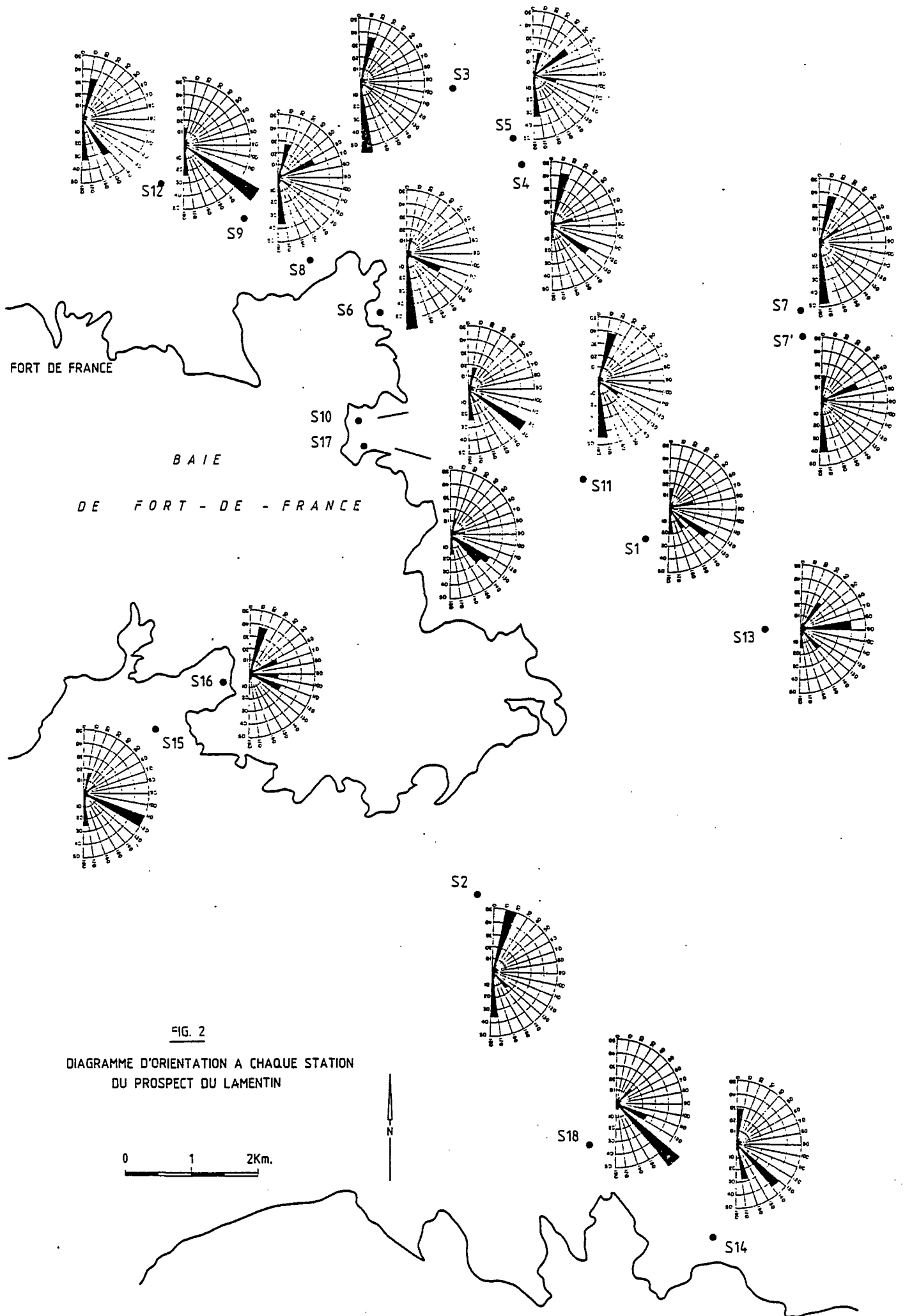


FIG. 2

DIAGRAMME D'ORIENTATION A CHAQUE STATION
DU PROSPECT DU LAMENTIN

III - LE PROSPECT DU LAMENTIN

1 - LA FRACTURATION DU PROSPECT DU LAMENTIN

1.1. - Généralités

L'interprétation photogéologique réalisée pour le rapport 84 SGN 003 GTH a permis de distinguer plusieurs familles tectoniques : failles N-S et E-W anciennes, failles NE-SW et NW-SE plus récentes (fig. 1).

L'étude microstructurale sur le terrain permet d'apporter des informations plus précises sur le mode de fracturation dans chaque famille de fracture.

1.2. - Les failles NE-SW

Cette direction structurale, qui apparaît franchement en photos aériennes en 3 réseaux parallèles (du N au S), n'est paradoxalement que peu mesurée dans les différentes stations. Il s'agit de failles de direction N50-60°E. Les quelques pendages de plan de faille mesurés varient entre 65° et 75° vers l'Ouest.

Le relevé systématique de cette direction de fracturation aux différentes stations permet de constater que ce système complexe de failles transverses affecte essentiellement la partie centrale du prospect depuis les Trois Ilets jusqu'à Ducos et Croix Rivail. Cela est confirmé par l'existence d'un axe gravimétrique lourd le long de cette direction.

Les travaux de D. Westercamp ont montré que les failles orientées N50-N60°E jouaient principalement en cisaillement.

Sur le terrain, ces fractures sont peu développées et se caractérisent surtout par des plans de fracture très courbes et discontinus, pouvant évoluer vers des structures amygdalaires (exemple : S1 à la carrière de Ducos et S4 au Morne Doré).

Ces fractures restent fermées et, de ce fait, sont stériles, c'est-à-dire dépourvues de minéralisations hydrothermales.

Quelques hydroxydes de fer ont toutefois été observés dans les fractures orientées N50-N60°E aux stations S1, S8 et S15, mais l'observation des affleurements laisse supposer que ces fractures aient pu s'ouvrir par rejeux.

L'espacement entre chaque individu de la famille est en général supérieur au mètre.

1.3. - Les failles NW-SE

L'étude photogéologique et le relevé des fractures sur le terrain s'accordent pour reconnaître les réseaux de failles NW-SE comme les directions principales de fracturation.

Dans le détail, il s'agit de deux directions différentes :

- . des failles orientées N110-130°E,
- . des failles orientées N140-150°E.

Il est difficile de préciser le rôle exact de chacune de ces deux directions.

Toutefois, on peut constater que :

- la direction de fracturation N120 se retrouve sur la presque totalité du prospect, tandis que la direction de fracturation N140 est plus spécialement limitée à une bande étroite allant de Quartier l'Entraide (S12) au Nord de la région étudiée, jusqu'à l'aéroport (S17), le carrefour des Coteaux près de Rivière Salée et la Ravine St Pierre à l'extrême Sud (S14) (voir carte tectonique) ;
- à l'échelle de l'affleurement, les fractures de direction N120°E sont mieux développées que les fractures N140°E (critères de continuité de la fracture, de parallélisme des failles d'une même famille, et de linéarité) ;
- les failles orientées N140°E sont postérieures dans le temps aux failles orientées N120°E ;
- statistiquement, les minéralisations siliceuses (cf. plus loin) occupent préférentiellement les fractures orientées N120°E, tandis que les hydroxydes de fer seraient plutôt injectés selon des fractures d'orientation N140°E, et d'une manière générale dans toutes les directions de fracturation existantes au Lamentin. Il faut signaler que les failles de direction N140°E sont quelquefois stériles.

Le style tectonique des failles N140°E est identique à celui des failles N120°E : ce sont des failles normales ; mais les failles de direction N140°E montrent un rejet apparent plus important en raison de leur âge plus récent.

Les plans de failles de chacune de ces deux directions sont généralement verticaux ou subverticaux, excepté dans la presqu'île des Trois Ilets où les failles N120°E montrent des plongements anormaux (65°-70°) vers le SW probablement dûs à des réajustements récents selon les directions de fracturation N-S (cf. plus loin).

1.4. - Les failles N-S

Le seul examen photogéologique montre que les failles N-S (N10°W) ne sont présentes qu'au Nord et au Sud du prospect ; le relevé structural effectué aux 20 stations sélectionnées indique qu'elles sont en fait présentes sur la quasitotalité de la zone étudiée. La direction de fracturation N10°W visible en photo aérienne est conjuguée à une autre direction de fracturation orientée N20°E uniquement mesurable à l'affleurement. Ces deux familles de failles sont toutes deux verticales ou subverticales. Les fractures N20°E apparaissent de façon générale moins développées que les fractures N10°W.

La station S7 (Carrière Croix Rivail) et la station S11 (Carrière Fenelon) permettent d'étudier le jeu de ces failles anciennes, puisque les fronts de taille sont orientés selon les fractures N10°W et N20°E. La carrière de Croix Rivail étant en plus située en dehors des zones d'effondrement récent, la tectonique ancienne est conservée.

Dans ces deux carrières, les fractures N10°W et N20°E sont fermées et ici exprimées en nombre égal. Dans les miroirs de failles, sont visibles des stries qui traduisent des mouvements de glissement. Ces stries horizontales et perpendiculaires à l'intersection des failles conjuguées suggèrent une direction de raccourcissement proche de la direction N-S.

On peut considérer que la formation des failles conjuguées N10°W et N20°E correspond à une première étape de fracturation (fig. 3).

Une deuxième étape de fracturation (avec une direction de raccourcissement toujours selon N-S) peut être observée aux stations S2 (Pointe Trois Ilets), S3 (carrière de Q. Chambord), S5 (Morne Doré), S6 (Morne Cabrit), S8 (Morne Californie) et en bien d'autres lieux.

A ces stations, les fractures orientées N10°W sont maintenant ouvertes, contrairement aux fractures N20°E qui semblent avoir joué en contraction.

De plus, l'importance du développement des fractures N10°W augmente. Ces dernières deviennent en effet plus rectilignes, plus continues et tendent à devenir de plus en plus parallèles entre elles. Corrélativement le nombre de plans de fracture orientés N10°W s'accroît.

Il semble, à ce stade, s'être produit un glissement le long des facettes orientées N20°E, tandis qu'au contraire s'effectue une distension selon les facettes N10°W. Le long de ces facettes, se ménagent alors des zones d'ouverture dans lesquelles peuvent s'injecter des dykes (S3 à Quartier Chambord). Nous verrons que, par la suite, des fluides d'origine hydrothermale ont également emprunté ces zones de faiblesse (S2, S5, S8...).

DIRECTION DE
RACCOURCISSEMENT
PROCHE DE N. S.

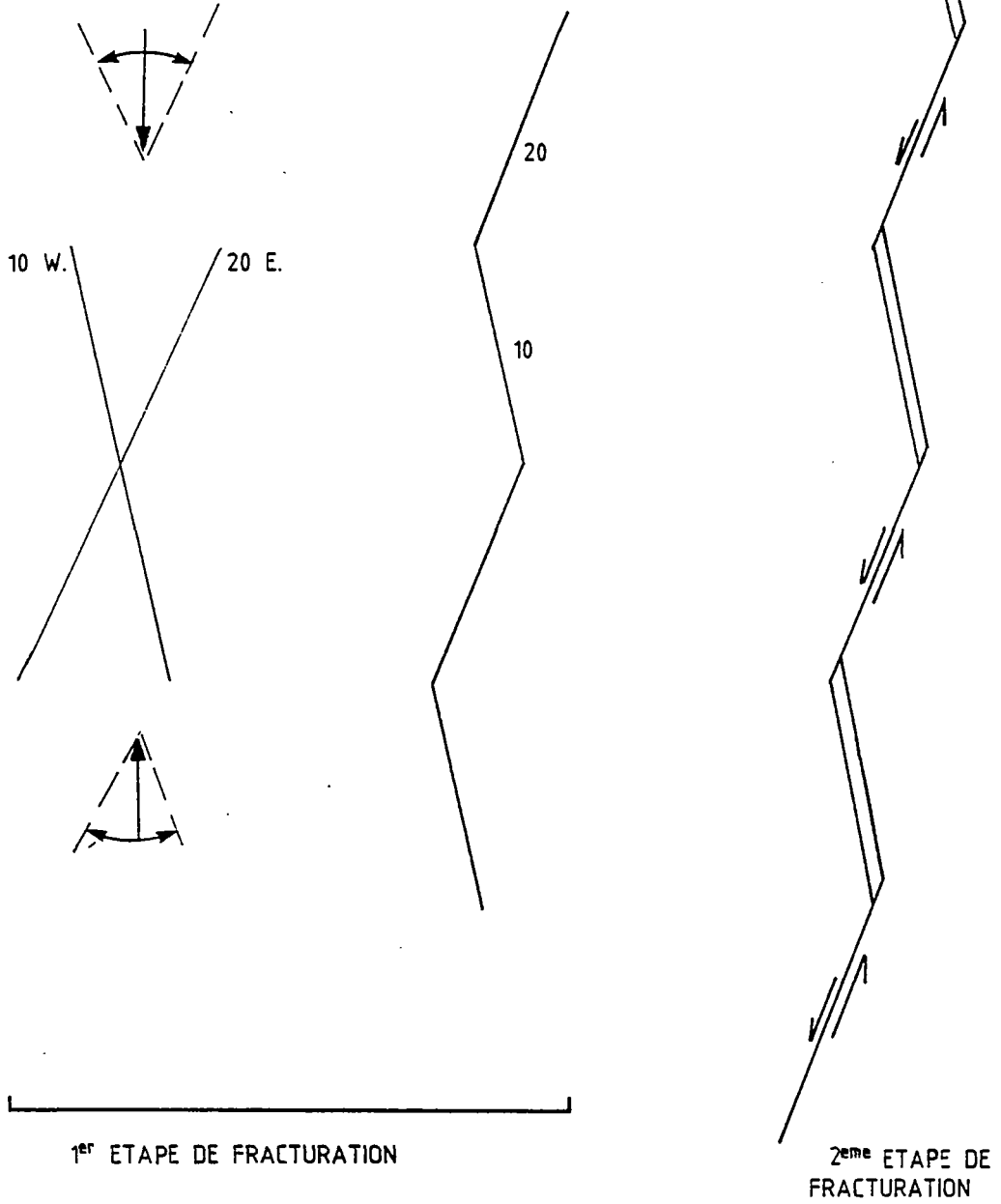


FIG. 3

LES FRACTURES N.10W. ET N.20E. CONJUGUEES

Au total, si le raccourcissement observé selon N-S induit la formation de deux familles de fractures conjuguées, seules les fractures N10°W montrent, par phénomène de glissement, un fort développement, comme l'indique d'ailleurs l'examen photogéologique.

1.5. - Les failles E-W

Seules 3 stations ont permis la mesure de la direction E-W°, S1 (carrière de Ducos), S7 (carrière de Croix Rivail) et S16 (Pointe du Bois d'Inde). Elles indiquent une orientation comprise entre N80°E et N90°E. Dans chacune des stations, les pendages des plans de faille varient fortement, suggérant une forte reprise de cette direction ancienne par les réseaux de failles récents (NW-SE et NE-SW). Le manque d'informations sur cette direction de faille interdit toute interprétation concernant son rôle exact.

1.6. - Chronologie des phénomènes tectoniques

L'étude structurale de la région du Lamentin précise le mode de fracturation de chacune des familles tectoniques distinguées. Ces informations permettent de connaître la chronologie des phénomènes tectoniques et le type de mouvements auxquels ils donnent naissance.

ORIENTATION	SYSTEME	MOUVEMENT
1 - N80-90°E	?	?
2 - N10°W et N20°E	<u>en compression</u> (direction de raccourcissement proche de N-S)	ouverture selon N10°W et contraction selon N20°E
3 - N50-60°E	cisaillant	blocage de structure
4 - N120°E	<u>en distension</u>	ouverture selon N120°E
5 - N140°E	<u>en distension</u>	ouverture selon N140°E

Dans le détail, le modèle proposé n'est pas toujours aussi strict : par exemple, les failles N10°W et N20°E qui avaient fonctionné au tout début en compression avec glissement selon une composante principale horizontale ont rejoué lors des phases de distension.

Il semble en effet s'être produit des réajustements mineurs selon les directions N10°W puisque aux stations S15 et S16 situées à l'Ouest du prospect les fractures N120°E sont recoupées par de petites fractures N10°W.

1.7. - Le graben du Lamentin - Structure

Le rapport 84 SGN 003 GTH a montré que le graben du Lamentin s'était mis en place sur d'anciennes directions de fracturation (N90°E, N10°W et N20°E conjuguées, N60°E).

Ce graben est constitué de plusieurs panneaux orientés N120°E (NW-SE) effondrés le long de failles normales (fig. 4). Ce sont les panneaux de Rivière Salée et de Petit Bourg.

Dans la partie SW du prospect (Trois Ilets), une troisième zone d'effondrement selon N120°E peut être aussi considérée comme un des panneaux du graben, bien que la fracturation soit moins intense dans cette zone.

Le panneau de Rivière Salée situé au centre est le plus affaissé. La mise en place de produits magmatiques différenciés à Rivière Salée (D. Westercamp, 1978, 1982) implique en effet l'existence de phénomènes tectoniques profonds le long de cette direction.

Le graben est, de façon schématique (cf. rapport 84 SGN 003 GTH), limité au Nord et au Sud par le système de failles transverses de direction N50°-60°E qui joue un rôle de blocage.

Ces mêmes failles orientées N50-60°E traversent le graben de part en part et isolent, au sein de chaque panneau, deux compartiments différents. Nous avons vu que cette direction transverse est responsable d'un mouvement cisailant et effondrant vers le NW (D. Westercamp, 1982).

Le relevé systématique des directions de fracturation et la photo-interprétation indiquent qu'un réseau de faille d'effondrement orienté N140°E se superpose au système de failles orienté N120°E. Nous avons vu qu'il s'agissait de failles normales. Dans la bande affectée par cette tectonique, on observe un rejeu presque systématique des fractures N10°W.

Cet effondrement récent ne semble pas être lié à des phénomènes tectoniques profonds puisque aucun produit volcanique n'accompagne sa mise en place. De plus, le développement de ces fractures suggère un faible effondrement. Il peut également s'agir d'un phénomène en cours.

La famille de fracture N120°E (qui joue en distension) est la mieux individualisée et détermine, pour l'essentiel, le régime de fracturation en surface et probablement même en profondeur.

Toutefois, l'étude structurale a montré que le jeu des failles N10°W et N140°E devait aussi être pris en compte puisque chacune de ces deux familles de failles favorisent également la formation de zones d'ouverture.

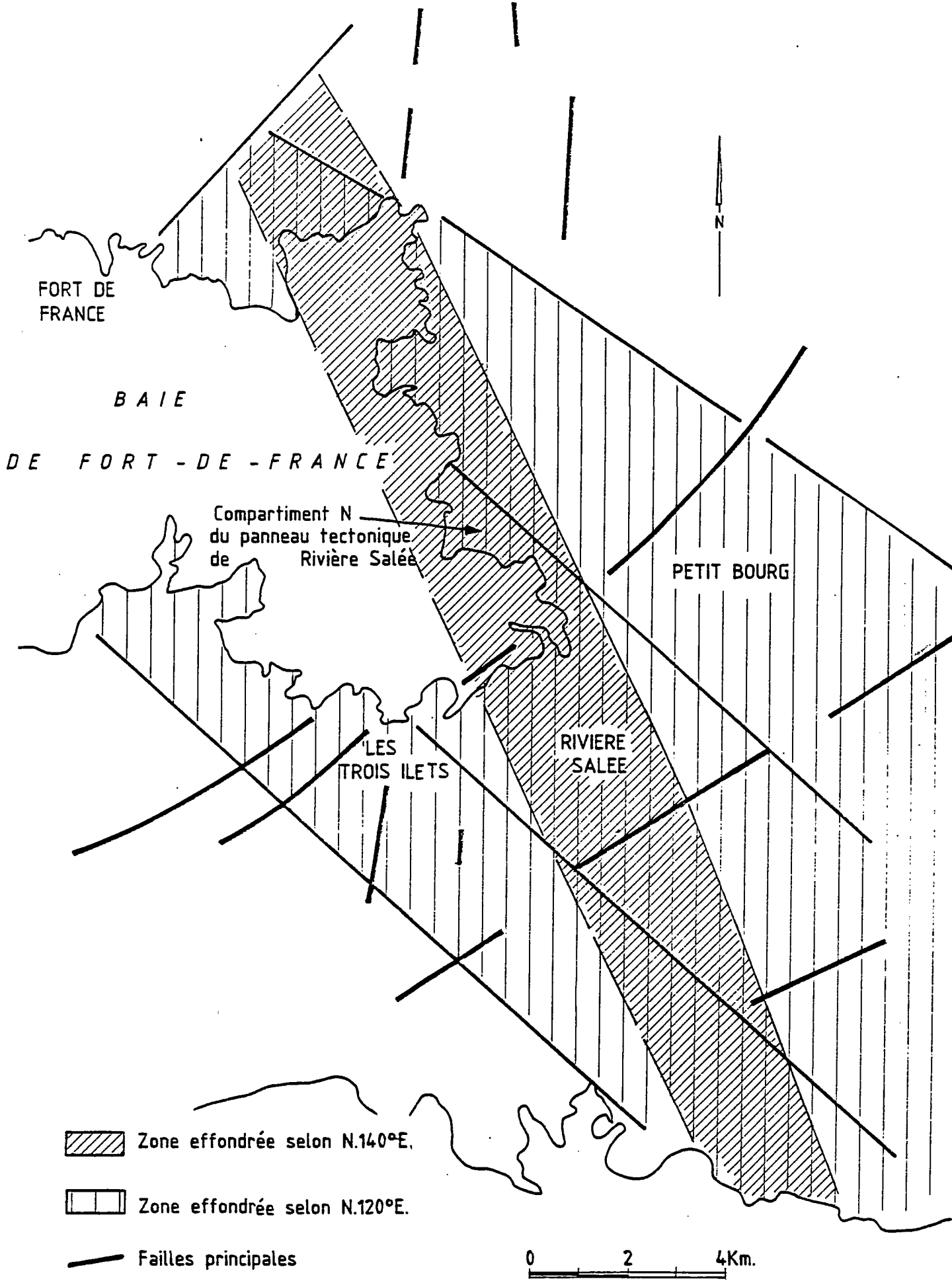


FIG. 4

LE GRABEN DU LAMENTIN : SCHEMA TECTONIQUE

2 - L'HYDROTHERMALISME

Les travaux de D. Westercamp (1980, 1981, 1982) ont permis de mettre en évidence, au centre de l'île, deux systèmes géothermiques distincts, un système fossile au sein de la chaîne sous-marine Vauclin Pitault et le système du Lamentin, plus à l'Ouest, qui vient se superposer au précédent.

2.1. - L'hydrothermalisme et la chaîne sous-marine Vauclin Pitault

2.1.1. - Généralités

Pour mieux cerner les limites géographiques du système géothermal du Lamentin, l'étude de terrain a été poursuivie vers l'Est sur les bords de la chaîne Vauclin Pitault.

Ce système géothermal fossile a déjà été décrit par D. Westercamp (1980, 1981). Il affleure en effet dans cette zone la plupart des minéraux hydrothermaux recensés en Martinique. Il s'agit principalement de zéolites et en moindre mesure de silice et de calcite.

2.1.2. - Observations de terrain

La partie nord de cet ancien système est essentiellement constituée de l'empilement de coulées basiques sous-marines très comparables à celles qui affleurent au Morne Doré. Dans ces roches les minéralisations hydrothermales ne se présentent pas, comme dans la région du Lamentin, en filons injectés dans les fractures. D'une manière générale, ces minéraux sont plutôt retrouvés en remplissage de vacuoles dans la roche mère.

Sur les bords de la chaîne, c'est-à-dire dans la région de Croix Rivail, Quartier La Beauville, deux espèces minérales principales sont distinguées :

- . quartz,
- . calcite,

Ces espèces sont souvent trouvées indépendamment en remplissage de vacuoles.

Dans d'autres cas, quartz et calcite sont associés dans une même vacuole ; le quartz est alors situé contre la roche, tandis que la calcite occupe le centre de la géode, suggérant ici deux époques de mise en place : silicification puis calcitisation.

2.1.3. - Les analyses en laboratoire

Les analyses RX montrent que de la tridymite est souvent associée au quartz. Ces analyses indiquent également qu'une argile d'origine hydrothermale (montmorillonite) peut être trouvée dans le système ancien Vauclin Pitault, toujours en association avec les phases siliceuses.

En lames minces, cette argile peut être présente sous deux formes : en plages très pures le plus souvent amorphes ou bien (MC 172) en encroutement composite avec la silice.

2.1.4. - Carte de répartition (fig. 5)

Le report des analyses sur la carte (au 1/50 000) permet de connaître l'extension du système géothermal de la chaîne Vauclin Pitault. L'influence de cet ancien flux de chaleur a été enregistré vers l'Est selon une limite qui passe depuis la commune du Lamentin au Nord, puis vers Ducos et à Desmarinières au Sud du terrain étudié.

2.2. - L'hydrothermalisme et les structures du graben du Lamentin

2.2.1. - Observations de terrain

Trois phases hydrothermales distinctes (fig. 6) ont pu être mises en évidence au Lamentin (rapport 84 SGN 003 GTH). Ce sont :

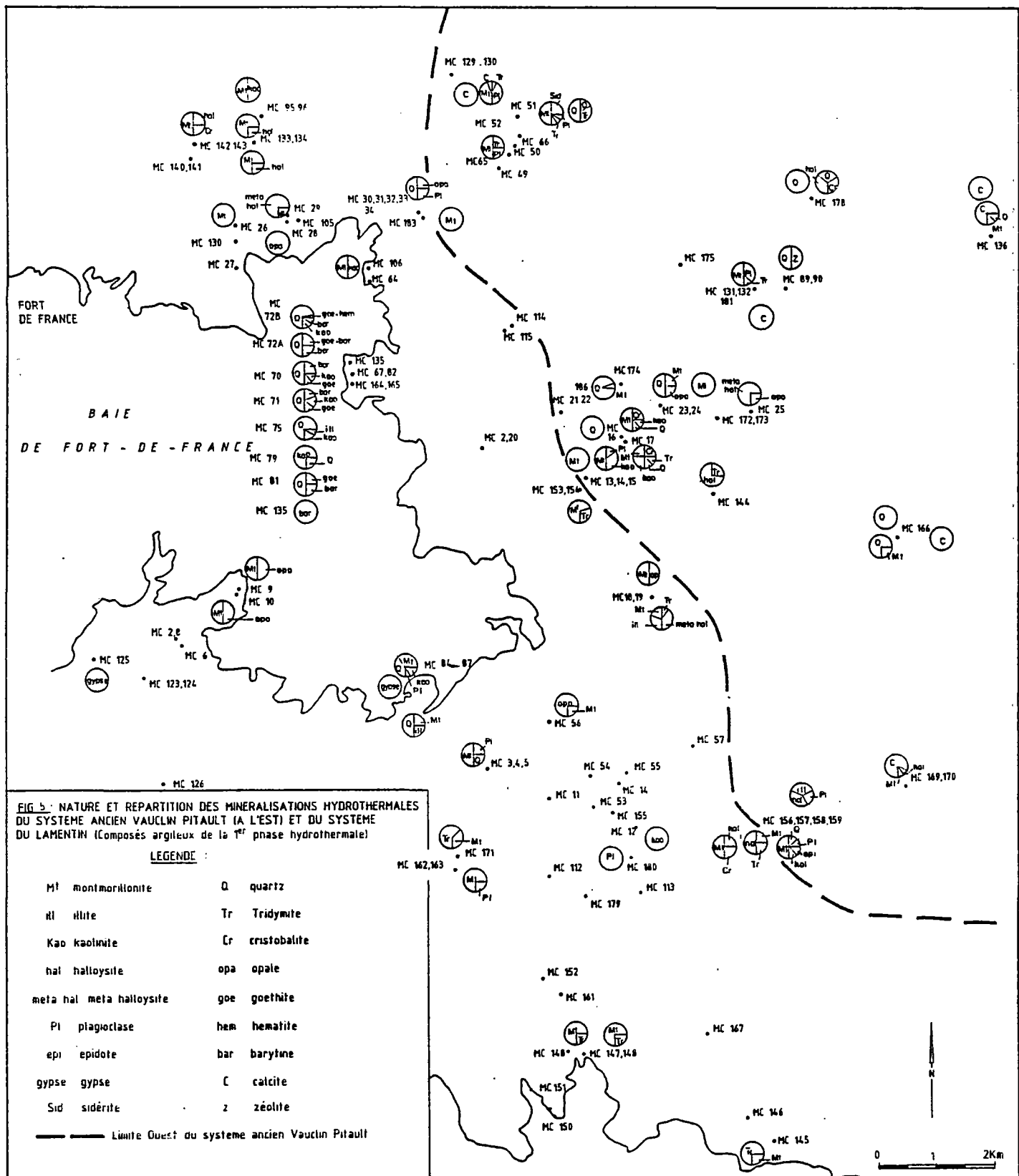
- 1 - Silicification (quartz, opale et tridymite),
- 2 - Hydroxydation,
- 3 - Silicification (travertin siliceux).

Nous avons vu que les deux dernières phases pouvaient être contemporaines (ou subcontemporaines).

Dans le cadre de cette étude, les relations entre tectonique et minéralisations hydrothermales ont été étudiées :

Il apparaît que, statistiquement, les filons de silice occupent préférentiellement les fractures orientées N120°E ouvertes lors de la première phase d'effondrement. Les filons d'hydroxyde de fer, quant à eux, sont ubiquistes puisqu'ils s'injectent dans toutes les directions de fracturation existantes au Lamentin. Dans la bande qui va du Quartier l'Entraide à l'Anse Céron, ils sont surtout injectés selon une direction N140°E.

Nous avons vu que cette deuxième phase devait correspondre à une réactivation de toutes les structures, provoquée par le jeu des failles N140°E.



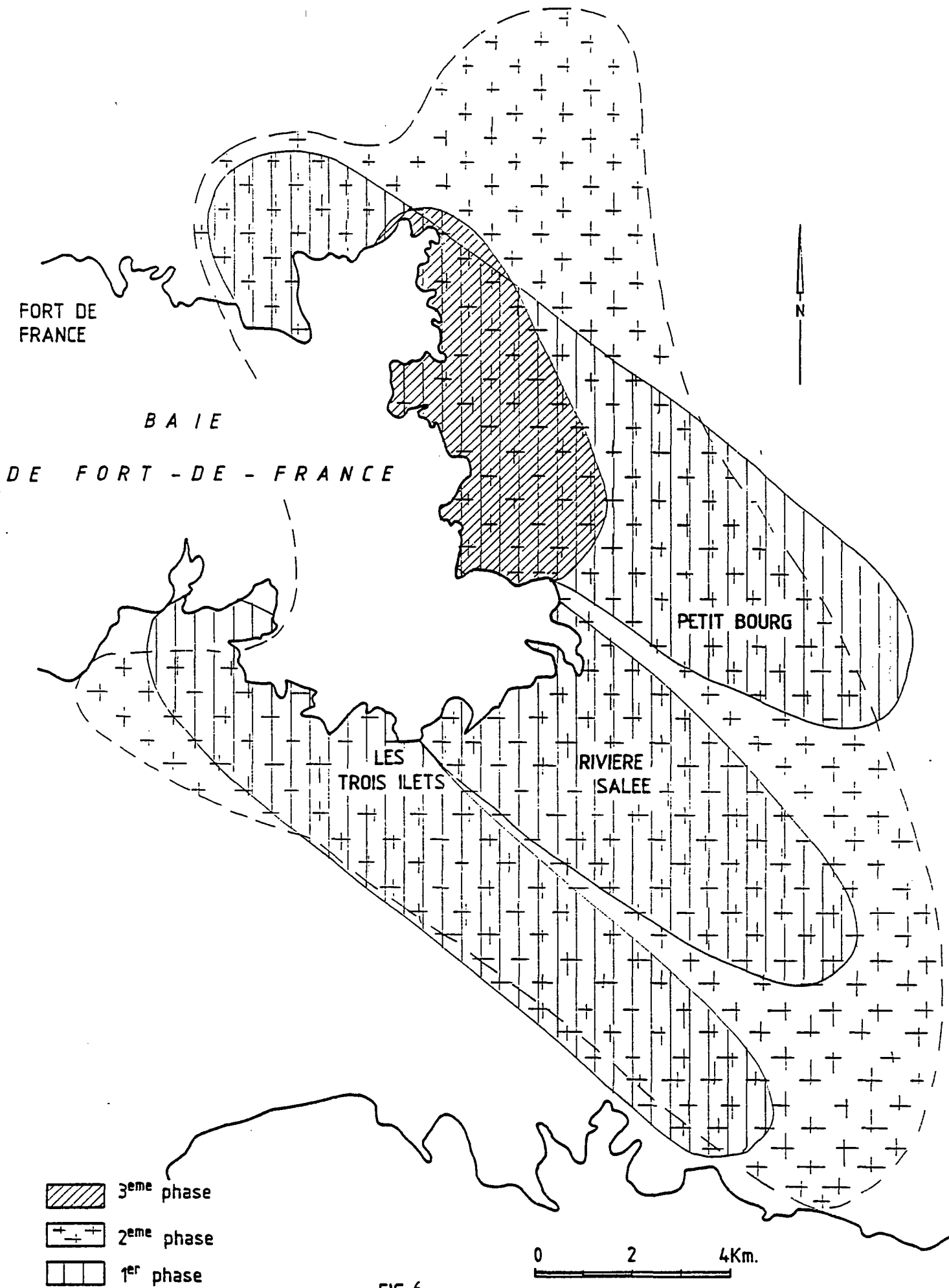


FIG. 6

LES TROIS PHASES HYDROTHERMALES DU LAMENTIN : AIRES DE REPARTITIONS

C'est probablement de la même époque que datent les sources thermales riches en silice responsables de la mise en place des travertins. Nous verrons plus loin (paragraphe d'hydrogéologie) que l'origine de ces sources doit être attribuée à une dislocation plus intense selon N140° puisque les eaux, d'après l'analyse de leurs dépôts, remontent d'un aquifère profond.

2.2.2. - La première période d'hydrothermalisme

A - Les analyses en laboratoire

Pour compléter l'étude des minéralisations hydrothermales réalisée précédemment, des lames minces et des analyses RX ont été effectuées (cf. annexe). Elles montrent que les filons de silice orientés principalement N120°E sont en opale, sauf dans la zone du Morne Rouge où l'opale peut être remplacée par du quartz (fig. 5). Avec le quartz, se sont mis en place des cristaux de barytine. La présence d'opale et, en moindre mesure, de quartz dans les filons témoigne de hautes températures en profondeur (# 200°C) (F. Iundt, BRGM, 1982).

Il était apparu précédemment que l'hydrothermalisme responsable de la mise en place des filons de silice provoquait, au sein des roches hôtes, la néoformation d'une argile. Elle est surtout présente à l'intérieur des panneaux du graben puisque, dans chacune de ces zones, elle peut s'organiser en filons alors qu'à l'extérieur des panneaux elle n'apparaît qu'en petits pointements dans les plagioclases. Les analyses RX montrent que cette argile est essentiellement de la montmorillonite. Dans les filons, il s'agit en fait, d'après les analyses RX, d'un mélange composite silico-argileux avec jusqu'à 50 % de silice.

L'étude plus détaillée des diagrammes de diffractométrie RX (B. Welde, commun. personnelle) permet également de déceler la présence d'illite en association avec la montmorillonite (interstratifiées). Dans ce cas précis, il est alors possible de donner la température fossilisée par ces différentes espèces hydrothermales qui est fonction de la proportion de chacune d'elles.

Ainsi, au Nord du prospect, l'échantillon MC 139 indique une température de mise en place de l'ordre de 100°C (température maximale du fluide en surface sous une pression de 1 atm). Il en est de même pour MC 19, MC 157A, MC 157B et MC 159 au Sud du prospect. En dehors de ces zones, les températures sont plus froides (50-60°C).

L'étude microscopique révèle qu'en plus de la silice déposée par le fluide hydrothermal, la néoformation de l'argile aux dépens des plagioclases libère de très petites quantités de silice (rapport 84 SGN 003 GTH). Cette dernière apparaît le plus souvent sous forme de microcristaux de quartz et/ou de cristobalite.

B - Remarque

L'injection de silice et la néorformation d'argile dans toutes les fractures, et d'une manière générale dans tous les interstices, aboutit à un colmatage (self sealing) par précipitation lors du refroidissement. Ce colmatage peut avoir lieu en surface et en profondeur si les fluides géothermaux, au cours de leur remontée, rencontrent des horizons riches en eaux froides (origine météorique ou origine marine). La précipitation de SiO_2 peut avoir lieu au passage des zones de circulation et des zones imperméables.

De fait, les cuttings du forage LA 101 effectué par Eurafrep révèlent, sur plusieurs centaines de mètres, la présence de silice et d'argile.

Ainsi, sur une coupe verticale, doivent se succéder des horizons colmatés et donc imperméables et des horizons perméables (à signaler dans les forages Eurafrep la présence de pyrite attribuée à la première période d'hydrothermalisme).

C - Carte de répartition

Les analyses RX d'argiles appartenant à la première phase hydrothermale ont été reportées sur la carte de répartition (fig. 5). Cette carte permet de constater que le système géothermal du Lamentin (phase 1) se superpose, dans la région de Ducos, au système fossile de la chaîne Vauclin Pitault. Les filons de silice (qui constituent l'essentiel des minéraux hydrothermaux de la première phase) sont localisés sur la figure 4 du rapport 84 SGN 003 GTH.

2.2.3. - La deuxième période d'hydrothermalisme : l'hydroxydation

A - Les analyses en laboratoire

La phase minérale prédominante lors de la deuxième phase hydrothermale est la goethite. Celle-ci apparait en lame mince sous forme de masse amorphe très mal cristallisée. De l'hématite non cristallisée peut être associée à la goethite.

B - Remarques

A Quartier l'Entraide, au Nord du prospect, les hydroxydes ne sont pas trouvés en filons, mais en masse compacte imprégnant la roche hôte. La goethite, toujours mal cristallisée, forme ici un gel consolidé (MC 142A) présentant une cassure conchoïdale. Il semble s'agir ici du toit d'une nappe d'eau de faible profondeur, aujourd'hui dégagée par l'érosion. Une remontée temporaire de la nappe vers la surface (milieu oxydant) a peut-être permis la précipitation des ions ferreux en gel amorphe.

Le fluide hydrothermal responsable du dépôt des hydroxydes de fer aurait donc une origine très superficielle. Les observations microscopiques (rapport 84 SGN 003 GTH) ont déjà montré que la mise en place des filonnets de goethite ne provoquait pas de transformation dans la roche hôte, suggérant une faible température du fluide. De fait, l'association goethite-hématite, fréquente dans les zones hydrothermales, indique des températures comprises entre 60 et 90°C (Berner R.A., 1972).

2.2.4. - La troisième période d'hydrothermalisme

La troisième période hydrothermale est marquée par l'activité de sources thermales riches en silice ayant provoqué le dépôt de travertins siliceux, ces derniers étant formés par précipitation de colloïdes siliceux en surface. Le rapport 84 SGN 003 GTH a montré la forte similitude d'un point de vue géochimique entre les dépôts de la première et de la troisième phase hydrothermale (composition chimique et température identiques). La présence de tourmaline dans les travertins (avec des teneurs anormales en bore) confirme une origine à partir de fluides de haute température.

Nous avons vu qu'au Morne Rouge (MC 80), ces travertins sont mis en place selon des directions N-S (et N60°E) tandis qu'à Morne Doré et à Château-Lézard, ils sont orientés N140°E (MC 2).

Un peu plus au Nord, à l'Ouest de la localité du Lamentin, une faille de direction N140°E a également drainé des eaux siliceuses vers la surface puisque des bois silicifiés (MC 30) sont trouvés entremêlés avec les argiles (montmorillonite essentiellement, MC 33). Au même endroit, peuvent être échantillonnés des cristaux d'aragonite épigenés en silice (MC 31).

2.2.5. - Remarque générale

La présente étude permet de constater que les minéralisations hydrothermales de la première phase restent limitées quantitativement dans les zones où seules existent les fractures N120°E du graben. Elles deviennent par contre nombreuses dans la zone de croisement des fractures N10°W et N120°E. Nous avons vu au Morne Rouge que des travertins siliceux sont remontés le long de fractures N10°W. Ainsi les failles N10°W qui jouent pourtant en compression apparaissent favorables à la formation d'une importante perméabilité en profondeur.

Cette observation est également valable pour les minéraux hydrothermaux de la troisième phase qui sont abondants au croisement des failles N10°W et N140°E.

2.3. - L'âge des dépôts hydrothermaux - Datation U/Th

Les dépôts siliceux de la première et de la troisième phase d'hydrothermalisme ont été datés par spectrométrie alpha (méthode ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th) au centre d'études nucléaires de Saclay. Le détail de la méthode est donné en annexe.

Le report des points dans un diagramme :

$$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = f (^{234}\text{U}/^{232}\text{Th})$$

montre que (fig. 7), même avec la grande barre d'erreur sur les rapports (les quantités d'uranium et de thorium sont très faibles, inférieures ou égales à 1 ppm), presque tous les échantillons de la première phase hydrothermale sont proches de l'équilibre, ce qui leur conférerait un âge voisin ou supérieur à 300 000 ans.

Le travertin de Château-Lézard (MC 2) de la dernière phase hydrothermale est un peu en dessous et cela sur les 3 datations effectuées sur le même échantillon. Les deux isotopes père et fils semblent dans ce cas ne pas être à l'équilibre. Compte tenu des incertitudes liées à la méthode (pollution, comptage), on peut raisonnablement penser que l'âge de mise en place des travertins siliceux de Château Lézard est compris entre 250 000 ans et 300 000 ans (voir isochrones, Fig. 7).

Le travertin MC 80 (Morne Rouge) doit, d'après le diagramme, avoir le même âge que MC 2, bien que dans ce cas la détermination de l'âge ne repose que sur une seule datation. La même observation peut être faite pour les échantillons MC 30 (Z.I. du Lamentin) et MC 167 (Nord de Sainte Luce), tous deux mis en place selon la direction tectonique récente N140°E.

Les datations U/Th confirment donc les observations de terrain : il existe au Lamentin une phase de silicification ancienne d'âge supérieur ou égal à 300 000 ans et une phase de silicification plus récente comprise entre 300 000 ans et 250 000 ans.

Les observations de terrain laissent supposer que la première phase hydrothermale s'est déroulée au cours d'une longue période. En effet, des filons de silice (ou de barytine) injectés dans des directions N10°W et des directions N120°E (en début d'ouverture) peuvent être recoupés par des filons de silice appartenant à la même phase, injectés dans des fractures N120°E, plus ouvertes et plus développées.

Les datations U/Th montrent que les travertins siliceux de la troisième phase hydrothermale mis en place principalement selon la direction tectonique N140°E ont tous un âge très proche.

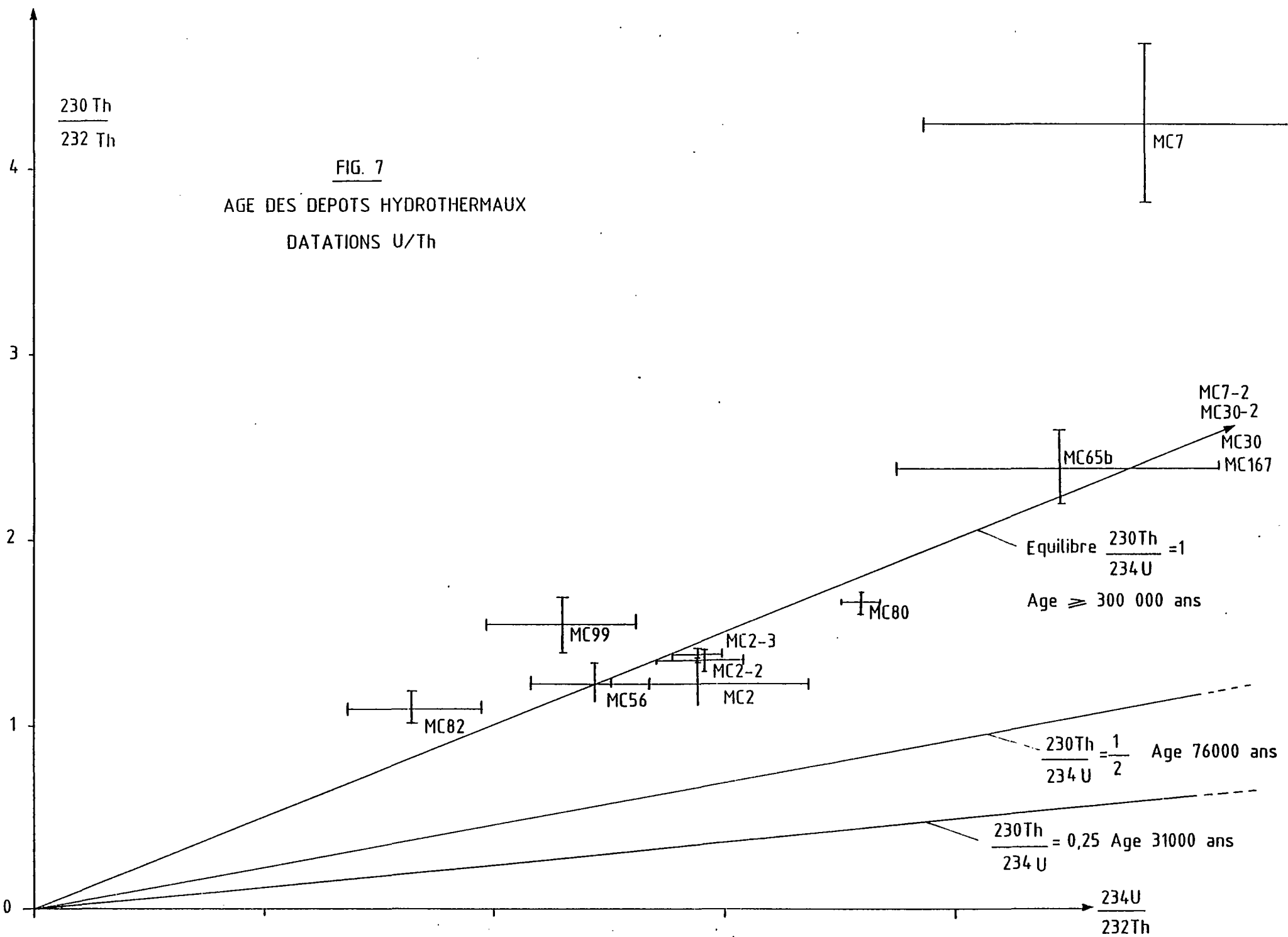


FIG. 7
AGE DES DEPOTS HYDROTHERMAUX
DATATIONS U/Th

2.4. - Conclusion sur l'hydrothermalisme : quelques considérations hydrogéologiques

Les études présentées dans le rapport 84 SGN 003 GTH nous avaient amené à considérer l'existence de deux réservoirs géothermiques différents : le plus chaud et le plus profond est à l'origine des dépôts siliceux tandis que le moins chaud et le plus superficiel a permis le dépôt des hydroxydes de fer. A Quartier l'Entraide, l'observation en surface de geothite trouvée en masse compacte imprégnant la roche hôte semble confirmer la présence de nappe(s) d'eau de faible profondeur.

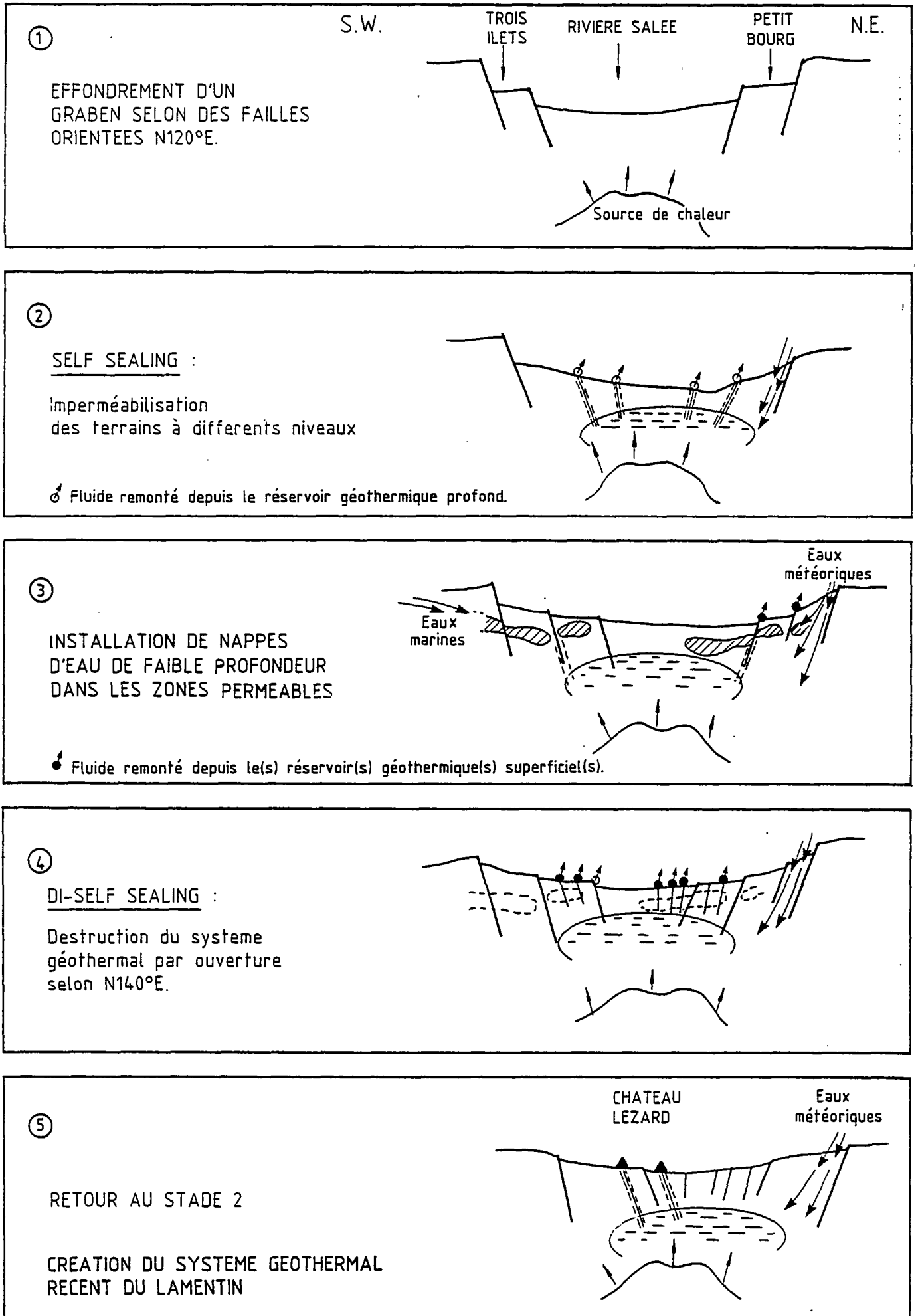
Un tel schéma, qui introduit l'existence de nappes superposées s'avère très concevable au Lamentin où se succèdent probablement sur une même coupe verticale des horizons colmatés par la silice et donc imperméables et des horizons perméables.

2.5. - Tectonique et hydrothermalisme : un schéma d'évolution

L'histoire hydrothermale de la région du Lamentin, étroitement liée à l'histoire tectonique, peut être résumée comme suit (fig. 8) :

- 1) Effondrement d'un graben selon des failles normales orientées N120°E, suivi vers 0,6 MA par la mise en place d'un stock magmatique au croisement des failles N120°E et des failles transverses de direction NE-SW.
- 2) Par phénomène de perméabilité secondaire, les fluides riches en silice issus des aquifères profonds réchauffés par le magma remontent et précipitent par refroidissement entre 600 000 ans et 300 000 ans BP. La silice et les argiles colmatent alors les fractures existantes, imperméabilisant, à différents niveaux, les terrains (self sealing sur plusieurs centaines de mètres d'après les forages effectués).
- 3) Le colmatage crée les conditions favorables à l'installation d'une(de) nappe(s) d'eau de faible profondeur dans les zones perméables. Ce(s) nappe(s) superficielle(s) sont probablement réchauffées par les gaz et les fluides remontés du réservoir géothermique profond.
- 4) La reprise de l'activité tectonique selon les failles N140°E provoque une réactivation de toutes les structures existantes au Lamentin si bien que les fluides chargés en fer remontés depuis la(les) nappe(s) superficielle(s) s'injectent dans toutes les directions de fracturation. La dislocation plus intense selon les fractures orientées N140°E entraîne la destruction par ouverture du système géothermal précédemment décrit (fuites par perte d'étanchéité ou di-self sealing).

FIG. 8 : SCHEMA D'EVOLUTION DU SYSTEME GEOTHERMAL DU LAMENTIN (ancien et récent)



- 5) Un autre système se crée, entre 250 000 ans et 300 000 ans de nouveau par colmatage des zones précédemment faillées par les fluides riches en silice issus du réservoir géothermique profond (retour au stade 2). Les témoins en surface de cette activité géothermale récente sont les monticules de travertins siliceux, rencontrés dans le compartiment N du panneau tectonique de Rivière Salée.

Le système géothermal récent semble donc à tout point de vue semblable au précédent détruit par dislocation tectonique. Toutefois, on ne peut exclure l'hypothèse d'un système récent totalement indépendant du précédent : les fluides riches en silice de la première et de la troisième phase hydrothermale ayant alors chacun une origine propre.

Les observations géologiques développées dans la présente étude qui nous ont amené à considérer l'existence, au sein du prospect du Lamentin, de deux systèmes géothermaux successifs, peuvent être résumées comme suit :

	Phase hydrothermale	T des fluides	Age	Cause
Système géothermal ancien	1) silicification fluides issus d'un réservoir profond	# 200°C	650 000 ans t 300 000 ans	Consécutif à des effondrements tectoniques orientés N120°E
	2) hydroxydation fluides issus d'un réservoir superficiel	60-90°C	?	Consécutifs à des effondrements tectoniques orientés N140°E
Système géothermal récent	3) silicification fluides issus d'un réservoir profond	# 200°C	300 000 ans t 250 000 ans	

3 - CONCLUSION GENERALE

Deux points principaux ressortent de la présente étude :

1 - La géologie structurale apporte d'importants renseignements d'un point de vue géothermique. La répartition des zones perméables en profondeur est en effet gouvernée par la nature des fractures et essentiellement par celles qui ont bénéficié de jeux ou de rejeux en ouverture. En corrolaire, les zones les plus fracturées ne sont pas toujours les plus perméables.

Au cours de l'histoire géologique du Lamentin, trois phases tectoniques successives ont joué en ouverture : les fractures N10°W, N120°E et plus tardivement les fractures N140°E. Ces trois réseaux de fractures se superposent dans le panneau tectonique de Rivière Salée et plus spécialement au niveau de son compartiment nord. On peut donc penser que les terrains très fracturés dans cette région possèdent une forte perméabilité et sont favorables à la circulation des fluides.

2 - L'étude de l'hydrothermalisme a montré que plusieurs phases hydrothermales distinctes se sont succédées au Lamentin (la dernière vers 200 000 ans BP) et plus spécialement dans la zone de croisement des fractures N10°W, N120°E et N140°E qui jouent en ouverture (compartiment nord du panneau tectonique de Rivière Salée).

Les argiles et la silice de la première phase ont colmaté les terrains à différents niveaux (sur plusieurs centaines de mètres) si bien qu'il a existé sur une même coupe verticale une alternance de couches perméables et de couches imperméables. Nous avons vu que, dans les couches perméables, se sont installées des nappes d'eau probablement réchauffées par les gaz et les fluides remontés du réservoir géothermique profond. Les manifestations en surface de ces nappes d'eau superficielles (deuxième phase hydrothermale) sont les filonnets d'hydroxydes de fer.

La présente étude montre qu'il a existé au Lamentin, entre 650 000 et 300 000 ans BP, un gisement géothermique avec réservoir profond possédant une couverture imperméable développée par self-sealing et une(des) nappe(s) d'eaux superficielles. Ce type de champ à nappes d'eau superposées est classique dans les zones géothermales (Mahon et al, 1980).

Dans la période actuelle (c'est-à-dire depuis 250 000 ans), le même schéma a dû se reproduire puisque l'on a pu mettre en évidence une phase de silicification (troisième phase hydrothermale) indicateur d'un réservoir profond et une nappe superficielle (90°C). Celle-ci a été reconnue vers 160 m lors de la réalisation du forage LA 101 par Eurafrep. La géochimie des fluides de cette nappe montre qu'elle est réchauffée par la venue de gaz profonds puisqu'elle contient des éléments (bore, arsenic, etc...) caractéristiques de fluides géothermaux de haute température (F. Iundt, 84 SGN 292 GTH).

Au total, on peut retenir qu'il existe actuellement dans le compartiment nord du panneau tectonique de Rivière Salée un certain nombre d'éléments caractéristiques d'un gisement géothermique haute enthalpie.

Toutefois, la succession dans le temps des deux phases hydrothermales de haute température ($\approx 200^{\circ}\text{C}$) doit impliquer une diminution de l'activité géothermale avec probablement approfondissement des aquifères chauds à moins que le nouveau système installé dans la période récente soit totalement indépendant du précédent.

IV - LE PROSPECT DU MORNE ROUGE

I - LA FRACTURATION DU PROSPECT DU MORNE ROUGE

Deux types de matériaux sont visibles dans la région du Morne Rouge (rapport 84 SGN 003 GTH) :

- . sur les bords de la cuvette : des coulées appartenant aux édifices volcaniques du Morne Jacob, des Pitons du Carbet et en moindre mesure de la Montagne Pelée ;
- . dans la cuvette : des matériaux meubles, pour la plupart post-tectoniques, venus remplir la dépression formée par l'activité des failles NW-SE et N-S.

Seules les formations bordières de la cuvette de Champ Flore étaient a priori susceptibles d'offrir des affleurements aptes aux mesures structurales. Mais les mauvaises conditions d'affleurement dans la région, dues essentiellement au climat, n'ont pas permis d'effectuer des bonnes mesures sur un nombre de sites suffisant.

Aussi, les connaissances tectoniques de la région restent donc limitées à celles obtenues par l'examen photogéologique. Nous avons vu que la région du Morne Rouge était située au croisement de trois directions tectoniques principales :

- 1) NE-SW
- 2) NW-SE
- 3) N-S.

Des processus d'effondrement se sont effectués (rapport 84 SGN 003 GTH) vers 1 MA le long des failles NW-SE et des failles N-S.

2 - L'HYDROTHERMALISME

Les minéralisations hydrothermales attribuées à la présence des Pitons du Carbet se sont mises en place lors d'une seule phase (rapport 84 SGN 003 GTH). La carte de répartition de ces minéralisations hydrothermales a permis de mettre en évidence deux zones distinctes cf. fig. 7, rapport 84 SGN 003 GTH) :

- . Au Sud-Est, une zone minéralisée (silice sous forme de travertins, argile et pyrite). La pyrite et l'argile sont bien exprimées le long des failles NW-SE depuis le Morne Chalvain jusqu'à la Rivière Blanche, confirmant l'importance de cet accident à fort rejet vertical.
- . Au Nord-Ouest, une zone peu minéralisée où sont présentes les argiles et la pyrite.

L'échantillonnage analysé au RX permet d'apporter des précisions sur la nature des argiles dans la zone Nord-Ouest (fig. 9). Il s'agit, comme dans la région du Lamentin, d'un mélange de montmorillonite et d'illite (interstratifiés). L'altération climatique a parfois transformé ces argiles en halloysite ou en métahalloysite.

Dans d'autres cas, l'argile apparaît sous forme d'un mélange composite avec la silice (quartz ou cristobalite dans les échantillons MC 42, MC 43, MC 48, MC 118 et MC 119).

L'étude microscopique des lames minces a aussi mis en évidence des recristallisations au sein des roches constituant le soubassement de la cuvette de Champ Flore, c'est-à-dire essentiellement les andésites sombres du Morne Jacob.

A proximité des Pitons du Carbet, ces phénomènes de déstabilisation se sont effectués aux dépens de phénocristaux de plagioclase et des mosaïques de quartz sont apparues (MC 35, MC 104).

Paradoxalement, l'étude des lames minces a montré que quelques recristallisations s'étaient effectuées dans les roches situées au Nord, le long de l'accident NE-SW de la Rivière Roxelane, laissant alors supposer l'existence d'une source de chaleur située au niveau de la Montagne Pelée. Dans cette zone, des microcristaux de quartz se sont formés aux dépens de la pâte.

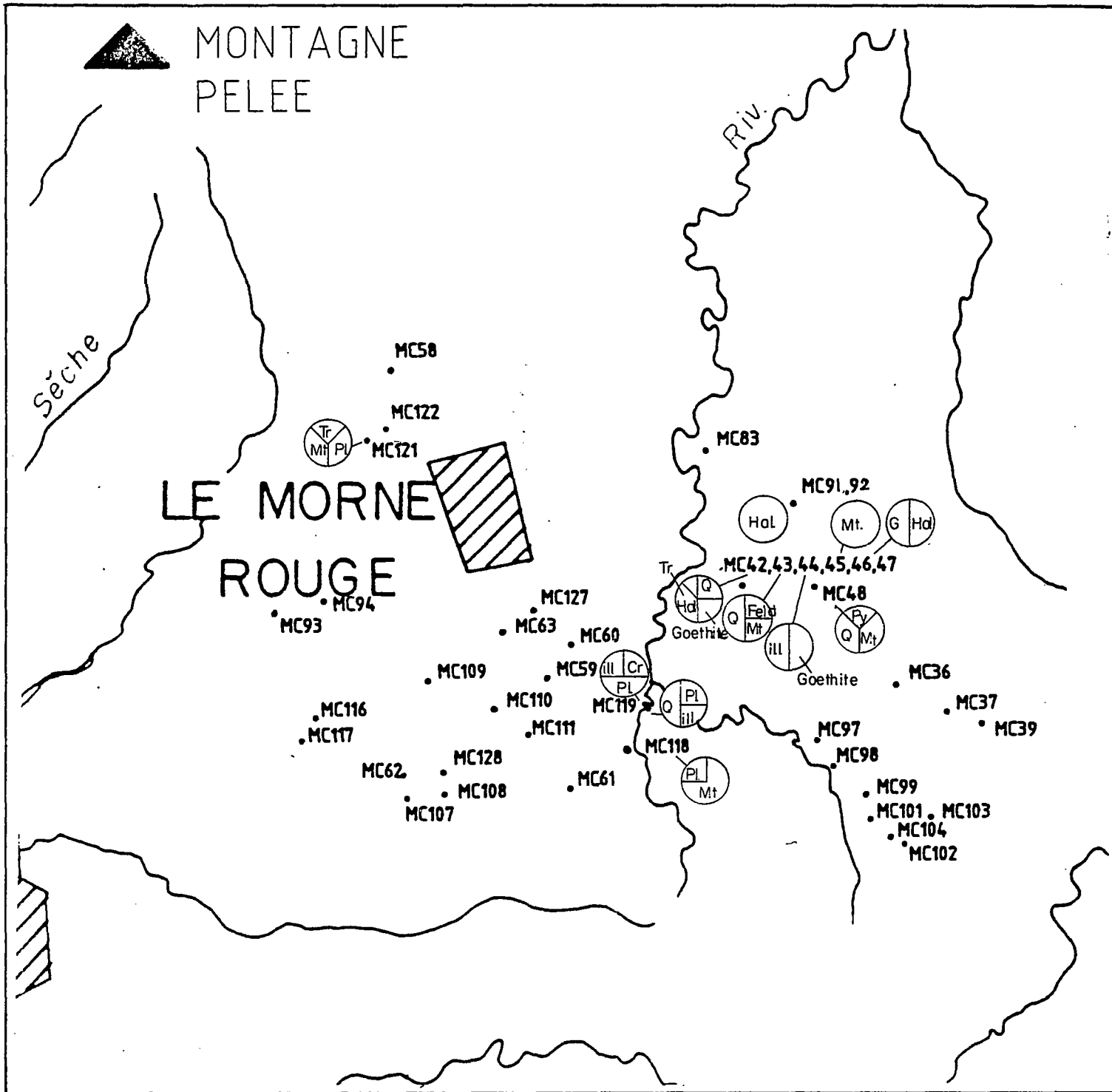
Le long de ce même accident, en allant vers le NE (Rivière Ferré) affleure une zone fortement hydrothermalisée (smectite essentiellement, MC 121).

Au total, les minéralisations hydrothermales du prospect du Morne Rouge jalonnent essentiellement les accidents tectoniques importants. L'injection de fluides chauds dans les fractures est surtout nette le long de la direction NW-SE, depuis le Morne Chalvain jusqu'au Sud du prospect.

Age des dépôts hydrothermaux

Une seule datation (MC 99, cf. annexe) a été effectuée sur les travertins siliceux situés dans la partie sud-est du prospect du Morne Rouge (il n'a pas été possible d'échantillonner d'autres travertins aptes à des datations). L'âge est supérieur ou égal à 300 000 ans.

Comme dans la région du Lamentin, l'âge ancien de ces produits amène des incertitudes sur la température actuelle des fluides.



Tr: Tridymite - Mt: Montmorillonite - Pl: Plagio - Q: Quartz - Hal: Halloysite - Goethite
Cr: Cristobalite - Py: Pyrite - ill: Illite - Feld: Feldspath alcalin

FIG. 9 : NATURE ET REPARTITION DES MINERALISATIONS HYDROTHERMALES
DU PROSPECT DU MORNE ROUGE

3 - CONCLUSION GENERALE

L'étude géologique de la région du Morne Rouge ne peut conclure de façon nette à l'existence d'un gisement géothermique de haute enthalpie.

Les terrains superficiels, formés essentiellement de matériaux meubles et imperméables, souvent post-tectoniques, sont un handicap à la bonne compréhension de la géologie de la région, tant sur le plan structural qu'hydrothermal (les études structurales et hydrothermales n'ont pas pu être effectuées de façon aussi méthodique et complète qu'au Lamentin.

Si, par l'étude de l'hydrothermalisme, l'existence de circulations d'eau a été reconnue, il existe encore des incertitudes sur la température et sur l'âge de ces fluides.

Dans l'état actuel des connaissances, il semble que chacun des deux édifices volcaniques (Pitons du Carbet au Sud, et Montagne Pelée au Nord) aient successivement joué un rôle dans l'histoire hydrothermale de la région du Morne Rouge :

- . d'abord les Pitons du Carbet, d'où la zonation hydrothermale observée du Sud vers le Nord (l'âge du travertin MC 99 supérieur ou égal à 300 000 ans est dans ce cas cohérent),
- . plus tardivement, et de façon très limitée, la Montagne Pelée.

Le rapport 84 SGN 003 GTH a montré, à l'aide de plusieurs critères, l'isolement du bloc Pelée du graben Champ Flore Morne Rouge.

Les manifestations hydrothermales ne seraient alors dues qu'à des circulations de fluides chauds effectuées à la faveur des accidents tectoniques majeurs (essentiellement les failles NW-SE) qui jouent ici un rôle de drains.

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

BERNER R.A. (1972)

Principles of chemical sedimentology. Mc Grawhill - N.Y. - 240 p.

CHOVELON P. (1984)

Contexte géothermique des prospectes du Lamentin et du Morne Rouge. Rapport BRGM 84 SGN 003 GTH.

CORMY G., DEMIANS D'ARCHIMBAUD J., SURCIN J. (1970)

Prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique. In : U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970, 2, part 1. Geothermics Spec. Issue, 2 (1).

CORMY G., DEMIANS D'ARCHIMBAUD J., SURCIN J. (1970)

Prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique. Rapport inédit Eurafrep.

GERARD A., WESTERCAMP D., BOUYASSE Ph., DUBREUIL G., VARET J. (1981)

Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles Françaises (Martinique-Guadeloupe). Documents du BRGM.

IUNDT F. (1982)

Prospection des teneurs en mercure dans les sols de la Martinique. Rapport BRGM 82 SGN 1033 GTH.

IUNDT F. (1984)

Réévaluation géochimique du potentiel géothermique de l'île de la Martinique. Rapport BRGM 84 SGN 292 GTH.

MAHON W.A.J., KLYEN L.E., RHODE M. (1980)

Neutral sodium bicarbonate sulphate hot waters in geothermal systems. Chinetsu Journal of the Japan Geothermal Association.

MARINELLI G. (1968)

Rapport sur les formations volcaniques de la Guadeloupe et de la Martinique et sur leurs altérations. EURAFREP Co. (non publié).

RANCON J.Ph. (1981)

Les minéraux hydrothermaux : une application possible dans l'exploration et le développement de la géothermie dans l'île de la Réunion. In Evaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion. Géologie et Géophysique. Rapport BRGM 81 SGN 669 GTH.

RANCON J.Ph. (1982)

Contribution à l'étude des minéralisations hydrothermales liées à un système géothermique récent dans l'île de la Réunion. Thèse 3ème cycle, Université Paris XI, 225 p.

RANCON J.Ph. (1982)

Les minéralisations hydrothermales : un guide pour la prospection géothermique du Massif du Piton des Neiges. Rapport BRGM 82 REU 27.

VERZIER P., WESTERCAMP D. (1982)

Aspects hydrogéologiques des zones du Lamentin et du Morne Rouge. Rapport BRGM 82 SGN 1033 GTH.

WALKER G.P.L. (1960)

Zeolites zones and dyke distribution in relation to the structure of the basalts of Eastern Iceland. Journal of Geology, 68, pp. 515-527.

WESTERCAMP D. (1972)

Contribution à l'étude du volcanisme en Martinique. Thèse 3ème cycle, Université de Paris Sud, Orsay, 278 p.

WESTERCAMP D. (1976)

Pétrologie de la dacite à grenat de Gros Ilet, Martinique, Petites Antilles Françaises. Bulletin du BRGM, section IV, n° 4.

WESTERCAMP D., MERVOYER B. (1976)

Les séries volcaniques de la Martinique et de la Guadeloupe. Bulletin du BRGM, section IV, n° 4.

WESTERCAMP D. (1978)

Une contribution à l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Martinique : relations entre les phénomènes hydrothermaux anciens et récents et les structures volcano-tectoniques profondes et de surface. Rapport BRGM 78 ANT 33.

WESTERCAMP D. (1979)

Diversité, contrôle structural et origines du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles. Bulletin BRGM IV (3/4), 211-226.

WESTERCAMP D., TAZIEFF H. (1980)

Guide géologique régional (Martinique et Guadeloupe). MASSON (1980).

WESTERCAMP D. (1981)

Distribution and volcano-structural control of zeolites and other amygdale minerals in the island of MARTINIQUE. FWI. Journal of volcanology and geothermal research 11 (1981), 353-365.

WESTERCAMP D. (1982)

Premiers éléments vers la sélection de sites géothermiques en Martinique. Rapport BRGM 82 SGN 192 GTH.

WESTERCAMP D., TRINEAU H.

Carte géologique de la Montagne Pelée, 1/20 000, BRGM, 1983.

WESTERCAMP D.

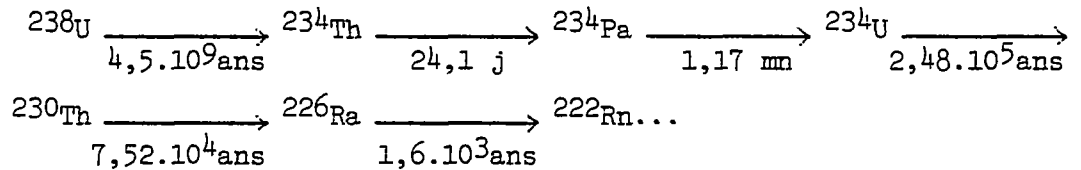
Carte géologique de l'île de la Martinique, 1/50 000, BRGM, (à paraître).

A N N E X E S

DATATIONS PAR SPECTROMETRIE ALPHA
(METHODE ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th) D'ECHANTILLONS
DE DEPOTS HYDROTHERMAUX SILICEUX.

1) Méthode utilisée

Au moment de leur cristallisation, les travertins "piègent" dans leur réseau cristallin des ions uranyles en solution dans l'eau, tandis que le thorium, peu soluble en est normalement absent. Après cristallisation, les isotopes ^{238}U et ^{234}U décroissent avec le temps, d'après la chaîne de désintégration ci-dessous :



En l'absence de ^{230}Th au moment du dépôt, vérifiée par l'absence du thorium naturel : ^{232}Th , la connaissance des rapports d'activités $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ et $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ permet de déduire le temps qui s'est écoulé depuis la formation du travertin jusqu'à aujourd'hui, d'après l'équation suivante :

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}} = \frac{1 - e^{-\lambda_{230}t}}{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}} + \left(1 - \frac{1}{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}} \right) \left(\frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}} \right) \left(1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})t} \right)$$

Si le thorium naturel est présent il est nécessaire de tenir compte d'une présence de ^{230}Th initial. Sur un même site, le rapport initial $\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}$ des solutions hydrothermales peut être considéré comme constant ; dans ce cas si les échantillons étudiés sont synchrones un alignement dans un diagramme $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = f(^{234}\text{U}/^{232}\text{Th})$ doit être observé, la pente de la droite donnant l'âge du dépôt.

2) Séparations chimiques de l'Uranium et du Thorium

La procédure chimique de séparation utilisée est issue des travaux de Ku (détail en annexe). Le traceur utilisé pour la dilution isotopique, inclus dans l'échantillon au moment de l'attaque est un traceur double ^{232}U - ^{228}Th (les deux isotopes sont à l'équilibre) de teneur 7,7 dpm/g.

.../...

Les comptages alpha sont effectués sur une chaîne équipée d'un détecteur Ortec EG et G 576 au silicium à barrière de surface avec préamplificateur et amplificateur incorporés, relié à un analyseur multicanaux Ortec 7100. La résolution en énergie est de 20 keV. Aucune contribution d'un pic sur l'autre n'est enregistrée. Les barres d'erreurs sur les rapports $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ et $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ reportés dans le tableau 1, sont données à 1σ près.

3) Résultats

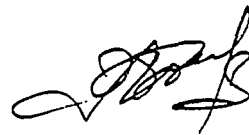
ECHANTILLON	U ppm	Th ppm	Th/U	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$
MC 2	1.065	2.42	2.27	1.07 ± 0.04	1.21 ± 0.13	1.44 ± 0.19	0.84 ± 0.11
MC 7	0.161	0.204	1.27	1.39 ± 0.15	4.21 ± 0.42	2.41 ± 0.48	1.75 ± 0.35
MC 30	2.03	0.242	0.119	1.25 ± 0.10	29.3 ± 0.2	31.8 ± 0.4	0.92 ± 0.12
MC 56	0.467	1.400	3.00	1.19 ± 0.06	1.23 ± 0.10	1.22 ± 0.13	1.01 ± 0.11
MC 65 6	0.326	0.462	1.42	1.03 ± 0.12	2.38 ± 0.20	2.22 ± 0.35	1.07 ± 0.30
MC 82	0.537	2.26	4.21	1.13 ± 0.07	1.09 ± 0.08	0.82 ± 0.14	1.33 ± 0.26
MC 99	1.608	4.70	2.92	1.09 ± 0.06	1.54 ± 0.15	1.15 ± 0.16	1.34 ± 0.20
PREDOSAGES EN URANIUM							
MC 2	1.10						
MC 56	0.52						

TABLEAU 1

Teneurs en U et Th (exprimées en ppm) et rapports d'activités d'isotopes
utilisés en géochronologie U - Th

(ECHA...TILLON :	U _{peem}	Th _{peem}	Th/Li	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$
(:	:	:	:	:	:	:	:
MC 2 - 2	0.83	2.04	2.45	1.16 ± 0.05	1.36 ± 0.05	1.44 ± 0.12	0.95 ± 0.09
MC 7 - 2	0.122	0.094	0.774	1.13 ± 0.08	4.95 ± 0.35	4.47 ± 0.45	1.11 ± 0.12
MC 30 - 2	1.86	0.193	0.104	1.17 ± 0.02	35.2 ± 1.8	34.6 ± 2.2	1.02 ± 0.04
MC 80	0.23	0.46	2.00	1.21 ± 0.02	1.66 ± 0.03	1.80 ± 0.03	0.92 ± 0.03
MC 2-3	0.07	1.77	23.92	1.16 ± 0.06	1.39 ± 0.02	1.44 ± 0.06	0.97 ± 0.06
MC 167	0.84	0.09	0.104	1.00 ± 0.01	26.35 ± 0.05	27.51 ± 0.06	0.96 ± 0.02

L'ingénieur Responsable



PH. HOLLIGER

DEPARTEMENT LABORATOIRES

SERVICE DE MINERALOGIE

ETUDE M ...4381.....

DEMANDEUR : *M. CHOVELON P.*.....

Références Demandeur :

GTH

WZ 923

GALLAS A.M. - PILLARD F.

J. Gallas
F. Pillard

ANALYSE MINERALOGIQUE
PAR DIFFRACTOMETRIE DE RAYONS X

CONDITIONS OPERATOIRES :

APPAREILLAGE UTILISE : *APD 10 Philips*..... RAYONNEMENT : *COK α*
MONOCHROMATEUR : *graphite*..... COMPTEUR : *proportionnel*.....
REGIME DE FONCTIONNEMENT*45*..... KV*35*..... MA.
SECTEUR EXPLORE : DE *2*..... ° θ à *35*..... ° θ pour les échantillons tout-venant.
DE *1*..... ° θ à *18*..... ° θ pour les fractions argileuses.
VITESSE D'EXPLORATION DU COMPTEUR : °0 par
SENSIBILITE : *1000 cps/s*..... pour les échantillons tout-venant.
2000 cps/s..... pour les fractions argileuses.
INERTIE :*4 s*..... MONTAGE : *par flexion*.....

MODE DE PREPARATION DES ECHANTILLONS :

ECHANTILLONS TOUT-VENANT :

BROYAGE :*oui*.....
ATTAQUE :
SEPARATION :
CHAUFFAGE :
.....

FRACTION ARGILEUSE :

ATTAQUE :
SEPARATION :
CENTRIFUGATION :*oui*.....
CHAUFFAGE :*2H. à 550° C*.....
SATURATION :*par éthylène glycol*.....
.....

ECHANTILLONS	ECHANTILLONS TOUT-VENANT (ABREVIATIONS : TA : très abondant - A : abondant - P : présent - F : faible - Tr : traces)*														Ech. à reprendre en fraction argileuse					OBSERVATIONS								
	QUARTZ	FELDSPATH		CALCITE	DOLOMITE	GYPSE	ANHYDRITE	GÉHÉNITE	HEMATITE	GIBBSITE	MICA	Barroisite	Syringite	KAOLINITE	Autres Minéraux													
		PLAGIO	K.												Illite	Smectite	Opale	CRISTO-BAULITE	TRIDYMAK		HEM-DALGITE							
MC 3	P														Tr													
MC 4	Tr																											
MC 5	F	P																										
MC 9	Tr																											
MC 10																												
MC 12																												
MC 13																												
MC 14		F																										
MC 16	F																											
MC 17	F																											
MC 19 A*																												
MC 22	TA																											
MC 23	A																											
MC 24																												
MC 25	Tr (probable)																											
MC 26																												

FRACTION ARGILEUSE (Estimation quantitative du rapport entre eux des minéraux argileux sur une base décimale)

	KAOLINITE	SERPENTINE	CHLORITE	VERMICULITE	SMECTITE (Non-Mercurite)	ILLITE	SERPENTINE	ATTAPULGITE	Interstratifiés	TALC	méta-halloysite						OBSERVATIONS
MC 19 A					2	2					6						(pour confirmation)
MC 29						2					8						(pour confirmation)
MC 91	On constate la présence de métahalloysite dans l'échantillon, le reste étant probablement amorphe aux rayons X																
MC 119 B	Confirmation de présence d'illite et de smectite dans l'échantillon en quantité relativement faible																
MC 87 B					5	5											(pour confirmation)

ECHANTILLONS	ECHANTILLONS TOUT-VENANT (ABREVIATIONS : TA : très abondant - A : abondant - P : présent - F : faible - Tr : traces) * <i>Ech. à reprendre en fraction argileuse</i>																	OBSERVATIONS						
	QUARZ	FELDSPATH		CALCITE	GYPSE	MORDEME	PYRROPHYLITE	GREENITE	HEMATITE	DOLOMITE	MICA	BRASSITE	PYRITE	KAOLINITE	Autres Minéraux									
		PLAGIO.	K.												ILLITE	SMECTITE	OPALE		CHLORITE	TRONDJE	FERRO-GLAUCONITE	MONTMORILLONITE		
MC 72 B	TA							Tr	Tr			Tr	*	F										* Pyrite observée sous la loupe binoculaire
MC 79	P													TA			Tr							
MC 81	A							F				F		Tr										
MC 87 A	A	F												F	Tr	A								
MC 87 B *	A	Tr									A			F										F
MC 90	A					A		F (probable?)																F
MC 96	Tr			Tr				P	P															F
MC 106																								F
MC 118		P																						A
MC 119 A	Tr	A													P									
MC 119B	A	P								F (probable)				F		Tr?								
MC 121		A														A						P		** Inclusion millimétrique blanchâtre dans la masse : RX ponctuel
MC 125					TA																			D.S : quartz + traces kaolinite
MC 75 **	TA													F	F									
MC 18																P		A						

FRACTION ARGILEUSE (Estimation quantitative du rapport entre eux des minéraux argileux sur une base décimale)

KAOLINITE	SERPENTINE	CHLORITE	VERMICULITE	SMECTITE (Montmorillonite)	ILLITE	SEPIOLITE	ATTAPULGITE	Interstratifiés	TALC														OBSERVATIONS

Voir au verso les remarques et commentaires

Sur les échantillons MC 15 - MC 36 - MC 73 ont été effectués des prélèvements ponctuels en Debye Scherrer (chambre de 240 mm , rayonnement CuK α filtré Ni). Les résultats sont les suivants :

MC 15 : placage beige verdâtre lustré : montmorillonite

MC 36 : Matériel blanchâtre pulvérulent : quartz abondant + montmorillonite un peu moins abondante.

MC 73 : Matériel blanc pulvérulent en remplissage des vacuoles : kaolinite abondante + traces de sidérite + traces de quartz

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL

Département : M.G.A., le 9 avril 1984

Demandeur : M. CHOVELON - GTH

Service : MINERALOGIE

V/Réf. :

N/Réf. : M. 5230

Provenance :

RESULTATS D'ETUDES
DETERMINATION MINERALOGIQUE D'ECHANTILLONS
DE LA MARTINIQUE

Les déterminations ont été effectuées par diffractométrie de rayons X (Appareillage Philips PW 1730/APD 10, rayonnement CoK α - 45 KV/35 mA. monochromateur arrière graphite) sur les échantillons bruts ou séparés suivant les faciès observés sous la loupe binoculaire. Les argiles pour quelques cas particuliers, ont été extraites et identifiées à partir de lames orientées normales, glycolées et chauffées à 490°C pendant 4 heures.

Les résultats sont les suivants :

MC 130 (42859) - Croûte incole à légèrement grisâtre :

Calcite TA

-Phase brun-noirâtre "cireuse" à cassure conchoïdale, souvent emprisonnée par la calcite :

Plagioclase A

Montmorillonite A

Calcite F

Tridymite F

MC 131 (42 860) - Croûte siliceuse ou argilo-siliceuse consolidée vert bronze à noir :

Montmorillonite A

Plagioclase P

Tridymite F

MC 135 (42 864) - Croûte blanc-jaunâtre de 3-4 mm d'épaisseur :

Barytine : TA

MC 136 (42 865) - cristaux rhomboédriques centimétriques de calcite accolés à une gangue pulvérulente gris-foncé :

calcite TA

Quartz F

Montmorillonite F

MC 138 (42867) - Croûte centimétrique composée de baguettes clivées et tronquées de plusieurs millimètres :

Laumontite P

Quartz A

MC 142 A (42871) - "Gel" d'hydroxydes de fer consolidé, présentant une cassure conchoïdale marron-roux :

goethite TA mal cristallisée

Montmorillonite F

MC 144 (42874) - Phase argilo-siliceuse consolidée :

Halloysite 7 Å A

Tridymite P

Quartz Tr

MC 145 (42875) - Bloc siliceux à cassure conchoïdale lisse, de couleur brune :

Tridymite A

Montmorillonite P

MC 147 (42877) - Croûte jaune-verdâtre à l'aspect savonneux :

Montmorillonite TA

Tridymite P

MC 148 (42878) - Phase argileuse consolidée au toucher "savonneux" :

Montmorillonite TA

Tridymite P

MC 163 (42893) - Roche argileuse consolidée vert-grisâtre :

Montmorillonite TA

Plagioclase F

Quartz Tr

MC 169 (42899) - Fragment carbonaté contenant des résidus de roche altérée (en partie argilisée) :

calcite TA
Montmorillonite F
Heulandite F
Stilbite Tr (probable)
Quartz Tr

MC 171 (42 901) - bloc siliceux vert à brun-jaunâtre, d'aspect jaspé :

Tridymite TA
Montmorillonite A

MC 176 - Phase gris-verdâtre indurée devenant parfois pulvérulente :

Montmorillonite A
Sidérite P
Plagioclase F
Tridymite F
Cristobalite F
Quartz Tr

- accolée à une seconde presque incolore, translucide, plus siliceuse :

Quartz A
Tridymite F
Sidérite Tr
Montmorillonite Tr (probable)

MC 178 A - Rognons siliceux :

Quartz TA
Cristobalite Tr

- recouverts d'une phase argilo-siliceuse contenant vraisemblablement quelques hydroxydes de fer amorphes :

Halloysite 7 Å P
Quartz P
Cristobalite P

MC 180 - Phases contenues dans de grosses vacuoles de la roche ; présentant un éclat très brillant et une couleur beige-rosé :

Plagioclase TA
Quartz Tr

MC 181 A - Croûte calcaire de 1 cm d'épaisseur, accolée à une roche très altérée :

Calcite TA

Quartz Tr

La roche est composée de :

Montmorillonite P

K Feldspath F

Plagioclase P

Sidérite F

Calcite Tr

Quartz Tr

MC 181 B - Croûte dentelée de 2 à 4 mm d'épaisseur, incolore translucide :

Calcite TA

Croûte plus fine, de couleur beige-crème :

Sidérite F

MC 186 (42916) - Croûte siliceuse avec encroûtement jaune-brun :

Quartz TA

Montmorillonite F

Plagioclase Tr

MC 133 (42862) - Phase argileuse plastique vert-grisâtre avec une zone brun-rouille :

Montmorillonite : A

Halloysite à 7 Å P

Quartz : Tr

Cristobalite Tr

(localement, hydroxydes de fer amorphes probables)

MC 134 (42863) - Phase argileuse jaune-verdâtre à l'aspect savonneux :

Montmorillonite : TA

Halloysite à 7 Å P

Tridymite Tr (probable)

MC 139 (42868) - Roche altérée probablement, pulvérulente, grise à jaune-brun ; hydroxydes de fer bruns par endroits :

goethite : A (mal cristallisée)

Cristobalite P

Halloysite à 7 Å F

Quartz Tr

Montmorillonite Tr

MC 137 (42866) - Galet présentant une texture interne stratifiée (bandes incolores très brillantes et bandes blanches, opaques) :

Calcite A

Plagioclase F

Stilbite F

Montmorillonite F

MC 141 (42870) Masse brune pulvérulente contenant certainement beaucoup d'hydroxydes de fer et d'argile :

Goethite A (mal cristallisée)

Montmorillonite A

Halloysite 7 Å Tr

MC 143 (42873) - Phases à l'aspect cireux, de consistance très molle ; l'une rouge violacé, l'autre jaune ocre et de moindre importance :

Montmorillonite A

Halloysite 7 Å P

Cristobalite P

Quartz Tr

Hématite F

Goethite Tr

MC 146 (42876) - Croûte beige-marron de 3-4 mm d'épaisseur :

Goethite A (mal cristallisée)

Hématite Tr (probable)

Montmorillonite P

Sépiolite P

MC 153 (42883) - Phase jaune-verdâtre d'aspect plastique :

Montmorillonite TA

Halloysite à 7 Å Tr (probable)

Tridymite F

-Enduit noir pulvérulent accolé :

Manjiroïte A (mal cristallisée)

$\text{NaMn}_8\text{O}_{16} \cdot \text{nH}_2\text{O}$ (analogue sodifère du cryptomélane)

Montmorillonite A

Tridymite Tr (probable)

MC 158 (42888) - Fragments centimétriques blanc-jaunâtre polyphasés ;

Illite P

Halloysite à 7 Å P

Plagioclase F

Quartz Tr

Goethite Tr probable

MC 157 A (42887) - Phase "savonneuse" très tendre :

Montmorillonite P

Halloysite à 7 Å A

Tridymite F probable

Quartz Tr

MC 157 B (42887) - Phase argileuse vert-kaki à l'aspect savonneux :

Montmorillonite A

Halloysite à 7 Å P

Cristobalite F

Quartz Tr

Feldspath Tr (probable)

MC 159 (42889) - Croûte composite silico-argileuse gris-verdâtre :

Quartz F

Plagioclase F

Epidote F (probable)

Montmorillonite A

Halloysite 7 Å F

Illite Tr (probable)

MC 178 B - Quartz TA en cristallites allongés présentant des faces millimétriques

Une phase argileuse est souvent accolée :

Halloysite à 7 Å P

Montmorillonite Tr (probable)

Quartz F

Cristobalite P

Hématite Tr (probable)

MC 166 A - Rognon de silice :

Quartz TA

- recouvert en petite partie par une phase argilo-siliceuse :

Quartz A

Montmorillonite P

Plagioclase Tr

MC 166 B - Placage blanc luisant :

Calcite TA

Quartz Tr

Plagioclase Tr

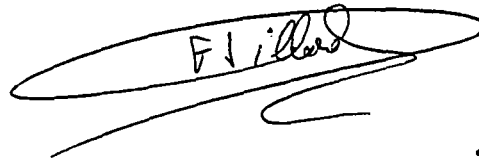
Les abréviations employées pour l'échelle de fréquence signifient :

TA : très abondant - A : abondant - P : présent - F : faible -

Tr : traces.

F. PILLARD

A.M. GALLAS

Handwritten signature of F. Pillard, written in cursive and underlined.Handwritten signature of A.M. Gallas, written in cursive and underlined.

