

AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE  
A.F.M.E.

JR

# RÉÉVALUATION GÉOCHIMIQUE DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DE L'ILE DE LA MARTINIQUE

B. R. G. M.
29. OCT. 1984
BIBLIOTHEQUE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

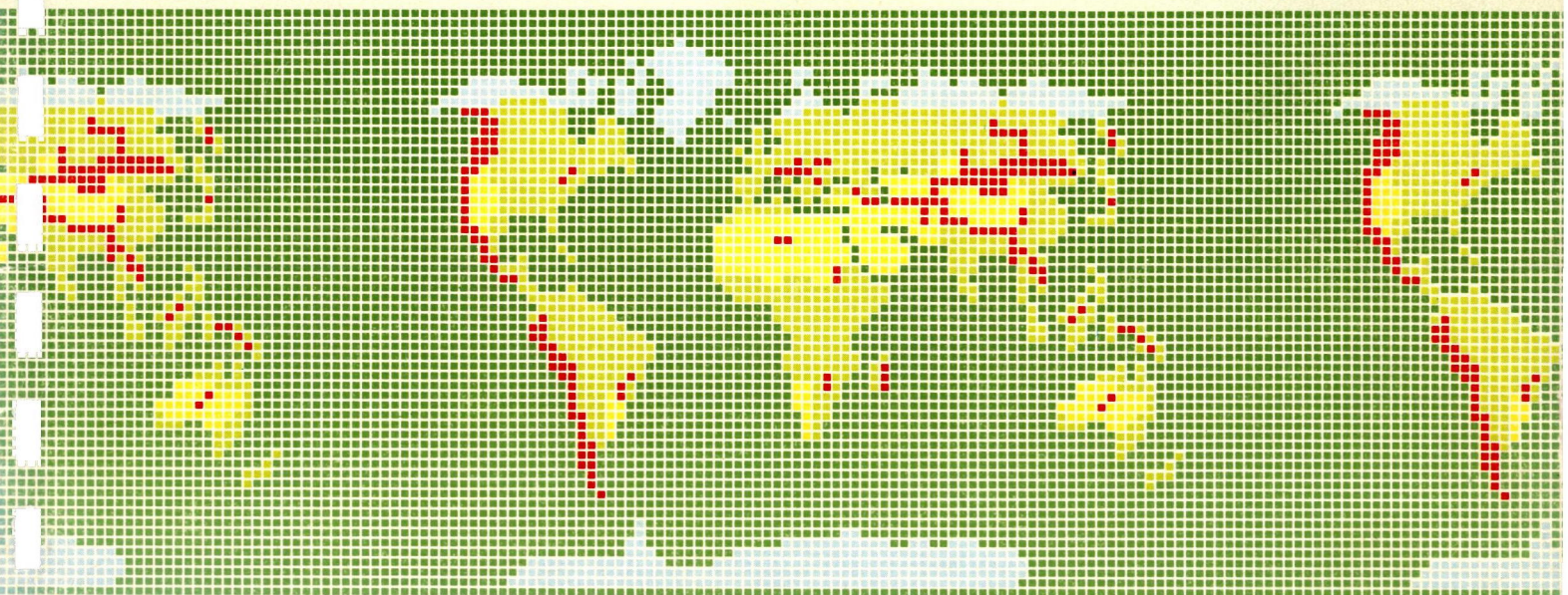
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département Géothermie et Hydroénergie



Rapport du B.R.G.M.

**84 SGN 292 GTH**



RAPPORT 84 SGN 292 GTH

AFME (5 ex.)

J. GOGUEL

SDE

SGN/DOC (2 ex.)

DD/A

M. BOUVET

J. DEMANGE

F. IUNDT

P. CHOVELON

A. GERARD

D. WESTERCAMP

Service Exploration

DOC GTH (9 ex.)

**AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE**

**A.F.M.E.**

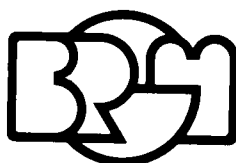
Tour Béarn - 27, rue Louis Vicat - 75737 PARIS Cedex 15

# **RÉÉVALUATION GÉOCHIMIQUE DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DE L'ILE DE LA MARTINIQUE**

par

**F. IUNDT \***

\* Institut Mixte de Recherches Géothermiques



**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 292 GTH**

## R E S U M E

-----

Le présent rapport géochimique est une réévaluation du potentiel géothermique de l'île de la Martinique. Pour ce faire, nous avons sélectionné les sources thermales les plus représentatives de la région du Lamentin, de Morne Rouge-Piton du Carbet, de la Montagne Pelée et de la région du Diamant. Nous les avons échantillonnées puis nous avons réalisé une série d'analyses détaillées.

Il apparaît que les flancs de la Montagne Pelée seraient favorables à la présence d'eau géothermale à environ 200°C. Une étude géochimique plus détaillée permettrait de mieux préciser les fractions de mélange ainsi que de confirmer la température profonde du réservoir.

La plaine du Lamentin ainsi que la zone de la source Diamant présentent les indices classiques des champs géothermiques haute énergie où des fuites de vapeur et/ou de gaz viennent réchauffer un aquifère superficiel qui alimente les sources. Selon le modèle hydrogéochimique proposé, le forage profond LA 101 réalisé en 1969 serait situé sur la bordure du gisement. C'est en se rapprochant des travertins siliceux de Château Lézard qu'on enregistre les fuites du réservoir profond les plus directes. Une campagne de prospection des gaz CO<sub>2</sub>, He, radon, confirmerait l'activité encore présente du système et permettrait de définir l'implantation d'un forage géothermique.

La zone Morne Rouge-Piton du Carbet ne présente pas d'anomalies géochimiques, ce qui conduit à penser que cette zone ne possède pas de possibilité évidente de géothermie haute enthalpie.

## S O M M A I R E

-----

1 - INTRODUCTION.....	1
1.1. - Historique des recherches géothermiques en Martinique....	1
1.2. - But du présent rapport.....	1
2 - BASE DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE.....	2
2.1. - Localisation des prélèvements.....	2
2.2. - Prélèvements et analyses de terrain.....	2
3 - INTERPRETATION DES RESULTATS.....	4
3.1. - Zone de la Montagne Pelée.....	4
3.2. - Zone de Morne Rouge-Piton du Carbet.....	9
3.3. - Zone du Lamentin.....	10
3.4. - Zone de la source du Diamant.....	15
4 - CONCLUSION.....	15
RESULTATS D'ETUDES	
ANALYSE CHIMIQUE DES EAUX PRELEVEES.....	17
ANALYSE ISOTOPIQUE DES EAUX PRELEVEES.....	18
ANALYSE DES GAZ LIBRES ET DISSOUS.....	19
BIBLIOGRAPHIE.....	20

## LISTE DES FIGURES

-----

Figure 1 : Localisation des sources thermales et minérales

Figure 2 : Diagramme deutérium-oxygène

Figure 3 : Sources de la Montagne Pelée

Figure 4 : Relation température-silice

Figure 5 : Teneur en mercure dans les sols du Lamentin

Figure 6 : Modèle hydrogéochimique de la région du Lamentin

## 1 - INTRODUCTION

### 1.1. - Historique des recherches géothermiques en Martinique

Les premières campagnes de prospections géothermiques ont été réalisées par la société Eurafrep de 1966 à 1971 (CORMY et al, 1969, 1980) aboutissant à la réalisation d'un sondage profond (771,5 m) dans la plaine du Lamentin mais qui n'a pas mis en évidence de gisement haute énergie (DEMIANS D'ARCHIMBAUD, 1969) ; le forage a rencontré un aquifère basse température. En novembre 1976, le B.R.G.M. entreprend l'étude géochimique des sources thermales et minérales de la Martinique (LOPOUKHINE et MOURET, 1977) mais aucun élément nouveau n'a pu être apporté concernant l'existence d'éventuels réservoirs haute énergie.

Parallèlement, deux études hydrogéologiques furent réalisées : l'une sur l'hydrogéologie du bassin versant de la rivière Capot, sur les flancs de la Montagne Pelée (MOURET, 1979) ; l'autre sur l'hydrogéologie de la Martinique (CAYOL, 1975). Ces travaux apportent de précieux renseignements sur la climatologie de l'île et sur les caractéristiques des eaux de la Martinique mettant en évidence des anomalies de circulation d'eaux minérales dans les aquifères superficiels.

### 1.2. - But du présent rapport

L'augmentation du nombre des champs géothermiques exploités apporte une meilleure compréhension des eaux géothermales des gisements et de leurs relations avec les manifestations de surfaces (sources thermales, fumerolles, etc...).

Nous possédons maintenant beaucoup plus d'informations sur les différentes caractéristiques chimiques des eaux rencontrées dans les systèmes géothermaux. Des études ont mis en valeur l'importance de la distribution de certains types d'eaux représentatives de dessus de gisements haute énergie (ELLIS et MAHON, 1977 ; MAHON et al, 1980). Des aquifères de moyenne énergie (inférieur à 150°C) considérés dans le passé comme secondaires ont pu être expliqués comme des aquifères réchauffés par de la vapeur d'un réservoir géothermal haute température plus profond.

Les progrès de la chimie analytique permettent de réaliser maintenant des analyses d'eaux plus détaillées et de mesurer certains éléments traces que l'on sait passer préférentiellement en solution à haute température (As, Cs, Rb, etc...).

Il nous est donc apparu utile de réévaluer le potentiel géothermique haute énergie des différentes zones thermales de la Martinique en cherchant à mettre en évidence d'éventuelles anomalies géochimiques.

## 2 - BASE DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE

### 2.1. - Localisation des prélèvements

Quatre zones thermales ont été visitées : les trois déjà signalées par les études précédentes (LOPOUKHINE et MOURET, 1977) :

- . zone du Lamentin,
- . zone du Morne Rouge-Piton du Carbet,
- . zone de la Montagne pelée,

ainsi que celle mise en évidence par ses importantes minéralisations hydrothermales (WESTERCAMP, 1978) :

- . zone du rocher du Diamant.

Nous avons prélevé dans chaque zone quelques sources ; les plus représentatives. La figure 1 présente les sources thermales existantes ainsi que celles prélevées au cours de cette étude avec les zones thermales respectives. Nous avons réalisé sur chaque échantillon une série détaillée d'analyses chimiques et isotopiques afin de mettre en évidence d'éventuelles anomalies géochimiques.

### 2.2. - Prélèvements et analyses de terrains

Pour chaque point d'eau, nous avons effectué plusieurs prélèvements avec des conditionnements spécifiques en vue des différentes analyses. Ceci afin d'éviter, après le prélèvement, toute éventuelle modification de la composition chimique due à des précipitations ou redissolutions secondaires :

- . 1 flacon 250 cc d'eau filtrée (0,45  $\mu$ m) et acidifiée (pH : 1, HNO<sub>3</sub>) pour l'analyse des cations,
- . 1 flacon 250 cc d'eau filtrée (0,45  $\mu$ m) pour l'analyse des anions,
- . 1 flacon 150 cc d'eau filtrée (0,45  $\mu$ m) et acidifiée (pH : 3, HCl) pour l'analyse de l'ammoniaque,
- . 1 flacon 50 cc d'eau filtrée (0,1  $\mu$ m) et acidifiée (pH : 1, HNO<sub>3</sub>) pour l'analyse des éléments traces,
- . 1 flacon 1000 cc pour l'analyse isotopique (deutérium, oxygène 18, soufre 34 des sulfates),
- . 1 ampoule sous vide munie d'un robinet à graisse pour l'analyse des gaz dissous,
- . 1 ampoule munie d'un robinet en téflon pour l'analyse des gaz libres.

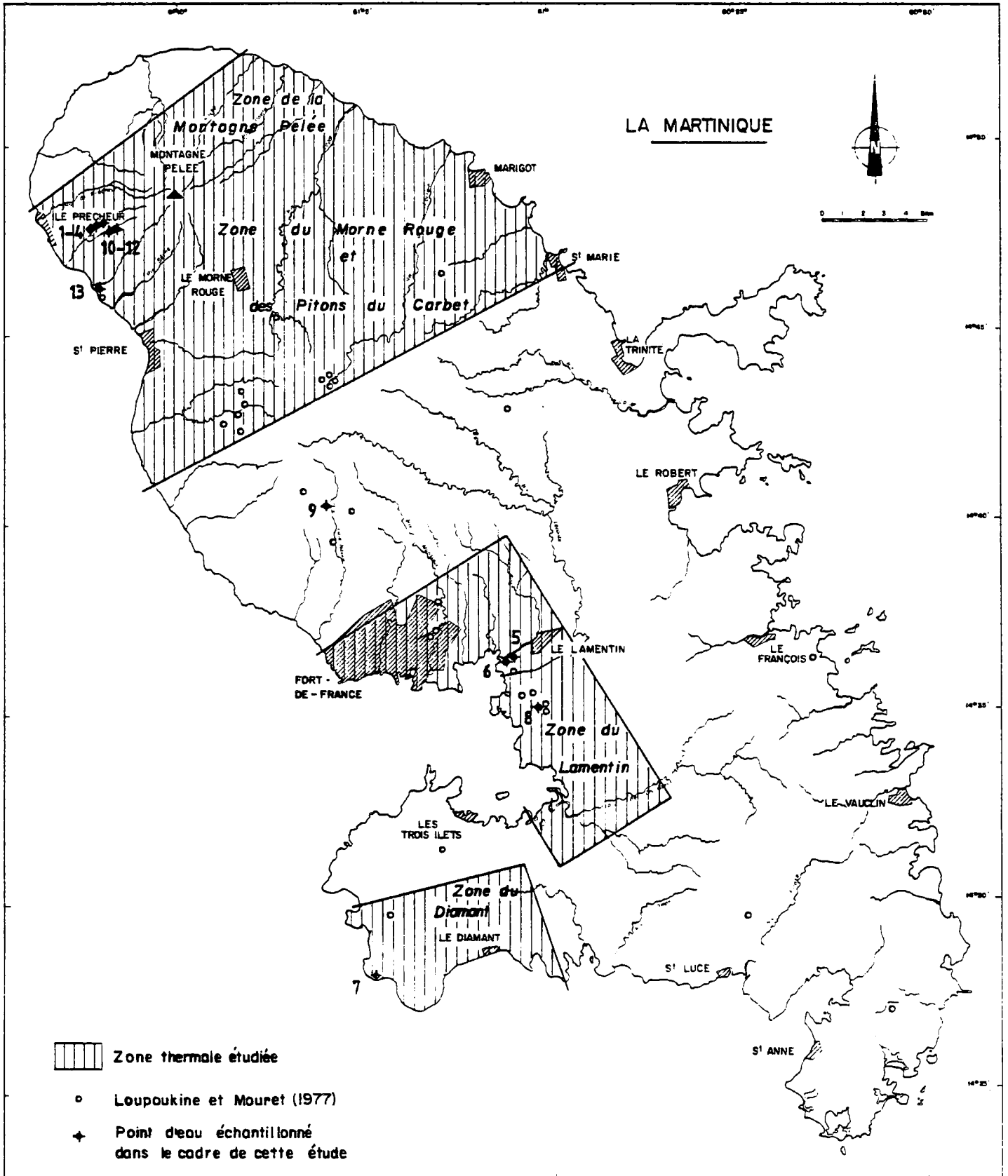


FIG. 1

LOCALISATION DES SOURCES THERMALES ET MINERALES

Plusieurs mesures in situ ont été réalisées à l'émergence :

. température, résistivité, estimation du débit.

Certains éléments non conservatifs ont été analysés sur le terrain :

. pH à la température de l'émergence,  $\text{HCO}_3^-$ .

### 3 - INTERPRETATION DES RESULTATS

#### 3.1. - Zone de la Montagne Pelée

Pour cette zone, au total, sept échantillons ont été prélevés : quatre dans la rivière Mitan et trois dans la rivière Chaude (fig. 1).

##### - Rivière Mitan

1 eau de surface (n° 4 : 25,8°C).

3 sources (n° 1, 2, 3) de températures faibles, légèrement supérieures à la rivière Mitan (26,3°C à 28,8°C). Ce très faible écart de température par rapport aux eaux superficielles s'accompagne d'une légère augmentation de la minéralisation des eaux. On peut penser que ces anomalies sont dues à la participation d'une eau géothermale dans les eaux de surface. Il est toutefois difficile de quantifier ce mélange car la proportion d'eau chaude profonde est insignifiante. De ce fait, il est impossible de calculer ou d'estimer le "pôle" chaud de ce système.

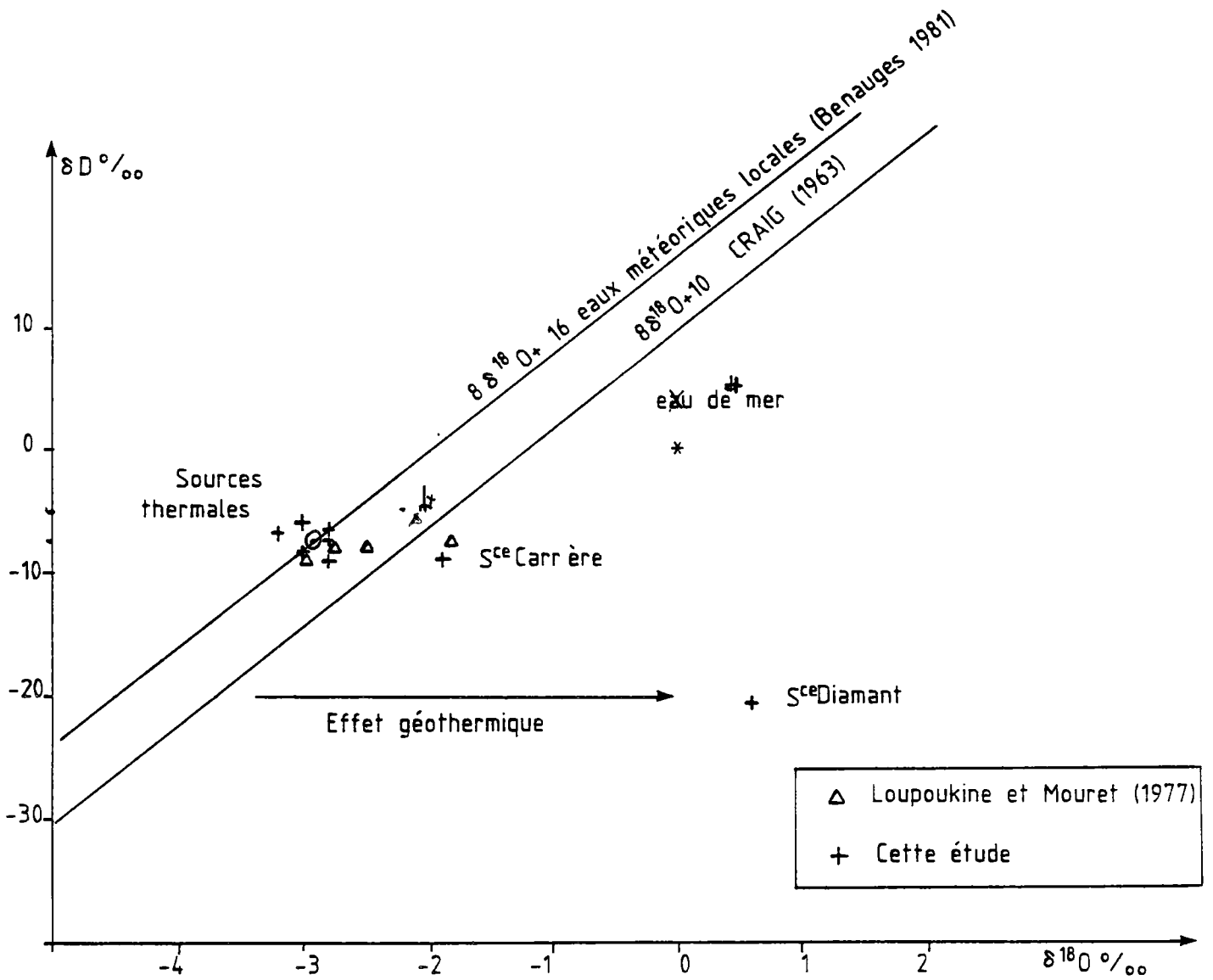
##### - Rivière Chaude

1 eau de surface, la rivière Chaude (n° 12 à 32°C).

2 sources thermales (n° 10 et 11). Ces deux échantillons ont été choisis parmi le grand nombre de sources présentes en bordure de la rivière Chaude. Toutes ces émergences s'étendent sur plus de deux cent mètres et possèdent des températures variables. Nous avons prélevé la plus chaude (n° 10 : 61°C) et une de température intermédiaire (n° 11 : 42,2°C). La composition chimique de ces sources thermales est essentiellement bicarbonatée chlorurée sodique.

Les compositions isotopiques en deutérium et oxygène des eaux thermales et des eaux de surface se regroupent dans un domaine très restreint qui se place bien le long de la droite des eaux météoriques locales (fig. 2). Cette similitude des compositions isotopiques permet de penser que ce sont les eaux de surface locales qui sont à l'origine de l'alimentation des eaux géothermales de la rivière Chaude.

FIG. 2 : DIAGRAMME DEUTERIUM - OXYGENE



Comme on pouvait s'y attendre, les échantillons prélevés représentent un mélange entre un pôle géothermal et des eaux superficielles.

Pour tracer ce phénomène de dilution, nous utiliserons les concentrations en chlorure des échantillons car c'est un élément limité par des espèces fortement solubles. Il est peu sujet à la précipitation et c'est donc un excellent indicateur de mélange.

On a reporté dans un diagramme (fig. 3) les différents paramètres physico-chimiques en fonction des concentrations en chlorure, pour chaque échantillon. On constate que la relation chlorure-température met nettement en évidence le modèle de mélange ainsi que pour la silice et le sodium.

Par contre, les corrélations sont beaucoup moins nettes pour des éléments facilement perturbés lors des dilutions par les eaux de surface : Ca, Mg, SO<sub>4</sub>. Nous avons porté, à titre d'exemple dans la figure 3, l'évolution du potassium lors de la dilution. Ces perturbations secondaires vont modifier notablement les rapports Na-K, Na-Ca. Ils seront d'autant plus perturbés que la dilution sera importante. Les géothermomètres qui utilisent ces rapports montrent nettement cette évolution :

Echantillon	Temp°. émergence	Temp°. Na-K (1)	Temp°. Na-K-Ca (2)	Temp°. Quartz (3)	Temp°. Na-Li (4)
n° 10	61°	211°	155°	146°	178°
n° 11	42,2°	252°	109°	107°	217°
n° 12	32,0°	252°	188°	54°	223°

- (1) : MICHARD (1979)
- (2) : TRUESDELL (1973)
- (3) : FOURNIER et ROWE (1966)
- (4) : FOUILLAC et MICHARD (1981)

Dans un diagramme teneur en silice-température (fig. 4), on peut tracer la droite de mélange qui règle les concentrations en silice de ces trois sources.

Bien que la source n° 10 soit la moins mélangée des échantillons prélevés le long de la rivière Chaude, on peut supposer qu'elle a subi quand même une dilution.

FIG. 3 : SOURCES DE LA MONTAGNE PELEE

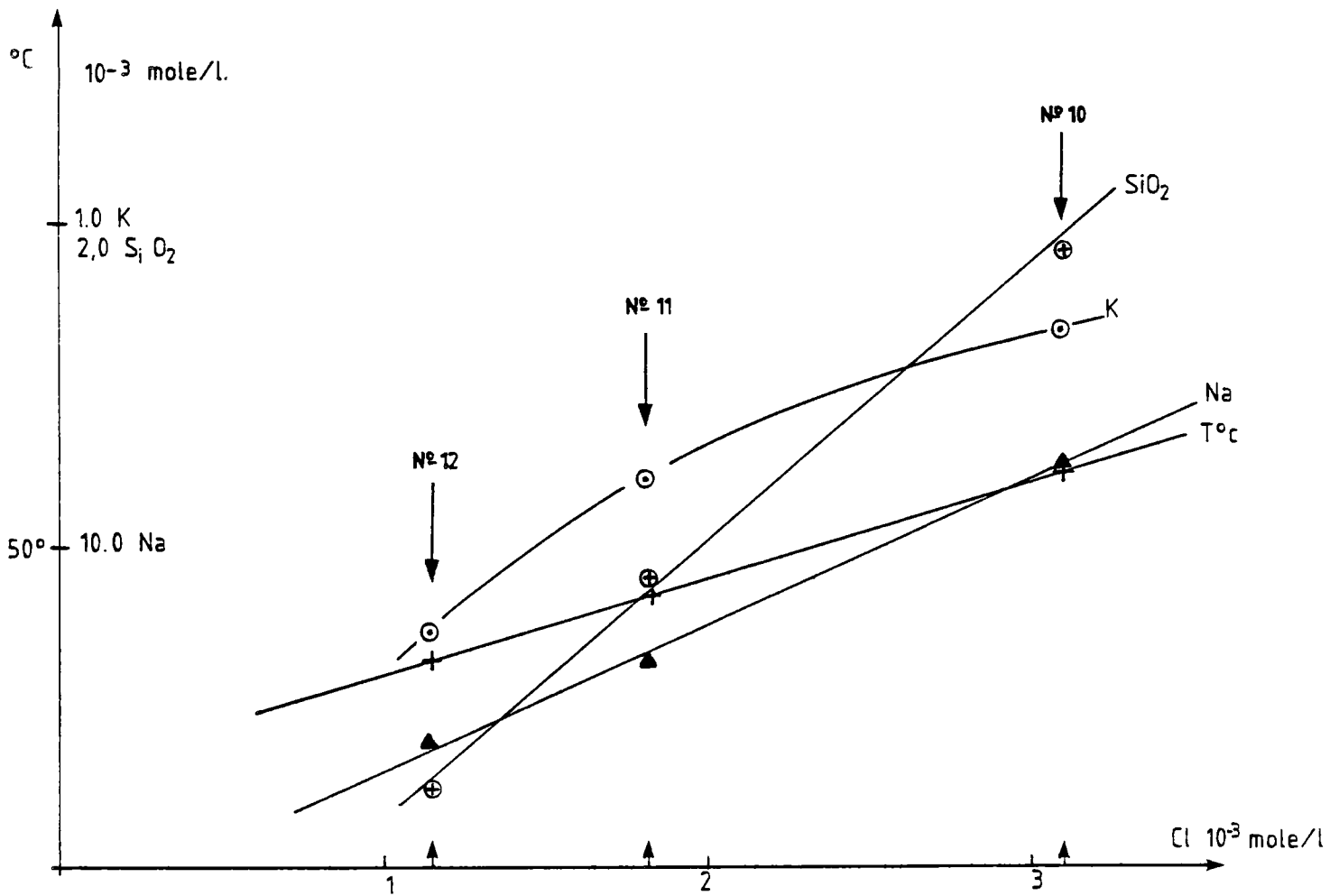
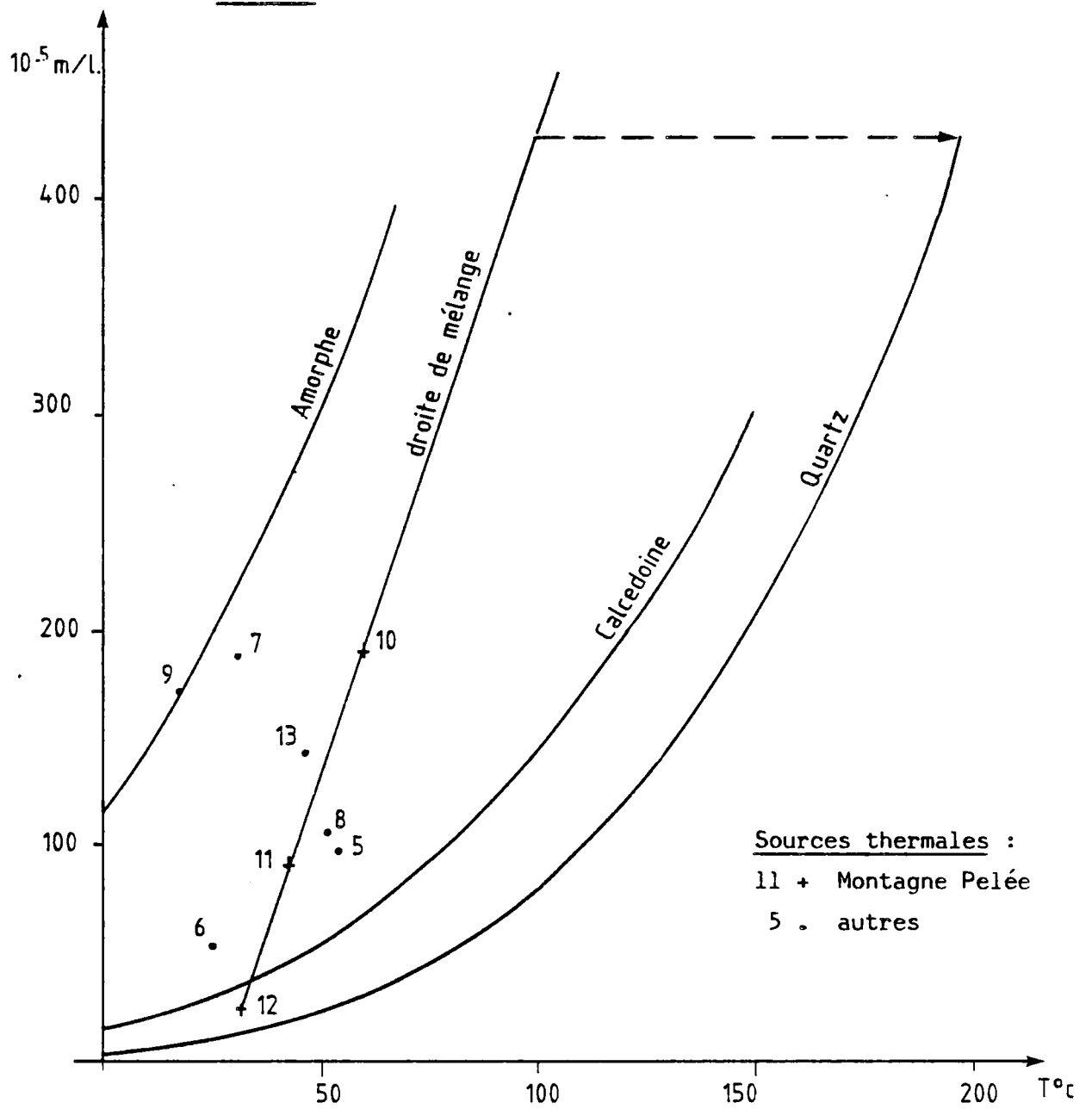


FIG. 4 : RELATION TEMPERATURE - SILICE



On pourrait alors recalculer le "pôle chaud" de ce système, (TRUEDELL et FOURNIER, 1977) considérant que les mélanges se sont faits en subsurface et donc que le fluide géothermal, avant dilution, serait proche de 100°C, température d'ébullition à pression atmosphérique.

Un simple calcul graphique (fig. 4) indique  $4,30 \cdot 10^{-3}$  mole/l en silice pour le fluide proche de 100°C en surface ; ce qui conduit à une température profonde de 198°C si l'on considère un refroidissement conductif et non adiabatique. Ceci est raisonnable étant donné l'absence de fumerolle et de vapeur en surface.

Etant donné le faible nombre d'échantillons prélevés, nous ne tenterons pas de recalculer l'ensemble des espèces dissoutes du "pôle chaud", ce n'est d'ailleurs pas le but de cette étude.

Contrairement à ce qu'il avait été avancé auparavant (CORMY et al, 1970 ; LOPOUKHINE et MOURET, 1977) où ces auteurs supposaient un lessivage de dépôt fumerollien pour ces sources, on peut présumer l'existence d'une eau géothermale haute ou moyenne enthalpie sur les flancs de la Montagne Pelée. Avec ces seuls échantillons, on peut déjà avancer des températures profondes qui sont :

Echantillon	Temp°. émergence	Temp°. Na-K	Temp°. Na-K-Ca	Temp°. Na-Li	Temp°. Quartz calculée
n° 16	61°	211°	155°	178°	198°

Au vu de ces résultats prometteurs, une étude géochimique plus détaillée sur plusieurs émergences de différentes températures permettrait de mieux identifier les proportions de mélange et aussi de mieux pouvoir préciser la température profonde. Il est important de signaler que ce type d'eau bicarbonatée chlorurée sodique est tout à fait comparable à celle rencontrée dans le premier réservoir du champ haute énergie de Krafla en Islande (à 200°) qui surmonte un réservoir biphasique à 350° (STEFANSSON, 1981).

### 3.2. - Zone de Morne Rouge-Piton du Carbet

Un échantillon a été prélevé à la source d'Absalon (n° 4 : 35,4°) et nous avons étudié les sources de la zone de Deux Choux-Rivière du Lorrain.

Les sources de la zone de Deux Choux-Rivière du Lorrain sont caractérisées par des mofettes froides de CO<sub>2</sub> avec de l'H<sub>2</sub>S qui se dégagent dans les eaux de surface. Le débit du dégagement gazeux est important. La température des eaux est identique à celle des eaux de surface. Leur minéralisation est aussi à peu près identique avec des teneurs en sulfate légèrement plus élevées, ce qui s'explique bien par l'oxydation de l'H<sub>2</sub>S par l'oxygène dissous présent dans l'eau de surface.

La source d'Absalon ne semble pas avoir atteint de forte température pendant son trajet souterrain. La silice dissoute est en équilibre avec la silice amorphe à la température d'émergence. On ne peut pas mettre en évidence d'anomalie en élément trace indicateur de haute température, ni d'élément susceptible de tracer les fuites de vapeur (bore, NH<sub>4</sub>, etc...).

Ces résultats conduisent à penser que cette zone du Piton du Carbet-Morne Rouge ne présente pas de possibilité géothermique haute énergie.

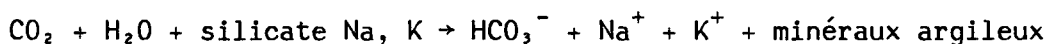
### 3.3. - Zone du Lamentin

Deux échantillons ont été prélevés dans cette région :

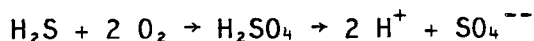
- . la source thermale de la voie ferrée (n° 5)
- . la source thermale d'Habitation Carrère (n° 8).

Les eaux sont de type chloruré sodique carbogazeux et ferrugineux. Les analyses de gaz libres et dissous montrent une prédominance pour le CO<sub>2</sub> (jusqu'à 97,1 %). Les pH sont tout à fait caractéristiques de ce type d'eau (6,30). Les résultats des analyses isotopiques montrent un léger enrichissement en oxygène 18 pour la source Carrère (fig. 2). Ce phénomène est caractéristique des eaux de champs géothermiques.

Ce type d'eau thermale a été fréquemment rencontré au-dessus des gisements géothermiques (TRUESDALL, 1976 ; MAHON et al, 1980). Quand l'eau profonde du réservoir monte vers la surface, il se produit des refroidissements adiabatiques et conductifs dépendant des vitesses de circulation. La chute de pression et/ou l'ébullition provoquent un dégazage de la solution. Les gaz passent préférentiellement dans la phase vapeur : pour 1 % de vapeur séparée, 50 % du CO<sub>2</sub> et 30 % de l'H<sub>2</sub>S sont libérés (ELLIS et MAHON, 1977). Les gaz CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc... vont donc migrer avec la vapeur et réchauffer les eaux météoriques froides superficielles. Après dissolution, les gaz acides CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, particulièrement agressifs vont donner lieu à de nombreuses réactions chimiques produisant les quantités de bicarbonates, sodium et sulfates que l'on trouve dans ces eaux thermales. Le CO<sub>2</sub>, par interaction avec les silicates sodiques et potassiques, va former des bicarbonates, des micas et des minéraux argileux :

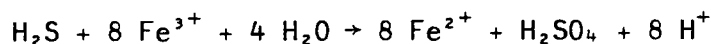


D'autre part, H<sub>2</sub>S libéré va s'oxyder avec l'oxygène contenu dans les eaux météoriques pour former des eaux acides riches en sulfate (ELLIS, 1967 ; TRUESDELL, 1974) :



Le stock oxygène est faible car il est limité par la solubilité de ce gaz dans l'eau météorique au moment de l'infiltration dans le sous-sol. La quantité de sulfates ainsi formée est donc limitée (environ 0,24 m mole/l).

Un autre processus intervient, capable d'acidifier le milieu et de faire passer en solution des sulfates et des teneurs en Fe<sup>++</sup> importantes. C'est l'interaction de l'H<sub>2</sub>S avec les roches encaissantes (OZAWA et al, 1970 ; BROCK et al, 1976) :



Ces eaux devenues riches en sulfates et acides, sont neutralisées progressivement par des interactions avec les roches de subsurface, à relativement basse température, libérant du sodium, potassium, calcium et fer.

Les géothermomètres appliqués à ce type d'eau fournissent des basses températures d'équilibre caractérisant ces réservoirs superficiels (de 80°C à 110°C).

Echantillon	Temp°. émergence	Temp°. Na-K	Temp°. Na-K-Ca	Temp°. SiO <sub>2</sub> Calcédoine
n° 5	53,8°	109°	74°	79°
n° 8	52,6°	105°	82°	83°

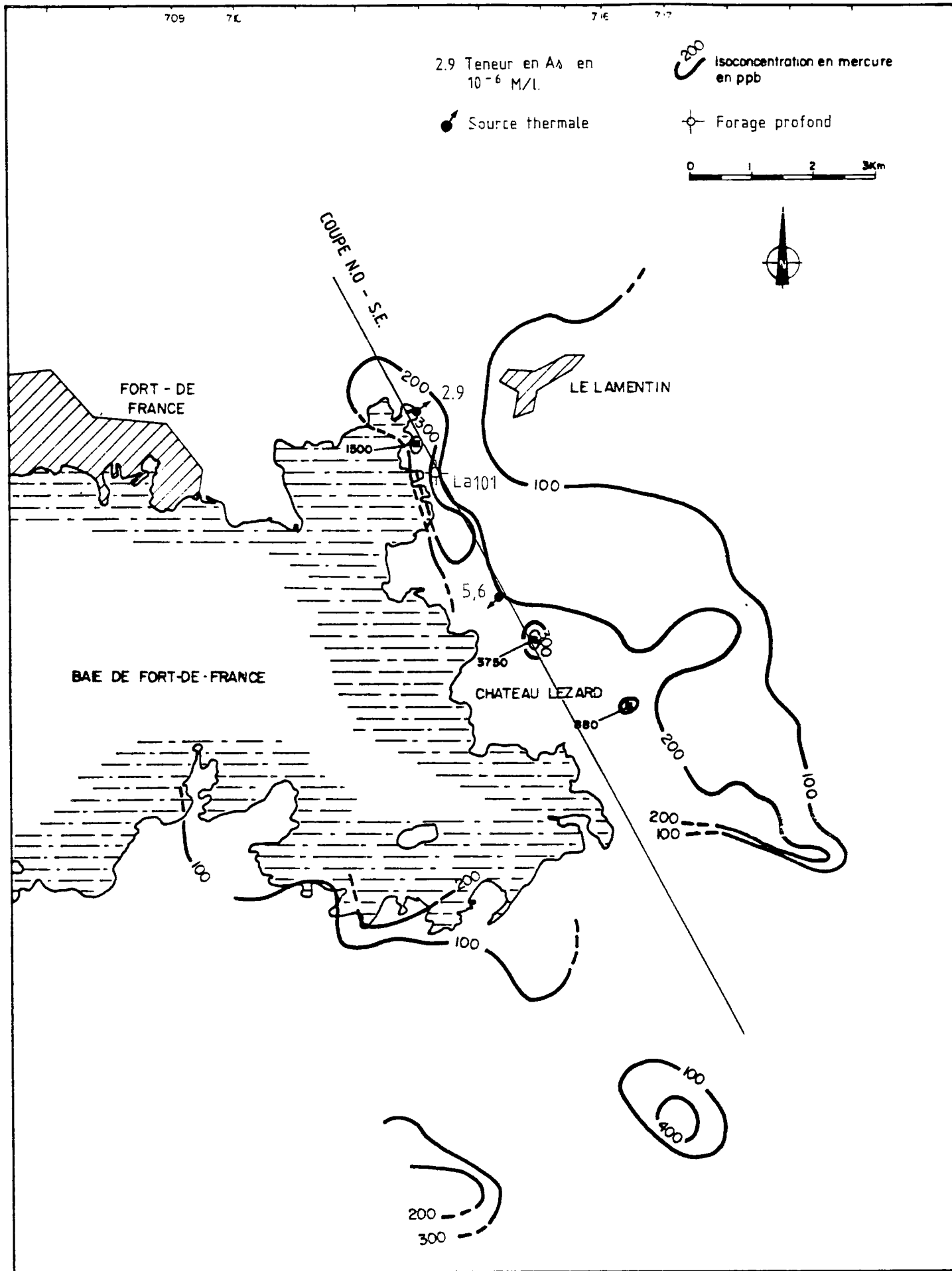
Cet aquifère a été atteint entre 154 m et 162 m de profondeur par le forage LA 101 en 1969 avec, jusqu'au fond, d'importantes zones de silicification. L'approfondissement de ce forage a montré une inversion du gradient de température, ce qui est fréquent dans les zones de bordures de gisement (MAHON et al, 1980). Comme certains auteurs (CORMY et al, 1970 ; LOPOUKHINE, 1977) l'avaient déjà signalé, les eaux thermales du Lamentin sont riches en bore (7 fois plus que l'eau de mer). On sait que le passage d'acide borique dans la phase vapeur est 6 fois plus important à 250° qu'à 150° (WILSON, 1974 ; ELLIS et MAHON, 1977). On peut donc penser que le mélange gaz-vapeur qui réchauffe cet aquifère superficiel est de haute enthalpie.

# MARTINIQUE

FIG. 5

## TENEUR EN MERCURE DANS LES SOLS DU LAMENTIN

( d'après F.IUNDT - 1982 )



De la même façon, la température règle aussi la distribution de l'amoniaque entre la phase vapeur et l'eau, quand la température baisse, la concentration en amoniaque dans la phase vapeur augmente (GIGGENBACH, 1980). Ce processus explique les concentrations importantes en amoniaque enregistrées dans les eaux du Lamentin (jusqu'à  $31,5 \cdot 10^{-5}$  m/l).

Cette fuite de vapeur explique aussi les teneurs importantes en arsenic (de  $2,9$  à  $5,6 \cdot 10^{-6}$  mole/l) mesurées dans les sources thermales analysées.

Il est important de signaler qu'une étude des teneurs en mercure des sols du Lamentin (IUNDT, 1982) a mis en évidence la présence d'une zone anormale située sur l'accident principal de la plaine du Lamentin (fig. 5). Le pic de l'anomalie (3750 ppb) coïncide avec les importants travertins de silice (Château Lézard) caractéristiques des remontées d'eau géothermale de haute température. Les fortes anomalies en mercure laissent penser que l'activité géothermale est encore présente. En effet, c'est dans la matière organique des 30 premiers centimètres du sol que l'on enregistre ces fortes teneurs en mercure. Etant donné l'importance de l'activité biologique dans ces régions, le renouvellement rapide de la matière organique aurait dû déjà estomper ces teneurs élevées en mercure.

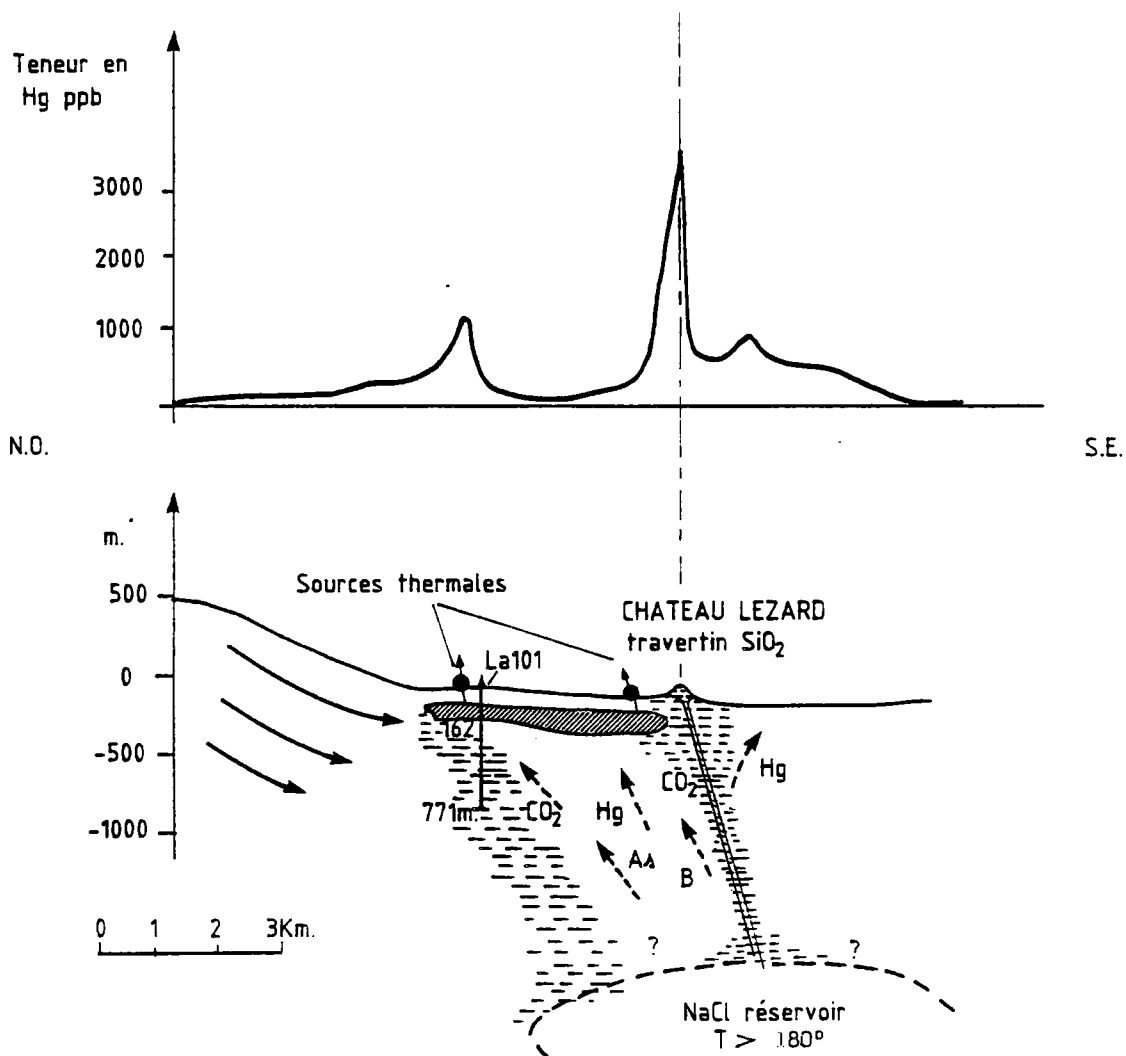
Sur la carte des anomalies en mercure des sols du Lamentin, nous avons reporté le forage profond LA 101 ainsi que les sources thermales étudiées avec leur teneur en arsenic. On peut remarquer que les sources thermales proches des travertins siliceux sont les plus riches en arsenic.

Ces caractéristiques physico-chimiques très particulières existantes dans la région du Lamentin sont tout à fait comparables à celles rencontrées au-dessus des gisements géothermiques (MAHON et al, 1980). De nombreux indices témoignent de la présence de vapeur provenant d'un réservoir géothermique haute enthalpie plus profond. On peut proposer un modèle qui expliquerait l'ensemble des résultats géochimiques obtenus.

La figure 6 présente une coupe NO-SE du Lamentin avec le modèle hydrogéochimique et les teneurs en mercure qui lui sont associées. Comme on le remarque, le forage LA 101, situé en bordure du gisement, subirait l'influence des eaux météoriques d'infiltration, ce qui expliquerait les inversions de gradient observées dans le forage, après avoir traversé, entre 154 et 162 m, l'aquifère à  $90^\circ$  bicarbonaté chloruré sodique. C'est en se rapprochant des travertins siliceux de Château Lézard qu'on enregistre les fuites du réservoir les plus directes, soit dans les sources, soit dans les sols (Hg, As, travertin de silice, etc...).

Une campagne de prospection des gaz des sols témoignerait de l'activité encore présente du système géothermal (par une cartographie des teneurs en radon) et soulignerait les systèmes de failles ou de fissures productrices (par une cartographie des teneurs en  $\text{CO}_2$  et hélium), permettant ainsi de déterminer l'emplacement d'un futur forage d'exploration.

### MODELE HYDROGEOCHIMIQUE DE LA REGION DU LAMENTIN



La101 Forage profond

--- Participation du réservoir profond

→ Eau froide d'infiltration

▨ Silicification

▩ Réservoir superficiel (Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-90°)

### 3.4. - Zone de la source du Diamant

Une seule source thermale isolée a été prélevée (n° 7). Les caractéristiques chimiques sont tout à fait comparables à celles enregistrées pour les eaux thermales du Lamentin.

Les analyses isotopiques de l'eau montrent un déséquilibre en oxygène 18 de près de 5 ‰, ce qui est caractéristique d'eau géothermale haute température (fig. 2).

On peut remarquer que ces eaux ont des fortes teneurs en silice (1,89 m mole/l) et en lithium (1,15 m mole/l) qui sont des espèces dont la solubilité est réglée par des équilibres chimiques dépendant étroitement de la température.

Les concentrations en éléments traces comme le bore ou l'arsenic sont aussi très élevées or, ces éléments passent plus facilement en solution à haute température.

Toutes ces caractéristiques mettent nettement en évidence l'intérêt géothermique de cette zone.

Des anomalies en chlorure ont été signalées dans une rivière proche de la source du Diamant. Une prospection détaillée de cette zone permettrait peut-être d'obtenir d'autres émergences, ce qui aiderait à l'élaboration d'un modèle géochimique de cette région.

## 4 - CONCLUSION

Les différents prélèvements d'échantillons d'eaux thermales ont permis de réévaluer les possibilités géothermiques de l'île de la Martinique :

### . Zone de la Montagne Pelée

Contrairement à ce qui avait été avancé auparavant, on peut présumer l'existence d'une eau géothermale de haute enthalpie sur les flancs de la Montagne Pelée. Un rapide calcul de modèle de mélange a permis de réévaluer la température profonde du "pôle chaud" de ce système : environ 200°C. Les compositions chimiques de ces eaux sont tout à fait compatibles avec celles rencontrées dans les champs géothermiques haute température (Krafla par exemple). Une étude géochimique plus détaillée sur plusieurs émergences de températures différentes permettrait de mieux préciser la fraction de mélange et la température profonde.

. Zone du Morne Rouge-Piton du Carbet

Les résultats géochimiques conduisent à penser que cette zone ne présente pas de possibilité évidente de géothermie haute enthalpie.

. Zone du Lamentin

Les caractéristiques physico-chimiques très particulières de l'aquifère qui alimente les sources du Lamentin sont comparables à celles rencontrées au-dessus des gisements géothermiques. Cet aquifère a été atteint par le forage géothermique LA 101, présentant des eaux chlorurées sodiques et bicarbonatées avec une température d'environ 90°C.

De nombreux indices témoignent de la présence de vapeur et/ou de gaz provenant d'un réservoir géothermique plus profond :

- anomalies en bore, arsenic,  $\text{NH}_4$ , dans les eaux,
- anomalies en mercure dans les sols,
- travertins de silice d'anciennes émergences thermales,
- self sealing important : dans les terrains superficiels (WESTERCAMP, 1978 ; CHOVELON, 1984) ainsi qu'en profondeur (forage LA 101).

Un modèle hydrogéochimique est proposé dans lequel le forage profond LA 101 réalisé en 1969 serait situé en bordure du gisement au Nord-Ouest. Les remontées les plus directes du réservoir géothermique se feraient vers les travertins de Château Léopard, là où l'anomalie en mercure est la plus forte.

Une campagne de mesures de gaz dans les sols confirmerait l'activité encore présente du système géothermal (avec les teneurs en radon par exemple) et permettrait de souligner les systèmes de failles ou de fissures encore productrices ( $\text{CO}_2$  et hélium). On pourrait ainsi, avec les autres données déjà existantes en géologie et géophysique, déterminer l'emplacement d'un forage géothermique.

. Zone de la source du Diamant

Les caractéristiques physico-chimiques de cette source sont tout à fait semblables à celles des sources du Lamentin, ce qui met en évidence l'intérêt géothermique de cette région. Une prospection géochimique détaillée de cette zone permettrait peut-être de prélever d'autres émergences, ce qui aiderait à l'élaboration d'un modèle hydrogéochimique de cette région.

N°	Nom	T° émergence				10 <sup>-3</sup> m/L				10 <sup>-3</sup> m/L						10 <sup>-5</sup> m/L						10 <sup>-6</sup> m/L	
		Temp. °C	pH		Débit l/s	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	F	B	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	Li	Rb	Sr	Fe	Mn	As
1	Source aval (rivière Mitan)	28,8	6,22	540	1	2,05	0,16	0,69	0,39	2,25	1,22	0,56	0,03	0,01	0,55	57	< 0,5	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
2	Source amont (rivière Mitan)	27,2	7,30	373	2	1,30	0,12	0,51	0,26	1,50	0,82	0,29	0,05	0,01	0,52	52	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
3	Source rivière Mitan	26,3	7,17	279	5	1,05	0,11	0,43	0,21	1,50	0,56	0,12	0,03	0,01	0,46	57	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
4	<del>Source aval (rivière Mitan)</del>	25,8	6,37	395	0,8	1,18	0,09	0,66	0,38	1,50	1,34	0,35	0,05	0,01	0,65	29	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
5	Source de la voie ferrée (Lamentin)	53,8	6,32	34000	e	151,3	3,21	18,7	6,1	7,25	190	1,77	0,42	< 0,01	3,15	98	31,5	12,0	0,6	20,5	20,6	5,5	2,9
6	Mangrove	26,8	7,69	32800	-	240,9	4,82	5,7	26,5	7,00	290	8,74	-	0,02	1,20	52	-	0,9	< 0,1	4,5	0,3	16,4	NM
7	Source du Diamant	32,0	6,15	30400	0,1	198,3	6,97	17,0	8,1	13,50	210	7,08	0,9	< 0,01	3,52	189	3,5	115,3	0,8	10,3	10,7	25,5	28,7
8	Source Habitation Carrère	52,6	6,35	34800	e	157,4	3,13	21,4	5,9	6,25	195	3,33	0,47	0,01	3,15	106	13,0	18,0	0,6	24,0	6,6	6,6	5,6
9	Source Alsalon (proximité réservoir)	35,4	6,16	2240	0,1	4,26	0,29	4,5	3,16	13,50	0,42	0,02	0,08	< 0,01	0,46	173	< 0,5	1,2	< 0,1	1,1	8,4	7,6	NM
10	Source rivière chaude (Pelée) rive droite	61,0	6,87	2940	0,5	12,4	0,83	0,68	0,42	9,25	3,10	1,83	0,08	0,02	0,70	191	< 0,5	18,0	NM	< 0,1	< 0,2	8,6	< 0,1
11	Source rivière chaude (Pelée) rive gauche	42,2	6,62	1280	0,5	6,39	0,60	1,45	0,74	7,25	1,82	1,25	0,06	0,02	0,46	90	NM	14,0	NM	0,2	NM	10,9	< 0,1
12	Rivière chaude amont	32,0	-	-	-	3,83	0,36	1,02	0,51	4,75	1,15	0,60	0,04	-	< 0,01	25	NM	8,9	NM	0,2	NM	< 0,1	NM
13	Puits chaud	47,0	6,9	-	-	8,52	0,57	0,93	0,84	5,00	5,50	1,42	0,17	0,03	0,03	142	NM	6,9	NM	0,2	NM	< 0,1	NM

Résultats des analyses chimiques des eaux prélevées

RESULTATS D'ETUDES

ANALYSE ISOTOPIQUE DES EAUX PRELEVEES

Martinique	$\delta^{18}O$ ‰v.s. SMOW	$\delta D$ ‰v.s. SMOW
n° 1	- 2,8 ± 0,1	- 7,7 ± 0,5
n° 2	- 2,8 ± 0,1	- 7,3 ± 0,5
n° 3	- 2,9 ± 0,1	- 7,6 ± 0,5
n° 5	- 3,2 ± 0,1	- 6,6 ± 0,5
n° 7	+ 0,6 ± 0,1	- 20,4 ± 0,5
n° 8	- 1,9 ± 0,1	- 8,8 ± 0,5
n° 9	- 3,0 ± 0,1	- 8,1 ± 0,5
n° 10	- 2,8 ± 0,1	- 6,3 ± 0,5
n° 11	- 3,0 ± 0,1	- 5,9 ± 0,5
n° 12	- 2,9 ± 0,1	- 8,1 ± 0,5
n° 13	- 2,8 ± 0,1	- 8,8 ± 0,5

ANALYSE GAZ LIBRES ET GAZ DISSOUS

Gaz libres		Gas dissous (mole/l)	
Source de la voie ferrée		source voie ferrée	source diamant
CO <sub>2</sub>	97,1 %	1,4 10 <sup>-2</sup>	3,7 10 <sup>-2</sup>
Ar	0,014 %	5,1 10 <sup>-6</sup>	1,4 10 <sup>-6</sup>
O <sub>2</sub>	0,25 %	< 1,2 10 <sup>-6</sup>	< 1,2 10 <sup>-6</sup>
N <sub>2</sub>	2,1 %	2,8 10 <sup>-4</sup>	1,3 10 <sup>-4</sup>
He	< 10 ppm	< 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-7</sup>
H <sub>2</sub>	< 10 ppm	< 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-7</sup>
CH <sub>4</sub>	0,22 %	1,510 <sup>-6</sup>	< 10 <sup>-8</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1 ppm		

BIBLIOGRAPHIE

- CAYOL A., (1975) - Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrogéochimique de la Martinique. Thèse 3ème cycle Université Paris VI (1975).
- CORMY G., DEMIANS D'ARCHIMBAUD J. et SURCIN J., (1970) - Prospection géothermique aux Antilles françaises, Guadeloupe et Martinique. U.N. Symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pire, vol. 2, part 1.
- CORMY G., DEMIANS D'ARCHIMBAUD J. et SURCIN J., (1970) - Prospection géothermique aux Antilles françaises, Guadeloupe et Martinique. Rapport inédit EURAFREP.
- DEMIANS D'ARCHIMBAUD J. (1969) - Comparaison des fluides recueillis lors de l'éruption de LA.101 aux eaux de sources voisines. Rapport inédit EURAFREP.
- DOREL J., ESCHENBRENNER S. et FEUILLARD M. (1972) - Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles. Bull. Volcanologique 1982 pp 1-23.
- FOUILLAC C. and MICHAUD G. (1981) - Sodium/Lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. Geothermics Vol. 10 n° 1, pp 55-70.
- FOURNIER R.O., ROWE J.J. (1966) - Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot Springs and wet steam wells. Amer. J. Sci., 264, pp 685-697.
- FOURNIER R.O., TRUESDELL A.H. (1973) - An empirical Na K Ca geothermometer for natural waters. Geochim. Cosmochim. Acta, G.B., 37, PP 1255-1275.
- IUNDT F. (1982) - Prospection des teneurs en mercure dans les sols de la Martinique. Rapport B.R.G.M. 82 SGN 1033 GTH.
- LOPOUKHINE M. et MOURET C. (1977) - Etude géothermique des sources de la Martinique. Rapport B.R.G.M. n° 77 ANT 36. 32 p.
- MOURET C. (1979) - Contribution à l'étude hydrogéologique d'un bassin versant en milieu volcanique tropical. Rivière Capot (Martinique). Thèse B.R.G.M. 79 SGN 181 HYD (1979).
- TRUESDELL A.H. and FOURNIER R.O. (1977) - Procedure for estimating the temperature of a hot water component in a mixed water using a plot of dissolved silica vs enthalpy, J. Res. U.S. Geological Survey, 5(1), 49-52.

WESTERCAMP D. (1978) - Une contribution à l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Martinique. Rapport B.R.G.M. n° 78 ANT 33. 20 p.