

III - GEOTHERMIE
ET SOURCES HYDROTHERMALES

Bernard BOURGUEIL

SOMMAIRE

	Page
GEOTHERMIE.....	204
1 - SECTEUR DE LOS POSOS.....	204
Composition chimique des eaux.....	208
Température mesurée à l'émergence.....	208
Conclusion.....	208
2 - SECTEUR DE LA PLAINE DE CUL-DE-SAC.....	210
2.1 - Résultats de l'étude géochimique.....	210
Température des sources à l'émergence.....	210
Origine des eaux thermales.....	210
2.2 - Résultats des études géologiques et géophysiques.	210
Données thermiques.....	211
Conclusion.....	211
HYDROTHERMALISME.....	214
1 - SOURCES DES EAUX BOYNES.....	214
2 - LES SOURCES PUANTES ET LA SOURCE BALAN.....	217
3 - GROUPE DES SOURCES DE LOS POSOS	217
4 - GROUPE DES SOURCES D'ANSE D'HAINAULT OU DE JEREMIE OU DE DAME-MARIE.....	217
BIBLIOGRAPHIE	218
Liste des figures	

LISTE DES FIGURES

Figure 66 - Carte géologique et structurale de la région de Los Posos	205
Figure 67 - Structure de la bordure nord du Plateau Central entre Cerca-Carvajal et Cerca La Source	206
Figure 68 - Modèle de circulation (issu du modèle géophysique)	207
Figure 69 - Haïti - Los Posos - Zones favorables	209
Figure 70 - Haïti (Cul-de-Sac) Zones favorables	212
Figure 71 - Log théorique (plaine du Cul-de-Sac)	213
Figure 72 - Localisation géographique des sources chaudes	215
Figure 73 - Carte des sources des eaux Boynes (sources chaudes de Terre-Neuve)	216

GEOOTHERMIE

Les travaux effectués par le BRGM pour le compte de l'Organisation Latino-Américaine de l'Energie (O.L.A.D.E) en en 1979/1980 avaient permis de conclure à l'absence de champ géothermique "haute énergie" en République d'Haïti et de recommander la poursuite d'investigations dans les domaines de basse et moyenne énergie.

En 1983-1984 l'O.L.A.D.E. a donc lancé une nouvelle campagne sur les deux secteurs d'Haïti apparaissant comme les plus prometteurs. Il s'agit des secteurs de :

- Los Posos (moyenne énergie)
- La plaine de Cul-de-Sac (basse énergie)

Ces secteurs réunissent plusieurs facteurs favorables :

- 1) des indices de surface d'une circulation d'eau minéralisée en profondeur (sources chaudes)
- 2) une tectonique récente accompagnée d'un volcanisme quaternaire laissant espérer des gradients favorables et des flux thermiques élevés comme dans la partie est d'Hispaniola
- 3) des formations géologiques favorables (calcaires et grès) sur plusieurs milliers de mètres d'épaisseur

L'étude de 1984 (BRGM 84 SGN 206 GTH) s'est appuyée sur un travail de géologie de surface, une campagne géophysique et une campagne géochimique.

1 - SECTEUR DE LOS POSOS

Les sources chaudes de Los Posos se trouvent environ à 6 km au Sud-Est du bourg de Cerca-la-Source non loin de la frontière haïtiano-dominicaine.

La figure 66 détaille la cartographie géologique de ce secteur situé entre Cerca-Carvajal au nord-ouest et la République Dominicaine au sud-est. La figure 67 explique par une série de 3 coupes géologiques, la structure de la bordure nord du Plateau Central avec la chaîne de Paincroix et le Massif du Nord.

Les sources thermales ne proviennent pas du calcaire allochtone présent en surface mais des formations perméables (calcaires et grès) sous-jacentes et en particulier des calcaires fissurés de l'Eocène avec des remontées au niveau des discontinuités structurales majeures (plan de chevauchement et/ou accident transverse) comme l'indique la figure 68.

Les eaux thermales étudiées se distinguent nettement des eaux de surface (rivière) ou des eaux de sources (aquifères superficiels) et elles n'ont pas subi avant leur émergence de contamination ou dilution par les eaux de surface. Leur remontée doit se faire très rapidement (faibles pertes de chaleur par conduction) ; l'écart de température selon les sources considérées est dû au cheminement plus ou moins long avant l'émergence, dans les formations des calcaires fissurés allochtones.

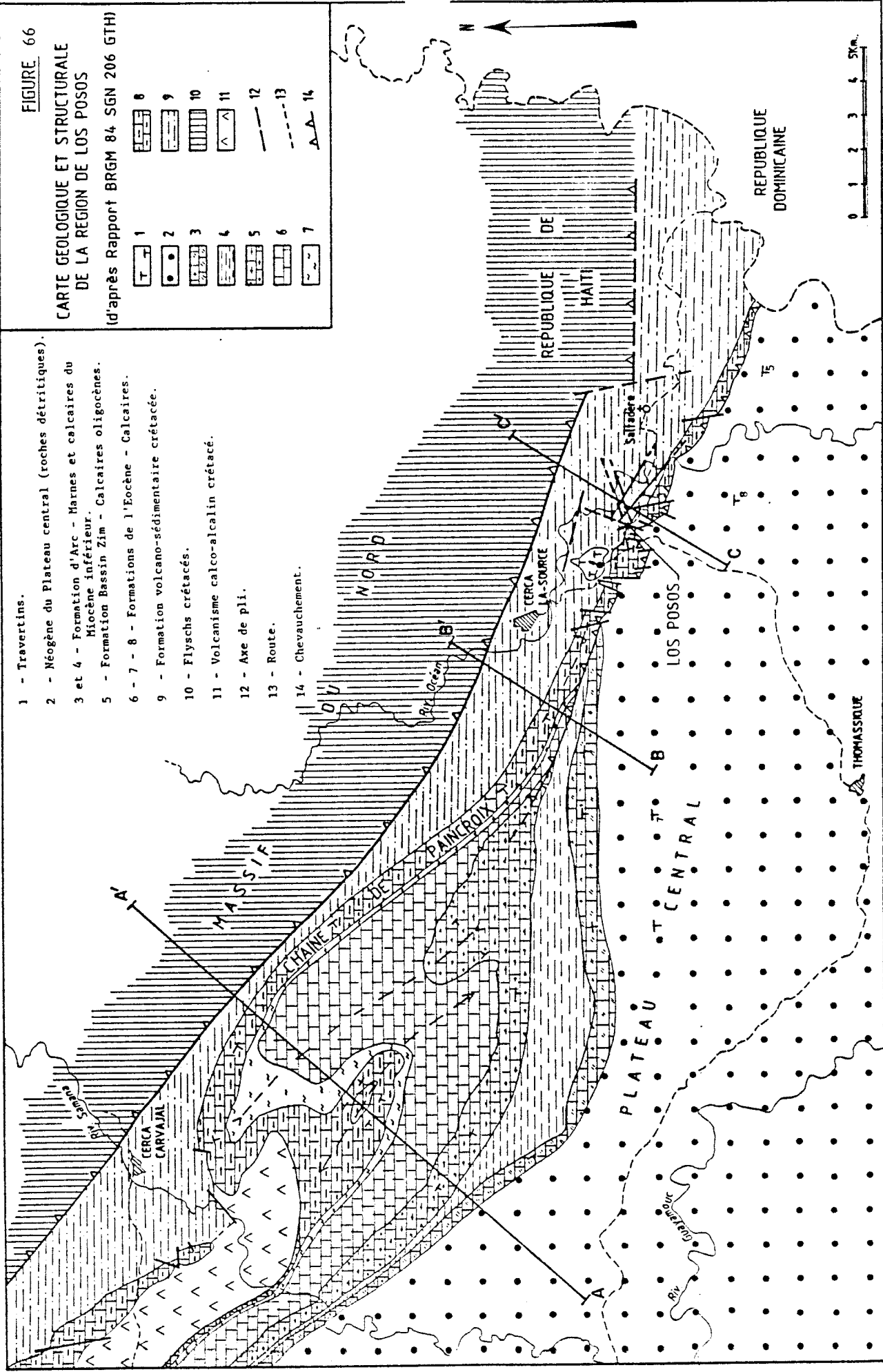
FIGURE 66

CARTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE DE LA REGION DE LOS POSOS

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

- 1 - Travertins.
- 2 - Néogène du Plateau central (roches détritiques).
- 3 et 4 - Formation d'Arc - Marnes et calcaires du Miocène inférieur.
- 5 - Formation Bassin Zim - Calcaires oligocènes.
- 6 - 7 - 8 - Formations de l'Eocène - Calcaires.
- 9 - Formation volcano-sédimentaire crétacée.
- 10 - Flyschs crétacés.
- 11 - Volcanisme calco-alcalin crétacé.
- 12 - Axe de pli.
- 13 - Route.
- 14 - Chevauchement.



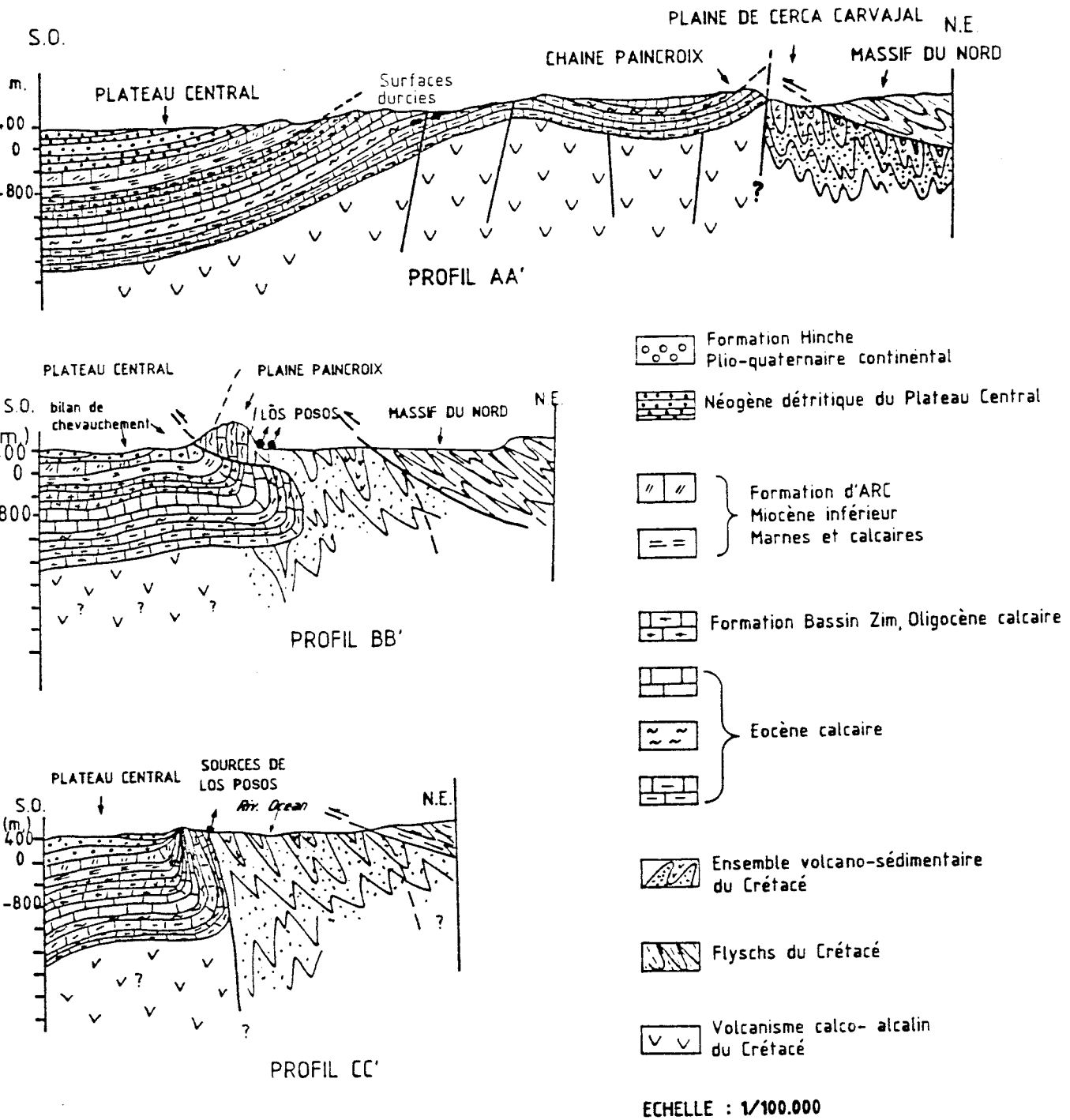


FIG. 67

STRUCTURE DE LA BORDURE NORD DU PLATEAU CENTRAL
ENTRE CERCA-CARVAJAL ET CERCA LA SOURCE

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

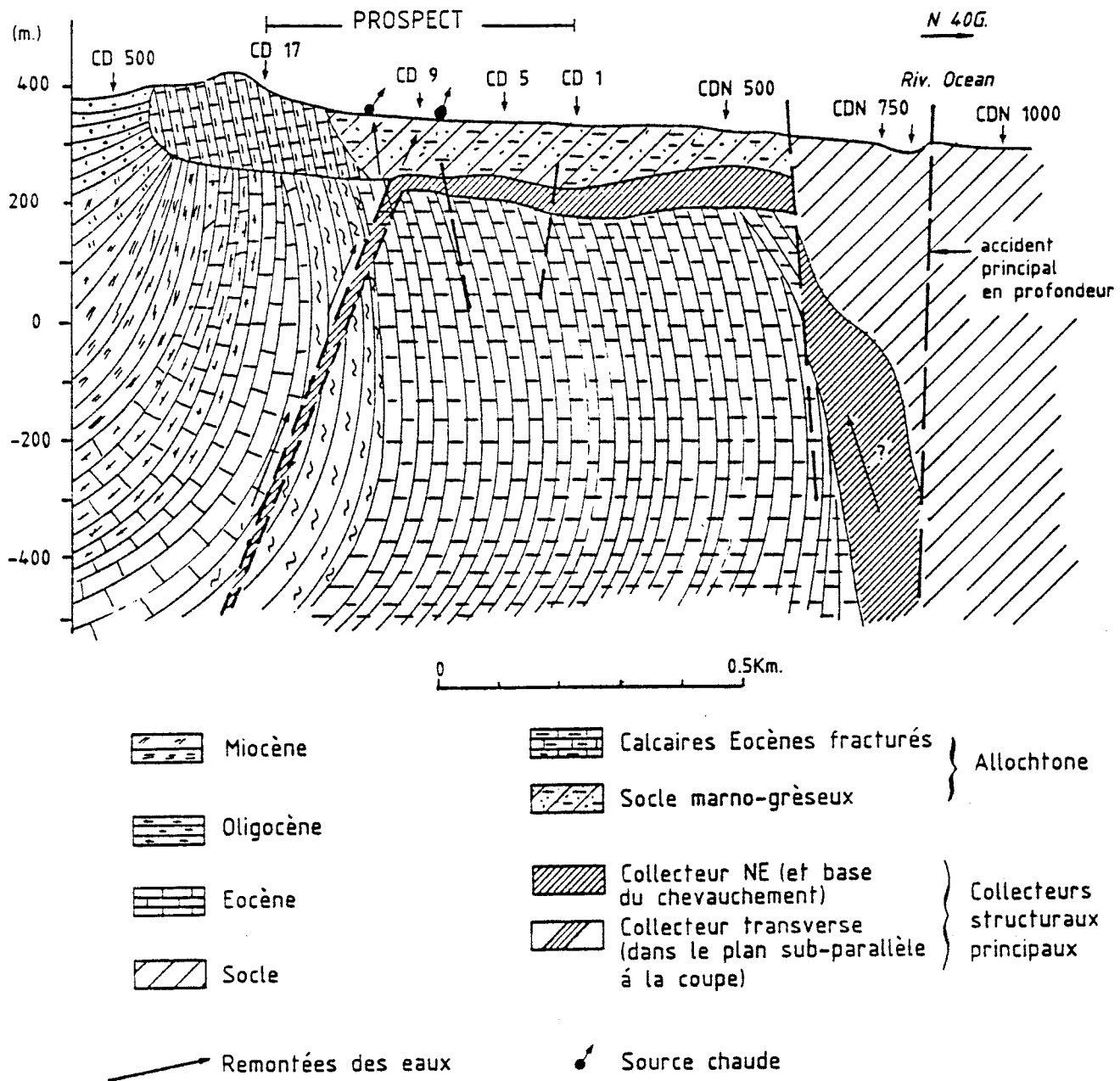


Fig. - 68 - : MODELE DE CIRCULATION (issu du modèle géophysique)

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

La figure 69 souligne les endroits favorables pour l'implantation de forages pour capter le débit maximum à une température maximum tout en sachant que la ressource géothermale en profondeur à une température très voisine de celle des sources (le réchauffement des eaux est seulement assuré par le flux géothermique régional).

Composition chimique des eaux

Les sources thermales (P_3 = Cantine, P_4 = St-Joseph, P_5 = Ste-Barbe, P_6 = Taureau et P_8) sont de type chloruré calco-sodique, alors que les sources froides sont carbonatées calciques ainsi que les eaux de la rivière océan.

Les minéralisations totales sont faibles (1 g/l) avec des teneurs très basses (de l'ordre du ppm) en lithium, bore, strontium. L'arsenic et le césium n'ont pas été détectés.

La source Cantine (P_3) contient un peu de SH_2 .

Il n'y a pas de décalage isotopique en oxygène 18 de l'eau par rapport à l'eau météorique.

La teneur en magnésium est relativement plus élevée dans les sources thermales que dans les sources froides.

Température mesurée à l'émergence

Source Cantine	(P_3)	38°5 C
Source St-Joseph	(P_4)	36°2 C
Source Ste-Barbe	(P_5)	41°6 C
Source Taureau	(P_6)	42°7 C
	(P_8)	31°5 C

Conclusion

L'étude sur le secteur de Los Posos montre que :

- 1) nous avons affaire à un système classique thermo-minéral, lié à une mégastucture mettant en contact deux unités à conductivité thermique différente
- 2) la température du réservoir est proche de la température d'émergence (environ 45°C)
- 3) l'aquifère alimentant les sources est localisé dans les roches quartzieuses et carbonatées, probablement à l'interface fracturée entre les calcaires éocènes et la formation argilo-gréseuse du Crétacé
- 4) un développement du débit par forage reste réaliste mais son utilisation en haute énergie ne semble pas possible. Son utilisation en basse énergie est tributaire d'une consommation énergétique sur place qui est absente actuellement.

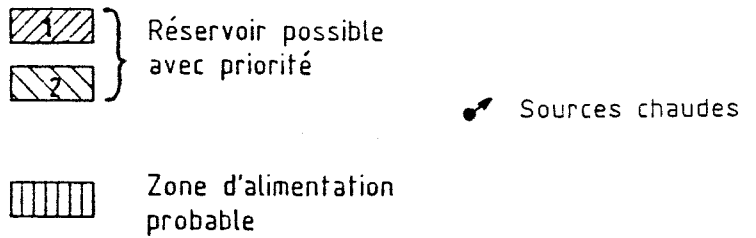
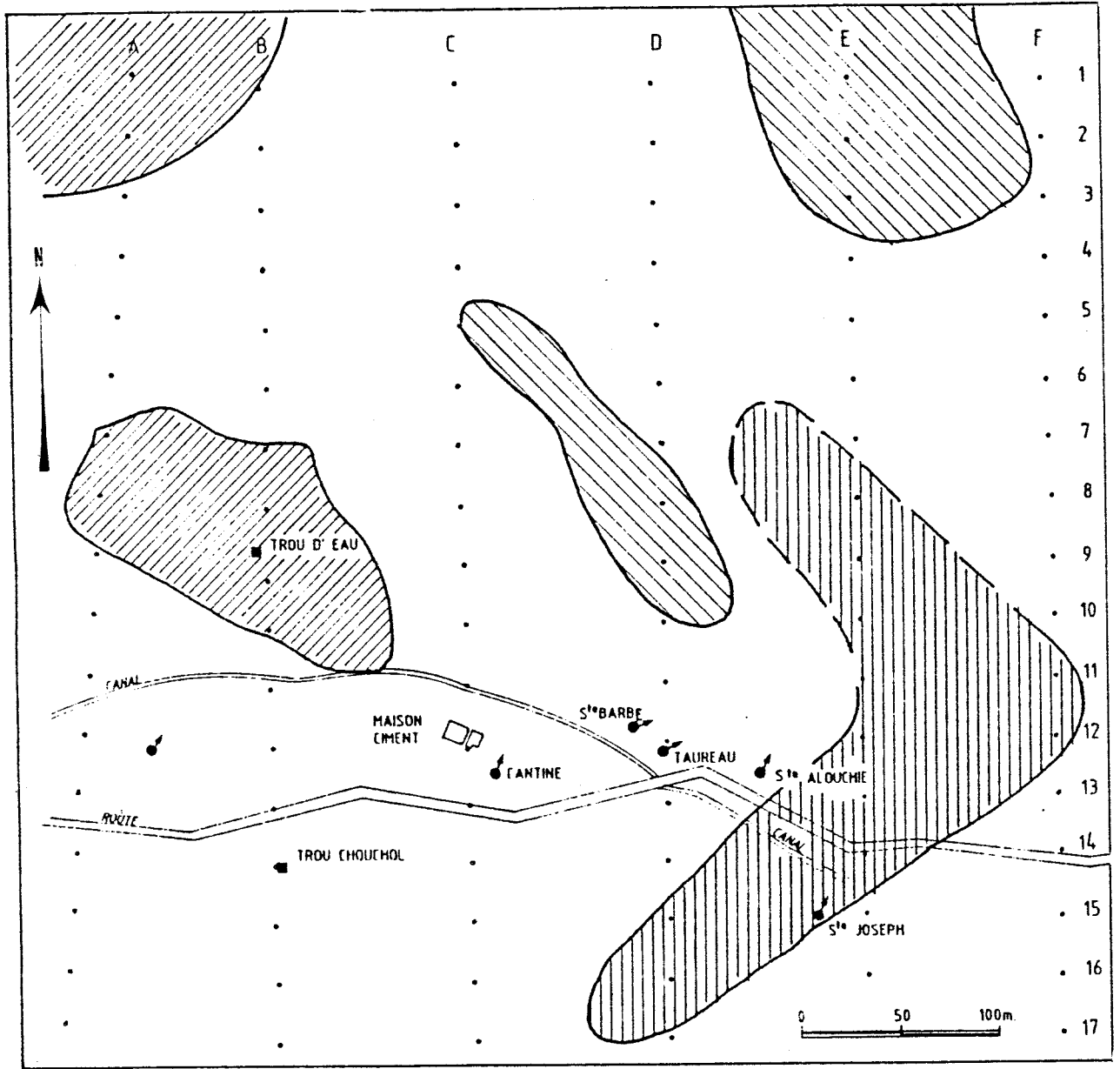


Fig. 69 : HAITI - LOS POSOS - ZONES FAVORABLES

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

2 - SECTEUR DE LA PLAINE DE CUL-DE-SAC

2.1 - Résultats de l'étude géochimique

L'étude géochimique a consisté à analyser l'eau des sources thermales (Sources Puantes et Source Balan), de certaines sources froides et de quelques forages.

L'eau des sources thermales est de type chloruré sodique alors que celle des sources froides est franchement carbonatée calcique. L'eau des forages se rapproche du type chloruré sodique avec des teneurs en magnésium plus élevées mais leur teneur en chlorures ne dépend pas de la profondeur des forages mais de leur localisation géographique (les teneurs en chlorures augmentent dans la partie nord de la plaine).

Les Sources Puantes ne contiennent pas de gaz dissous comme l'hélium et l'hydrogène qui caractérisent les fuites des réservoirs profonds à haute température. L'hydrogène sulfuré et la dioxyde de carbone sont prépondérants (réactions organiques en milieu saumâtre réducteur).

La minéralisation des Sources Chaudes est plus élevée que celle des sources froides, cependant les concentrations en éléments traces (Li, As, B et Cs), caractéristiques des fortes températures, sont relativement faibles.

Température des sources à l'émergence

Sources Puantes	C 17 - 33°2 C
	C 19 - 32°6 C
Source Balan	C 8 - 34°7 C

Origine des eaux thermales

Les Sources Puantes et la Source Balan sont un mélange complexe d'eau météorique et d'eau de mer.

L'eau météorique s'infiltré jusqu'à environ 1 000 mètres. Elles acquiert une température de 40°C et elle se charge en calcite, magnésite, dolomite.

L'eau de mer de son côté, se modifie par lessivage des dépôts vaseux et évaporitiques des marécages du bord de la baie (argiles riches en lithium, Bore et en produits organiques entraînant la production de H₂S et CO₂).

Un mélange entre ces eaux se fait en diverses proportions : les eaux à 40°C sont peu minéralisées, celles à 30°C sont plus minéralisées.

2.2 - Résultats des études géologiques et géophysiques

Les études ont recensé les différents ensembles lithologiques rencontrés sous la plaine de Cul-de-Sac par les forages pétroliers "Cul-de-Sac terrestre n° 1" (1947) et "Cul-de-Sac, Marins" (1977).

Sur les trois formations susceptibles de contenir des aquifères, aucune n'a conservé de porosité initiale. La disparition de celle-ci est liée aux contraintes tectoniques violentes (tassements,

recristallisations...)). Seule une perméabilité de fissures peut se développer dans des faciès calcaires peu ou pas argileux, soit dans l'environnement proche des grands accidents tectoniques nord-ouest/sud-est, soit dans des zones de relais structuraux. La recherche de ces zones a reposé sur l'analyse des résultats géophysiques (voir figure 70).

Données thermiques

Les quelques données thermiques obtenues dans les forages pétroliers fournissent des gradients de :

- 2,1°C pour 100 mètres à Artibonite 1 et Arcodines 1
- 2,2°C pour 100 mètres à Cul-de-Sac 1

Un profil théorique thermique a été reconstitué (figure 71) à partir des conductivités moyennes de roches (conductivité élevée pour les calcaires, beaucoup plus faible pour les séries argileuses). Ce profil correspond à un flux moyen relativement faible (de 40 à 50 mW/m²).

L'étude des gradients thermiques effectuée à partir des mesures réalisées sur les puits, a permis de distinguer :

- une zone sud à faible flux apparent en surface,
- une zone nord à flux apparent beaucoup plus élevé.

Dans la moitié nord du graben, à proximité des grands accidents transverses, la température au toit du calcaire éocène dépasse 80°C.

Dans la partie sud du graben, vers 2000 mètres de profondeur, la température est inférieure à 50°C (50°C dans le secteur de Port-au-Prince).

Les fluides sont sulfureux (indices de H₂S au moment de la foration) avec des minéralisations supérieures à celles des Sources Puantes.

Un débit de 50 m³/h semble être le maximum.

Le niveau statique sera proche du niveau hydrostatique des aquifères de surface (un artésianisme peut être prévu dans la zone à anomalie du flux thermique).

Conclusion

La recherche géothermique sous Port-au-Prince est peu favorable sous l'angle thermique et hydrogéologique (50 m³/h à 50°C et à 2000 mètres de profondeur) et c'est pourtant dans ce secteur qu'existe une consommation énergétique potentielle.

Dans la partie nord de la plaine de Cul-de-Sac le contexte géothermique est meilleur mais les consommateurs potentiels en énergie géothermique, manquent.

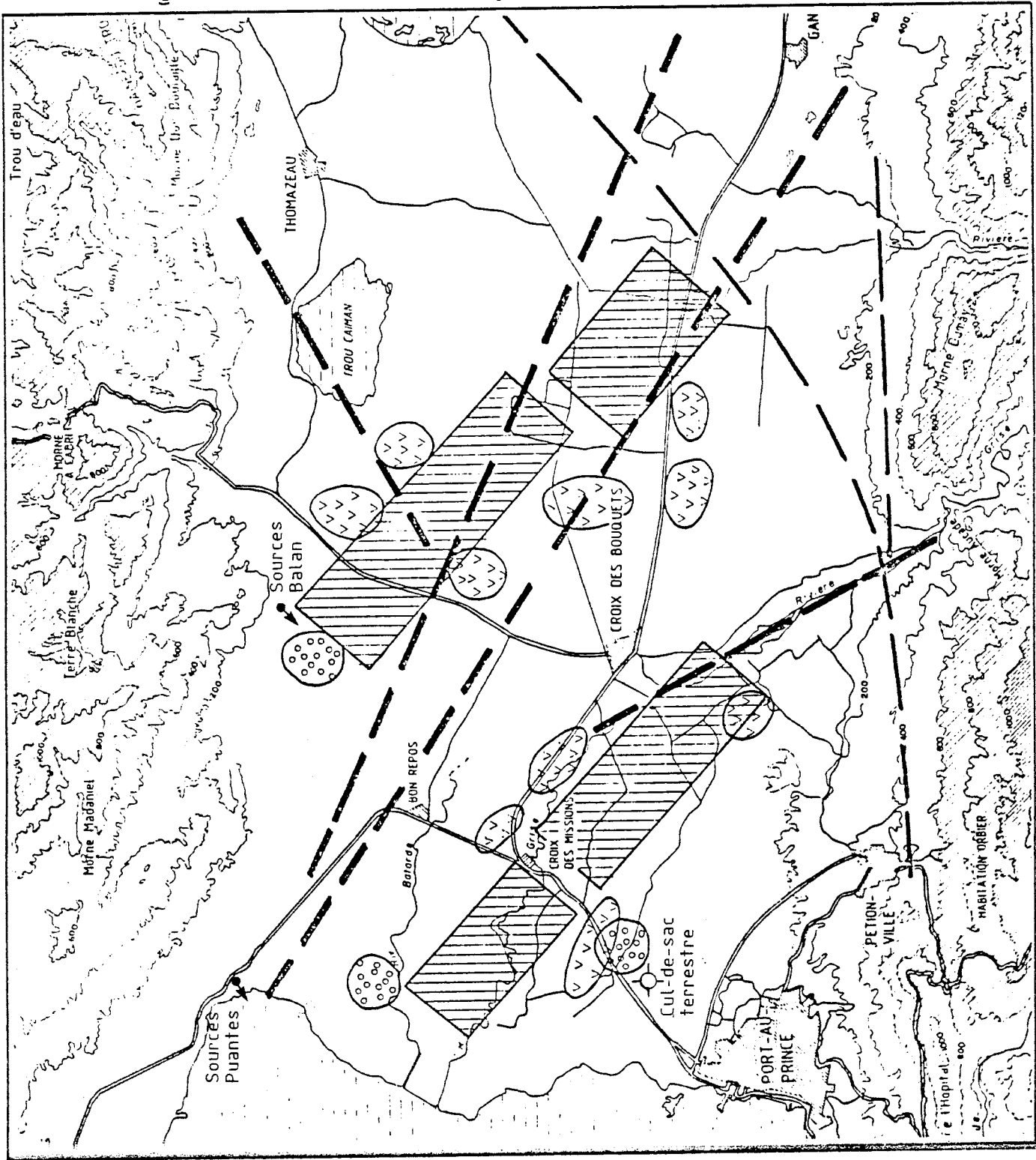
Fig. 70 :

HAITI (cul de sac)

ZONES FAVORABLES

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

- Fracturations
- Structures hautes et dômes
- Relais de structures
- Lineaments photo-satellites
- Failles probables
- Sondage pétrolier
- Sources chaudes



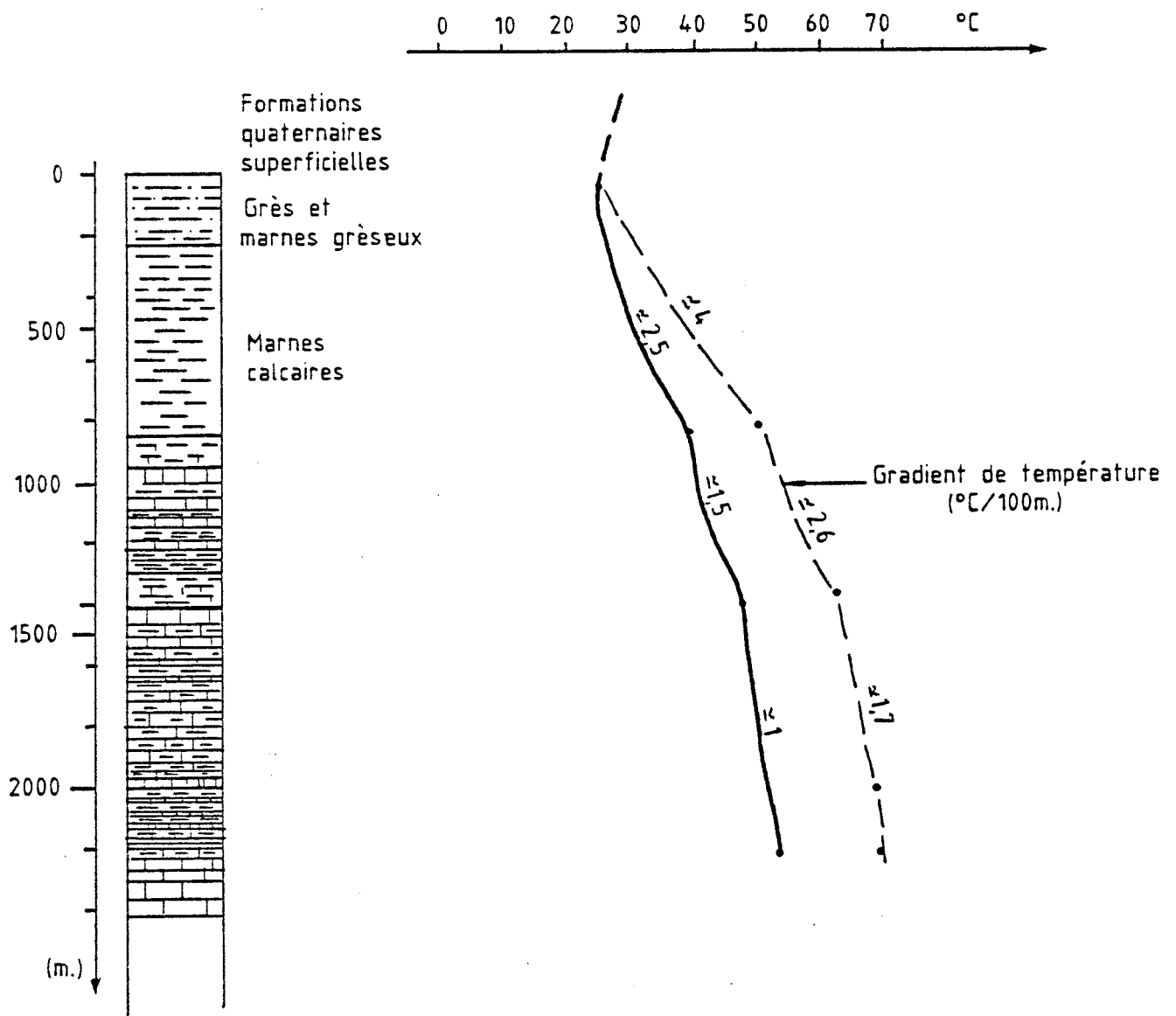


Fig. 71 : LOG THEORIQUE (PLAINE DU CUL-DE-SAC)

(d'après Rapport BRGM 84 SGN 206 GTH)

HYDROTHERMALISME

Les sources chaudes d'Haïti ont été décrites par MOREAU DE ST-MERY (1797) à l'exception des sources de Los Posos qui étaient alors sous domination espagnole. Elles ont ensuite fait l'objet d'études et analyses réalisées en 1924 par Woodring et son équipe (en particulier par Brown J.S. qui a fait une publication la même année, sur ce sujet, dans "The Journal of Geology" de l'Université de Chicago).

De nouvelles publications effectuées par l'O.E.A. (1972) et par ANTILUS L. (1er colloque sur la Géologie d'Haïti, 1980) complètent la bibliographie.

En 1979 et 1984, dans le cadre de recherches géothermiques financées par l'O.L.A.D.E., le BRGM a étudié plus en détail les sources de Los Posos et les Sources Puantes.

La répartition de ces sources chaudes dans le pays est très éparpillée (figure 72). Il s'agit :

- des sources chaudes des Gonaïves ou de Terre Neuve ou Eaux Boynes,
- des Sources Puantes et de la Source Balan dans la partie nord de la plaine de Cul-de-Sac,
- des sources de Los Posos près de Cerca-la Source à l'Est du Pays,
- des sources d'Anse d'Hainault ou Dame-Marie dans l'Ouest de la Presqu'île du Sud.

1 - SOURCES DES EAUX BOYNES

C'est un groupe de 6 sources situé à 12 km à l'Ouest de Terre-Neuve et à 30 km au Nord-Ouest de Gonaïves. Découvertes en 1725, elles ont été exploitées dès cette époque pour soigner diverses maladies et en particulier les rhumatismes. Le gouvernement colonial y créa un hôpital militaire et un sanatorium. L'ensemble fut abandonné et tomba en ruines.

Ces sources sont groupées à faible distance les unes des autres comme le montre la figure 73.

Tableau des débits et températures d'après WOODRING, 1924) des différentes sources :

	Température (1924)	Débit (1924)
Source Grossier	49°C	10 litres par minute
Source Vallière	45°C	20 litres par minute
Source La Fontaine	49°C	40-50 litres par minute
Source La Fortuna et des Dames	43°C	< 40 litres par minute
Source La Boue	48°C	15 - 20 litres par minute

En 1979, la température moyenne des eaux Boynes était de 50°C pour un débit total de 80 litres par minutes. La minéralisation de ces eaux est faible (0,4 g par litre).

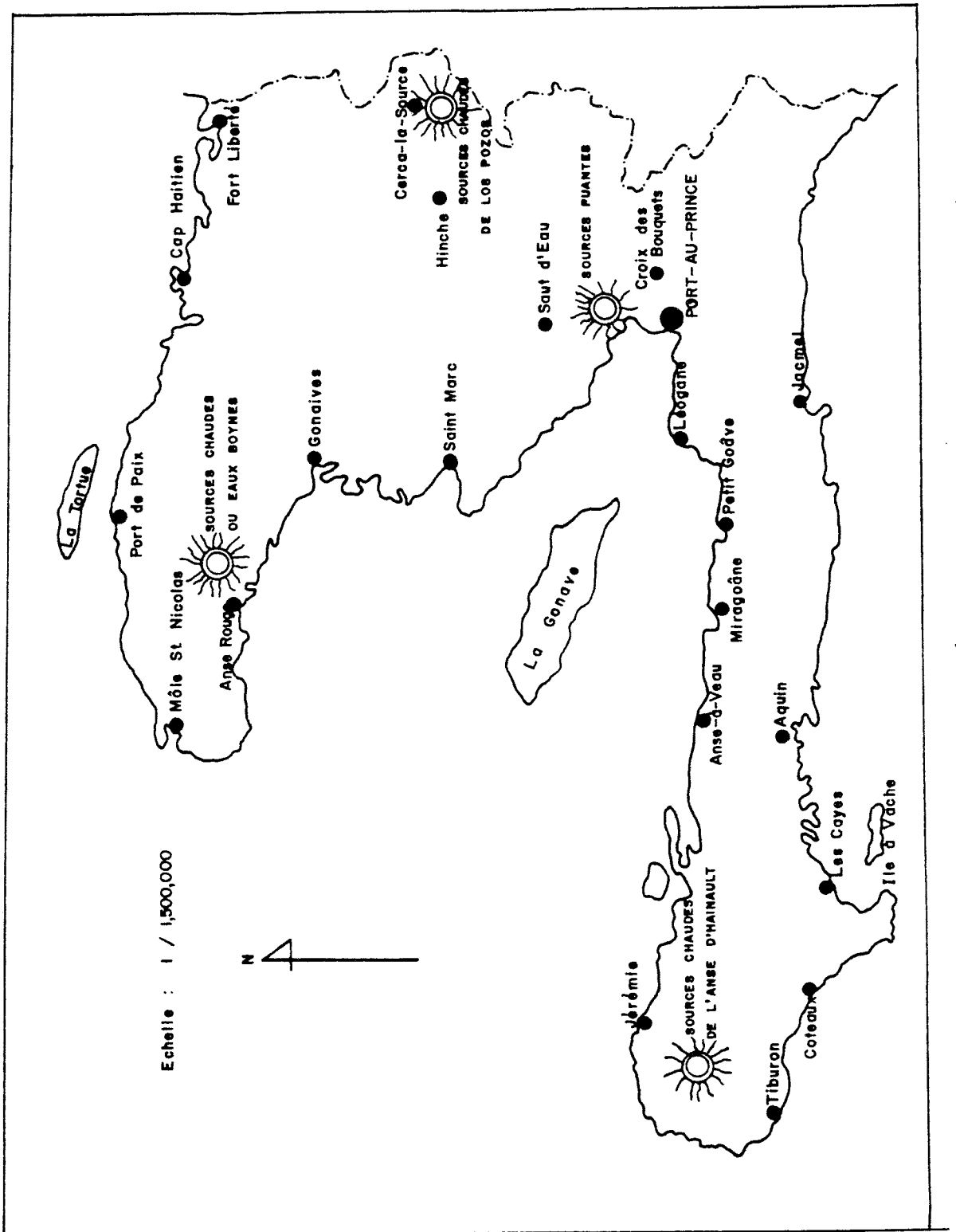


Fig. 72 : LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DES SOURCES CHAUDES (d'après L. ANTILUS, 1980)

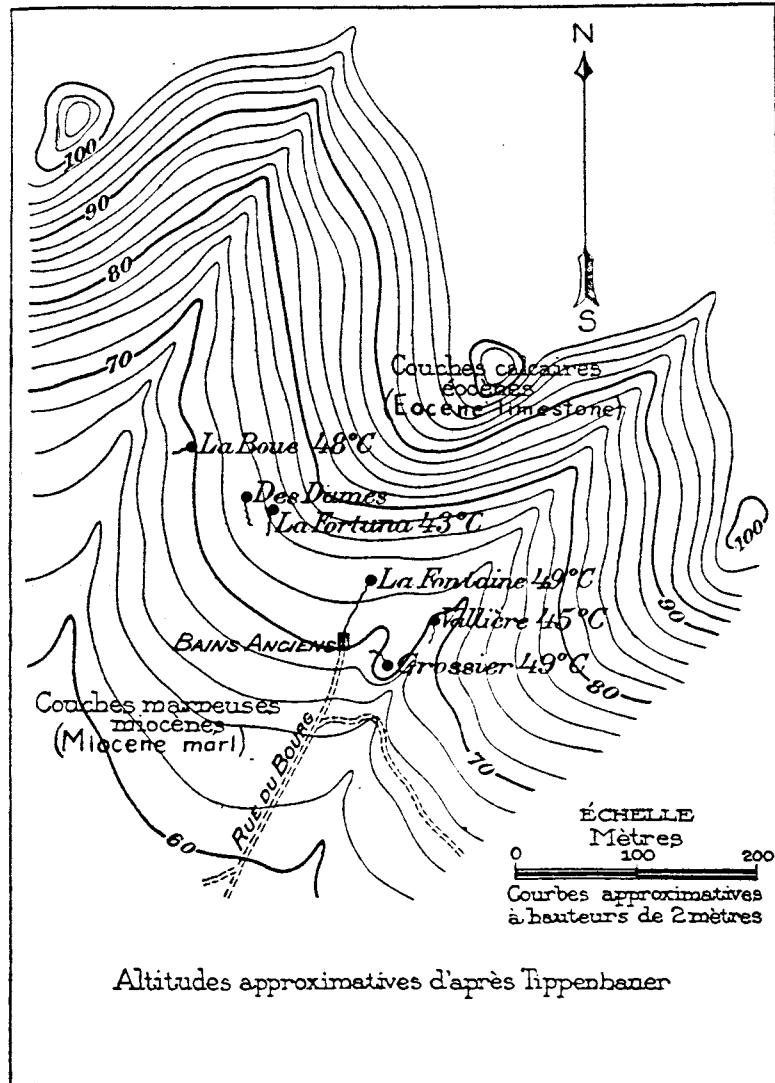


Fig. - 73 CARTE DES SOURCES DES EAUX BOYNES
 (sources chaudes de Terre-Neuve)
 (d'après WOODRING et alt., 1924)

Ces sources chaudes sont accompagnées de sources froides et l'ensemble sont au milieu des séries faillées du Miocène, non loin d'affleurements basaltiques et de microgranites.

2 - LES SOURCES PUANTES ET LA SOURCE BALAN

Ces sources s'observent dans la partie nord de la plaine de Cul-de-Sac (voir la figure 70 du chapitre "Géothermie").

Les Sources Puantes se trouvent en bordure de la route nationale 1 et elles sont séparées de la mer par un marais de mangliers. Elles dégagent une forte odeur de H₂S.

En 1924, WOODRING et alt. relevaient une température de 32°7C, en 1984 les températures étaient sur 2 sources de 32°6 C et 33°2 C. Le débit total des sources était de 120 litres par minute en 1979. Leur minéralisation totale est de 12,6 grammes par litre. L'origine de l'eau des Sources Puantes et de la Source Balan est détaillée dans le chapitre précédent consacré à la Géothermie.

3 - GROUPE DES SOURCES DE LOS POSOS

Les sources chaudes de Los Posos se trouvent à environ 6 km au Sud-Est du bourg de Cerca-la-Source, non loin de la frontière haïtiano-dominicaine (figure 66, de la géothermie). Le contexte géologique, géochimique et thermique de ces sources est également exposé dans le chapitre "géothermie".

	Température (1924)	Température (1977)	Température (1984)
Source Cantine	36°C	39°C	38°5 C
Source Ste-Barbe	38°C	35°C	41°6 C
Source Taureau	42°C	40°C	42°6 C
Source Santa-Lucia	31°5 C	-	-
Source St-Joseph	40°C	36°C	36°2 C

4 - GROUPE DES SOURCES D'ANSE D'HAINAULT OU DE JEREMIE OU DE DAME-MARIE

Ces deux sources se trouvent à l'Ouest de la Presqu'île du Sud : l'une est sur le bord de la rivière "Bras-à-Gauche" et l'autre sur le bord de la rivière "Bras-à-Droite". Ces 2 rivières sont les affluents de la rivière Grand'Anse. Leur minéralisation totale est faible (0,51 g/l) pour un débit de 30 litres par minute environ (1979) et leur température relevée en 1924 était de 35/40°C et de 45°C en 1979.

Enfin MOREAU DE ST-MERY (1797) signale l'existence d'une source thermale de "chaleur douce" à La Roche (Mirebalais). Elle sortait de plusieurs fissures. Elle n'avait pas de goût désagréable et soignait les affections des nerfs et des maladies cutanées. Elle a été très fréquentée en 1750 et 1751. Elle a disparu sous l'effet du tremblement de terre du 16 octobre 1751. Elle a recoulé à partir de 1760 et a disparu à nouveau à la suite du tremblement de terre de 1770.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GEOOTHERMIE ET HYDROTHERMALISME

- ANTILUS L. (1980) - LES SOURCES CHAUDES D'HAÏTI. - 1^{er} Colloque sur la géologie d'Haïti, 1/1980/ Port au Prince, Maurrassé F. Ed. 1981, PP. 64-72.

- BERTHIER F., JANJOU D. (1984) - EVALUATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES BASSE ENERGIE EN REPUBLIQUE DE HAÏTI. RECHERCHE D'UN PROJET TYPE. RAPPORT GEOLOGIQUE. - Rapport BRGM. 84 SGN 206 GTH. Organisation Latino-Américaine de l'Énergie (O.L.A.D.E.).

- BROWN J.S. (1924) - THE HOT SPRINGS OF THE REPUBLIC OF HAÏTI. - Jour. Geology, Vol. 32, n° 5, PP. 384-399, July - Auguste 1924.

- IUNDT F. (1980) - PROJET DE RECHERCHE GEOTHERMIQUE. ILE D'HISPANIOLA. - Rapport hydrogéochimie. BRGM - OLADE.

- MOREAU DE SAINT MERY (1797) - DESCRIPTION TOPOGRAPHIQUE, PHYSIQUE, CIVILE, POLITIQUE ET HISTORIQUE DE LA PARTIE FRANÇAISE DE L'ISLE SAINT-DOMINGUE. - Nouvelle Edition 1984, Société Française d'Histoire d'Outre-Mer. Paris. 3 Tomes.

- ORGANISATION DES ETATS AMERICAINS (O.E.A) (1972) - RAPPORT DE LA MISSION D'ASSISTANCE TECHNIQUE INTEGREE DE L'ORGANISATION DES ETATS AMERICAINS. - Washington D.C 1972, Secr. Gén., Org., Etats Amé. PP.1-656.

- TRAINÉAU H., WESTERCAMP D. (1980) - RECHERCHE GEOTHERMIQUE EN REPUBLIQUE D'HAÏTI, ILE D'HISPANIOLA, GRANDES ANTILLES. RAPPORT GEO-VOLCANOLOGIQUE. - Rapport B.R.G.M. 80 SGN 920 GTH, 42 P.

- WOODRING W.P., BROWN J.S., BURBANK W.S. (1924) - GEOLOGIE DE LA REPUBLIQUE D'HAÏTI. - Département des Travaux Publics. Port au Prince 1 Vol., 710 P.