

Les sources thermales de Prony (Nouvelle-Calédonie) et leurs précipités chimiques. Exemple de formation de brucite primaire

J. Launay* et J.-C. Fontes**

Mots-clés: Eau thermale, Source sous marine, Analyse majeurs
Isotope (Isotope stable) O_{18} - O_{16} , C_{13} - C_{12} , Brucite, Dépôt
Nouvelle-Calédonie (Sources Prony)

Résumé

Dans la baie de Prony (S.E. de la Nouvelle-Calédonie) il existe plusieurs émergences aériennes et sous-marine de circulations thermales. Le chimisme de ces eaux est particulièrement remarquable puisque le pH est toujours égal à 11 et dû à la seule présence d'ions OH^- à l'exclusion de carbonate et bicarbonate. Les cations présents sont le calcium et le potassium. A terre l'eau thermale s'écoule en se chargeant de CO_2 atmosphérique et précipite sous forme de travertin. En mer, la source précipite sous forme de brucite $Mg(OH)_2$ par suite du mélange eau thermale - eau de mer qui fournit le magnésium, le calcium se combinant au CO_2 .

Abstract

In the Prony Bay (S.E. New Caledonia) there are many terrestrial and submarine thermal springs. Their chemistry is particularly noticeable since pH is still equal to 11 and caused by the only presence of ions OH^- without any carbonate or bicarbonate. The cations are calcium and potassium. On ground, the thermal water flows taking charge of atmospheric CO_2 and precipitates in travertine. At sea, the spring precipitates in brucite $Mg(OH)_2$ consequently to the mixing thermal water and sea water which supplies magnesium.

INTRODUCTION

A l'extrémité sud de la Nouvelle-Calédonie, la baie du Prony (fig. 1 et 2) est enserrée dans des massifs péridotitiques et roches associées profondément altérées (Guillon et Trescases, 1972). Le littoral à rias, découpé et ennoyé, et les versants abrupts, sont le produit de phénomènes de soulèvement, de bascule, d'effondrement et de transgression récente, plio-quaternaires.

Il existe dans cette région trois émergences principales de circulations thermales. La première source est en rive gauche de l'embouchure de la rivière des Kaoris, la seconde en baie du Carénage, se trouve immergée à chaque marée haute, la troisième au cœur de la baie du Prony est entièrement sous-marine. L'existence des deux premières est repérée depuis fort longtemps puisque Jules Garnier (1873) signale la présence de celle des Kaoris et en donne quelques caractères: « Nous mesurâmes leur température, elle était de $33^\circ C$, celle de l'air ambiant étant à $26^\circ C$. J'ai rapporté à Nouméa quelques échantillons: leur analyse constate, dans l'eau de ces sources, la présence presque exclusive du bicarbonate de magnésie, qui, au contact de l'air, laisse déposer du carbonate de magnésie en perdant une partie de son acide carbonique... Des eaux analysées par M. Bavay, pharmacien de la Marine, ne lui indiquèrent point une quantité de sels extraordinaire. »

Onze ans plus tard, en 1884, A. Taillote, pharmacien de

1^{re} classe de la Marine, publie les analyses des sources des Kaoris et du Carénage qu'il classe dans les eaux alcalines silicatées chloro-phosphatées magnésiennes; enfin « les débits mesurés (1884), à la suite de quelques travaux de nettoyage aux griffons, auraient donné $15 m^3$ par jour pour les quatre principales émergences des sources de la baie du Carénage et $10 m^3$ par jour pour celles de la baie des Kaoris », (Arnould et Avias, 1955).

La troisième émergence n'est point mentionnée dans la littérature. La carte marine de la baie de Prony se borne à signaler l'existence d'un haut fond, le « Roc Aiguille » traditionnellement attribué à une construction corallienne du type des complexes récifaux du lagon. En fait, il s'agit d'une cheminée hydrothermale. Un grand édifice (fig. 3) en forme de tronc de cône d'un diamètre de 15 m à la base et de 5 m au sommet, s'est élevé par précipitation chimique sur près de 35 m de hauteur (entre - 38 et - 3 m).

Seule la source des Kaoris émerge donc en milieu terrestre, les deux autres sourdent en milieu marin. La source du Carénage n'est partiellement découverte qu'à marée basse de grande vive eau, ce qui permet alors des prélèvements d'eaux et de précipités. L'émergence du Roc Aiguille n'est accessible qu'en scaphandre autonome et seuls des relevés de températures aux points d'exsurgence et des prélèvements de dépôts solides ont pu être réalisés.

Enfin, il existe une multitude de venues hydrothermales discrètes, visibles sur l'estran dans les baies des Kaoris et du Carénage.

* ORSTOM, BP V51 Abidjan Côte d'Ivoire, anciennement au Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

** Université Paris-Sud, F91405 Orsay cedex.

MARS 1986

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 1992

Cpte : Bex

161

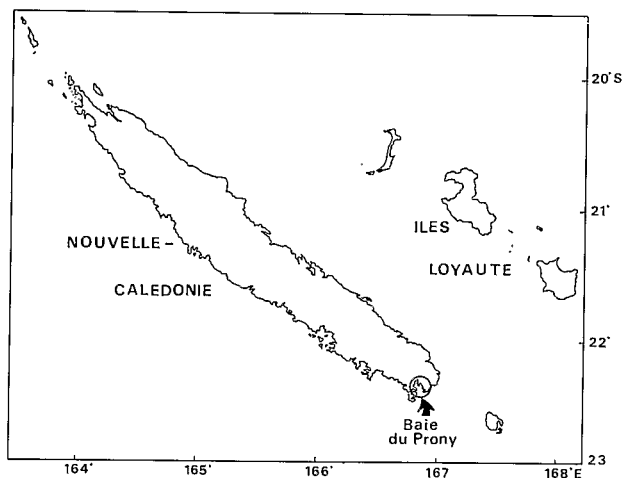
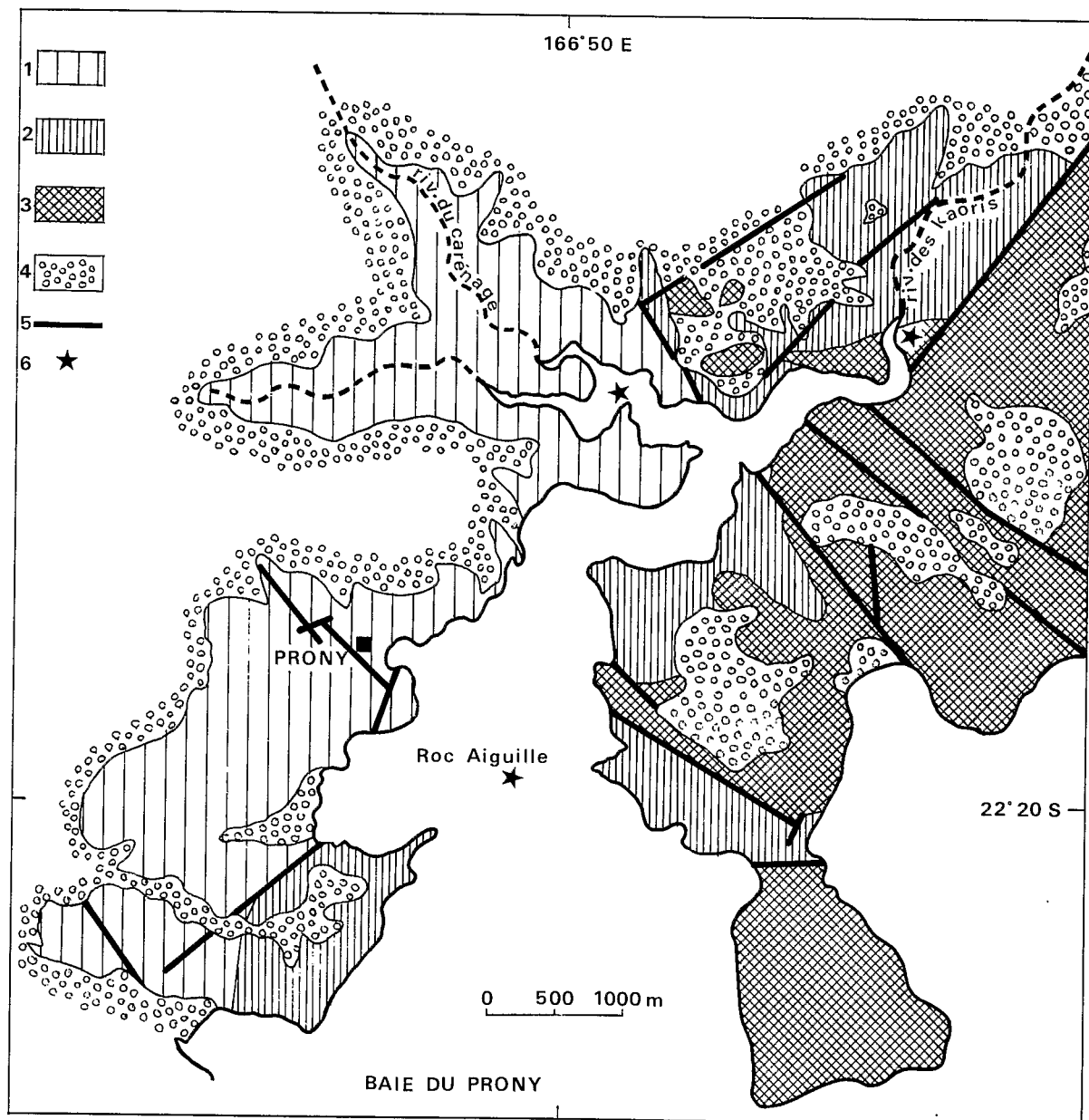


FIG. 1. — Carte de localisation de l'étude.

FIG. 2. — Carte géologique simplifiée de la région de Prony, d'après Guillon et Trescases (1972).

1: harzburgites; 2: dunités; 3: gabbros; 4: formations superficielles d'altération et fluviales; 5: fractures; 6: émergences principales des sources thermales.



	S.T.K.		S.T.C.		R.V.K.		R.V.C.	
	moyenne	extrêmes	moyenne	extrêmes	moyenne	extrêmes	moyenne	extrêmes
T°C	32	33,0 30,0	38,5	39,0 38,0	23	26,5 19,5	24	26,0 20,0
pH	11	11,2 10,7	11,1	11,1 11,0	8	8,4 7,8	8	8,2 7,8
C μ mhos.cm ⁻¹	360	400,0 345,0			92	100,0 80,0	102	115,0 95,0
Ca ⁺⁺ mg.l ⁻¹	22	22,5 20,9	18,2	18,2 18,1	<1		<1	
Mg ⁺⁺ mg.l ⁻¹	Traces		Traces		6	7,6 5,9	8	10,9 6,3
Na ⁺ mg.l ⁻¹	12	13,5 11,4	34,4	36,0 32,7	6,5	6,7 6,2	6	6,0 5,4
K ⁺ mg.l ⁻¹	1,3	1,5 1,2	3,9	4,1 3,7	Traces		Traces	
Cl ⁻ mg.l ⁻¹	10	11,4 10,2	34	39,0 29,0	11	12,4 11,3	10	10,5 10,0
SO ₄ ⁻⁻ mg.l ⁻¹	Traces parfois H ₂ S			Traces		Traces		
OH ⁻ mg.l ⁻¹	23	23,9 21,9						
HCO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹					26	33,0 23,0	36,5	52,4 27,2
SiO ₂ mg.l ⁻¹	3,3	3,4 3,2	1,9	3,0 1,8	7	8,7 6,7	13	17,0 9,5
CO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	0,3		0,4					
$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	-3,97				-3,65		-4,13	

TABL. I. —

CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX (Tabl. I)

Le chimisme des eaux aux deux émergences thermales des Kaoris et du Carénage est sensiblement le même. Les conditions favorables aux prélèvements étant particulièrement rares en Baie du Carénage, nous avons privilégié l'étude de la source des Kaoris avec un prélèvement mensuel pendant un peu plus d'un an. Deux cours d'eau du même secteur, la rivière des Kaoris et la rivière du Carénage ont fait l'objet d'un même suivi. Ces échantillonnages s'accompagnaient *in situ* de mesures de températures, de pH et de conductivité.

La température moyenne des eaux de source (32° au Kaori et 42° au Carénage) reflète le caractère hypotherme de ces circulations. Le pH, toujours voisin de 11, constitue un trait majeur de ces eaux. La conductivité est de l'ordre de $360 \mu \text{ mhos.cm}^{-1}$ aux deux émergences, ce qui correspond, en principe, à une minéralisation moyenne. Toutefois, cette appréciation doit être nuancée: le milieu très basique est engendré par une forte participation relative des ions hydroxydes à la conductivité. Cette forte teneur en ions OH^- s'accompagne, bien entendu, d'une absence de bicarbonate mais aussi de carbonates ($\text{CO}_2 \leq 0,2 \text{ ppm}^{(1)}$). L'analyse des teneurs en cations révèle la présence dominante de calcium et de sodium ainsi que la pauvreté en magnésium. Enfin, la teneur en silice est constante mais faible. Il est toutefois difficile, à ce stade, de décider si le magnésium est peu représenté par suite de l'absence de minéraux magnésiens sur le trajet des eaux souterraines ou s'il s'agit simplement d'une perte par précipitation ou échange.

Quoi qu'il en soit, le faciès chimique des eaux de source révèle la mise en solution préférentielle des cations (Ca^{2+} et Na^+) lors des circulations souterraines. La dissociation de l'eau rétablit alors l'électroneutralité des solutions avec formation d'ions OH^- . Il est remarquable que la forte augmentation du

pH qui en est la conséquence ne se trouve point accompagnée d'un plus grand passage en solution de la silice par ionisation vraie puisque le pK de la première dissociation de l'acide silicique est de 9.93 à 25° C (*in* Truesdell et Jones, 1974). Les deux cours d'eau (R.V.K. et R.V.C.) écoulent des eaux bien conformes à une mise en solution de minéraux de massifs péridotiques du type de celle qu'avait étudié Trescases (1975); il s'agit d'eaux bicarbonatées magnésiennes dépourvues de calcium. L'originalité des sources thermales de Prony réside donc dans le haut pH et l'association d'ions hydroxyde au calcium. Ces déterminations sont, par ailleurs, fort différentes de celles qui avaient été obtenues par les moyens analytiques de l'époque de J. Garnier et de A. Taillote.

La balance ionique ne présente qu'un déficit anionique de quelques centièmes de m.l^{-1} , et aucun constituant important n'a échappé à l'analyse. On pourrait être tenté d'expliquer la présence du calcium par celle d'affleurements importants de gabbros dans le voisinage, mais, dans ce cas, l'eau de la rivière des Kaoris devrait aussi en subir l'influence, ce qui n'est pas le cas. L'origine de l'ion calcium doit donc être recherchée en profondeur dans des formations sous-jacentes riches en calcium et pauvres en magnésium où l'eau météorique acquiert son thermalisme.

Le gradient géothermique étant inconnu dans la région, il n'est pas possible de faire une estimation précise de la profondeur explorée par les circuits. Avec 25°C de température moyenne extérieure et un gradient « normal » de 3°C par 100 m, ce sont des profondeurs de 200 et 600 m que l'on estime pour les circulations souterraines qui émergent aux Kaoris et à Carénage respectivement. Les possibles dilutions par les eaux phréatiques plus fraîches et le fait que le gradient géothermique pourrait être plus élevé que la normale, dans ces zones actives, jouent de façon contraire sur les estimations de profondeur atteintes par les circulations.

(1) Dosage par chromatographie en phase gazeuse du CO_2 total libéré par attaque acide.

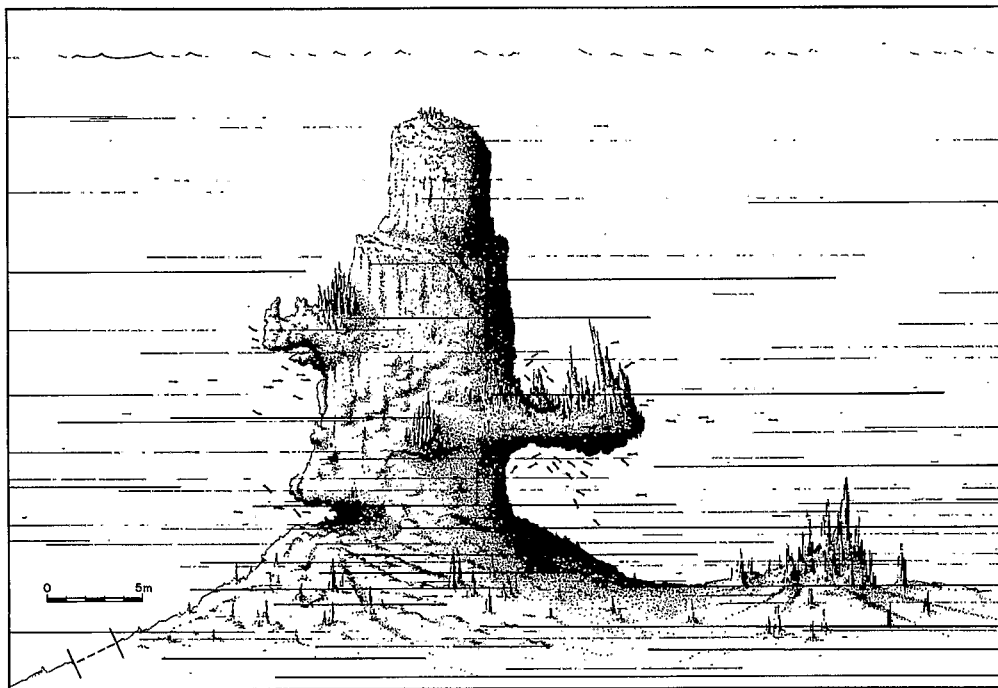


FIG. 3. — Schéma de l'édifice sous-marin «Roc Aiguille» construit par l'émergence de la source thermique. L'échelle des hauteurs est la même que celle des longueurs.

LES PRÉCIPITÉS CHIMIQUES

A la source des Kaoris à terre, l'eau thermale s'écoule en se chargeant de CO₂ atmosphérique et le carbonate de calcium se précipite alors quelques mètres plus bas en une vaste dalle de travertin blanc, très finement lité (photo 1 et 2), friable quand il est séché à l'air (échantillon Kaori I). Sur l'estran, à marée basse, les innombrables petites émergences sont matérialisées par des accumulations de concrétions dendriformes, dressées mais formées à la façon des stalactites. En effet, ces petits édifices ont, en fait, un petit canal central par où s'achemine la solution thermale qui nourrit la précipitation (échantillon Kaori II, photos 3 a et b, 4 et 5). Au Carénage, la source n'a construit qu'un petit îlot arasé par la marée (photo 6) d'une puissance d'environ 2 mètres. Enfin au Roc Aiguille, la source thermale fonctionne en permanence et jaillit de plusieurs griffons sur l'édifice concrétionné. Les venues d'eaux produisent des sortes de spectaculaires « stalagmites » marines dressées sur des encorbellements à différentes profondeurs (photo 7 et 8), ainsi que des petits massifs sur l'embase de la cheminée, et de minces aiguilles plus ou moins isolées sur le fond (fig. 3).

Les prélèvements Pry 1 à 5 ont été récoltés respectivement à des profondeurs de 36 m, 28 m, 26 m, 20 m et 2 mètres. Les échantillons Kaori II, Carénage I et Pry sont également des précipités chimiques en milieu marin; Kaori I est exclusivement continental bien que la dalle calcaire soit partiellement couverte à marée haute. L'analyse chimique totale a indiqué les teneurs suivantes en composants majeurs sur échantillons séchés à l'étuve à 105°.

		SiO ₂ %	CaO %	MgO %	Total
Kaori I	41,05	4,02	42,0	12,4	99,47
Kaori II	38,70	3,60	26,6	31,0	99,90
Carénage I	34,00	1,00	7,4	55,9	98,30
Pry I	37,90	0,12	21,0	39,0	98,02
Pry 4	36,80	0,22	15,4	46,8	99,22

TABL. II. —

L'analyse minéralogique par diffractométrie RX montre que la calcite domine dans l'échantillon Kaori I accompagnée d'un peu de brucite Mg(OH)₂, d'aragonite avec traces du burbankite (Q₆(CO₃)₂ avec Q = Na, Ca, Sr, Ba + terres rares), minéral hexagonal, découvert dans le Montana (Pecora et Kerr, 1953).

Il est intéressant de noter que la formation d'un minéral magnésien en Kaori I, alors que l'eau affluente en est pratiquement dépourvue, implique une source annexe pour cet ion. Étant donné que la précipitation se forme au-dessus du niveau moyen atteint par les eaux marines, il est possible que la formation du minéral soit due à un apport par les embruns marins. Sur l'estran, au Carénage et au Roc Aiguille, c'est-à-dire en milieu marin, les minéraux sont les mêmes mais la brucite est très dominante avec accessoirement, aragonite, calcite et burbankite. Enfin, dans toutes ces formations, il convient de noter l'absence de magnésite (ou giobertite) et d'hydromagnésite. C'est donc à partir du mélange eau thermale-eau de mer, que l'on obtient le grand développement de la brucite primaire associée à la calcite. Lorsque, par une fissure ou un petit canal, l'eau de source arrive au contact de l'eau de mer, il y a mélange

de l'eau de mer à pH 8,4 contenant environ 1,3.10⁻³ mol.l⁻¹ de CO₂ total (mesures effectuées en baie de Prony au Carénage et au Kaori), 1 300 mg.l⁻¹ de Mg⁺⁺, 400 mg.l⁻¹ de Ca⁺⁺, avec l'eau thermale à pH 11 qui apporte surtout des ions OH⁻ et Ca⁺⁺ (20 mg.l⁻¹).

On peut caractériser les conditions de précipitation des différents sels en fonction des constituants et du pH à l'aide des diagrammes de solubilité suivants :

1. Diagramme I, fig. 4 : Solubilité de Ca(OH)₂ en fonction du pH dans l'eau douce (cas de la source thermale des Kaoris). Pour une concentration en calcium de 20 mg.l⁻¹, log mCa²⁺ = log s = (-3,3) et il ne peut y avoir de précipité qu'à partir du pH 13,5 ce qui explique l'absence de dépôt au griffon même de la source.

2. Diagramme II, fig. 4 : Solubilité Mg(OH)₂ en fonction du pH, pour une salinité de 17,5‰ environ (force ionique ~ 0,35) si l'on suppose par exemple un mélange équimoléculaire de l'eau de source avec l'eau de mer. Pour une concentration en Mg⁺⁺ de 1 300 mg.l⁻¹ (eau de mer) + 0 (eau thermale) soit 650 mg.l⁻¹ par volume équivalent, log mMg²⁺ = log s = -1,57

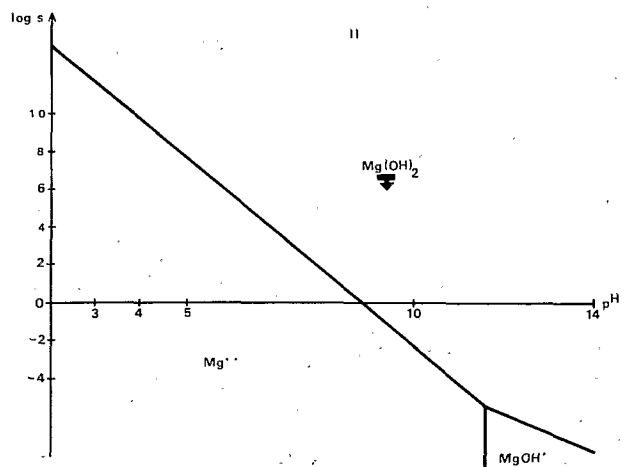
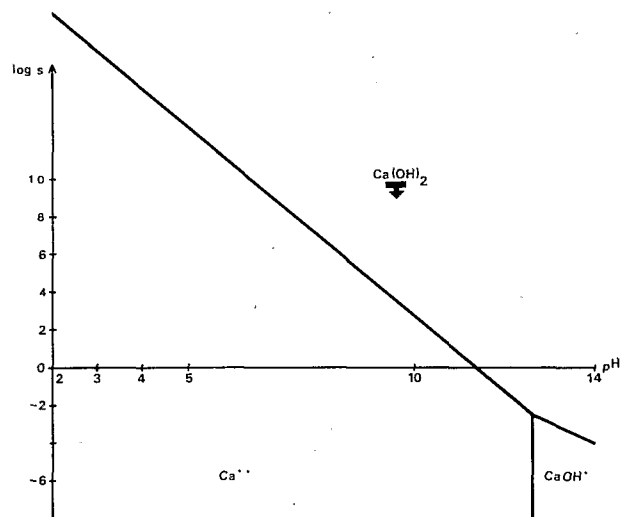


FIG. 4. — Diagrammes de solubilité des hydroxydes de calcium et de magnésium.

avec un coefficient d'activité $\gamma_{Mg^{2+}} \sim 0,35$. On obtient un précipité de brucite pour $pH \sim 9,2$.

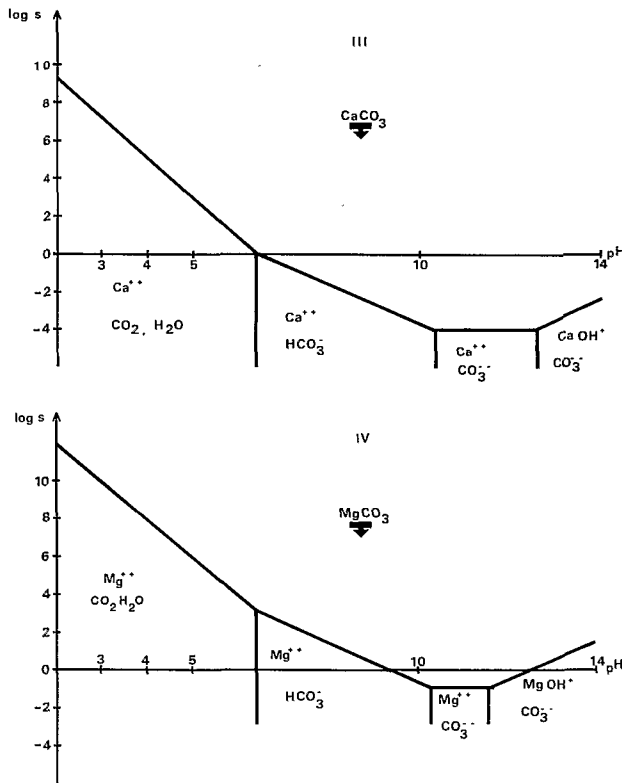
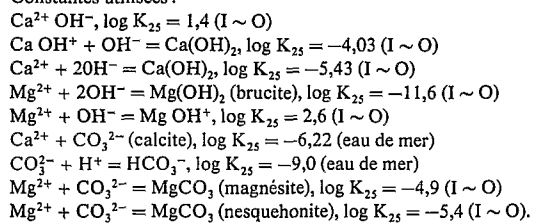


FIG. 5. — Diagrammes de solubilité des carbonates de calcium et de magnésium.

Constantes utilisées :



3. Diagramme III, fig. 5 : Solubilité du carbonate de calcium en fonction du pH dans un mélange de l'eau thermale avec une eau de mer contenant $1,3 \cdot 10^{-3}$ mol.l⁻¹ de CO₂ total. Le mélange volume à volume (eau de mer 400 mg.l⁻¹ et eau ther-

Sels cristallisés	¹³ C‰ vs PDB	¹⁸ O‰ vs PDB	¹⁴ C % mod.
Kaori I	-15,54	-11,81	106,3 ± 1,2
Kaori II	- 9,04	- 6,05	
Carénage I	- 1,65	- 1,25	47 ± 21
Pry 1	+ 1,66	+ 1,08	
Pry 2	+ 2,71	+ 2,11	54 ± 18
Pry 4	+ 0,65	+ 0,96	
Pry 5	+ 2,60	+ 2,18	
Carbone total dissous (HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻)			
RVK 27.09.78	-10,17	(-8,03)	
RVC 27.09.78	-14,64	(-8,04)	

TABL. III. — Teneurs en isotopes stables du carbone et de l'oxygène des calcites du système hydrothermal de Prony.

male 20 mg.l⁻¹) a une concentration en Ca²⁺ de 210 mg.l⁻¹, $\log mCa^{2+} = \log s = -2,28$ et une teneur en CO₂ total de $0,65 \cdot 10^{-3}$ mol.l⁻¹. La calcite apparaît à partir de pH 8,7.

4. Diagramme IV, fig. 5 : Solubilité du carbonate de magnésium en fonction du pH dans un mélange de l'eau thermale avec une eau de mer contenant $1,3 \cdot 10^{-3}$ mol.l⁻¹ de CO₂ total (mélange $0,65 \cdot 10^{-3}$ mol.l⁻¹). Pour une concentration de magnésium de 1 300 mg.l⁻¹ (eau de mer) et 0 mg.l⁻¹ (eau thermale), le mélange a une concentration de 650 mg.l⁻¹; $\log mMg^{2+} = \log s = -1,57$. Quel que soit le pH, la teneur en magnésium est insuffisante pour obtenir un précipité de magnésite.

Quelles que puissent être les incertitudes sur ces estimations et notamment celles qui découlent de la médiocre définition des constantes et des coefficients d'activité, ces quatre diagrammes de solubilité suggèrent que les phases solides identifiées brucite Mg(OH)₂ et calcite CaCO₃ sont conformes aux conditions d'équilibre solutions-solides en fonction des pH et des concentrations mesurées dans les solutions. On peut noter que Barnes et al. (1978) signalent que des eaux à faciès chimiques assez comparables mais non thermales, conduisent à des serpentinitisations (chrysotile-lizardite).

INTERPRÉTATION DES DONNÉES ISOTOPIQUES

Les précipités chimiques de calcite (tabl. III) affichent de larges variations tant en carbone 13 (-15,54 à + 2,71‰ vs PDB) qu'en oxygène 18 (-11,81 à + 2,11‰ vs PDB).

De plus, dans un diagramme teneurs en ¹³C vs teneurs en ¹⁸O, les points représentatifs correspondants se disposent selon une excellente corrélation (fig. 6). La codépendance des teneurs en ces deux isotopes peut être en principe imputable à plusieurs mécanismes :

— un effet thermique ;

— une évolution selon un même processus à plusieurs stades ;
 — un mélange de fluides.

L'effet thermique peut être éliminé car la variation des teneurs en isotopes lourds sous le seul effet de la température ($(\Delta \delta^{13}C / \Delta \delta^{18}O) / \Delta t$) est voisine de 0,3 alors que la pente de la corrélation est nettement plus forte.

Parmi les processus évolutifs susceptibles de donner lieu à une variation simultanée des teneurs en ¹⁸O et ¹³C, l'un des plus

fréquemment invoqués est celui d'un dégazage progressif des solutions avec évaporation (Turi, 1984). Cela ne peut être le cas pour des solutions hydrothermales qui ne contiennent pas de carbone total dissous. On pourrait également invoquer un effet inverse, celui de l'absorption de CO₂ gazeux par les solutions hyperalcalines avec appauvrissement progressif en isotopes lourds du réservoir gazeux et diminution conjuguée de la teneur en isotopes lourds des carbonates solides ainsi formés. Toutefois, ceci supposerait encore l'intervention d'un réservoir clos de CO₂ gazeux dans les précipitations, ce qui n'est pas conforme aux conditions de gisement.

On est donc conduit à envisager un mélange de deux apports différents lors de la cristallisation du carbonate. Chacune de ces sources a une teneur caractéristique en oxygène 18 et en carbone 13.

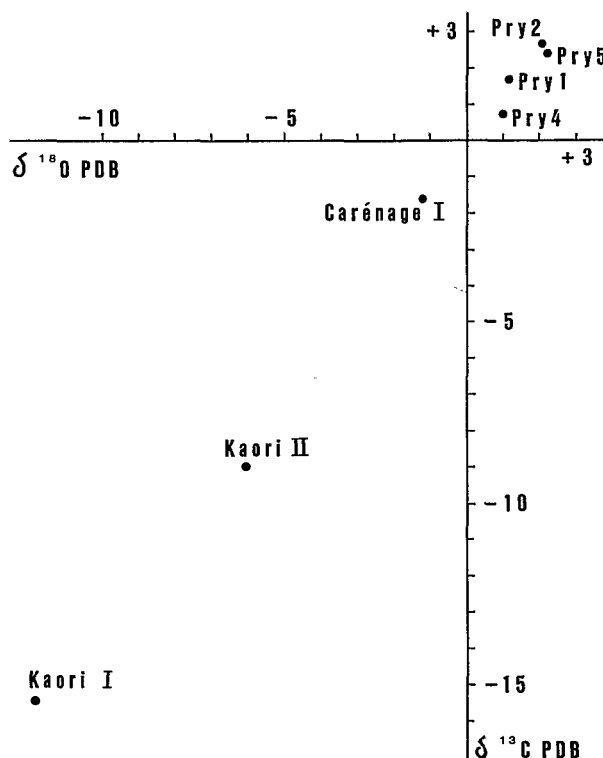


FIG. 6. — Diagramme delta ¹³C—delta ¹⁸O des carbonates des concrétions liées aux émergences thermales.

L'APPORT CONTINENTAL : L'EAU THERMALE

L'équation dite « des paléotempératures »:

$$t = 16,9 - 4,2 (\delta - A) + 0,13 (\delta - A)^2$$

où A est la teneur en ¹⁸O de l'eau et δ celle du carbonate solide mesurés par rapport au même étalon de travail après préparation selon les techniques classiques, permet de calculer la température d'équilibre isotopique de cristallisation du carbonate de la source des Kaoris: t_{eq} = 56°C, ce qui est nettement supérieur à la température moyenne de l'émergence. On peut en conclure soit (a) que le dépôt n'est pas en équilibre avec le fluide, (b) que les conditions thermiques ont varié, (c) que l'eau prélevée à la source thermique des Kaoris a une teneur en ¹⁸O plus forte que celle au sein de laquelle se sont précipitées les calcites prélevées. Compte-tenu de la bonne corrélation de mélange qui laisse supposer que la cristallisation s'accomplit dans l'ordre, il est possible de rejeter l'explication d'un déséquilibre. A propos de l'hypothèse (b), on doit noter que les eaux de l'émergence du Carénage ont une température de 42°, ce qui montre que les circuits hydrothermaux peuvent s'enraciner à des profondeurs variables.

Toutefois, cette hypothèse impliquerait que le dépôt analysé se serait donc formé dans des conditions de circulation différentes de celles d'aujourd'hui. L'hypothèse (c) des variations des conditions d'alimentation des circuits procède du même raisonnement. La forte teneur en carbone 14 de l'échantillon Kaori I montre que la cristallisation est récente (postérieure à l'ère des essais nucléaires). Il est donc probable que les eaux de la source soient légèrement enrichies en isotopes lourds par évaporation. De plus, cette teneur en ¹⁴C prouve que le carbonate a cristallisé en système ouvert sur un CO₂ récent. Le système ouvert est caractérisé par les équations suivantes (Fontes,

1984) qui définissent les teneurs en isotopes lourds du carbone inorganique total dissous (CITD):

$$\text{pour le carbone 13: } \delta (\text{CITD}) \sim \delta \text{CO}_2 (\text{gaz}) - \epsilon_g$$

$$\text{pour le carbone 14: } A(\text{CITD}) \sim A(\text{CO}_2 (\text{gaz}) - (1-2,3 \epsilon_g) \text{ (Saliege et Fontes, 1984) avec } \epsilon_g \sim |(-9483/T) + 23,89| \text{ ‰ (Mook, 1980)}$$

$$\text{soit à } T = 313 \text{ K, (40°C), } \epsilon_g \sim -6,4\text{‰}$$

Le passage au carbonate solide s'accompagne lui-même d'un fractionnement qui s'écrit:

$$\delta(\text{calcite}) = \delta(\text{CITD}) + \epsilon_s$$

$$A(\text{calcite}) \sim A(\text{CITD}) + (1-2,3 \epsilon_s)$$

$$\text{avec } \epsilon_s \sim |(-4232/T) + 15,10| \text{ ‰}$$

$$\text{soit à } T = 313 \text{ K, } \epsilon_s = +1,6$$

En définitive, la calcite est enrichie de 8‰ environ par rapport au CO₂ gazeux. La source thermique de Kaoris a donc élaboré sa calcite (δ¹³C ~ -15,5) en présence d'un CO₂ dont la teneur en carbone 13 est de l'ordre de -23,5 ‰. Cette valeur est caractéristique des plantes supérieures à cycle photosynthétique de Calvin-Benson (Deines, 1980). Le CO₂ du milieu continental (tapis végétal et sols) intervient donc comme un tampon pour abaisser le pH des solutions à l'émergence.

De la même façon, les carbonates concrétionnés avec la brucite de l'édifice sous-marin de la baie de Prony sont proches de l'équilibre avec le CO₂ de l'atmosphère (δ¹³C ~ -7 ‰ vs PDB (Deines, 1980) et avec l'eau marine δ¹⁸O ~ -0,5 ‰ vs SMOW).

La faible teneur en carbonate des échantillons essentiellement composés d'hydroxyde de magnésium, n'a pas permis d'en déterminer la teneur en ^{14}C de façon précise.

Toutefois, malgré la forte incertitude, le résultat obtenu pour l'échantillon Pry II indiquerait que la construction de l'édifice a porté sur la plus grande partie de l'Holocène, c'est-à-dire aurait débuté avec la transgression flandrienne.

Le fait que l'un des échantillons du domaine intermédiaire (Carénage I) semble également afficher un âge assez reculé dans l'Holocène, confirmerait l'hypothèse d'une construction étalée sur plusieurs milliers d'années.

CONCLUSION

Les eaux thermales de la région de Prony présentent un chimisme remarquable tant par la composition des eaux (haut pH et présence d'hydroxydes) que par la nature des dépôts : précipitation de brucite primaire. Habituellement, ce minéral est un produit d'altération du périclase (MgO), mais il peut aussi se rencontrer en fines veines dans les serpentinites et les schistes chloriteux. Il ne semble pas que ce soit le cas à Prony où la précipitation de l'hydroxyde magnésien peut intervenir par mélange entre les solutions hydrothermales continentales qui ont hydrolysé des silicates sodi-calciques et dont l'équilibre électrique est rétabli par la formation d'ions hydroxyde avec les ions Mg^{2+} de l'eau de mer.

La précipitation de carbonate de calcium se produit aux émergences des circulations souterraines. Le carbone des carbonates est alors fourni par le CO_2 des sols et du tapis végétal.

Dans le cas des précipitations en milieu marin, le carbone a pour origine l'atmosphère.

Les teneurs en carbone 14 suggèrent que le phénomène dure depuis l'Holocène supérieur au moins.

Remerciements

Les analyses chimiques des éléments majeurs dans les eaux et des précipités ont été réalisées au Laboratoire commun d'analyses du Centre de Nouméa sous la direction de MM. Chanut et Soleilhavoup, Mr. D. Poupard, Ingénieur ENSEG a calculé les diagrammes d'équilibre.

Les analyses isotopiques ont été effectuées par A. Filly et M. Massault.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNOUD A., AVIAS J. (1955). — Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie à 1/100 000. Feuille n° 10 Yate-Prony (île des Pins) et notice explicative.
- BARNES I., O'NEILL J.R., TRESCASES J.-J. (1978) — Present day serpentinization New Caledonia, Oman and Yugoslavia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, pp. 144-145.
- DEINES P. (1980). — The isotopic composition of reduced organic carbon, in *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Fritz P. and J.C. Fontes eds, Vol. I, The Terrestrial Environment, A, Elsevier Pub. Co., Amsterdam, pp. 329-406.
- FONTES J.C. (1983). — Dating of groundwater, in *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*, Techn. Rep. Ser. n° 91, AIEA, Vienna, 285-317.
- GARNIER J. (1873). — Voyage autour du monde. La Nouvelle-Calédonie (Côte-Orientale), 364 p., Plon édit.
- GUILLOU J.-H., TRESCASES J.-J. (1972). — Prony, carte géologique à 1/50 000 et notice explicative. BRGM, édit. Paris.
- MOOK W.-G. (1980). — Carbon-14 in hydrogeological studies, in *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Fritz P. and J.C. Fontes eds, Vol. I, The Terrestrial Environment, A, Elsevier Pub. Co., Amsterdam, pp. 49-74.
- PECORA W.-T., KERR J.-H. (1953). — Burbankite and calkinsite, two new carbonate minerals from Montana. *Amer. Mineral.*, 38, pp. 1169-1183.
- RODIER J. (1978). — L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod édit., 1136 p.
- SALIEGE J.-F., FONTES J.-C. (1984). — Essai de détermination expérimentale du fractionnement des isotopes ^{13}C et ^{14}C du carbone au cours de processus naturels. *Int. Journ. Appl. Radiation and Isotopes*, 35, n° 1, pp. 55-62.
- TAILLOTE A. (1884). — Étude des eaux thermales de la baie de Prony, dactyl. 3 p.
- TRESCASES J.-J. (1975). — L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Mémoire ORSTOM, n° 78, 259 p.
- TRUESDELL A.-H., JONES B.-F. (1974). — WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. *Research U.S. Geol. Survey*, 2, n° 2, pp. 233-248.
- TURI B. (1984). — Stable isotope geochemistry of travertines, in *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Fritz P. and Fontes J.C.H. eds, Vol. 2, The Terrestrial Environment, B, Elsevier Pub. Co., Amsterdam, sous presse.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Photo 1 — Dalle calcaire de travertin à l'émergence des Kaoris. Au premier plan, émergences réduites sur l'estran.

Photo 2 — Coupe dans le travertin de la source des Kaoris. Échantillon Kaori I.

Photo n° 1

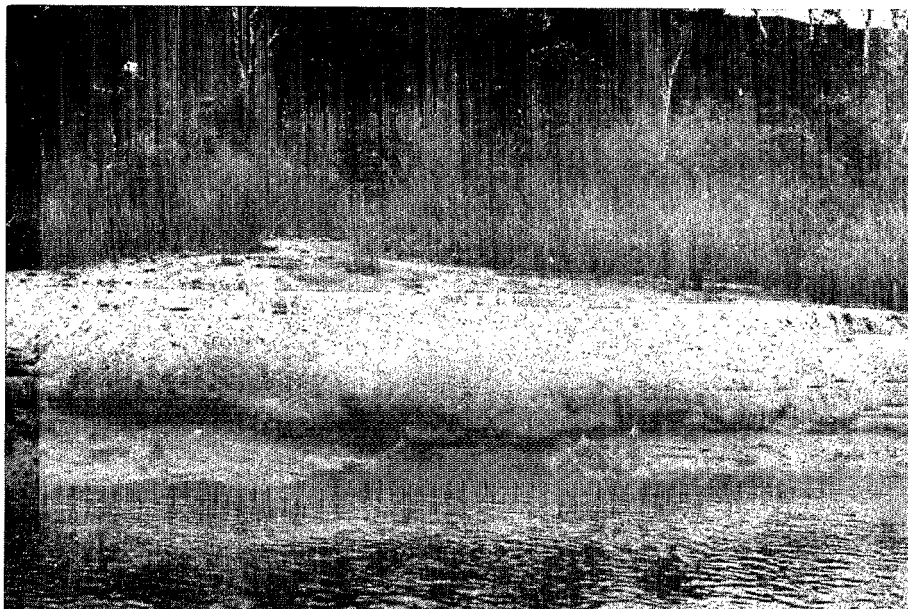
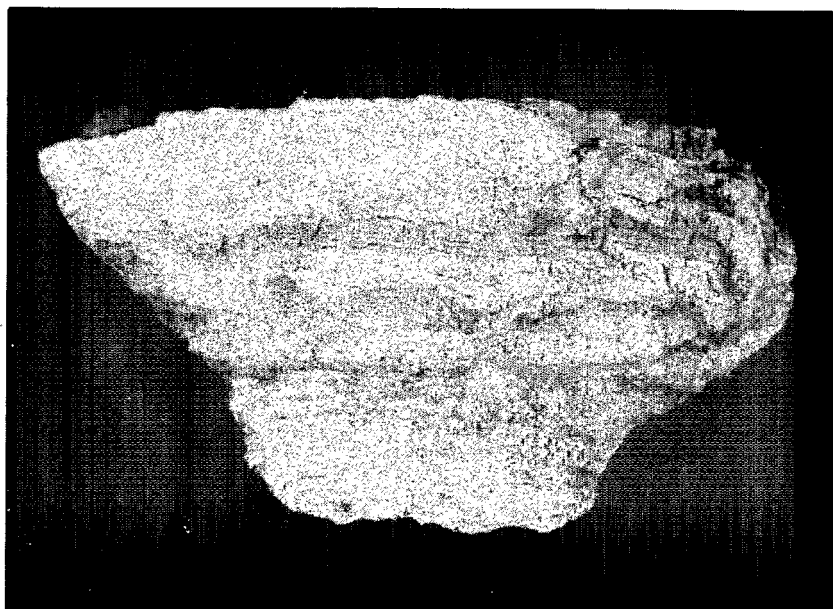


Photo n° 2



Photos 3 a et b — Petits édifices de brucite sur l'estran à l'embouchure de la rivière des Kaoris. Échantillon Kaori II.

Photo 3a

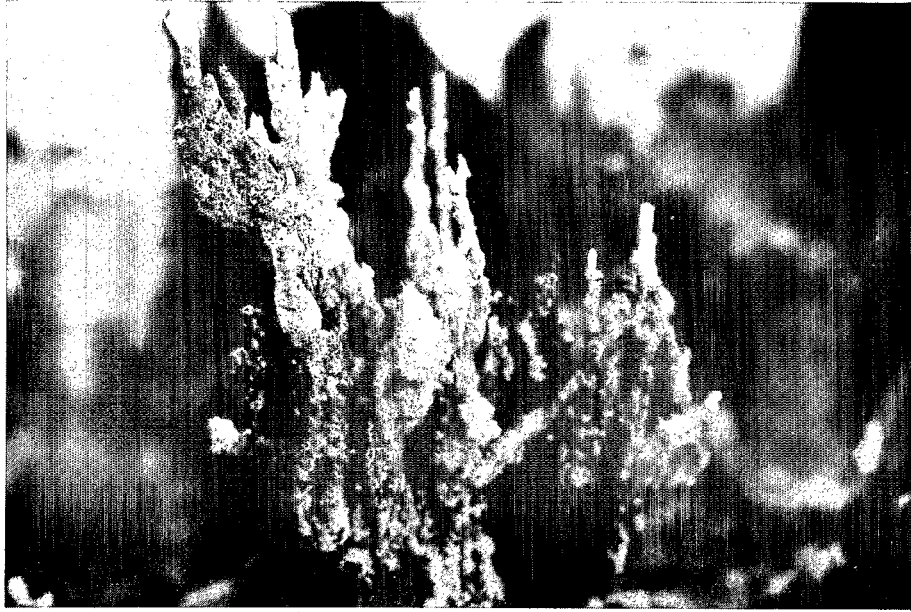
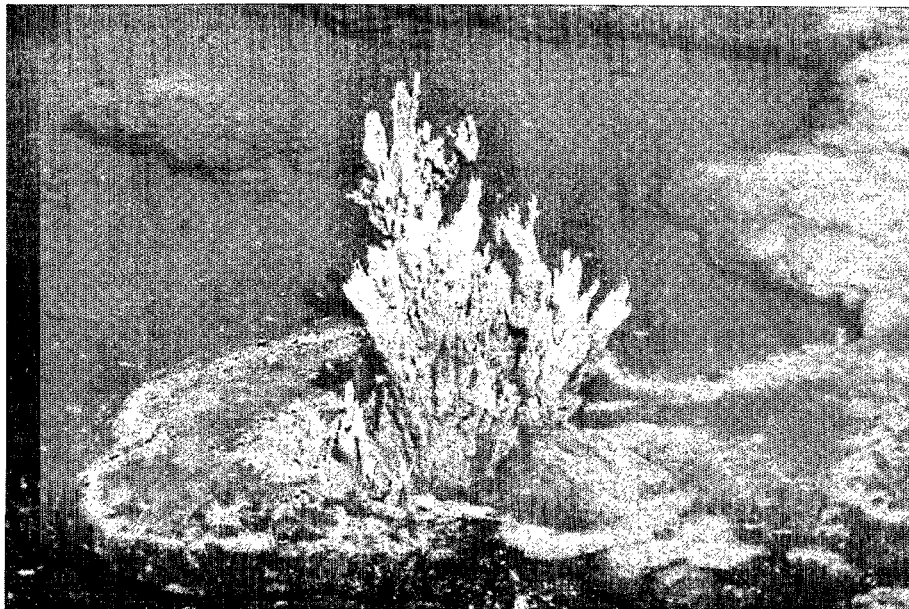


Photo 3b



Photos 4 et 5 — Petits édifices de brucite sur l'estran à l'embouchure de la rivière des Kaoris. Échantillon Kaori II.

photo n° 4

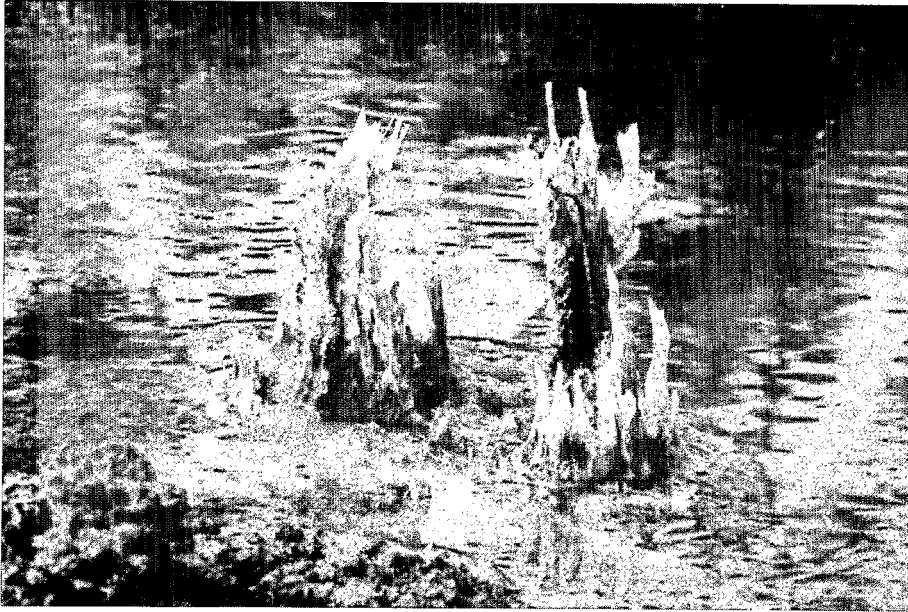


photo n° 5

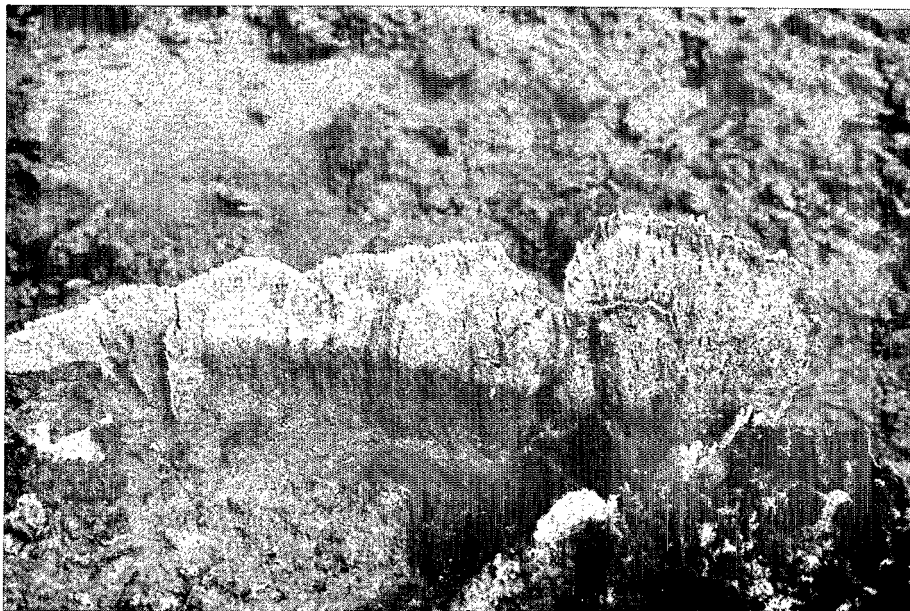


Photo 6 — Émergence de la baie du Carénage avec petit îlot concrétionné. Échantillon Carénage I.

Photos 7 et 8 — Encorbellement avec « stalagmites » de brucite sous-marine à la source du Roc Aiguille dans la baie de Prony.

photo n° 6



photo n° 8



photo n° 7

