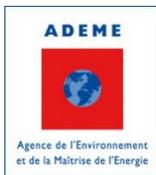


Document public



Évaluation du potentiel géothermique de la Grande Terre (Nouvelle-Calédonie)

Phase 2 : Rapport de mission d'échantillonnage des sources thermales et des analyses géochimiques associées

Rapport
SGNC- 2020-(02)

J. JEANPERT, S. LESIMPLE
Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie / DIMENC

B. SANJUAN
Division Géothermie de la Direction des Géoressources / BRGM

Février 2020

Évaluation du potentiel géothermique de la Grande Terre– (Nouvelle-Calédonie)

Phase 2 : Rapport de mission d'échantillonnage des sources thermales et des analyses géochimiques associées

Rapport
SGNC- 2020-(02)

J. JEANPERT, S. LESIMPLE
Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie / DIMENC

B. SANJUAN
Division Géothermie de la Direction des Géoressources / BRGM

Contenu

Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	6
Liste des annexes.....	6
1. Introduction.....	7
2. Compte-rendu de la mission d'échantillonnage en septembre 2019.....	9
3. Programme d'analyses géochimiques et résultats.....	21
4. Conclusion et perspectives.....	27
5. Bibliographie.....	29

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géologique des sources échantillonnées au cours de la mission de reconnaissance.	10
Figure 2 : Illustrations concernant la source de La Crouen, dont l'eau émerge à 42°C, sur le site de l'ancienne station thermale, implanté dans la commune de Canala (photos SGNC).	10
Figure 3 : Illustrations concernant la source Nemwegi, dans la commune de Canala (photos SGNC et BRGM).	11
Figure 4: Illustrations concernant la source Kopélia, commune de Canala (photos SGNC).	11
Figure 5 : Illustrations concernant différentes émergences de la source Gélima, commune de Canala (photos SGNC).	12
Figure 6 : Illustrations concernant la source Mokoué, commune de Canala (photos SGNC).	12
Figure 7 : - Illustrations concernant la source Pourina, côte oubliée à Yaté (photos SGNC).	13
Figure 8 : Illustrations concernant la source Poco Mié, côte oubliée à Yaté (photos SGNC).	13
Figure 9 : Illustrations concernant la source du Lac Yaté (Massif du Sud, photos SGNC et BRGM).	14
Figure 10 : Illustrations concernant la source Bain des Japonais de la Baie de Prony, dans le Massif du Sud (photos SGNC).	15
Figure 11 : Illustrations concernant la source Kaoris du Massif du Sud (photos SGNC).	15
Figure 12 : Illustrations concernant la source Fanama, commune de Thio (photos SGNC).	16
Figure 13 : Illustrations concernant la source Lembi, commune du Mont-Dore (photos SGNC).	16

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données de terrain acquises au cours de la campagne de reconnaissance des principales sources thermales de Nouvelle-Calédonie, menée du 5 au 12 septembre 2019.	18
Tableau 2 : Résultats des analyses chimiques des espèces majeures obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.	23
Tableau 3 : Résultats des analyses chimiques des espèces traces obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.	24
Tableau 4 : Résultats des analyses isotopiques obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.	25

Liste des annexes

Annexe 1 : Relance du thermalisme en Nouvelle-Calédonie : Projet « La Crouen » à Canala (tiré de la revue municipale de Canala KECHO n°7, juillet 2004, p. 8-9).....	31
--	----

1. Introduction

L'Agence Calédonienne de l'Energie (ACE), assistée de l'ADEME, la Nouvelle-Calédonie, assistée de la Direction de l'Industrie des Mines et de l'Energie de la Nouvelle-Calédonie (DIMENC) et représentée par le Service Géologique de Nouvelle-Calédonie (SGNC/DIMENC), ainsi que le BRGM, ont établi une convention de recherche et de développement partagés sur « l'Évaluation du potentiel géothermique de la Grande Terre », qui a démarré le 26 octobre 2018 et a une durée de 18 mois.

Dans le cadre de la première phase de cette convention, une synthèse - inventaire des sources thermales connues en Nouvelle-Calédonie et reconnaissance géologique des sites potentiels - a été réalisée au premier trimestre 2019 par le SGNC, en collaboration avec le BRGM (Jeanpert *et al.*, 2019).

La seconde phase de ce programme s'est poursuivie par une campagne d'échantillonnage des principales sources thermales recensées lors de l'inventaire, afin d'effectuer des analyses chimiques et isotopiques des eaux de ces sources. Cette mission de terrain avait pour objectif principal la reconnaissance des sources les plus prometteuses en termes de potentiel géothermique de la Grande-Terre de la Nouvelle-Calédonie et a été menée par une équipe mixte Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie (SGNC) - BRGM, entre le 4 et le 12 septembre 2019.

Au cours de la préparation de cette campagne, la plupart du flaconnage pour l'échantillonnage et certains produits chimiques nécessaires au conditionnement des échantillons pour les analyses envisagées ont été expédiés par le BRGM, de la métropole vers la Nouvelle-Calédonie. Pendant cette période, un travail de préparation important a également été effectué par le SGNC (localisation précise des sources sur cartes, prise de rendez-vous avec les municipalités, organisation à mettre en place, hébergements, etc.).

Le présent rapport de mission établit précisément le déroulement de la campagne qui a eu lieu en septembre 2019 et présente également les résultats des analyses physico-chimiques faites sur site, ainsi que ceux des analyses chimiques et isotopiques qui ont été réalisées ensuite en laboratoire sur chacun des échantillons prélevés. L'interprétation des données chimiques et isotopiques sera présentée et mise en regard avec les besoins et les potentialités géothermiques et économiques dans le rapport final de la phase 2 de ce programme.

2. Compte-rendu de la mission d'échantillonnage en septembre 2019

2.1. Journée du 4 septembre 2019

Journée dédiée à la préparation et à l'organisation de la campagne de terrain (confirmation des sources thermales à étudier et du planning, ainsi que des différents rendez-vous, préparation du matériel d'échantillonnage et de mesures, sortie papier de certains documents de terrain, etc.).

2.2. Campagne de reconnaissance des sources thermales du 5 au 12 septembre 2019

Au cours de cette campagne de reconnaissance, douze sources thermales ont été visitées. Ces sources peuvent être regroupées en quatre ensembles (fig. 1) :

- les sources de la région de la côte Est, situées entre les communes de Canala et de Thio (La Crouen, Nemwegi, Kopélia, Mokué, Gélima et Fanama), qui ont été échantillonnées, sans trop de difficultés, les 5, 6 et 12 septembre 2019. L'eau des sources Nemwegi et Kopélia, échantillonnée grâce à la collaboration respective de M. Guy Dembo (agent de la mairie de Canala) et M. Jean-Marie Chouron, n'avait jamais été analysée auparavant. Les sources Gélima et Fanama ont été échantillonnées grâce à la collaboration de M. Daniel Hohieux de Canala et de la personne gérant le camping de Haut Gélima, et Eric Toura de la mairie de Thio, respectivement ;
- les sources de la région du Massif du Sud, dans la baie de Prony (Bains des Japonais et Kaoris), qui ont été prélevées le 11 septembre 2019, grâce à la prestation de la société Casy Express, qui nous a permis d'approcher ces sources en bateau ;
- les sources de la côte oubliée, à l'est de Thio (Pourina, Poco Mié, Lac Yaté), échantillonnées le 10 septembre 2019, grâce à la prestation de la société HéliSud, financée par le SGNC dans le cadre de ce programme, qui nous a permis d'approcher ces sources en hélicoptère. Parmi les 6 sources initialement visées, seules ces trois dernières ont pu être prélevées en raison des difficultés rencontrées pour l'atterrissage de l'hélicoptère. L'eau des sources Pourina et Poco Mié n'avait jamais été analysée auparavant. L'existence de nouvelles sources (Comboui et Ngoi) survolées en hélicoptère a pu être confirmée ; la source de la Ni, probablement masquée par la végétation, n'a pas été observée au cours de cette mission ;
- la source Lembj, échantillonnée le 11 septembre 2019, qui n'avait jamais été antérieurement analysée par le SGNC.

Les figures 2 à 13 donnent une illustration de chacune des sources échantillonnées.

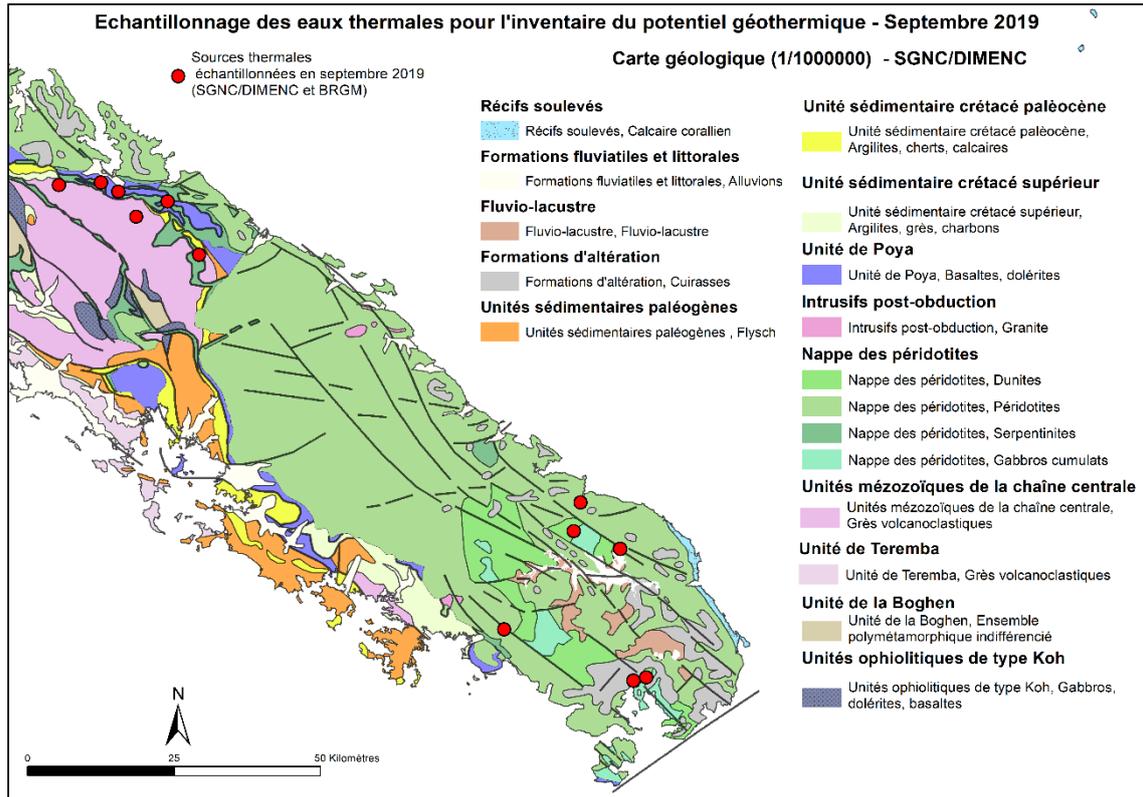


Figure 1 : Contexte géologique des sources échantillonnées au cours de la mission de reconnaissance.



Figure 2 : Illustrations concernant la source de La Croen, dont l'eau émerge à 42°C, sur le site de l'ancienne station thermale, implanté dans la commune de Canala (photos SGNC).



Figure 3 : Illustrations concernant la source Nemwegi, dans la commune de Canala (photos SGNC et BRGM).



Figure 4 : Illustrations concernant la source Kopélia, commune de Canala (photos SGNC).



Figure 5 : Illustrations concernant différentes émergences de la source Gélima, commune de Canala (photos SGNC).



Figure 6 : Illustrations concernant la source Mokoué, commune de Canala (photos SGNC).

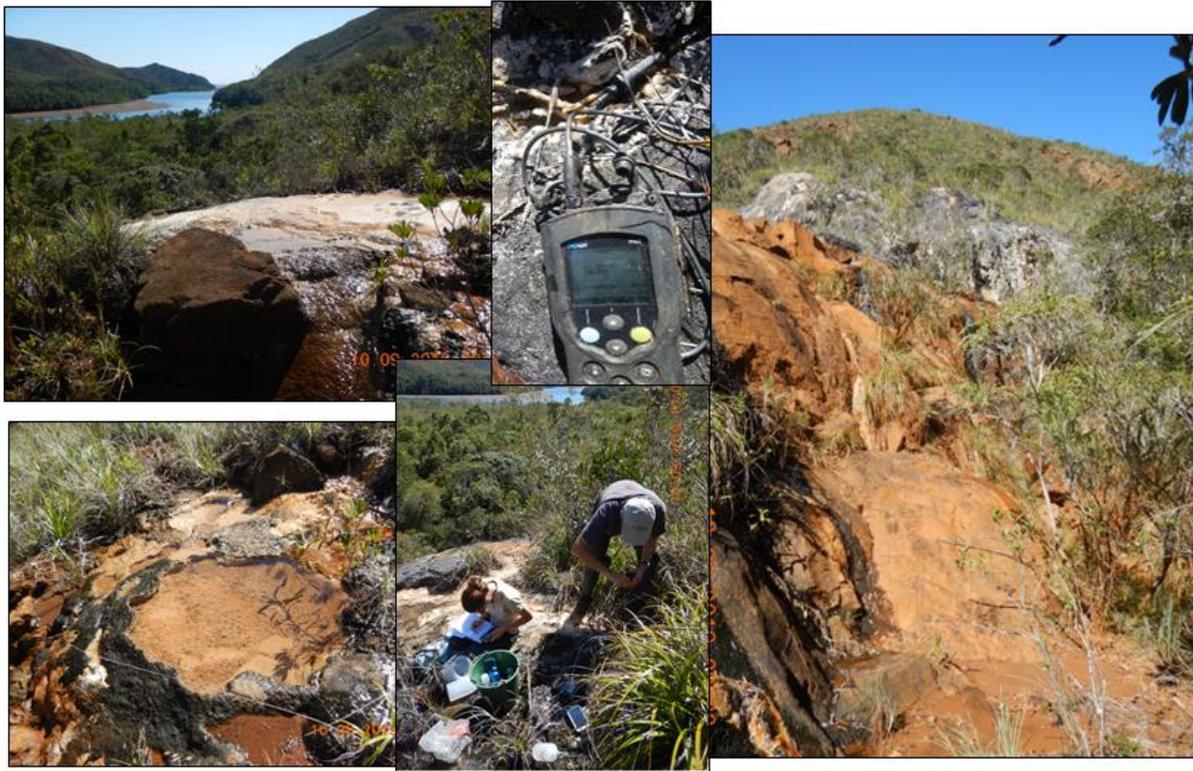


Figure 7 : - Illustrations concernant la source Pourina, côte oubliée à Yaté (photos SGNC).

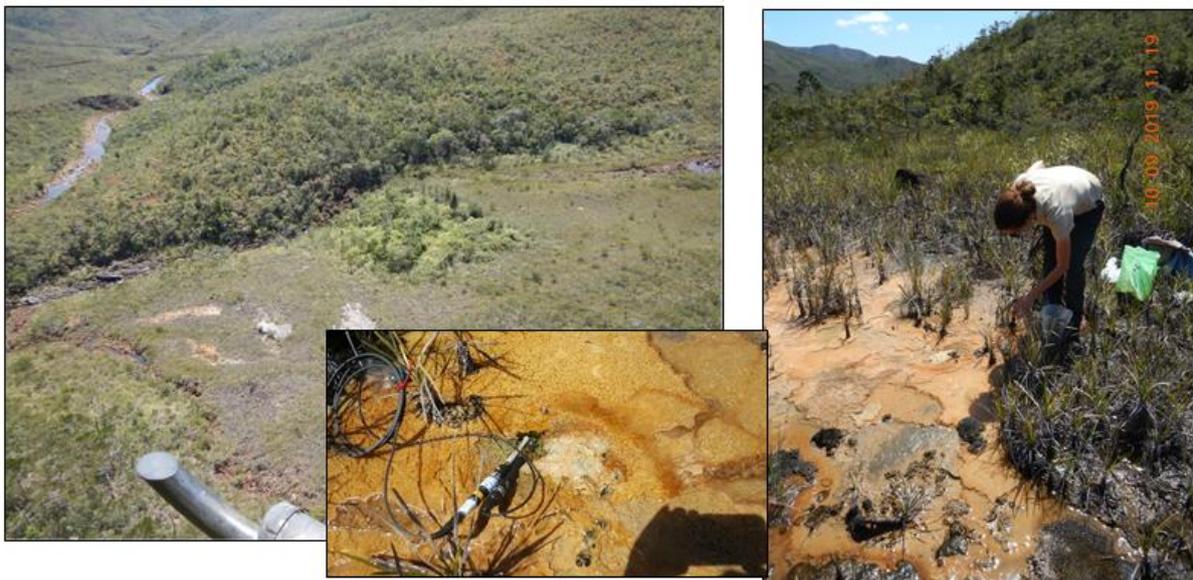


Figure 8 : Illustrations concernant la source Poco Mié, côte oubliée à Yaté (photos SGNC).



Figure 9 : Illustrations concernant la source du Lac Yaté (Massif du Sud, photos SGNC et BRGM).



Figure 10 : Illustrations concernant la source Bain des Japonais de la Baie de Prony, dans le Massif du Sud (photos SGNC).



Figure 11 : Illustrations concernant la source Kaoris du Massif du Sud (photos SGNC).



Figure 12 : Illustrations concernant la source Fanama, commune de Thio (photos SGNC).



Figure 13 : Illustrations concernant la source Lembi, commune du Mont-Dore (photos SGNC).

Certaines de ces sources ont plusieurs émergences. Les mesures des paramètres physico-chimiques non conservatifs des eaux, tels que la température, la conductivité, le pH, le potentiel Rédox et l'oxygène dissous ont été prises, parfois, sur différentes émergences. Par contre, seule l'eau de l'émergence présentant le plus grand intérêt d'un point de vue scientifique pour ce projet a été échantillonnée et conditionnée pour la réalisation des analyses chimiques et isotopiques en laboratoire. La détermination de l'alcalinité sur le terrain par la méthode de Gran et la détection de la présence de sulfures au moyen d'acétate de cadmium n'ont également été effectuées que sur les eaux de ces émergences.

En complément, quelques eaux de rivière proches de certaines de ces sources ont aussi fait l'objet de mesures de certains des paramètres physico-chimiques (T, conductivité, pH, potentiel Rédox) et de prélèvements pour des analyses isotopiques en deutérium et en oxygène-18.

L'ensemble des résultats obtenus sur le terrain est reporté dans le tableau 1. L'incertitude absolue sur les mesures de température et de pH est de 0,1°C et 0,05 unité pH, respectivement. Pour les autres paramètres, l'incertitude relative est de l'ordre de 5%.

Parmi les premiers commentaires, on peut constater que les sources de La Crouen, du Bain des Japonais et de Kaoris indiquent les températures d'émergence les plus élevées (42,5 ; 39,4 et 31,2°C, respectivement). La température d'émergence la plus basse correspond à celle des sources Lembi et du Lac Yaté (24°C).

L'eau la plus minéralisée, qui indique la valeur de conductivité la plus élevée (1464 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C), est de loin celle de la source du Lac Yaté. Elle est suivie par celles des sources Mokoué et Pourina, qui indiquent des valeurs de conductivité respectives de 652 et 642 $\mu\text{S}/\text{cm}$, à 25°C. L'eau la moins minéralisée est celle de la source de La Crouen, qui affiche une conductivité de 234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C, et indique la température d'émergence la plus élevée.

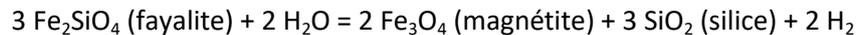
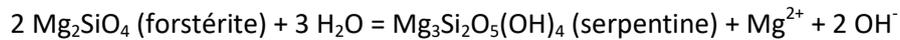
Seules les valeurs de pH des eaux des sources Kopélia, Mokoué et Fanama sont en dessous de 9 (7,82 ; 7,92 et 8,71, respectivement). Celles de La Crouen, Nemwegi et Gélima sont respectivement de 9,18 ; 9,38 et 9,32. Toutes ces eaux sont associées à des dégagements de H_2S , plus ou moins importants, qui ont une odeur caractéristique « d'œuf pourri ». Des observations similaires avaient été faites par Koch (1958) et Cox *et al.* (1982) pour les eaux de La Crouen et de Fanama. D'après Deville et Prinzhofer (2016), les gaz associés à la source de La Crouen sont principalement constitués d'azote (environ 97%), avec un peu de méthane (2,7%) et des traces d'hélium. L'azote et l'hélium étant tous les deux d'origine crustale (signature isotopique $^3\text{He}/^4\text{He}$ caractéristique).

Pour une grande partie de ces sources (notamment, celles de Kopelia en Figure 4, de Gélima en Figure 5, de Mokoué en Figure 6 et de Fanama en Figure 12), on peut observer des dépôts de gel et de filaments associés, de couleur blanchâtre et/ou verdâtre. Ce même type de dépôts avait été observé en République Dominicaine pour des eaux thermales, avec dégagement de H_2S et températures d'émergence similaires (Sanjuan *et al.*, 2017). Leurs analyses minéralogiques avaient indiqué qu'ils étaient principalement constitués de soufre (60-80%), d'argiles de type smectite ou interstratifiés smectite/illite (10-20%), et d'un peu de gypse (10%).

Point de prélèvement	n°	Date	X	Y	Débit	T _{émerg.}	Cond. 25°C	pH	Eh _{brut}	O _{2diss.}	O _{2diss.}	Alc.	H ₂ S	Commentaires	Observations géologiques
			RGNC Lambert		l/mn	°C	µS/cm		mV	mg/l	%	méq/l			
La Crouen - Vasque	LC-V	05/09/2019 11:00				40,9	234	9,18	-340	0,89	14		oui	Grès volcano-sédimentaires de la chaîne centrale	Pas d'affleurements visibles sur le site.
La Crouen - Captage Φ = 350 mm	LC-C	05/09/2019 11:15	388554	296066		42,5	233	9,18	-440	0,01	0,1	1,61	oui		Pas d'affleurements visibles sur le site.
Source Nemwegi	NEM	05/09/2019 13:30	395711	296565		27,0	346	9,38	-395	0,01	0,1	2,13	oui	Nombreux "poissons millions" + bulles de gaz (prélèvement)	Pas d'affleurement, mais des blocs éparses de roche massive sombre (basalte probable).
Source Kopélia	KOP-1	06/09/2019 11:00	401739	290619		25,5	401	8,05	-245	3,44	41,9		non	Source rive gauche de la rivière. Présence de filaments blancs	Affleurement de sédiments. Probables grès (volcanoclastiques ?), avec une schistosité fruste développée selon N114-85NE
Source Kopélia	KOP-2	06/09/2019 11:10	401739	290619	6,1	25,3	399	7,92	-336	0,05	0,6	3,02	non	Source rive gauche de la rivière. Présence de filaments blancs	Affleurement de sédiments. Probables grès (volcanoclastiques ?), avec une schistosité fruste développée selon N114-85NE
Source Mokoué	MOK-1	06/09/2019 12:00	407110	293287		24,7	652	7,82	-322	0,37	4,4	3,94	oui	Source rive droite de la rivière. Présence de nombreux dépôts et de filaments blancs. Prélèvement de gaz dans la rivière (bulles)	Pas d'affleurement dans la rivière, mais de nombreux blocs de Basaltes ou sédiments jaspeux associés, ainsi qu'un énorme bloc de Lystwénite. La source se trouve dans l'axe de la crête armée d'une lystwénite.
Source Mokoué	MOK-3	06/09/2019 12:10	407114	293296		27,5	330	7,72	-50	0,43	5,5		oui	Petite vasque rive droite de la rivière	Pas d'affleurement dans la rivière, mais de nombreux blocs de Basaltes ou sédiments jaspeux associés, ainsi qu'un énorme bloc de Lystwénite. La source se trouve dans l'axe de la crête armée d'une lystwénite.
Source Gélima	GELI-4	06/09/2019 09:00	398468	294663		21,2	114	8,49	-256	7,92	83		oui	Nouvelle émergence.	Affleurement de basalte massif, fracturation légère, globalement orientée N75-55SE
Source Gélima	GELI-1	06/09/2019 14:00	398660	294913		29,3	257	9,32	-386	0,00	0	1,91	oui	Présence de filaments blancs	
Source Pourina	POU-1	10/09/2019 10:00	477596	241430		26,1	642	11,42	-740	0,35	4,5	1,98	non	Prélèvement de l'échantillon d'eau	
Source Pourina	POU-2	10/09/2019 10:30	477592	241415		29,2	536	8,49	-84					Bulles de gaz prélevées	
Source Poco Mié	PM-1	10/09/2019 11:25	476419	236423		25,1	446	11,29	-523	0,01	0,2	1,41	non	Prélèvement d'eau et de gaz	
Source Poco Mié	PM-2	10/09/2019 11:35	476421	236456		26,5	164		-238					Mélange avec l'eau de la rivière	
Source Lac Yaté	LT	10/09/2019 12:20	484358	233406		24,0	1464	11,83	-550	0,75	9,1	4,65	non	Vasques. Travertins de calcite en surface	
Source Bain des Japonais	BJ	11/09/2019 11:00	486642	210699	8,2	39,4	447	10,73	-730	0,04	0,5	1,30	oui	Bullage	les 3 plateformes carbonatées sont alignées selon une direction N80
Source Kaoris	KAOR	11/09/2019 12:15	488800	211242		31,2	367	10,95	-470	0,79	11	1,17	non	Prélèvement de l'échantillon d'eau	Péridotites
Source Lembi	LEMB-1	11/09/2019 16:00	464562	219535		23,8	383	11,17	-230	2,11	26		non	Petite vasque avec dépôts blanchâtres	Péridotites serpentinisées.
Source Lembi	LEMB-2	11/09/2019 16:10	464562	219535		24,0	394	11,17	-320	1,60	19	1,22	non	Prélèvement de l'échantillon d'eau. Présence de bulles	
Fanama	FANA	12/09/2019 10:00	412450	284086		31,4	450	8,71	-375	0,08	1,1	3,38	oui	Prélèvement de l'échantillon d'eau - bullage important - zone de contact géologique	Affleurement dans lequel suinte la source est un contact entre des sédiments (siliceux, verdâtres et siltites noires) et une zone de serpentinites. Schistosité développée dans la serp : N110-85NE litage sédiments : N5-50W

Tableau 1 : Données de terrain acquises au cours de la campagne de reconnaissance des principales sources thermales de Nouvelle-Calédonie, menée du 5 au 12 septembre 2019.

Pour les eaux des sources du Sud, qui émergent toutes dans le grand massif de péridotites, le pH dépasse la valeur de 10, jusque 11,83 sur la source du Lac Yaté, indiquant ainsi des valeurs de pH très basiques, qui sont, très probablement associées, à la production d'ions hydroxydes en solution et de gaz hydrogène, provenant de l'altération des péridotites, et notamment des olivines (dissolution de fayalite et de forstérite), suivant les réactions chimiques bien connues :



Deville et Prinzhofer (2016) confirment bien pour les eaux des sources du Bain japonais et de Kaoris la production d'hydrogène (26-36%), qui est accompagnée de celle d'azote (50-60%) et de méthane (11-16%), avec quelques traces d'hélium (mélange d'hélium mantellique avec de l'hélium crustal, d'après la signature isotopique $^3\text{He}/^4\text{He}$).

Les mesures de potentiel Redox de toutes les eaux thermales sont très basses, pouvant atteindre des valeurs aussi basses que - 740 mV (tableau 1). Ces valeurs ainsi que la quasi-absence d'oxygène dissous pour la plupart des eaux sont en accord avec les compositions chimiques des gaz associés données par Deville et Prinzhofer (2016) pour les deux types de sources thermales.

Pour les sources déjà connues dans la littérature, on retrouve, dans l'ensemble, des données de terrain similaires aux antérieures (Koch, 1958 ; Barnes and O'Neil, 1978 ; Cox *et al.*, 1982 ; Launay et Fontes, 1985 ; A2EP, 2000 ; Technique Construction, 2007, 2008 ; Geimpact, 2013 ; Monnin *et al.*, 2014 ; Deville et Prinzhofer, 2016 ; Jeanpert *et al.*, 2019).

2.3. Rencontres au cours de la mission de terrain

- **5 septembre 2019** : rencontre avec le maire de Canala, M. Gilbert Tyuienon, vice-président du gouvernement calédonien, à Canala. Les principaux objectifs de ce projet lui sont exposés, sachant que le potentiel géothermique de la Nouvelle-Calédonie est plutôt de basse température. L'ancienne station thermale de La Crouen est évoquée et étant donné que le nouveau projet de station thermale sur ce site est bloqué depuis plusieurs années, M. Tyuienon aimerait savoir si le réservoir qui alimente les sources thermales de La Crouen pourrait aussi être localisé en dessous du village de Canala. Il lui est répondu que cette hypothèse n'est pas exclue, mais que des études de géophysique de surface (MT, CSEM) devraient être menées pour mieux localiser ce réservoir géothermique et sa géométrie, et répondre ainsi à la question. M. Tyuienon a tenu à souligner tout son intérêt et son soutien pour le projet.
- **12 septembre 2019** : réunion de restitution à chaud de la mission de terrain en présence de représentants de l'Agence Calédonienne de l'Énergie (ACE, Jean-Christophe Rigual), du service énergie de la DIMENC (Bastian Morvan, Nicolas Favray), du SGNC de la DIMENC (Olivier Monge, Stéphane Lesimple, Julie Jeanpert) et du BRGM (Vincent Mardhel, Bernard Sanjuan). Un diaporama préparé très rapidement par J. Jeanpert, S. Lesimple et B. Sanjuan, à leur retour de mission qui s'est terminée à la fin de la matinée de cette journée, est exposé en début d'après-midi, au cours de cette réunion.

Ce diaporama rappelle les principaux objectifs, phasages, montants, échéances et financeurs de la convention. Il présente les sources thermales échantillonnées au cours de la mission de terrain (carte, photos, données de terrain) et a servi de support pour les échanges. Les premiers résultats et conclusions de ce diaporama sont présentés en conclusions et perspectives de ce rapport.

3. Programme d'analyses géochimiques et résultats

3.1. Analyses chimiques et isotopiques effectuées dans le cadre de ce projet

Les analyses des espèces majeures (Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO₃, CO₃, OH, SO₄, NO₃, SiO₂) et des éléments traces (F, B, Br, S, Sr, Ba, Mn, Fe, Al, Li, Cs, Rb, Ge, W, As, Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ont été réalisées, dans les laboratoires du BRGM, sur toutes les eaux thermales échantillonnées. Les techniques d'analyse utilisées sont toutes des méthodes classiques employées dans le domaine de l'analyse des eaux (spectrométrie d'émission atomique : ICP-AES, chromatographie ionique, spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif : ICP-MS, titration, colorimétrie par spectrométrie UV visible...).

Les cations majeurs Na, K, Ca, Mg ainsi que la silice dissoute et l'élément trace Fe ont été analysés par ICP-AES. Les bicarbonates, carbonates et ions hydroxydes ont été déterminés par titration. Les anions majeurs Cl, SO₄, NO₃ et les anions traces F et Br ont été analysés par chromatographie ionique. Les sulfures ont été analysés par dosage colorimétrique par spectrométrie UV visible. Les éléments traces Sr, Ba, Mn, Li, B, As, Fe, Al, Rb, Cs, Ge, U, Cu, Co, Ni, Zn, Cr, Pb, Cd et Ag ont été analysés par ICP-MS. Suivant la valeur des concentrations des espèces en solution, les incertitudes analytiques relatives varient de 2 à 5 % pour les espèces majeures et de 10 à 15 % pour les éléments traces.

Les analyses isotopiques en deutérium et en oxygène-18 ont été effectuées sur toutes les eaux thermales et eaux de rivière échantillonnées. Les analyses en isotopes stables de l'eau ont été effectuées dans le laboratoire LAMA de l'Université de Montpellier (sur un budget SGNC propre). Les valeurs isotopiques en soufre-34 et oxygène-18 des sulfates dissous, en soufre-34 des sulfures dissous, ainsi que les rapports isotopiques ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ont été déterminés sur échantillons sélectionnés, dans les laboratoires du BRGM.

Toutes ces analyses isotopiques ont été réalisées par spectrométrie de masse, suivant les protocoles adaptés pour chacune des analyses. Les incertitudes absolues sur les mesures des teneurs en deutérium et en oxygène-18 sont, respectivement, de 0,8 ‰ et de 0,1 ‰. Sur les analyses des rapports isotopiques ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, et des valeurs isotopiques en soufre-34 et oxygène-18 des sulfates dissous, et en soufre-34 des sulfures dissous, elles sont, respectivement, de 0,000008 ; 0,5‰ ; 0,3‰ et 0,3‰.

3.2. Résultats des analyses chimiques et isotopiques

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 2, 3 et 4. Les valeurs de balance ionique (B.I.) calculées pour les eaux, toutes inférieures à 5%, suggèrent une bonne qualité des résultats des analyses chimiques des espèces majeures (tableau 2). A noter que pour les eaux à pH > 10, l'ion hydroxyde est souvent l'anion prédominant et les valeurs de TDS¹ figurent parmi les plus basses (de 65 à 199 mg/l).

Pour les analyses isotopiques en soufre-34 et oxygène-18 des sulfates dissous, ainsi qu'en soufre-34 des sulfures dissous, peu d'analyses ont pu être menées à bien en laboratoire, étant donné la très

¹ TDS signifie « Total Dissolved Solids » et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau : les ions inorganiques dissous dans l'eau (minéraux, sels ou métaux) et quelques matières organiques.

faible concentration en sulfates dissous des nombreux des échantillons d'eau prélevés (tableaux 2 et 4). Ceci a permis de réaliser un nombre supérieur d'analyses de strontium isotopique que prévues.

Tous les résultats obtenus seront interprétés dans le rapport final et, avec l'étude préliminaire de synthèse de la première phase, ils permettront d'examiner le potentiel géothermique de la Nouvelle-Calédonie et de considérer tous les usages qui pourraient en résulter.

Point de prélèvement	n°	Date	T _{émerg.} °C	Cond. 25°C µS/cm	pH	Eh _{brut} mV	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ mg/l	CO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	OH mg/l	SiO ₂ mg/l	TDS mg/l	B.I. %
La Crouen - Captage Φ = 350 mm	LC-C	05/09/2019 11:15	42,5	233	9,18	-440	49,3	1,2	1,6	0,18	53	23	8,9	16,1	< 0,5		54,9	211	2,15
Source Nemwegi	NEM	05/09/2019 13:30	27,0	346	9,38	-395	76,6	1,9	0,9	0,36	69	42	15,4	19,7	< 0,5		61,3	293	2,34
Source Kopélia	KOP-2	06/09/2019 11:10	25,3	399	7,92	-336	75,1	0,7	14,2	1,8	217	< 10	13,8	6,3	< 0,5		24,8	358	1,57
Source Mokoué	MOK-1	06/09/2019 12:00	24,7	652	7,82	-322	69,1	1,3	4,8	39,4	281	< 10	62,2	5,7	< 0,5		24,3	492	0,65
Source Géliima	GELI-1	06/09/2019 14:00	29,3	257	9,32	-386	56,6	1,4	1,5	0,28	97	16	7,5	6,7	< 0,5		38,0	227	4,80
Source Pourina	POU-1	10/09/2019 10:00	26,1	642	11,42	-740	29,5	3,2	28,2	0,20	< 10	11	11,4	< 0,5	< 0,5	35,0	< 0,5	83	1,51
Source Poco Mié	PM-1	10/09/2019 11:25	25,1	446	11,29	-523	15,8	0,7	26,8	0,19	< 10	12	10,5	0,7	< 0,5	22,0	5,9	72	2,63
Source Lac Yaté	LYAT	10/09/2019 12:20	24,0	1464	11,83	-550	96,7	3,6	45,3	0,18	< 10	17	34,5	< 0,5	< 0,5	81,8	2,0	199	3,44
Source Bain des Japonais	BJ	11/09/2019 11:00	39,4	447	10,73	-730	27,8	3,2	19,2	0,24	< 10	< 10	23,2	< 0,5	< 0,5	26,0	0,5	74	3,82
Source Kaoris	KAOR	11/09/2019 12:15	31,2	367	10,95	-470	13,4	1,5	22,5	0,22	< 10	13	10,9	< 0,5	< 0,5	17,0	3,9	65	1,22
Source Lembi	LEMB-2	11/09/2019 16:10	24,0	394	11,17	-320	22,7	3,8	13,4	0,30	< 10	20	9,7	< 0,5	< 0,5	15,0	1,6	71	-2,48
Fanama	FANA	12/09/2019 10:00	31,4	450	8,71	-375	102,5	1,2	2,7	1,8	205	17	20	2,5	< 0,5		28,4	381	4,93

Tableau 2 : Résultats des analyses chimiques des espèces majeures obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.

Point de prélèvement	n°	Date	T _{émerg.} °C	F mg/l	Br mg/l	S mg/l	Fe mg/l	B µg/l	Sr µg/l	Ba µg/l	Mn µg/l	Li µg/l	Rb µg/l	Cs µg/l	Ge µg/l	Al µg/l	W µg/l	As µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Cu µg/l	Ag µg/l	Ni µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l
La Crouen - Captage Φ = 350 mm	LC-C	05/09/2019 11:15	42,5	0,4	< 0,1	< 0,1	0,004	2605	387	4,37	0,1	114	1,6	1,5	2,7	13,6	23,7	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	0,04	< 0,05	< 0,1
Source Nemwegi	NEM	05/09/2019 13:30	27,0	0,6	< 0,1	< 0,1	0,06	6339	170	3,61	1,5	130	1,1	0,2	4,2	37,0	41,5	0,11	0,05	0,6	0,1	< 0,01	1,2	0,21	0,07	0,5
Source Kopéla	KOP-2	06/09/2019 11:10	25,3	0,5	< 0,1	< 0,1	0,006	1444	2380	28,8	9,0	66,8	0,7	1,3	6,5	2,0	19,4	0,07	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	0,02	< 0,05	< 0,1
Source Mokoué	MOK-1	06/09/2019 12:00	24,7	0,2	< 0,1	< 0,1	0,013	4099	88,9	34,4	16,9	34,4	2,6	6,3	9,8	0,8	8,6	56,8	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	10,9	< 0,01	0,2	0,1
Source Gélina	GELI-1	06/09/2019 14:00	29,3	0,3	< 0,1	< 0,1	0,005	2154	198	4,6	1,2	94,1	1,7	1,9	1,7	10,4	15,4	0,06	< 0,05	0,7	< 0,1	< 0,01	0,1	0,12	< 0,05	< 0,1
Source Pourina	POU-1	10/09/2019 10:00	26,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,004	89,3	50,8	7,16	0,2	9,7	3,9	0,4	< 0,05	1,6	0,1	< 0,05	< 0,05	1,4	< 0,1	< 0,01	0,4	0,07	< 0,05	0,4
Source Poco Mié	PM-1	10/09/2019 11:25	25,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,004	53,3	10,4	0,14	< 0,1	0,2	0,4	< 0,05	< 0,05	141	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	0,02	< 0,05	< 0,1
Source Lac Yaté	LYAT	10/09/2019 12:20	24,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,007	34,1	113,9	4,51	< 0,1	24,2	1,2	< 0,05	< 0,05	337	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	0,01	< 0,05	< 0,1
Source Bain des Japonais	BJ	11/09/2019 11:00	39,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,004	34,2	121,3	8,27	0,3	2,1	4,5	< 0,05	< 0,05	63,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	0,01	< 0,05	< 0,1
Source Kaoris	KAOR	11/09/2019 12:15	31,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,009	32,6	57,4	6,13	0,1	7,2	1,8	< 0,05	< 0,05	139,3	< 0,05	0,5	< 0,05	0,9	0,3	< 0,01	0,3	5,75	< 0,05	0,3
Source Lembi	LEMB-2	11/09/2019 16:10	24,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,004	38,5	81,8	7,12	0,5	1,3	4,7	< 0,05	< 0,05	143	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,9	0,2	< 0,01	0,6	0,21	0,05	0,2
Fanama	FANA	12/09/2019 10:00	31,4	1,3	< 0,1	< 0,1	0,003	4794	373,6	15,5	6,7	167	1,6	2,1	10,9	2,6	47,0	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,1	< 0,01	< 0,1	1,05	< 0,05	< 0,1

Tableau 3 : Résultats des analyses chimiques des espèces traces obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.

Point de prélèvement	n°	Date	T _{émerg.} °C	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ vs SMOW	δD ‰ vs SMOW	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ‰ vs SMOW	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ‰ vs CDT	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ ‰ vs CDT	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma_m$
La Crouen - Captage Φ = 350 mm	LC-C	05/09/2019 11:15	42,5	-5,60	-30,84	11,2	7,5	9,2	0,705888	0,000008
Source Nemwegi	NEM	05/09/2019 13:30	27,0	-5,07	-30,18					
Source Kopélia	KOP-2	06/09/2019 11:10	25,3	-5,63	-33,20					
Source Mokoué	MOK-1	06/09/2019 12:00	24,7	-5,63	-36,16				0,705380	0,000006
Source Gélima	GELI-1	06/09/2019 14:00	29,3	-5,47	-32,07	14,1	10,4		0,707845	0,000008
Source Pourina	POU-1	10/09/2019 10:00	26,1	-5,26	-26,35				0,703786	0,000007
Source Poco Mié	PM-1	10/09/2019 11:25	25,1	-4,73	-24,63				0,703444	0,000008
Source Lac Yaté	LYAT	10/09/2019 12:20	24,0	-4,46	-21,42				0,703774	0,000008
Source Bain des Japonais	BJ	11/09/2019 11:00	39,4	-4,50	-24,09				0,704326	0,000007
Source Kaoris	KAOR	11/09/2019 12:15	31,2	-4,22	-21,62				0,703507	0,000006
Source Lembi	LEMB-2	11/09/2019 16:10	24,0	-5,20	-28,87				0,703462	0,000006
Fanama	FANA	12/09/2019 10:00	31,4	-5,87	-34,70	8,7	11,1		0,706983	0,000009

Tableau 4 : Résultats des analyses isotopiques obtenus sur les échantillons d'eaux thermales de Nouvelle-Calédonie, prélevés du 5 au 12 septembre 2019, au cours de cette étude.

4. Conclusion et perspectives

Dans l'ensemble, la campagne de terrain a été très positive car elle a permis de :

- recenser et/ou échantillonner de nouvelles sources (Comboui, Ngoi, Nemwegi, Kopéla, Pourina, Poco Mié, Fanama, Lembi). Les sources de Comboui et de Ngoi, situées sur la côte oubliée, n'ont pas pu être échantillonnées en raison de leur difficulté d'accès, même en hélicoptère ;
- actualiser et compléter l'état des connaissances dans la mesure où de nouvelles eaux thermales ont été analysées et de nouvelles analyses telles que celles d'éléments traces (Rb, Cs, W, Ge, etc.) et d'isotopes (^{18}O et ^{34}S des sulfates dissous et rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ont été réalisées pour la première fois, dans l'objectif d'avoir une estimation plus précise de la température des eaux profondes et une meilleure connaissance de leur circulation dans les réservoirs qui les hébergent et dans lesquels elles interagissent avec les roches qui y sont présentes, à leur contact ;
- montrer le caractère très singulier et assez exceptionnel de certaines de ces eaux thermales (Pourina, Poco Mié, Lac Yaté, Bain des Japonais, Kaoris, Lembi), au niveau de leurs valeurs très élevées en pH (souvent supérieures à 11), de leur très faible potentiel Rédox (jusqu'à - 740 mV), et de leur absence d'oxygène, substituée par la présence d'hydrogène probablement associée à la réaction d'altération des péridotites (serpentinisation). La thématique relative à la production d'hydrogène associée à ce type de réaction est émergente.

Tous les résultats obtenus seront interprétés dans le rapport final et, avec l'étude préliminaire de synthèse de la première phase, permettront d'examiner le potentiel géothermique de la Nouvelle-Calédonie et de considérer tous les usages qui pourraient en résulter.

En attendant l'interprétation des résultats, il semble se confirmer que la région de Canala (source de La Crouen à 42,5°C) est celle qui indique le potentiel géothermique le plus favorable, mais ce serait plutôt un potentiel géothermique de basse température.

Lors de la réunion de restitution, il a été évoqué la création d'une nouvelle station thermale à La Crouen, dont le projet est envisagé depuis plusieurs années (annexe 1), voire sur un autre secteur de la commune de Canala, qui pourrait être le premier type de réalisation relativement abordable. Il a été également proposé de se renseigner auprès d'industriels spécialisés en cycles géothermiques binaires ORC (Organic Ranking Cycle) pour voir quelles seraient les possibilités et un ordre de grandeur des coûts, si on envisageait l'exploitation d'une ressource géothermale en profondeur de basse température. Bien sûr, pour confirmer et mieux définir l'existence de cette ressource, il reste à interpréter les résultats géologiques et géochimiques obtenus dans ce rapport, et si on décide de poursuivre les recherches pour exploiter cette ressource, il sera nécessaire de faire des travaux d'exploration de surface complémentaires, tels que de la géophysique pour mieux définir sa localisation et sa géométrie en profondeur. Ces travaux, qui sont la suite logique d'un projet d'exploration géothermique classique de surface, seront proposés, détaillés et budgétés dans le rapport final de ce projet.

5. Bibliographie

- A2EP (2000) - Etude de la source du ruisseau des Kaoris, Baie de Prony. *Rapport technique A2EP NCH 00/02 01*, 7 p.
- Barnes I., O'Neil J.R. (1978) - Present day serpentinization in New Caledonia, Oman and Yugoslavia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 42, 144-145.
- Cox M.E., Launay J., Paris J.-P. (1982) - Geochemistry of low temperature geothermal systems in New Caledonia. *Proceedings Pacific Geothermal Conference, 1982, University of Auckland, New Zealand, Part 2*, 453-459.
- Deville E., Prinzhofer A. (2016) - The origin of N₂-H₂-CH₄-rich natural gas seepages in ophiolitic context: a major and noble gases study of fluid seepages in New Caledonia. *Chemical Geology*, 440, 139-147.
- Geoimpact (2013) - Etude géologique de deux sources hydrothermales : Gélima et Mokoué, Commune de Canala. *Rapport technique R13-199*, 26 p.
- Jeanpert J., Lesimple S., Sevin B., Mardhel V., Sanjuan B. (2019) - Inventaire des sources thermales en Nouvelle-Calédonie. *Rapport final phase 1*, 18 p. + annexes, SGNC-2019-(01).
- KECHO (2004) - Relance du thermalisme en Nouvelle-Calédonie : projet « La Crouen », à Canala. *Revue municipale de Canala n°7, juillet 2004*, p. 8-9.
- Koch P. (1958) - Sources thermales de Nouvelle-Calédonie et captage des sources de La Crouen. *Bulletin Géologique Nouvelle-Calédonie*, 189-203.
- Launay J., Fontes J.-Ch. (1985) - Les sources thermales de Prony (Nouvelle-Calédonie) et leurs précipités chimiques. Exemple de formation de brucite primaire. *Géologie de la France*, n°1, 83-100.
- Monnin C., Chavagnac V., Boulart C., Ménez B., Gérard M., Pisapia C., Quéméneur M., Erauso G., Postec A., Guentas-Dombrowski L., Payri C., and Pelletier B. (2014) - Fluid chemistry of the low temperature hyperalkaline hydrothermal system of Prony Bay (New-Caledonia). *Biogeosciences*, 11, 5687-5706.
- Sanjuan B., Bouchot V., Gal F., Vittecoq B., 2017 - Evaluación del potencial geotérmico de la República Dominicana - II. Estudio de campo e interpretación de los datos. *Informe final BRGM/RC-66921-FR*, 136 p.
- Technique Construction (2007) - Exploitation d'une source thermale à Gélima, Commune de Canala - Province Nord, Avant-projet. *Rapport technique*, 4 p.
- Technique Construction (2008) - Exploitation d'une source thermale à Nakéty, Commune de Canala - Province Nord, Avant-projet. *Rapport technique*, 4 p.

Annexe 1

Relance du thermalisme en Nouvelle-Calédonie :

Projet « La Crouen » à Canala

(tiré de la revue municipale de Canala KECHO n°7, juillet 2004, p. 8-9)

Relance du thermalisme

Projet "La Croen"

État d'avancement des études

La province Nord possède sur son territoire une émergence d'eaux thermales au lieu-dit « La Croen », sur la commune de Canala. Ce site fut exploité comme établissement thermal jusqu'en 1981. Le « Comité de Pilotage du projet de La Croen », qui travaille sur le dossier, regroupe des représentants de la province Nord, de la commune de Canala, des tribus d'Emma et Nanon-Kénérou, de l'Adraf et de l'État. Il est animé par l'Adecal. Kèchö reprend les informations de l'Adecal pour faire le point sur un projet ô combien important pour Canala !

Les sources Wankwene, un caractère thermal exceptionnel à valoriser...

INITIATIVES ET DÉVELOPPEMENT

Bien qu'il ait déjà beaucoup été dit et écrit sur la qualité des eaux de La Croen et leurs vertus thérapeutiques, un bref rappel s'impose car c'est bien le caractère thermal exceptionnel de ces eaux qui permet le développement du site. Les deux sources captées à La Croen ont été dénommées Wankwene 1 et 2, du nom du grand dieu de la montagne. De ces sources jaillit une eau chaude — environ 42°C —, dont le débit journalier, supérieur à 200m³, est suffisant pour envisager une exploitation. Ces eaux faiblement minéralisées (170 mg/l) sont de type sulfuré sodique.



Le choix d'une double orientation, médicale et de remise en forme

Les indications thérapeutiques de ce type d'eaux sont les affections O.R.L. et les rhumatismes. Ces soins répondent à un besoin sanitaire local et il serait dommage de ne pas répondre à cette attente alors que la source est présente sur la Grande-Terre. Par ailleurs, l'essentiel des touristes fréquentant la Nouvelle-Calédonie sont originaire de pays où le thermalisme est pratiqué et reconnu.



...Sur un site d'une grande beauté

L'accès depuis Nouméa se fait par une route en bon état, le voyage dure environ 1h30 et traverse des paysages agréables de collines verdoyantes. Les sources sont situées sur un site d'une grande beauté, dans une boucle de la rivière La Croen.



Exemples d'établissements visités en France et en Nouvelle-Zélande.

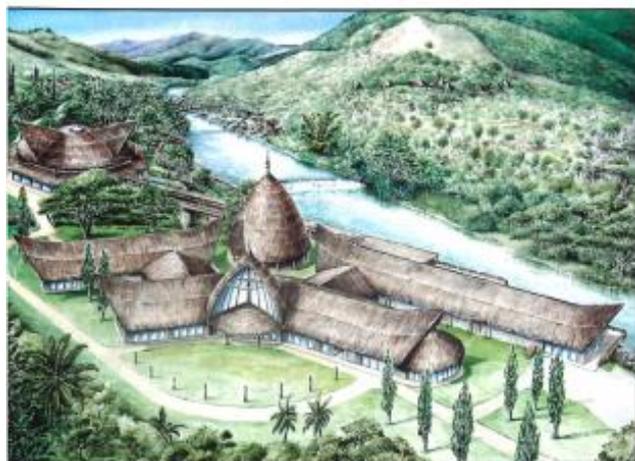
e en Nouvelle-Calédonie

uen" à Canala

des réalisées depuis 1999

Une équipe de 15 personnes pour faire fonctionner un centre accueillant 30 curistes par jour

Une enquête réalisée auprès des médecins a conduit à retenir une fréquentation d'environ 400 cures «classiques» par an, soit environ 30 curistes par jour en incluant les curistes «remise en forme». Les protocoles de soins correspondent aux orientations thérapeutiques des sources, à savoir principalement les soins bouillonnants, douches au jet et d'affusion, cabines d'illumination, piscine d'évolution et bassins, en rhumatologie, et les aérosols, inhalations et irrigations au sein de l'espace ORL. Un tel centre, comprenant une dizaine de cabines de soins de 10m² au sein desquelles les soins sont dispensés, a une capacité théorique d'environ 80 curistes par jour. Pour le fonctionnement d'un tel centre, une équipe d'environ 15 personnes est nécessaire. En 2004, le coût d'exploitation annuel d'un tel établissement a été estimé à environ 40 millions de FCFP.



Un nouvel établissement, en bordure de rivière, pour un coût de 600 millions de FCFP

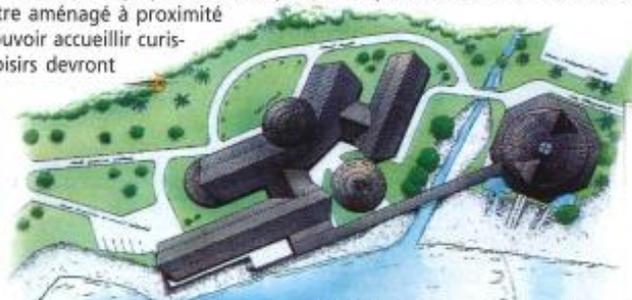
Un établissement de ce type doit comprendre la structure d'un centre thermal «de base» auquel des satellites de remise en forme sont associés. Il aura une emprise bâtie de l'ordre de 200m², qui ne peut être réduite sans perdre en qualité. Pour la préservation de la zone de sources, il est préférable de l'édifier en bordure de rivière, légèrement en aval de l'ancien établissement, et à proximité de l'ancienne usine à café. Le coût d'investissement a été estimé, en 2004, à environ 600 millions de FCFP. L'établissement s'organise en 4 grands espaces : accueil, zone de remise en forme (et piscines), services techniques.

Vue d'artiste (Jean-Richard Usiak 2003) : le Centre thermal au premier plan et les structures d'hébergement qui apparaissent en arrière plan, sur chaque rive de la rivière. Une nouvelle route d'accès rive gauche est à prévoir, ainsi qu'une liaison entre les deux rives par un pont pour les piétons.

Des infrastructures hôtelières et des activités à développer

Un tel établissement requiert la présence d'un hébergement de qualité, et adapté à la capacité d'accueil journalière de curistes en séjour médicalisé et de touristes en cures «court-séjour». Un hôtel d'environ 20 chambres de confort niveau 2 devrait suffire dans les premières années. Cet hôtel devra fonctionner en liaison avec un hébergement de type «gîte», pour les curistes qui préféreraient plus de souplesse de fonctionnement sur place. Un camping pourrait également être aménagé à proximité du site thermal et un restaurant devra pouvoir accueillir curistes et touristes. Enfin, des activités de loisirs devront être développées.

Le « comité de pilotage du projet La Croûen » mis en place en 2002, regroupe des représentants de la province Nord, de la commune de Canala, des tribus d'Emma et Nanon-kénéro, de l'ADRAF et de l'État. Il est animé par l'Adecal. Le projet sera présenté à la population, en tribus et à la Mairie, en fin d'année.



BULLETIN MUNICIPAL DE LA COMMUNE DE CANALA · KÈCHÖ

