

VOLUME 1

ETAT INITIAL DU MILIEU

CHAPITRE 1

MILIEU PHYSIQUE

SOMMAIRE DU CHAPITRE

1	CLIMATOLOGIE	4
1.1	Méthodes de collecte des données	4
1.2	Conditions atmosphériques actuelles	4
1.2.1	Retombées de poussière	11
1.2.2	Vents	11
1.2.3	SO ₂ et NO _x	11
1.2.4	Bruit	13
2	LES SOLS	16
2.1	Description générale et cadre géologique	16
3	HYDROGEOLOGIE ET EAUX SOUTERRAINES	19
3.1	Géographie	19
3.2	Géomorphologie	21
3.3	Géologie	21
3.3.1	Nappe phréatique	23
3.3.2	Qualité des eaux souterraines – site de l'usine pilote	24
4	MILIEU D'EAU DOUCE	33
4.1	Quantité d'eau des rivières	33
4.1.1	Bassins versants	33
4.1.2	Rivières situées dans la zone du projet	34
4.1.3	Rivière Kwé	35
4.2	Qualité de l'eau des rivières	37
4.2.1	Paramètres physiques et anions dissous	37
4.2.1.1	Carbone organique total	39
4.2.1.2	Nutriments	39
4.2.1.3	Concentrations totales de métaux	40
4.3	Qualité des sédiments des rivières	43
4.3.1	Descriptions des sédiments	44
4.3.1.1	Carbone organique total (COT)	44
4.3.1.2	Nutriments	44
4.3.1.3	Concentrations totales de métaux	44
4.3.2	Qualité de l'eau des lacs	45
4.3.2.1	Paramètres physiques et anions dissous	47
4.3.2.2	Carbone organique total	47
4.3.2.3	Nutriments	47
4.3.2.4	Concentrations totales de métaux	47
4.3.3	Qualité des sédiments des lacs	49
4.3.3.1	Descriptions des sédiments	49

4.3.3.2	Carbone organique total (COT)	49
4.3.3.3	Nutriments	49
4.3.3.4	Concentrations totales de métaux	49
4.4	Résumé et conclusions	52
4.4.1	Résumé de la quantité d'eau	52
4.4.2	Résumé sur la qualité de l'eau des rivières	52
4.4.3	Résumé sur les sédiments des rivières	53
4.4.4	Résumé sur la qualité de l'eau des lacs	53
4.4.5	Résumé des sédiments des lacs	53
5	OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE	54
5.1	Bathymétrie et courantologie	54
5.2	Caractéristiques physico-chimiques des eaux	54
5.3	Caractérisation de l'état initial du milieu marin pour le Canal de la Havannah	54
5.4	Caractérisation de l'état initial du milieu marin pour la Baie de Prony	54
5.5	Caractérisation de l'état initial du milieu marin – études réalisées avant 2001	55

MILIEU PHYSIQUE**1 CLIMATOLOGIE**

L'environnement atmosphérique est un élément principal de l'écosystème naturel, et plusieurs paramètres différents servent à le décrire. Les paramètres météorologiques les plus importants sont la température, les précipitations, l'humidité relative, la vitesse et la direction des vents ainsi que l'évaporation. Les phénomènes météorologiques extrêmes, comme les cyclones tropicaux, jouent aussi un rôle important de par leur nature destructrice potentielle. La présente section décrit l'environnement atmosphérique autour du site du projet. De plus amples informations sont données dans l'annexe 1 (Données Hydrologiques de Base) du Dossier Préliminaire, TOME 2 Volume 7.

1.1 METHODES DE COLLECTE DES DONNEES

Météo-France s'est révélée la principale source de renseignements sur l'environnement atmosphérique de la région de Goro. En effet, celle-ci exploite un réseau de stations météorologiques en Nouvelle-Calédonie. Les stations les plus proches du projet sont situées à Yaté et à Poindimié. D'autres ouvrages de référence ont été consultés afin d'obtenir des renseignements sur les plus récents cyclones tropicaux (Beti et Drena) qui se sont abattus sur la partie sud de la Nouvelle-Calédonie ainsi que sur les probabilités de futurs cyclones tropicaux.

1.2 CONDITIONS ATMOSPHERIQUES ACTUELLES

Le climat de la Nouvelle-Calédonie est qualifié de subtropical. Quatre saisons résultent de la variation annuelle de latitude de la zone de haute pression subtropicale et de la zone de dépression équatoriale. La saison chaude va de la mi-novembre à la mi-avril et est souvent caractérisée par des tempêtes tropicales et de fortes pluies. De la mi-avril à la mi-mai, la Zone de convergence intertropicale (ZCIT) se déplace vers le nord, ce qui réduit considérablement les précipitations et la température. La saison froide s'étend de juin à août et donne lieu à des tempêtes polaires qui se déplacent d'est en ouest. Une saison transitoire dure de la mi-septembre à la mi-novembre. Dans l'ensemble, le site de Goro est caractérisé par de fortes précipitations, des vents persistants et des températures chaudes constantes avec des taux d'humidité élevés (tableau 1-1). Les cyclones tropicaux ont été bien documentés pour l'île de la Nouvelle-Calédonie.

La région qui s'étend entre Goro et Thio, à l'est des montagnes Humbolt, est la zone la plus humide de l'île. Les registres météorologiques à long terme ne sont pas disponibles pour le site de Goro. Par conséquent, les registres à long terme des stations météorologiques régionales exploitées par Météo-France ont été consultés. La station météorologique de Météo-France la plus proche se trouve à Yaté, à environ 20 km au nord-est du site de Goro.

Selon les registres de la station de Yaté tenus sur une période de 44 ans, les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 3 000 mm, tandis que la température annuelle moyenne est de 22,5°C (SNC-Lavalin, 1997). Les précipitations mensuelles moyennes varient entre 129 mm et 426 mm (tableau 1-1 et figure 1-1). Les mois les plus secs sont habituellement ceux compris entre juillet et novembre. L'humidité relative mensuelle moyenne oscille constamment entre 72 % et 79 %.

Les données à long terme sur les précipitations ont été utilisées pour évaluer les ouvrages de drainage, les étangs de décantation, les ponceaux et les égouts d'eaux de pluie propres au projet. Le plus souvent, leur conception repose sur les données intensité – durée - fréquence (IDF) de la tempête tirées des registres de chaque station d'enregistrement des précipitations. Toutefois, les données sur les précipitations propres au bassin Kwé ne suffisent pas à établir la relation IDF nécessaire à la conception. Il a donc fallu se servir de valeurs statistiques découlant de données sur les précipitations consignées sur une plus longue période dans d'autres stations de référence, notamment celles de Yaté et de Poindimié, pour établir la courbe IDF (tableau 1-2 et figure 1-2).

Tableau 1-1. Précipitations, évaporation et températures moyennes mensuelles estimées pour le site du projet de Goro.

Mois	Précipitations ¹ (mm)	Évaporation ² (mm)	Température ³ (°C)
Janvier	390,2	94,6	25,3
Février	378,7	81,7	25,6
Mars	426,3	85,2	25,0
Avril	320,8	86,6	23,5
Mai	232,1	85,2	21,9
Juin	279,5	73,9	20,6
Juillet	187,3	86,7	19,4
Août	170,0	91,7	19,4
Septembre	129,1	92,2	20,1
Octobre	160,0	103,1	21,5
Novembre	191,2	100,1	23,1
Décembre	263,3	102,7	24,3
Total/moyenne	3 128,0/260,7	1 083,8/90,3	22.5

1: Moyennes mensuels basées sur 44 ans d'enregistrement (1951 à 1994) pour Yaté tel que consigné dans l'ANNEXE 1 (Données Hydrologiques de Base) table 1 du Dossier Préliminaire, TOME 2 Volume 7. Pour des valeurs estimées de précipitations sur le site de GORO, se référer à la table 2A de la même annexe.

2: Basées sur 20 ans d'enregistrement (1971 à 1990) pour Nouméa à l'aide de l'évaporamètre Piché, qui est semblable au bac évaporatoire de classe A utilisé par le Weather Bureau des É.-U. Voir l'ANNEXE 1 (Données Hydrologiques de Base) paragraphe 3.5 du Dossier Préliminaire, TOME 2 Volume 7 pour plus d'information.

3: Selon les registres de 1951 à 1993 pour Yaté, Météo-France (1995).

Tableau 1-2. Données sur les précipitations (mm) à des fins de conception.

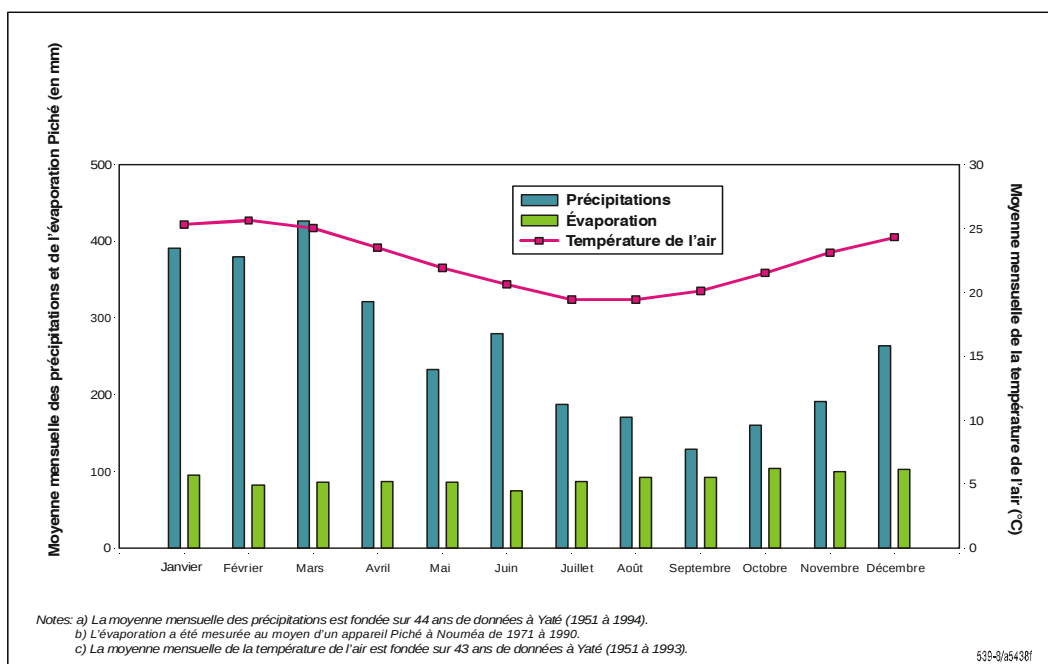
Durée	Période de récurrence (années)								Notes
	2	5	10	20	50	100	1 000	10 000	
6 min.	11	13	15	16	18	20	25	30	1
10 min.	16	19	21	23	26	28	35	--	
15 min.	20	26	29	31	33	35	43	51	
30 min.	33	42	48	53	62	68	86	102	
1 h	52	70	81	90	112	124	162	200	
1.5 h	69	94	110	123	145	161	213	264	
2 h	84	116	137	153	175	194	257	320	2
1 jour	252	332	378	418	464	495	577	630	
2 jours	334	458	535	605	690	751	929	1090	
3 jours	368	518	617	714	839	934	1251	1580	
par année	2993	3698	4169	4624	5218	5667	7172	8700	3

1 : Valeurs statistiques sur la durée des précipitations de 6 minutes à 2 heures découlant des données de précipitations consignées à la station Poindimié (période de 24 ans).

2 : Valeurs statistiques pour 1, 2 et 3 jours et pour les précipitations annuelles découlant des données de précipitations consignées à la station de Yaté (période 44 ans), avec l'intégration des précipitations quotidiennes de 400 mm enregistrées à Goro, en avril 1992.

3 : Précipitations annuelles moyennes pour le site de Goro évaluées à environ 3 000 mm.

Source : SNC-Lavalin (1997). Figure 6.2-1. Moyenne mensuelle des précipitations, de l'évaporation et de la température de l'air du site projet de Goro

**Figure 1-1. Moyenne mensuelle des précipitations, de l'évaporation et de la température de l'air du site du projet de Goro.**

Selon les registres tenus sur une période de 20 ans à Nouméa, à environ 80 km à l'ouest du site de Goro, l'évaporation annuelle moyenne a été évaluée à 1083 mm (tableau 1-1 et figure 1-1). L'évaporation à Goro sera légèrement différente en raison de son altitude plus élevée.

Les vents dominants qui soufflent sur le site du projet sont de l'est (Goro-Sud) et de l'est-nord-est (Goro-Nord); dans la Baie de Prony, ils sont de l'est-nord-est.

Les vents de faible intensité (c.-à-d. vitesse éolienne moyenne à l'heure de moins de 0,51 m/s) sont rares autant à Goro qu'à Prony (SNC-Lavalin, 1997). Les vents de l'est dominant nettement et sont plus fréquents au cours de la saison chaude qu'au cours de la saison froide.

Des cyclones tropicaux surviennent régulièrement dans la région du Pacifique Sud, et la Nouvelle-Calédonie a été frappée par deux cyclones au cours des 10 dernières années. Le phénomène associé à une température tropicale accompagnée de vents de surface soutenus maximums de moins de 17 m/s (34 nœuds) est appelé « dépression tropicale ». Si les vents atteignent 33 m/s (64 nœuds), le phénomène météorologique est alors qualifié de « cyclone tropical ». Le tableau 1-3 résume la fréquence des tempêtes et des cyclones tropicaux des sept principaux bassins cycloniques d'après les travaux de Neumann (1993). La Nouvelle-Calédonie est située dans le bassin de l'Australie/Pacifique Sud-Ouest, qui figure en gras dans ce tableau.

Les cyclones tropicaux prennent naissance dans les eaux chaudes de l'océan du Pacifique Sud, de novembre à avril, en raison de la présence d'un fort courant de débordement anticyclone et d'une vorticité de faible niveau associée à l'incidence des orages électriques dans la zone de convergence du Pacifique Sud. Au fur et à mesure qu'ils s'éloignent des tropiques pour atteindre les eaux plus froides de l'océan, les cyclones tropicaux s'affaiblissent et perdent une grande partie de leur structure caractéristique. La région du Pacifique du Sud-Ouest et de l'Australie, qui comprend la Nouvelle-Calédonie, peut s'attendre à connaître neuf tempêtes tropicales et quatre cyclones tropicaux par année. (Neumann, 1993).

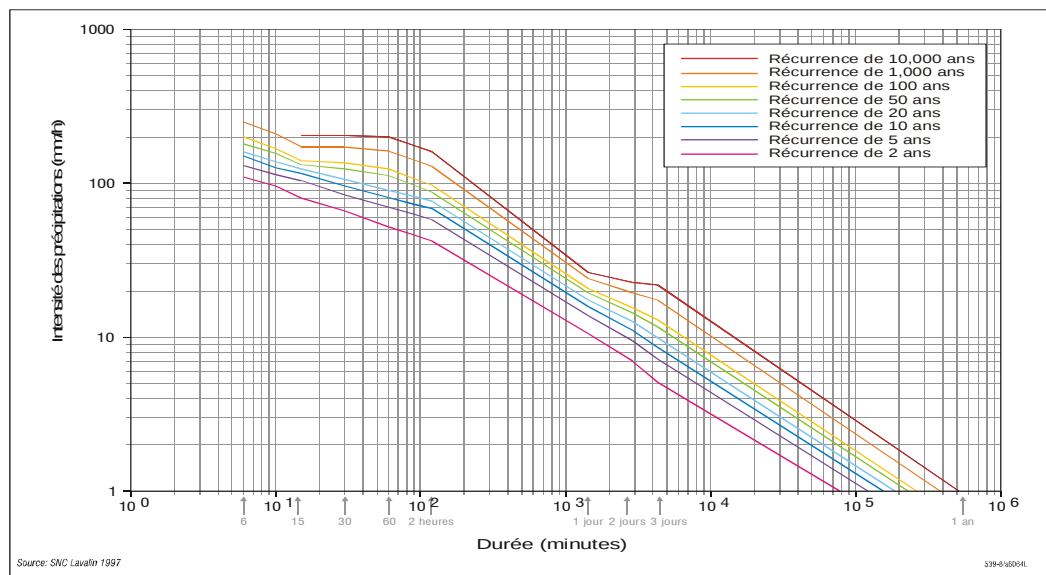


Figure 1-2. Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations au site du projet de Goro.

Tableau 1-3. Fréquence des tempêtes et des cyclones tropicaux dans les sept principaux bassins cycloniques.

Bassin	> Vents soutenus de 17 m/s		> Vents soutenus de 33 m/s	
	Max./Min.	Moyenne	Max./Min.	Moyenne
Atlantique	18/4	9.7	12/2	5,4
Pacifique N.-E	23/8	16.5	14/4	8,9
Pacifique N.-O.	35/19	25.7	24/11	16,0
Indien N	10/1	5.4	6/0	2,5
Indien S.-O.	15/6	10.4	10/0	4.4
Indien S.-E./Aus.	11/1	6.9	7/0	3,4
Aus/Pacifique S.-O.	16/2	9.0	11/2	4,3
Globalement	103/75	83.7	65/34	44,9

Nota : Les données du bassin de l'Atlantique englobent les tempêtes subtropicales (Neumann, 1993).

Le cyclone tropical Beti s'est abattu sur la Nouvelle-Calédonie entre les 26 et 28 mars 1996. La Nouvelle-Calédonie a alors émis son avis de tempête du plus haut niveau avant que le cyclone n'atteigne les terres. Les vents mesurés au centre de la tempête atteignaient 47 m/s (91 nœuds), et les autorités compétentes ont averti les résidents de ne pas s'aventurer sur les routes en raison du caractère très destructeur de la tempête. L'île avait en fait rarement connu une tempête d'une telle puissance (Earthweek, 1996). Pendant trois jours, des précipitations totales de 440 mm ont été enregistrées à la station météorologique de Goro (SNC-Lavalin, 1997). Des vents violents ont endommagé les capteurs de mesure du vent de la station météorologique Prony. Le 29 mars, Beti était devenu une dépression subtropicale et se déplaça vers le nord de North Island, en Nouvelle-Zélande.

Drena a été le deuxième cyclone tropical à s'abattre sur la Nouvelle-Calédonie au cours des dernières années, plus précisément en janvier 1997. Le cyclone, qui avait pris naissance dans la mer juste au nord de la République de Vanuatu, a été pour la première fois observé le 4 janvier. Il emprunta un axe ouest-sud-ouest jusqu'au 5 janvier, moment où il prit de l'ampleur pour atteindre son point culminant avec des vents évalués à 46 m/s (90 nœuds) près de son centre. Ensuite, il décrivit une courbe vers le sud-est le 6 janvier pour se diriger sur la Nouvelle-Calédonie. Drena passa à proximité de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie les 7 et 8 janvier, accompagné de pointes de vent de 41 à 46 m/s (80 à 90 nœuds) près de son centre (figure 1-3). Les dommages causés furent relativement peu élevés et aucune perte de vie ne fut signalée.

Selon les registres tenus sur une période de 50 ans (1947 à 1997), la partie sud de la Nouvelle-Calédonie a été touchée par 31 phénomènes tropicaux (y compris des dépressions tropicales d'intensité modérée à forte) et par 11 cyclones tropicaux (figure 1-4). Ainsi, la probabilité annuelle d'une dépression tropicale d'intensité modérée à forte au site du projet de Goro est de 62 %, et les possibilités que l'île soit touchée par un cyclone tropical sont de 22 % (Météo-France, 1998).

Les plans des installations du projet de Goro tiendront compte de la fréquence et de la sévérité des conditions météorologiques locales. Les plans seront conformes aux plus récents codes du bâtiment du territoire, ce qui réduira la probabilité de blessures pour les employés et de dommages aux bâtiments dus à un phénomène météorologique extrême comme une tempête tropicale. Selon les plans, les installations pourront résister à une bourrasque de vent soudaine maximale de 56,7 m/s (110 nœuds), et plusieurs abris anti-cyclone seront

aménagés pour les travailleurs à la grandeur du site visé par le projet (Hatch, 2001).

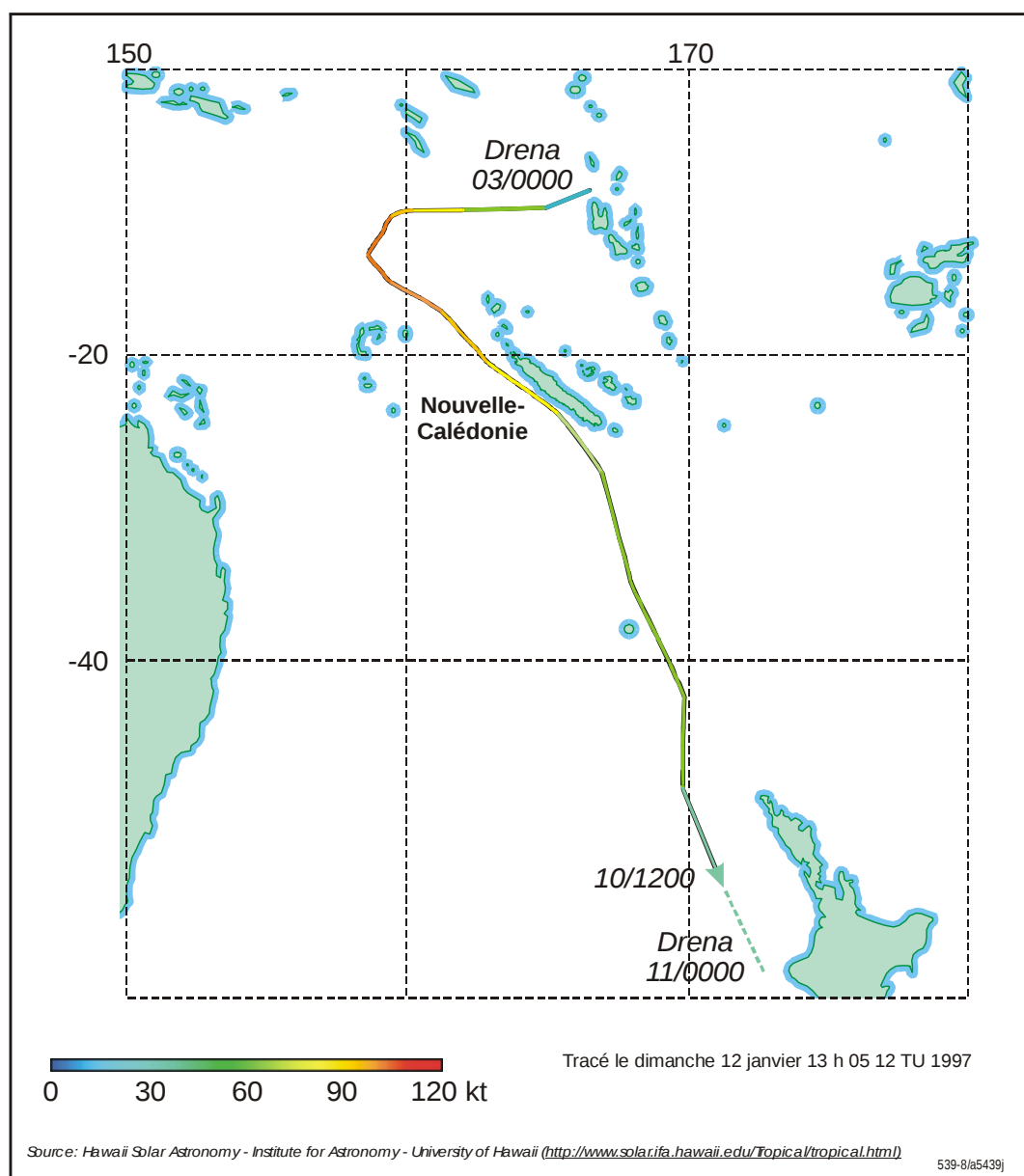


Figure 1-3. Parcours du cyclone tropical Drena en janvier 1997.

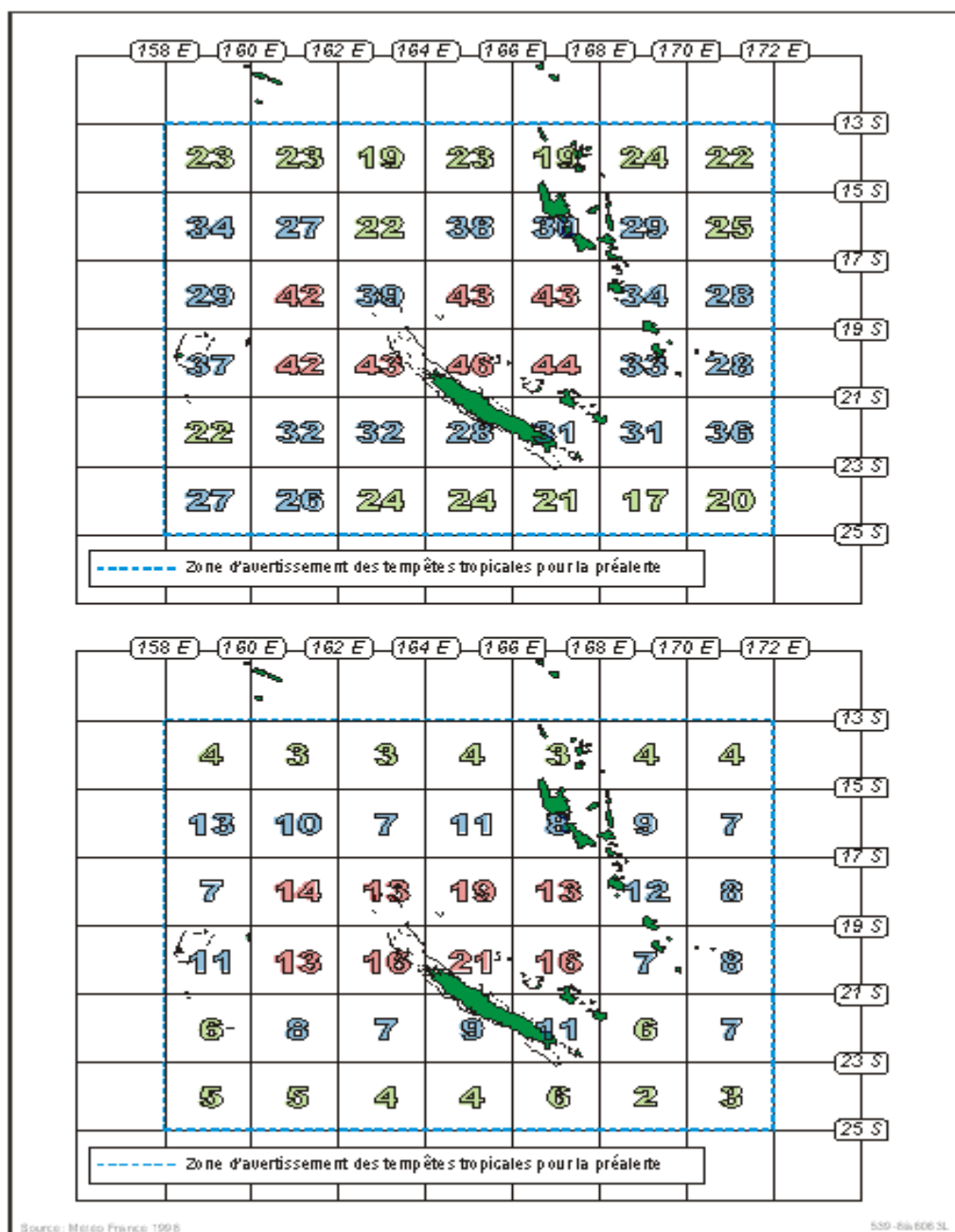


Figure 1-4. Nombre de dépressions tropicales (haut) et de cyclones tropicaux (bas) sur 50 ans de données disponibles (1947 à 1997)

1.2.1 Retombées de poussière

Il a été présumé que le taux de dépôt de poussière caractéristique du projet serait environ de 1,5 g/m²/30 jours, d'après une recherche menée pour un territoire ouvert non remanié par Capper et al. (1989). Cette concentration de caractérisation représente les conditions avant la construction des infrastructures du projet et sans la présence des émissions atmosphériques industrielles régionales et locales.

1.2.2 Vents

Sur le site du projet, les vents dominants soufflent de l'est et de l'est-nord-est, tandis que dans la zone de Prony, ils soufflent de l'est-nord-est. Les vents légers – une vitesse moyenne horaire inférieure à 0,51 m/s – sont rares tant à Goro qu'à Prony – <1,5 % du temps – (SNC-Lavalin, 1997). Les vents de l'est sont clairement dominants et sont plus fréquents en saison chaude qu'en saison fraîche.

1.2.3 SO₂ et NO_x

L'utilisation des sols au site du projet vise principalement l'exploration minière qui ne comporte pas de sources fixes ou mobiles d'émissions atmosphériques. L'air ambiant de caractérisation est par contre considéré comme non pollué. Tout contaminant de l'air dans le site du projet résulte donc de mécanismes de transport sur longue distance d'autres sources industrielles. Il n'existe pas de grandes activités industrielles à l'est du site du projet en Nouvelle-Calédonie.

En l'absence de données de caractérisation propres au site en ce qui concerne les contaminants gazeux et particulaires de l'air (c'est-à-dire surtout le SO₂ et le NO₂), des recherches dans des ouvrages ont été effectuées pour y trouver les niveaux prévus de ces contaminants.

Les principales sources des composés de soufre dans l'atmosphère sont la décomposition biologique, la combustion de produits combustibles et de matières organiques, les volcans et les embruns. Selon Seinfeld (1986) et Godish (1997), les concentrations de SO₂ dans l'air troposphérique non pollué sont de l'ordre de 1 à 10 ppb, tandis que l'air pollué en contient environ de 20 à 200 ppb. Quant au projet, une concentration de SO₂ de 5 ppb est tenue pour une caractérisation appropriée de ce paramètre.

Les oxydes d'azote (NO_x) comprennent surtout les oxydes d'azote (NO) et les dioxydes d'azote (NO₂). Il est estimé qu'environ 90 % du NO_x de l'atmosphère terrestre provient de l'action bactérienne naturelle. Le NO émane de sources naturelles (p. ex. la foudre) et anthropiques. La première source anthropique de NO est la combustion à haute température des combustibles fossiles. Le NO₂ est dégagé en petites quantités en même temps que le NO et se forme aussi dans l'atmosphère par oxydation du NO. Seinfeld (1986) énumère les concentrations de NO₂ de 0,1 à 0,5 ppb dans l'air non pollué de la troposphère et de 50 à 250 ppb dans l'air pollué. De même, la concentration de NO est de 0,01 à 0,05 ppb dans l'air non pollué et de 50 à 750 ppb dans l'air pollué. Godish (1997) indique que la concentration atmosphérique de caractérisation du NO et du NO₂ confondus est de 0,02 à 10 ppb dans les localités rurales. Pour ce qui est du projet, une concentration de NO₂ de 1,5 ppb est considérée une caractérisation appropriée de ce paramètre.

Hormis le CO₂, le monoxyde de carbone (CO) est le polluant atmosphérique le plus abondant dans la basse atmosphère. La source principale du CO dans les régions urbaines provient des gaz d'échappement des véhicules à moteur à combustion. Les incendies de forêt et les réactions photochimiques sont de grandes sources naturelles de CO. La concentration de monoxyde de carbone (CO) est de 120 ppb dans l'air de la troposphère non pollué et de 1 000 à 10 000 ppb dans l'air pollué (Seinfeld, 1986). Bouis et al. (1997) affirme que la concentration atmosphérique de CO se situe entre 40 et 60 ppb dans l'hémisphère Sud. Ces concentrations sont un peu plus élevées dans l'hémisphère Nord, car elles vont de 100 à 200 ppb, en raison d'une densité accrue des véhicules munis d'un moteur à combustion.

L'ozone est présent naturellement à des concentrations de 20 à 40 ppb dans l'air non pollué de la troposphère (Ayra, 1999). Sa variabilité naturelle est due à la chimie troposphérique et à l'ozone transporté de la stratosphère dans la troposphère. Les concentrations d'ozone dans les zones urbaines comme Los Angeles peuvent atteindre des niveaux aussi élevés que 400 ppb (Seinfeld, 1986).

Les composés organiques volatils (COV) sont des composés qui produisent des vapeurs à la température et à la pression de la pièce. Il n'existe pas de sources naturelles d'émissions de COV. Par conséquent, l'air non pollué compte des concentrations négligeables de COV.

Le terme particules sert à désigner généralement le total des particules en suspension (TPS) dans l'air ambiant. Le TPS comprend toutes les particules au diamètre inférieur à 30 µm. Les fractions de particules au diamètre inférieur à 10 µm sont généralement désignées PM₁₀. Les particules de diamètre plus petit que 2,5 µm (PM_{2,5}) sont considérées comme fines et celles plus grosses que 2,5 µm comme grosses. La principale préoccupation pour la santé humaine sont les PM₁₀ et PM_{2,5}. Aucun échantillonnage de caractérisation n'a encore été réalisé pour les PM₁₀ ni pour les PM_{2,5}. Par contre, en 1999, une étude réalisée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1999), qui liait les PM₁₀ dans l'air ambiant au nombre d'admissions à l'hôpital dans une population hypothétique, utilisait une concentration de référence de 20 µg/Nm³. Seinfeld (1986) était d'accord avec cette concentration de référence de PM₁₀ et remarquait que l'air pollué des zones urbaines en contenait entre 60 et 200 µg/Nm³.

La qualité de l'air ambiant extérieur de caractérisation pour la région de Goro est exposé en bref au tableau 1-4.

Tableau 1-4. Tableau récapitulatif de la qualité de l'air ambiant de caractérisation près du site du projet.

Constituant	Concentration de caractérisation
SO ₂	5 ppb (ou 13,0 µg/Nm ³)
NO ₂	1,5 ppb (ou 2,82 µg/Nm ³)
PM ₁₀	20 µg/Nm ³
Dépôt de poussière	1,5 g/m ² /30 jours

1.2.4 Bruit

Une campagne de mesures du niveau sonore initial à proximité du site de Goro a été effectuée du 4 au 10 novembre 2001. Le rapport complet de l'étude de mesures de bruit aérien se trouve dans l'ANNEXE 6 (Etat Initial – Bruit) du présent volume.

Cette campagne de mesures comprend 5 mesures longue durée sur les sites suivants :

- Baie de Prony : village de Prony et Ilot Casy
- •La base-vie
- •Les habitations les plus proches du projet : village de Goro et Port boisé

L'implantation de ces points de mesure est présentée sur la Figure 1-5. Le tableau 1-5 récapitule les résultats de cette campagne de mesures.

Tableau 1-5. Résultats campagne de mesure acoustique ERA

Référence	Niveau de bruit en période de jour en dB(A)	Niveau de bruit en période de nuit en dB(A)	Source extérieure
Port boisé	38	24	Groupes électrogènes
Village de Goro	40	24	Cascade, trafic
Base-vie	22	20	-
Prony	30	18	-
Ilot Casy	30	28	Groupe électrogène, bateaux

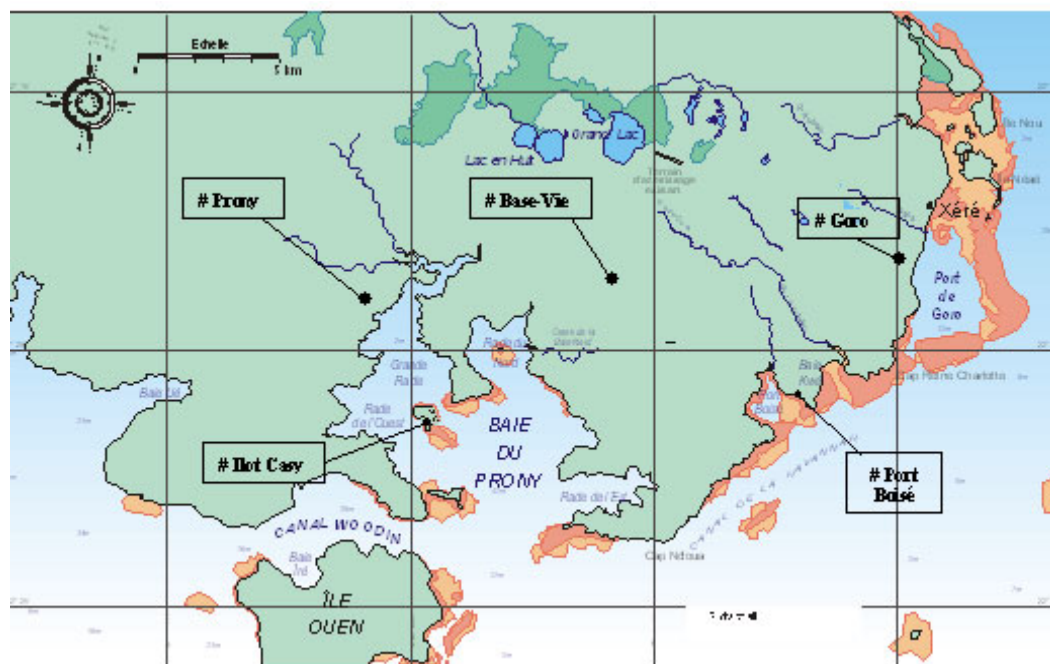


Figure 1-5. Implantation des points de mesure acoustique

PORT BOISE

Description

Le point de mesure est situé au milieu de la clairière de Port Boisé, face à la butte nord/sud ceinturant ce point sur 180°. La végétation est abondante sur la butte avec le chemin d'accès descendant sur la gauche jusqu'au parking derrière le restaurant. Les niveaux de bruits les plus élevés se situent sur le côté gauche du point de référence et proviennent essentiellement du groupe électrogène et du restaurant. Les habitations composées de 4 bungalows se situant en arrière sont peu habitées avec un lagon très calme pendant les mesures, ne générant que peu de bruits d'eau. La vie animale y est très riche, dont principalement les oiseaux à l'aube et au crépuscule.

Niveaux de bruit

Pendant la journée, le bruit des groupes (44 kVA et 22 kVA) est prédominant et atteint un niveau de bruit de 68 dBA entre 20 et 200 Hz, et 58 dBA entre 200 et 400 Hz. Ces mesures sont prises à 60 mètres du local.

Le bruit ambiant naturel se situe entre 20 et 30 dBA entre 400 et 10000 Hz, avec des pics intermittents à 40 dBA, entre 1 et 6 kHz (sifflements d'oiseaux). En plus haute fréquence, on trouve une signature imputable à une population d'insectes (Bourdonnement de grillons) entre 6 et 9 KHz avec un niveau maximum de 30 dBA.

Pendant la nuit, groupes arrêtés, le niveau de bruit ne dépasse pas 30 dBA en dessous de 5 KHz, et atteint 35 dBA entre 6 et 7 KHz sur le bourdonnement des grillons.

GORO

Description

Le point de mesure est situé en face de la cascade au débit moyen en cette saison. Ce point atteint un niveau de résonance maximum dû à la hauteur du massif entourant la cascade sur 180° par rapport à celui-ci. La végétation est abondante et luxuriante autour de la cascade et du massif. Une route sépare le point de référence de la cascade et d'un groupe Enercal avec des habitations et un bras de mer où un bateau reste au mouillage. Les bruits de mer sur l'arrière du point, distants de 90m, sont inaudibles à l'oreille. Un faré à 25m sur la gauche abrite des convives lors des principales mesures, le jour et en soirée. Il y a également présence d'une vie animale masquée en partie par le bruit de la cascade caractérisée principalement par des oiseaux.

Niveaux de bruit

Le bruit sur le site GORO, « la cascade » est caractérisé par un bruit large bande entre 100 Hz et 10000 Hz, avec un niveau maximum à 50 dBA en dessous de 500 Hz et diminuant ensuite pour atteindre 20 dBA à 10000 Hz. Ce bruit provient des chutes d'eau sur les rochers et dans un trou d'eau situé en contrebas. Le bruit dépend essentiellement du débit en fonction de la pluviométrie. Ce niveau de bruit est identique de jour comme de nuit.

Le bruit dû à la circulation n'augmente que très légèrement le niveau (les voitures sont au ralenties), les cris de personnes dans le trou d'eau viennent se greffer par intermittence.

Le chant et les sifflements d'oiseaux (entre 2000 et 7000 Hz) viennent agrémente cette ambiance (de 40 à 50 dBA).

BASE VIE GORO NICKEL

Description

Le point de mesure à l'ouest de la base vie se situe dans la plaine avec la chaîne dans le nord est et la baie de Prony dans le sud est. La végétation environnante, basse, n'attire que peu de présence animale dont quelques oiseaux. Sur la gauche, des travaux manuels importants de mise en place engendrent des bruits discontinus et aléatoires. Plusieurs engins industriels de mise en place de « bungalow » sont en mouvement sur tout le périmètre de la base. Un groupe électrogène de 100 kVA, masqué en partie par un tas de graviers, est en fonctionnement la plupart du temps d'acquisition des signaux. Ce groupe est situé à 100m du point de mesure.

Niveaux de bruit

Les mesures ont été perturbées par les activités dues au chantier en cours. Le bruit prédominant provient d'un groupe KVA à ciel ouvert, juste masqué par un tas de gravier.

On peut donc considérer que sans ce groupe et les activités annexes, le niveau de bruit ne dépasse pas 30 dBA au dessus de 500 Hz.

Les chants d'oiseaux sont beaucoup moins importants que sur les autres sites par le peu de végétation.

CASY

Description

Le point se situe au milieu de la baie à 30 mètres du WHARF en face du restaurant de CASY. Sur la gauche, la présence d'un groupe électrogène génère le bruit le plus élevé suivant l'orientation des vents. Sur la droite, deux groupes de bungalows abritent quelques touristes peu bruyants. Quatre voiliers sont au mouillage avec peu d'activité à bord. La végétation est abondante avec une vie animale très riche en oiseaux de jour comme de nuit.

Niveaux de bruit

C'est le groupe électrogène qui porte le niveau de bruit entre 60 et 70 dBA selon la direction du vent, bruit situé entre 20 et 400 Hz. Au delà de 400 Hz, le niveau est toujours en dessous de 38 dBA jusqu'à 10000 Hz.

Seul le chant des oiseaux entre 2000 et 6000 Hz dépasse le niveau du bruit ambiant sur le site. Le groupe KVA n'a jamais été arrêté pendant les mesures sur le site (deux jours et une nuit). C'est le bruit des bateaux qui affecte le plus le

bruit ambiant (navette de l'hôtel).

Le bruit dépasse alors 40 dBA selon le type de navire dans une gamme de fréquence allant de 200 Hz à 8000 Hz.

PRONY

Description

Le point de mesure est situé au milieu de l'anse du village de Prony, 200 mètres en face de la poudrière où sont mouillés trois petits bateaux. Il n'y a pas d'activité à terre. La végétation est abondante sur 200° avec une vie animale riche en oiseaux, de jour comme de nuit. On perçoit le bruit de ressac sur la plage et celui qui est sur la partie rocheuse est nettement plus perceptible lors des enregistrements. Le clapotis de l'eau sur la coque des bateaux vient régulièrement se confondre dans ce bruit.

Niveaux de bruit

Le bruit ambiant devant le village de Prony dépend essentiellement de l'état de la mer. Une partie est due au ressac sur la plage, l'autre, plus importante, provient du choc des vagues sur les rochers, entraînant le roulement de pierres et galets.

Ces bruit se situent en dessous de 500 Hz avec des niveaux de 55 dBA à 20 Hz et inférieurs à 50 dBA, entre 20 et 500 Hz.

Pour le reste du bruit ambiant (spectre de 500 à 10000 Hz), le niveau est en dessous de 30 dBA la journée et 20 dBA la nuit.

2 LES SOLS

2.1 DESCRIPTION GENERALE ET CADRE GEOLOGIQUE

La topographie générale de la zone étudiée se caractérise par des collines – de 300 m à 500 m d'altitude – aux versants abrupts – d'une déclivité supérieure à 50 % – alternant avec de nombreuses vallées fluviales. On trouve des plaines ou des bassins de basse altitude dans toute la zone étudiée (planche 1-1).

Le climat est de type subtropical avec une saison sèche bien distincte allant de juillet à octobre, et une saison humide courant de janvier à avril. Mars est généralement le mois le plus humide et septembre, le mois le plus sec. Les précipitations annuelles à Yaté sur une période de 33 ans ont oscillé entre 1 857 mm et 5 238 mm, la moyenne s'établissant à 3 100 mm. Des accumulations mensuelles supérieures à 900 mm ont été enregistrées à huit reprises en 33 ans.

La Nouvelle-Calédonie est d'origine continentale. Elle s'est séparée de l'Australie il y a environ 65 millions d'années et a dérivé vers le nord-est pour rejoindre sa situation actuelle il y a environ 50 millions d'années. Durant cette période, d'importants secteurs de l'île ont été submergés à plusieurs reprises et la quasi-totalité de Grande Terre a été recouverte jusqu'à 2 000 m de péridotite. Les géologues prétendent que, durant au moins une partie de cette période, toute la

Nouvelle-Calédonie doit avoir été submergée, même si les déductions qu'autorise la flore moderne laissent croire qu'au moins une partie de la masse terrestre est sans doute restée exposée, tenant lieu de refuge à de nombreuses espèces.



Planche 1-1. Plateau de Goro donnant sur le sud avec les collines du littoral en arrière-plan.

La péridotite est une roche ignée provenant du magma du manteau de la Terre et elle se trouve souvent dans les zones de divergence crustale (centres d'expansion). Elle est constituée principalement d'olivine et de pyroxènes et est classée comme roche « ultramafique » ou « ultrabasique », ce qui traduit sa forte teneur en fer et en magnésium et sa teneur relativement faible en minerais de silicates. Selon la teneur en olivine, les péridotites de Nouvelle-Calédonie peuvent être subdivisées en harzburgites ou en dunites. Dans l'un et l'autre cas, l'olivine et les pyroxènes sont instables en présence d'eau à basse température et subissent une altération connue sous l'appellation de serpentinisation.

Dans les climats tropicaux, les dépôts superficiels qui contiennent du fer font également l'objet d'un processus pédogénétique connu sous l'appellation de latéritisation, qui entraîne la lixiviation d'éléments solides comme le magnésium et le calcium – dans une moindre mesure, le silicium –, tandis que des éléments insolubles, notamment le fer, se concentrent à la surface.

En Nouvelle-Calédonie, ces sols ferralitiques ont une croûte caractéristique, ou « cuirasse de fer », sous laquelle se trouve une couche de pisolithes, que l'on appelle également « grenailles de fer ». Dessous, se trouvent de profonds dépôts d'oxyde de fer hydraté de couleur rouge ou jaune, que l'on appelle aussi limonite. Le nickel de Nouvelle-Calédonie provient de la couche profonde de limonite jaune et de la zone de transition entre la latérite et le substrat de péridotite sous-jacent.

Étant donné que les sols ferralitiques de Nouvelle-Calédonie sont constitués de matériaux d'origine ultrabasique, ils présentent certaines propriétés particulières, comme de très faibles concentrations de substances nutritives (phosphore, potassium et calcium) et des concentrations élevées de métaux (comme du nickel, du chrome et du cobalt) généralement toxiques pour de nombreux végétaux. Le tableau 1-6 illustre les concentrations types de métaux que l'on trouve dans les sols du Plateau de Goro. Ce substrat rocheux recouvrait jadis la quasi-totalité de la Nouvelle-Calédonie et couvre toujours aujourd'hui près du tiers du territoire. Ces propriétés édaphiques spécialisées ont eu une profonde

influence sur l'évolution et la diversification de la végétation de la Nouvelle-Calédonie.

Tableau 1-6. Concentrations métalliques de caractérisation des sols de Nouvelle-Calédonie¹ (mg/kg).

	Cuirasse de fer	Grenailles de fer	Mort-terrain
Nombre d'échantillons :	8	8	27
Métal	Plage	Plage	Plage
Ag	0,55 - 2,7	0,45 - 1,7	0,05 - 0,7
Al	160 - 39000	490 - 39000	6500 - 126500
As	5,13 - 29	3,4 - 12,3	0,11 - 10,8
Be	15 - 17	14 - 16	11 - 18
Ca	980 - 1300	1100 - 1300	700 - 1400
Cd	4,8 - 5,2	4,2 - 5,1	3,3 - 5,1
Co	41 - 170	32 - 290	49 - 560
Cr	19000 - 32500	12500 - 43000	140 - 21000
Cu	110 - 250	65 - 230	31 - 120
F	90 - 180	75 - 140	65 - 160
Fe	533500 - 602000	471500 - 603500	290500 - 596500
Hg	0,04 - 0,11	0,05 - 0,21	0,02 - 0,12
Mg	150 - 970	210 - 1500	270 - 6700
Mn	690 - 3100	520 - 3600	1200 - 7100
Ni	1200 - 2700	1500 - 12500	5500 - 14500
P	130 - 350	26 - 410	1,6 - 120
S	1500 - 2700	430 - 11000	860 - 4000
Sb	0,07 - 0,3	0,08 - 0,19	0,01 - 0,14
Se	1,27 - 4,82	0,55 - 6,44	0,28 - 4,83
Si	140 - 6100	440 - 8300	2800 - 112000
Sr	0,1 - 0,6	0,4 - 1,8	0,1 - 8,7
Ti	570 - 1600	270 - 2500	110 - 1400
Zn	0,1 - 280	1,8 - 410	1,3 - 510

1 : Adapté de Hatch (2001).

Les sols ferrallitiques recouvrent la quasi-totalité de la zone visée par le projet, la majorité étant classé comme ferritique ferrallitique (oxysol), selon la classification française des sols de 1967 – la « C.P.C.S ». En général, ces sols contiennent d'importantes quantités de sesquioxides de fer et pratiquement pas de kaolinton. Ce sont des sols acides dont le ratio Ca:Mg est faible. Le silicium, le potassium, le calcium et le phosphore y sont piètrement représentés. Le pouvoir d'échange cationique est faible en surface, où il est associé à la matière organique et à des quantités infimes de talc, d'antigorite et d'argile ferrifère, et pratiquement inexistant dans les horizons sous-jacents. On constate des variantes le long d'une toposéquence, comme des matériaux remaniés et des accumulations de plaques de croûte. Toutes ces variantes présentent un faible potentiel agricole.

On trouve d'autres types de sols dans la zone visée par le projet, mais dans une moindre mesure. Il s'agit de sols bruns eutrophes tropicaux à la base du versant est du plateau de Goro. Ces sols contiennent plus de silice ainsi que des smectites ferrifères et chargées de magnésium. Leur pH est neutre à basique, mais leur pouvoir d'échange cationique est saturé de magnésium. On trouve éparpillés dans toute la région des sols d'érosion sous-développés, ce qui est un reflet des versants abrupts, de la vulnérabilité à l'érosion et de la dégradation par le feu. Il existe des sols hydromorphes dans les bassins et des sols alluviaux et marins sous-développés le long des cours d'eau et à l'embouchure des rivières. Des miniplantations croissent à l'embouchure de la rivière Kwé et le long du littoral de Goro.

Se référer à l'Annexe 2 (Données Géologiques de base) du Dossier Préliminaire (TOME 2, Volume 7) pour plus d'information.

3 HYDROGÉOLOGIE ET EAUX SOUTERRAINES

Les études hydrogéologiques détaillées pour les bassins versants de la rivière Kwé et du Creek de la Baie Nord sont présentées à l'Annexe 4 (Etude Hydrogéologique de Base) du Dossier Préliminaire (TOME 2, Volume 7) pour plus d'information.

Une cartographie hydrogéologique des bassins versants de l'aire de stockage des morts terrains et des résidus épaissis et les quatre bassins adjacents a été effectuée en saison sèche et en saison de pluie. Les résultats de l'étude ont permis de mieux comprendre le volume et la présence des eaux de ruissellement, de l'aquifère profond et de l'aquifère superficiel et de leurs apports à l'écoulement dans les bassins versants. Le rapport de cette étude ainsi que les résultats des essais au traceur effectués lors de l'étude se trouve dans l'Annexe 1.2 du présent volume (Cartographie hydrogéologique et essais au traceur – aires de stockage des résidus et des morts terrains de la Kwé est).

3.1 GEOGRAPHIE

La mine à ciel ouvert, l'installation de gestion des résidus et le réservoir d'approvisionnement en eau proposés sont situés dans un bassin, dont l'altitude varie de 180 m à 250 m au-dessus du niveau de la mer et qui coule vers le sud-est. Ce bassin, avec sa crête montagneuse qui l'entoure, constitue le bassin de captage des affluents de la Rivière Kwé (Est, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest). Immédiatement au nord du bassin versant de la Rivière Kwé se trouve le bassin de la Plaine des Lacs, qui coule vers le nord et dont l'altitude moyenne est de 255 m au-dessus du niveau de la mer. Le bassin versant du Port Boisé, plateforme côtière par laquelle la Rivière Kwé coule vers la mer, est situé au sud du bassin versant de la Rivière Kwé. Les rivières du Plateau de Goro pénètrent profondément dans le bassin et s'écoulent vers le sud en direction d'une gorge de la crête sud du bassin versant de la Rivière Kwé à une altitude d'environ 100 m au-dessus du niveau de la mer.

Les dolines (vastes entonnoirs peu profonds), les marais et les lacs sont disséminés sur l'ensemble du Plateau de Goro. Les entonnoirs et les dolines contiennent invariablement de l'eau et servent de centres de drainage locaux, en captant l'eau de ruissellement et en facilitant l'accès de petites quantités d'eau de suintement dans le sol altéré sous-jacent. La dimension et la profondeur des entonnoirs et des dolines diffèrent considérablement. Les lacs les plus profonds reçoivent aussi l'afflux des eaux souterraines qui coulent dans les systèmes fissurés de la roche mère. Le périmètre est du bassin versant de la Rivière Kwé renferme une chaîne de lacs exempts d'embouchures visibles vers le système de drainage avoisinant.

Se référer à l'Annexe 2 (Données Géologiques de base) du Dossier Préliminaire (TOME 2, Volume 7) pour plus d'information.

3.2 GEOMORPHOLOGIE

Le projet se déroule sur le Plateau de Goro, un des nombreux plateaux caractérisant la géomorphologie de l'extrémité sud de la Nouvelle-Calédonie. Chaque plateau constitue la base d'un bassin entouré de crêtes montagneuses (figure 1-6). Les plateaux se trouvent à diverses altitudes, et ceux situés plus près de la côte sont moins élevés. Chaque bassin est pourvu de son propre système de drainage ayant ses caractéristiques hydrogéologiques propres, mais les systèmes de tous les bassins sont toutefois fondamentalement les mêmes.

Les crêtes montagneuses sont des socles rocheux de type péridotite à partir desquels les profils altérés supérieurs se sont érodés. Ces crêtes contribuent à isoler chaque bassin des autres.

Les travaux hydrogéologiques sur le terrain consistaient principalement à recueillir des données pour décrire l'hydrologie du profil géologique au-dessus de la roche mère péridotite.

Se référer à l'Annexe 2 (Données Géologiques de base) du Dossier Préliminaire (TOME 2, Volume 7) pour plus de détails.

3.3 GEOLOGIE

Les couches latéritiques propres à la zone du projet sont généralement constituées de quatre strates de types de roche altérée au-dessus de la roche mère non altérée de type péridotite (figure 1-7). La couche de surface est une cuirasse de fer composée d'oxydes de fer durs et poreux, mais généralement imperméables à l'eau, sauf là où les fissures et les trous percent la roche. Le niveau d'humidité de la cuirasse de fer est d'environ 12 %. Deux couches de limonite, une de couleur rouge et l'autre jaune, sont situées sous la cuirasse de fer. La limonite rouge contient du nickel et du cobalt, mais leurs concentrations sont inférieures à la teneur marchande. La limonite jaune est un matériau à teneur marchande situé au-dessous de la limonite rouge quoique contigu avec celle-ci. La limonite présente une forte porosité et un niveau d'humidité d'environ 38 %. La quatrième couche est le saprolite contenant du cobalt en teneur marchande et dont les caractéristiques hydrogéologiques sont différentes à celles de la limonite sus-jacente ; ces deux matériaux présentent des conductivités hydrauliques respectives variant entre 10^{-8} et 10^{-5} pour la limonite et entre 10^{-5} et 10^{-4} pour le saprolite. La zone comprenant le saprolite et la partie supérieure de la roche mère a une conductivité hydraulique variant généralement entre 10^{-5} et 10^{-4} cm/s et peut localement avoir une conductivité hydraulique élevée dans les zones fracturées avec des valeurs de l'ordre de 10^{-2} cm/s.



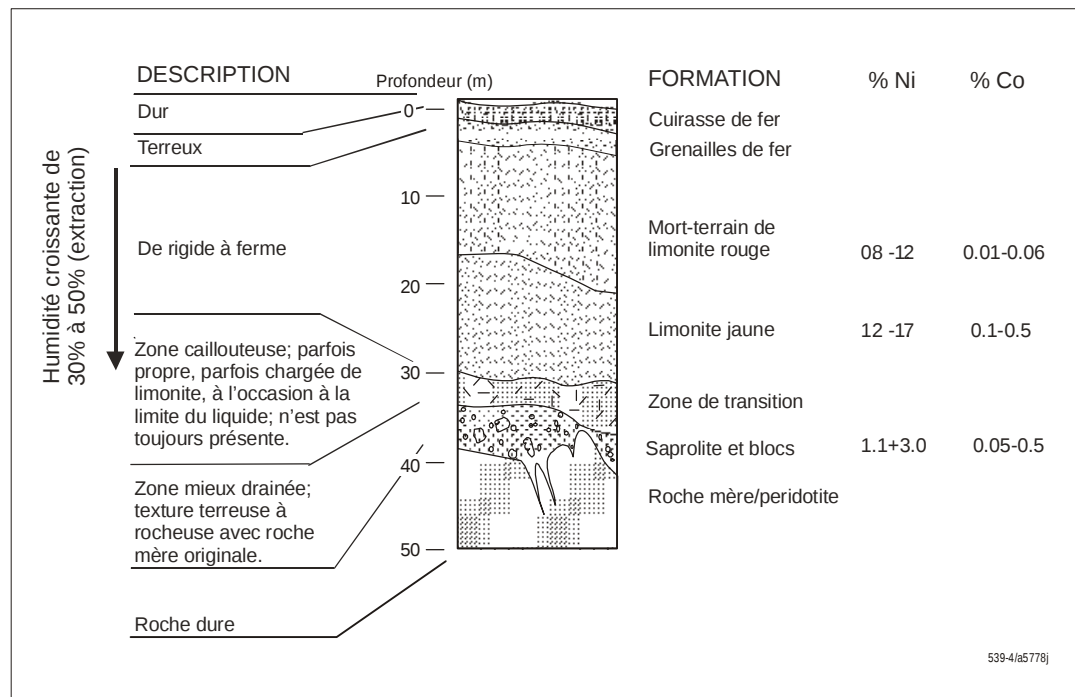


Figure 1-7. Coupe illustrant un profil latéritique typique de la zone du projet.

3.3.1 Nappe phréatique

Les eaux de surface de chaque bassin versant sont essentiellement confinées dans des crêtes de péridotite imperméables. La nappe phréatique, qui provient des eaux de pluie et dont le filtrage est assuré dans des failles de la cuirasse de fer imperméable, s'écoule sur le terrain en pente dans les zones perméables au-dessus de la roche mère. La nappe phréatique du Plateau de Goro s'écoule principalement sur le terrain en pente vers la zone de confluence de la rivière Kwé. La nappe phréatique du Creek de la Baie Nord et des bassins versants de Kadji n'a pas fait l'objet d'études. Par contre, il est probable que la nappe phréatique de ces zones se comporte de façon similaire à celle des bassins avoisinants. On croit que certaines de ces eaux se déplacent entre les bassins dans de profonds systèmes fissurés de la roche mère de type péridotite. Des écoulements ont été enregistrés dans la péridotite exposée vers les rivières et les lacs plus profonds de la région. Le degré de contribution de la nappe phréatique au système des rivières Kwé n'a pas été quantifié, bien qu'il est estimé qu'environ 90 % des eaux de pluie sont captées par le drainage superficiel ou par l'écoulement de la nappe phréatique peu profonde (au-dessous de la cuirasse de fer). Il est admis que les nappes souterraines s'alimentent rapidement parallèlement aux augmentations des précipitations et qu'elles s'appauvrissent rapidement par temps de sécheresse, ce qui indique une grande variabilité de l'écoulement de base.

L'eau souterraine coule principalement à travers les zones de perméable. Les sources principales de cette eau souterraine sont la pluie et le ruissellement en provenance des crêtes montagneuses avoisinantes. Le principal écoulement souterrain s'effectue dans la zone de transition « chargée de fer », entre la cuirasse de fer et la limonite rouge (figure 1-7). L'eau est aussi filtrée verticalement vers le bas dans des fissures et des conduites des couches peu perméables de limonite pour alimenter les zones perméables inférieures.

Les niveaux d'eau du système aquifère de la roche mère réagissent rapidement

aux précipitations. Par temps sec, les niveaux d'eau diminuent rapidement dans la roche mère, mais beaucoup plus lentement dans les couches sus-jacentes de limonite. Les données recueillies avec des piézomètres révèlent que le gradient hydraulique vertical est descendant entre le profil latéritique et la roche mère. Les gradients hydrauliques verticaux entre la limonite et la roche mère peuvent être ascendants ou descendants selon leur emplacement ou la nature des précipitations.

La qualité des eaux souterraines, près de la mine, a été établie grâce à l'échantillon de trois forages en deux occasions, en novembre 1994 (bas niveau d'eau) et en mars 1995 (saison des pluies). Les résultats analytiques révèlent que les eaux souterraines ont de faibles concentrations relativement à la plupart des métaux, avec des conductivités de moins de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un pH moyen de 5,75. Les concentrations élevées de fer et de nickel, 0,254 mg/l et 0,030 mg/l, respectivement, indiquent une teneur métallique élevée dans le sol. Le deuxième échantillonnage, effectué à la suite d'une période de pluies, ne révélait aucun changement important, mais un pH moyen légèrement plus bas (5,1), des concentrations accrues de manganèse, d'aluminium et de solides en suspension ainsi que des concentrations plus basses de fer et de nickel (SNC-Lavalin, 1995). Ces changements sont compatibles avec l'infiltration accrue d'eau de pluie.

3.3.2 Qualité des eaux souterraines – site de l'usine pilote

Une unité pilote destinée à valider la faisabilité technique, financière et environnementale du procédé envisagé est en opération depuis 2000. L'analyse de son fonctionnement a permis des améliorations qui ont été introduites dans la conception du présent projet.

La surveillance de la qualité des eaux souterraines autour de cette unité a également été une source d'enseignement pour le projet.

C'est à ce titre que les résultats en sont reproduits ci-dessous.

L'échantillonnage des eaux souterraines est réalisé en périodicité mensuelle. Seuls les paramètres ioniques sont analysés. La figure 1-8 indique la localisation des points d'échantillonnage.

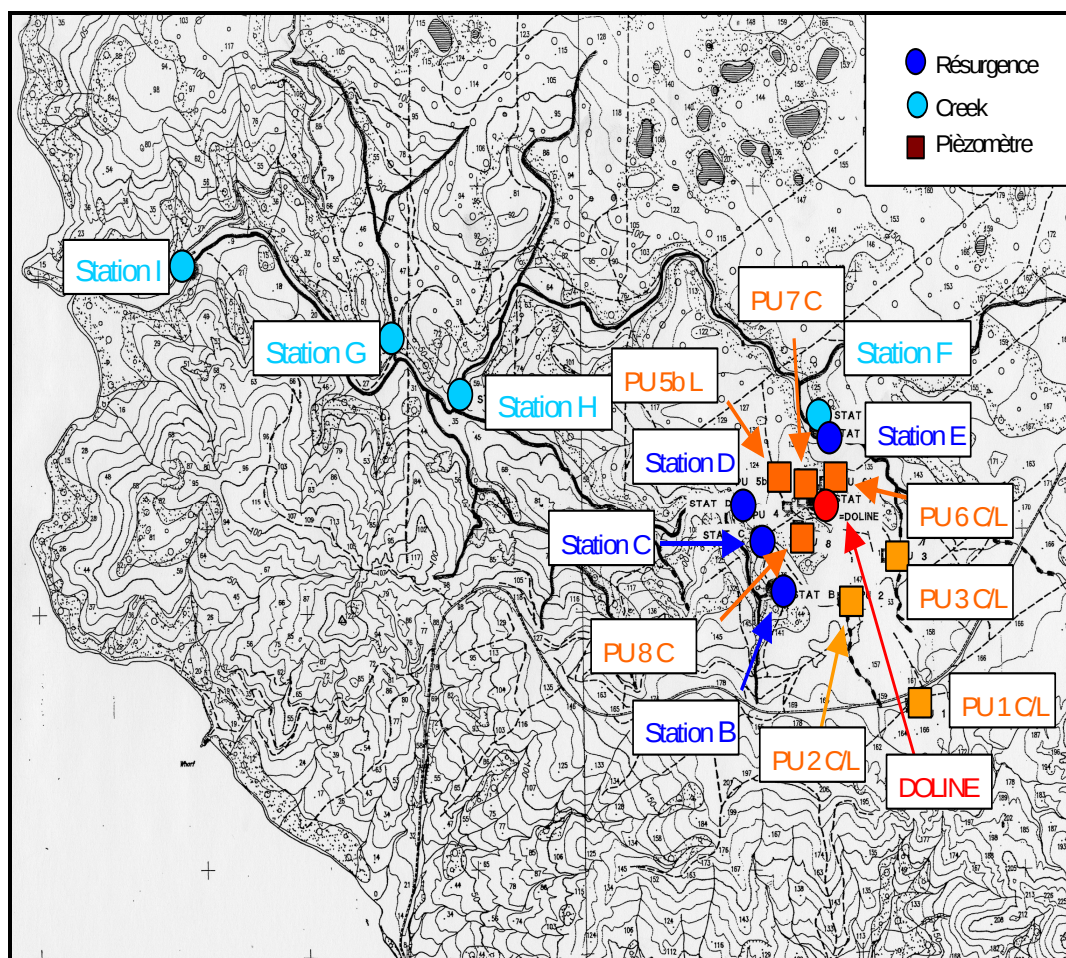


Figure 1-8. Carte d'emplacement des stations de surveillance des effets dans le milieu naturel.

Piézomètres aux alentours de l'usine pilote :

Les piézomètres PU-1C, PU-1L, PU-2C, PU-2L et PU-3L sont localisés près de l'usine pilote. Les résultats d'analyses de ces piézomètres pour l'année 2000 sont présentés dans le tableau 1-6.

Tableau 1-6. Concentrations des paramètres contrôlés dans les piézomètres aux alentours de l'usine pilote.

Paramètres	PU 1 C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	4	4	2,5	1,6	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	1,2	1,2	1,5	1,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	3,2	3,2	3,4	4	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	1	1	1,3	1,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	PU 1 L											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	<0,1 à 0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	sec
Calcium	1,5 à 5,5	1,5	2,3	1,1	1,4	3,6	2,4	3,7	5,4	sec	2,4	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	sec
Chrome	<0,1 à 1,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,05	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,05	sec
Magnésium	0,9 à 2,8	0,9	1	1,2	1,2	26,2	2,0	1,4	2,6	sec	2,4	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,1	<0,1	0,4	sec	0,1	sec
Nickel	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,1	<0,1	sec	0,1	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	sec
Sulfate	0,7 à 3,6	1,2	2,5	1,2	3,4	38,9	3,7	4,5	8,2	sec	5,2	sec
Silicium	1,1 à 4,9	1,1	1,2	1,2	1,2	2,7	1,7	1,5	2,2	sec	3,3	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	<0,01	sec

Paramètres	PU 2 C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	0,7	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Calcium	3,7	2,3	4,3	1,8	3,2	3,3	13,8	2,3	sec	sec	sec	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Magnésium	3	1,9	31,9	1,4	23	26,1	2,9	3,7	sec	sec	sec	sec
Manganèse	1,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,6	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
Sulfate	11,8	10,6	38,1	8,9	37,2	43,1	31,2	12,3	sec	sec	sec	sec
Silicium	1,3	0,6	3,6	1	2,2	2,6	0,6	0,8	sec	sec	sec	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec

Paramètres	PU 2 L											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	2,6	0,2	0,2	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Calcium	1,7 à 10,6	1,7	2,6	2,2	2	2,4	2,9	11,4	3,5	1,8	2,4	4,3
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Chrome	<0,1 à 2,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Magnésium	0,9 à 2,6	0,9	1,2	1,8	1	1,6	1,7	1,5	3,4	3,0	1,9	2,2
Manganèse	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	<0,1	0,3	0,1	0,06	0,1
Nickel	<0,1 à 5,3	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Plomb	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfate	8,3	6,3	4,5	5,1	2,9	15,6	9,1	17,5	6,3	1,4	2,8	0,8
Silicium	2 à 20,1	2	1,8	1,6	1,4	1,7	0,9	1,2	1,6	1,8	0,5	0,6
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Paramètres	PU 3 L											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,31	<0,1	<0,1
Calcium	2,9 à 4,7	4,7	4,4	4,3	4,2	4,4	5,6	4,0	5,4	3,22	2,9	3,9
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Magnésium	27,3 à 38,5	38,5	22	12,4	19,8	20,8	22,2	20,6	21,6	19,92	15,5	20,4
Manganèse	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,24	0,18	0,3
Nickel	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfate	54	53,3	43,6	28,3	39,9	41,3	40,6	37,3	40,7	12,30	30,7	29,4
Silicium	2,3 à 3,7	3,6	2,1	1,4	1,8	2,2	2,1	2,1	2,2	2,57	1,9	2,6
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Piézomètres aux alentours de la doline :

Les piézomètres PU-5bL, PU-6C, PU-6L, PU-7C et PU-8C sont localisés près de la doline. Les résultats d'analyses de ces piézomètres pour l'année 2000 sont présentés dans le tableau 1-7.

Tableau 1-7. Concentrations des paramètres contrôlés dans les piézomètres aux alentours de la doline.

Paramètres	PU 5 bL											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	0,1	0,1	0,3	<0,1	0,2	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,1
Calcium	17,6	17,6	12,9	8	7,4	5,8	6,3	4,1	5,4	4,01	7,8	4,7
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,0
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,0
Magnésium	9,5 à 11	11	10,7	10,9	10,8	11,8	11,9	14,4	11,9	15,19	9,2	10,5
Manganèse	<0,1 à 0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,7	1,1	1,00	1,04	1,3
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfate	43,6	36,2	28,2	22,5	20,9	19,8	17,1	7,3	16,7	7,73	23,0	18,3
Silicium	4,7 à 8,1	8,1	8,2	8,2	7,9	8,2	8,3	8,1	7,7	8,00	5,5	8,3
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Paramètres	PU 6 C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	na	0,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	na	4,6	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	na	1,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	na	11,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	na	0,6	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	na	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	na	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	PU 6 L											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	7,5	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Calcium	14,3	7,7	8,6	7,1	5,2	5,4	8,4	3,7	4,2	8,23	3,6	18,0
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
Chrome	0,26	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,0
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,0
Magnésium	11,1 à 37,1	37,1	13,3	13,9	8,7	13,7	13,8	1,9	12,2	13,00	10,4	12,2
Manganèse	0,12	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	<0,1	0,7	0,60	0,60	0,7
Nickel	0,5	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Plomb	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfate	25 à 46,7	46,7	8,6	8,6	6,9	7,6	13,2	3,4	6,9	5,40	8,0	25,8
Silicium	6,9	3,3	3,9	4,7	4	6,4	6,9	<1,5	6,4	6,75	4,1	4,4
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Paramètres	PU 7 C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	na	12,5	51,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	na	20,3	7,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	na	0,2	0,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	na	44,4	112,6	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	na	1,9	1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	na	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	PU8 C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	na	3,5	14,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	na	2,6	2,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	na	7,1	22,5	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	na	0,1	0,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	na	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	na	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Eaux des résurgences sous la cuirasse : stations B-C-D-E :

L'échantillonnage des eaux de résurgence sous la cuirasse est réalisé en périodicité mensuelle. Les résultats d'analyses pour l'année de fonctionnement 2000 sont présentés dans le tableau 1-8.

Tout au long de l'année 2000, la plupart des 4 stations des eaux de résurgence sous la cuirasse ont été sèches, ne permettant pas de réaliser l'échantillonnage mensuel. Cette sécheresse des stations était liée aux conditions météorologiques, avec de faibles précipitations pendant la saison fraîche et des températures de l'air élevées pour la période estivale.

Cependant, les quelques mesures réalisées pour les stations B, C et D permettent de voir une évolution de certains paramètres par rapport aux points zéro effectués avant le début des opérations.

En effet, la station B, entre février et juin 2000, présente des paramètres ioniques qui se maintiennent dans la fourchette de mesures des points zéro. Seules deux valeurs de calcium ont légèrement dépassé les valeurs des points zéro mesurées pour ce paramètre.

Après le mois de février, les stations C et D montrent des teneurs en calcium, sulfate et silicium supérieures aux points zéro. Les concentrations en silicium restent néanmoins faibles alors que celles en calcium et sulfate varient de façon significative dans les deux stations. En revanche, pour la station E, les teneurs qui dépassent les valeurs des points zéro (calcium, sulfate, magnésium, silicium) restent relativement faibles.

Ces stations de résurgences sont alimentées par des eaux de la Doline percolant dans le réseau hydrogéologique. On peut donc conclure, au vu des concentrations de calcium, sulfate, magnésium et silicium mesurées dans la Doline, qu'il y a un impact négligeable sur les eaux de résurgence sous la cuirasse. Aussi, on ne peut négliger l'éventualité d'une variabilité naturelle pour l'ensemble des paramètres sur ce type de stations de résurgence soumises à un réseau hydrogéologique relativement complexe.

Tableau 1-8. Concentrations des paramètres contrôlés dans les eaux de résurgence.

Paramètres	Station D											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
pH	5,0	5	5,3	4,9	6,2		sec	sec	sec	sec	sec	sec
Alu + fer	0,14	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	0,2 à 1,9	1,9	5,7	6	5,6	6,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	1,3 à 2,5	2,5	2,6	2,1	1,9	1,9	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	2,1 à 3,6	3,6	6,3	5,7	6,4	6,9	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	0,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CN		<0,00	<0,00		<0,00		sec	sec	sec	sec	sec	sec
DCO		1	5		5							
DBO5	5,6	<10	19	<10	<10		sec	sec	sec	sec	sec	sec
HT		<1	2	1	2	2	sec	sec	sec	sec	sec	sec
MEST		<0,1	<1	<1	<1	<1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
	<10	<10	<10	<10	<10	10	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	Station B											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	0,5 à 1	1	1	1	1,4	1,7	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	1,5 à 1,9	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	2,6 à 5,4	5,4	2,9	3	4,0	4,3	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	0,6	0,4	<0,1	0,3	0,3	0,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	Station C											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Calcium	0,1 à 2,1	2,1	sec	5	7,2	9,7	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Chrome	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Magnésium	1,1 à 2,7	2,7	sec	2	1,9	1,9	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Nickel	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Plomb	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Sulfate	1,7 à 3,7	3,7	sec	5,2	6,5	8,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Silicium	<0,1	0,1	sec	0,2	0,3	0,2	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Zinc	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	<0,1	sec	sec	sec	sec	sec	sec
CrVI	<0,01	<0,01	sec	<0,01	<0,01	<0,01	sec	sec	sec	sec	sec	sec

Paramètres	Station E											
	point 0	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Alu + fer	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	sec	<0,1	<0,1	sec
Calcium	0,2 à 0,3	0,3	0,2	0,9	0,6	1,2	1,1	0,3	sec	0,6	6,4	sec
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	sec
Cobalt	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	0,6	sec
Chrome	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	sec	<0,05	<0,05	sec
Cuivre	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,05	<0,05	sec
Magnésium	2,6	1,5	2,2	3,3	1,3	3,7	2,0	2,6	sec	3,0	3,5	sec
Manganèse	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,01	0,04	sec
Nickel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	7,8	sec
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	sec
Sulfate	2,6	1,8	2,5	3	3,6	3,6	3,9	2,6	sec	1,3	22,0	sec
Silicium	1,2	0,6	0,7	2,4	0,8	2,9	0,9	1,0	sec	1,0	1,2	sec
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	sec	<0,1	<0,1	sec
CrVI	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	sec	<0,01	<0,01	sec

4 MILIEU D'EAU DOUCE

Des études d'état initial détaillées du milieu d'eau douce sont présentées dans l'Annexe 3 (Etat Initial – Milieu d'eau douce) du présent volume.

4.1 QUANTITE D'EAU DES RIVIERES

4.1.1 Bassins versants

Cinq bassins versants principaux caractérisent la région sud-est de la Nouvelle-Calédonie : Baie du Prony, Rivière Kwé, Rivière Trou Bleu, Rivière Wajana et Rivière Kuébini (figure 1-8). Parmi eux, le bassin versant de la Baie du Prony comporte un régime de précipitations distinct. Situé sur le côté à l'abri du vent de la chaîne nord-sud du Mont Néngoné (sommets variant entre 300 m et 500 m d'altitude), le bassin versant de la Baie du Prony est privé de l'humidité que transportent les vents alizés du sud-est. Selon Météo-France (1995), les précipitations annuelles moyennes estimées de ce bassin versant sont d'environ 1 014 mm. Les autres bassins versants sont situés à l'est de la chaîne de montagnes et connaissent des précipitations accrues (~3,000 mm/a). Le tableau 1-8 illustre les zones des bassins versants, la longueur des rivières, les pentes et les sinuosités (degré de méandre ou d'ondulation) des cinq principaux bassins versants.

Les principaux bassins secondaires du bassin versant de la Baie du Prony sont la Rivière Bleue, la Rivière du Carénage, la Rivière des Kaoris, la Rivière Kadji et le Creek de la Baie Nord. Parmi ceux-ci, celui de la Rivière Bleue est le plus grand, s'étendant sur une longueur d'environ 8 km avec un bassin de captage d'environ 33 km². La Rivière Kadji, à l'est de la Baie du Prony, est celle qui possède la pente la plus inclinée (7,7%).

Tableau 1-8. Caractéristiques des bassins versants et des rivières dans la zone du projet et en Nouvelle-Calédonie du sud-est.

Bassin versant	Principales rivières	Superficie (km ²)	Longueur (km)	Pente (%)	Sinuosité ¹ (-)
Baie du Prony	Bleue	33,0	7,5	1,7	1,2
	Carénage	10,7	3,1	4,9	1,2
	Kaoris	14,6	3,9	6,6	1,1
	Kadji	13,8	4,7	7,7	1,2
	Baie Nord	7,3	5,3	n/d	n/d
Rivière Kwé	Kwé Ouest	17,7	8,3	4,8	1,3
	Kwé Nord-Ouest	2,4	3,3	6,8	1,3
	Kwé Nord-Est	8,4	4,0	3,8	1,6
	Kwé Est	4,5	4,2	3,6	1,2
	Rivière Kwé inférieure	7,3	4,1	1,4	1,2
Rivière Trou Bleu	Trou Bleu	5,8	3,7	3,2	1,1
Rivière Wajana	Wajana	3,4	3,8	7,1	1,5
Rivière Kuébini	Kuébini	35,6	8,0	3,0	1,7

1: sinuosité = longueur réelle de la rivière/longueur de la rivière en ligne droite.
n/d : sans objet

Le bassin versant de la Rivière Kwé est alimenté par les rivières Kwé Est, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest. Ces rivières se rencontrent et coulent vers le sud en direction de la vallée inférieure de la Rivière Kwé. Le plus grand affluent est Kwé Ouest, qui s'étend sur environ 8 km et coule dans une zone d'environ 18 km².

Ensemble, les affluents Kwé Nord-Est et Nord-Ouest irriguent une zone d'environ 11 km². La Rivière Kwé Est court sur environ 4 km, et son bassin de captage s'étend sur approximativement 5 km². La pente de la Rivière Kwé Nord-Ouest est la plus inclinée (6,8 %) des quatre affluents. Transportant les eaux combinées des affluents de la rivière Kwé, la partie inférieure de la Rivière Kwé coule vers le Canal de la Havannah par la Baie Kwé.

La Rivière Trou Bleu se déverse dans le Canal de la Havannah en passant par Port Boisé. La Rivière Wajana et la Rivière Kuébini coulent individuellement vers l'est en direction du Port de Goro. La Rivière Wajana est un petit cours d'eau d'environ 4 km avec un bassin de captage de 3,4 km². La Rivière Kuébini s'étend sur 8 km, et son bassin de captage est d'une superficie d'environ 36 km².

Toutes les rivières du sud-est de la Nouvelle-Calédonie montrent des pentes abruptes (tableau 1-8), ce qui est typique des torrents. Ces pentes entraînent des débits torrentiels au cours de la saison des pluies. Les sinuosités générales des cours d'eau varient. Les Rivières Trou Bleu et Kaoris sont quasiment droites (sinuosité de 1,1), tandis que la Rivière Kuébini est très sinueuse (sinuosité de 1,7.)

4.1.2 Rivières situées dans la zone du projet

La zone du projet englobe la partie est d'un grand bassin entouré de crêtes montagneuses et est traversée principalement par un réseau d'affluents qui forment le cours supérieur de la Rivière Kwé. Les rivières Kwé Est, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest se réunissent pour former la Rivière Kwé, qui quitte le bassin par une gorge étroite et qui coule vers le sud-est en direction de la mer à travers la plate-forme littorale relativement plane du bassin de Port Boisé. Les autres rivières situées dans la zone d'influence potentielle du projet sont Wajana, Kuébini, Trou Bleu et Kadji ainsi que le Creek de la Baie Nord (voir la figure 1-6).

La zone du cours supérieur est généralement abrupte, avec des pentes variant de 2 % à plus de 5 %, et des canaux à incision descendante vers un substrat de blocs et de galets. Les cours d'eau forment des séries de cascades et de rapides parfois marqués de fosses et de chutes. Les sections médianes ont des pentes un peu moins inclinées, et les substrats contiennent une proportion accrue de fins sédiments. Les tronçons sont parsemés de blocs et de sections de cuirasses de fer dures. Les sections inférieures des rivières de Goro se terminent de façon assez subite à l'océan, avec des cascades, des débits et des rapides de longueur moyenne et des fosses de dimensions variées. La planche 1-2 illustre une rivière type de Goro.

Le débit de ces rivières est très variable, ce qui témoigne des variations saisonnières relatives aux précipitations. En raison de la surface terrestre relativement imperméable, le ruissellement est rapide et le niveau des rivières tend à augmenter et à baisser rapidement. Certaines rivières peuvent même s'assécher au cours de la « saison sèche » (aux alentours de septembre) et inonder leurs rives au cours de la « saison des pluies » (février et mars). L'influx souterrain fournit un écoulement de base pour certaines des rivières.

4.1.3 Rivière Kwé

La Rivière Kwé est le principal cours d'eau situé à proximité des activités prévues par le projet. La présente section traite des renseignements disponibles sur le débit de la Rivière Kwé.

La Rivière Kwé draine approximativement 60 millions m³ d'eau annuellement vers le Canal de la Havannah à un débit annuel moyen de 6 876 m³/h (SNC-Lavalin, 1997). Ce débit témoigne des précipitations annuelles moyennes de 3 000 mm et de l'évaporation de 1 100 mm au-dessus du bassin versant de 40,3 km².

Les estimations des débits combinés de la Rivière Kwé à la hauteur du barrage du réservoir d'eau proposé ont été établies par une corrélation linéaire entre le débit quotidien de la Rivière des Lacs à Goulet et celui de la Rivière Kwé (ORSTOM, 1972, 1973). Le débit mensuel moyen enregistré pendant 38 ans (1958 à 1995) est illustré à la figure 1-9, accompagné des précipitations mensuelles moyennes à Yaté. Il est possible d'affirmer que l'hydrogramme du débit se caractérise par deux éléments : l'augmentation du niveau de l'eau d'octobre à mars et la baisse du niveau de l'eau d'avril à septembre. Les débits de pointe et les débits minimum surviennent respectivement en mars et en septembre.



Planche 1-2. Rivière typique de Goro type. Noter les berges escarpées (Rivière Kwé, section médiane, Station FW3, mai 2000).

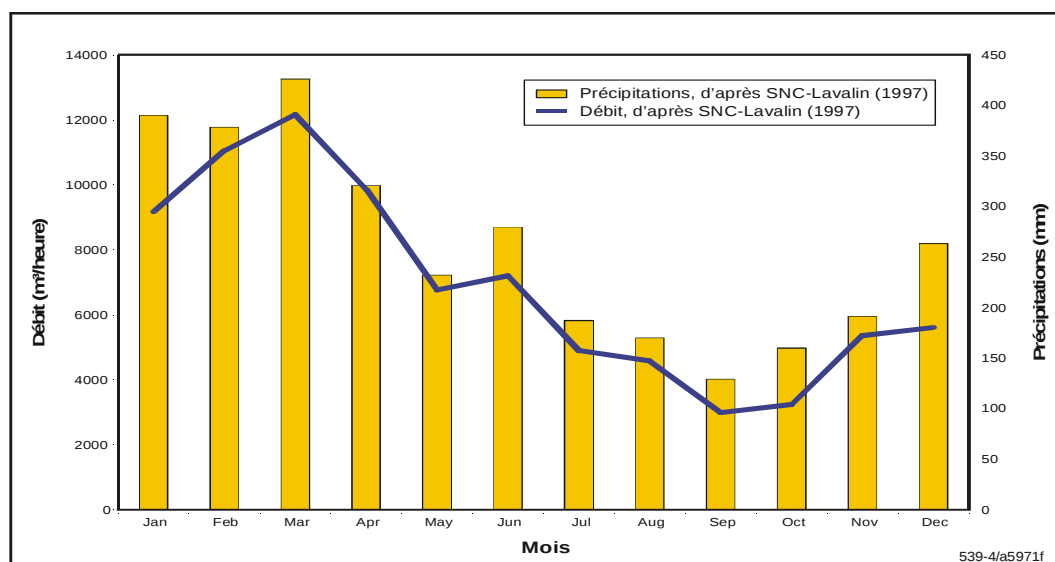


Figure 1-9. Débit mensuel moyen (1958-1995) dans le cours principal de la Rivière Kwé et précipitations mensuelles moyennes (1951-1994) à Yaté.

La figure 1-10 illustre le débit annuel moyen de 1958 à 1995, enregistré par SNC-Lavalin (1997) selon sa description précédente. Au cours de cette période d'enregistrement de 38 ans, le débit maximum a été de 12 780 m³/h en 1988 et le débit minimum de 3 636 m³/h en 1960. Une analyse de la fréquence excédentaire de ces enregistrements indique que les débits exprimés en percentiles (10^{ème} et 90^{ème}) étaient de 4 800 m³/h et de 10 900 m³/h, respectivement.

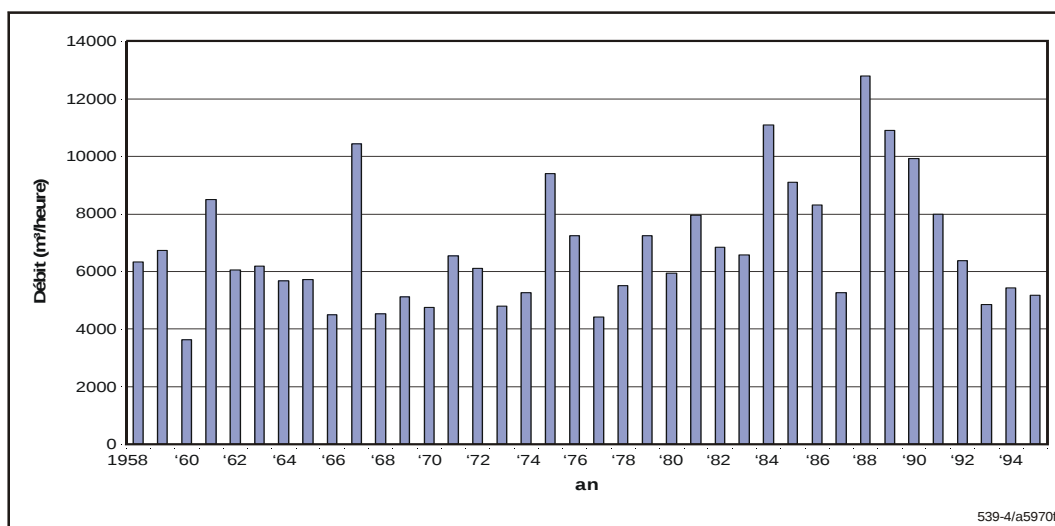


Figure 1-10. Débit annuel moyen (1958-1995) de la Rivière Kwé (d'après SNC Lavalin, 1997).

Les données sur le débit où se rejoignent les affluents de la Rivière Kwé sont tirées de ORSTOM (1972, 1973). Un débit de 766 800 m³/h a été mesuré le 3 juin 1972 au cours du passage de la dépression cyclonique Ida. Selon l'analyse extrême des débits de pointe adoptée par SNC-Lavalin (1997), ce débit correspond à une période de récurrence de cinq ans. Les débits de pointe produits montrent un maximum de 1 728 000 m³/h, ce qui correspond à une période de récurrence de 60 ans. Le débit de crue de 100 ans est de 1 800,000

m³/h.

En utilisant la même procédure, les débits minimum de la Rivière Kwé ont été établis à partir des données propres à la Rivière des Lacs. L'analyse extrême de ces données révèle que les débits minimum correspondant aux périodes de récurrence de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans sont de 1 400, 1 330, 1 260 et 1 220 m³/h respectivement. Le débit mensuel minimum de 1 224 m³/h enregistré en septembre 1974 correspond à une période de récurrence de 100 ans.

4.2 QUALITE DE L'EAU DES RIVIERES

La qualité de l'eau de surface des rivières de Goro est contrôlée par la géologie des sols et de la roche mère, le courant de débordement souterrain, les tracés de drainage, les précipitations et l'évaporation.

L'eau de la Rivière Kwé et du Creek de la Baie Nord affichait un pH presque neutre ; une faible turbidité, une conductivité et des niveaux d'éléments nutritifs ; des concentrations élevées de chrome, de cobalt, de magnésium, de manganèse, de nickel et de sodium. Ces métaux proviennent probablement des matériaux de la couche inférieure des cours d'eau et du ruissellement de surface. Le tableau 1-9 fournit des estimations de la variation naturelle de la qualité de l'eau des rivières selon les données tirées des quatre études de caractérisation. Ces estimations de variabilité serviront à évaluer les effets du projet.

4.2.1 Paramètres physiques et anions dissous

Les valeurs de conductivité moyenne des rivières de Goro étaient faibles, variant de 75 à 92 µS/cm (tableau 1-10) à la lumière des échantillons prélevés en 1994, 1995 et 2000 (SNC-Lavalin, 1995; Rescan, 2000). Les statistiques descriptives des données sur la qualité de l'eau, y compris l'écart-type, sont fournies dans Rescan (2000). Les autres valeurs sur la conductivité moyenne, non incluses au tableau 1-9, pour les Rivières Kwé, Wajana et Trou Bleu entre 1993 et 1996 étaient de 75,8, 82,4 et 89,8 µS/cm, respectivement (SNC-Lavalin, 1997). En comparaison, un échantillon d'eau polluée par des déchets industriels inorganiques aurait pu afficher une conductivité de >10 000 µS/cm (AWWA, 1992). Les faibles valeurs des rivières de Goro reflètent les faibles concentrations d'électrolytes dans le ruissellement du bassin d'alimentation ainsi qu'une mobilisation mineure des sédiments de fond et du substrat dur.

Le pH de presque tous les échantillons des rivières de Goro obtenus lors de quatre campagnes d'échantillonnage (1994, 1995, 2000) était quasi neutre, avec des moyennes globales de pH de 7,35 à 7,54 (tableau 1-9) (SNC-Lavalin, 1995; Rescan, 2000). Les autres échantillons d'eau des Rivières Kwé, Wajana, Trou Bleu et Creek de la Baie Nord affichaient un pH moyen de 6,0 à 7,2 (Pöllabauer, 1999a; SNC-Lavalin, 1995 et 1997).

Les concentrations de chlore relevées dans les rivières de Goro au cours des quatre relevés sur la qualité de l'eau étaient fortes en regard de celles des cours d'eau situés à l'extérieur de la Nouvelle-Calédonie. Les valeurs moyennes variaient de 7,9 mg/l à 12,8 mg/l. Ces valeurs de chlore élevées sont attribuables au brouillard salin éolien de l'océan qui se dépose dans le bassin versant pour se retrouver dans les rivières au cours de tempêtes.

Tableau 1-9. Paramètres de la qualité de l'eau dans trois rivières de Goro, 1994-2000.

Paramètre	Unités	n	Rivière Kwé Portée			n	Rivière Kuébini Portée			n	Creek de la Baie Nord Portée		
			Moyenne	Minimum	Maximum		Moyenne	Minimum	Maximum		Moyenne	Minimum	Maximum
Conductivité	μ S/cm	17	74	55	102	7	71	40	91	3	99	94	116
pH		17	7,45	6,83	7,91	7	7,43	6,39	7,7	3	7,7	7,47	8,02
Chlorure	mg/l	17	9,5	6,1	18,9	7	8,3	6,5	11,6	3	12,2	12,1	12,4
Azote de nitrate	mg/l	17	0,092	0,003	0,9	7	0,12	0,05	1	3	0,5	0,071	1,1
Azote de nitrite	mg/l	17	0,003	0,001	0,005	7	0,002	0,001	0,005	3	0,005	0,002	0,005
Orthophosphate dissous	mg/l	17	0,002	0,001	0,3	7	0,001	0,001	0,3	3	0,05	0,002	0,05
Aluminium	mg/l	17	0,004	0,001	0,017	7	0,003	0,001	0,01	3	0,0041	0,002	0,019
Chrome	mg/l	17	0,0053	0,0039	0,0094	7	0,0033	0,0011	0,0067	3	0,0082	0,0059	0,015
Cobalt	mg/l	17	0,0005	0,0001	0,0007	7	0,0005	0,0001	0,0011	3	0,0005	0,0003	0,001
Fer	mg/l	17	0,03	0,02	0,2	7	0,04	0,02	0,09	3	0,047	0,03	0,09
Magnésium	mg/l	17	5,87	3,51	10,2	7	5,13	1,44	8,7	3	8,8	7,92	13,1
Manganèse	mg/l	17	0,00293	0,00017	0,00676	7	0,00201	0,0011	0,00979	3	0,00739	0,0014	0,0136
Nickel	mg/l	17	0,0171	0,0097	0,0294	7	0,0137	0,01	0,0186	3	0,0147	0,009	0,0161
Potassium	mg/l	17	0,20	0,14	0,23	7	0,16	0,12	0,3	3	0,27	0,2	0,3
Sodium	mg/l	17	5,19	4,82	7	7	4,38	3,48	7,54	3	7,8	6,3	7,8

Tableau 1-10. Résultats des analyses physiques de l'eau des rivières de Goro.

Date		Octobre 1994 (n = 7)	Mars 1995 (n = 7)	Mai 2000 (n = 16)	Juin 2000 (n = 10)
Paramètre	Unités	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Conductivité	µS/cm	92,2	76,1	75,0	81,0
PH	PH	7,35	7,45	7,43	7,54
Chlore	mg/l	7,9	12,8	9,7	9,4
Azote des nitrates	mg/l	0,390	0,830	0,082	0,105
Azote des nitrites	mg/l	<0,010	<0,010	0,002	0,003
Orthophosphate dissous	mg/l	0,200	0,080	0,002	<0,001

Source : Rescan (2000), SNC-Lavalin (1995).

La turbidité des rivières de Goro était très peu élevée. La Rivière Kwé était l'exception à la règle, laquelle subissait une forte érosion des berges et montrait des signes évidents d'une augmentation des matières en suspension non filtrables, bien que ce ne soit pas le cas pour les matières en suspension totales, en période de ruissellement accru tôt en mai 2000 (Rescan, 2000). À la fin de juin, la turbidité moyenne globale des rivières de Goro diminuait avec le ruissellement d'environ 1 uTN à un quart de cette valeur. Ces niveaux reflètent probablement une variation saisonnière normale.

Les matières en suspension totales (MEST) n'étaient pas comprises dans le tableau 1-10 parce que tous les échantillons, sauf deux, – des 40 échantillons au total – des quatre relevés de caractérisation des rivières de Goro affichaient des concentrations de MEST sous la limite de détection de 3 mg/l utilisée au cours de 2000. En 1994/1995, lorsque la limite de détection était de 0,1 mg/l, la concentration de MEST maximale mesurée était de 0,8 mg/l.

4.2.1.1 Carbone organique total

Les valeurs des concentrations de carbone organique total (COT) variaient sous la limite de détection (0,5 mg/l) à plusieurs endroits à 1,8 mg/l. Les valeurs moyennes des mois de mai et juin 2000 étaient similaires (1,1 et 0,91 mg/l respectivement), mais certains endroits affichaient une variation considérable. Les concentrations de COT dans les eaux de surface du Canada variaient de 0,01 mg/l à 1 610 mg/l (CCME, 1987).

4.2.1.2 Nutriments

Les concentrations de nutriments des rivières de Goro étaient généralement très basses (tableau 1-10), une caractéristique des régions dominées par des substrats de latérite qui sont naturellement pauvres en azote et en phosphore. Dans la zone visée par l'étude, seules de petites différences ont été observées entre les concentrations de nutriments des embranchements du réseau de la Kwé et celles des rivières adjacentes. Les différences saisonnières peuvent être attribuables au ruissellement élevé qui mobilise les nutriments du sol, lesquels sont toutefois dilués par le débit élevé, et à la concentration liée à l'évaporation durant les saisons sèches. De plus, un cycle rapide des nutriments de l'écosystème terrestre permet l'incorporation rapide de tout nutriment d'arrivée et de ceux libérés par la décomposition du matériel végétal à la nouvelle végétation (Rescan, 2000).

La concentration moyenne d'azote des nitrates relevée dans les échantillons des rivières de Goro allait de 0,082 mg/l (mai 2000) à 0,830 mg/l (mars 1995). Les niveaux d'azote des nitrites étaient sous la limite de détection (0,01 mg/l) dans les échantillons des rivières prélevés en 1994 et en 1995. Dans les relevés de 2000, les concentrations moyennes d'azote sous forme de nitrite étaient de 0,001 mg/l en mai et de 0,003 mg/l en juin.

Les concentrations de phosphore, mesurées à titre d'ortho-phosphate dissous, variaient de valeurs sous la limite de détection de 0,001 mg/l en juin 2000 à 0,006 mg/l en mai 2000. Les concentrations moyennes étaient plus élevées en 1994 et 1995 qu'en 2000, bien qu'elles fussent toutes très basses. En comparaison, la concentration moyenne mondiale de phosphore en eau douce est de 0,06 mg/l (Bowen, 1979, cité dans CCME, 1987).

4.2.1.3 Concentrations totales de métaux

En plus des neuf métaux d'importance biologique présents en faibles concentrations dans les rivières de Goro (antimoine, arsenic, cadmium, cuivre, plomb, mercure, sélénium, argent et zinc), six autres métaux d'importance (chrome, cobalt, magnésium, manganèse, nickel et sodium) ont été prélevés en concentrations élevées. Le tableau 1-11a indique les concentrations de métaux dans les rivières ; Le tableau 1-11b indique les critères de qualité de rejets prescrits dans le permis d'exploitation de l'usine pilote, les dispositions législatives françaises et les critères de la Banque mondiale ainsi que les analyse du CdE du 24/08/00. Aucun des critères de rejets énoncés au tableau 1-11 b n'est dépassé pour l'usine pilote.

Le chrome, qui est qualifié d'oligo-élément essentiel aux animaux, mais non aux végétaux, est toxique en concentrations élevées. Les concentrations moyennes observées dans quatre relevés des rivières de Goro variaient de 0,0043 mg/l à 0,0074 mg/l. Le CCME (1987) suggérait des concentrations de 0,02 mg/l pour protéger les poissons et de 0,002 mg/l pour préserver toute la communauté aquatique.

Les concentrations de cobalt relevées dans les rivières de Goro au cours des relevés de caractérisation étaient inférieures aux concentrations mondiales moyennes pour les lacs de surface et les rivières (0,0009 mg/l) (Livingstone, 1963, cité dans Wetzel, 1983).

Le magnésium est considéré comme un élément essentiel à tout organisme. Avec le calcium, il est responsable en grande partie de la dureté de l'eau. Les concentrations moyennes de magnésium total relevées dans les rivières de Goro durant les quatre relevés principaux variaient de 5,45 mg/l à 9,2 mg/l. Ces valeurs sont typiques celles des eaux douces d'autres régions géographiques et correspondent aux valeurs observées dans les eaux de surface du Canada (0,1 à 1 000 mg/l) (ENVIRODAT, 1985, cité dans le CCME, 1987). Des critères de protection de la vie aquatique n'ont été établis ni au Canada ni en France.

Le manganèse est un oligo-élément essentiel aux micro-organismes, aux végétaux et aux animaux, et il n'est pas toxique aux concentrations normalement présentes dans la nature. Dans les rivières de Goro, les concentrations moyennes de manganèse observées durant les quatre relevés variaient de 0,00156 mg/l à 0,00568 mg/l. La concentration moyenne de manganèse était de 0,035 mg/l dans les lacs de surface et les rivières du globe (Wetzel, 1983) et de 0,007 mg/l dans les cours d'eaux de la planète (AWWA, 1998). Aucun critère de protection de la vie aquatique n'a été établi au Canada ou en France (CCME, 1987; Wetzel, 1983; SNC-Lavalin, 1997).

Tableau 1-11a). Résultats des analyses de l'eau des rivières de Goro.

		Octobre 1994 (n=7)	Mars 1995 (n=7)	Mai 2000 (n=16)	Juin 2000 (n=10)
Paramètre	Unités	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Aluminium	mg/l	0,00394	0,01157	0,0040	0,0030
Antimoine	mg/l	-	-	<0,00005	<0,00005
Arsenic	mg/l	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,0001
Cadmium	mg/l	<0,001	<0,001	<0,00005	<0,00005
Chrome	mg/l	0,00737	0,00653	0,0046	0,0043
Cobalt	mg/l	0,00057	0,00050	0,0004	0,0005
Cuivre	mg/l	<0,0001	<1,0	<0,0001	0,00007 ⁵ (L.D. = 0,0001)
Fer	mg/l	0,034	0,069	0,040	0,030
Plomb	mg/l	<0,001	<0,001	0,00003 ⁵ (L.D.=0,00005)	0,00003 ⁵ (L.D.=0,00005)
Magnésium	mg/l	9,20	6,21	5,45	5,93
Manganèse	mg/l	0,00156	0,00416	0,00491	0,00568
Mercure	mg/l	<0,0005	0,0005 ³	<0,00005	<0,00005
Nickel	mg/l	0,0131	0,0119	0,0194	0,0198
Potassium	mg/l	0,23	0,24	0,21	0,15
Sélénium	mg/l	-	-	<0,001	<0,001
Argent	mg/l	-	-	0,00003 ⁵ (L.D.=0,00001)	0,00001 ⁵ (L.D.=0,00001)
Sodium	mg/l	6,71	7,61	4,94	5,44
Zinc	mg/l	<0,1	0,02	0,0008 ⁵ (L.D.=0,001)	0,0014 ⁵ (L.D.=0,001)

Tableau 1-11 b) Résultats des analyses sur les rejets de l'usine pilote

	Critère/permis d'exploitation de l'usine pilote	Critères français ²	Critères de la Banque mondiale ³
Paramètre			
Aluminium	5,0/10,0 ⁴	-	-
Antimoine	-	-	-
Arsenic	-	-	0,1
Cadmium	0,2/0,4	-	0,1
Chrome	0,5/1,0 (0,1/0,2)	-	0,1
Cobalt	-	-	-
Cuivre	0,5/1,0	0,04	0,5
Fer	5,0/10,0 ⁴	-	3,5
Plomb	0,5/1,0	-	0,2
Magnésium	-	-	-
Manganèse	1,0/2,0	-	-
Mercure	-	-	0,01
Nickel	2,0/4,0	-	0,5
Potassium	-	-	-
Sélénium	-	-	-
Argent	-	-	-
Sodium	-	-	-
Zinc	2,0/4,0	0,03/1,0	2,0

Paramètres	Concentrations (mg/l)		CdE 24-août-00
	valeur limite	valeur maxi	
Alu + fer	5	10	0,039
Calcium			740,5
Cadmium	0,2	0,4	<0,001
Cobalt			<0,001
Chrome	0,5	1	0,083
Cuivre	0,5	1	0,003
Magnésium			11,2
Manganèse	1	2	0,004
Nickel	2	4	0,009
Plomb	0,5	1	<0,001
Sulfate			1434,9
Silicium			na
Zinc	2	4	0,04
CrVI	0,1	0,2	na
CN	0,1	0,2	<0,005
DCO	250	500	16
DBO5	50	100	1
HT	10	20	<1
MES	100	200	1

Source : Rescan (2000), SNC-Lavalin (1995). L. D. = Limite de détection

1 : Les deux valeurs représentent la valeur limite (concentration moyenne attendue) et la valeur maximum (concentration qui ne devrait être dépassée par aucune mesure instantanée). Le permis d'exploitation précise aussi le débit de décharge (m³/jour) et le débit général (gl/jour) qu'aucun paramètre ne devrait dépasser.

2 : Critère fondé sur les valeurs figurant au Décret N° 91-1283 du 19 décembre 1991 relatif aux objectifs de qualité assignés aux cours d'eau, sections de cours d'eau, canaux, lacs ou étangs et eaux de mer dans les limites territoriales (JO du 21 décembre 1991) - eaux salmonicoles et eaux cyprinicoles.

3 : Critère fondé sur le Pollution Prevention and Abatement Handbook - Base Metal and Iron Ore Mining, de la Banque mondiale (1998).

4 : Le permis de l'usine pilote prévoit que l'aluminium et le fer combinés ne doivent pas dépasser en moyenne 5,0 mg/l (et qu'ils ne doivent jamais dépasser une valeur maximale de 10 mg/l).

5 : Si une valeur est inférieure à la limite de détection, la moitié de la valeur de limite de détection servait au calcul de la valeur générale du paramètre.

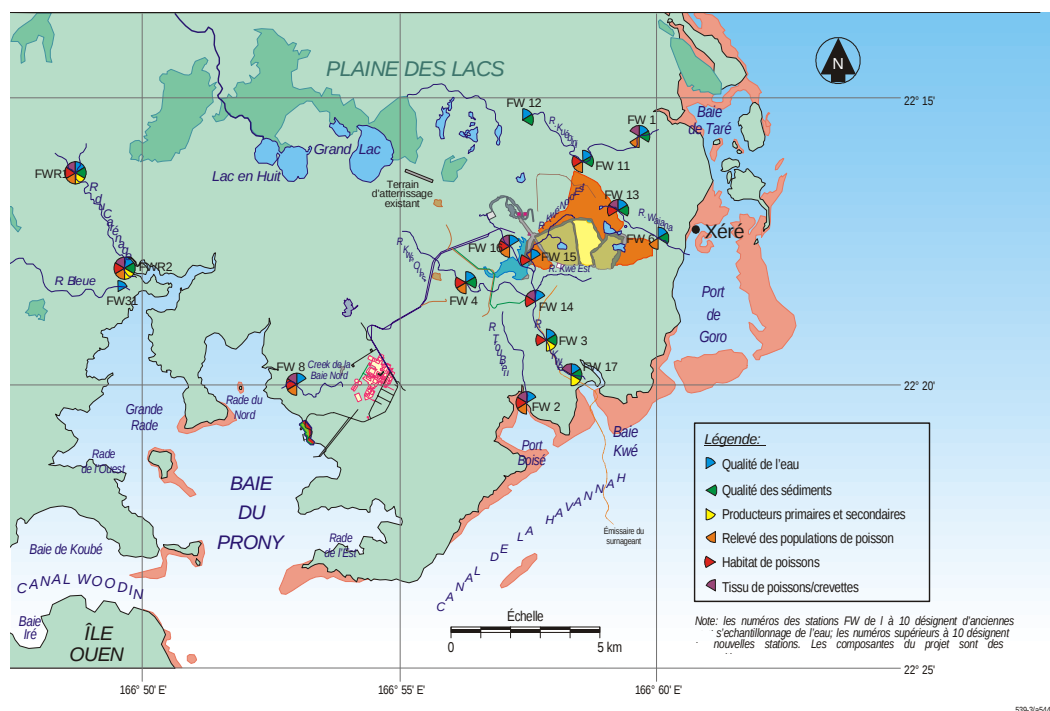


Figure 1-11. Stations d'échantillonnage des rivières près du site du projet (Rescan, 2000).

On croit que le nickel est un élément-trace essentiel pour certains végétaux et certains animaux. Il est très toxique pour certains invertébrés à des concentrations de 0,5 mg/l et plus, et pour les poissons à des concentrations de 2,48 mg/l ou plus (CCME, 1987). Dans les rivières de Goro, la concentration moyenne de nickel notée au cours de quatre relevés variait de 0,0119 à 0,0198 mg/l.

La majeure partie du sodium rencontré dans les eaux des rivières de Goro provient probablement des surfaces terrestres qui ont fait l'objet d'une salinisation attribuable à des phénomènes marins. Le sodium est un élément essentiel à tout organisme et est présent en concentrations moyennes inférieures à celles évaluées pour les rivières de l'Amérique du Nord (9 mg/l) (Altman et Ditmer, 1966, cité dans le CCME, 1987).

4.3 QUALITE DES SEDIMENTS DES RIVIERES

Les premiers renseignements sur la qualité des sédiments des rivières de Goro ont été accompagnés d'un relevé effectué pour étoffer la base de donnée de caractérisation existante. Dix endroits à même les rivières ont été choisis pour prélever des échantillons de sédiments (illustrés à la figure 1-11) de mai à juin 2000.

4.3.1 Descriptions des sédiments

Les sédiments recueillis dans tous les sites désignés des rivières étaient principalement un mélange de cailloutis mal triés avec une couche superficielle de sable ou de limon. La couleur des sédiments allait du brun pale au brun foncé avec des variations grisâtres et rougeâtres. Des fragments organiques étaient occasionnellement présents. Le site de référence (FWR2, dans la partie inférieure de la Rivière du Carénage) était caractérisé par une prépondérance de limon et d'argile stratifiée, ce qui procure des sites de fixation additionnels pour les métaux par rapport aux particules plus grossières observées dans d'autres sites. Les écarts et les valeurs moyennes des divers paramètres sont résumés ci-dessous. Les statistiques descriptives de ces valeurs paramétriques sont présentées dans Rescan (2000).

4.3.1.1 Carbone organique total (COT)

La teneur moyenne en COT des sédiments prélevés dans les rivières variait de 0,26 % à 2,05 %. La concentration la plus élevée a été observée à la Station FWR2, le site de référence de la partie inférieure de la Rivière du Carénage. Les faibles valeurs associées au COT reflètent une rareté de nutriments et de matériel végétal. En revanche, les sédiments présents dans deux des lacs de Goro contenaient environ 50 % de COT, principalement de la biomasse algale benthique et des détritiques organiques déposés.

4.3.1.2 Nutriments

Les concentrations de phosphore présentes dans les sédiments des rivières prélevées en mai étaient généralement inférieures à la limite de détection (<0,2 mg/kg). Des valeurs légèrement supérieures ont été mesurées en juin à trois endroits, mais elles étaient encore basses et typiques des zones tropicales caractérisées par des sols latéritiques pauvres en nutriments.

Les concentrations totales d'azote étaient basses, variant de 0,01 % à 0,13% (poids sec), et présentaient une moyenne globale de 0,03 %. Une variabilité marquée était évidente entre les sites et les dates d'échantillonnage.

4.3.1.3 Concentrations totales de métaux

Certains métaux biologiques importants (oligo-éléments essentiels couramment élevés dans les rejets industriels) relevés dans les sédiments des rivières de Goro – aluminium, chrome, cobalt, fer, magnésium, manganèse, nickel et zinc – sont typiques du matériau d'origine (roche et sol). Les concentrations de plusieurs métaux enregistrées dans les sédiments des rivières et des lacs de Goro – particulièrement le nickel, le chrome et le cuivre – seraient toxiques hors du territoire de la Nouvelle-Calédonie pour les organismes se nourrissant de substrat ou vivant dans celui-ci (benthos) ainsi que dans l'eau sus-jacente. Par contre, le fait que les organismes aquatiques vivent dans ces conditions laisse supposer qu'ils se sont adaptés à des concentrations de métaux élevées et qu'ils n'en sont pas affectés. Le tableau 1-12 montre les concentrations totales de nickel, de chrome et de cuivre dans les sédiments des lacs et des rivières pour les sites où des prélèvements ont été effectués par Rescan en mai 2000.

Tableau 1-12. Concentrations moyennes de nickel, de chrome et de cuivre totales dans les sédiments des rivières et des lacs de Goro.

Paramètre	Sédiments des rivières		Sédiments des lacs	
	Concentration moy. (mg/kg)	Intervalle de confiance de 95%	Concentration moy. (mg/kg)	Intervalle de confiance de 95%
Nickel	4,715	3,631 – 5,799	2,918	307 – 5,528
Chrome	11,149	10,450 – 11,848	11,872	9,037 – 14,707
Cuivre	35	30 – 41	76	51 – 101

Les concentrations moyennes de nickel totales dans les sédiments des rivières et des lacs de Goro (4 715 et 2 918 mg/kg respectivement) excédaient de beaucoup la concentration maximale (1 050 mg/kg) présente dans les sédiments d'une zone minière canadienne (Falk et coll., 1973, cité dans Taylor et coll., 1979). Le site de référence de la partie inférieure de la Rivière Carénage affichait une densité élevée d'invertébrés benthiques malgré le fait qu'il montrait les plus fortes concentrations de nickel dans les sédiments (approximativement 11 000 mg/kg) parmi tous les sites désignés des rivières de Goro.

Les sédiments récoltés dans les rivières de Goro affichaient une concentration moyenne de 11 149 mg/kg de chrome total. Le site de référence de la Rivière Carénage montrait les plus fortes concentrations de chrome, même s'il abritait une densité élevée de certaines espèces d'invertébrés benthiques. Comme pour le nickel, le chrome était présent dans les sédiments en concentrations plus élevées – relation d'ordre décimal – que dans la colonne d'eau.

Dans des eaux naturelles, de pH 5 ou plus, le chrome est surtout présent sous sa forme hexavalente (CCME, 1987), laquelle est très toxique pour les organismes aquatiques. Les eaux des lacs et des rivières de Goro avaient un pH oscillant entre 5,0 et 7,9. La grande diversité et l'endémisme des espèces aquatiques indiquent que les populations locales présentes dans l'eau et les sédiments se sont bien adaptées à l'environnement chimique en place. Les faibles densités de population sont fort probablement attribuables à la faible réserve de nutriments dans les sédiments et dans l'eau ainsi qu'à la faible biomasse correspondante des producteurs primaires.

La concentration moyenne de cuivre total dans les sédiments des rivières de Goro était de 35 mg/kg. En comparaison, les concentrations de cuivre dans les sédiments de plusieurs rivières canadiennes avaient des valeurs qui variaient sous la limite de détection à 121 mg/kg, selon la proximité des égouts et des sources industrielles (Oliver et Agemian, 1974, cité dans Demayo et Taylor, 1981).

4.3.2 Qualité de l'eau des lacs

Six petits lacs situés dans la zone du projet ont été étudiés dans le cadre de l'étude de caractérisation complémentaire réalisée en 2000 (Rescan, 2000). Deux des lacs sont situés au nord de la zone minière, deux dans cette zone et les deux autres à proximité de l'usine pilote. Tous les lacs sauf un (Trou Bleu, dont la profondeur maximum est de 24 m) sont très peu profonds, avec des profondeurs maximums fluctuant entre 1 m et 4 m. Certains d'entre eux abritent une végétation aquatique à racine (macrophytes) et certains semblent être des dépressions terrestres à peine submergées, indiquant qu'ils sont probablement des lacs éphémères qui disparaissent au cours des périodes de sécheresse. Leur remplissage est principalement attribuable aux précipitations directes et au

ruissellement et ils ne se déversent pas directement dans le réseau de rivières. Un lac type est illustré à la planche 1-3.

Deux dolines près de l'usine pilote ont été échantillonnées par Pöllabauer (1999b) et Jaffré et coll. (1999). Leur composition physico-chimique était similaire à celle des rivières de Goro pour ce qui est de leurs faibles valeurs de conductivité et de calcium, mais il y avait aussi des différences appréciables. Les dolines présentaient un faible pH (minimum 5,56) et de plus fortes concentrations de fer, de chrome et de nickel comparativement aux rivières. Les résultats analytiques de l'eau des lacs tirés des relevés de 2000 sont présentés dans Rescan (2000) et résumés ci-dessous.



Planche 1-3. Lacs/mares typiques de la zone de Goro (Station FW18, mai 2000).

4.3.2.1 Paramètres physiques et anions dissous

La conductivité des échantillons d'eau des lacs était très basse, variant de 33 à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs étaient beaucoup plus faibles que les moyennes des échantillons des rivières de Goro prélevés en 1994/95 et en 2000, qui variaient de 75,0 à 92,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les matières en suspension totales étaient constamment inférieures à la limite de détection de 3 mg/l. La valeurs de turbidité variaient de 0,2 à 0,6 uTN, ce qui indique des eaux limpides (Rescan, 2000). La gamme des valeurs de turbidité de l'eau des lacs chevauchait celle mesurée dans les rivières de Goro.

Les faibles niveaux d'alcalinité, et les valeurs pH variant de 5,10 à 6,75 au cours des relevés, indiquaient que les eaux des lacs étaient douces, légèrement acides et peu tamponnées. Cela signifie qu'elles ne pouvaient supporter des changements de pH attribuables aux niveaux acides ou alcalins (Rescan, 2000).

Les niveaux de chlore des lacs étaient relativement élevés – une moyenne de 9,1 mg/l –, ce qui traduit probablement le dépôt atmosphérique de sel de l'océan doublé par du ruissellement terrestre. Les niveaux élevés de sodium sont aussi le signe de dépôts atmosphériques et de ruissellement. Par temps sec, l'évaporation peut faire augmenter ces valeurs.

4.3.2.2 Carbone organique total

Les concentrations de carbone organique total étaient relativement basses, se situant entre 1,2 à 2,4 mg/l et la moyenne observée dans les six lacs étant de 1,5 mg/l. Cette valeur indique une faible biomasse dans la colonne d'eau en plus de confirmer le peu de nutriments dans les lacs.

4.3.2.3 Nutriments

Les concentrations de nutriments notées dans les lacs de Goro se sont révélées faibles. Les concentrations totales de phosphore et d'orthophosphate étaient sous les limites de détection dans quatre des six lacs échantillonnés, tandis que les concentrations d'azote étaient légèrement plus élevées. Un ratio azote/phosphore de 45:1 laisse supposer que le manque de phosphore est un facteur qui limite la production primaire. En général, la croissance des producteurs primaires se poursuivra jusqu'à l'épuisement d'un nutriment qui, dans le cas présent, est le phosphore. La croissance est ensuite limitée par l'épuisement du nutriment et ce, malgré la présence d'autres nutriments idoines. Le cycle des nutriments doit être rapide afin de soutenir un niveau de croissance de base compte tenu du faible apport de nouveaux nutriments que transporte le ruissellement du sol latéritique.

4.3.2.4 Concentrations totales de métaux

Comme pour les rivières, les eaux des lacs de Goro contenaient de très faibles concentrations de métaux d'importance biologique (soit des oligo-éléments essentiels, soit des éléments toxiques), notamment l'antimoine, l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le plomb, le mercure, le sélénium, l'argent et le zinc. Plusieurs autres métaux étaient présents en des concentrations beaucoup plus élevées, reflétant la minéralogie du bassin versant et les influences marines. Ces métaux affichaient des différences évidentes par rapport aux concentrations de métaux relevées dans les rivières, phénomène qui peut être attribuable aux concentrations élevées de certains métaux dans les sédiments des lacs ainsi qu'aux valeurs de pH (acide) légèrement inférieures observées dans les lacs.

Les concentrations totales d'aluminium variaient de 0,004 à 0,048 mg/l, avec une moyenne de 0,013 mg/l. La partie supérieure de cette échelle peut être toxique pour les organismes aquatiques, surtout si le pH est de moins de 6,5 (CCME, 1987). Ces concentrations d'aluminium sont naturelles, ce qui laisse supposer que le biote local s'est adapté à son environnement.

De très faibles concentrations de calcium ont été relevées dans les lacs, la variation allant de 0,12 à 0,18 mg/l, avec une moyenne de 0,15 mg/l. Jumelés à une faible alcalinité et à une basse conductivité, les faibles niveaux de calcium suggèrent que les précipitations pauvres en minéraux et la nappe phréatique à temps de retenue bref sont les principales sources d'eau. Une faible capacité tampon vis-à-vis des variations du niveau de pH rend les lacs vulnérables à tout dépôt acide possible. Selon les normes européennes, les eaux contenant de 6 à 20 mg/l de calcium sont qualifiées de relativement défavorables pour le poisson (Pöllabauer, 1999a).

Les concentrations totales de chrome dans les lacs de Goro variaient de 0,0006 à 0,0057 mg/l, avec une moyenne de 0,0024 mg/l, soit une valeur légèrement supérieure à la moyenne mondiale de 0,001 mg/l pour les eaux douces (AWWA, 1998). Les concentrations de chrome légèrement plus élevées sont révélées par les concentrations fortes de chrome dans les sédiments des lacs. Des pH légèrement acides peuvent faciliter la mobilisation du chrome dans la colonne d'eau. Le chrome est un élément essentiel des processus de la vie, bien qu'il soit toxique à des niveaux élevés. La recommandation canadienne pour la protection des poissons est de 0,02 mg/l, tandis qu'un niveau de 0,002 mg/l est recommandé pour la protection de la population aquatique en général, y compris le plancton (CCME, 1987).

Du cobalt, un autre métal observé en concentrations importantes dans le sol de la Nouvelle-Calédonie, a été observé dans les lacs à des concentrations variant de 0,0002 à 0,0014 mg/l, la moyenne étant de 0,0006 mg/l (Rescan, 2000). Le cobalt est qualifié d'élément trace essentiel pour les algues, les bactéries et les animaux (AWWA, 1998).

Les concentrations de fer, très présent dans les sols latéritiques, des lacs de Goro oscillaient sous la limite de détection de 0,03 mg/l à 0,18 mg/l, avec une moyenne de 0,08 mg/l. Les sédiments de ces lacs recelaient des concentrations très élevées et variables de fer (Rescan, 2000).

Des concentrations de nickel ont été relevées dans les lacs de Goro à des niveaux variant de 0,0055 à 0,0349 mg/l, avec une moyenne de 0,0113 mg/l. La toxicité du nickel pour les organismes aquatiques est plus élevée en eau douce. Une directive pour la protection de la vie aquatique établie à 0,025 mg/l en eau douce a été recommandée par Taylor et coll. (1979) et appuyée par le CCME (1987). Le niveau naturel de nickel total dans les lacs de Goro (et les rivières) peut avoisiner ou excéder cette directive, ce qui laisse supposer que les organismes vivant dans ces environnements se sont adaptés à ces concentrations de nickel ambiantes.

Des concentrations de magnésium étaient présentes dans les lacs de Goro à des niveaux fluctuant de 0,585 à 2,040 mg/l, et la moyenne se situait à 0,898 mg/l. Tout comme le calcium, le magnésium contribue largement à la dureté de l'eau, et la dureté peu prononcée de ces lacs témoigne des basses concentrations de ces deux métaux. Le magnésium est considéré comme un élément essentiel à toute forme de vie (CCME, 1987).

Les concentrations de manganèse s'échelonnaient entre 0,0028 et 0,0122 mg/l dans les eaux des lacs de Goro, la moyenne étant de 0,00585 mg/l. Le manganèse est aussi un élément trace essentiel pour les micro-organismes, les végétaux et les animaux et il est présent dans la quasi-totalité des organismes (CCME, 1987).

4.3.3 Qualité des sédiments des lacs

Trois des six lacs échantillonnés en mai 2000 contenaient des sédiments doux qui pouvaient être prélevés à des fins d'analyses physiques et chimiques. Ces sites, FW19 (Le Trou), FW20 et FW22 (Xéré Wapo), sont illustrés à la figure 1-12. Les méthodes, les descriptions visuelles et les photographies des échantillons sont présentées dans un rapport technique complémentaire (Rescan, 2000).

4.3.3.1 Descriptions des sédiments

Les sédiments de deux lacs de Goro, FW20 et FW22, présentaient une configuration en couches avec une strate supérieure ayant l'apparence d'une biomasse algale et de limon, recouvrant un matériau ferreux effrité. Le Trou (FW19) présentait une combinaison de substrat plus homogène d'argile mal triée, de limon, de sable et de cailloutis. La couleur de la plupart des échantillons de sédiments de surface variait du brun pâle au brun moyen, bien qu'il ait été possible d'observer des couches plus foncées à de plus grandes profondeurs à FW20 et FW22 (Rescan, 2000).

4.3.3.2 Carbone organique total (COT)

Les sédiments observés à FW20 et FW22 avaient une teneur élevée en carbone organique d'environ 50 %, indiquant que les lacs contenaient de l'eau la plupart du temps et qu'ils pouvaient accumuler des déchets organiques et supporter des algues benthiques. À l'endroit baptisé Le Trou (FW19), le COT de sédiment était d'environ 1 %, suggérant une productivité biologique peu élevée dans la colonne d'eau et au fond, ainsi qu'un dessèchement saisonnier occasionnel. En comparaison avec les sédiments observés dans les rivières de Goro, les sédiments des lacs présentaient des concentrations moyennes de COT beaucoup plus élevées (lacs 29,11 %, rivières 0,67 %).

4.3.3.3 Nutriments

Le niveau moyen de phosphore dans les sédiments des trois lacs échantillonnés était de 1,1 mg/kg, ce qui est supérieur à la concentration moyenne mesurée dans les sédiments des rivières (0,5 mg/kg). Le contraste relatif aux concentrations totales d'azote était beaucoup plus prononcé, avec une moyenne de 0,43 % pour les sédiments des lacs et de 0,03 % pour les dépôts des rivières. Les valeurs des lacs relatives à la présence d'azote dans les sédiments correspondaient généralement à l'échelle de valeurs associée aux lacs d'autres climats (Rescan, 2000).

4.3.3.4 Concentrations totales de métaux

Plusieurs métaux (chrome, cobalt, cuivre, fer, magnésium, manganèse et nickel) étaient présents dans les sédiments des lacs et ce, à des concentrations relativement élevées, ce qui est signe de la minéralisation du matériau d'origine. Le fer était de loin le métal le plus abondant dans les sédiments des lacs, au même titre que dans les dépôts des rivières (Rescan, 2000).

Des différences considérables ont été enregistrées dans certaines des concentrations totales de métaux présents dans les sédiments des lacs et des rivières. Les intervalles de confiance de 95 % pour le cobalt, le magnésium, le manganèse et le zinc étaient supérieurs dans les sédiments des rivières, tandis que les intervalles de confiance de 95 % pour le calcium et le cuivre étaient plus élevés dans les sédiments des lacs. Les intervalles de confiance de 95 % relatifs aux concentrations d'aluminium, de chrome, de fer et de nickel dans les sédiments des lacs et des rivières se chevauchaient. La répartition des métaux dans les sédiments peut être attribuée à plusieurs facteurs. Voici certains de ces facteurs:

- Les concentrations dans le sol et le matériau d'origine entourant les lacs et sous-jacent à ceux-ci.
- Le pH légèrement acide des eaux des lacs.
- Le pourcentage de fines particules (limon et argile) qui procurent des sites de fixation pour les métaux absorbés.
- L'érosion des substrats du lit des rivières et des bassins de captage des lacs occasionnée par le ruissellement saisonnier élevé.

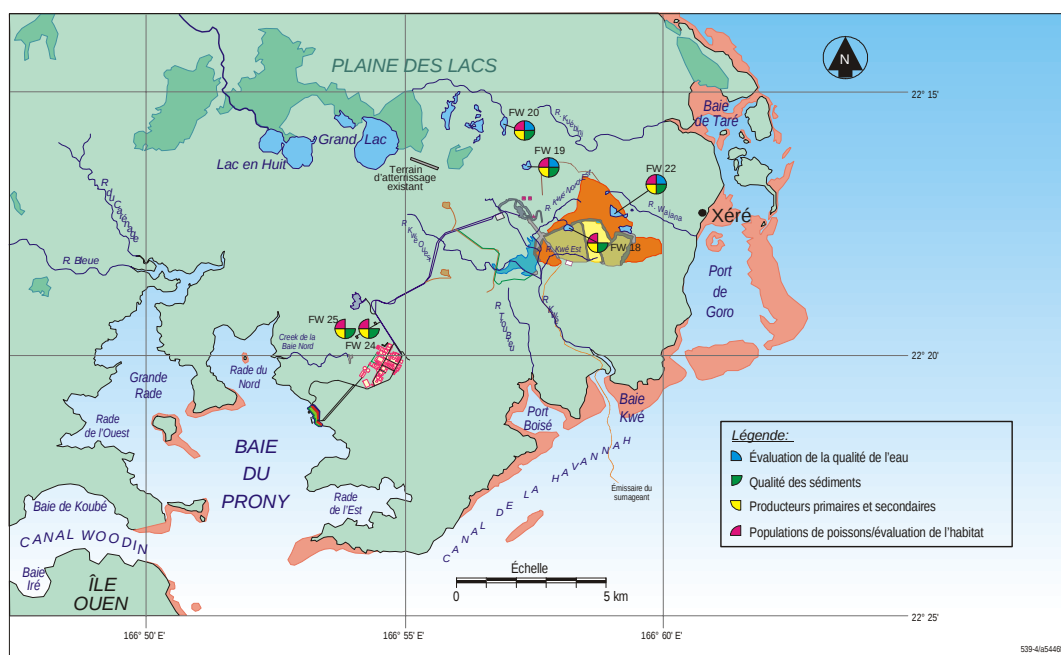


Figure 1-12. Stations d'échantillonnage des lacs près du site du projet (Rescan, 2000).

4.4 RESUME ET CONCLUSIONS

4.4.1 Résumé de la quantité d'eau

Cinq bassins versants principaux caractérisent la région sud-est de la Nouvelle-Calédonie : la Baie du Prony, la Rivière Kwé, la Rivière Trou Bleu, la Rivière Wajana et la Rivière Kuébini. Le bassin versant de la Baie du Prony est situé dans la zone abritée des pluies de la chaîne du Mont Néngoné et reçoit des précipitations moyennes estimées de 1 014 mm/a. Les autres bassins versants, à l'est des montagnes, en reçoivent environ 3 000 mm/a.

Le débit des rivières de Goro connaît son apogée en mars et son minimum en septembre. La Rivière Kwé draine approximativement 60 millions m³ d'eau annuellement, à partir d'un bassin d'environ 40,3 km², à un débit annuel moyen de 6 876 m³/h. Les débits maximum et minimum moyens annuels enregistrés à la Rivière Kwé durant 38 ans sont de 12 780 m³/h et 3 636 m³/h respectivement. Les débits de crues maximum et minimum de 100 ans projetés de la Rivière Kwé sont de 1 800 000 m³/h et de 1 220 m³/h respectivement. Le débit minimum enregistré, en septembre 1974, est de 1 224 m³/h.

En général, la plupart des paramètres associés à la qualité de l'eau des baies situées à proximité du site du projet, et dans le Canal de la Havannah, étaient similaires. Aucune tendance de distribution précise avec la profondeur n'a été observée du fait que la colonne d'eau était généralement bien mélangée. La qualité de l'eau de l'estuaire de la Rivière Kwé et des autres zones près du rivage était tributaire du milieu terrestre local. De façon plus précise, les concentrations de certains métaux – nickel, manganèse et chrome – étaient plus élevées près de l'embouchure des rivières que dans les zones extra côtières. Les concentrations de métaux dissous étaient inférieures aux critères de qualité de l'eau de mer de la US EPA, sauf en ce qui concerne les concentrations de nickel observées dans l'estuaire de la Rivière Kwé.

Dans l'ensemble, la qualité de l'eau aux lieux d'échantillonnage révélait une variation naturelle due aux conditions géologiques, hydrologiques et océanographiques.

4.4.2 Résumé sur la qualité de l'eau des rivières

Les variations des concentrations de métaux dans les données d'échantillonnage recueillies dans la plupart des sites au cours des années étaient faibles autant dans les relevés de 1994/1995 que dans ceux de 2000. La partie supérieure de la Rivière Carénage faisait toutefois exception. Cette rivière, échantillonnée seulement en 2000, montrait d'importantes hausses des niveaux d'aluminium, de cobalt et de manganèse entre mai et juin. Cette zone est relativement peu perturbée, ce qui laisse croire que la variabilité naturelle était responsable de cette importante hausse.

Dans l'ensemble, l'eau des rivières de Goro affichait un pH quasi neutre, une faible turbidité, une faible conductivité et de basses concentrations de nutriments. La turbidité de la Rivière Kwé reflétait l'érosion des berges dans le bassin versant des affluents au cours de la période de fort débit de mai 2000. Les ratios azote-phosphore calculés pour trois des quatre rivières visées indiquaient que le phosphore était le facteur prédominant qui limitait la production primaire au cours des relevés. Des concentrations élevées de métaux particuliers – chrome, cobalt, magnésium, manganèse, nickel et sodium – témoignent de la minéralisation des sols et des formations rocheuses dans lesquelles les rivières coulent. À l'inverse, les concentrations d'azote et de phosphore (naturellement basses dans le sol latéritique) sont entraînées rapidement par le ruissellement des fortes précipitations dans les cours d'eau. Les résidus sont donc, pour la plupart, captés par la végétation tropicale à croissance rapide.

4.4.3 Résumé sur les sédiments des rivières

Les sédiments des rivières étaient pauvres en carbone organique, en phosphore et en azote total. De fortes concentrations de métaux témoignent généralement de la minéralisation de la zone du projet. Certains métaux, notamment le nickel, le chrome et le cuivre, sont naturellement présents dans les sédiments des rivières à des niveaux censés être toxiques pour les organismes aquatiques non adaptés à ce milieu.

4.4.4 Résumé sur la qualité de l'eau des lacs

Les lacs permanents et éphémères de la région de Goro sont caractérisés par des eaux douces très limpides, légèrement acides. La capacité tampon est extrêmement basse, avec des valeurs d'alcalinité totales (CaCO_3) généralement inférieures à 1 mg/l.

Tous les lacs échantillonnés affichaient de faibles concentrations d'azote et de phosphore et peuvent généralement être caractérisés de faibles en nutriments. L'échantillonnage biologique effectué au cours du même relevé révélait que les lacs de la région de Goro supportent diverses communautés d'organismes photosynthétiques et de consommation (producteurs primaires et secondaires) malgré les faibles concentrations ambiantes de nutriments dissous. Ceci explique l'étroite corrélation entre le recyclage des nutriments et les processus biologiques, similaire à celle propre aux écosystèmes en haute mer.

La concentration naturelle de métaux d'importance biologique dans les lacs de la région de Goro sont très faibles. Des concentrations fortes de nickel, de fer et de chrome traduisent la géochimie des sols et du matériau d'origine. Toutefois, bien que certaines valeurs élevées liées à la concentration de métal aient été mesurées, aucun lac en particulier ne s'écarterait généralement des échelles types observées pour divers métaux.

4.4.5 Résumé des sédiments des lacs

Les concentrations de carbone organique dans les sédiments variaient considérablement d'un lac à l'autre. La quantité des nutriments était peu élevée mais plus grande que dans les sédiments des rivières. Les concentrations de métaux reflètent la minéralisation du matériau d'origine. Certaines différences notables existaient entre les concentrations de certains métaux dans les sédiments des lacs et des rivières.

5 OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

Les études d'état initial détaillées du milieu marin sont présentées dans l'Annexe 2 (Etat Initial – Milieu Marin) du présent volume.

5.1 BATHYMETRIE ET COURANTOLOGIE

La caractérisation détaillée de la bathymétrie et de la courantologie du Canal de la Havannah est présentée dans le rapport :

Dr. G. Hubbert, « Observation sur site et modélisation de la dispersion du panache à proximité de la zone de déversement pour le Projet Goro Nickel – Canal de la Havannah, Nouvelle Calédonie », GEMS, Mars 2003

Ce rapport constitue l'Annexe 6.1 du Tome 3, Volume 2, Annexe 6 – Modélisation du rejet dans le Canal de la Havannah.

5.2 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Une étude de caractérisation physico-chimiques des eaux en Baie de Prony et dans le Canal de la Havannah a été complétée en Mars 2004. Ce rapport est présenté à l'Annexe 2.1 du Tome 3, Volume 1, Annexe 2 – Etat Initial – Milieu Marin.

5.3 CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DU MILIEU MARIN POUR LE CANAL DE LA HAVANNAH

En accord avec les exigences de la loi du pays n° 2001-017 du 11 janvier 2002 sur le domaine public maritime de la Nouvelle Calédonie et des provinces, l'emprise de l'émissaire de l'effluent de Goro Nickel sur les fonds du Canal de la Havannah fait l'objet d'une demande d'occupation du domaine public maritime.

Le dossier de la demande d'autorisation pour l'occupation du domaine public maritime présente l'état initial du milieu marin pour la Baie Kwé et l'emprise de l'émissaire. Un extrait de cette demande d'autorisation, concernant la caractérisation du milieu marin, est présenté à l'ANNEXE 2.2 du Tome 3, Volume 1, Annexe 2 – Etat Initial – Milieu Marin.

5.4 CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DU MILIEU MARIN POUR LA BAIE DE PRONY

En accord avec les exigences de la loi du pays n° 2001-017 du 11 janvier 2002 sur le domaine public maritime de la Nouvelle Calédonie et des provinces, l'emprise du port de mer situé sur la Baie de Prony a fait l'objet d'une demande d'occupation du domaine public maritime et d'une enquête publique en 2002.

Le dossier de la demande d'autorisation pour l'occupation du domaine public maritime présente l'état initial du milieu marin pour la Baie de Prony et l'emprise du port de mer. Un extrait de cette demande d'autorisation, concernant la caractérisation du milieu marin, est présenté à l'ANNEXE 2.3 du Tome 3, Volume 1, Annexe 2 – Etat Initial – Milieu Marin.

5.5 CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DU MILIEU MARIN – ETUDES REALISEES AVANT 2001

Des études d'état initial détaillées du milieu marin ont été réalisées avant 2001 sur une période de plusieurs années. La réalisation progressive de ces études et l'interprétation des données ainsi obtenues ont permis à Goro Nickel de finaliser la définition de son projet.