



LIVRET C – ETUDE D’IMPACT SUR L’ENVIRONNEMENT

Commune de Yaté et du Mont-Dore

Nouvelle-Calédonie

Volet B – Etat initial du site et son environnement

Ce document a été élaboré avec l’aide de la société :

Egis structures et environnement

*11 avenue du Centre – CS 30530
Saint-Quentin-en-Yvelines
78286 Guyancourt*

REDACTION	EGIS Environnement Vale Nouvelle-Calédonie SAS	France BAILLY Christelle RENDU
VERIFICATION	Vale Nouvelle-Calédonie SAS	Nicolas TAN DELAGE Tanguy GIBAND
APPROBATION	Vale Nouvelle-Calédonie SAS	Joao VIDOCA Daryush KHOSHNEVISS

SOMMAIRE

1	PRÉAMBULE.....	1
2	ETAT DES LIEUX PHOTOGRAPHIQUE.....	2
3	MILIEU PHYSIQUE	8
3.1	Climatologie.....	8
3.1.1	Contexte climatique général	8
3.1.1.1	Généralités.....	8
3.1.1.2	Précipitations.....	9
3.1.1.3	Températures	11
3.1.1.4	Evapotranspiration.....	12
3.1.1.5	Vents	12
3.1.1.6	Phénomènes climatiques extrêmes : cyclones et dépressions	13
3.1.2	Tendances régionales du changement climatique	17
3.1.3	Climat dans la zone du projet	18
3.1.3.1	Précipitations.....	18
3.1.3.2	Températures	21
3.1.3.3	Evapotranspiration.....	22
3.1.3.4	Vents	23
3.2	Qualité de l'air	24
3.2.1	Contexte général de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie.....	24
3.2.1.1	Principaux polluants.....	24
3.2.1.2	Sources d'émissions polluantes en Nouvelle-Calédonie.....	25
3.2.1.3	Suivi de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie	26
3.2.2	Qualité de l'air sur le site du projet.....	26
3.2.2.1	Valeurs guides.....	26
3.2.2.2	Etat de référence la qualité de l'air en 2005	26
3.2.2.3	Suivi de la qualité de l'air	30
3.2.3	Suivi des poussières fibreuses.....	30
3.2.3.1	Valeurs guides.....	30
3.2.3.2	Potentialités d'exposition dans le secteur du projet.....	30
3.2.3.3	Résultats des mesures de suivi de l'exposition	32
3.3	Qualité des eaux de pluie.....	33
3.3.1	Valeurs guides.....	33
3.3.2	Mesures sur le site	33
3.4	Géologie.....	34
3.4.1	Contexte géologique général	34
3.4.1.1	La Nouvelle-Calédonie dans le Pacifique	34
3.4.1.2	Le massif du Sud	35
3.4.2	Géologie du site de Goro	36
3.4.2.1	Description du profil lithologique du site de Goro	36
3.4.2.2	Description du profil d'altération des roches du site de Goro	38
3.5	Pédologie	39
3.5.1	Les sols ferralitiques ferritiques	39

3.5.2	La rhizosphère	39
3.5.2.1	Les sols ferrallitiques ferritiques cuirassés du plateau de Goro	39
3.5.2.2	Les sols ferrallitiques ferritiques érodés	40
3.6	Sismicité.....	41

4 MILIEU EAUX CONTINENTALES 43

4.1	Rivières.....	43
4.1.1	Hydrographie.....	43
4.1.2	Régime hydrologique	46
4.1.3	Débits extrêmes	52
4.1.4	Qualité physico-chimique des eaux de rivière	58
4.1.4.1	Valeurs guides.....	58
4.1.4.2	Etat de la qualité de l'eau entre 1998 et 2005	59
4.1.4.3	Etat actuel de la qualité des rivières	62
4.1.4.4	Tendances actuelles (suivi réglementaire)	65
4.1.4.5	Transport solide – Analyses des MES	68
4.1.5	Qualité biologique des rivières	68
4.1.5.1	Etat initial	68
4.1.5.2	Caractérisation de la faune d'eau douce	69
4.1.5.3	Suivi des cours d'eau	74
4.1.6	Qualité des sédiments.....	85
4.1.6.1	Valeurs guides.....	85
4.1.6.2	Qualité des sédiments jusqu'en 2005	86
4.1.6.3	Tendance actuelle (suivi réglementaire).....	88
4.2	Lacs et zones humides	89
4.2.1	Contexte	89
4.2.2	Relations nappes-lacs.....	89
4.2.3	Qualité physico-chimique des eaux de doline	91
4.2.4	Qualité biologique des eaux des dolines et plans d'eau.....	91
4.2.4.1	Etat initial	91
4.2.4.2	Inventaire faunistique des zones humides	93
4.2.5	Sédiments des dolines	93
4.3	Eaux souterraines	94
4.3.1	Les unités hydrogéologiques.....	94
4.3.2	Fonctionnement des unités hydrogéologiques	97
4.3.3	Fonctionnement et rôle hydrogéologique des failles	98
4.3.4	Fonctionnement et rôle hydrogéologique des pseudo karsts.....	98
4.3.5	Rôle hydrogéologique des chaînons rocheux.....	99
4.3.6	Grandes directions d'écoulement des eaux souterraines dans le secteur de Goro	99
4.3.6.1	Aquifère principal.....	99
4.3.6.2	Aquitard latéritique.....	101
4.3.7	Connexions interbassins prouvées.....	102
4.3.8	Connexions interbassins suspectées.....	103
4.3.8.1	Connexion Grand Lac – KO ₄ : Axe Grand Lac	104
4.3.8.2	Connexion Plaine des Lacs – KO ₄ : Axe de l'ancien aérodrome.....	105
4.3.9	Connexions interbassins hypothétiques	106
4.3.10	Relations nappes-rivières	106
4.3.11	Qualité des eaux souterraines	108
4.3.11.1	Fond géochimique tous secteurs confondus.....	110
4.3.11.2	Fond géochimique par unité hydrostratigraphique.....	111

4.3.11.3	Comparaison des analyses chimiques et des fonds géochimiques avec des critères de qualité.....	113
4.3.12	Suivi réglementaire des eaux souterraines.....	114
5	MILIEU MARIN	115
5.1	Introduction	115
5.1.1	Cadre géographique.....	115
5.1.2	Cadre géologique.....	117
5.1.3	Cadre hydrologique.....	118
5.1.4	Aires protégées maritimes	118
5.2	Dynamique marine.....	119
5.2.1	Bathymétrie.....	119
5.2.1.1	Bathymétrie du Sud calédonien	121
5.2.1.2	La baie de Kué.....	121
5.2.2	Les marées.....	122
5.2.3	Vagues et houle.....	123
5.2.3.1	Situation normale	123
5.2.3.2	Dépressions et cyclones	124
5.2.4	Les courants.....	125
5.2.4.1	Mission GEMS de 2003.....	125
5.2.4.2	L'étude IRD 2006/2009.....	128
5.3	Typologie des fonds	132
5.3.1	Description des faciès des fonds sous-marins	132
5.3.2	Distribution spatiale de la granulométrie des sédiments.....	135
5.3.3	Ditribution spatiale des sédiments carbonatés	140
5.3.4	Conclusion	140
5.4	Sédimentologie.....	141
5.4.1	Etat initial et état actuel	141
5.4.1.1	Etudes de référence	141
5.4.1.2	Résultats de l'étude sur les taux de sédimentation	142
5.4.1.3	Résultats de l'étude sur les flux de particules	143
5.4.1.4	Granulométrie.....	148
5.4.2	Tendance évolutive : suivi du taux d'accumulation des sédiments et des flux de particules	148
5.5	qualité des sédiments et concentration en métaux.....	155
5.5.1	Valeurs guides.....	155
5.5.2	Station de référence.....	155
5.5.3	Etat initial et état actuel	156
5.5.4	Suivi et tendances évolutives.....	160
5.6	structure et qualité physico-chimique de l'eau de mer.....	164
5.6.1	Etat initial et état actuel (qualité de l'eau de mer).....	164
5.6.1.1	Valeurs guides.....	164
5.6.1.2	Station de référence.....	166
5.6.1.3	Stations échantillonnées	166
5.6.1.4	Présentation comparative des domaines ou hydro-régions	166
5.6.1.5	Paramètres physico-chimiques	167
5.6.1.6	Structure de la colonne d'eau	168
5.6.1.7	Les éléments nutritifs.....	171
5.6.1.8	La concentration en métaux.....	171
5.6.2	Tendance évolutive et suivi de l'eau de mer	177

5.6.2.1	Saison fraîche	177
5.6.2.2	Saison chaude	179
5.6.3	Conclusion des rapports de suivi	181
5.7	Biologie marine et littorale	184
5.7.1	Caractérisation de l'état de référence	184
5.7.2	Suivi réglementaire depuis 2007	187
5.7.3	Le plancton	188
5.7.3.1	Phytoplancton	188
5.7.3.2	Zooplancton	188
5.7.4	Les communautés littorales et marines	189
5.7.4.1	Les récifs coralliens et le substrat	189
5.7.4.2	L'herbier de phanérogames de la baie de Kué	196
5.7.4.3	<i>Les communautés benthiques</i>	197
5.7.4.4	Les poissons	201
5.7.4.5	Les tortues	201
5.7.4.6	Les mammifères marins	202
5.7.5	Tendance évolutive	206
5.7.5.1	Positionnement des stations de suivi	206
5.7.5.2	Paramètres suivis	207
5.7.5.3	Référentiel	208
5.7.5.4	Tendance évolutive	208

6 MILIEU BIOLOGIQUE TERRESTRE..... 213

6.1	Signification globale de la Biodiversité Calédonienne	213
6.2	Les aires protégées terrestres	214
6.3	Espèces menacées d'extinction dans le Grand Sud	214
6.4	VÉGÉTATION ET HABITATS	215
6.4.1	Dynamique de la végétation sur terrains miniers	216
6.4.2	La zone de référence du Grand Sud	216
6.4.2.1	Les forêts	220
6.4.2.2	Les maquis	221
6.4.2.3	Espèces rares et menacées dans la zone de référence du Grand Sud	222
6.4.3	Habitats et flore terrestre dans la zone d'étude	224
6.4.3.1	Recensement des formations forestières	226
6.4.3.2	Richesse floristique et fragmentation forestière	227
6.4.3.3	Les maquis	229
6.4.3.4	Espèces floristiques rares et/ou menacées d'extinction dans la zone d'influence	233
6.4.4	Recommandations concernant les formations fragiles et les espèces rares	235
6.5	Faune terrestre	236
6.5.1	Les mammifères	236
6.5.2	Les reptiles	237
6.5.2.1	Etat initial	237
6.5.2.2	Inventaires complémentaires	241
6.5.3	L'avifaune	244
6.5.3.1	Etat initial avant l'exploitation de la mine	244
6.5.3.2	Etat actuel : suivi de l'avifaune	245
6.5.4	Les Mollusques	246
6.5.5	Les insectes	247
6.5.6	Les araignées	252
6.5.7	Espèces animales protégées, endémiques, rares ou menacées d'extinction	252

6.6	Continuités écologiques	255
7	MILIEU HUMAIN	256
7.1	Fréquentation et utilisation du site	256
7.2	Population et installations périphériques.....	257
7.2.1	Population	257
7.2.2	Habitat–logement	258
7.2.3	Installations périphériques : administration et équipements sportifs	258
7.3	Activités	259
7.3.1	Contexte général en Nouvelle-Calédonie	259
7.3.2	Activités liées à l'exploitation des minerais	259
7.3.3	Autres secteurs d'activités : BTP, commerces et services.....	260
7.3.4	Agriculture et pêche	260
7.3.5	Loisirs et tourisme.....	262
7.4	Biens et services	263
7.4.1	Infrastructure de transport	263
7.4.2	Réseaux électriques.....	264
7.5	Bruit et vibration	265
7.5.1	Bruit.....	265
7.5.1.1	Notions d'acoustique	265
7.5.1.2	Situation acoustique au droit du site	266
7.5.2	Vibrations	267
7.6	Lumière et radiations	268
7.7	Utilisation des ressources	269
7.7.1	Usages de la ressource en eaux superficielles	269
7.7.1.1	Principaux usages.....	269
7.7.1.2	Localisation et description des captages	269
7.7.1.3	Périmètres de protection des eaux (PPE).....	271
7.7.2	Usage de la ressource en eau souterraine	272
7.7.3	Eau potable	272
7.7.4	Ressources marines.....	272
7.8	Patrimoine culturel et archéologique.....	273
7.8.1	Patrimoine culturel matériel à proximité du site de Goro	273
7.8.2	Patrimoine culturel immatériel.....	274
7.9	Paysage.....	275
8	SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT	277
9	BIBLIOGRAPHIE.....	281

FIGURES

Figure 1 :	Soulèvement orographique et effet de Foehn.....	10
Figure 2 :	Moyenne Interannuelle des précipitations sur la période 1990-2009	11
Figure 3 :	Bilan hydrique potentiel de Rivière Blanche (données 2001 à 2011)	12
Figure 4 :	Rose des vents de la station Rivière Blanche pour la période 2002-2011	13
Figure 5 :	Moyenne mensuelle des précipitations et de la température de l'air sur le site du projet VNC (année 2012)	19
Figure 6 :	Variabilité interannuelle de la pluviométrie sur la zone d'étude	20
Figure 7 :	Comparaison des pluviométries cumulées sur la zone d'étude de 1997 à 2012 (mm)	21
Figure 8 :	Moyenne mensuelle des précipitations, de l'évaporation et de la température de l'air sur le site du projet VNC (2011)	22
Figure 9 :	Rose des vents du site Goro Ancienne pépinière (988) pour l'année 2011	23
Figure 10 :	Rose des vents du site Goro Usine (988) pour l'année 2011	24
Figure 11 :	Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air (2005)	27
Figure 12 :	Affleurement d'antigorite fibro-lamellaire et détail.....	31
Figure 13 :	Cartographie de surface des terrains contenant potentiellement des minéraux fibreux	32
Figure 14 :	Localisation des stations de surveillance de la qualité des eaux de pluie	33
Figure 15 :	Contexte géodynamique de la Nouvelle-Calédonie (à gauche) ; morphologie et structure post-Eocène de l'archipel de Nouvelle-Calédonie et des régions environnantes (à droite).....	35
Figure 16 :	Localisation du Projet de Goro au sein du complexe ultramafique – carte géologique simplifiée de Nouvelle-Calédonie.....	36
Figure 17 :	Altération et répartition des éléments chimiques le long du profil.....	38
Figure 18 :	Différents profils de sols ferralitiques	40
Figure 19 :	Différents profils de sols ferralitiques ferritiques	41
Figure 20 :	Bassins versants de la zone d'étude et des alentours proches	46
Figure 21 :	Schéma hydraulique du bassin versant de la Kué, débits moyens annuels et modules	48
Figure 22 :	Débits moyens annuels caractéristiques à la station KAL	50
Figure 23 :	Débits moyens mensuels caractéristiques à la station KAL	51
Figure 24 :	Saisonnalité des crues à la station KAL.....	54
Figure 25 :	Records mondiaux de crues et crues calédoniennes	56
Figure 26 :	Stations de suivi des eaux de surface échantillonnées jusqu'en 2005	59
Figure 27 :	Moyenne des résultats des analyses physico-chimiques 1998-2005	61
Figure 28 :	Projection des signatures chimiques des eaux de surface dans le diagramme de Piper suivant la composition chimique des eaux prélevées (A2EP, 2014a)	63
Figure 29 :	Localisation des stations de suivi des eaux de surface	66
Figure 30 :	Grands secteurs de suivi de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la Kué	66
Figure 31 :	Stations de suivi des indices biotiques	74
Figure 32 :	Localisation des tronçons prospectés dans la Kué.....	77
Figure 33 :	Résultats des analyses granulométriques en 2011 aux stations 3-A et 3-B (Kué Ouest, juillet 2011).....	88
Figure 34 :	Représentation schématique des interactions possibles entre un lac et la nappe	90
Figure 35 :	Unités hydrogéologiques dans le contexte de Goro	96
Figure 36 :	Représentation schématique des interactions possibles entre une rivière et la nappe	107
Figure 37 :	Projection des signatures chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de Piper en fonction de l'hydrostratigraphie (A2EP, 2014a)	111

Figure 38 :	Photographie aérienne du canal de la Havannah et des baies de Kué et Port Boisé.....	116
Figure 39 :	Carte géologique au 1/50.000.....	117
Figure 40 :	Bassin versant de la rivière Kué.....	118
Figure 41 :	Le Grand Lagon Sud et la zone inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO 2008 (vert clair)	119
Figure 42 :	Stations de mesure de l'étude Rescan 2000 sur l'océanographie physique.....	120
Figure 43 :	Carte bathymétrique finale interpolée de la zone d'étude	121
Figure 44 :	Représentation en 3 dimensions de l'embouchure de la rivière Kué	122
Figure 45 :	Propagation de l'onde de marée	123
Figure 46 :	Type de marée semi-diurne mixte : élévation du niveau de la mer selon le moment de la marée, Récif U, Ile Ouen, 1-21 janvier 2007	123
Figure 47 :	Trajectoire des cyclones tropicaux 1950-2000.....	124
Figure 48 :	Localisation des points de mouillage des courantomètres de l'étude GEMS (2003)	125
Figure 49 :	Rose des courants de la station P2	126
Figure 50 :	Comparaison de la direction des courants de surface à 0,5 m (en vert) et par 30 m de fond (en rouge) au point d'enregistrement P1 (proche de la passe d'embouchure de la baie Kué).....	126
Figure 51 :	Exemple d'enregistrement sur le point E1	127
Figure 52 :	Enregistrement des courant de fond et de surface	127
Figure 53 :	Positionnement des différents courantomètres.....	128
Figure 54 :	Courant de fond par marée de mortes-eaux à marée base (+ 3h)	130
Figure 55 :	Courant de fond par marée de morte-eau à marée haute (+ 3h).....	131
Figure 56 :	Courant de fond par marée de vive-eau à marée haute (+ 3h).....	131
Figure 57 :	Formation de deux gyres (tourbillons), l'un anticyclonique au Nord-Ouest d'une ligne médiane (flèche jaune) et l'autre cyclonique au Sud-Est	132
Figure 58 :	Carte interpolée de la nature des fonds du port de Goro (2006)	133
Figure 59 :	Carte interpolée représentant le type de fond ou d'habitat du canal de la Havannah (2006) ...	134
Figure 60 :	Carte interpolée représentant le type de fond ou d'habitat en baie de Port Boisé.....	135
Figure 61 :	Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels dans la Baie de Kué et le Canal de la Havannah (%),.....	136
Figure 62 :	Distribution des fractions granulométriques principales dans les sédiments de la baie de Kué.....	137
Figure 63 :	Distribution des pélites/sédiments de fine granulométrie (%) dans les sédiments superficiels de l'estuaire et de la baie de Kué en septembre 2009.....	138
Figure 64 :	Distribution des arénites/ sédiments de plus forte granulométrie (%) dans les sédiments superficiels de l'estuaire et de la baie de Kué en septembre 2009.....	139
Figure 65 :	Distribution des carbonates dans la baie de Kué (origine marine).....	140
Figure 66 :	Stations de prélèvement des sédiments	141
Figure 67 :	Position des échantillons sédimentologiques (2000)	142
Figure 68 :	Etudes sédimentaire en baie de Kué, 2007	144
Figure 69 :	Localisation des stations de carottage des sédiments et de mouillage des pièges à sédiments pour les baies de Prony et Kué et le canal de la Havannah	144
Figure 70 :	Evolution des flux particuliers (en grammes/m ² /j) pour les saisons sèche (octobre 2006) et humide (mars 2007) au droit des embouchures de la rivière Kué	145
Figure 71 :	Grands domaines marins : zones sous influence terrigène avec apports constants d'eau douce (en vert), zone sous influence océanique (à l'Est en jaune) et zone canal de la Havannah (en orange)	146
Figure 72 :	Schéma synthétique des flux de particules et des facteurs d'influence (quantité de précipitation, vitesse et direction du vent) au droit de l'embouchure du creek de la Rade du Nord et de la Kué (pluie en mm/h, flux en mg/m ² /j).....	147
Figure 73 :	Granulométrie des sédiments prélevés lors de l'étude RESCAN 2000	148

Figure 74 :	Suivi de l'accumulation sédimentaire	149
Figure 75 :	Stations du suivi et de l'état de référence (flux)	150
Figure 76 :	Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2002.....	152
Figure 77 :	Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2005.....	153
Figure 78 :	Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2009.....	154
Figure 79 :	Photographies aériennes de l'estuaire et de la baie de Kué en 2002, 2005, 2007 et 2009.....	155
Figure 80 :	Teneur en nickel dissous dans les eaux de diverses régions de Nouvelle-Calédonie	160
Figure 81 :	Localisation des points de suivi de la qualité des sédiments marins	161
Figure 82 :	Concentration en Co dans les 4 différentes phases géochimiques des sédiments - évolution temporelle, St06	162
Figure 83 :	Concentration en Cr dans les 4 différentes phases géochimiques : évolution temporelle 2006, 2009 et 2012 pour la station St06 (Baie Kué)	162
Figure 84 :	Concentration en Ni dans les 4 différentes phases géochimiques : évolution temporelle 2006, 2009 et 2012 pour la station St06 (Baie Kué)	163
Figure 85 :	Évolution verticale de la concentration en calcium et métaux (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) dans la carotte de la station St06-1, rapport de suivi janvier 2011	164
Figure 86 :	Stations échantillonnées lors des études RESCAN (2000) et IRD (2003,2004, 2005).....	166
Figure 87 :	Structure horizontale des masses d'eau, canal de la Havannah et baie de Prony	167
Figure 88 :	Structure de la colonne d'eau sur la station ST15, le 16-03-10, salinité et température, de la surface jusqu'au fond	168
Figure 89 :	Evolution de la température et de la salinité en surface (moyenne sur les 3 premiers mètres) pour le canal de la Havannah (Station A29)	169
Figure 90 :	Evolution de la turbidité en surface (moyenne sur les 3 premiers mètres) pour le canal de la Havannah (station A29)	169
Figure 91 :	Structure de la colonne d'eau en domaine côtier (baie de Port Boisé et baie de Kué).....	170
Figure 92 :	Structure de la colonne d'eau dans le canal de la Havannah.....	170
Figure 93 :	Concentration en nickel dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le canal de la Havannah et la Baie de Prony, saison fraîche mars 2009	172
Figure 94 :	Concentration en nickel dissous dans la colonne d'eau, échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le canal de la Havannah et la Baie de Prony, saison chaude, mai 2009	172
Figure 95 :	Les 14 stations d'échantillonnage de la colonne d'eau.....	177
Figure 96 :	Concentration en Ni mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kwé) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012)	178
Figure 97 :	Concentration du cobalt mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012).....	178
Figure 98 :	Concentration du chrome VI mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012).....	178
Figure 99 :	Concentration en manganèse mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012).....	179
Figure 100 :	Cumul des précipitations avant (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement saison sèche de 2008 à 2012, station d'observation Prony Pilot Station	179
Figure 101 :	Concentration en Co, Ni, Cr (VI) et Mn en surface, au milieu et au fond aux stations St06 (baie Kué) et St 09 dans le canal de la Havannah en saison chaude, 2007, 2009, 2010 et 2011	180

Figure 102 :	Concentration en Cr (VI) en surface, au milieu et au fond dans le canal de la Havannah (St 09), toutes saisons confonues entre mars 2007 et novembre 2013	181
Figure 103 :	Concentration en Ni en surface, au milieu et au fond dans le canal de la Havannah (St 09), toutes saisons confondues entre mars 2007 et novembre 2013	181
Figure 104 :	Stations d'échantillonnage et d'évaluation pour la caractérisation du milieu marin en baie de Prony et baie de Kué, 2000.....	186
Figure 105 :	Stations d'échantillonnage pour la caractérisation du milieu marin	187
Figure 106 :	Localisation des stations pour la caractérisation du milieu marin	190
Figure 107 :	Composition et abondance relative (% de recouvrement) du benthos marin dans la zone de la baie de Kué, de la baie de Goro et de la Pointe Puka - état initial de la baie de Kué	191
Figure 108 :	Espèces rencontrées lors de la campagne de P. Laboute (juin 2005).....	193
Figure 109 :	Station fixe de suivi - Station ST08 à la pointe Puka en 2008	195
Figure 110 :	Le cycle de la ciguatera	196
Figure 111 :	Unités géomorphologiques et biocénoses marines (carte bionomique) de la baie de Kué	197
Figure 112 :	Composition et abondance relative du benthos marin dans la zone de la baie de Kué et du canal de la Havannah	198
Figure 113 :	Distribution générale des dugongs autour de la Grande Terre, 2-30 juin 2003	203
Figure 114 :	Distribution spatiale des baleines (2000-2005).....	203
Figure 115 :	Distribution spatiale des groupes sociaux observés en août 2012	205
Figure 116 :	Distribution des delphinidés dans la zone du projet de 1991 à 2005.....	206
Figure 117 :	Localisation géographique des stations sous-marines fixes de suivi des écosystèmes récifaux et des peuplements de poissons associés	206
Figure 118 :	Exemple de schéma structural d'une station sous-marine de suivi : la stationST05 dans le canal de la Havannah au niveau du récif Loro.....	207
Figure 119 :	Valeur de la richesse spécifique (nombre d'espèces de coraux durs par couloir inventorié) moyenne des coraux durs (scléactiniaires) depuis 2007 et jusqu'au premier semestre 2015	209
Figure 120 :	Analyse de la variance de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) sur tous les transects depuis 2009.....	209
Figure 121 :	Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2007.....	210
Figure 122 :	Evolution des densités ichtyologiques moyennes depuis 2007	211
Figure 123 :	Evolution des biomasses ichtyologiques moyennes depuis 2007	212
Figure 124 :	Evolution des biodiversités ichtyologiques moyennes depuis 2007.....	212
Figure 125 :	Statut des espèces sur l'aire du projet selon l'UICN	215
Figure 126 :	Localisation des forêts inventoriées, octobre 2006	227
Figure 127 :	Forêt Nord, flanc Sud-Ouest avec en arrière plan le complexe métallurgique.....	228
Figure 128 :	Forêt du pic du Grand Kaori, versant lac en huit.....	228
Figure 129 :	Répartition des points d'écoute en fonction de la valeur de l'indice patrimonial en saison sèche.....	245
Figure 130 :	Répartition de la valeur ajoutée par secteur d'activité en 2009	259
Figure 131 :	Echelle des bruits.....	266
Figure 132 :	Schéma de représentation des périmètres de protection des eaux.....	271
Figure 133 :	Localisation des vestiges miniers.....	274

TABLEAUX

Tableau 1 :	Bilan des moyennes mensuelles de température (en °C) entre 2002 et 2007 sur la Nouvelle-Calédonie.....	11
Tableau 2 :	Sélection des derniers événements cycloniques ayant généré des dégâts en Nouvelle-Calédonie et présents sur le Sud de la Grande Terre	14
Tableau 3 :	Stations météorologiques suivis par VNC.....	18
Tableau 4 :	Bilan pluviométrique mensuel des stations de VNC (mm) sur la période 1997-2012.....	18
Tableau 5 :	Variations annuelles et moyennes des températures enregistrées sur la station de Yaté-Usine de 2003 à 2005 (en °C)	21
Tableau 6 :	ETP annuelle calculée pour le plateau de la Kué Ouest et les stations Météo France de Moué et de Nouméa de 2003 à 2005 (en mm)	22
Tableau 7 :	Résultats des mesures de retombées de poussières en 2005	27
Tableau 8 :	Résultats des analyses de poussières PM10 et métaux en suspension (2005).....	28
Tableau 9 :	Résultats des analyses SO ₂ et NO ₂ en 2005.....	29
Tableau 10 :	Localisation, dénomination et caractéristiques des sites de mesure du système de gestion de la qualité de l'air ambiant	30
Tableau 11 :	Stations de mesure de la qualité de l'air et des eaux de pluies	34
Tableau 12 :	Valeurs d'intensité macro-sismique et accélérations horizontales correspondantes	41
Tableau 13 :	Caractéristiques des principaux bassins versants du projet d'exploitation minière	45
Tableau 14 :	Caractéristiques des bassins versants et des écoulements	47
Tableau 15 :	Bilans hydriques aux stations de jaugeage (1996–2012)	47
Tableau 16 :	Débits moyens annuels et modules aux principales stations de jaugeages	49
Tableau 17 :	Caractéristiques des débits mensuels aux stations de jaugeage (m ³ /s).....	51
Tableau 18 :	Débits de crues aux différentes stations de jaugeage	53
Tableau 19 :	Valeurs caractéristiques de crues aux stations de jaugeage.....	55
Tableau 20 :	Episodes remarquables de crues en Nouvelle-Calédonie	56
Tableau 21 :	Caractéristiques d'étiage médian (T=2 ans) dans la zone d'étude et ses environs.....	57
Tableau 22 :	Caractéristiques d'étiage et module sur l'année type 2007	58
Tableau 23 :	Statistiques descriptives des résultats d'analyses chimiques obtenus pour les eaux de surface (A2EP, 2014a).....	64
Tableau 24 :	Localisation et description des points de suivi quantitatif des eaux de surface	65
Tableau 25 :	Teneur moyenne des principaux ions des sources WK17 et WK20	67
Tableau 26 :	Qualité des habitats des principales rivières du secteur de Goro	70
Tableau 27 :	Synthèse des travaux réalisés sur l'ichtyofaune et les invertébrés (état initial).....	71
Tableau 28 :	Ichtyofaune recensée dans les rivières Kué et Trou bleu	72
Tableau 29 :	Crustacés décapodes recensés dans les rivières du secteur de Goro (état initial)	73
Tableau 30 :	Résultats des campagnes de suivi des indices biotiques	74
Tableau 31 :	Historique du suivi de la faune d'eau douce depuis 2000.....	75
Tableau 32 :	Localisation et description des points de suivi de la faune ichtyologique	75
Tableau 33 :	Résultats du suivi de la faune ichtyologique et carcinologique de juin 2012	76
Tableau 34 :	Résultats du suivi de la faune ichtyologique et carcinologique de la rivière Kué en juin 2012 ...	78
Tableau 35 :	Positionnement des stations d'inventaire ichtyofaune et de la faune carcinologique sur KO4 et KO5.....	80
Tableau 36 :	Effectifs et richesse spécifique de la faune ichtyologique des stations inventoriées de la Kué Ouest et la Kué Principale depuis 2000	81
Tableau 37 :	Localisation et description des points de suivi pour l'IBNC.....	83
Tableau 38 :	Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2010	83
Tableau 39 :	Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2011	84

Tableau 40 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2012	84
Tableau 41 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2011	85
Tableau 42 : Qualité des sédiments.....	86
Tableau 43 : Etat initial de la qualité des sédiments de rivière dans la région de Goro (2000)	87
Tableau 44 : Synthèse des travaux réalisés sur les lacs et les dolines de la région de Goro	91
Tableau 45 : Macro-invertébrés recensés dans la doline de l’usine pilote et dans deux dolines de référence	92
Tableau 46 : Coordonnées des stations d’inventaire faunistique des zones humides.....	93
Tableau 47 : Synthèse des observations sur les interactions entre les rivières et la nappe principale	108
Tableau 48 : Statistiques descriptives des résultats d’analyses chimiques obtenus pour les eaux souterraines (A2EP, 2014a).....	109
Tableau 49 : Fond géochimique par unité hydrostratigraphique (A2EP, 2014a)	112
Tableau 50 : Pourcentage de dépassement du critère en fonction des différents secteurs et de ses formations géologiques associées (A2EP, 2014a)	114
Tableau 51 : Tableau récapitulatif des analyses granulométriques dans la baie de Kué, 2003	137
Tableau 52 : Taux de sédimentation mesurés lors de l’étude Rescan , 2000	143
Tableau 53 : Valeurs minimales et maximales des densités de flux de matière particulaire aux stations KW1 (baie de Kué) et 60SW (canal de la Havannah) - comparaison des valeurs obtenues en 2011 avec celles mesurées en 2007 (Etat de référence, station T4M; unité : mg/m ² /jour).....	150
Tableau 54 : Indicateur du taux de sédimentation, Guide CNRT / ZoNéCo, 2011	151
Tableau 55 : Données sur la qualité des sédiments en baie de Kué (pour la localisation des stations, cf. Figure 66).....	158
Tableau 56 : Données sur la qualité des sédiments dans le canal de la Havannah (pour la localisation des stations, Cf. Figure 66).....	159
Tableau 57 : Teneur moyenne des sédiments fins (< 63 microns) en métaux totaux (µg/g) dans les embouchures de différentes rivières du Sud de la Nouvelle-Calédonie	160
Tableau 58 : Concentration en métaux dissous (cobalt, fer, manganèse et nickel) en µg/L pour différents sites de Nouvelle-Calédonie	165
Tableau 59 : Paramètres analysés pour le suivi de la qualité physico-chimique de la colonne d’eau de mer (surface, mi-profondeur et fond.....	168
Tableau 60 : Concentration moyenne et écart-type en sels nutritifs et composés organiques dissous et particuliers dans les eaux du lagon Sud de Nouvelle-Calédonie - valeurs retenues pour la définition de l’état de référence physicochimique de la colonne d’eau	171
Tableau 61 : Fiche 9 - Métaux dissous (Guide CNRT / ZoNéCo).....	173
Tableau 62 : Qualité des eaux marines et critères de référence	174
Tableau 63 : Qualité des eaux marines et critères de référence dans la baie de Kué.....	175
Tableau 64 : Etat initial et état actuel de la qualité des eaux marines – les métaux dans le canal de la Havannah.....	176
Tableau 65 : Récapitulatif des études relatives au milieu marin en rapport avec le développement du projet global depuis 1994.....	185
Tableau 66 : Caractéristiques phytoplanctoniques de l’eau de mer dans la baie de Kué et ses environs	188
Tableau 67 : Caractéristiques zooplanctoniques de l’eau de mer dans la baie de Kué et ses environs	189
Tableau 68 : Synthèse de l’inventaire de la faune benthique en baie de Kué et canal de la Havannah	199
Tableau 69 : Inventaire de la faune ichtyologique.....	201
Tableau 70 : Classement des tortues marines menacées	201
Tableau 71 : Mammifères marins recensés dans la zone du projet.....	202
Tableau 72 : Typologie des groupements végétaux dans le Grand Sud	217
Tableau 73 : Tableau de correspondance entre les typologies de l’IRD et de Blue Cham.....	219
Tableau 74 : Distribution des groupements végétaux identifiés dans la région de référence du Grand Sud, 2003.....	220

Tableau 75 : Diversité floristique et distribution des forêts dans les zones inventoriées du projet VNC	221
Tableau 76 : Diversité floristique et distribution des espèces de maquis dans la zone de référence du Grand Sud, pour sa partie investiguée	222
Tableau 77 : Nombre d'espèces rares inventoriées dans la zone du Grand Sud selon la liste rouge de l'IUCN, 1994.....	224
Tableau 78 : Formations végétales dans l'empreinte totale du projet minier.....	225
Tableau 79 : Espèces recensées sur la zone d'influence du projet global et disposant d'un statut IUCN et/ou d'un statut au titre du code de l'environnement de la province Sud (modifié en 2015) ...	234
Tableau 80 : Lézards inventoriés dans la zone d'influence du projet et répartition par formation végétale ..	239
Tableau 81 : Distribution des espèces dans le secteur de la Kué Ouest.....	242
Tableau 82 : Bilan des données collectées pour le suivi des oiseaux terrestres, 2008-2009-2013-2014	246
Tableau 83 : Liste de la myrmécofaune du site de VNC (Chazeau et al., 2004)	249
Tableau 84 : Liste des espèces classées par la CITES, le PNUE, l'IUCN et protégées par le code de l'environnement de la province Sud sur la zone du projet VNC.....	253
Tableau 85 : Evolution de la population sur la commune de Yaté	257
Tableau 86 : Evolution de la population sur la commune de Yaté	257
Tableau 87 : Niveaux sonores dans la zone du site Goro en 2001, 2005 et 2013	267
Tableau 88 : Recensement des luminaires en 2012 sur le secteur de la mine	268
Tableau 89 : Localisation et description des captages	270
Tableau 90 : Synthèse des principales caractéristiques de l'environnement identifiées dans la zone d'étude	277

ABREVIATIONS et ACRONYMES

AEL	Société AEL/LEA, essaimée de la recherche CEA et IRD
AGDS	Acoustic Ground Discrimination System
AIHS	Association Internationale de l'Hydrologie Scientifique
ANZECC	Australian and New Zealand Environment and Conservation Council
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOA	Association Océanienne d'Archéologie
As	Arsenic
ASCEN	Association pour la Sauvegarde du Ciel et de l'Environnement Nocturne
ASNNC	Association pour la Sauvegarde de la Nature Néo-Calédonienne
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
BS	Bassin de Sédimentation
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
BV	Bassin Versant
BV	Base-Vie
CBN	Creek de la Baie Nord
CCE	Comité Consultatif de l'Environnement
CDLM	Chute de la Madeleine - Station limnimétrique
CI	Conservation International
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora
CNRT	Centre National de Recherche Technologique
Co	Cobalt
CO ₂	Gaz carbonique
COT	Carbone Organique Total
COV	Composés Organiques Volatiles
CPKE	Zone de la Carrière à Péridotite de la Kué Est
CPS	Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
CR	Coefficient de ruissellement
Cr	Chrome
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
DASS	Direction des Affaires Sanitaires et Sociales
DAVAR	Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales
dB	Décibels
dB(A)	Décibel pondéré A
DCE	Débit Caractéristique d'Etiage
DEFE	Direction (française) de l'Economie de la Formation et de l'Emploi
EE	Espèce endémique
EM	Exercice Minier
EMR	Société EMR (Environnement de la Mine au Récif)
EN	Endangered (En danger)
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ERA	Expertise Reconnaissance Acoustique
ETP	Evapo-Transpiration
Fe	Fer

FN	Forêt Nord
FR	Faible Risque
GIEC	Groupement Intergouvernemental d'Etudes sur le Climat
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
Hz	Hertz
IBNC	Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie
IBS	Indice Bio-Sédimentaire
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IFRECOR	Initiative Française pour les REcifs CORaliens
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
IIB	Indice d'intégrité biotique
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (ex Orstom)
ISBN	International Standard Book Number
ISEE	Institut de la Statistique et des Études Économique
ITSEE	Institut Territorial de la Statistique et des Etudes Economiques
KAL	Station KAL sur la Kué Principale
KE	Station KE
K _{FR}	Coefficient de Francou Rodier
KJ	Kadji
KN	Kué Nord
KNL	Station KNL sur la Kué Nord
KO	Kué Ouest
KOL	Station KOL sur la Kué Ouest
KP	Kué Principale
KUB	Kué Byini
KW	Secteur Baie de Kué
KWRSF	Parc à résidus de la Kué Ouest
LBTP	Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics
LEA	Société AEL/LEA, essaimée de la recherche CEA et IRD
LEM	Laboratoire d'épidémiologie moléculaire
LR	Low risk (faible risque)
LRcd	Low Risk Conservation Dependent (menace réduite au sein de la zone protégée)
MBT	Minerai Basse Teneur
MES	Matière En Suspension
MET	Microscopie électronique en transmission
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
MOCP	Microscopie optique à contraste de phase
MRH	Voie de roulage minier
NE	Non évalué
Ni	Nickel
NO	Monoxyde d'azote
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x	Oxydes d'azote
NT	Near-Threatened (Quasi menacé)

O3	Ozone
OCDE	Organisation de Coopération pour le Développement Economique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OPT CCP	Office des postes et télécommunications Comptes Chèques Postaux
ORSTOM	Actuel IRD
P _{an}	Pluie annuelle
PB	Port-Boisé
Pb	Plomb
PGK	Pic du Grand Kaori
PIB	Produit intérieur brut
PM10	Particules en suspensions < 10 µm
PNECaqua	Concentrations prévisibles sans effet dans l'environnement aquatique
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PPE	Périmètre de Protection Eloigné (d'un captage)
PPI	Périmètre de Protection Immédiat (d'un captage)
PPR	Périmètre de Protection Rapproché (d'un captage)
PPRB	Parc Provincial de la Rivière Bleue
PR	Village de Prony, zone du belvédère
Q _{an}	Module annuel
QIX	Débits de pointe
QJMax	Valeurs de débits maximaux journaliers
QMNA	Débit d'étiage mensuel
q _s	Débit spécifique
Q(T)	Quantiles de pointe
RESCAN	Bureau d'étude environnementale RESCAN
RGNC	Réseau Géodésique de Nouvelle-Calédonie
RIDET	Répertoire d'Identification des Entreprises et des Etablissements
RIFA	Red imported fire ant
RP	Route Provinciale
S	Soufre
SAU	Surface Agricole Utilisée
SCO	Société Calédonienne d'Ornithologie
SEE	Sous-espèce endémique
SGNC	Service Géologique de Nouvelle-Calédonie
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la Marine
SMAA	Station météorologique 267 - SMAA (Pépinière)
SMAB	Station météorologique 268 – SMAB (Usine Pilote)
SMAC	Station météorologique 269 – SMAC (Plateau Kué West)
SMLT	Stock de Minerai Long Terme
SMS	Séisme Maximal de Sécurité
SO2	Dioxyde de Soufre
TB	Trou Bleu
TNS	Institut de sondage TNS-Sofres
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UMR	Unité mixte de recherche
UNEP	United Nations Environment Program
UPM	Unité de préparation du minerai
VNC	Vale Nouvelle-Calédonie SAS

VCI	Valeurs de Constat d'Impact
VDSS	Valeurs de Définition de Source dans les Sols
VS	Verse à Stériles
VSKE	Verse à stériles de la Kué Est
VU	Vulnérable
WK	Sources en aval du parc à résidus de la Kué Ouest
ZCIT	Zone de Convergence Intertropicale
ZCPS	Zone de Convergence du Pacifique Sud

1 PRÉAMBULE

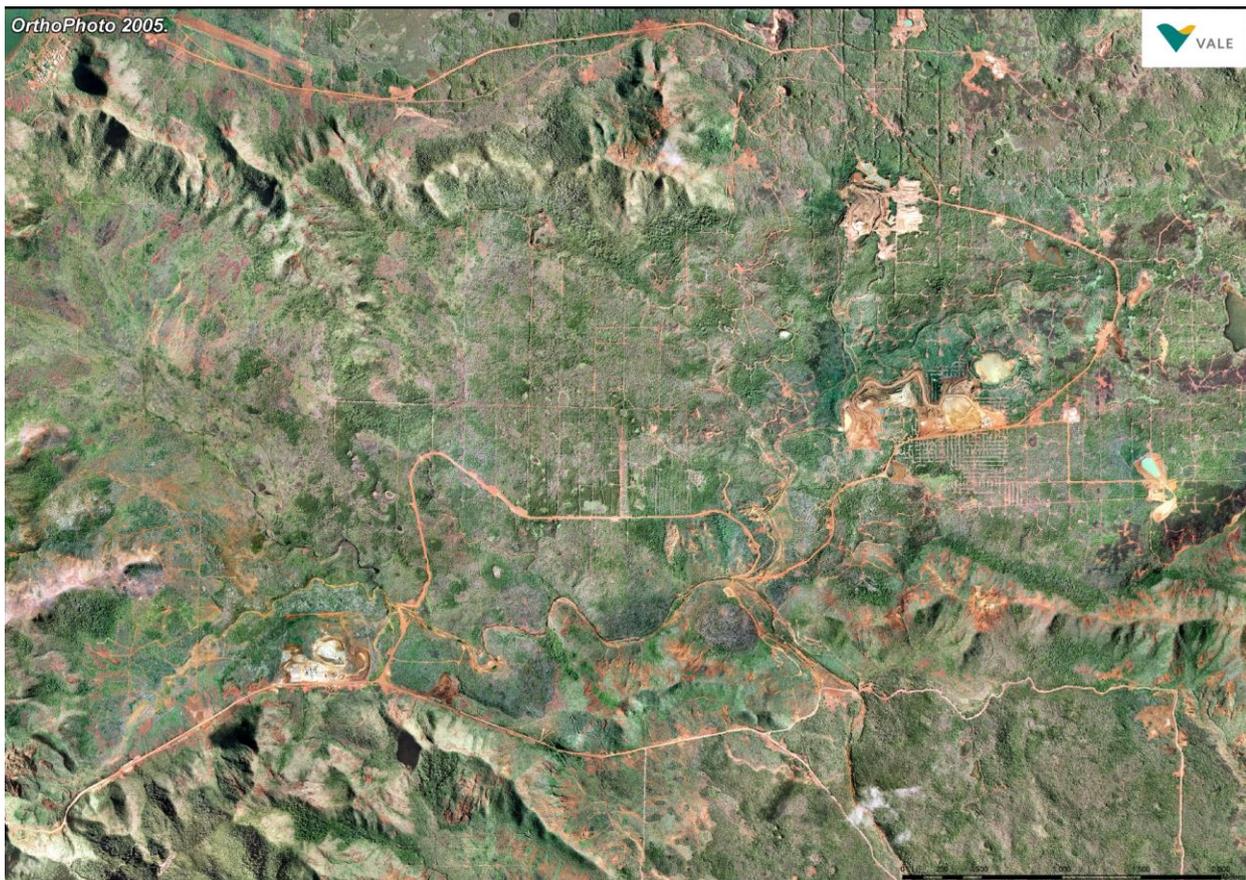
Le présent dossier constitue le **VOLET B** du livret C de la demande d'autorisation d'exploitation minière du gisement de Goro par la Société VNC.

Livret C - Etude d'impact	
Volet A	Introduction - présentation du projet
Volet B	Analyse de l'état initial du projet et de son environnement
Volet C	Analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement
Volet D	Justification du projet - raisons pour lesquelles le projet présenté a été retenu parmi les solutions alternatives envisagées
Volet E	Mesures mises en œuvre pour prévenir, supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement
Volet F	Analyse des méthodes utilisées pour suivre et évaluer les effets du projet sur l'environnement
Volet G	Résumé non technique
Volet H	Plan de remise en état à l'issue des travaux d'exploitation
Atlas cartographique	Cartes des volets A à H

Les cartes et les annexes sont jointes au présent livret dans des dossiers séparés.

2 ETAT DES LIEUX PHOTOGRAPHIQUE

Les photos aériennes, présentées ci-dessous, illustrent l'état de l'exploitation minière et de ses infrastructures avant la période 2015-2020.



Vue aérienne sur le plateau de Goro (Photo 1- Année 2005)

La photo 1 montre une vue générale du plateau de Goro en 2005. On observe l'emprise de l'exercice minier, de la zone coffrémi et de la piscine BTH. De nombreuses pistes de prospection ont été réalisées sur la zone.



Vue aérienne sur la fosse minière du plateau de Goro (Photo 2- Année 2014)

En haut à gauche (Photo 2) on distingue le stock de minerai à basse teneur SMBT KN23. En aval de ce stock, on observe les principaux bassins de décantation (BSC et BSO) de la fosse minière de Goro (teinte verte). Au centre de la photo 1, on observe la fosse minière et la verse de l'exercice minier (VSEM).



Vue aérienne de la verse SMLT, du stock SM1, du ROMPad et de l'UPM (Photo 3- Année 2014)

En haut à gauche de la photo 3, on observe la verse SMLT en construction. En bas de la photo 2, on distingue le rompad et le stock SM1. Dans le coin en bas à droite, on observe l'unité de préparation du minerai.



Vue aérienne de la verse temporaire V5 (Photo 4- Année 2014)



Vue aérienne de l'UPM-CIM (Photo 5- Année 2011)



Vue aérienne du camp de la Plaine des Lacs (Photo 6 - Année 2011)

Au premier plan (Photo 5) on aperçoit l'espace de stockage « ROMPad » situé à proximité immédiate de l'UPM (au centre de la photo). Plus loin, l'ensemble des bâtiments visibles regroupe les ateliers de maintenance, les locaux opérationnels en cours d'installation, ainsi que les bureaux du centre industriel minier. A gauche des installations existantes se trouve la zone d'implantation du projet d'extension du ROMPad (partie basse de la photo, proche du bassin de sédimentation).

Près du Grand Lac sont implantés la pépinière de VNC (Photo 6), l'ancien camp d'hébergement de la géologie et la salle d'échantillonnage.



Vue aérienne du BSKN et de la CPKE (Photo 7 - Année 2011)

Au premier plan, on aperçoit encore la zone UPM-CIM (Photo 7), cette fois avec une vue vers le Sud-Est. Au centre, le plan d'eau du BSKN est limité par son barrage et son évacuateur de crue, entièrement enrochés. Le second plan d'eau correspond à la carrière CPKE, maintenant en eau.

Au premier plan, on aperçoit encore la zone UPM-CIM (Photo 6), cette fois avec une vue vers le Sud-Est. Au centre, le plan d'eau du BSKN est limité par son barrage et son évacuateur de crue, entièrement enrochés. Le second plan d'eau correspond à la carrière CPKE, maintenant en eau.



Vue aérienne du parc à résidus de la Kué Ouest (Photo 8 – Année 2014)



Vue aérienne de la zone KO4 (Photo 9 – Année 2011)

D'avant en arrière on peut voir (Photo 8) : la route dite « road pipes », le bassin de stockage des résidus, le col de l'Antenne, l'usine, le port et au fond, la baie de Prony.

Le bassin KO4 en 2011 était dépourvu d'infrastructures minières, seuls des pistes de prospection et des layons sont observables sur la photo 9.

Un levé topographique du site minier datant du mois de décembre 2014 est fourni en Annexe C01.

3 MILIEU PHYSIQUE

3.1 CLIMATOLOGIE

3.1.1 Contexte climatique général

3.1.1.1 Généralités

La Nouvelle-Calédonie est située dans la zone intertropicale, juste au Nord du Tropique du Capricorne. La Grande Terre s'étire du Nord-Ouest au Sud-Est entre les latitudes 20° et 22°30' Sud, et les longitudes 164° à 168°. Elle subit les influences tropicales et tempérées, avec des effets plus ou moins forts selon les saisons. Les effets sont toutefois limités par son isolement et la présence quasi permanente des alizés¹ (Météo France, 2012 a et b). Le climat est relativement tempéré, et peut être qualifié de « tropical océanique » (DAVAR, 2003).

Deux saisons principales, séparées par deux intersaisons, sont déterminées par la variation annuelle de la position de la ceinture anticyclonique intertropicale et des basses pressions intertropicales. Les deux saisons principales sont définies ainsi :

- de **novembre à avril**, c'est la **saison chaude et humide**, dite « saison des cyclones ». L'influence tropicale est prédominante et le temps est rythmé par la position de la ZCPS² (Zone de convergence du Pacifique Sud) et de la ZCIT³ (Zone de Convergence Intertropicale), ainsi que par les trajectoires des dépressions tropicales. Les précipitations sont abondantes et les températures moyennes sont élevées bien que les extrêmes soient limités par l'influence maritime et les alizés. La Nouvelle-Calédonie se trouve néanmoins dans une région très touchée par les dépressions tropicales ;

¹ Alizé : Ce terme désigne un vent des régions intertropicales (entre 30° Nord et 30° Sud environ), de direction générale Nord-Est pour l'hémisphère Nord et Sud-Est pour l'hémisphère Sud, qui se manifeste de façon persistante à des altitudes allant ordinairement du niveau de la mer à 1 500 ou 2 000 mètres, sans dépasser 3 000 mètres. Le terme « alizé » est généralement employé au pluriel afin de désigner l'ensemble des vents de ce type. Dans les régions tropicales et équatoriales, la circulation générale des vents à basse altitude est principalement gouvernée par des vents d'est, à l'inverse des régions tempérées où elle se traduit globalement par des vents d'ouest. Rappelons qu'à un phénomène climatique tel qu'El Niño correspond une quasi-disparition des alizés dans la partie occidentale du Pacifique équatorial, tandis que La Niña s'accompagne au contraire de leur renforcement dans cette même zone du Pacifique.

² ZCPS : (Zone de Convergence du Pacifique Sud) La ZCPS est la deuxième zone persistante de convection profonde de l'océan Pacifique. Elle s'étire approximativement le long d'un axe NO/SE de la Nouvelle-Guinée jusqu'aux régions subtropicales de la Polynésie Française. Cette structure météorologique est responsable des fortes précipitations observées pendant l'été austral en Nouvelle-Calédonie et à Wallis et Futuna.

³ ZCIT : (Zone de Convergence InterTropicale) La Zone de Convergence Intertropicale est une structure météorologique qui encercle la Terre entre les Tropiques. Elle est le lieu d'intenses activités convectives associées à des cumulonimbus qui atteignent 15 à 17 km d'altitude. Sur le Pacifique Ouest, elle est la plus active avec des cumuls annuels variant entre 2500 et 3500 mm et reste toute l'année dans l'hémisphère Nord (5°N en janvier et 25°N en juillet).

- de **mai à septembre**, c'est la **saison fraîche**. La ZCIT se trouve dans l'hémisphère Nord et la ZCPS se décale vers le Nord-Est. Les perturbations des régions tempérées remontent vers le Nord et les fronts froids associés peuvent affecter la Nouvelle-Calédonie où ils se manifestent par des précipitations et parfois des « coups d'Ouest ». Ces épisodes perturbés interrompent un temps généralement sec et frais avec des températures minimales relativement basses.

Les intersaisons s'intercalent entre ces deux saisons principales, mais la transition n'est cependant pas toujours évidente à distinguer :

- la **saison sèche, de septembre à novembre**, est à cheval entre la saison fraîche et la saison chaude. Cette partie de l'année se caractérise par des précipitations très faibles associées à des températures fraîches la nuit, mais de plus en plus élevées la journée sous l'action du rayonnement solaire qui atteint son maximum en décembre. L'évapotranspiration très importante n'est pas compensée par les maigres précipitations et les feux de brousse se propagent facilement sur une végétation déshydratée sous l'action des alizés renforcés par les brises thermiques. Le retour des précipitations est donc très attendu mais il peut être notablement retardé pendant les épisodes El Niño ;
- **d'avril à mai**, c'est une **saison de transition** entre la fin de la saison chaude et le début de la saison fraîche. Les perturbations tropicales sont rares ou peu actives. Cependant, la température de l'eau de mer encore chaude peut favoriser la formation d'épisodes pluvio-orageux importants, voire de dépressions subtropicales.

Le climat de la Nouvelle-Calédonie est également soumis au phénomène **ENSO** (El Niño Southern Oscillation). Ce phénomène perturbateur d'interaction habituelle entre la dynamique océanique et atmosphérique est encore mal connu. Il apparaît de façon cyclique, en moyenne tous les trois ou quatre ans, selon deux phases successives : El Niño (qui dure environ 18 mois), suivi de son inverse La Niña. ENSO se manifeste par des variations de température des eaux de surface dans le Pacifique Est et central : augmentation des températures en phase chaude (El Niño) et diminution en phase froide (La Niña). Ces variations thermiques sont couplées à une oscillation des pressions atmosphériques entre la Polynésie française et le Nord de l'Australie. Ce changement de pressions atmosphériques provoque une modification simultanée du régime des vents et des courants le long de l'équateur ainsi que le déplacement d'un immense réservoir d'eaux chaudes situé à l'Ouest du Pacifique équatorial. Au final, ENSO perturbe les précipitations et la circulation atmosphérique aux latitudes tropicales.

En Nouvelle-Calédonie, El Niño se manifeste par une diminution des précipitations et une intensification des alizés. Le dernier phénomène El Niño, qui a débuté en 2009, s'est poursuivi jusqu'en mai 2010, et a engendré un déficit pluviométrique marqué. La Niña, qui lui a succédé au second semestre 2010, s'est surtout manifestée par un temps anormalement chaud (METEO FRANCE, 2010).

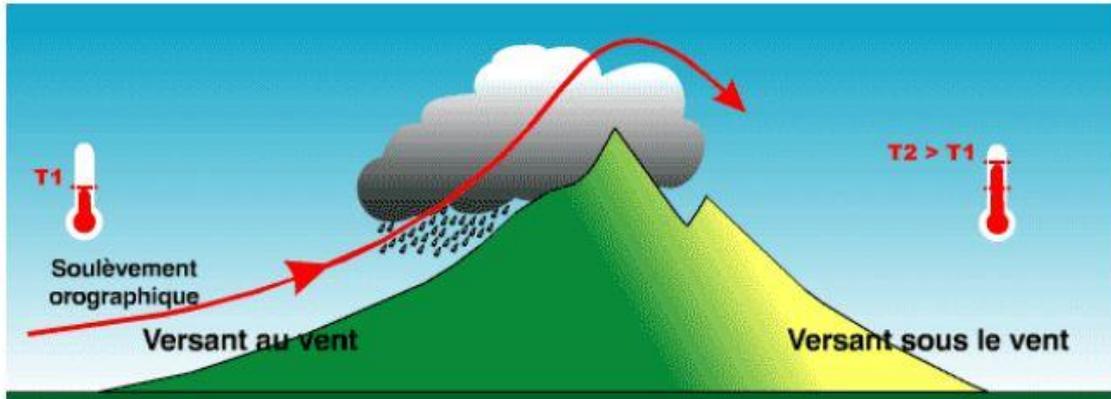
3.1.1.2 Précipitations

La pluviogenèse de la Grande Terre est essentiellement liée à l'activité de la ZCPS, avec une convection accentuée par l'effet orographique quand les flux d'alizés viennent buter sur les reliefs.

Effets du relief

Lorsqu'un flux d'air rencontre un relief suffisamment large, une partie au moins de la masse d'air qui ne peut contourner l'obstacle est contrainte de le franchir en se soulevant. Si la température baisse suffisamment pour atteindre le point de condensation (à une pression déterminée, liée à l'altitude),

des nuages se forment et peuvent générer des précipitations. C'est l'effet de Foehn, conséquence remarquable du passage d'une masse d'air sur un relief, marqué par une élévation de la base des nuages, une hausse de la température et une diminution de l'humidité relative sous le vent du relief. En bref, la masse d'air s'assèche en passant au-dessus du relief.



Source : DAVAR 2011

Figure 1 : Soulèvement orographique et effet de Foehn

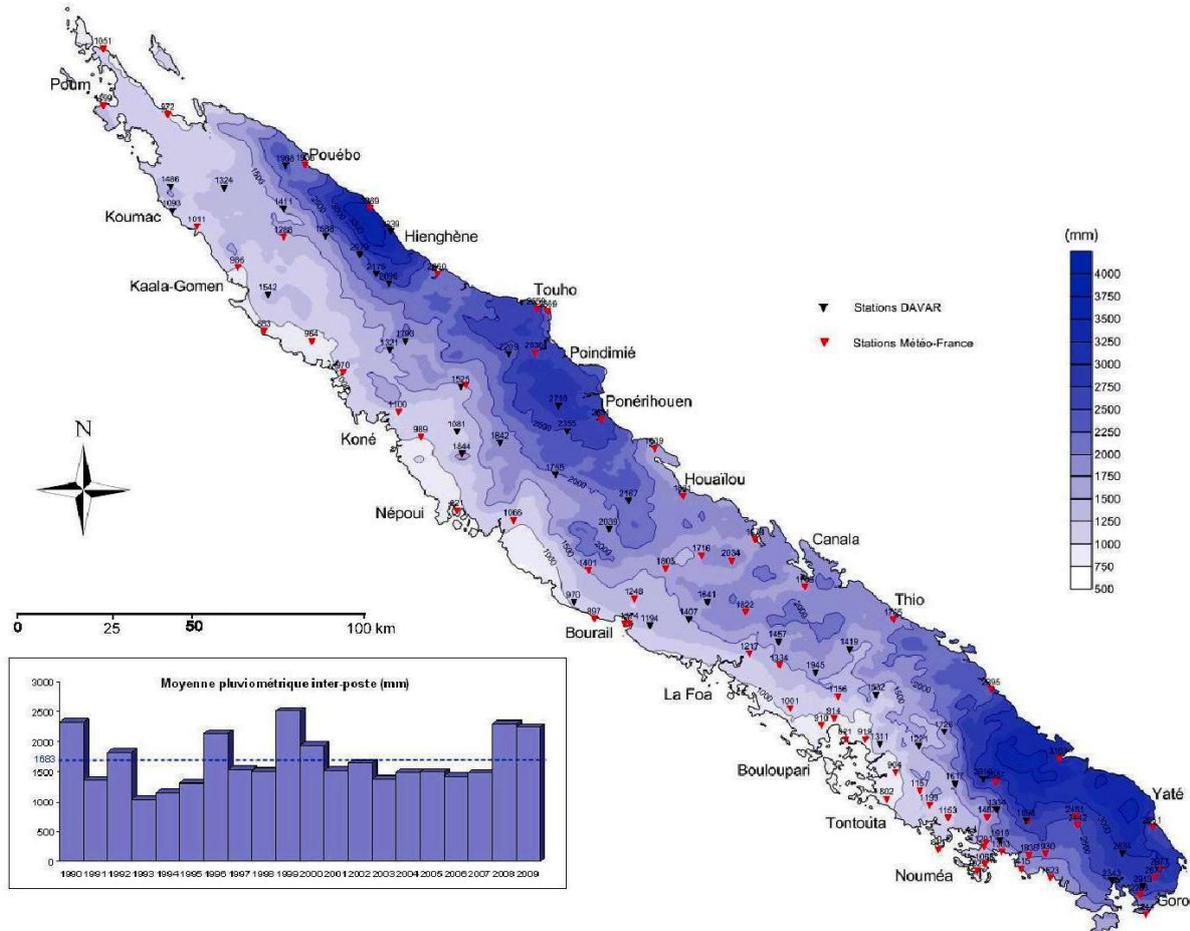
Sur la Grande Terre, parcourue sur presque toute sa longueur par une chaîne centrale, les précipitations varient beaucoup en fonction du relief et de l'exposition au flux des alizés d'Est et de Sud-Est. Ces vents conditionnent la répartition des précipitations, nettement plus importantes sur la côte Est, les montagnes et le Sud, que sur la côte Ouest.

Pluviométrie

La moyenne annuelle des précipitations en Nouvelle-Calédonie varie entre 800 mm et 1 200 mm pour la côte Ouest de la Grande Terre et entre 1 750 mm et 4 000 mm pour la côte Est et le Sud. Ces données illustrent le contraste important entre les versants orientés Est et Ouest de l'île.

L'humidité relative mensuelle moyenne oscille constamment entre 72 % et 79 %.

La variabilité spatiale des précipitations annuelles sur la Grande Terre est illustrée sur la Figure 2.



Source : DAVAR, 2011

Figure 2 : Moyenne Interannuelle des précipitations sur la période 1990-2009

3.1.1.3 Températures

Bien que la Nouvelle-Calédonie soit un archipel tropical, les températures maximales ne sont pas très élevées du fait de l'effet rafraîchissant des vents. Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont enregistrées en février durant la saison chaude, où elles sont voisines de 25°C. Durant la saison fraîche, les températures moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées en juillet-août, période pendant laquelle elles sont voisines de 18°C.

Le Tableau 1 renseigne sur les températures moyennes mensuelles de la Nouvelle-Calédonie calculées sur la période 2002-2007.

Tableau 1 : Bilan des moyennes mensuelles de température (en °C) entre 2002 et 2007 sur la Nouvelle-Calédonie

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
2002-2007	23,2	24,7	23,8	22,6	19,9	19,1	18	17,9	19,1	20,2	21,8	21,9	21,0

3.1.1.4 Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle⁴ (ETP) désigne le maximum possible que peut atteindre l'évapotranspiration pour une surface donnée et pour une situation météorologique définie. L'évaporation potentielle de la région Sud est calculée par Météo France au niveau de la Rivière Blanche (station située à environ 30 km au Nord-Ouest du projet) et de Moué (station de l'île des Pins située à environ 60 km au Sud-Est du projet).

Les valeurs d'ETP sont à comparer aux précipitations afin de déterminer le bilan hydrique potentiel (total des précipitations–ETP). Celui-ci est généralement négatif sur la côte Ouest de la Grande Terre et positif sur la côte Est. A titre d'exemple, la Figure 3 présente le bilan hydrique potentiel de la station de la Rivière Blanche.

De manière générale, la moyenne des ETP mensuelles diminue jusqu'en juin (86.5 mm) puis augmente jusqu'en décembre (93.5 mm). Le bilan hydrique potentiel à Rivière Blanche est positif de janvier à septembre. Il est ensuite négatif en octobre-novembre (saison sèche) puis de nouveau positif à partir de décembre.

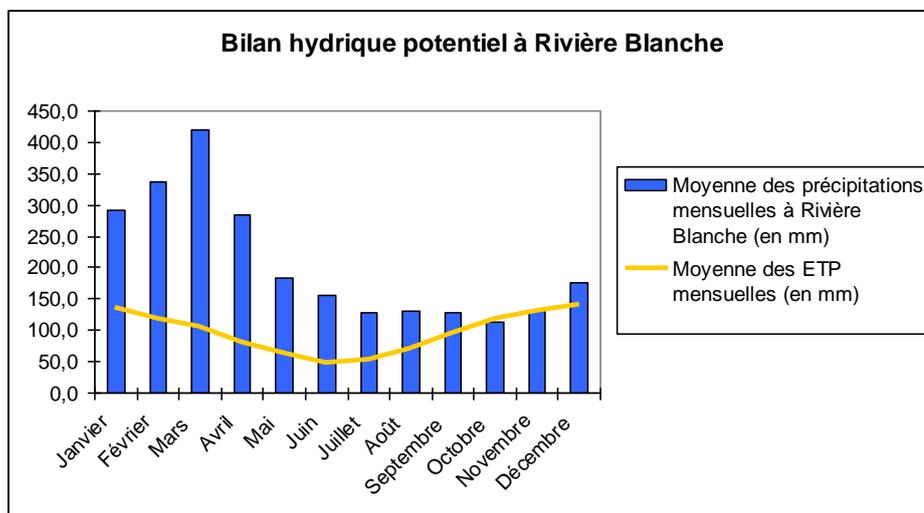


Figure 3 : Bilan hydrique potentiel de Rivière Blanche (données 2001 à 2011)

3.1.1.5 Vents

La Nouvelle-Calédonie est située dans une zone de vents Alizés avec une vitesse des vents typique de 10 à 20 nœuds soufflant d'Est-Sud-Est. Les vents de l'Est sont clairement dominants. De forts vents soufflant de l'Ouest sont enregistrés en hiver, lorsque des fronts froids atteignent la Nouvelle-Calédonie et ce, spécialement dans la partie Sud de l'archipel. Ils peuvent être violents : "coups d'Ouest".

Au niveau régional les données sur la direction et la vitesse du vent sont enregistrées à la station météorologique de Rivière Blanche (station située à environ 30 km au Nord-Ouest du projet).

⁴ L'évapotranspiration se compose pour une part de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, et d'autre part de la transpiration des végétaux. En effet, l'eau du sol, captée par les racines des végétaux, est acheminée vers les feuilles où une partie de cette eau s'évapore à travers les stomates (micropores des feuilles). Cette évapotranspiration dépend de deux éléments : la chaleur fournie par le rayonnement solaire et la quantité d'eau disponible dans le sol.

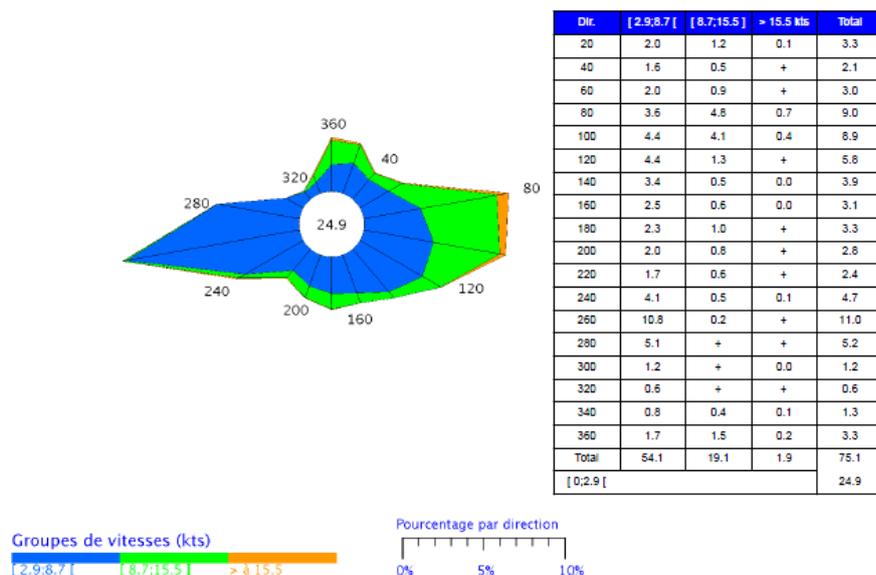


Figure 4 : Rose des vents de la station Rivière Blanche pour la période 2002-2011

La direction et l'intensité des vents enregistrés à la station de la Rivière Blanche illustrent cette répartition des vents selon deux directions principales :

- 1 direction sur les secteurs 60°-140° (Est) ;
- 1 direction sur les secteurs 240°-280° (Ouest).

Les vents faibles, d'intensité comprise entre 2,9 et 8,7 nœuds (1,5 à 4,5 m/s), représentent à eux seuls plus de la moitié des enregistrements. Ils sont plutôt de secteur Ouest.

Les vents d'intensité plus élevée (8,7 à 15,5 nœuds ou 4,5 à 8 m/s) représentent 19 % de la totalité des observations et sont majoritairement de secteur Est.

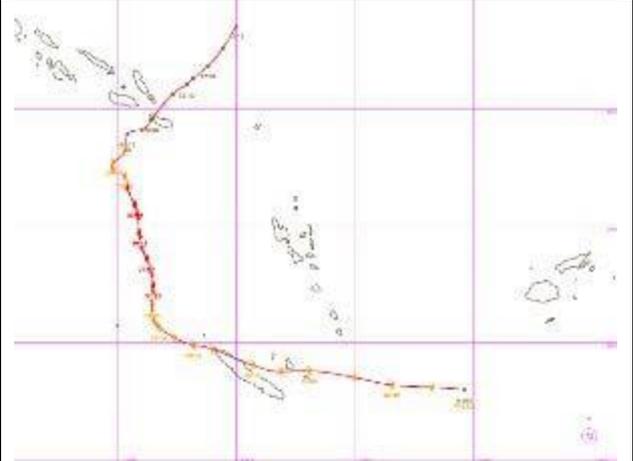
Les vents forts de plus de 8,0 m/s sont très faiblement représentés (moins de 1 %) et sont de secteur Est.

3.1.1.6 Phénomènes climatiques extrêmes : cyclones et dépressions

La Nouvelle-Calédonie est située dans le bassin cyclonique de l'Australie/Pacifique Sud-Ouest. Les cyclones font partie des phénomènes climatiques extrêmes qui peuvent l'affecter de janvier à mars. Lors de ces événements, les quantités de pluie peuvent être particulièrement importantes (plusieurs centaines de mm en 24 heures) et représentent alors une part non négligeable de la pluie moyenne annuelle.

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. Le Tableau 2 reprend les derniers événements cycloniques ayant généré des dégâts en Nouvelle-Calédonie et intéressé le Sud de la Grande Terre.

Tableau 2 : Sélection des derniers événements cycloniques ayant généré des dégâts en Nouvelle-Calédonie et présents sur le Sud de la Grande Terre

Nom		Freda
Type		Dépression tropicale modérée FREDa
Date		Du 2 janvier au 3 janvier 2013
Région touchée		la moitié Sud de la côte ouest de la Grande Terre, ainsi que dans le Grand Sud
Valeurs remarquables	Vent	Rafales à 111km/h à Nessadiou Rafales jusqu'à 153km/h dans le secteur de Goro
	Pluie	A Houaïlou 425mm en 24h Dans la région de Goro 438 mm en 24h
Trajectoires		

Nom		Vania	Becky	Erica
Type		Dépression Tropicale Forte	Dépression Tropicale	Cyclone
Date		Du 11/01/2011 au 16/01/2011	Du 25/03/2007 au 29/03/2007	Du 13/03/2003 au 14/03/2003
Région touchée		Tout le territoire, sauf îles du nord	Maré, Lifou et le Sud	Grande Terre, Ile des Pins
Valeurs remarquables	Pluies	Pluies en 24h : 450 mm à Goro (Station Vale NC), 331 mm à Montagnes des Sources, 284 mm à Tadine, 260 mm à Nouméa	118 mm à Yaté, 105 mm à Goro, 67 mm à Tadine	Pluie en 3 jours : Dzumac : 297 mm, Col des Roussettes : 255 mm, La Coulée : 231 mm.
	Vent	rafales à 144 km/h à Nouméa, 133 km/h à Ouloup		Vavouto : Vm = 165 km/h, Vi=234 km/h et Nouméa : Vm = 144 km/h et Vi = 202 km/h Rafales à 227 km/h à la Montagne des Sources, 162 km/h à Poindimié, 169 km/h à Koumac.
Trajectoire				
Nom		Lili	Anne	Gyan
Type		Cyclone	Cyclone	Cyclone
Date		Du 10/04/1989 au 11/04/1989	Du 12/01/1988 au 13/01/1988	Du 23/12/1981 au 25/12/1981
Région touchée		Côte Est et moitié sud	Tout le territoire	Tout le territoire sauf Loyauté
Valeurs remarquables	Pluies	Pluies : 238 mm à La Ouinné, 240 mm à Poindimié.	Pluies en 24h : 713 mm à Goro, 519 mm à Thio, 427 mm à Koutio, 371 mm à Moué.	Pluies en 24h : 500 mm à Gomen le 23, 513 mm à Yaté le 24, 634 mm le 24 et 813 mm en 48h à La Ouinné.
	Vent	Rafales à 133 km/h (72 kt) à Nouméa le 11	Vent : rafales à 166 k/h (90 kt) à Koumac et 157 km/h (85 kt) à Touho.	Vent : rafales à 169 km/h (91 kt) à Koumac et 126 km/h (68 kt) à Poindimié.
Trajectoire				

Nom		Des	Yali	Beti	Rewa
Type		Dépression Tropicale Forte	Cyclone	Cyclone	Cyclone puis dépression tropicale forte
Date		Du 06/03/2002 au 07/03/2002	Du 23/03/1998 au 24/03/1998	Du 27/03/1996 au 28/03/1996	Du 05/01/1994 au 06/01/1994
Région touchée		Côte Ouest	Loyauté, Grand Sud, Ile des Pins	Tout le territoire	Moitié sud et Iles Loyauté
Valeurs remarquables	Pluies	Pluie en 24h : 276 mm à Aoupinié, 197 mm à Houaïlou, 175 mm à Yaté.	Pluies : 137 mm à Moué (Ile des Pins) le 23.	Pluies en 24h : 294 mm à Pouébo, 296 mm à La Foa.	Pluies : 275 mm en 48 h à La Coulée, 165 mm à Moué (Ile des Pins) le 6.
	Vent	Rafales à 122 km/h (66 kt) au Koniambo, 119 km/h (64 kt) au Cap N'Dua.	Rafales de 162 km/h (87 kt) au Cap N'Dua, 126 km/h (68 kt) à Ile des Pins, 101 km/h (54 kt) à La Roche.	Rafales de 198 km/h (107 kt) à Poindimié, 172 km/h (93 kt) à Touho, 158 km/h (86 kt) à Nouméa. Montagne des Sources : vent moyen de 133 km/h (72 kt) et rafales de 230 km/h (125 kt).	Rafales à 101 km/h (55 kt) à Nouméa, 94 km/h (50 kt) à Moué, 122 km/h (66 kt) à Pouébo le 6
Trajectoire					

Nom		Cliff	Ida	Coleen
Type		Cyclone	Dépression Tropicale	Cyclone
Date		12/02/1981	Du 01/05/1972 au 03/05/1972	Du 01/02/1969 au 02/02/1969
Région touchée		Tout le territoire	Tout le territoire, sauf îles du nord.	Tout le territoire, sauf îles du nord.
Valeurs remarquables	Pluies	Pluies en 24h : 411 mm à La Ouinné, 350 mm à La Thy, 201 mm à La Foa.	Pluies : 201 mm en 24h à Nouméa, 247 mm à Ouénarou.	Pluies : 214 mm en 4h et 364 mm en 7h à Dumbéa. Crue de 8 m de la Dumbéa.
	Vent	Vent : rafales à 148 km/h (80 kt) à Nouméa et Ouvéa. Probables rafales à 200 km/h localement.	Vent : rafales à 155 km/h à Nouméa, 126 km/h à Poindimié.	Vent : rafales à 158 km/h (86 kt) à Nouméa et 155 km/h (84 kt) à Tontouta.
Trajectoire				

Source : Météo France, 2012b

Ces phénomènes extrêmes, qui engendrent des cumuls de précipitations importants sur de très courtes durées, sont susceptibles de modifier la répartition spatiale et temporelle des pluies dans les zones concernées par leur passage.

Par exemple, dans le cas de la dépression tropicale Vania en janvier 2011, il est tombé 450 mm en 24 heures à Goro, ce qui représente environ 15 % de la pluie annuelle.

La probabilité annuelle qu'une dépression tropicale d'intensité modérée à forte atteigne Goro est de 62 % et de 22 % pour un cyclone tropical.

3.1.2 Tendances régionales du changement climatique

 (D'après V. Cavarero, 2012)

La Nouvelle-Calédonie présente *a priori* une vulnérabilité importante vis-à-vis des changements climatiques, en raison notamment de la constante augmentation des pressions sur ses ressources en eau, de l'importance de sa biodiversité et de son récif corallien (sensible à la température de l'eau), sans oublier les risques que représentent les feux de brousse et les épidémies de dengue.

Constat

Les analyses de séries de températures et de précipitations observées, homogénéisées et corrigées, amènent aux constats suivants :

- accroissement des moyennes annuelles des températures minimales et maximales quotidiennes de respectivement 0,3°C et 0,2°C par décennie au cours des 40 dernières années ;
- pas de tendance significative pour les cumuls de températures, en raison des incertitudes ;
- au pas de temps quotidien, augmentation du nombre annuel de jour pluvieux au cours des 5 dernières décennies, et diminution significative, en intensité et nombre, des épisodes de pluies substantielles sur la côte Est.

Causes probables

Ainsi, il est très probable que la cause principale du réchauffement climatique calédonien soit l'augmentation globale de la concentration des **gaz à effet de serre** dans l'atmosphère. En revanche, les évolutions pluviométriques constatées sont difficilement attribuables à une source particulière et pourraient résulter de fluctuations internes du système climatique dans le Pacifique Sud-Ouest sur une période de plusieurs décennies.

Prévisions de tendance

Les simulations climatiques produites par les modèles du GIEC n'ont pas une résolution suffisante pour conduire une étude d'impact fine à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, une régionalisation des données par la méthode statistique de descente d'échelle quantile-quantile a été réalisée. Les principales tendances à l'échéance de la fin de ce siècle sont les suivantes :

- augmentation de la température de 1,5°C à 2,7°C⁵, de la période actuelle à la période 2081-2099 ;
- augmentation de la saison chaude de 2 ou 3 mois à la fin du siècle ;
- augmentation de la fréquence des années climatiquement favorables à des épidémies de dengue⁶ ;

⁵ Variable selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre

- Pas de tendance significative concernant les précipitations totales annuelles mais leur distribution au cours de l'année pourrait varier avec une diminution d'avril à juillet et une augmentation de novembre à mars.

Cette étude confirme la présence d'un risque climatique pour la Nouvelle-Calédonie lié au réchauffement climatique. L'approfondissement des connaissances sur la Nouvelle-Calédonie doit permettre d'intégrer les tendances dans les projets d'aménagement et les dimensionnements des ouvrages, en particulier hydrauliques.

3.1.3 Climat dans la zone du projet

3.1.3.1 Précipitations

Les données météorologiques sont issues de deux stations Météo France proches du site qui donnent des données de référence (Yaté et Cap N'Dua) et des stations dont dispose VNC sur son domaine. Actuellement, sur le site de Goro, 8 stations pluviométriques renseignent sur la pluviométrie locale. Parmi celles-ci, 3 ont été désactivées et 5 fournissent actuellement des données. Les coordonnées des stations du site de Goro sont recensées dans le tableau 3 suivant.

Tableau 3 : Stations météorologiques suivies par VNC

ID Station	Station	Long (RGNC91) Réel	Lat (RGNC91) Réel	Statut
267	SMAA (Pépinère)	499742,5	214527,1	Suspendu
268	SMAB (Usine Pilote)	493570,4	206728,5	Suspendu
269	SMAC (Plateau Kué West)	497875,0	211847,6	Suspendu
368	GORO_USINE	493610,4	206767,4	Actuelle
366	GORO_ANCIENNE_PEPINIERE	499722,4	214535,6	Actuelle
364	GORO_RESIDUS	494032,1	209481,1	Actuelle
365	GORO_GISEMENT	501566,4	212330,4	Actuelle
367	GORO_MINE	497662,8	211376,5	Actuelle

Le Tableau 4 et la Figure 5 ci-après présentent la variabilité saisonnière des pluies au site de Goro en 3 sites : au niveau de la Plaine des Lacs (station 267 - SMAA (Pépinère) et la station 366 GORO_ANCIENNE_PEPINIERE), à l'Usine (station 268 – SMAB (Usine Pilote) et station 368 – GORO_USINE), à la Mine (station 269 – SMAC (Plateau KW) et station 367 – GORO_MINE).

Tableau 4 : Bilan pluviométrique mensuel des stations de VNC (mm) sur la période 1997-2012

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Pépinère	294	393	524	425	271	219	211	181	196	167	150	297	3 300
Usine	222	312	343	298	203	178	158	133	203	136	83	203	2 473
Mine	290	363	471	392	252	201	194	163	171	148	133	260	2 997

6 Approchée par le dépassement de la température maximale de 32°C pendant 12 jours au cours de la période janvier à mars

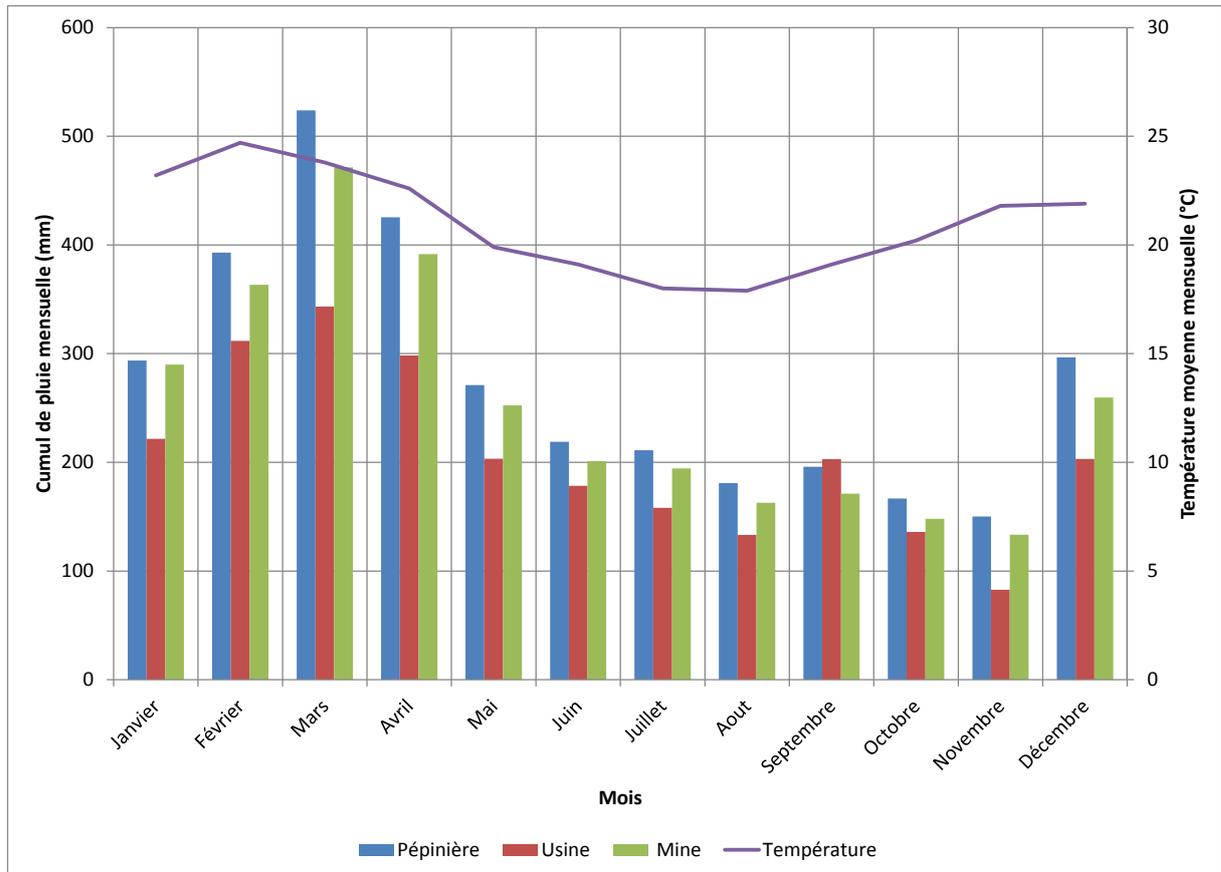


Figure 5 : Moyenne mensuelle des précipitations et de la température de l'air sur le site du projet VNC (année 2012)

Globalement, les précipitations mensuelles moyennes des différentes stations pluviométriques suivent la même évolution saisonnière. Cependant, on note un gradient d'intensité décroissante de l'Est vers l'Ouest, les deux stations 'pépinière' au niveau de la Plaine des Lacs étant toujours plus pluvieuses, la Mine avec les stations 'Mine' et 'KW' étant intermédiaire et la station 'Usine' recevant toujours moins de pluie.

De manière générale, les stations au niveau de la Plaine des Lacs affichent une pluviométrie toujours supérieure aux autres stations, pouvant aller jusqu'à des écarts de plus du double avec le site de l'Usine. Ces écarts sont plus marqués en saison humide qu'en saison sèche.

La pluviométrie moyenne mesurée au niveau de la Plaine des Lacs (Pépinière et ancienne pépinière) (3 300 mm environ entre 1997 et 2012) est du même ordre de grandeur que les précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 3000 à 4000 mm enregistrées aux stations de Yaté Mairie et Yaté Usine (1990 et 2009 – Figure 2)⁷. Les fortes précipitations sont enregistrées entre décembre et avril. Les précipitations les plus importantes sont observées pendant les mois de mars et avril avec un maximum atteint en mars avec 524 mm au niveau de la Plaine des Lacs à la Pépinière, 471 mm à la Mine et 343 mm à l'usine.

Les faibles précipitations de mai à novembre ne dépassent pas 300 mm. De forts épisodes pluvieux peuvent cependant se produire au cours de cette période.

La période la plus sèche est octobre-novembre avec des précipitations inférieures à 170 mm.

⁷ D'après « Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie » (DAVAR, 2011)

Variabilité interannuelle

La Figure 6 présente la variabilité interannuelle de la pluviométrie sur la zone d'étude.

Les années 1997, 2005 et 2010 se distinguent des autres années, comme des années plus sèches, tandis que les années 1999, 2001 et 2008 sont des années humides.

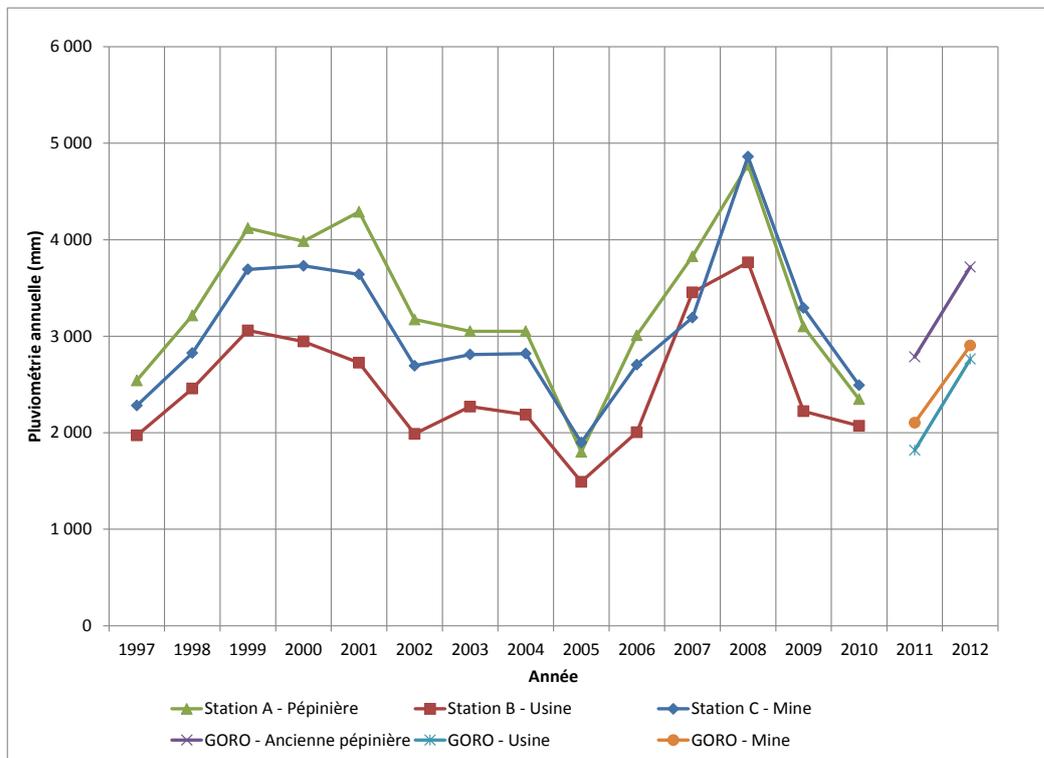


Figure 6 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie sur la zone d'étude

La Figure 7 présente les tracés des pluies mensuelles des pluviomètres de la Plaine des Lacs (Station A – pépinière et ancienne pépinière) année par année et permet de visualiser à la fois la variation de la pluviométrie d'une année sur l'autre et la variabilité saisonnière.

Les années 2000, 2001 et 2008 présentent des pluviométries cumulées "similaires" de janvier à avril. En avril, elles présentent des cumuls nettement supérieurs à ceux enregistrés au même mois, les autres années.

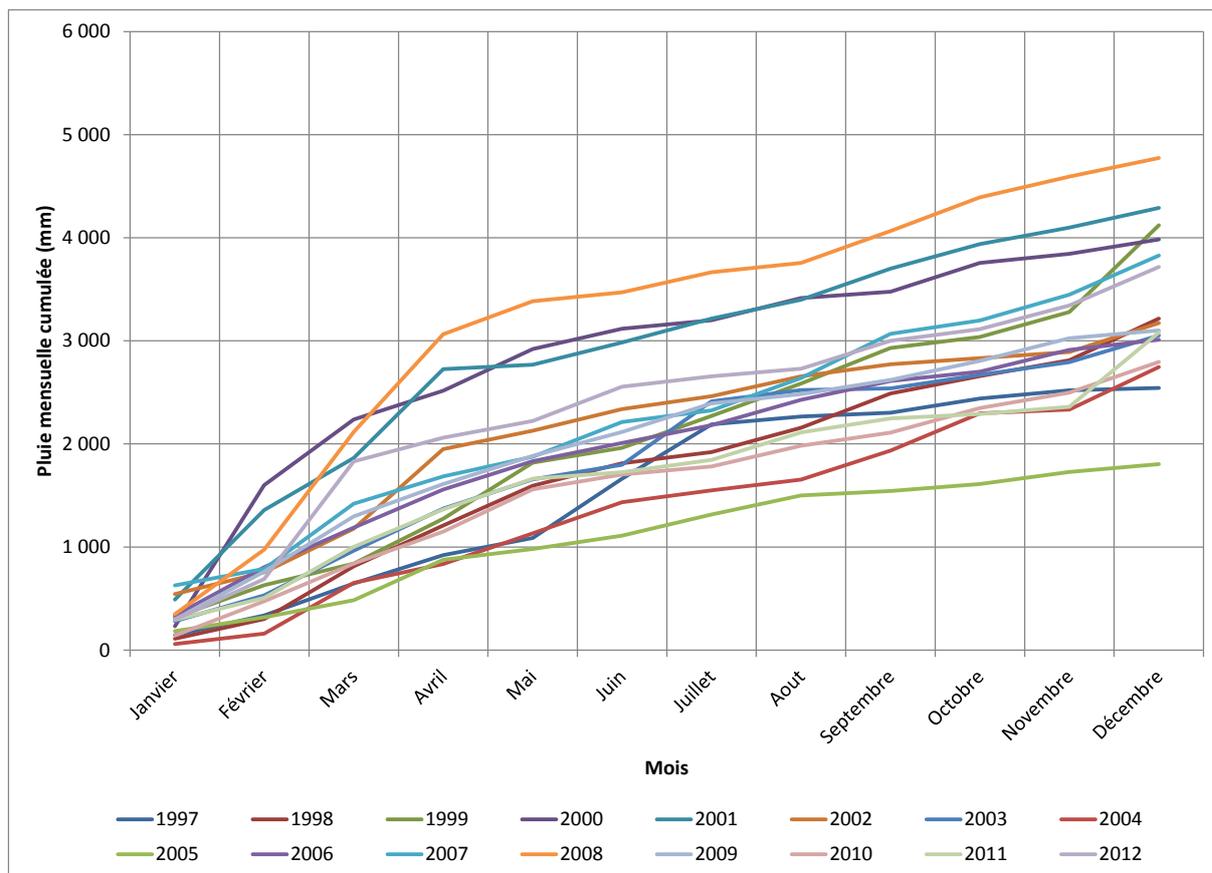


Figure 7 : Comparaison des pluviométries cumulées sur la zone d'étude de 1997 à 2012 (mm)

3.1.3.2 Températures

Les températures relevées sur le site de Goro sont légèrement plus élevées que les moyennes pour la Grande Terre. Les températures moyennes journalières enregistrées à la station de Yaté (située à environ 20 km du site du projet) sont voisines de 21°C la nuit et de 26°C l'après-midi. La température moyenne enregistrée entre 1986 et 2000 à la station météorologique du Cap N'Dua est de 22,6°C.

Le Tableau 5 ci-dessous présente les variations des températures et les moyennes annuelles enregistrées à la station de Yaté-Usine depuis 2003.

Tableau 5 : Variations annuelles et moyennes des températures enregistrées sur la station de Yaté-Usine de 2003 à 2005 (en °C)

Année	Température moy. mensuelle minimale	Température moy. mensuelle maximale	Moyenne annuelle
2003	20,5	26,4	(1)
2004	18,8	27,6	22,8
2005	19,4	26,5	23,1

(1) la moyenne annuelle n'a pas été calculée par Météo France car les températures des mois d'août et de septembre n'ont pas été enregistrées

3.1.3.3 Evapotranspiration

L'évaporation potentielle pour le site de Goro est calculée par Météo France sur le plateau de la Kué Ouest, depuis 2002, sur la base de mesures recueillies par la station météorologique du Plateau Kué Ouest (ID 269)

La Figure 8 montre que le bilan hydrique est toujours positif sur le plateau de Goro, les précipitations étant supérieures à l'ETP tout au long de l'année.

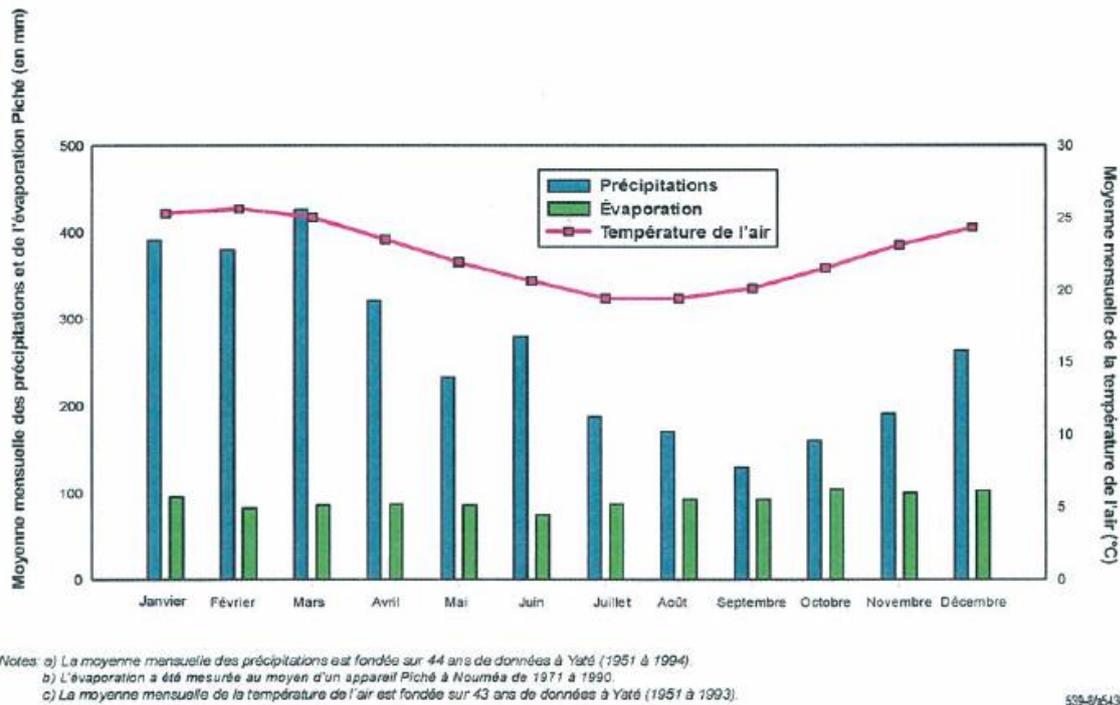


Figure 8 : Moyenne mensuelle des précipitations, de l'évaporation et de la température de l'air sur le site du projet VNC (2011)

Le Tableau 6 suivant compare les valeurs annuelles d'ETP de la station du plateau de la Kué Ouest (ID 269) de 2003 à 2005 à celles calculées pour les stations Météo France de Nouméa et de Moué.

Tableau 6 : ETP annuelle calculée pour le plateau de la Kué Ouest et les stations Météo France de Moué et de Nouméa de 2003 à 2005 (en mm)

Année	Station du plateau de la Kué Ouest (1)	station de Moué	Station de Nouméa
2003	1118	1599	1806
2004	1152	1594	1911
2005	1132	1507	1844

(1) : les données décennales manquantes ont été remplacées dans le calcul de l'ETP annuelle par les moyennes des années suivantes et précédentes pour les mêmes décades.

La comparaison de l'ETP du site de Goro avec celle des stations de Moué et de Nouméa montre que l'ETP est régulièrement plus faible dans le Sud avec **une moyenne annuelle de 1134 mm**.

Une nouvelle estimation de l'ETP sur le bassin de Kué a été réalisée pour une chronique plus longue (1998-2001), selon la méthode de calcul Oudin (A2EP, 2012c). Sur cette base, l'ETP

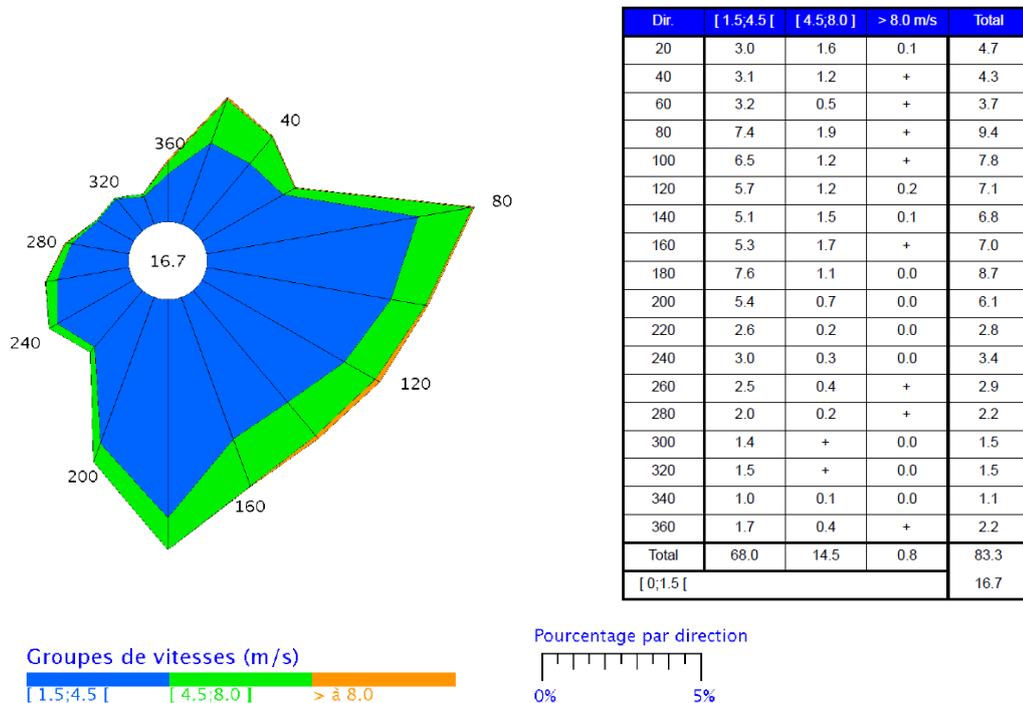
moyenne interannuelle (1998-2011) est estimée à **1154 mm pour le bassin de la Kué, ce qui représente globalement 37 % des précipitations (3 141 mm).**

3.1.3.4 Vents

Des données sur la direction et la vitesse du vent sont enregistrées depuis 1996 sur les deux stations installées à Goro (site de l'usine et de l'ancienne pépinière) et pour la station de l'ancienne pépinière, et depuis 1998 pour la station de l'usine. Ces stations sont gérées par Météo France pour VNC.

Les roses des vents fournies par Météo France pour les 2 stations, pour l'année 2011, mettent en évidence des différences entre le site de l'ancienne pépinière et le site de l'usine.

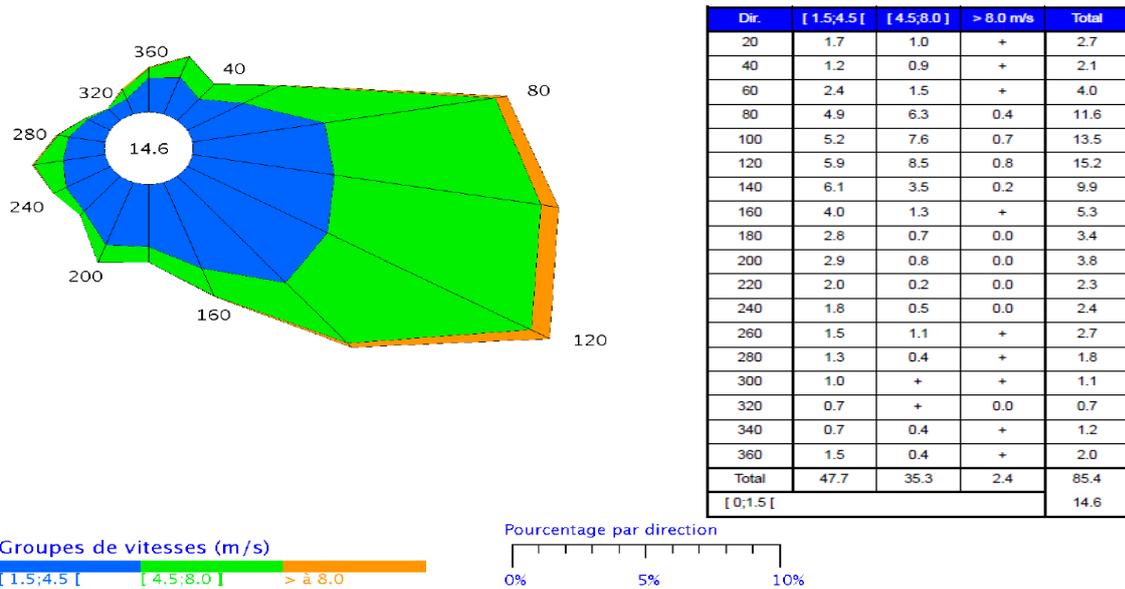
Le site de l'usine est plus exposé aux vents que le plateau et montre une part plus importante de vents modérés (4,5 à 8 m/s) et davantage de vents forts de direction Est-Sud-Est.



Source : Météo France

Figure 9 : Rose des vents du site Goro Ancienne pépinière (988) pour l'année 2011

Le site de l'ancienne pépinière apparaît relativement protégé avec des vents d'intensité faible et de direction Sud-Sud-est dominants et une quasi-absence de vents forts supérieurs à 8 m/s.



Source : Météo France

Figure 10 : Rose des vents du site Goro Usine (988) pour l'année 2011

3.2 QUALITE DE L'AIR

3.2.1 Contexte général de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie

3.2.1.1 Principaux polluants

Les principaux polluants à considérer en Nouvelle-Calédonie sont les suivants :

- les oxydes d'azote,
- le dioxyde de soufre,
- l'ozone,
- les particules en suspensions, et notamment les plus fines (PM10 < 10 µm).

Oxydes d'azote (NOx)

Les sources principales de NOx sont les transports, l'industrie, l'agriculture et la transformation d'énergie. Le NO₂ se rencontre également à l'intérieur des locaux dans lesquels fonctionnent des appareils au gaz tels que gazinières, chauffe-eau, etc. Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires. Les NOx participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, et à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique comme à l'effet de serre.

Dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre SO₂ est émis lors de la combustion des matières fossiles telles que charbons et fiouls. Les sources principales sont les centrales thermiques et les grosses installations de combustion industrielle et les transports. Le SO₂ est un irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures (toux, gêne respiratoire). Il agit en synergie avec d'autres substances, notamment avec les particules fines. Le SO₂ se transforme en acide sulfurique au

contact de l'humidité de l'air et participe au phénomène des pluies acides. Il contribue également à la dégradation de la pierre et des matériaux des monuments historiques.

Ozone (O₃)

L'ozone résulte généralement de la transformation chimique dans l'atmosphère de certains polluants dits "primaires" (en particulier NO, NO₂ et COV), sous l'effet des rayonnements solaires. Les mécanismes réactionnels sont complexes et les plus fortes concentrations d'O₃ apparaissent en périphérie des zones émettrices des polluants primaires, puis peuvent être transportées sur de grandes distances. L'O₃ est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires. Ses effets sont très variables selon les individus. L'O₃ a un effet néfaste sur la végétation (sur le rendement des cultures par exemple) et sur certains matériaux (caoutchouc, etc.). Il contribue également à l'effet de serre.

Particules en suspension (PM10)

Ces particules liées à l'activité humaine proviennent majoritairement de la combustion des matières fossiles, du transport automobile (gaz d'échappement, usure, frottements, etc.) et d'activités industrielles diverses (sidérurgie, incinération, etc.). Les PM10 représentent la catégorie de particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres. Les particules les plus fines pénètrent dans les poumons et peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes. Ces PM10 provoquent des effets de salissure des bâtiments et des monuments, qui sont également des atteintes à l'environnement.

Parmi les autres polluants ayant un effet sur la santé et l'environnement, on peut également citer : les poussières sédimentables, les métaux lourds, les composés organiques volatiles (COV), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

3.2.1.2 Sources d'émissions polluantes en Nouvelle-Calédonie

D'une manière générale, les émissions les plus significatives sont liées à l'industrie métallurgique, à la production d'énergie et aux transports (aérien, routier et maritime) et à d'autres sources d'émissions secondaires.

Installations industrielles ou usines de production d'électricité : le secteur de l'industrie est à l'origine d'une grande partie des émissions atmosphériques en Nouvelle-Calédonie. L'usage de l'électricité n'émet pas de polluants sur le lieu de consommation, mais il génère des émissions à l'endroit où cette électricité est produite.

Transports : que le mode de transport soit aérien, maritime ou automobile, il participe aux émissions de polluants atmosphériques.

Incinérations d'ordures ménagères : toute combustion génère des émissions, le brûlage des déchets, que ce soit par un particulier ou dans une installation dédiée est à l'origine de pollutions.

Agriculture : le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique, par l'utilisation de machines notamment, mais aussi à cause du recours aux produits phytosanitaires ou aux épandages (émissions d'ammoniac).

Activités domestiques : l'usage des produits phytosanitaires, des peintures et des produits ménagers émet des polluants atmosphériques.

Chauffe-eaux à gaz et climatisation : l'usage des chauffe-eau à gaz génèrent des émissions de polluants comme le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone ou les oxydes d'azote. La climatisation génère indirectement des émissions du fait de sa grande consommation d'électricité mais également si le gaz réfrigérant n'est pas récupéré.

3.2.1.3 *Suivi de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie*

La qualité de l'air ambiant est suivie par l'Association de Surveillance Calédonienne de la Qualité de l'Air (Scal-Air) à Nouméa et autour des installations de VNC à Goro.

La Nouvelle-Calédonie, qui connaît un fort développement industriel et urbain, subit de fait les multiples impacts environnementaux et sanitaires liés à cet essor.

3.2.2 **Qualité de l'air sur le site du projet**

3.2.2.1 *Valeurs guides*

En Nouvelle-Calédonie, les valeurs seuils pour la qualité de l'air sont fixées par les arrêtés d'exploitation ICPE et sont spécifiques à chaque installation. Elles concernent, pour l'essentiel, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les poussières PM10 et les métaux que ces poussières contiennent. Les valeurs de référence (horaires, moyennes et annuelles) considérées par VNC dans le cadre des suivis réglementaires sont issues de la Loi 'Laure' métropolitaine n° 96-1236 du 30 décembre 1996, de l'article R. 221-1 du code de l'environnement, de la directive européenne 2004/107/CE⁸ et des recommandations de l'OMS sur la qualité de l'air, notamment pour la teneur en manganèse dans les poussières fines.

3.2.2.2 *Etat de référence la qualité de l'air en 2005*

Une étude sur la qualité de l'air ambiant de la zone du projet a été réalisée par VNC et Séchaud-LBTP en 2005, avant le démarrage de l'usine⁹. Cette étude a été réalisée en saison humide (entre le 4 avril et le 18 juillet 2005) et en saison sèche (du 18 août au 21 octobre 2005). Lors de ces campagnes de mesures, des travaux de construction débutaient dans la zone portuaire et sur le site industriel. Ces campagnes de suivi représentent donc l'état actuel de la qualité de l'air.

⁸ Directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004 relative concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant

⁹ Cette étude entre dans le cadre des états de référence de l'air ambiant effectués pour les demandes d'autorisation d'exploiter les ICPE du projet Goro Nickel.

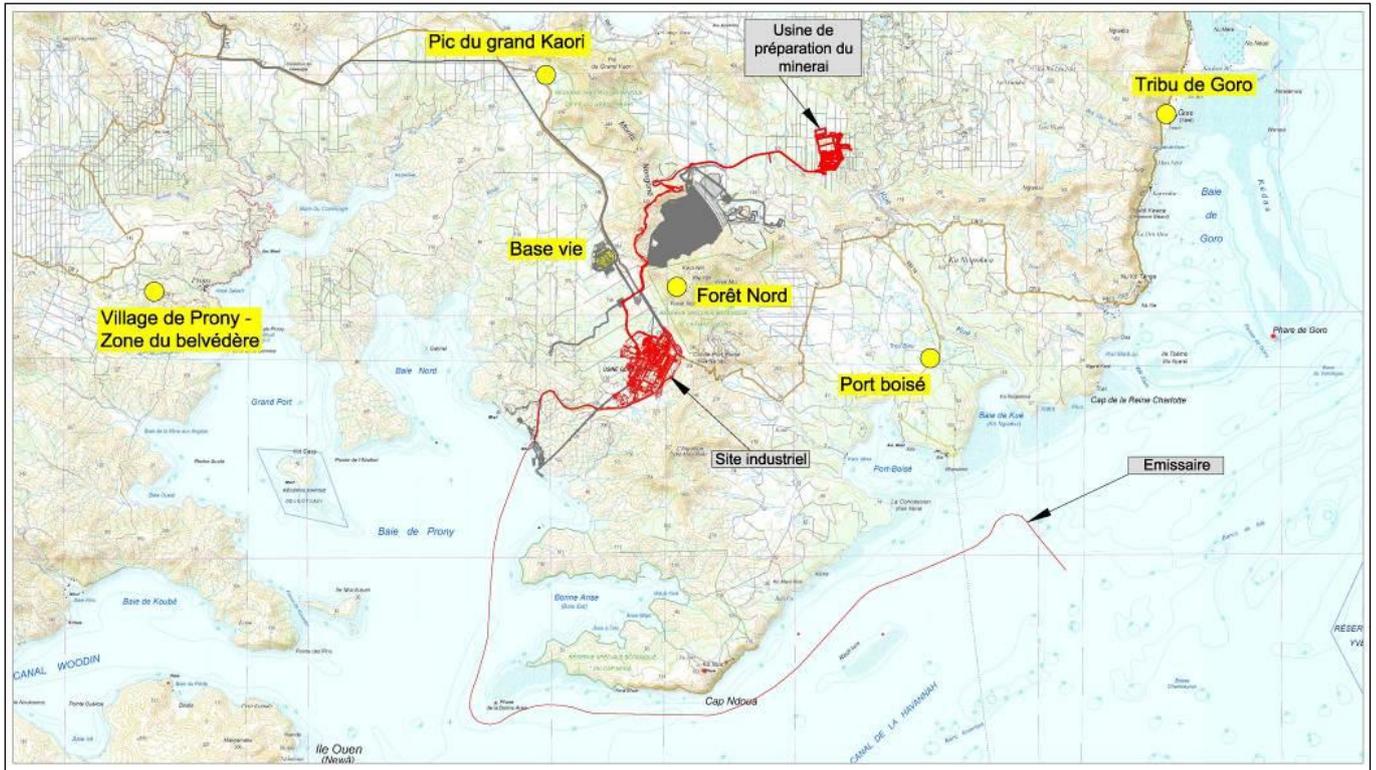


Figure 11 : Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air (2005)

Les stations de mesure sont implantées au voisinage des sites sensibles : les zones d'habitat et les réserves naturelles.

Etat des retombées de poussières en 2005

En 2005, les mesures de retombées de poussières ont été réalisées sur 2 stations de mesure (la station de la Forêt Nord et la station de Port Boisé) pour une période d'un mois. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7 ci-après.

Tableau 7 : Résultats des mesures de retombées de poussières en 2005

Station		Dépôt de poussières (mg/m ² /j)	Dépôt de métaux dans les poussières (µg/m ² /jour)												
			V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
Port Boisé	Humide	109	0,42	5,07	20,52	1,62	17,19	9,64	234,5	0,04	<lq	0,24	<lq	8,07	<lq
	Sèche	104	2,2	83,4	45,1	5,3	57,5	8,6	891,1	0,1	0,8	0,4	0,1	8,7	<lq
Forêt Nord	Humide	205	0,22	4,91	25,6	2,07	19,37	10,95	309,4	<lq	0,93	0,34	<lq	8,97	<lq
	Sèche	112	0,04	1,2	20,3	4,7	42,6	6,6	433,2	<lq	<lq	0,04	<lq	6,0	<lq

V=Vanadium ; Cr=Chrome ; Mn=Manganèse ; Co=Cobalt ; Ni=Nickel ; Cu=Cuivre ; Zn=Zinc ; As=Arsenic ; Cd=Cadmium ; Sn=Etain ; Sb=Antimoine ; Pb=Plomb, Hg=Mercure ; lq=limite de quantification

Il est à noter que les retombées sont légèrement plus importantes en quantité à la station de la Forêt Nord qu'à Port boisé, mais les poussières sont globalement plus chargées en métaux à Port Boisé (chrome, manganèse et zinc).

Etat des poussières PM10 et métaux en suspension en 2005

En 2005 des mesures de poussières et métaux en suspension (PM10 – poussières fines) ont été réalisées aux 6 stations, pendant une période d'exposition des tubes de 3 jours consécutifs. Le Tableau 8 ci-dessous présente les moyennes des résultats.

Tableau 8 : Résultats des analyses de poussières PM10 et métaux en suspension (2005)

Station	Saison	Conc moyenne µg/m ³	Concentration moyenne en métaux (ng/m ³)												
		PM10	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
Belvédère Village de Prony	Humide	14	3,2	45,2	11	0,5	19,3	3,3	35,1	1	0*	0*	0*	1,1	0*
	Sèche	22	2,2	22,5	5,3	0,4	8,5	8,2	0,7	5,6	0,1	0,6	0,9	0,2	0*
	Moyenne	18	2,7	33,9	8,1	0,5	13,9	5,8	17,9	3,3	0,1	0,6	0,9	0,7	0*
Pic du Grand Kaori	Humide	7	0*	0,1	1,9	0*	0,6	1,5	22,6	0*	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	9	0,3	2,5	0,6	0,1	1,2	0,6	0*	0,1	0*	0,3	0,3	0*	0*
	Moyenne	8	0,3	1,3	1,3	0,1	0,9	1	22,6	0,1	0*	0,3	0,3	0,1	0*
Base-vie	Humide	21	1,2	76	20,5	1,9	24,1	1,2	19	0,1	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	9	1,4	5,6	1,8	0,2	3,4	0,3	1,6	0*	0*	0,2	0,1	0*	0*
	Moyenne	15	1,3	40,8	11,2	1,1	13,8	0,8	10,3	0,1	0*	0,2	0,1	0,1	0*
Forêt Nord	Humide	12	0*	6,6	2	0,1	2,5	0,2	21,5	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	Sèche	11	0,3	9,1	1,6	0,3	2,9	0,3	1,2	0*	0*	0*	0,4	0*	0*
	Moyenne	12	0,3	7,8	1,8	0,2	2,7	0,3	11,3	0*	0*	0*	0,4	0*	0*
Port Boisé	Humide	7	0,1	2,2	1,1	0*	1,5	0,9	1	0*	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	7	0,2	5	2,2	0,1	1,6	0,5	0*	0*	0*	0,1	0*	0*	0*
	Moyenne	7	0,1	3,6	1,6	0,1	1,5	0,7	1	0*	0*	0,1	0*	0,1	0*
Tribu de Goro	Humide	16	0*	1,8	1,1	0*	1,5	1	0*	0*	0*	0*	0*	0,6	0*
	Sèche	9	0,3	7,9	5,2	0,7	40,6	0,5	0*	0,1	0*	0,1	0*	0*	0*
	Moyenne	13	0,3	4,8	3,1	0,7	21,1	0,7	0*	0,1	0*	0,1	0*	0,6	0*
Valeurs de référence¹		30	-	-	-	-	20	-	-	6	5	-	-	250	-

Note :

¹=Valeurs de référence (moyennes annuelles) issues de l'article R. 221-1 du code de l'environnement métropolitain (PM10), de la directive EU no. 2004/107/CE (As, Cd, Ni, Pb)

V=Vanadium; Cr=chrome; Mn=Manganèse; Co=Cobalt; Ni=Nickel; Cu=Cuivre; Zn=Zinc; As=Arsenic; Cd=Cadmium; Sn=Etain; Sb=Antimoine; Pb=Plomb, Hg=Mercure; lq=limite de quantification : niveau équivalent au blanc d'analyse

Source : Séchaud/LBTP, 2005

Les résultats montrent que les valeurs mesurées à l'état de référence sont très en dessous des valeurs guides retenues par VNC. Seule la moyenne des mesures du nickel dans les poussières, effectuées à la station de la tribu de Goro, est proche de la valeur cible prescrite par le code de l'environnement métropolitain et la directive européenne 2004/107/CE. Les poussières mesurées ne peuvent être imputées à l'activité industrielle étant donné la distance de la source potentielle.

D'une manière générale, les stations sous le vent de l'usine (village de Prony et Base vie) reçoivent les poussières les plus chargées en métaux sans qu'aucune mesure ne dépasse les valeurs guides suivies par VNC.

Etat des contaminants gazeux et particulaires (SO₂ et NO₂) en 2005

En 2005, les mesures de SO₂ et de NO₂ ont été réalisées pour les 6 stations pendant une période d'exposition des tubes de 15 à 25 jours. Le Tableau 9 présente les résultats d'analyses pour les 6 stations.

Tableau 9 : Résultats des analyses SO₂ et NO₂ en 2005

Station	Saison	NO ₂ en µg/m ³	SO ₂ en µg/m ³
Belvédère Village de Prony	Saison humide	1,4	<1,3
	Saison sèche	<1	<1,3
Pic du Grand Kaori	Saison humide	<0,9	1,3
	Saison sèche	1,3	<1,3
Base-vie	Saison humide	<0,9	1,8
	Saison sèche	2,1	2,6
Forêt Nord	Saison humide	<0,9	<1,3
	Saison sèche	<1	<1,3
Port Boisé	Saison humide	0,9	<1,3
	Saison sèche	<1	3,1
Tribu de Goro	Saison humide	<0,9	<1,3
	Saison sèche	<1	<1,3
Valeurs de référence¹		40*	50**

¹=Valeurs de référence (moyennes annuelles) prévues à l'article R. 221-1 du code de l'environnement métropolitain.

*=objectif de qualité et valeur limite pour le NO₂ (marge de dépassement de 12 µg/m³ en 2004).

**=objectif de qualité pour le SO₂.

Les mesures obtenues sont toutes très inférieures aux valeurs de référence.

Synthèse de la qualité de l'air en 2005

Les résultats moyens d'analyses de la qualité de l'air, effectuées en 2005, montrent les éléments suivants :

- **SO₂** : une moyenne de 2,2 µg/m³ (moyenne des concentrations supérieures à la limite de détection) sur six stations pendant une durée d'exposition de 15 à 25 jours (valeur de référence pour les effets à seuil par inhalation : 50 µg/m³) ;
- **NO₂** : une moyenne de 1,4 µg/m³ (moyenne des concentrations supérieures à la limite de détection) sur six stations pendant une durée d'exposition de 15 à 25 jours (valeur de référence pour les effets à seuil par inhalation : 40 µg/m³) ;
- **dépôts de poussières** : une moyenne de 130 mg/m²/j sur deux stations pendant une durée de 30 jours (il n'existe pas de valeur de référence) ;
- **dépôts de métaux dans les poussières** : les valeurs de dépôts de nickel sont de 34 µg/m²/j en moyenne sur 2 stations pendant une durée de 30 jours (il n'existe pas de valeur de référence) ;
- **PM10** : une moyenne de 12 µg/m³ sur six stations pendant 3 jours d'exposition (valeur de référence pour les effets à seuil par inhalation : 30 µg/m³) ;
- **concentration moyenne des métaux en suspension (PM10)** : les concentrations moyennes en métaux sont largement en dessous des valeurs cibles, excepté pour les valeurs de nickel. Ainsi à l'état de référence en 2005, les valeurs en nickel contenu dans les poussières fines sont en moyenne de 9 ng/m³ sur les six stations (mesures pendant 3 jours d'exposition à comparer à la valeur de référence pour les effets à seuil par inhalation pour le nickel : 20 ng/m³). La station tribu de Goro présente des teneurs ponctuellement supérieures à cette valeur en saison sèche, mais en moyenne très proche des valeurs cibles de la directive européenne 2004/107/CE.

3.2.2.3 Suivi de la qualité de l'air

Le suivi réglementaire¹⁰ de la qualité de l'air mis en place par VNC cible les effets potentiels du site industriel (usine et centrale thermique). Il est effectué sur les mêmes stations de mesure que pour l'étude de 2005 sans la station de la tribu de Goro qui n'a pas été conservée.

Tableau 10 : Localisation, dénomination et caractéristiques des sites de mesure du système de gestion de la qualité de l'air ambiant

N°	Nom de la station	Abréviation	Coordonnées (IGN 72)			Type de station	Distance du site industriel (km)
			X	Y	Z		
1	Forêt Nord	FN	697614	7529760	334	Fixe	1,6
2	Village de Prony, zone du belvédère	PR	686862	7530460	153	Fixe	9,35
3	Port-Boisé	PB	702826	7529080	43	Fixe	6,4
4	Base-vie	BV	696271	7531222	181	Fixe	2,4
5	Pic du Grand Kaori	PGK	694919	7534950	230	Mobile	6

Les résultats de suivi obtenus en 2011 et en 2012 (*présentés dans les rapports : Suivi environnemental 2011 et 1^{er} semestre 2012*) concernent seulement les stations de Forêt Nord et Base vie.

Les valeurs de SO₂ et NO_x sont très faibles et très largement en dessous des seuils réglementaires. Les enregistrements de poussières en suspension montrent des fluctuations importantes, atteignant parfois la valeur limite horaire sur la Base vie sans excéder la tolérance de dépassement (en 2011). Ces fluctuations sont dues aux activités au sol et au trafic routier.

3.2.3 Suivi des poussières fibreuses

3.2.3.1 Valeurs guides

En Nouvelle-Calédonie, les valeurs seuils pour l'exposition à l'amiante sont inspirées de l'ancien article R. 231-59-7 du code du travail métropolitain qui disposait que « la concentration moyenne d'exposition en fibres d'amiante dans l'air inhalé par un travailleur ne doit pas dépasser 0,1 fibres par cm³ sur une heure de travail ». Cette valeur limite réglementaire de 100 fibres/litre (0,1 fibre/cm³) sur une heure travaillée est reprise par la délibération n° 211/CP du 15 Octobre 1997 relative à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'inhalation des poussières d'amiante.

Les autres textes réglementaires applicables dans ce domaine sont la délibération n° 82 du 25 août 2010 relative à la protection des travailleurs contre les poussières issues de terrains amiantifères dans les activités extractives, de bâtiment et de travaux publics et l'arrêté n° 2010 -4553/GNC du 16 novembre 2010 pris pour son application qui définit les valeurs seuils d'exposition pour l'exposition à l'amiante dans les activités extractives

3.2.3.2 Potentialités d'exposition dans le secteur du projet

L'ensemble du projet de VNC se trouve sur substrat péridotitique. Une typologie des probabilités de présence de matériaux potentiellement fibreux a été établie et cartographiée. Cette cartographie intègre l'emprise du projet d'exploitation minière de VNC.

¹⁰ Effectué conformément à l'arrêté ICPE no. 1467-2008 du 9 octobre 2008.

D'une manière générale, les occurrences de minéraux potentiellement fibreux (Antigorite, Chrysotile, Trémolite) reconnues dans le secteur de Goro (Figure 12), de même que sur les autres massifs péridotitiques, sont localisées dans la partie basse du profil d'altération (roche mère, saprolite). Sur la partie haute du profil d'altération, la probabilité de présence de matériaux potentiellement fibreux est quasiment nulle. De même, la probabilité de présence de minéraux potentiellement fibreux est nulle sur la partie sommitale du profil d'altération correspondant aux zones d'affleurements de cuirasse (Lahondaire D., Maurizot P., 2009).

Une typologie des matériaux a été établie en fonction de la potentialité de présence de matériaux fibreux. Deux classes ont été représentées pour le site de Goro :

- probabilité moyenne de présence de matériaux potentiellement fibreux avec une présence occasionnelle et dispersée.

Cette classe comprend l'ensemble des formations superficielles sur substrat péridotitique sans les affleurements de cuirasse. Elle inclue les alluvions anciennes et récentes. En effet, il n'est pas exclu que ce matériau latéritique, issu de l'érosion des massifs, puisse contenir des matériaux potentiellement fibreux et de plus, les alluvions reposent sur un substrat péridotitique qui correspond à cette classe.

- probabilité nulle de présence si zone non anthropisée. Cette classe comprend uniquement les zones cuirassées.

Les occurrences inventoriées comportent des surfaces de matériaux fibreux de petite taille (inférieure à 0.05 m²), comme le montrent les photos de la Figure 12.

La carte de la Figure 13, réalisée à l'échelle 1/ 25 000, présente la répartition spatiale des probabilités de présence de matériaux fibreux sur la base des données de la carte géologique au 1/50 000 du SGNC, au 1/25 000 des formations superficielles du BRGM et au 1/10 000 de VNC.



Figure 12 : Affleurement d'antigorite fibro-lamellaire et détail

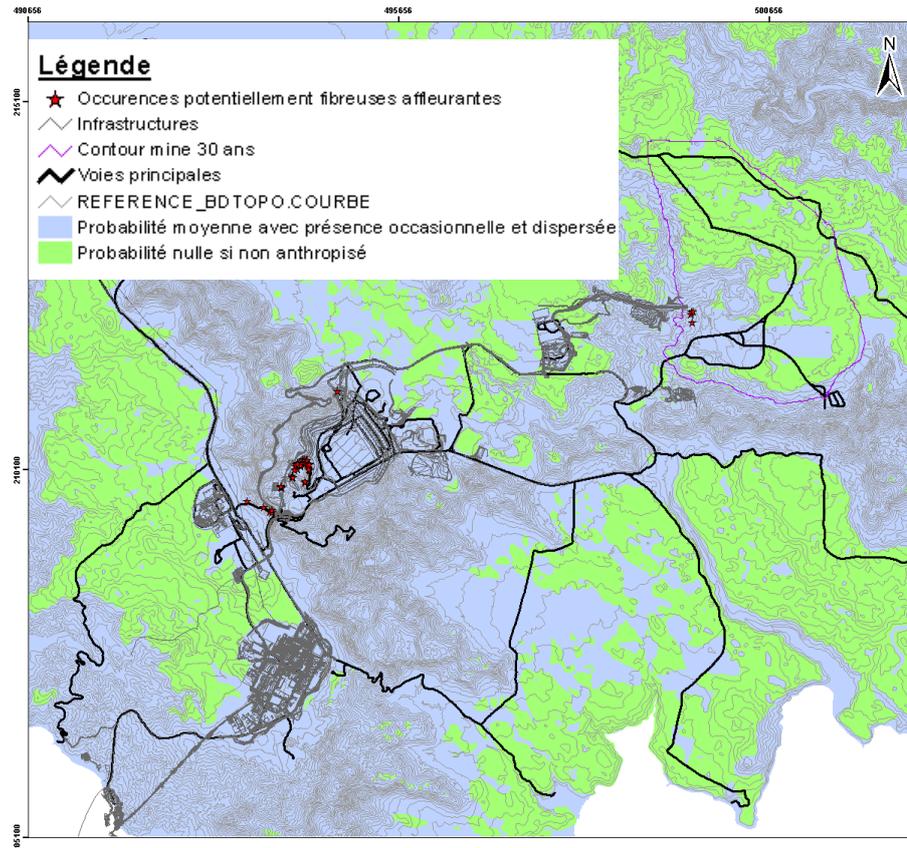


Figure 13 : Cartographie de surface des terrains contenant potentiellement des minéraux fibreux

3.2.3.3 Résultats des mesures de suivi de l'exposition

L'inventaire de chaque zone d'activité de la mine est réalisé en continu et les occurrences sont archivées dans une base de données géo-référencées. Une mise à jour cartographiée est effectuée sur une base mensuelle en fonction de l'avancée des différents travaux. Les informations sont diffusées aux co-contractants et aux contractants.

Parallèlement, un suivi de la concentration en fibres dans l'air, auquel est exposé le personnel de la mine (prélèvements individuels et d'ambiance) lors des travaux ou des interventions sur les matériaux contenant potentiellement de l'amiante, est réalisé.

D'une manière générale, les mesures d'échantillons individuels et les mesures d'ambiance ne détectent pas un nombre de fibres excédant 5 fibres/l pour les mesures d'ambiance et ne dépassent pas la valeur de concentration moyenne en fibres d'amiante dans l'air inhalé de 100 fibres/l sur une heure de travail fixée par la délibération 211/CP du 15 octobre 1997. Lors de l'année 2012, seul un site de prélèvement présentait des échantillons dépassant la valeur de 5 fibres/l. Toutes les autres analyses montraient des résultats inférieurs à la valeur limite.

A titre d'illustration, parmi les 394 échantillons analysés lors de la campagne de mesure de fibres d'amiante réalisée par le LBTP et le LEM du 31 juillet 2005 au 11 mars par MOCP¹¹, seuls 41 échantillons ont nécessité une analyse plus détaillée par MET pour la différenciation des fibres d'amiantes. Sur ces 41 échantillons, une seule fibre a été détectée sur un échantillon le 1^{er} septembre 2006. Les 40 autres échantillons n'ont rien présenté d'anormal.

¹¹ MOCP Microscopie optique à contraste de phase / MET Microscopie électronique à transmission

3.3 QUALITE DES EAUX DE PLUIE

3.3.1 Valeurs guides

Il n'existe pas de norme de qualité pour les eaux de pluie. L'interprétation des suivis réglementaires effectués par VNC se basera sur l'observation des tendances d'évolution par rapport à la qualité naturelle (historique et station hors influence).

Les paramètres mesurés sont les mêmes que ceux utilisés pour l'eau potable.

L'eau de pluie naturelle est légèrement acide et contient en plus ou moins grande quantité des sulfates, du sodium, des chlorures, du calcium, de l'ammonium et des nitrates. L'acidité est l'un des principaux critères de l'évaluation de la qualité de l'eau à cause de ses effets potentiels sur la végétation et les infrastructures métalliques. Ce paramètre dépend en grande partie des concentrations en sulfates.

Un échantillon d'eau pure en équilibre avec le gaz carbonique atmosphérique (cité comme correspondant à une pluie « normale ») a une valeur de pH 5,6. Un écart par rapport à cette valeur suggère que d'autres substances, naturelles ou anthropiques, sont présentes dans l'eau de pluie.

3.3.2 Mesures sur le site

La société VNC mesure la qualité des eaux de pluies dans la région de Goro aux sept stations réparties sur les communes de Yaté et Mont-Dore, présentées sur la Figure 14. Cinq d'entre elles sont situées au même endroit que les stations de mesure de la qualité de l'air ambiant.

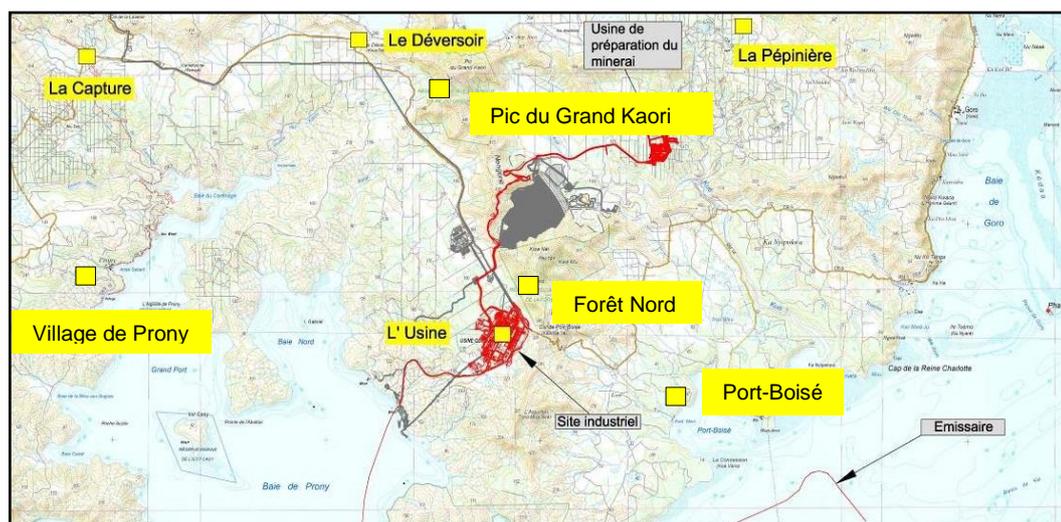


Figure 14 : Localisation des stations de surveillance de la qualité des eaux de pluie

Les positions des stations de suivi de la qualité de l'air et des eaux de pluie ont été validées après modélisation. Les suivis réalisés sont liés à l'activité industrielle de VNC. Ces mesures, à grande échelle, sont utilisées pour l'activité minière. Ces stations sont suivies pour les paramètres suivants

: sulfates, nitrates, chlorures et pH. En plus de ces paramètres, des mesures de conductivité et de phosphates ont été mesurées de 2011 et 2013.

Tableau 11 : Stations de mesure de la qualité de l'air et des eaux de pluies

N°	Nom de la station	Abréviation	Coordonnées(IGN 72)			Type de station	Distance du site industriel (km)
			X	Y	Z		
1	Forêt Nord	FN	697614	7529760	334	Fixe	1,6
2	Village de Prony, zone du belvédère	PR	686862	7530460	153	Fixe	9,35
3	Port-Boisé	PB	702826	7529080	43	Fixe	6,4
4	Usine	U	696367	7528742	-	Fixe	2,4
5	Pic du Grand Kaori	PGK	694919	7534950	230	Mobile	6
6	Chute de la Madeleine - Station limnimétrique	CDLM	707683	7534140	239	Fixe	10,2
7	Parc Provincial de la Rivière Bleue-station pluviométrique de Ouanérou	PPRB	678630	7548950	180	Fixe	26

Les mesures ne sont pas encore assez nombreuses pour en extraire des tendances nettes. En 2011 et 2013, les valeurs de pH relevées sont globalement comprises entre 3,7 et 7,4. Des valeurs de pH inférieures à 4 sont observées sur la plupart des stations, y compris à la Madeleine et au Parc provincial de la Rivière Bleue, à des saisons différentes.

3.4 GEOLOGIE

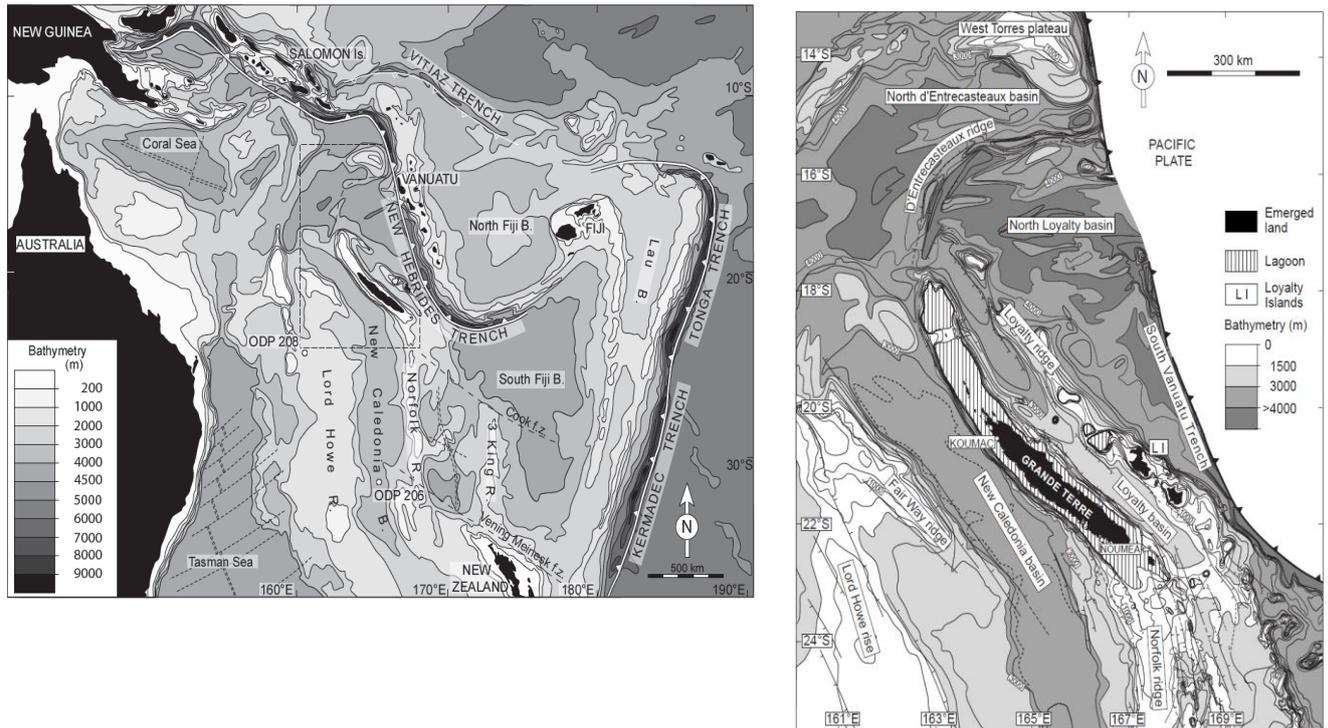
3.4.1 Contexte géologique général

 Voir Atlas Carte C 11 - Carte géologique du projet

3.4.1.1 La Nouvelle-Calédonie dans le Pacifique

La Grande Terre constitue la partie émergée de la ride de Nouvelle-Calédonie. Cette dernière représente le prolongement de la ride de Norfolk, qui constitue, avec la ride de Lord Howe et la ride de Fairway, trois fragments continentaux issus du continent australien au moment de la fragmentation du Gondwana, du Crétacé terminal au Paléocène. Ces rides sont séparées par des bassins à plancher océanique.

La ride de Nouvelle-Calédonie est bordée au Nord-Est par le bassin océanique des Loyautés, lui-même limité au Nord-Est par la ride des Loyautés. Ces rides et bassins sont portés par la plaque australienne qui subducte sous la plaque Pacifique le long de la fosse du Vanuatu faisant partie de l'arc des Nouvelles Hébrides.



R – Ride, B – Bassin, f.z. – zone de fracture

Source : Chevillotte, 2005

Figure 15 : Contexte géodynamique de la Nouvelle-Calédonie (à gauche) ; morphologie et structure post-Eocène de l'archipel de Nouvelle-Calédonie et des régions environnantes (à droite)

La région Nord-Est de la plaque Australienne a subi une phase orogénique alpine qui a conduit à l'obduction de plusieurs corps ophiolitiques le long d'une chaîne allant de la Nouvelle-Zélande à la Nouvelle-Guinée. La Grande Terre présente la plus volumineuse de ces ophiolites alpines. Elle est constituée d'une nappe de manteau lithosphérique océanique charriée sur la ride de Nouvelle-Calédonie à la fin de l'Eocène supérieur. Cette nappe est actuellement préservée en différents massifs répartis sur toute la longueur de l'île et qui constituent les massifs ultramafiques ou « massifs miniers ». Ils occupent environ le tiers de la Grande Terre soit 5500 km² de l'altitude du bord de mer jusqu'à 1618 m d'altitude.

3.4.1.2 Le massif du Sud

Au sein de ce complexe, le massif du Sud peut être divisé en deux domaines majeurs séparés par une ligne Mont-Dore-Yaté.

La partie Nord est constituée en majorité par de hauts reliefs présentant des dépôts latéritiques épais dispersés sur des replats de pente.

La partie Sud, sur laquelle se situe le projet de Goro, est composée par de larges bassins topographiques (200 à 300 mètres d'altitude) entourés par des rides étroites. Les bassins topographiques sont profondément altérés, présentant une limonite épaisse en surface et de la saprolite en profondeur.

Ces bassins topographiques présentent en général un profil d'altération « en place », cuirassé en surface, qui leur donne une morphologie de plateau (plateau de Goro). Certains bassins topographiques ont subi une phase d'érosion puis de sédimentation (KO2, KO4) recouvrant les restes de profil in situ.

Globalement, cet ensemble est actuellement en régime érosif. On peut trouver sur ces deux types de plateaux des dolines et cavités ainsi qu'une cuirasse ferrugineuse.



Figure 16 : Localisation du Projet de Goro au sein du complexe ultramafique – carte géologique simplifiée de Nouvelle-Calédonie

3.4.2 Géologie du site de Goro

La carte C11 de l'atlas cartographique présentant la géologie de la zone du projet minier montre la dominance de latérite épaisse et la grande formation de cuirasse en place sur péridotite qui constitue l'essentiel de la roche mère dans le secteur du plateau de Goro.

3.4.2.1 Description du profil lithologique du site de Goro

L'épaisseur du profil lithologique de Goro varie de 40 à 60 m et 7 horizons géologiques sont différenciés (Figure 17) :

ICP – Cuirasse

La cuirasse est une couche indurée d'oxydes (hématite) et d'hydroxydes de fer (goethite) constituant le sommet du profil latéritique. Elle résulte souvent de la lithification ('transformation d'un sédiment meuble en roche consolidée') des hydroxydes de fer contenus dans les débris ferrugineux en place ou remaniés (grenaille, concrétion, fragments de cuirasse plus ancienne). Du fait de son induration et du lessivage des couches inférieures, il est fréquent de rencontrer des cavités sous la cuirasse.

ISH – Grenaille

Le terme "grenaille" désigne communément une zone allant des oolithes aux gravillons ferralitiques en passant par les pisolithes, présentant une granulométrie millimétrique à centimétrique, sans matrice ou à matrice fine de latérite. Ces gravillons sont constitués de goethite et de limonite associés très localement à de la chromite, fragmentée et érodée, héritée de la roche mère.

LATR – Latérite rouge

Cet horizon correspond à une zone de latérite de couleur rouge brique à brun rouge, constituée presque exclusivement de goéthite et d'hématite bien cristallisées de granulométrie de l'ordre de quelques microns. Au sein de cet horizon, on distingue encore des éléments pisolithiques, dans la matrice latéritique, qui disparaissent toutefois vers le bas du profil. On détecte également des minéraux disséminés de chromite. Les latérites dont l'origine est allochtone sont généralement des latérites rouges, mais il peut exister des latérites rouges en place sur des profils non remaniés.

LATS – Latérite sédimentaire

Cette formation discordante, pourra être insérée dans le profil entre deux horizons, le plus souvent au sein de la latérite rouge. Elle est très difficile à caractériser et principalement constituée de latérite rouge riche en grenaille, et d'éléments provenant de l'érosion et l'altération de péridotites transportées (bastites, minéraux résiduels de chromites, galets altérés...). Un granoclassement de la grenaille peut être observé mais cet indice seul ne permet pas d'identifier une latérite sédimentaire. Cet horizon se rencontre le plus souvent dans des environnements fluvio-lacustres (bassins de sédimentation type KO4, KO5), où le dépôt de matériaux remaniés in-situ est le plus flagrant.

LATJ – Latérite jaune

La latérite jaune, appelée 'limonite' par les anglo-saxons, présente des enrichissements en nickel et cobalt. Elle a une couleur jaune et une granulométrie de quelques microns. La structure résiduelle du protolithe (péridotite : harzburgite ou dunite) peut être observée. Elle est composée de goéthite cristallisée en fines aiguilles (goéthite cryptocristalline) et de gibbsite (hydroxyde d'aluminium). Sa teneur en nickel est généralement supérieure à 1% et sa teneur en magnésium inférieure à 1%.

TRN – Transition

Au sein de cet horizon, la structure de la roche est encore visible mais elle commence à s'écraser. C'est dans la transition que s'achève l'altération de tous les silicates résiduels. C'est dans cette zone que se trouve la principale nappe aquifère du profil. Cela se traduit par un matériel riche en eau et peu compact. C'est également dans cet horizon que les concentrations en cobalt et manganèse sont les plus fortes, ces deux éléments étant presque invariablement associés sous forme d'asbolane.

Sa teneur en nickel est généralement plus élevée que l'horizon sus-jacent tout comme sa teneur en magnésium qui varie de 1 à 8 %. C'est d'ailleurs le critère géochimique utilisé lors de la révision des logs de sondages pour définir le toit (1 % MgO) et la base (8 % MgO) de cet horizon. Rarement, des blocs de roches altérées sont présents dans cet horizon.

SAP – Saprolite

La saprolite comprend des portions de roche saine (« boulders ») emballées dans une matrice argileuse de roche altérée plus ou moins indurée mais gardant le même volume que la roche saine. Le toit de cet horizon est marqué dès l'apparition des degrés d'altérations 1, 2, 3 et 4 (un degré d'altération 1 correspond à une roche saine alors qu'un degré d'altération 4 correspond à une roche très altérée, généralement friable, dont le protolithe est difficilement identifiable). Les taux de magnésium et de silice augmentent brusquement tandis que le fer chute. La granulométrie est très variable (quelques microns à plurimétrique) et ne présente aucun granoclassement. Les concentrations susceptibles de donner lieu à une exploitation sur un plan économique se situent dans les granulométries les plus fines (moins de 50,8 µm).

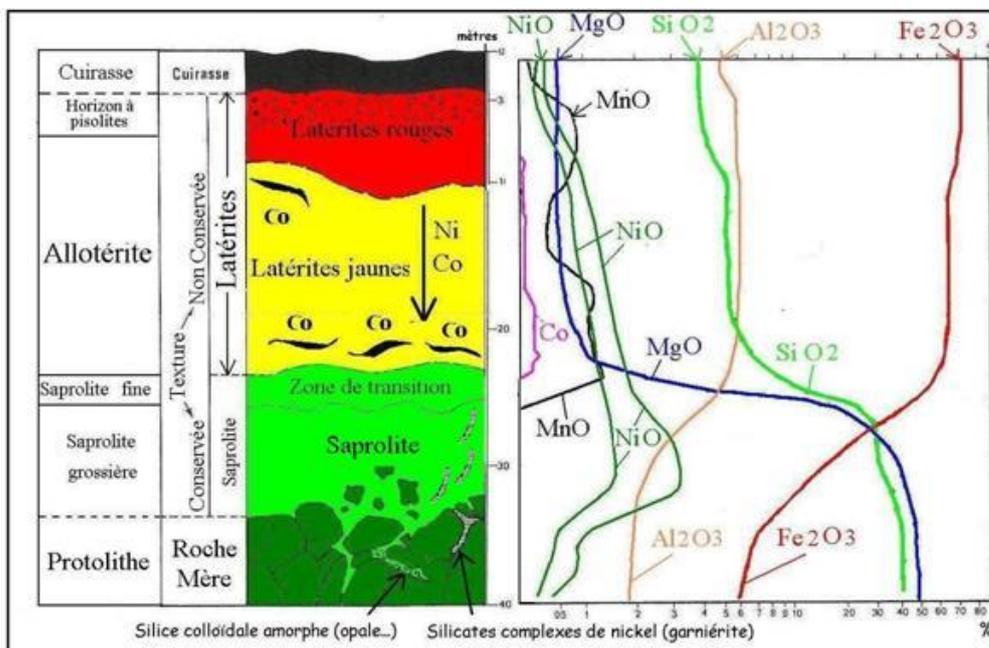
BRK – Roche mère

On appelle BRK la roche péridotite saine (harzburgite ou dunite). Le toit de la roche mère est défini quand les degrés d'altération 1 et 2 deviennent majoritaires sur trois mètres consécutifs avec moins de 15 % de zones de degrés 3, 4 sur les trois mètres. La dernière passe ne doit pas se terminer sur une zone de degrés 3 ou 4.

3.4.2.2 Description du profil d'altération des roches du site de Goro

Le profil d'altération du gisement de Goro est un profil type d'altération latéritique supergène de roche ultra-basique en milieu tropical, donnant naissance à un enrichissement en nickel et cobalt. Ces éléments sont originellement présents dans la péridotite (harzburgite ou dunite) mais en faible teneur, non économique. L'altération par le haut due au climat tropical chaud et humide entraîne une déstructuration partielle à totale des minéraux et la libération d'éléments tels que Fe, Mg, Mn, Ni et Co. Ces éléments vont se déplacer le long du profil et se recristalliser sous une forme différente (métasomatose), telle que l'hématite et la goéthite au toit du profil (cuirasse ferrugineuse superficielle et grenailles).

Lorsqu'on descend dans le profil, la teneur en éléments lourds, tels que Si, Mg, Ni et Co (qui ne peuvent être intégrés dans la structure des roches de surface) augmente, pour être maximale à la base du profil terreux, c'est-à-dire dans les couches de transition et de saprolite. En revanche, le fer recristallisé dans la cuirasse n'est pratiquement pas présent à la base du profil.



Source : VNC modifié d'après Trescases, 1975

Figure 17 : Altération et répartition des éléments chimiques le long du profil

3.5 PEDOLOGIE

De nombreux facteurs ont conduit à la formation des sols : la pédogenèse ancienne conditionnée par la nature de la roche mère, le climat actuel (système hydrographique et ruissellement), le couvert végétal et le relief.

Aux péridotites sont associés des sols appelés localement ‘terre rouge’ ou ‘latérite’.

L’essentiel des sols du secteur étudié appartient à la typologie des sols ferralitiques ferritiques.

3.5.1 Les sols ferralitiques ferritiques

Les sols ferralitiques ferritiques cuirassés du Sud de la Nouvelle-Calédonie ont une pédogenèse très ancienne issue de plusieurs phases de développement de la couche de cuirasse, et d’érosion des surfaces et dépôts, qui ont duré plusieurs millions d’années pour ainsi produire un sol composé de colluvions ferrugineuses en surface et un lessivage des argiles en profondeur (Latham *et al*, 1978).

Des études sur les éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes montrent que ces sols ont des fortes carences en azote, phosphore, potasse et calcium (Jaffre, 1980). A l’opposé, ils contiennent un excès de magnésium et d’oxydes métalliques.

Cette carence édaphique a favorisé un développement végétal composé des familles de plantes sclérophylles possédant des adaptations (petites feuilles, racines spécialisées) pour accumuler et retenir les maigres ressources en éléments nutritifs de la pluie et du sol (Beadle, 1966 ; Morat *et al*, 1986).

La teneur en éléments nutritifs des terres végétales des sols ferralitiques ferritiques cuirassés à Goro est directement liée au type de végétation et à son stade de développement. La tendance générale est à une augmentation légère en azote, phosphore et potassium dans l’horizon de surface, selon le stade de développement de la végétation. Cette matière organique contient souvent nettement plus de nutriments que le sol sous-jacent, indiquant une lente décomposition et libération des éléments nutritifs à partir de la litière.

3.5.2 La rhizosphère

3.5.2.1 *Les sols ferralitiques ferritiques cuirassés du plateau de Goro*

Ils sont caractérisés par une couche superficielle composée en grande partie de blocs, agrégats et graviers pisolithiques de cuirasse, contenant de la matière organique en provenance de la décomposition de la litière qui varie en recouvrement selon le type de végétation et l’abondance des blocs.



(a) Un profil de sol ferralitique ferritique cuirassé montrant l'hétérogénéité des poches de terre végétale, (b) la litière en maquis arbustif ouvert, (c) la litière en maquis paraforestier, (d) montrant l'épaisseur de la litière dans les poches de terre végétale.

Figure 18 : Différents profils de sols ferralitiques

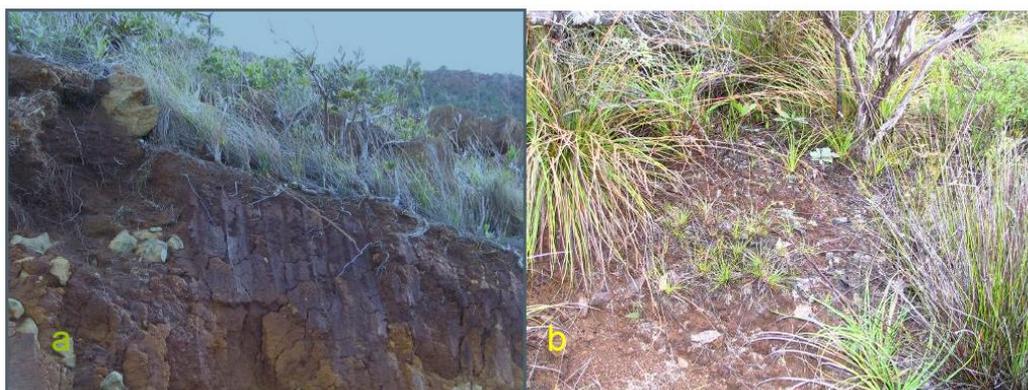
Cette couche superficielle colluvionnaire de terre végétale ou "top soil" a un développement racinaire dépassant rarement 30 cm à 40 cm de profondeur dans les formations de maquis minier, indiquant ainsi la zone biologique de développement des plants (Bourdon et Podwojewski, 1988 ; Becquer *et al*, 1995).

3.5.2.2 Les sols ferralitiques ferritiques érodés

Les sols ferralitiques ferritiques érodés des pentes sont généralement superficiels (moins de 2 m de profondeur) avec un horizon supérieur composé de graviers ferrugineux avec parfois des blocs de péridotite (Latham *et al*, 1978).

La couche d'humus est quasi inexistante (moins de 2 cm d'épaisseur) (Figure 19a) et la litière très éparse (Figure 19b).

Les racines sont abondantes dans les 10 premiers centimètres et rarement présentes au-delà de 40 cm de profondeur.



(a) Un profil de sol ferraltique ferritique érodé montrant la couche quasi inexistante de terre végétale, (b) la litière du maquis ligno-herbacé.

Figure 19 : Différents profils de sols ferralitiques ferritiques

3.6 SISMICITE

La sismicité locale en Nouvelle-Calédonie est plutôt faible alors que celle de l'arc du Vanuatu peut être forte. Les séismes peuvent atteindre des magnitudes maximales observées $M_w = 8$ et être localisés au minimum à 100 km de Maré, 150 km de Lifou et environ 300 km de Nouméa.

L'aléa sismique probabiliste, pour une période de retour de 475 ans, est faible à très faible sur la plus grande partie du territoire et plus élevé dans la partie Sud-Est (accélération horizontale maximale du sol médiane : maximum obtenu de 100 milli-g à l'extrémité Sud-Est de l'île puis diminution progressive jusqu'à 30 milli-g au Nord-Ouest).

Sur le site de Goro, une étude réalisée en décembre 2001, a permis de définir statistiquement une accélération horizontale de la roche mère de 70 milli-g pour un événement courant et une accélération horizontale maximale de 110 milli-g pour un événement plus rare, correspondant à un séisme de période de retour de 500 ans.

L'étude réalisée en complément en novembre 2012 permet d'identifier le SMHV (Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable) et le SMS (Séisme Maximal de Sécurité), conformément à l'arrêté du 10 mai 1993. Le tableau ci-dessous présente les correspondances avec les accélérations horizontales.

Tableau 12 : Valeurs d'intensité macro-sismique et accélérations horizontales correspondantes

	Intensité (échelle de Mercalli modifiée)	Accélération horizontale maximale sur la roche-mère (g)
SMHV	VI	0,06 – 0,07 g
SMS	VII	0,10 – 0,15 g

Une valeur d'intensité maximale d'accélération horizontale de 150 milli-g est donc retenue comme base de calcul de structure des installations de stockage (digue).

4

MILIEU EAUX CONTINENTALES

4.1 RIVIERES

4.1.1 Hydrographie

 Voir Atlas - Carte C12 - Réseau hydrographique

Plusieurs bassins versants correspondent aux cours d'eau principaux caractérisant la région sud-est de la Nouvelle-Calédonie. Les bassins versants listés ci-après sont étudiés dans le cadre du projet d'exploitation minière :

le bassin versant de la rivière Kwé : d'une superficie de 39,05 km², ce bassin est drainé par 4 affluents. Le plus grand d'entre eux est celui drainé par la rivière Kwé Ouest, il s'étend sur environ 8 km et draine une superficie de 17,44 km². Le second affluent le plus important est la rivière Kwé Nord (10,9 km²). La Rivière Kwé Est est un affluent plus modeste qui mesure environ 4 km et draine une superficie de 2,25 km². Le dernier affluent est le creek de la crête Sud (1,60 km²) qui jouxte la limite sud du bassin versant de la Kwé Est. Par convention, le tronçon de rivière situé en aval de la confluence entre la Kwé Ouest, la Kwé Nord et la Kwé Est est appelé Kwé Principale. Ce tronçon est orientée sud-est et débouche en mer dans la baie Kué au niveau du canal de la Havannah.

le bassin versant de la rivière Trou Bleu : situé au sud du bassin versant de la Kwé Ouest, d'une superficie de 6,43 km², il prend une orientation sud-est en direction du canal de la Havannah en passant par Port Boisé ;

le bassin versant de la rivière Wadjana : adjacent à la limite est du bassin versant de la Kwé Nord, d'une superficie de 3,52 km², il s'écoule selon une orientation sud-est et débouche en une cascade de 60 m de hauteur au niveau de la tribu de Goro ;

le bassin versant de la rivière Kuébini : situé au nord du Plateau de Goro, adjacent à la limite est du bassin versant de la Rivière des Lacs, d'une superficie de 32,1 km², il s'écoule vers le Sud-est et débouche sur la côte à proximité de la tribu de Goro ;

le bassin versant de la rivière des lacs (plaine des lacs) : Ce bassin est situé en bordure Nord du bassin de la Kwé. Avec une superficie de 81,88 km², il s'agit du plus grand bassin versant du secteur. Il est caractérisé par des pentes très faibles et la présence de nombreux lacs et zones humides. Une large partie de la plaine des Lacs a été inscrite en 2014 sur la liste des zones humides de la convention RAMSAR. La rivière des lacs qui draine ce bassin versant est drainée par le lac de Yaté ;

le bassin versant de la rivière Truu : situé au sud-est du Plateau de Goro, d'une superficie de 3,34 km², il s'écoule vers le Sud-est et débouche dans la Baie de Goro ;

le bassin versant de la rivière Cascade : situé au sud-est du Plateau de Goro, il s'étend sur une superficie de 2,02 km². Il s'écoule vers le sud et est connecté hydrauliquement au bassin de la Truu. Un conduit souterrain existe entre le Gouffre (situé en aval de Cascade) et le captage de la Truu ;

le bassin versant d'Entonnoir : situé à l'est du Plateau de Goro et jouxtant la limite ouest du bassin versant de la Wajana, il draine une superficie de 1,15 km². Il s'écoule vers le sud-ouest, et comme pour Cascade il est connecté hydrauliquement au bassin versant de la Truu avec comme point de sortie la source de la Truu ;

les bassins versants de la baie de Prony sont constitués dans la zone du projet, des bassins versants de la rivière des Kaoris, de Kadji, du creek de la baie Nord et de la baie de Prony Est. La superficie totale de ces bassins est de 18,43 km².

Les caractéristiques de chaque bassin versant sont présentées dans le Tableau 13. De manière typique pour le Sud Est de la Nouvelle Calédonie, toutes ces rivières présentent des pentes généralement fortes et coulent dans un chenal étroit, entrecoupé de rapides et de cascades. Le régime d'écoulement est généralement torrentiel. Les sinuosités générales des cours d'eau sont variables. Les rivières de Trou Bleu et Kaori sont peu sinueuses, tandis que la Kuébini et la Kwé Nord-est sont très sinueuses.

Tableau 13 : Caractéristiques des principaux bassins versants du projet d'exploitation minière

Bassins versants principaux	Surface BV (km ²)	Rivière				Installations VNC
		sous bassins versants	Longueur (km)	Pente (%)	Sinuosité (1)	
Rivière Kwé	18,09	Kwé Ouest	8,3	4,8	1,3	Stockage de résidus épaissis, usine de préparation du minerai (limite Kué Ouest et Kué Nord) Future zone d'aménagement KO4
	10,89	Kwé Nord	7,3	5,2	1,4	Mine
	2,25	Kwé Est	4,2	3,6	1,2	
	1,60	Creek de la Crête Sud	2,6	10,3	-	Aucune installation
	6,94	Kwé Principale	4,1	1,4	1,2	
Total Kwé	39,77					
Trou Bleu	6,43	Trou Bleu	3,7	3,2	1,1	Aucune installation
Wajana	3,52	Wajana	3,8	7,1	1,5	Aucune installation
Kué binyi	32,10	Kuébini	8,0	3,0	1,7	Aucune installation
Truu	3,34	Truu	4,4	10	-	Aucune installation
Cascade	2,02	Cascade	2,3	6	-	Aucune installation
Entonnoir	1,15	Entonnoir	1,2	8,5	-	Aucune installation
Baie de Prony	14,20	Kaori	3,9	6,6	1,1	Aucune installation
	13,46	Kadji	4,7	7,7	1,2	Base-vie, tuyau d'eau brute (faible emprise)
	9,57	Creek Baie Nord	5,3	n/d	n/d	Site industriel, convoyeur port-site industriel, station d'épuration base-vie, émissaire des effluents liquides
	18,43	Baie de Prony Est (2)	n/d	n/d	n/d	Port, convoyeur port-site industriel
Plaine des lacs	81,88	-	-	-	-	Pépinière, camp de la géologie
Total	104,22					

(1) Longueur réelle de la rivière/longueur de la rivière en ligne droite ;

(2) Il ne s'agit pas d'une rivière mais du nom du bassin versant secondaire ;

n/d = sans objet

Les principaux bassins versants directement et indirectement impactés par le projet minier de VNC ainsi que les bassins versants proches du site sont représentés sur la Figure 20. Les stations de mesure des débits permettant la description des écoulements sur la zone de l'étude et à proximité y sont également représentées.

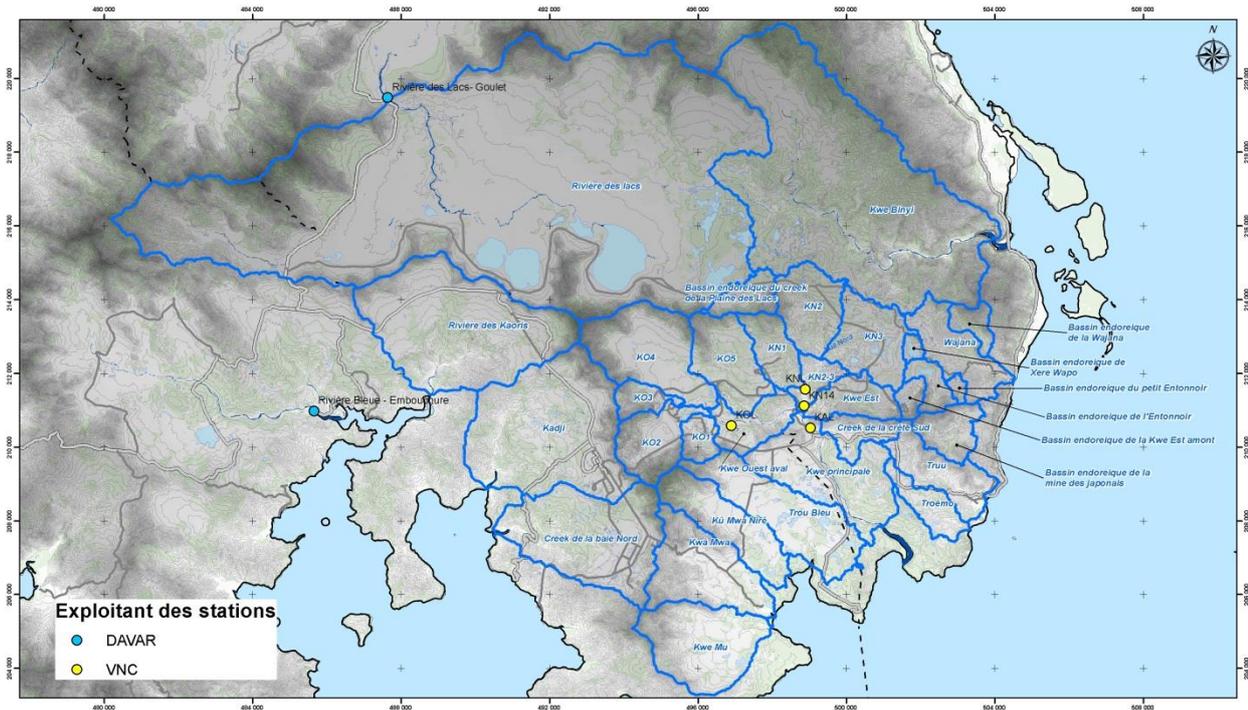


Figure 20 : Bassins versants de la zone d'étude et des alentours proches

La rivière Truu, la rivière Wajana et la rivière Kuébini font également l'objet de suivis en raison de leur usage par les populations :

- la rivière Truu alimente les tribus de Truu et de Goro ;
- la Wajana alimente la Tribu de Goro.

Un nouveau projet de captage sur la rivière Kuébini permettra d'alimenter en eau potable toutes les tribus du Sud depuis le Nord de Yaté jusqu'à Goro.

4.1.2 Régime hydrologique

 Voir Atlas Carte C13 – Eaux de surface : réseau d'acquisition limnimétriques et débitométriques

 Voir Atlas Carte C14 – Eaux de surface : réseau d'acquisition de données physico-chimiques

Le régime hydrologique des rivières de Goro est suivi grâce aux observations réalisées sur plusieurs stations hydrométriques. Trois stations de mesures des débits ont été mises en place sur le bassin de la Kwé et sur ses principaux affluents. Il s'agit de la station KAL sur la Kwé Principale, de la station KNL sur la rivière Kwé Nord (remplacée en 2008 par la station KN14) et de la station KOL sur la rivière Kwé Ouest. Les écoulements sur le site sont mesurés depuis 1995. Le suivi en continu mis en place sur la rivière Kwé Est (station KE05) est trop récent pour permettre de dégager des éléments statistiques relatifs au régime de cet affluent de la rivière Kwé Principale.

La DAVAR dispose de deux stations de mesures d'écoulement situées à proximité du site de Goro : la station Le Goulet sur la rivière des Lacs située à 9 km au nord-ouest du site et dont les enregistrements ont commencé en 1956, et la station de la rivière Bleue à l'embouchure, à 12 km à l'ouest du site, pour laquelle les observations ont débuté en 1974.

Dans la suite de cette partie, les données des stations KAL, KOL et KNL (puis KN1) et des 2 stations de la DAVAR sont analysées pour la description des écoulements aux pas de temps

annuels, mensuels et journaliers. Lorsqu'elles présentent des lacunes, elles sont complétées et consolidées à l'aide des données des stations du site ainsi que celles des deux stations régionales situées dans les environs de Goro.

Le Tableau 14 présente les caractéristiques des bassins versants jaugés sur la zone d'étude et à proximité, ainsi que la longueur des chroniques observées.

Tableau 14 : Caractéristiques des bassins versants et des écoulements

Station	Rivière	Superficie (km ²)	Taille de l'échantillon
KAL	Kwé Principale	32,97	1996 – 2012 (16 ans)
KNL	Kwé Nord	10,37	1995-2002 et 2005-2008 (12 ans)
KOL	Kwé Ouest	11,93	2005 -2012 (7 ans)
Goulet	Rivière des lacs	77	1958 – 2010 (53 ans)
Embouchure	Rivière Bleue	33,3	1974 – 2010 (37 ans)

Le Tableau 15 présente un bilan hydrique aux différentes stations de jaugeage sur la zone de l'étude et ses environs (rivière Bleue et rivière des Lacs). Ce tableau présente la superficie des bassins versants drainés aux stations de jaugeage (S), la pluviométrie interannuelle (Pan), la lame d'eau annuelle ruisselée (L), le coefficient de ruissellement (CR), le module annuel (Qan) et le débit spécifique (q_s).

A des fins de comparaison, le module interannuel est estimé à partir des seules valeurs observées aux différentes stations de jaugeage, sur la période commune 1996-2012 (sauf pour les stations de jaugeage de la DAVAR où les données n'étaient disponibles que jusqu'en 2010).

Tableau 15 : Bilans hydriques aux stations de jaugeage (1996–2012)

	S km ²	Pan mm	L mm	CR	Qan m ³ /s	Qs l/s/km ²
KAL	32,97	3141	2166	0,69	2,26	69
KNL	10,37	3285	2607	0,79	0,86	83
KOL	11,93	3052	1378	0,45	0,52	44
Rivière des Lacs à Goulet	77	2783	2336	0,84	5,70	74
Rivière Bleue à l'embouchure	33,3	2423	1826	0,75	1,93	58

On remarque que les débits spécifiques de KAL et KNL sont similaires. En revanche, ils sont plus faibles à KOL. Cette différence peut s'expliquer non seulement par une courte durée d'observation des écoulements (début des observations en 2006 et nombreuses lacunes) mais surtout par ses particularités hydrogéologiques (présence de sources en aval de la station KOL).

Au niveau des stations régionales, en revanche, on remarque que le débit spécifique de la rivière des Lacs à Goulet est très proche de celui des rivières Kwé Nord et Kwé Principale. Par contre, celui de la rivière Bleue est plus faible. Cette différence peut s'expliquer par la pluviométrie ainsi que par la morphologie des bassins versants, la rivière des Lacs étant principalement constituée d'une zone humide.

Les coefficients de ruissellement annuels varient de 0,45 à 0,79 sur la Kwé. Si l'on fait exception de la station KOL on remarque que les coefficients de ruissellement annuels aux stations KAL et KNL,

même s'ils sont un peu plus faibles qu'aux stations régionales, restent dans des ordres de grandeur similaires.

La Figure 21 présente un schéma du bassin versant de la Kwé dans la zone de projet précisant la superficie des bassins versants contributifs ainsi que les modules des cours d'eau jaugés, les lames d'eau annuelles ruisselées ainsi que les débits spécifiques.

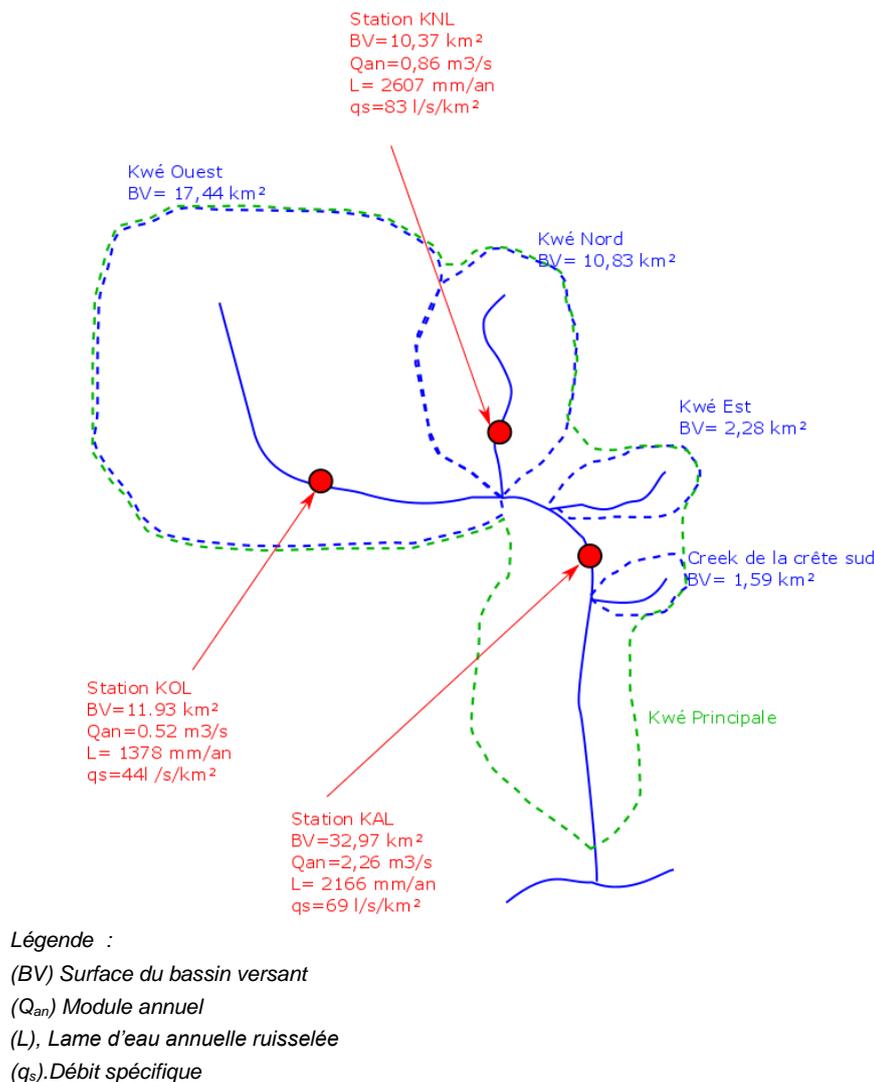


Figure 21 : Schéma hydraulique du bassin versant de la Kwé, débits moyens annuels et modules

Variabilité interannuelle

Les débits moyens annuels et les modules de la période 1996–2012 aux stations de jaugeage de la zone d'étude (KAL, KNL et KOL) et à proximité du site (Rivière des Lacs à Goulet et Rivière Bleue à l'embouchure) sont synthétisés dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Débits moyens annuels et modules aux principales stations de jaugeages

	Cours d'eau de la zone d'étude			Cours d'eau à proximité du site	
	Kwé Principal KAL	Kwé Nord KNL	Kwé Ouest KOL	Rivière Bleue Embouchure	Rivière des Lacs Goulet
1996	2,38	0,86	0,56	1,76	5,83
1997	2,11	0,83	0,56	2,31	6,11
1998	1,49	0,64	0,44	1,41	4,61
1999	2,47	0,92	0,62	2,32	6,73
2000	3,33	1,21	0,70	2,55	8,42
2001	2,88	1,05	0,65	2,20	6,28
2002	1,93	0,75	0,49	1,44	4,41
2003	1,89	0,68	0,40	1,43	4,37
2004	1,85	0,70	0,37	1,77	5,00
2005	1,51	0,58	0,34	1,51	4,20
2006	1,92	0,68	0,37	1,55	4,56
2007	2,38	0,88	0,59	2,22	6,35
2008	3,15	1,54	0,89	2,60	8,51
2009	2,29	0,87	0,48	2,27	5,73
2010	1,66	0,64	0,33	1,54	4,35
2011	2,47	0,89	0,55	-	-
2012	2,75	0,99	0,51		
Moyenne	2,26	0,86	0,52	1,93	5,70

La Figure 22 présente l'évolution des débits moyens annuels de la Kué Principale à la station KAL pour la période 1996-2012. Les débits moyens annuels, le module (Q_{an}) ainsi qu'une moyenne mobile sur cinq ans sont présentés. La moyenne mobile sur cinq ans illustre les tendances à moyen terme des écoulements annuels. Ainsi, on constate que la Kué Principale à la station KAL a été caractérisée par une hydraulité forte au début de la période d'observation (1996-2001) puis une période sèche (2002-2006). La période récente tend à un retour à une hydraulité moyenne (2007-2012), cette tendance est fortement influencée par l'année 2008.

L'année 2000 constitue l'année la plus humide de cette période avec un débit moyen de 3,37 m³/s alors que l'année 2005 constitue l'année la plus sèche avec un débit moyen de 1,52 m³/s.

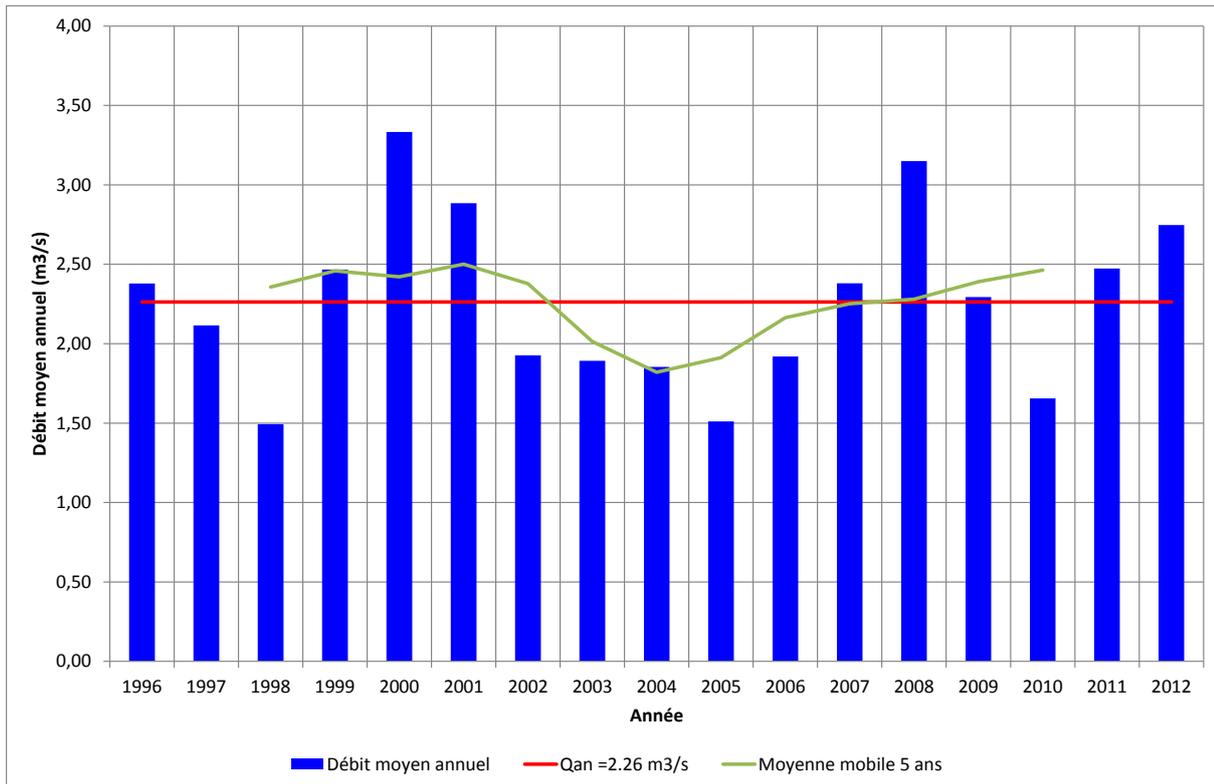


Figure 22 : Débits moyens annuels caractéristiques à la station KAL

Variabilité saisonnière

La Figure 23 présente les débits moyens mensuels (moyenne des débits journaliers sur un mois) de chaque année à la station KAL, ainsi que les valeurs moyennes et médianes et les débits S10 et H10.

La station KAL est caractérisée par un fort débit moyen mensuel entre mars et avril. Les mois les plus secs sont octobre et novembre. Les plus fortes irrégularités sont observées entre novembre et mars, au cours de la saison humide. Au cours de cette période, les coefficients d'irrégularité (s'obtiennent par la formule $H10/S10$) sont supérieurs à 4, avec un pic en février au cours duquel ce ratio excède 10, traduisant une grande variabilité interannuelle pour cette période de l'année. Sur les autres mois de l'année, excepté le mois de juillet, l'amplitude entre les valeurs décennales sèches et humides est moins prononcée, le débit moyen s'avérant plus régulier d'une année sur l'autre. Des crues observés en juillet expliquent l'augmentation du coefficient d'irrégularité pendant cette période de l'année.

Les différences entre les valeurs moyennes et médianes deviennent forte pour les mois où les variations interannuelle du débit sont les plus fortes. Une comparaison des médianes des débits moyens mensuels pour la station KAL avec les stations jaugées voisines (Rivière des Lacs et de Rivière Bleue) indique la même tendance, à savoir une augmentation progressive du débit moyen entre novembre et avril puis une diminution régulière jusqu'à la fin du mois d'octobre.

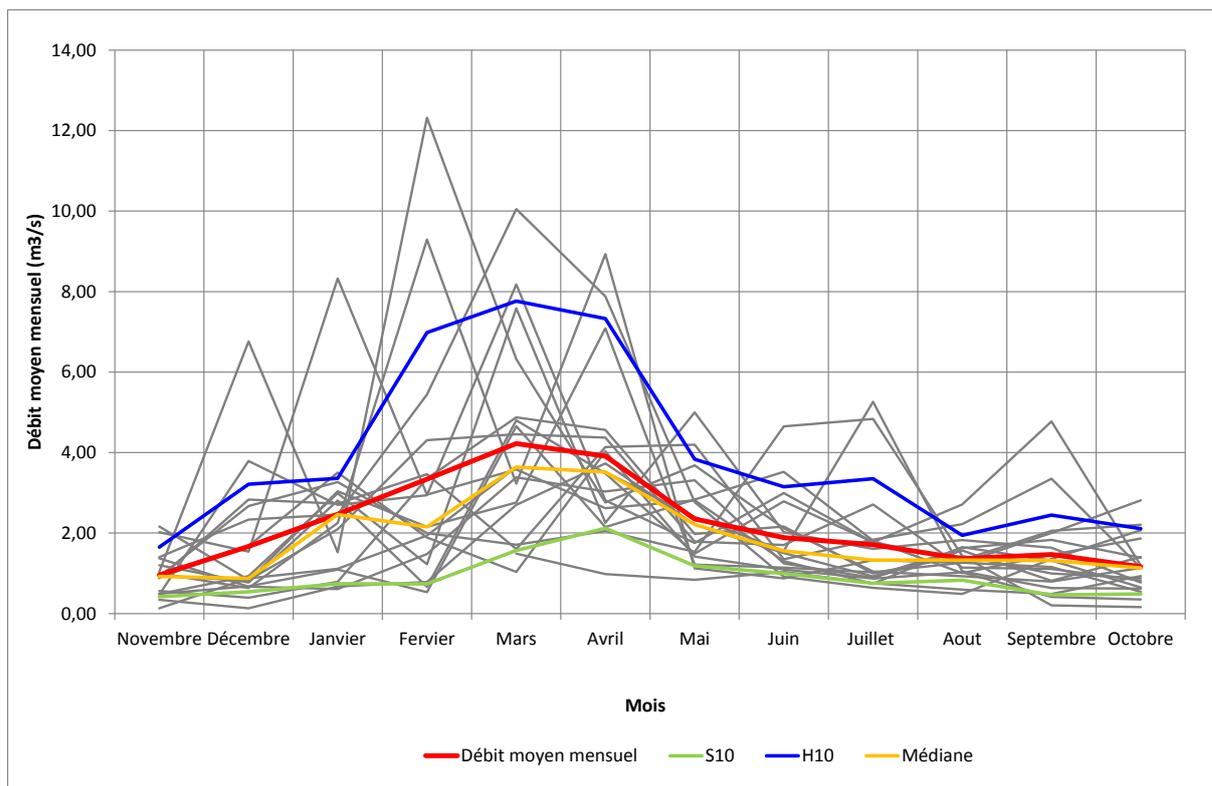


Figure 23 : Débits moyens mensuels caractéristiques à la station KAL

Le Tableau 17 fournit les caractéristiques mensuelles des débits pour les différentes stations de jaugeage, sur le site et à proximité. Ce tableau renseigne sur les valeurs mensuelles médianes (*M*), décennales sèches (*S10*) et décennales humides (*H10*).

L'ensemble de ces caractéristiques a été calculé sur la période de référence 1996-2012. Les caractéristiques mensuelles des stations de la DAVAR ont été extraites du « *Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie* » de la DAVAR de 2009.

Tableau 17 : Caractéristiques des débits mensuels aux stations de jaugeage (m³/s)

		N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
KAL	Med	0,92	0,88	2,46	2,16	3,64	3,51	2,21	1,56	1,33	1,33	1,32	1,13
	S10	0,42	0,54	0,74	0,74	1,57	2,12	1,19	1,00	0,75	0,83	0,46	0,49
	H10	1,65	3,21	3,36	6,98	7,76	7,33	3,84	3,15	3,35	1,94	2,45	2,11
KNL	Med	0,35	0,50	0,94	0,77	1,29	1,22	0,93	0,60	0,59	0,55	0,48	0,40
	S10	0,20	0,22	0,36	0,36	0,67	0,87	0,49	0,47	0,36	0,34	0,27	0,21
	H10	0,56	1,08	1,36	2,80	2,33	2,93	1,46	1,13	1,39	0,83	1,03	0,95
KOL	Med	0,18	0,25	0,64	0,56	0,82	0,71	0,48	0,37	0,29	0,26	0,20	0,18
	S10	0,07	0,12	0,19	0,29	0,48	0,57	0,33	0,21	0,16	0,10	0,09	0,04
	H10	0,37	0,68	1,02	1,54	1,71	1,63	0,98	0,68	0,74	0,54	0,62	0,38
Rivière des Lacs	Med	2,07	2,45	5,20	7,8	9,70	8,19	4,52	3,9	3,09	2,86	1,66	1,25
	S10	0,61	0,46	1,39	2,29	3,37	2,98	1,77	2,24	1,3	0,95	0,66	0,52
	H10	9,54	8,99	17,59	16,94	22,21	18,87	10,63	9,72	5,77	6,39	4,53	3,48
Rivière Bleue	Med	0,57	0,84	1,57	2,36	3,46	2,65	1,93	1,38	0,86	0,95	0,52	0,40
	S10	0,18	0,25	0,28	0,53	1,38	1,04	0,66	0,62	0,41	0,35	0,25	0,21
	H10	1,29	3,36	4,03	7,98	7,86	5,26	3,26	3,1	2,27	2,16	1,63	1,13

4.1.3 Débits extrêmes

Crues

La saison la plus propice aux crues en Nouvelle-Calédonie est la saison chaude et humide de novembre à avril, néanmoins des crues peuvent survenir également au cours des saisons de transition.

Le Tableau 18 renseigne sur les débits de crues aux stations KAL, KNL et KOL sur la zone d'étude et aux stations de la Rivière des Lacs et de la Rivière Bleue au voisinage de la zone d'étude. Il recense, sur la période 1996-2013, les valeurs de débits maximaux journaliers (QJMax) et les débits de pointe (QIX) enregistrés au niveau de chaque station. On constate que la plupart des crues sont concomitantes pour l'ensemble des stations, sauf peut-être au niveau de la station Rivière Bleue qui présente des occurrences de crue différentes. Ce constat met en évidence une bonne homogénéité régionale des épisodes pluvieux majeurs.

Seul le cyclone Beti du 27 au 28 mars 1996 a engendré une crue sur l'ensemble des cours d'eau de la zone d'étude et de ses alentours, le 27 mars 1996. Le cyclone Vania du 11 au 16 janvier 2011 a engendré une crue au niveau des stations KAL et KNL le 14 janvier 2011, troisième plus forte crue enregistrée pour ces stations. Les autres cyclones et dépressions tropicales répertoriés dans le chapitre sur la Climatologie n'ont pas engendré la crue maximale annuelle au niveau des stations de jaugeage. Des crues ont néanmoins pu être enregistrées au niveau de ces points de contrôle.

Des crues ont néanmoins pu être enregistrées au niveau de ces points de contrôle.

Tableau 18 : Débits de crues aux différentes stations de jaugeage

Station KAL			Station KNL			Station KOL			Rivière des Lacs		Rivière Bleue	
Date	QJMax	QIX	Date	QJMax	QIX	Date	QJMax	QIX	Date	QJMax	Date	QJMax
27/03/1996	83,93	217,19	27/03/1996	20,13	47,501				27/03/1996	285,24	27/03/1996	72,16
07/07/1997	51,87	131,02	16/06/1997	7,54	45,854				07/07/1997	108,50	08/01/1997	29,15
05/04/1998	37,41	89,56	05/04/1998	11,65	29,764				20/05/1998	30,52	1998	-
15/04/1999	33,1	116,35	15/04/1999	8,79	30,797				16/04/1999	48,44	15/04/1999	35,17
29/02/2000	67,65	267,37	29/02/2000	21,09	69,367				29/02/2000	154,35	29/02/2000	54,78
07/04/2001	57,95	93,63	18/02/2001	15,34	33,704				2001	-	18/04/2001	57,22
04/04/2002	60,45	139	04/04/2002	20,51	45,688				04/04/2002	89,07	07/03/2002	24,93
16/07/2003	84,17	329,84	16/07/2003	23,49	-				16/07/2003	174,31	16/07/2003	38,74
11/05/2004	25,62	63,5	11/05/2004	7,15	-				11/05/2004	68,91	28/06/2004	21,36
12/01/2005	16,02	-	12/01/2005	7,25	16,138				12/01/2005	45,36	06/04/2005	18,5
01/03/2006	30,49	62,12	01/03/2006	10,3	22,727	01/03/2006	7,99	19,73	01/03/2006	65,55	21/04/2006	20,46
25/08/2007	25,66	92,7	06/01/2007	16,8	48,071				29/06/2007	67,37	25/08/2007	33,91
23/03/2008	83,37	195,93	23/03/2008	37,27	85,16	23/03/2008	24,06	102,2	23/03/2008	231,38	23/03/2008	39,22
25/03/2009	29,83	53,54	25/03/2009		-	25/03/2009	6,32	11,56	07/02/2009	41,89	24/03/2009	17,32
28/03/2010	14,91	55,28	28/03/2010		-	28/03/2010	3,12	-	29/03/2010	35,22	27/03/2010	19,92
14/01/2011	115,21	293,94	14/01/2011	28,12	75,902	14/01/2011	41,38	125,04				
14/03/2012	24,05	116,328	11/06/2012	2,14	25,975	13/03/2012	10,21	57,47				
03/07/2013	98,99	327,68	03/07/2013	30,33	80,824							

Afin de mieux caractériser les crues sur la zone d'étude, il est présenté une analyse à la station KAL sur la rivière Kué Principale.

La Figure 24 illustre la saisonnalité des crues à la station KAL en fonction du nombre de crues intervenues chaque mois de l'année (nombre d'occurrence mensuelle) et de leur intensité (la moyenne des débits de pointe QIX pour chaque mois où une crue s'est produite). D'après cette figure, on constate que la plupart des crues se produisent en mars ou avril avec respectivement 6 et 4 crues produites au cours de ces mois sur 18 au total. Elles peuvent toutefois se produire sur une saison beaucoup plus longue. A la station KAL, des crues se sont produites tout au long de la période allant de janvier à août (sauf juin).

Du point de vue de l'intensité, ce sont les mois de janvier, février et juillet qui présentent les plus fortes crues. Les plus forts débits de pointe observés à la station KAL se sont produits en juillet.

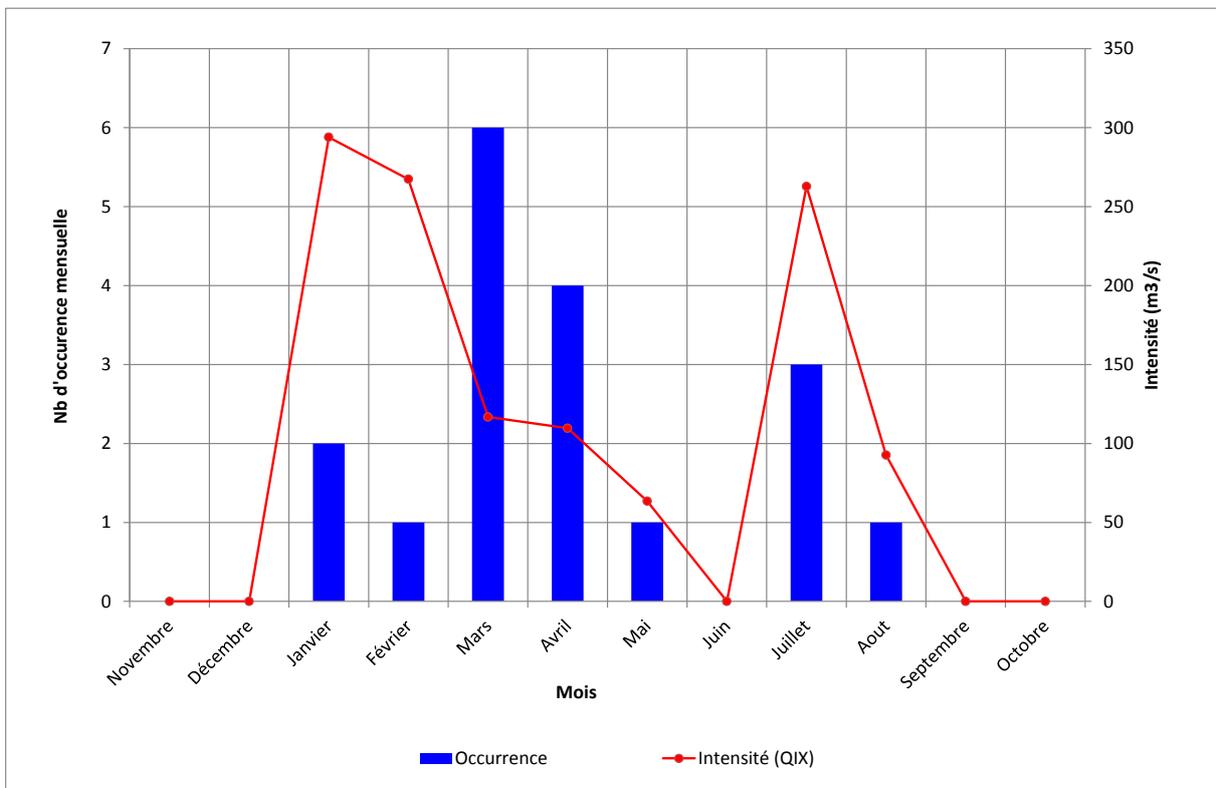


Figure 24 : Saisonnalité des crues à la station KAL

Le Tableau 19 fournit les caractéristiques des crues aux différentes stations de jaugeage considérées dans cette analyse. Une analyse fréquentielle a été réalisée sur les échantillons de débits de pointe au niveau de chaque station de jaugeage. Les débits de pointe observés sur le bassin de la Kué ont été ajustés grâce à une loi de Gumbel, on obtient ainsi les quantiles de pointe $Q(T)$. Les débits de pointe des stations régionales de Rivière des Lacs et Rivière Bleue ont été extraits (et extrapolés à la période de retour 1 000 ans) du *Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie* de la DAVAR.

Le Tableau 19 recense ainsi les quantiles de débits de pointe $Q(T)$ pour des périodes de retour allant de 2 à 1 000 ans ainsi que les coefficients de Francou Rodier K_{FR} correspondants. Les paramètres d'ajustement des débits de pointe des lois de Gumbel y sont également reportés.

Le coefficient de Francou Rodier K_{FR} est un index de sévérité des crues exprimant l'importance d'une crue sous forme d'un nombre indépendant de la taille du bassin versant. Il permet de

comparer les bassins versants entre eux qu'ils soient petits ou grands. Ainsi, dans ce tableau, on note que les crues de la station KAL sont à peu près du même ordre de grandeur (ou légèrement inférieures pour les plus fortes crues) que celles de la station de la rivière des Lacs. En revanche, celles de la station KNL sont faibles.

Tableau 19 : Valeurs caractéristiques de crues aux stations de jaugeage

T	KAL		KNL		Rivière des Lacs		Rivière Bleue	
	Q(T)	K _{FR}	Q(T)	K _{FR}	Q(T)	K _{FR}	Q(T)	K _{FR}
2	137	4,04	43	3,53	204	3,96	85	3,72
5	221	4,36	63	3,85	369	4,38	147	4,08
10	276	4,51	76	4,00	479	4,57	189	4,25
20	330	4,63	89	4,11	584	4,71	228	4,38
50	398	4,76	106	4,23	720	4,86	280	4,52
100	450	4,84	119	4,31	822	4,95	318	4,60
1000	621	5,05	160	4,52	1158	5,20	445	4,83
Paramètres d'ajustement des lois de Gumbel								
Y ₀	110		36		150		65	
G	74		18		146		65	

Notons par ailleurs que certaines crues observées sur le territoire font partie des records mondiaux de crues répertoriés dans le Répertoire Mondial des Crues Maximales Observées publié par l'Association Internationale de l'Hydrologie Scientifique (AIHS, 2003).

La Figure 25 présente les 50 plus fortes crues observées dans le monde pour des superficies variant entre 12 000 000 et 5 000 000 km², ainsi que les records de débit observés en Nouvelle-Calédonie. Pour représenter la sévérité des crues dans le monde et en Nouvelle-Calédonie, les droites correspondant aux coefficients de Francou Rodier (KFR) pour des valeurs comprises entre 5,5 et 6,5 sont également reportées sur cette figure. On remarque que le cyclone Gyan a généré des records de crues au niveau de 4 bassins versants. Le cyclone Coleen a généré un record de crue au niveau de la Dumbéa.

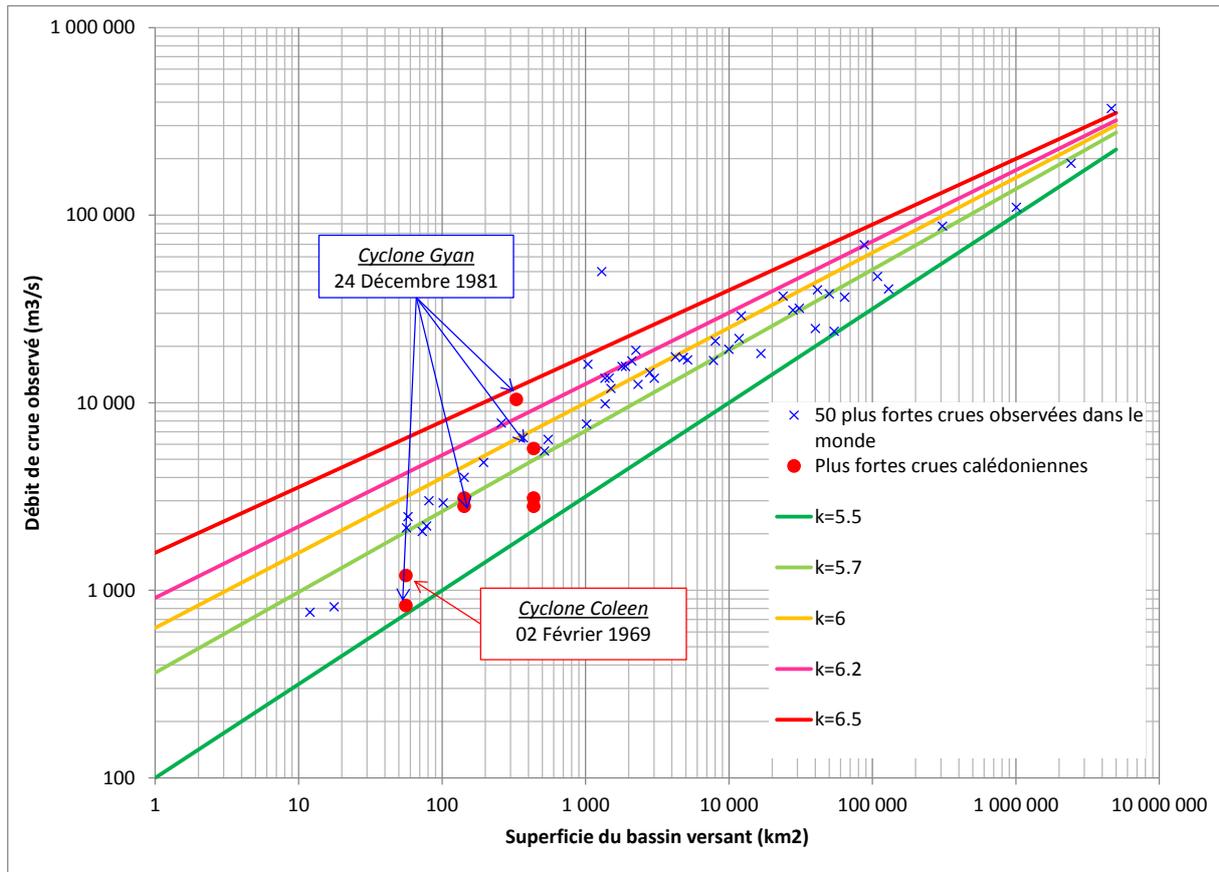


Figure 25 : Records mondiaux de crues et crues calédoniennes

Les données détaillées des événements observés en Nouvelle-Calédonie sont présentées dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Episodes remarquables de crues en Nouvelle-Calédonie

Station	Superficie km ²	Date	Débit de pointe m ³ /s	K(Fr)	Evènement cyclonique
Dumbéa Est	56	02/02/1969	1 200	5,33	Cyclone Coleen
		24/12/1981	830	5,07	Cyclone Gyan
Rivière des Lacs - Goulet	77	19/01/1968	600	4,73	
		25/12/1981	505	4,61	Cyclone Gyan
Yaté Barrage	435	25/12/1981	5 700	5,81	Cyclone Gyan
		30/11/1937	3 100	5,32	
		24/04/1937	2 800	5,24	
Ouinne Embouchure	143	13/02/1981	3 100	5,71	
		24/12/1981	2 800	5,63	Cyclone Gyan
Ouaieme derniers rapides	330	08/03/1975	400	4,19	Cyclone Alison
		24/12/1981	10 400	6,38	Cyclone Gyan

Source : AIHS, 2003

Etiages

Le débit d'étiage est le débit minimum d'un cours d'eau calculé sur un pas de temps donné en période de basses eaux. Pour une année donnée, on distinguera :

- le débit d'étiage journalier (absolu) ;
- le débit d'étiage mensuel qui est la moyenne des débits journaliers du mois d'étiage (QMNA) ;
- le débit caractéristique d'étiage (DCE) qui est le débit journalier en-dessous duquel l'écoulement diminue dix jours consécutifs dans l'année.

Les caractéristiques d'étiage du bassin de la Kué, situé dans la zone d'étude, et des bassins de Rivière des Lacs à Goulet et Rivière Bleue à l'embouchure, situées à proximité de la zone d'étude, sont données dans le Tableau 21.

Les caractéristiques d'étiage des stations à proximité de la zone d'étude ont été extraites du *Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie* de la DAVAR dans lequel les débits d'étiage absolus ne sont pas précisés.

D'après les valeurs de débits spécifiques de ce tableau, on constate que les caractéristiques d'étiage de la station KAL sont assez proches de celles de la rivière des Lacs. Les caractéristiques d'étiage de la station KNL sont moins drastiques qu'à la station KAL. En revanche, les étiages de KOL semblent très sévères mais cet effet est biaisé par la présence de sources au niveau de la station de jaugeage.

Tableau 21 : Caractéristiques d'étiage médian (T=2 ans) dans la zone d'étude et ses environs

		KAL	KNL	KOL	Rivière des Lacs	Rivière Bleue
Débit étiage absolu	m ³ /s	0,24	0,195	0,02		
	l/s/km ²	7,7	17,87	1,51		
QMNA	m ³ /s	0,49	0,21	0,09	1,246	0,402
	l/s/km ²	14,99	19,62	7,26	16,18	12,07
DCE	m ³ /s	0,32	0,204	0,025	0,379	0,251
	l/s/km ²	8,46	18,64	2,07	4,92	7,54

Synthèse sur l'année 2007

L'année 2007 constitue une année hydrologique type avec une hydraulicité moyenne (cf. Tableau 22), c'est à dire que le module annuel est proche du débit interannuel. De plus, elle est commune à toutes les stations analysées (les séries annuelles ne présentant pas de lacunes). Le Tableau 22 présente ainsi une synthèse des caractéristiques d'étiages (absolu, QMNA et DCE) et modules à l'ensemble des stations de la zone d'étude et à proximité.

Tableau 22 : Caractéristiques d'étiage et module sur l'année type 2007

		KAL	KNL	KOL	Rivière des Lacs	Rivière Bleue
Débit étiage absolu	m ³ /s	0,22	0,21	0,018	0,58	0,32
	l/s/km ²	6,54	20,13	1,51	7,57	9,57
QMNA	m ³ /s	0,66	0,29	0,088	1,63	0,54
	l/s/km ²	20,17	27,74	7,39	21,19	16,31
DCE	m ³ /s	0,25	0,22	0,022	0,66	0,33
	l/s/km ²	7,71	20,78	1,87	8,62	9,79
Module	m ³ /s	2,38	0,79	0,59	6,34	2,19
	l/s/km ²	72,12	76,01	49,81	82,34	65,85

4.1.4 Qualité physico-chimique des eaux de rivière

La qualité physico-chimique de l'eau de surface des rivières de la région de Goro est contrôlée par la géologie de la roche mère, la nature des sols, les résurgences, le réseau hydrographique, les précipitations et l'évaporation. Deux époques successives sont considérées pour caractériser la qualité des eaux de surface :

- données acquises jusqu'en 2005 sur la base de campagnes successives réalisées par A2EP, Rescan puis Goro Nickel (VNC) ;
- données récentes sur la base des résultats des suivis réglementaires et volontaires et de l'étude de synthèse réalisée par A2EP sur la qualité des eaux souterraines et superficielles (A2EP, 2012a et 2014a).

4.1.4.1 Valeurs guides

Aucune valeur réglementaire n'est imposée par les arrêtés d'autorisation d'exploitation exceptée dans l'arrêté n° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008, autorisant l'exploitation d'une aire de stockage de résidus sur le site de la Kué Ouest, où une valeur limite de 50mg/l a été fixée pour le manganèse dans les eaux de surface de la rivière Kué Ouest (Article 5.7.1). Les résultats d'analyses des échantillons prélevés lors des campagnes de suivi de la qualité des eaux de surface ont été comparés :

- aux normes de l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 relatif aux limites de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique ;
- au décret métropolitain 2001-1220 qui a été en partie abrogé par le code de la santé publique. Les valeurs limites de ce décret, qui traduisent des valeurs réglementaires de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine sont reprises dans l'arrêté du 11 janvier 2007 ;
- aux PNEC¹² : concentrations prédites sans effet sur les organismes aquatiques issues des travaux de l'INERIS (2006) ;
- aux classes de qualité du système d'évaluation de la qualité des eaux des rivières (SEQ-eau) développé pour les eaux de surface en métropole. Il convient de noter que ces classes de qualité ont une valeur uniquement indicative car elles ne sont pas

¹² Predicted No Effect Concentration

toujours adaptées aux conditions climatiques et géologiques spécifiques de la Nouvelle-Calédonie ;

- aux résultats des analyses réalisées en 2000 par Rescan sur la rivière Carénage. Suffisamment éloignée de la zone du projet, elle représente le fond géochimique naturel local.

Les comparaisons permettent d'identifier les paramètres qui dépassent naturellement les critères de qualité dans les cours d'eau à l'étude.

4.1.4.2 Etat de la qualité de l'eau entre 1998 et 2005

Une synthèse de la qualité des eaux superficielles a été réalisée à partir des analyses conduites pour les principales rivières des bassins versants de la région du projet de VNC.

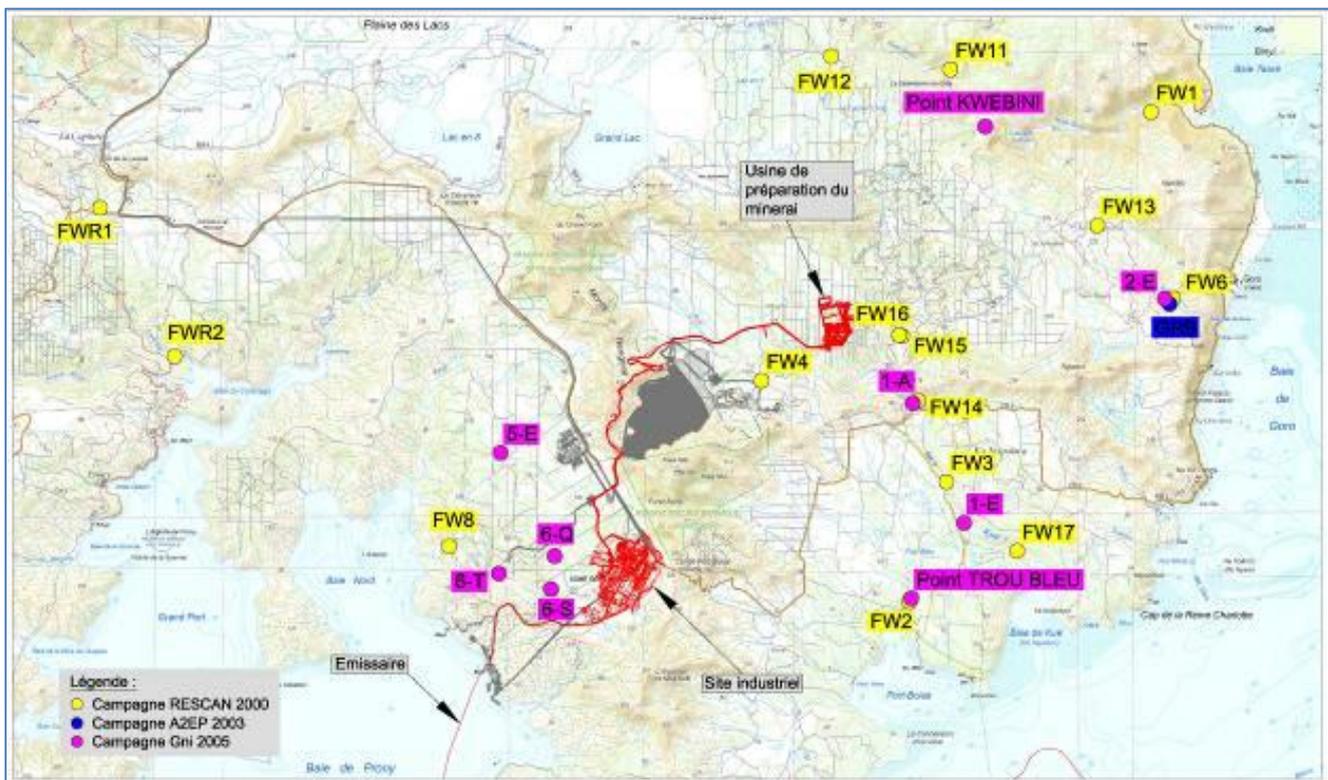


Figure 26 : Stations de suivi des eaux de surface échantillonnées jusqu'en 2005

La Figure 27 présente les résultats des analyses pour les eaux prélevées dans le bassin de la Kué et les bassins versants de rivières voisines. Les valeurs moyennes minimales et maximales obtenues sont comparées aux valeurs guides retenues par VNC.

Ces résultats ne constituent pas réellement un fond géochimique des rivières mais permet d'avoir un ordre de grandeur de la qualité des eaux et des principales caractéristiques des cours d'eau et des plans d'eau dans l'aire d'influence du projet.

De manière générale, les eaux analysées sont caractérisées par des concentrations très faibles en nutriments (oligotrophe) et des concentrations naturelles élevées en métaux, en particulier en chrome, cobalt, manganèse et nickel.

Ces caractéristiques géochimiques sont typiques des milieux latéritiques environnant les rivières qui sont naturellement pauvres en nutriments et riches en métaux notamment en nickel, chrome et fer. Les fortes précipitations lessivent une partie des nutriments des sols alors que le restant est utilisé par la végétation tropicale à croissance rapide.

Les concentrations naturelles en nickel mesurées en 2000 sont supérieures au critère de potabilité fixé par le décret n° 2001-1220 et repris par l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 relatif aux limites de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine ¹³, pour les rivières Kué Ouest, Kué Nord-Ouest, Kué Principale et Wajana.

Les concentrations initiales en cobalt mesurées en 2000 sont généralement supérieures à la PNECaqua correspondante.

Les paramètres tels que la turbidité et les MES affichent une variabilité temporelle et spatiale importante qui dépend de la période de l'année, de la pluviométrie et de l'état de surface des terrains. Les données présentées dans le tableau ne reflètent que partiellement l'amplitude des valeurs de ces deux paramètres.

¹³ Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Paramètres physiques et minéralisation

Paramètres	Unités	Bassin versant de la Kwé						Plaine des lacs	BV Kadji	BV Creek Baie nord		Synthèse des données			Valeurs guides		
		Mine FW18 2000	Le Trou FW19 2000	Xere Wapo 2000	2-G 2005	Kaanyipohua 2-H 2005	FW20 2000			5-D 2005	1998	2005	Moyenne	Minimum	Maximum	Décret 2001	PNEC eaux douces	Classes de qualité SEQ eau
DCO	mg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	na	na	na	-	-	-	-	-	-
DBO	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	na	na	<1	-	<1	-	-	-	-
Coliformes totaux	N/100ml	8	42	0	na	na	0	na	na	na	12.5	0	42	-	-	-	-
Conductivité	µS/cm	46	44	43	45.7	52	33	84	44	243	71	33	243	-	-	-	-
pH		5.55	5.1	6.49	5.1	6.5	5.78	7	5.56	6	5.9	5.1	7	6.5-8.5	-	-	-
Température	°C	21.6	22.5	23.4	30	32	23.5	31	na	31	27	22	32	-	-	-	-
MES	mg/l	<3	<3	<3	<5	<5	<3	<5	na	<5	-	-	-	25	-	-	-
Turbidité	NFU	0.6	0.4	0.4	na	na	0.2	na	na	na	0.4	0.2	0.6	1	-	-	-
Alcalinité	mg/l	<1	<1	<1	na	na	<1	na	na	na	<1	<1	<1	-	-	-	-
Calcium total	mg/l	0.16	0.16	0.15	0.1	0.2	0.12	2	0.4	26.7	3.33	0.10	26.7	-	-	-	-
Chlorures	mg/l	10.8	9.6	9.4	na	na	7.3	na	10.9	na	9.6	7.3	10.9	250	-	-	-
Fluorures	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	na	na	<0.02	na	na	na	<0.02	<0.02	<0.02	1.5	0.37	-	-
Magnésium	mg/l	0.99	0.64	0.75	0.7	1.8	0.59	5.5	1.1	4.6	1.85	0.59	5.50	-	-	-	-
Potassium	mg/l	0.25	0.11	0.24	na	na	0.16	na	0.1	na	0.17	0.10	0.25	-	-	-	-
Silice	mg/l	0.2	<0.1	<0.1	0	0.8	<0.1	1	0.9	0.2	0.52	<0.1	1.00	-	-	-	-
Sodium	mg/l	5.18	3.37	4.74	na	na	3.4	na	6	na	4.54	3.37	6.00	200	-	-	-
Sulfates	mg/l	2	1	2	1.5	2.7	2	16.4	1.8	64.7	10.46	1.00	64.70	250	-	-	-

Nutriments

Paramètres	Unités	Bassin versant de la Kwé						Plaine des lacs	BV Kadji	BV Creek Baie nord		Synthèse des données		Valeurs guides		
		Mine FW18 2000	Le Trou FW19 2000	Xere Wapo 2000	2-G 2005	Kaanyipohua 2-H 2005	FW20 2000			5-D 2005	1998	2005	Minimum	Maximum	Décret 2001	PNEC eaux douces	Classes de qualité SEQ eau
Ammonium	mg/l	<0.005	<0.005	0.015	na	na	0.011	na	na	na	<0.005	0.015	0.1	-	-	-
Nitrate	mg/l	0.061	0.151	<0.005	<0.1	<0.1	0.013	0.4	na	<0.1	<0.005	0.4	50	-	-	-
Nitrite	mg/l	0.002	0.001	<0.001	<0.01	<0.01	0.001	<0.01	na	<0.01	<0.001	0.002	0,1	0,006	-	-
Ortho-phosphate	mg/l	0.006	0.002	0.002	na	na	0.004	na	na	na	0.002	0.006	-	-	-	-
Phosphate total	mg/l	0.004	<0.002	<0.002	na	na	<0.002	na	na	na	<0.002	0.004	-	-	-	-
Phosphore	mg/l	na	na	na	<0,2	<0,2	na	<0,2	na	<0,2	<0,2	<0,2	-	-	-	-
Carbone organique total	mg/l	2.4	1.3	1.7	na	na	1	na	na	na	1	2.4	-	-	-	-

= eau de très bonne qualité ;
 = eau de bonne qualité ;
 = eau de qualité passable ;
 = eau de mauvaise qualité ;
 = eau de très mauvaise qualité

Figure 27 : Moyenne des résultats des analyses physico-chimiques 1998-2005

4.1.4.3 Etat actuel de la qualité des rivières

☞ Se référer au CD de données joint au dossier – Synthèse de la Qualité des eaux souterraines et superficielles – Secteur de Goro (A2EP, 2012a) et C02 Analyse approfondie de la Qualité des eaux souterraines et superficielles – Secteur de Goro (A2EP, 2014a)

Cette synthèse s'appuie sur des analyses physico-chimiques réalisées sur 50 échantillons d'eau de surface et 6 échantillons d'eau de résurgence, prélevés sur les rivières et plans d'eau suivants :

- Kué Nord, Kué Ouest et Kué Est,
- Kué Binyi, Wajana, Entonnoir, Truu, creek Crête Sud
- Grand Lac, creek de la Plaine des Lacs, rivière Kadji

Tous les échantillons étudiés ont été prélevés durant quatre campagnes:

- Du 8 juillet au 1er septembre 2011 en période de « moyennes eaux »;
- Du 25 octobre au 20 décembre 2011 en période de « basses eaux »;
- Du 13 février au 9 mars 2012 en période de « hautes eaux »;
- Du 26 juin au 6 août 2012 en période de « hautes eaux ».

Le Tableau 23 présente une synthèse des statistiques descriptives. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Les eaux superficielles ont un faciès hydrochimique principalement bicarbonaté et magnésien tout comme les eaux de l'ensemble saprolite/péridotite (Figure 27). Ce résultat est cohérent dans la mesure où l'aquifère principal fournit l'essentiel du débit de base des principales rivières du secteur de Goro.
- Dans le détail, des différences apparaissent néanmoins sur les concentrations de certains éléments chimiques. Les valeurs médianes de concentration en hydrogénocarbonates et en magnésium notamment se situent entre celles de la latérite et celles de la saprolite/péridotite.
- les concentrations en aluminium, calcium, chrome, chrome VI, et manganèse sont plus faibles dans les eaux superficielles que dans les eaux souterraines.

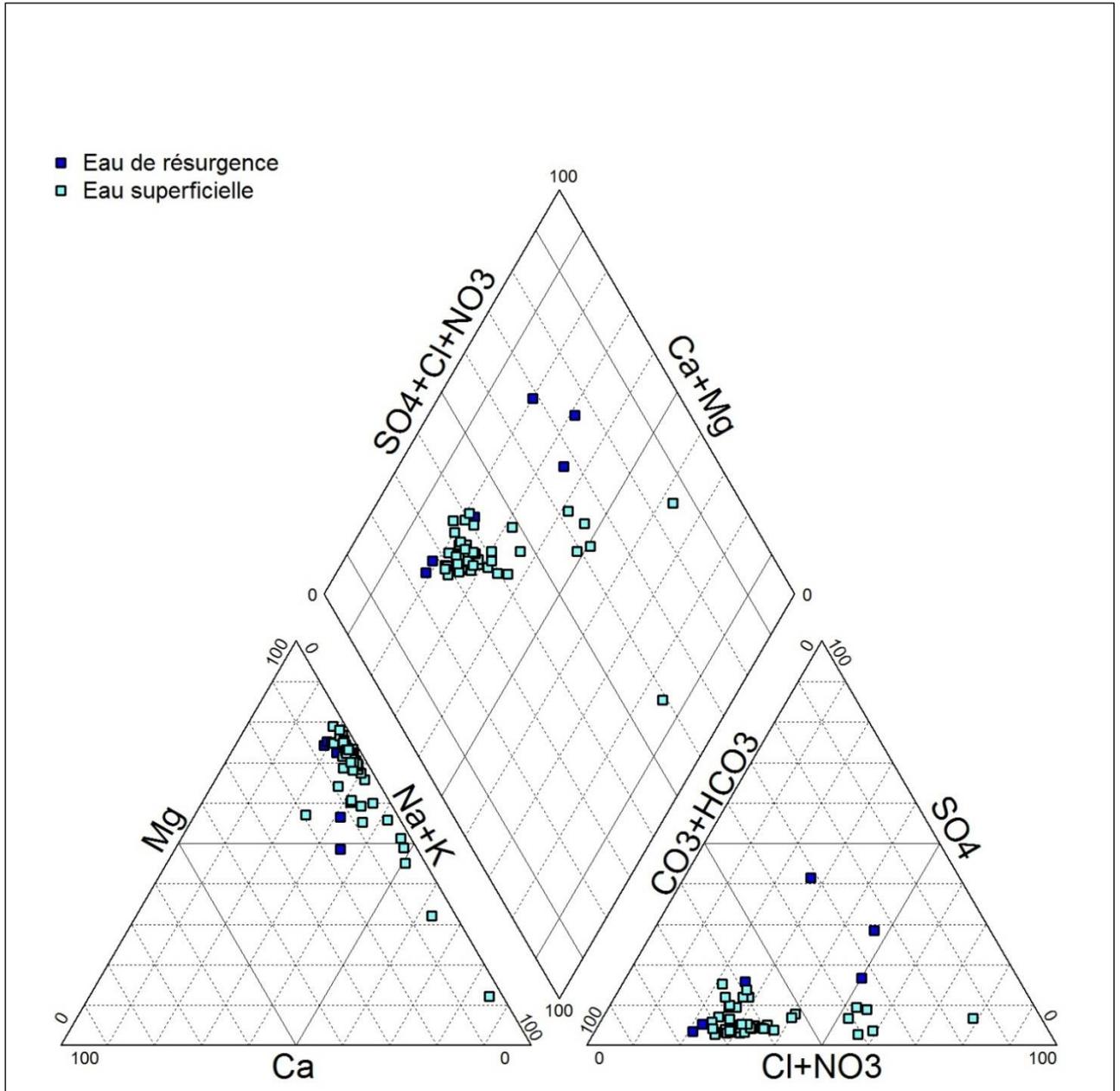


Figure 28 : Projection des signatures chimiques des eaux de surface dans le diagramme de Piper suivant la composition chimique des eaux prélevées (A2EP, 2014a)

Tableau 23 : Statistiques descriptives des résultats d'analyses chimiques obtenus pour les eaux de surface (A2EP, 2014a)

Paramètre	LQ (mg/L)	Eau superficielle (n = 50)			
		% de détection	Médiane (mg/L)	± étendue interquartile (mg/L)	Min-Max (mg/L)
Aluminium dissous	0.001	96	0.005	0.026	< 0.001 - 0.374
Ammonium dissous*	0.01	98	0.005	0	< 0.01 - 0.01
Calcium dissous	0.1	100	0.5	0.15	0.2 - 4.2
Carbonates	0.1	46	0.05	0.025	< 0.1 - 0.26
Chlorures dissous	0.1	100	10.2	1.1	6.5 - 13.4
Chrome dissous**	0.001	72	0.0055	0.006	< 0.001 - 0.037
Chrome VI**	0.005	34	0.0025	0.001	< 0.005 - 0.016
Fer dissous*	0.001	100	0.039	0.034	0.002 - 0.465
Fluorures dissous*	0.01	56	0.01	0.003	< 0.01 - 0.04
Hydrogénocarbonates	0.1	100	38.5	7.1	2.4 - 57.8
Hydroxydes	0.0017	8	0.0065	0.0026	0.0009 - 0.0389
Magnésium dissous	0.01	100	8.39	1.87	0.72 - 13.87
Manganèse dissous*	0.001	62	0.001	0.002	< 0.001 - 0.169
Nitrates dissous*	0.1	76	0.2	0.1	< 0.1 - 0.9
Nitrites dissous*	0.01	2	0.005	0.0	≤ 0.01
Phosphates dissous*	0.1	2	0.05	0.0	≤ 0.1
Potassium dissous	0.05	92	0.15	0.05	< 0.05 - 0.44
Silice dissous	0.1	94	4.0	1.9	< 0.1 - 8.0
Sodium dissous	0.01	100	5.74	0.62	4.08 - 9.33
Sulfates dissous	0.1	100	2.2	0.6	0.5 - 10.7
Conductivité	-	-	100.7	19.9	36.1 - 144.1
pH	-	-	7.61	0.17	5.67 - 8.36

LQ = limite de quantification de la méthode

* Paramètre indésirable

** Paramètre concernant une substance toxique

4.1.4.4 Tendances actuelles (suivi réglementaire)

Afin de détecter les pollutions chroniques induites par les activités liées au projet, des suivis sont mis en place par VNC conformément aux arrêtés N° 1228-2002/PS du 25 septembre 2002 modifié par les arrêtés n°541-2006/PS du 6 juin 2006, N° 890-2007/PS du 12 juillet 2007, N° 11479-2009/PS du 13 novembre 2009, N° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008 et N° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008 correspondant respectivement aux prescriptions des ICPE des stations d'épuration 1 et 4, des utilités, de la station d'épuration n° 5 et n° 6, du parc à résidus et de l'usine, de l'unité de préparation du minerai et du centre industriel de la mine.

Les programmes de suivi des ICPE sont complétés par des suivis volontaires.

Au total, 20 stations, localisées sur la Figure 29 ont été choisies pour le suivi physico-chimique des eaux de surface des bassins versants du Creek de la Baie Nord (CBN), de la Kué Ouest (KO), de la Kué Principale (KP), de la Kadji (KJ).

Tableau 24 : Localisation et description des points de suivi quantitatif des eaux de surface

Nom	Bassin Versant	Type de suivi	Fréquence*	Raison d'être	RGNC 91 Est	RGNC 91 Nord
1-A	KP	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1467-2008/PS	499142	210447
1-E	KP	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1467-2008/PS	500042,1	208314,8
3-A	KO	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1466-2008/PS	495575	211479
3-B	KO	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1466-2008/PS	496478,1	210820,1
3-D	KO	Physico-chimique	S	Arrêté n° 1466-2008/PS	495869	210942
3-E	KO	Physico-chimique	S	Arrêté n° 1466-2008/PS	496393	210775
4-M	KN	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1467-2008/PS	498889,4	211632,5
4-N	KO	Physico-chimique	M	Arrêté n° 1467-2008/PS	497415,6	210891,5
DOL-11	KJ	Physico-chimique	S	Arrêté N° 11479-2009/PS	493734,7	209166,3
WK 17	KO	Physico-chimique	H	Arrêté n° 1466-2008/PS	495617,6	210613,3
WK 20	KO	Physico-chimique	H	Arrêté n° 1466-2008/PS	495673,3	210663,6

*H : Hebdomadaire, M : Mensuel, T : Trimestriel, S : Semestriel, A : Annuel.

KP : Kué principale ; KO : Kué Ouest ; KJ : Kadji ; WK : sources situées en aval du parc à résidus de la Kué Ouest

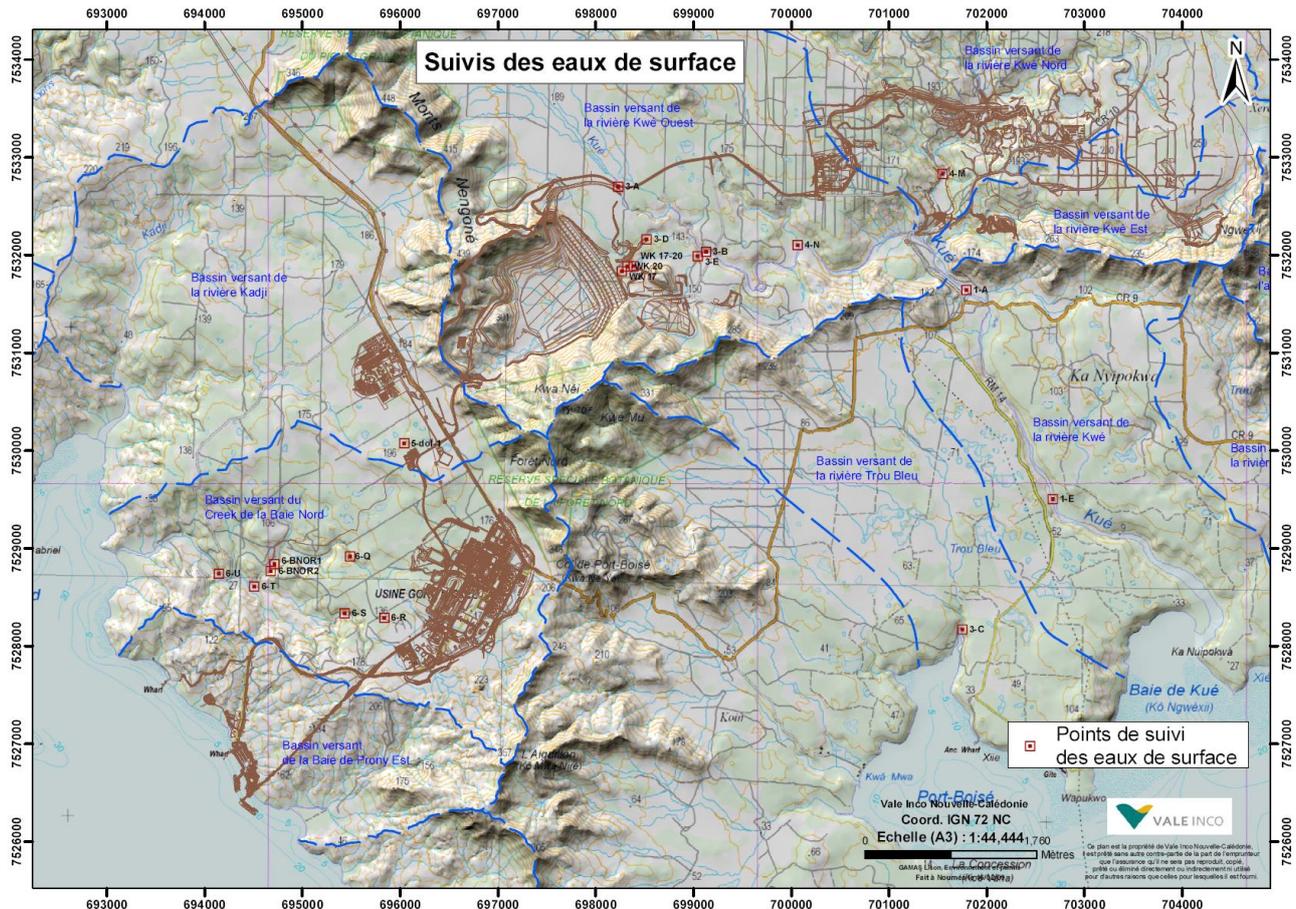


Figure 29 : Localisation des stations de suivi des eaux de surface

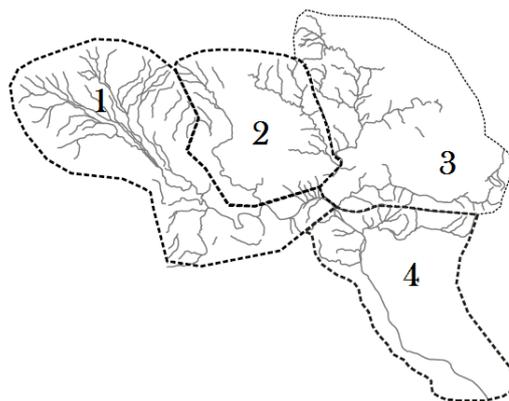


Figure 30 : Grands secteurs de suivi de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la Kué

Les suivis permettent de distinguer l'influence des différents secteurs d'activités exercées dans le bassin versant de la Kué en les séparant en 4 grandes zones (Figure 30) telles que décrites dans l'étude BiolImpact (2012). Les tendances qui se dégagent de l'activité minière concernent uniquement les tronçons des rivières qui drainent les secteurs 3 et 4 des suivis. Les tendances par secteurs sont les suivantes :

- secteur 1** : tronçons Kué Ouest sous influence du parc à résidus et des carrières (limonite et péridotite). On observe des variations au niveau de la station 3-D pour les paramètres conductivité, magnésium, nitrates, soufre et sulfates. L'augmentation en soufre et sulfates observée depuis 2009 aux stations 3-D et 3-E ne s'est pas poursuivie en 2011 et 2012. Les mesures hebdomadaires en aval du parc à résidus indiquent des mesures de conductivité de 66 à 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suivant les stations et les années ;
- secteur 2** : tronçons Kué Ouest et tronçons Kué Nord sous influence de l'usine de préparation du minerai. Au niveau des stations situées en aval de l'UPM (4-M et 4-N), les résultats révèlent en 2011 comme en 2012 des variations de concentrations pour les paramètres chlorures, sulfates, soufre, magnésium, silicium et conductivité. Toutefois, aucune tendance particulière n'est observée ;
- secteur 3** : tronçons Kué Nord sous influence de la mine et tronçons Kué Est sous influence de la mine et de la verse à stérile. Ce secteur se dénote par de fortes valeurs de MES de 2007 à 2009 avec un pic à 454 mg/L en 2010. Les valeurs de MES et de turbidité sont d'autant plus fortes que l'on se situe en amont du bassin versant ;
- secteur 4** : tronçon aval de la Kué Principale, sous influence de l'ensemble des aménagements. Les concentrations des nitrates sont plus faibles dans ce secteur précédent. Les nitrates qui étaient détectés en amont ont probablement été consommés par les plantes et le phytoplancton. Les concentrations en MES sont ici plus faibles. On note également des pics de concentrations en mercure en octobre 2008, août 2009, février 2010 et février 2012.

D'une manière générale, toutes les valeurs mesurées dans l'ensemble dans les rivières des quatre secteurs restent inférieures aux valeurs guides de potabilité des eaux et/ou sont conformes aux seuils réglementaires (pour le manganèse).

Les analyses réalisées en 2011 et 2012 au niveau des sources situées en aval du parc à résidus de la Kué Ouest (WK17 et WK20) montrent des eaux de qualité similaire et homogène par rapport aux années précédentes. L'eau présente une minéralisation faible avec une conductivité de l'ordre de 167 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour WK17 et de l'ordre de 128 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour WK 20, un pH neutre, avec une moyenne de 7 pour WK17 et de 7,3 pour WK20.

Tableau 25 : Teneur moyenne des principaux ions des sources WK17 et WK20

Paramètre	Unité	2009		2010		2011		2012	
		WK17	WK20	WK17	WK20	WK17	WK20	WK17	WK20
Ca	mg/l	0,6	0,4	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,4	0,1
K	mg/l	0,1	0,1	0,25	0,23	0,18	0,11	0,3	0,2
Mg	mg/l	15,1	10,6	15,5	11,5	16,2	11,3	18,2	11,6
Na	mg/l	5,8	5,8	6	6	6,1	6,2	6,1	6,1
Cl	mg/l	12,7	10,6	12,5	11	12,1	10,5	13,0	11,2
NO ₃	mg/l	7	3,4	6	3,8	5,2	3,1	6,0	3,1
SO ₄	mg/l	15,1	2,4	16,5	4,2	19,0	3,43	22,8	3,7
HCO ₃ ⁻	mg/l	48,1	48,7	38,9	42,7	52,9	49,1	55,4	47,9

Les eaux de WK17 présentent des teneurs plus élevées par rapport à WK20. Les eaux de ces sources restent de type bicarbonaté magnésien et à tendance sulfatée pour WK17. La composition de ces sources se rapproche de celles des eaux souterraines de la Kué Ouest.

Les teneurs observés en 2011 et 2012 restent comparables aux teneurs mesurées en 2010, excepté pour les sulfates et les hydrogénocarbonates à la source WK17 qui montrent une légère tendance à la hausse.

La légère tendance à l'augmentation en soufre et en sulfate amorcée en 2010 se poursuit en 2011 et 2012 au niveau de WK17, mais les teneurs mesurées sont nettement inférieures aux valeurs guides de potabilité des eaux.

4.1.4.5 Transport solide – Analyses des MES

 Se référer à l'ANNEXE C02.

L'étude de synthèse réalisée par Golder en 2012 visait à identifier des tendances relatives au transport de particules en suspension. Cette étude a été actualisée par EMR en 2015 avec les données les plus récentes disponibles. Les conclusions concernant l'analyse de la dynamique des MES dans les rivières qui drainent le site sont les suivantes :

- pour la qualité des données, de nombreuses lacunes sont constatées dans les chroniques disponibles. La qualité des données de débit est très contrastée. Les mesures réalisées sur les stations de référence pour la Kwé Ouest, la Kwé Nord et la Kwé Est sont de très mauvaise qualité et n'ont pas été exploitées sur la période fin 2013-2015 ;
- pour les concentrations des MES, les données antérieures à juillet 2013 avait fait l'objet d'une évaluation des flux de MES et elles ont été présentées dans les documents accompagnant la Déclaration d'Autorisation d'Exploitation Minière déposée en 2012 puis 2014. Il n'a pas été constaté d'évolution particulière des concentrations en MES au fil des années pour la station KAL (située sur la rivière Kwé Principale). Pour la rivière Kwé Nord la charge sédimentaire au droit de la station KNL représente 33 % de la charge sédimentaire observée au niveau de la station KAL, ce rapport correspond au prorata de la superficie de ce bassin versant par rapport au bassin versant de la Kwé Principale. L'activité minière étant concentrée sur le bassin versant de la rivière Kwé Nord ce résultat indique que l'activité minière n'a pas eu d'effet mesurable sur la charge de MES dans la rivière Kwé Nord.

4.1.5 Qualité biologique des rivières

 Voir Atlas Carte C12 - Réseau hydrographique

4.1.5.1 Etat initial

Etudes de référence

Les rapports ayant permis d'établir la richesse biologique des cours d'eau sont les suivants :

- rapport de synthèse d'Erbio sur les écosystèmes d'eau douce, 2005 ;
- l'état écologique de la Kué, « étude basée sur les données historiques du suivi environnemental », BioIMPACT, 2012 ;
- étude de suivi ichtyologique et carcinologique du creek de la Baie Nord, de la Kué, de la Kuébini et de la Truu - campagne de janvier-février 2012, Erbio, 2012a ;
- étude de suivi ichtyologique et carcinologique du creek de la Baie Nord, de la Kué, de la Kuébini et de la Truu - campagne de juin 2012. Erbio, 2012b.

4.1.5.2 Caractérisation de la faune d'eau douce

Jusqu'au début des années 1990, la connaissance de la faune ichthyologique d'eau douce en Nouvelle-Calédonie n'était que partielle. Ce sont les travaux de C. Pöllabauer (1995, 1997, 1999) et les prospections intensives menées dans le cadre des missions « CHLOE » dans les 3 provinces entre 1997 et 2002, qui ont permis d'avoir une vision plus complète des peuplements de l'ensemble des rivières du territoire et d'établir une liste des espèces présentes.

Au total, 103 espèces de poissons d'eau douce appartenant à 39 familles différentes ont été identifiées en Nouvelle-Calédonie. 90 espèces sont autochtones dont 10 endémiques appartenant à 6 familles différentes.

Dans les cours d'eau calédoniens, les familles dominantes en termes d'effectif sont généralement les Kuhlidae (carpes), les Eleotridae (lochons) et les Gobiidae (gobies) (Erbio, 2012). Plusieurs espèces de poissons ont un statut d'espèce menacée selon les critères de l'UICN.

L'anguille *Galaxias neocaledonicus* dispose d'un statut particulier dans la mythologie mélanésienne. C'est également un indicateur des anciennes affinités entre les poissons de Nouvelle Zélande et d'Australie.

La macrofaune benthique des rivières calédoniennes est dominée par les insectes. Sur l'ensemble des espèces d'insectes aquatiques connues, plus de 75 % d'entre elles seraient endémiques à la Nouvelle-Calédonie. Notamment, l'endémisme est proche de 100 % chez les éphéméroptères et les trichoptères. Les milieux les plus propices au développement de la macrofaune benthique et qui présentent la diversité spécifique maximale sont les ruisseaux forestiers, plus riches en matières organiques. Les communautés de macro-invertébrés se distinguent en deux principaux groupes (Pöllabauer, 2004) :

- les macro-invertébrés benthiques, situés sur le fond, comprennent des groupes tels que les larves d'odonates (larves de libellules), les mollusques, trichoptères, des vers, etc. ;
- les macro-invertébrés pélagiques et de surface tels que les hétéroptères (punaises aquatiques), les coléoptères ou encore les acariens qui restent une partie du temps en surface ou font des va-et-vient entre la surface et le fond.

Dans la région de Goro on distingue 3 types d'habitat d'eau douce :

- les milieux lotiques (eaux courantes) ;
- les milieux lenticules (eaux calmes) permanents ;
- les milieux lenticules (eaux calmes) périodiques.

L'ichtyofaune des lacs et des rivières du Sud calédonien est composé d'un total de 39 espèces de poissons recensées à l'état initial, dont 5 espèces endémiques, essentiellement dans les rivières. Les différents habitats rencontrés sur les rivières de la région de Goro et leur qualité sont illustrés par le Tableau 26.

Tableau 26 : Qualité des habitats des principales rivières du secteur de Goro

Qualité de l'habitat		Faciès lotique		Faciès lentique				
		Eaux courantes rapides	Eaux courantes lentes	Plus d'un mètre de profondeur		Moins d'un mètre de profondeur		
		Blocs de roche %	Gravier, sable %	Sable, vase %	Blocs de roche %	Bois, racines, végétaux %	Feuilles, détritux %	Gravier, sable %
Kuébini	FW1	20	20	25	20	3	2	10
	FW11	30	10	5	30	3	2	20
	FW12	50	20		15	5		10
Wajana	FW6	60	15	5	5	2	2	11
	FW13	25	30	20		5		20
Kué principale	FW17	50	20	5	15			10
	FW3	35	35	10	10			10
	FW14	15	30	20	10	10	5	10
Kué Ouest	FW4	20		35	25	10		10
Kué Nord	FW15	40	20	10	5	5	5	15
	FW16	50	20	5	5			20
Trou bleu	FW2	55	10	5	20	5	5	

Qualité d'habitat :  Excellent  Bon  Moyen  Mauvais

Source : Erbio, 2005

Les habitats lotiques (rivières)

Ils sont rencontrés sur les rivières Kuébini, Wajana, Kué et Trou bleu, la qualité du milieu en tant qu'habitat pour la faune d'eau douce a été caractérisée pour chaque rivière.

Les travaux d'établissement de l'état initial de la faune des rivières se sont déroulés de 1994 à 2000. En raison des techniques de prélèvement employées (pêche électrique ou filet), l'échantillonnage des communautés d'invertébrés s'est limité, pour la plupart des études, aux plus grands organismes de macro-invertébrés, sans distinction entre les organismes en dérive et les organismes benthiques.

Tableau 27 : Synthèse des travaux réalisés sur l'ichtyofaune et les invertébrés (état initial)

Date	Expertise	Lieu	Richesse spécifique observée	Espèces les plus abondantes observées
Synthèse des travaux réalisés sur les poissons (Ichtyofaune)				
1995	SNC-Lavalin	Kué	non déterminée	mulet noir (<i>Cestraeus plicatilis</i>) carpe aux gros yeux (<i>Kuhlia rupestris</i>)
1993-1996	SNC-Lavalin	Kué, Wajana, Trou Bleu	19 espèces dont 9 au statut indéterminé	
1996-1998	Erbio	Kué, Wajana, Trou Bleu, Creek de la Baie Nord	26 espèces de 11 familles dont 3 endémiques y compris <i>Protogobius attiti</i>	
2000	Rescan	Kué, Kuébini, Wajana, Trou bleu, Creek de la Baie Nord, rivière Carénage	14 espèces de 9 familles 4 espèces endémiques 1 espèce introduite (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	carpe à queue jaune (<i>Kuhlia munda</i>) carpe aux gros yeux (<i>Kuhlia rupestris</i>)
Synthèse des travaux réalisés sur les invertébrés				
1995	SNC-Lavalin	Kué	3 espèces (1 gastéropode non identifié, un pagure et une espèce non identifiée de <i>Macrobrachium</i>)	
1996	SNC-Lavalin	Kué, Trou Bleu, Wajana	5 espèces (<i>M. aemulum</i> , <i>M. caledonicum</i> , <i>M. lar</i> , <i>M. latimanus</i> crabe d'eau douce <i>Varuna litterata</i>)	crevette d'eau douce <i>Macrobrachium</i>
1998-2004	Erbio	Kué, la Trou Bleu, la Wajana et le Creek de la Baie Nord	11 espèces de 3 familles 4 espèces de <i>Macrobrachium</i> de la famille des Palaemonidae (<i>lar</i> , <i>aemulum</i> , <i>caledonicum</i> et <i>latimanus</i>) 4 espèces de crevette <i>Paratya</i> (<i>bouvieri</i> , <i>caledonica</i> , <i>intermedia</i> et <i>typa</i>) 2 espèces de crevette <i>Caridina</i> (<i>imitatrix</i> et <i>novaecaledoniae</i>) 2 espèces de crabe d'eau douce (<i>Odiomaris pilosus</i> et <i>Varuna litterata</i>)	
2000	Rescan	Kué, Carénage	42 espèces au total	

Les poissons

Globalement, les communautés de poissons des rivières du secteur de Goro sont caractérisées par des densités faibles, une proportion non négligeable d'espèces endémiques et elles sont toutes amphidromes.

Les espèces endémiques sont généralement peu abondantes dans les rivières en Nouvelle-Calédonie car elles sont restreintes à des microhabitats spécifiques limitant leur distribution. Elles sont donc très sensibles aux variations naturelles ou anthropiques de l'environnement (espèces sensibles et indicatrices) Erbio, 2012).

La liste des espèces de poissons recensées à l'état initial (jusqu'en 2007) dans les rivières Kué et Trou bleu est présentée dans le Tableau 28.

Tableau 28 : Ichtyofaune recensée dans les rivières Kué et Trou bleu

Famille	Espèce	Répartition	Rivière Kué	Rivière Trou bleu
ACANTHURIDAE	Acanthurus blochii			
ANGUILLIDAE	Anguilla australis	Pacifique		
	Anguilla marmorata	Indo-Pacifique	(1) (2) (6)	(1) (2) (6)
	Anguilla megastoma	Pacifique		(2) (6)
	Anguilla obscura	Pacifique		(2) (6)
	Anguilla reinhardti	Pacifique	(1) (2)	(1) (2) (6)
APOGONIDAE	Apogon amboinensis	Pacifique		
CARCHARHINIDAE	Carcharhinus Leucas	Indo-Pacifique	(2)	
CICHLIDAE	Oreochromis mossambicus	Introduit		(3)
ELEOTRIDAE	Eleotris fusca	Indo-Pacifique	(6)	(6)
	Eleotris melanosoma (5)	Indo-Pacifique	(2) (3)	(1) (2) (3) (6)
	Ophieleotris aporos	Indo-Pacifique	(2)	(2)
	Ophiocara porocephala	Indo-Pacifique		
GERREIDAE	Gerres filamentosus	Indo-Pacifique		
GOBIIDAE	Awaous guamensis	Pacifique	(1) (2) (3) (6)	(1) (2) (3) (6)
	Glossogobius celebius	Pacifique		
	Periopthalmus argentilineatus	Indo-Pacifique	(2)	(2)
	Redigobius bikolanus	Pacifique		(2) (3)
	Redigobius chrysosoma	Pacifique		(2)
	Schismatogobius fuligimentus	Endémique		(6)
	Sicyopterus lagocephalus	Indo-Pacifique		(6)
	Sicyopterus sarasini	Endémique	(2)	(2)
	Sicyopterus sp.	-		(2)
	Stenogobius yateiensis	Endémique		(3)
KUHLIDAE	Kuhlia marginata	Pacifique	(2)	(1) (2) (6)
	Kuhlia munda	Pacifique	(2) (6)	(1) (2) (3) (6)
	Kuhlia rupestris	Indo-Pacifique	(1) (2) (3) (6)	(1) (2) (3) (6)
LUTJANIDAE	Lutjanus argentimaculatus	Indo-Pacifique	(2)	(3) (6)
	Lutjanus russelli	Indo-Pacifique		
MICRODESMIDAE	Parioglossus neocaledonicus	Endémique		
MORINGUIDAE	Moringua microchir	Indo-Pacifique		
MUGILIDAE	Cestraeus oxyrhynchus	Pacifique	(1) (2)	
	Cestraeus plicatilis	Pacifique	(1) (2) (3) (6)	(1) (2) (3) (6)
	Crenimugil crenibalis	Indo-Pacifique		(6)
RHYACICHTHYDAE	Protogobius attiti	Endémique	(2) (6)	(2) (6)
SPARIDAE	Acanthopagrus berda	Indo-Pacifique		
SPHYRAEIDAE	Sphyræna barracuda	Cosmopolite		
SYNGNATHIDAE	Microphis brachyurus brachyurus	Indo-Pacifique		
TERAPONIDAE	Terapon jarbua	Indo-Pacifique	(2)	
TOTAL ESPECES			17	24
TOTAL ENDEMIQUES	ESPECES		2	3

(1) Espèces recensées entre déc. 1995 et oct. 1996 (SNC-Lavalin)

(2) Espèces recensées entre jan. 1996 et déc. 1998 (Pöllabauer)

(3) Espèces recensées entre avril et août 2000 (Rescan)

(4) Espèces recensées de 1996 à 2004 (Pöllabauer & Bargier)

(5) En jaune : espèces répertoriées pour la pêche sportive et de subsistance

(6) Espèces recensées en juin 2007 (Pöllabauer, 2007)

6 espèces sont inscrites sur la liste des espèces protégées de poissons dulçaquicoles de la province Sud. Il s'agit d'*Ophieleotris aporos* (Eleotridae) ainsi que toutes les espèces endémiques.

Les Crustacés

Parmi les crustacés inventoriés, on note que les rivières ont une diversité de 8 à 12 espèces. Les espèces de crevettes (famille des Atyidae) présentes sont protégées en province Sud.

Tableau 29 : Crustacés décapodes recensés dans les rivières du secteur de Goro (état initial)

Famille	Espèce	Rivière Kué	Rivière Wajana	Rivière Trou bleu
Atyidae	<i>Caridina imitatrix</i>	X	X	X
	<i>Caridina novaecaledoniae</i>	X	X	X
	<i>Paratya bouvieri</i>	X	X	X
	<i>Paratya caledonica</i>	X	X	X
	<i>Paratya intermedia</i>	X	X	X
	<i>Paratya typa</i>	X	X	X
Geocarcinidae	<i>Odiomaris pilosus</i>			X
Grapsidae	<i>Varuna litterata</i>			X
Palaemonidae	<i>Macrobrachium aemulum</i>	X	X	X
	<i>Macrobrachium caledonicum</i>	X		X
	<i>Macrobrachium latimanus</i>			X
	<i>Macrobrachium lar</i>		X	X

Les macro-invertébrés

Les connaissances concernant l'écologie et la systématique des macroinvertébrés benthiques de la zone d'étude sont encore parcellaires. Toutefois, des indicateurs de qualité biologique ont été mis en place afin de permettre une détection de pollution organique (IBNC) ou sédimentaire (IBS) à partir des communautés de macro-invertébrés.

Le suivi biologique des rivières de la région du site de Goro est réalisé selon la méthode des indices biotiques développée spécifiquement pour la Nouvelle-Calédonie (IBNC) par N. MARY (1999 - IBNC – Indice biotique utilisé en Nouvelle-Calédonie). L'IBNC permet de mettre en évidence une perturbation de la qualité des eaux par des pollutions organiques (rejets domestiques, élevage, etc.). On calcule cet indice avec des données récoltées dans les rivières. A plusieurs endroits, on prélève, à l'aide d'un filet à maille fine, des organismes qui vivent dans l'eau de la rivière. Il s'agit de vers, de mollusques, de crustacés et de larves d'insectes. Ces différents organismes sont plus ou moins sensibles à la pollution. Pour certains d'entre eux, on a évalué cette sensibilité par espèce ou groupe d'espèces sur une échelle de 1 à 10 (1 : pas sensible ; 10 : très sensible). Cette sensibilité est qualifiée de *score*.

Les stations sur lesquelles des IBNC ont été calculés, qui correspondent à un état initial et qui concernent l'activité minière sont la Kué Principale (station 1-E) et la rivière périphérique Kadji (station 5-E), positionnées sur la carte de la Figure 31.

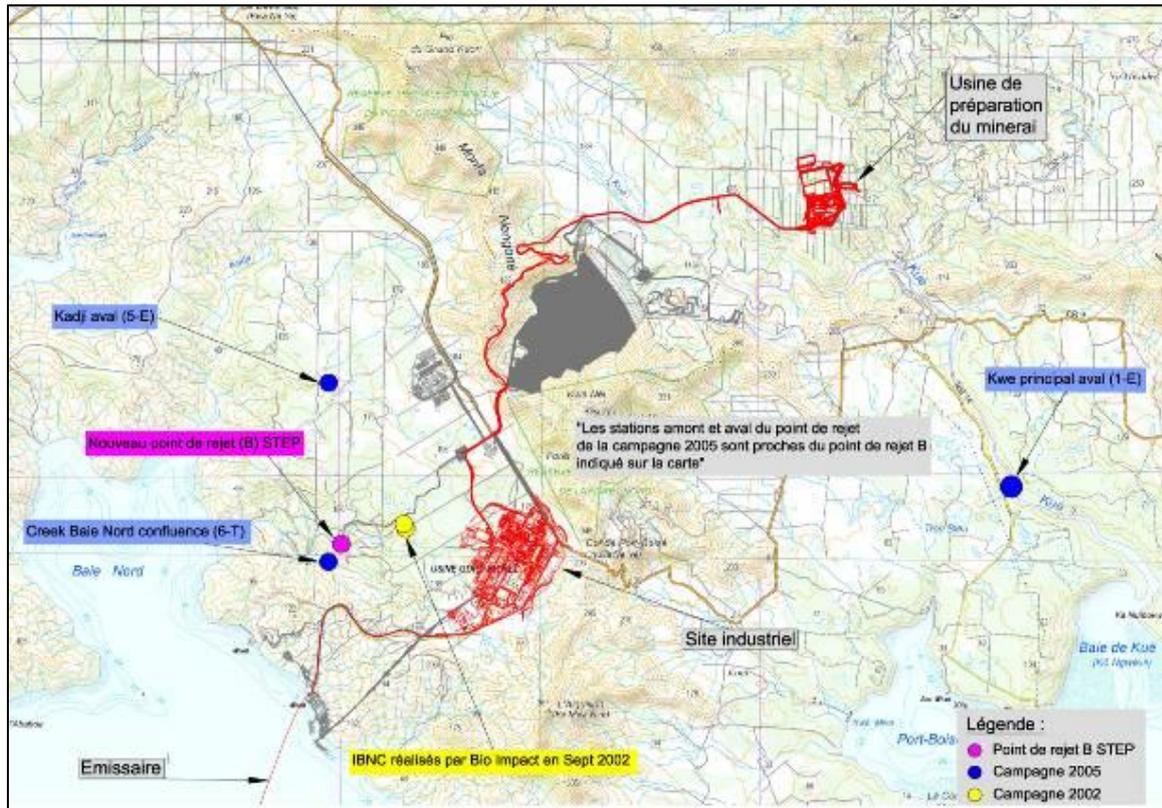


Figure 31 : Stations de suivi des indices biotiques

Les valeurs de l'indice IBNC déterminées pour la Kué Principale donnent une qualité des eaux variant de bonne à passable entre 2005 et 2006.

Tableau 30 : Résultats des campagnes de suivi des indices biotiques

Rivière	Station	Dates	IBNC	Qualité biologique de l'eau
Kué principale	Station 1E	février 2005	6,25	Bonne
		août 2006	5,38	Passable
Kadji	Station 5E	février 2005	5,80	Bonne
		août 2006	5,21	Passable

Note : la campagne de 2002 ayant été réalisée à une période de l'année différente et sur des stations relativement éloignées de celles de 2005/2006, il est difficile de comparer directement les résultats.

4.1.5.3 Suivi des cours d'eau

☞ Voir Atlas Carte C15 - Stations de suivis hydrobiologiques

4.1.5.3.1 Suivi de la faune ichthyenne et carcinologique de la Kué et des rivières périphériques

La rivière Kué est suivie depuis 1995. De 1995 à 2012, un total de 15 campagnes a été réalisé dans les 4 branches de la Kué (Kué Principale et ses 3 affluents, Kué Ouest, Kué Est et Kué Nord). Les inventaires effectués en 1995, 1996 et 1997 sont des suivis qualitatifs (présence-absence) de la faune ichthyologique sur divers tronçons et ont permis d'établir l'état initial de la faune d'eau douce (voir paragraphe 5.1.3).

En revanche, les 12 campagnes menées de 2000 à 2012 sur la rivière Kué sont des suivis quantitatifs et concernent des tronçons et des stations bien définis.

Tableau 31 : Historique du suivi de la faune d'eau douce depuis 2000

bassin versant	sous-bassin versant	station	mai 2000	août 2000	juin 2007	septembre 2007	janvier 2008	juin 2009	juin 2010	janvier 2011	avril 2011	juin 2011	janv-fev 2012	juin 2012	
Kwé principale		KWP-70													
		KWP-40													
		KWP-10													
Kwé Ouest	Kwé Ouest	KWO-60													
		KWO-20													
		KWO-10													
	Kwé Ouest 4	KO4-10													
		KO4-20													
		KO4-50													
	Kwé Ouest 5	KO5-10													
		KO5-20													
		KO5-50													
Kwé Est		KWE-20													
		KWE-10													
Kwé Nord		KWN-40													
		KWN-10													

Source : Erbio, 2012

13 stations de suivi de la faune d'eau douce sont installées dans le périmètre de la zone d'étude, sur la Kué Ouest et la Kué Principale, mais aussi sur les rivières Trou Bleu, Wajana, Kué Byini et Truu.

Tableau 32 : Localisation et description des points de suivi de la faune ichthyologique

Nom	Bassin Versant	Type de suivi	Fréquence	Raison d'être	RGNC 91 Est	RGNC 91 Nord
CBN-30	CBN	Suivi poisson	Annuelle	Arrêté n°890-2007/PS	491924.5	207746
CBN-70	CBN	Suivi poisson	Annuelle	Suivi volontaire	491242.2	208094.3
TBL-50	TB	Suivi poisson	Tous les 2 ans	Suivi volontaire	499477.5	207400.8
TBL-70	TB	Suivi poisson	Tous les 2 ans	Suivi volontaire	499469	207313.8
KO-20	KO	Suivi poisson	Annuelle	Suivi volontaire	496909	210585
KWP-10	KP	Suivi poisson	Annuelle	Suivi volontaire	499313.6	210881.4
KWP-70	KP	Suivi poisson	Annuelle	Suivi volontaire	501310	208180.4
KUB-50	Kuébini	Suivi poisson	Semestrielle	Mesure Compensatoire	502032	215188
KUB-40	Kuébini	Suivi poisson	Semestrielle	Mesure Compensatoire	501028	214810
KUB-60	Kuébini	Suivi poisson	Semestrielle	Mesure Compensatoire	503117	215400
WAD-40	Wajana	Suivi poisson	Tous les 2 ans	Mesure Compensatoire	503211	212009
WAD-50	Wajana	Suivi poisson	Tous les 2 ans	Mesure Compensatoire	503552	211740
WAD-70	Wajana	Suivi poisson	Tous les 2 ans	Mesure Compensatoire	504070	211496

Source : Erbio, 2011 et 2012

L'inventaire faunistique réalisé lors des suivis sur ces 13 stations porte sur les poissons et les crustacés. La méthode d'échantillonnage pour le suivi des poissons est la pêche électrique. Les caractéristiques mésologiques (type de milieu et physico-chimie) sont retranscrites lors de chaque campagne.

Le Tableau 33 présente quelques éléments comparatifs des résultats obtenus pour la faune ichtyologique et carcinologique de la Kué Ouest et Principale et des rivières périphériques potentiellement concernées par le projet. On note que la rivière Wajana présente globalement les résultats les plus favorables sur l'ensemble de ces cours d'eau.

Les différences les plus notables se situent au niveau de l'abondance de la faune et notamment carcinologique (notée ici par le nombre d'individus à l'hectare) et de la proportion d'espèces endémiques dans les prises de poissons et de crustacés, soit 4,5 fois plus importante dans la Wajana que dans la rivière Kué.

Tableau 33 : Résultats du suivi de la faune ichtyologique et carcinologique de juin 2012

Rivière	Trou bleu	Wajana	Kué	Kuébini	Truu
Richesse spécifique poissons	16	18	16	15	11
Nbre d'espèces de poissons endémiques	3	4	3	3	1
Nbre de poissons/ha	1016	828	76	182	991
% espèces endémiques /effectif global capturé (poissons)	6,2	18,77	4	14,20	2,9
Richesse spécifique macro-invertébrés (crevettes et crabes)	6	7	7	5	2
Nb d'espèces de macro-invertébrés endémiques	2	2	4	3	0
Nbre de macro-invertébrés/ha	1732	4204	559	261	131
% espèces endémiques/effectif global capturé (macro-invertébrés)	0,33	0,56	0,12	0,25	0

Source : Erbio, 2012

4.1.5.3.2 La Rivière Kué (d'après Erbio, 2012)

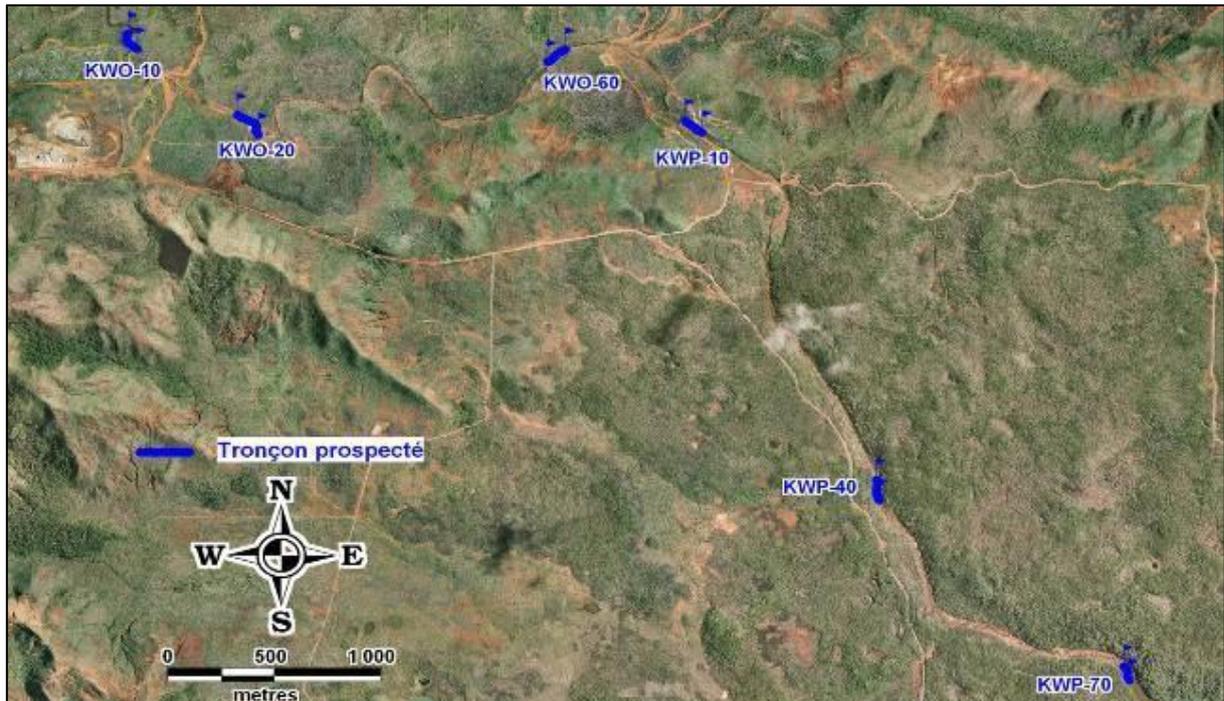
Les tronçons prospectés sur les affluents de la rivière Kué durant les campagnes de 2012 (saison chaude et saison fraîche) sont localisés sur la Figure 32.

La diversité de la faune ichtyologique recensée dans la Kué au cours des suivis de juin 2012 est qualifiée de 'moyenne' avec 16 espèces de poissons autochtones appartenant à 7 familles différentes, dont 3 espèces endémiques inscrites comme espèces protégées au titre du Code de l'environnement de la province Sud, mais assez bien représentées en termes d'effectif et de biomasse. En plus des espèces endémiques, 4 espèces sont présentes sur la liste rouge de l'UICN¹⁴ en "préoccupation mineure" vis-à-vis de leur conservation.

Sur l'ensemble du cours d'eau en 2012, hormis l'espèce endémique *Sicyopus chloe* qui a uniquement été capturée dans la Kué Ouest (KWO-60), l'ensemble des espèces inventoriées dans les divers affluents sont présentes dans la Kué Principale.

Aucune espèce introduite ou envahissante n'a été répertoriée sur l'ensemble des stations.

¹⁴ UICN 2011. UICN Red List of Threatened Species. Version 2011



Source : Erbio, 2012

Figure 32 : Localisation des tronçons prospectés dans la Kué

D'après les résultats des différents descripteurs biologiques du peuplement obtenus au cours de l'étude de juin 2012 et étant donné l'effort d'échantillonnage important (6 stations), la Kué peut être considérée comme un milieu ayant une faune ichthyologique pauvre en termes de biodiversité, d'effectif et de biomasse. La Kué Ouest présente des valeurs très faibles pour les descripteurs biologiques du peuplement, et variables sur les trois stations étudiées. Ce constat montre que cette branche de la Kué est davantage impactée par l'activité minière que la branche principale.

On note tout de même la présence du mulot *Cestracus plicatilis*, espèce d'intérêt halieutique, de plus en plus rare en Nouvelle-Calédonie.

Pour les crustacés, 6 espèces de crevettes appartenant à 2 familles différentes et 1 espèce de crabe d'eau douce ont été recensées dans la Kué.

- Richesse biologique comparée des affluents de la Kué

Dans le cadre du suivi réglementaire, 15 campagnes ont déjà été réalisées dans la Kué, mais en termes de stations étudiées et de surface échantillonnée, seules les données d'inventaire des 6 dernières campagnes sur la Kué Ouest et la Kué Principale sont concrètement comparables. Les résultats des inventaires poissons dans la Kué Ouest et dans la Kué Principale sont présentés dans le Tableau 36.

D'une manière générale, la rivière Kué Principale est plus riche et plus diversifiée que la Kué Ouest. De plus, et comme cela a été observé pour l'ensemble des cours d'eau inventoriés lors de cette campagne, le tronçon aval de la Kué Principale (station KWP-70) rassemble un plus grand nombre d'espèces et d'individus capturés par rapport aux stations amont.

Tableau 34 : Résultats du suivi de la faune ichthyologique et carcinologique de la rivière Kué en juin 2012

Effectif	Rivière	Kwé						Totaux par espèce	Abondance (%) par espèce	Nbre/ha/espèce	Totaux par famille	Abondance (%) par famille
	Date	31/05/2012	01/06/2012	24/05/2012	24/05/2012	14/06/2012	14/06/2012					
Famille	Espèce	KWP-70	KWP-40	KWP-10	KW0-60	KW0-20	KW0-10					
ANGUILLIDAE	<i>Anguilla reinhardtii</i>		1	1				2	2,02	1,5	3	3,03
	<i>Anguilla sp. (civelle)</i>	1						1	1,01	0,8		
ELEOTRIDAE	<i>Eleotris acanthopoma</i>	4						4	4,04	3,1	39	39,39
	<i>Eleotris fusca</i>	23	1	1				25	25,25	19,2		
	<i>Eleotris melanosoma</i>	5						5	5,05	3,8		
	<i>Ophieleotris aporos</i>	2						2	2,02	1,5		
	<i>Ophieleotris nov. sp. !</i>	3						3	3,03	2,3		
GOBIIDAE	<i>Awaous guamensis</i>	1	4	1		1	1	8	8,08	6,1	12	12,12
	<i>Glossogobius celebius</i>	3						3	3,03	2,3		
	<i>Sicyopus chloe !</i>				1			1	1,01	0,8		
KUHLIIDAE	<i>Kuhlia marginata</i>		1					1	1,01	0,8	22	22,22
	<i>Kuhlia munda</i>	5	3					8	8,08	6,1		
	<i>Kuhlia rupestris</i>	3	1			4	5	13	13,13	10,0		
LUTJANIDAE	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	1						1	1,01	0,8	1	1,01
MUGILIDAE	<i>Cestraeus oxyrhyncus</i>	4	3	3				10	10,10	7,7	21	21,21
	<i>Cestraeus plicatilis</i>	4	3		3	1		11	11,11	8,4		
RHYACICHTHYIDAE	<i>Protogobius attiti !</i>			1				1	1,01	0,8	1	1,01
Station	Effectif	59	17	7	4	6	6					
	%	59,60	17,17	7,07	4,04	6,06	6,06					
	Surface échantillonnée (m ²)	3037,5	2190,2	1986	1900	2082,9	1855,6					
	Nbre Poissons/m ²	0,019	0,008	0,004	0,002	0,003	0,003					
	Nbre Poissons/ha	194	78	35	21	29	32					
	Nbre d'espèce	12	8	5	2	3	2					
	Nombre d'espèces endémiques	1	0	1	1	0	0					
Rivière	Abondance spécifique (%)	75,00	50,00	31,25	12,50	18,75	12,50					
	Effectif							99				
	%							100,00				
	Surface échantillonnée (m ²)							13052				
	Nbre Poissons/m ²							0,008				
	Nbre Poissons/ha							76				
	Nombre d'espèces endémiques							3				

EFFECTIF	Rivière	Kwé						Totaux par espèce	Abondance (%) par espèce	Nbre / ha / espèce	Totaux par famille	Abondance (%) par famille
	Date	31/05/2012	01/06/2012	24/05/2012	24/05/2012	14/06/2012	14/06/2012					
Famille	Espèce	KWP-70	KWP-40	KWP-10	KW0-60	KWO-20	KWO-10					
Atyidae	<i>Paratya bouvieri</i> !				16	6	24	46	6,30	35	90	12,33
	<i>Paratya intermedia</i> !					6	28	34	4,66	26		
	<i>Paratya typa</i> !			1			9	10	1,37	8		
Hymenosomatidae	<i>Odiomaris pilosus</i> !	4						4	0,55	3	4	0,55
Palaemonidae	<i>Macrobrachium aemulum</i>	100	200	92	78	102	59	631	86,44	483	636	87,12
	<i>Macrobrachium caledonicum</i>	3						3	0,41	2		
	<i>Machrobrachium lar</i>	2						2	0,27	2		

Station	Effectif	109	200	93	94	114	120
	%	14,93	27,40	12,74	12,88	15,62	16,44
	Surface échantillonnée (m ²)	3038	2190	1986	1900	2083	1856
	Nbre macroinvertébrés/m ²	0,04	0,09	0,05	0,05	0,05	0,06
	Nbre macroinvertébrés/ha	359	913	468	495	547	647
	Nbre d'espèce	4	1	2	2	3	4
	Abondance spécifique (%)	57,14	14,29	28,57	28,57	42,86	57,14

Rivière	Effectif	730
	%	100,00
	Surface échantillonnée (m ²)	13052
	Nbre macroinvertébrés/m ²	0,06
	Nbre macroinvertébrés/ha	559
	Nbre d'espèce	7

Source : Erbio, 2012

D'après le Tableau 36, cette tendance a été observée durant chaque campagne depuis 2000. La faune d'eau douce augmente en densité et en biomasse à mesure que l'on se dirige vers l'embouchure.

Malgré des différences de plans d'échantillonnage, les résultats des inventaires réalisés dans la Kué Nord et la Kué Est montrent que ces branches sont bien moins riches et/ou en moins bon état de santé que les deux branches Ouest et Principale.

- Evolution des résultats jusqu'à 2012

En termes de diversité, 8 familles, regroupant 26 espèces ont été recensées dans la Kué depuis 1995. Tous suivis confondus depuis 2000, 24 espèces ont été observées dans la Kué Principale et la Kué Ouest. Depuis 2010 et jusqu'à l'étude de juin 2012, 11 nouvelles espèces, dont 4 endémiques, avaient été recensées dans ces deux branches de la Kué. La famille des Ophichthyidae n'a pas été retrouvée lors de l'étude de 2012.

Sur l'ensemble des espèces recensées depuis le début du suivi (26 espèces), 10 espèces n'ont pas été retrouvées au cours de l'étude 2012. Néanmoins cette l'absence n'est pas forcément un signe de dégradation ou d'absence définitive du cours d'eau. Les effectifs et la richesse spécifique de la faune ichtyologique des stations inventoriées sur la Kué Ouest et la Kué Principale depuis 2000 sont présentés dans le Tableau 36.

- Inventaires complémentaires sur les secteurs KO4 et KO5

Les secteurs KO4 et KO5 sont les prochains secteurs de développement de VNC dans le bassin versant de la Kué. A ce titre, ils ont bénéficié d'inventaires spécifiques. La localisation des stations du réseau de suivi de l'ichtyofaune et de la faune carcinologique des bassins est indiquée dans le tableau ci-dessous. Les inventaires réalisés en 2011 sont apparentés à des inventaires d'état actuel avant aménagement sur ces secteurs.

Tableau 35 : Positionnement des stations d'inventaire ichtyofaune et de la faune carcinologique sur KO4 et KO5

Bassin versant	Nom de la station	Début du tronçon		Fin du tronçon	
		RGN 91 Est	RGN 91 Nord	RGN 91 Est	RGN 91 Nord
KO4	KO4-10-P	697869	7533154	697799	7533235
	KO4-20-P	698232	7532716	698189	7532800
	KO4-50-P	698579	7532419	698482	7532431
KO5	KO5-10-P	699672,412	7534248,940	699616,411	7534308,940
	KO5-20-P	699764,425	7530624,922	699823,415	7533664,938
	KO5-50-P	699865,418	7532833,934	699866,418	7532848,934

Source : Erbio, juillet et août 2011

Sur KO4 comme sur KO5, les résultats montrent des effectifs de poissons et une diversité spécifique très faibles :

- sur KO4, 13 individus appartenant à 5 espèces de poissons (aucune endémique) ont été inventoriés ;

Tableau 36 : Effectifs et richesse spécifique de la faune ichtyologique des stations inventoriées de la Kué Ouest et la Kué Principale depuis 2000

Année	KWP-70								KWP-40				KWP-10				KW0-60				KWO-20				KWO-10				Total								
	mai 2000	juin 2007	juin 2009	juin 2010	janvier 2011	juin 2011	janvier 2012	juin 2012	janvier 2011	juin 2011	janvier 2012	juin 2012	juin 2007	juin 2009	juin 2010	janvier 2011	juin 2011	janvier 2012	juin 2012	janvier 2011	juin 2011	janvier 2012	juin 2012	mai 2000	septembre 2007	juin 2009	juin 2010	janvier 2011		juin 2011	janvier 2012	juin 2012	janvier 2011	juin 2011	janvier 2012	juin 2012	
Famille	Espèce	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	nbre abs	
ANGUILLIDAE	Indéterminé				3			1																												4	
	<i>Anguilla marmorata</i>		1						2															1							1	1				6	
	<i>Anguilla reinhardtii</i>				1		1				1		1										1														9
ELEOTRIDAE	<i>Eleotris sp.</i>			1		4																															5
	<i>Eleotris acanthopoma</i>											4																									4
	<i>Eleotris fusca</i>		2	9	12	14	40	13	23	1	3		1						2	1	1																122
	<i>Eleotris melano soma</i>	1		4		2	7		5																												19
	<i>Ophieleotris aporos</i>								2																												2
	<i>Ophieleotris nov. sp. !</i>								3																												3
	<i>Awaous guanensis</i>	2	2		1	4	2		1	1	6		4				1	1	1	1	1	2	2			1	2	4	3	7	1	1	3	2		1	56
GOBIIDAE	<i>Awaous ocellaris</i>																																				1
	<i>Glossogobius celebius</i>				3	3	5	2	3																												16
	<i>Istigobius decoratus</i>							1																													1
	<i>Redigobius bikolanus</i>			2		3	3	1																													9
	<i>Schismatogobius fuliginentus !</i>							1																													1
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i>				4	2	1			1	2							1																			11
	<i>Sicyopterus sp.</i>					6	3																														9
	<i>Stenogobius vateiensis !</i>				1																																1
	<i>Sicyopus chloe !</i>																							1													6
	KUHLIDAE	<i>Kuhlia marginata</i>						1					1																								
<i>Kuhlia munda</i>			3	3	7	10	9	7	5				3																								47
<i>Kuhlia rupestris</i>		4	7	7	12	4	13	13	3					4	4	1	1	1	2	1			5	2		1	4	11	5	4	7	1	4	12	23	5	5	162
LUTJANIDAE	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>			1		2	2		1																												6
	Indéterminé																																				1
MUGILIDAE	<i>Cestraeus oxyrhynchus</i>				1		4	2	4		3		3					1		3																25	
	<i>Cestraeus plicatilis</i>	4	1		5	1	9	1	4	4	4		3			3		4	4		4	6	2	3							1			1	2	66	
OPHICHTHYIDAE	<i>Lamnostoma kampeni</i>					1	1																														2
RHYACICHTHYIDAE	<i>Protogobius atiti !</i>										4			1		1																					7
Nombre d'espèces de poissons		3	6	6	10	10	14	10	12	4	9	0	8	1	1	4	2	5	3	5	4	4	3	2	1	4	3	2	3	2	3	3	4	5	1	2	24
Effectif total de poissons		11	16	27	50	56	101	43	59	7	28	0	17	1	1	6	3	8	7	7	12	12	5	4	1	7	14	9	8	14	3	6	17	32	5	6	603

Source : Erbio, 2012

- sur KO5, seulement 5 poissons ont été inventoriés, ils appartenait à 3 espèces autochtones qui n'apparaissent sur aucune des listes de protection des espèces en Nouvelle-Calédonie (ni sur la liste fixée par le Code de l'environnement de la province Sud et ni sur la liste rouge de l'UICN).

Ces parties amont du bassin versant de la Kué ne semblent donc pas être favorables à la présence des communautés piscicoles. Les faibles effectifs et la faible diversité peuvent s'expliquer par le fait que les stations se situent probablement trop en amont (de l'embouchure) et/ou qu'il y a des obstacles au franchissement pour ces espèces. En effet, la majorité des espèces de poissons en Nouvelle-Calédonie, dont celles capturées ici, sont migratrices (amphidromes). Au niveau de la faune carcinologique on trouve :

- 3 espèces (227 individus), dont 2 endémiques à la Nouvelle-Calédonie ont été inventoriés dans KO4 ;
- espèces de crevettes (921 individus) dont 3 endémiques ont été inventoriées sur KO5, avec des densités élevées (12971 ind./ha pour l'ensemble du bassin KO5). 95 % des individus capturés font partie du genre *Paratya*, endémique à la Nouvelle-Calédonie et dont l'aire de répartition est surtout concentrée sur le Grand Sud. En particulier, l'espèce *P Paratya typa* ne semble pas présente en province Nord. Il convient donc de suivre et de préserver ces espèces d'éventuels impacts environnementaux (Erbio, 2011).

4.1.5.3.3 Suivi des macro-invertébrés

- Méthode des indices biotiques

Dans les prélèvements effectués dans la rivière, on détermine les organismes présents. On ne tient pas compte du nombre d'individus trouvés, mais seulement du nombre d'espèces ou groupes d'espèces trouvés. Avec ceux qui disposent d'un score, on calcule une moyenne des scores. L'Indice IBNC est basé sur une liste de 66 taxa intégrateurs de la pollution. Il est établi selon la formule :

$$IBNC = 1/n \sum_{i=1}^n s_i$$

Avec n = nombre de taxa intégrateurs

S_i = score du taxon i relativement à la pollution.

En fonction de la valeur de l'indice, on attribue une classe de qualité écologique au cours d'eau. Les valeurs seuils communément utilisées sont les suivantes :

Excellente qualité	IBNC > 6.5
Bonne qualité	5.50 < IBNC ≤ 6.50
Qualité moyenne	4.50 < IBNC ≤ 5.50
Mauvaise qualité	3.50 < IBNC ≤ 4.50
Très mauvaise qualité	IBNC ≤ 3.50

IBS – Qualité Bio-sédimentaire. L'Indice Biotique Sédimentaire (IBS) permet de mettre en évidence une perturbation de la qualité des eaux par des pollutions par les particules fines. Il est calculé d'une façon similaire et le score final est l'IBS. Cet indice est utilisé notamment pour les cours d'eau drainant les massifs miniers, à dominante ultrabasique, ou immédiatement en aval de ces derniers. Les valeurs seuils communément utilisées sont les suivantes :

Excellente qualité	IBS > 6.5
Bonne qualité	5.75 < IBS ≤ 6.50
Qualité moyenne	5.00 < IBS ≤ 5.75
Mauvaise qualité	4.25 < IBS ≤ 5.00
Très mauvaise qualité	IBS ≤ 4.25

- Suivi des macro-invertébrés de la Kué

Parmi les 8 stations de suivi de l'IBNC installées dans le périmètre de la zone d'étude, celles concernant l'activité minière sont positionnées sur la Kué Ouest (KO), la Kué Nord (KN), la Kué Principale (KP) et la rivière Trou Bleu (TB).

Tableau 37 : Localisation et description des points de suivi pour l'IBNC

Nom	Bassin versant	Type de suivi	Fréquence*	Raison d'être	RGN 91 Est	RGN 91 Nord
4-M	KN	IBNC	Annuelle	Arrêté n° 1467-2008/PS	498889,4	211632,5
4-N	KO	IBNC	Annuelle	Arrêté n° 1467-2008/PS	497415,6	210891,5
1-E	KP	IBNC	Semestrielle	Arrêté n° 1467-2008/PS	500042,1	208314,8
3-B	KO	IBNC	Semestrielle	Arrêté n° 1467-2008/PS	496478,1	210820,1
3-C	TB	IBNC	Trimestrielle	Mesure compensatoire	499124	206972

Le Tableau 38 et le Tableau 39, présentent les résultats obtenus pour les indices IBNC et IBS lors des campagnes d'échantillonnage les plus récentes de 2010 à 2012.

Tableau 38 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2010

Nom	Bassin versant	Type de suivi	Richesse spécifique (taxa)	Note IBNC – Qualité	Note IBS - Qualité	Date
4-M	KN	IBNC	7	Ne peut être considéré (nb de taxa < à 7)	Ne peut être considéré (nb de taxa < à 7)	Juin 2010
4-N	KO	IBNC	5	Ne peut être considéré (nb de taxa < à 7)	Ne peut être considéré (nb de taxa < à 7)	Juin 2010
1-E	KP	IBNC	18	5,43 - Passable	4,85 - Mauvaise	Déc 2010
3-B	KO	IBNC	21	5,44 - Passable	5 - Passable	Déc 2010
3-C	TB	IBNC	< à 20	5,53 - Bonne	< à 5 - Mauvaise	Déc 2010

Tableau 39 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2011

Station	Date de prélèvement	Nombre d'individus	Densité (nb d'indiv/ m2)	nb total de taxons	Echantillonneur	IBNC	IBS	Qualité biologique (IBNC)	Qualité biosédimentaire (IBS)
1-E	27/07/11	25	100	8	Aqua Terra	6,2	4,67	Bonne	Mauvaise
1-E	22/11/11	198	792	11	Aqua Terra	5	3,86	Passable	Très mauvaise
3-B	27/07/11	79	316	11	Aqua Terra	7,63	6,44	Excellente	Bonne
3-B	22/11/11	88	352	12	Aqua Terra	6,44	5,89	Bonne	Bonne
3-C	24/03/11	258	1032	18	Biotop	4,69	4,85	Passable	Mauvaise
3-C	27/07/11	9	36	5	Aqua Terra	5,6	6	Bonne	Bonne
3-C	23/09/11	49	196	8	Aqua Terra	5,83	6,14	Bonne	Bonne
3-C	22/11/11	59	236	5,75	Aqua Terra	5,2	5	Passable	Mauvaise
4-M	28/07/11	30	120	30	Aqua Terra	7	6,25	Excellente	Bonne
4-N	28/07/11	8	32	5	Aqua Terra	4,75	4,5	Passable	Mauvaise
5-E	26/07/11	28	112	6	Aqua Terra	5,67	5,4	Bonne	Passable
KE-05	28/07/11	19	76	9	Aqua Terra	5,2	5	Passable	Mauvaise

Tableau 40 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2012

Station	Date de prélèvement	Nombre individus	Densité (nb d'indiv/m2)	nb total de taxons	Echantillonneur	IBNC	IBS	Qualité biologique (IBNC)	Qualité biosédimentaire (IBS)
3-C	10/05/2012	64	256	8	Aqua Terra	6,14	5,29	Bonne	Passable
4-M	19/06/2012	22	88	3	Aqua Terra	4,33*	4,67*	Mauvaise	Mauvaise
4-N	19/06/2012	42	168	8	Aqua Terra	4,4*	3,8*	Mauvaise	Très mauvaise
3-B	19/06/2012	64	256	10	Aqua Terra	5,63	5,33	Bonne	Passable
1-E	20/06/2012	11	44	3	Aqua Terra	6,5*	5,5*	Bonne	Passable
3-C	20/06/2012	15	60	6	Aqua Terra	5,67*	4,67*	Bonne	Mauvaise
KE-05	18/06/2012	5	20	2	Aqua Terra	4*	5,5*	Mauvaise	Passable

* Le nombre de taxa indicateur n'est pas suffisant pour que l'indice soit valide et représentatif.

Le suivi des années 2010 à 2012 permet de dégager les tendances actuelles par affluent de la Kué et pour la rivière périphérique Trou Bleu :

1. **Kué Ouest** : on observe une dégradation à la fois de la qualité organique et de la qualité sédimentaire de cet affluent de l'amont (station 3-B), où la qualité est globalement bonne, vers l'aval (station 1-E) qui présente des qualités bonnes à très mauvaises pour les deux indices, sauf en 2012 où la qualité des cours d'eau est identique, mais le nombre de taxa ne permet pas de valider la note indicienne.
2. **Kué Nord** : les eaux de surface de cet affluent, plutôt bonnes (pour IBNC et IBS) précédemment, se dégradent nettement en 2012 (station 4-M), mais le nombre de taxa ne permet pas de valider la note indicienne.
3. **Kué principale** : la qualité organique est plutôt bonne sur les 3 années alors que ce cours d'eau présente une pollution sédimentaire régulière (IBS mauvais – station 1-E), mais le nombre de taxa ne permet pas de valider la note indicienne en 2012.

4. **Trou Bleu** : pour le Trou Bleu (station 3-C), la qualité biologique est généralement bonne alors que les résultats de l'IBS montrent régulièrement une pollution sédimentaire. Pourtant, aucune pression anthropique n'est exercée sur ce cours d'eau et aucun signe de pollution organique n'est observable. L'indice IBS indique une pollution de type sédimentaire, probablement liée aux pluviométries des mois précédents l'échantillonnage.
- Etat des lieux sur les stations KO4 et KO5 en 2011

Deux états des lieux ont été dressés en avril 2011 sur les bassins versants KO4 (futur parc à résidus) et KO5 (SMLT), spécifiquement en vue de l'aménagement de ces deux secteurs. Les résultats sur 8 stations d'échantillonnage sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 41 : Résultats des indices IBNC et IBS, campagnes de 2011

Station	Date de prélèvement	Nombre individus	nb total de taxons	Echantillonneur	IBNC	IBS	Qualité biologique (IBNC)	Qualité biosédimentaire (IBS)
KO4-05-I	02/05/2011	118	19	ERBIO	6.21	5.15	Bonne	Passable
KO4-10-I	27/04/2011	800	23	ERBIO	5.71	4.94	Bonne	Mauvaise
KO4-20-I	27/04/2011	676	21	ERBIO	5.57	5.13	Bonne	Passable
KO4-50-I	02/05/2011	69	17	ERBIO	5.92	4.92	Bonne	Mauvaise
KO4-DOL01-I	02/05/2011	188	18	ERBIO	-	-	-	-
KO5-10-I	02/05/2011	316	24	ERBIO	5.78	5.35	Bonne	Passable
KO5-20-I	02/05/2011	185	19	ERBIO	5.57	5.15	Bonne	Passable
KO5-50-I	02/05/2011	281	21	ERBIO	5.94	5.43	Bonne	Passable

Sur KO5, 34 taxa d'invertébrés macrobenthiques ont été répertoriés. Sur KO4, 40 espèces sont recensées dont 11 taxa endémiques. L'IBNC indique une qualité d'eau bonne sur KO4 comme sur KO5, les milieux sont donc préservés des pollutions organiques.

L'IBS indique une qualité d'eau mauvaise à passable sur KO4 et passable sur KO5, ce qui indique une pollution sédimentaire, probablement générée par les zones érodées situées en amont des deux secteurs.

4.1.6 Qualité des sédiments

La qualité des sédiments des rivières de la région du projet VNC a été évaluée en 1994 et en 2000. La qualité des sédiments a été analysée pour les rivières Kué Principale, Kué Ouest, Kué Est, Kuébini et Wajana.

4.1.6.1 Valeurs guides

A titre indicatif, les résultats d'analyses ont été comparés à ceux de la rivière de référence (rivière Carénage) et à des valeurs guides françaises calculées pour les sols, présentées par le ministère de l'Ecologie et du développement durable dans son *Guide méthodologique pour la gestion des sites (potentiellement) pollués - Version 2*, publié par le BRGM en mars 2000. Ce guide n'est plus véritablement utilisé en métropole depuis la mise en place d'une nouvelle méthodologie en 2007 mais il était une référence au moment des analyses : les valeurs guides étaient alors utilisées à l'occasion des évaluations simplifiées des risques (ESR) et permettaient de caractériser la contamination des sols et des nappes souterraines. Le guide définit plusieurs valeurs guides :

- les valeurs de définition de source dans les sols (VDSS) sont utilisées pour évaluer la pollution dans un sol. Ces valeurs permettent de déterminer si un sol contenant une substance chimique donnée constitue une source de pollution ;
- les valeurs de constat d'impact (VCI) permettent de constater l'importance de l'impact sur les milieux sols ou eaux.

4.1.6.2 Qualité des sédiments jusqu'en 2005

Les sédiments des rivières de la région de Goro sont généralement pauvres en carbone organique, en phosphore et en azote total. Le Tableau 42 résume les résultats obtenus sur les échantillons prélevés dans les rivières de la région de Goro.

Tableau 42 : Qualité des sédiments

Paramètre	Concentration moyenne (mg/kg)	Intervalles de confiance de 95 % (mg/kg)
Nickel	4 715	3 631 - 5 799
Chrome	11 149	1 450 - 11 848
Cuivre	35	30 - 41

Source : Rescan, 2000

De même que pour les eaux de surface, ces résultats montrent de fortes concentrations naturelles en métaux reflétant le bruit de fond géochimique des sols dans la zone du projet VNC. Certains métaux, notamment le nickel, le chrome et le cuivre, sont naturellement présents dans les sédiments des rivières à des niveaux pouvant être toxiques pour les organismes aquatiques non adaptés à ce milieu :

- **nickel** : la concentration est comprise entre 1460 et 7450 mg/kg, ce qui est en moyenne très largement supérieur à la VDSS et la VCI usage non sensible (900 mg/kg) ;
- **chrome** : la concentration naturelle est comprise entre 3440 et 15 400 mg/kg. Elle est très supérieure en moyenne à la VDSS (65 mg/kg) et par endroit à la VCI usage non sensible (7000 mg/kg) ;
- **cobalt** : la concentration naturelle en cobalt est comprise entre 136 et 1050 mg/kg. Elle est supérieure à la VDSS (120 mg/kg) et par endroits à la VCI usage sensible (240 mg/kg).

La diversité et l'endémisme de la faune d'eau douce montrent que les écosystèmes d'eau douce se sont adaptés à ces concentrations élevées en métaux (bruit de fond naturel). Leur abondance semble plutôt limitée à cause de la faible réserve en nutriments des sédiments et de l'eau et donc de la faible biomasse des producteurs primaires. Le Tableau 43 présente la synthèse des mesures.

Tableau 43 : Etat initial de la qualité des sédiments de rivière dans la région de Goro (2000)

Paramètres	Unités	Kué Principale				Kué Ouest		Kué Est	Kué Bini				Wadjana				Synthèse des données		Carénage		Valeurs guides françaises sol		
		Centre FW3 2000		Aval FW17 2000		FW4 2000		1994	Amont FW12 2000		Aval FW1 2000		Amont FW13 2000		Aval FW6 2000		min	max	Amont FWR1-FWR2 2000		VDSS	VClus	VClusn
		min	max	min	max	min	max		min	max	min	max	min	max	min	max			min	max			
Phosphore	mg/kg	<0,2	0,5	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	na	<0,2	<0,2	<0,2	1,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,2	<0,2	<0,2				
Azote Total	%	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	na	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,13			
Potassium	mg/kg	<620	<800	<620	<630	<630	<630	<20	<400	<800	<800	<800	<800	<800	<800	<800	<400	<800	<1000	<2000			
Soufre Total	%	0,07	0,09	0,07	0,08	0,08	0,11	na	0,07	0,09	0,05	0,09	0,06	0,07	0,1	0,12	0,05	0,12	0,07	0,14			
Calcium	mg/kg	35	57	33	43	<30	<30	na	<30	21	46	76	39	47	34	35	21	76	66	191			
Magnésium	mg/kg	450	1 190	450	488	1 190	2 210	835	115	144	3 930	17 700	1 560	2 190	382	482	115	17 700	980	6 630			
Sodium	mg/kg	<300	<400	<330	<330	<330	<330	<20	<200	<400	<300	<400	<300	<400	<300	<400	<200	<400	<500	<700			
Sulfate	mg/kg	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na			
Carbone organique total	%	0,33	0,57	0,26	0,31	0,31	0,42	na	0,76	1,15	0,31	0,53	0,49	0,64	0,31	0,52	0,26	1,15	0,55	2,05			
Aluminium	mg/kg	15 430	24 500	14 930	15 930	17 020	20 230	7 150	15 100	19 500	13 500	18 000	18 000	22 100	15 800	18 200	7 160	24 500	35 200	51 300			
Antimoine	mg/kg	0,1	0,16	0,09	0,15	0,13	0,27	na	0,13	0,31	0,12	0,15	0,06	0,13	0,11	0,17	0,06	0,31	0,1	0,3	50	100	250
Argent	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	na	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Arsenic	mg/kg	3,1	3,8	2,5	3,3	1,33	1,66	5	1,47	5,4	2,9	5,2	1,17	5,2	5,2	7,7	1,17	7,7	4,13	10,1	19	37	120
Cadmium	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,4	<0,4	10	20	60
Chrome	mg/kg	10 300	13 200	10 700	11 200	8 740	9 490	9 440	8 790	13 200	8 500	11 500	8 370	12 300	12 200	15 400	3 440	15 400	11 900	14 700	65	130	7 000
Cobalt	mg/kg	145	508	136	697	597	1 050	151	255	421	325	710	680	824	147	235	136	1 050	1 070	1 510	120	240	1 200
Cuivre	mg/kg	21	39	21	24	34	42	13	16	21	28	44	46	57	31	34	13	57	49	62	95	190	950
Fer	mg/kg	320 030	448 000	307 030	345 000	313 000	340 000	151 000	270 000	394 000	315 000	431 000	417 000	512 000	389 000	509 000	151 000	512 000	511 000	584 000			
Plomb	mg/kg	1	1	<1	1	1	2	15	2	4	1	2	1	2	<1	1	<1	15	2	4	200	400	2000
Manganèse	mg/kg	1 630	3 570	1 450	7 350	4 210	6 160	906	1 370	3 390	2 840	9 000	4 700	5 840	1 430	1 820	906	9 000	6 670	6 980			
Mercure	mg/kg	0,056	0,078	0,052	0,091	0,047	0,055	<0,2	0,078	0,161	0,065	0,255	0,118	0,135	0,058	0,091	0,047	0,255	0,073	0,116	3,5	7	690
Nickel	mg/kg	1 720	5 020	1 830	2 040	4 040	5 230	1 840	1 460	2 080	3 880	6 330	6 540	7 450	2 100	2 710	1 460	7 450	6 470	11 800	70	140	930
Selenium	mg/kg	0,5	1,3	0,3	0,6	0,2	0,3	na	0,1	0,7	0,6	1,3	0,2	1,5	0,6	1,7	0,1	1,7	2,4	4,5			
Zinc	mg/kg	84	193	85	97	159	189	55	90	136	141	226	268	322	120	141	55	322	280	365	4 500	9 000	

Note : Les résultats d'analyses indiqués pour l'année 2000 proviennent de l'étude RESCAN 2000.

De manière générale 2 à 3 échantillons ont été prélevés par station en mai 2000 afin de garantir une bonne représentativité de l'échantillonnage.

Pour la Kué Est les résultats indiqués proviennent d'un échantillon prélevé par SNC-Lavalin en octobre 1994.

La rivière Carénage est utilisée comme rivière de référence car elle est suffisamment éloignée de la zone du projet

4.1.6.3 Tendances actuelles (suivi réglementaire)

Le suivi des sédiments concerne la nature et de la qualité des sédiments et s'effectue sur six stations dans le bassin de la Kué.

Pour l'année 2011, les analyses effectuées sur la nature des sédiments pour les stations de la rivière Kué Ouest montrent une dominance de sédiments grossiers (graviers et sable grossier). La part des éléments fins reste minoritaire. Cette tendance est confirmée par les prélèvements réalisés en 2012, dans lesquels près de 90 % des sédiments sont des sables grossiers.

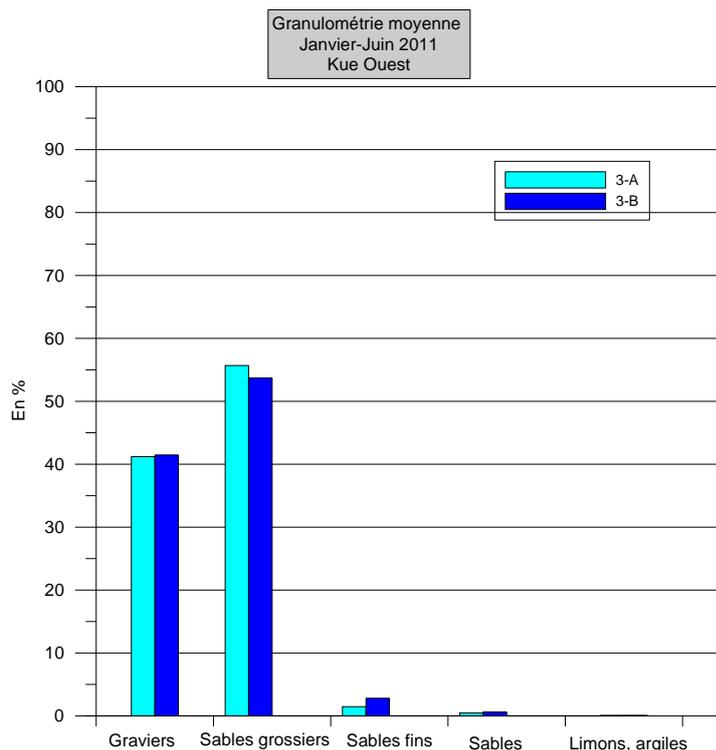


Figure 33 : Résultats des analyses granulométriques en 2011 aux stations 3-A et 3-B (Kué Ouest, juillet 2011)

L'analyse de la composition minérale des sédiments révèle une grande quantité de métaux. En effet, dans ces sédiments, la présence de cobalt, chrome, manganèse, nickel et zinc est régulièrement détectée. Cette composition est évocatrice du bruit de fond des sols latéritiques de la Nouvelle-Calédonie. Ces résultats sont donc corrélés à l'origine des sédiments car ce sont principalement des sédiments terrigènes qui ont été retrouvés dans ce cours d'eau.

4.2 LACS ET ZONES HUMIDES

4.2.1 Contexte

Plaine des Lacs

Le Nord de la zone d'étude est constitué d'une plaine qui regroupe de nombreux lacs dont les plus importants sont le Grand Lac et le Lac en Huit. La superficie du bassin versant dit de la Plaine des Lacs est de 8316 ha. Les lacs sont entourés de zones marécageuses, inondées de façon plus ou moins permanente constituant ainsi un vaste complexe de zones humides qui se prolonge le long de la Rivière des Lacs. Une partie est mise en réserve dans le périmètre de la réserve des chutes de la Madeleine. L'inscription de la Plaine des Lacs sur la liste des zones humides définies par la Convention de RAMSAR a été officialisée en février 2014.

Dolines et lacs du plateau de Goro

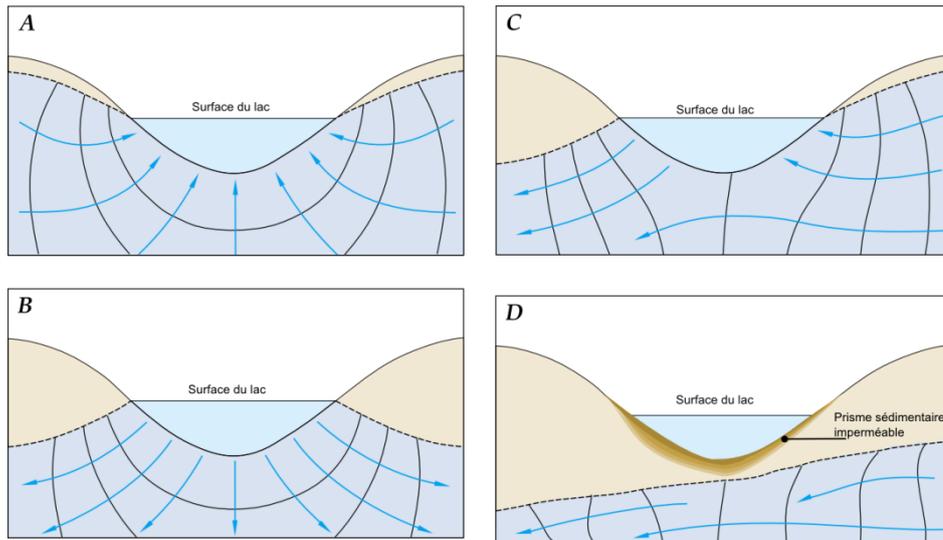
De nombreuses dolines en eau de façon plus ou moins temporaire sont répertoriées sur toute la zone d'étude confirmant l'existence d'un réseau pseudo-karstique. Ce sont des formations hydrogéologiques qui résultent du soutirage des produits de l'altération. L'exemple le plus spectaculaire est celui du Trou du Tahitien (188 m de long, 91 m de large et 24 m de profondeur, soit un volume d'environ 410 500 m³).

Les principaux lacs permanents sont le lac Xéré Wapo, le lac Goro et le lac Robert.

4.2.2 Relations nappes-lacs

 Se référer à l'ANNEXE C03 – Synthèse des observations piézométriques – Secteur de Goro (A2EP, 2012b).

L'alimentation des lacs a généralement 2 origines : les pluies tombées dans l'emprise des bassins versants topographiques associées et les eaux souterraines. Les différents types de relations hydrauliques pouvant se mettre en place entre les lacs, les dolines et les eaux souterraines sont présentés à la Figure 34.



(a et c) le lac draine la nappe
 (b) le lac se vidange dans la nappe
 (d) il n'y a pas d'interaction entre le lac et la nappe
 Source : A2EP, 2014b, illustration inspirée de Winter et al., 1998

Figure 34 : Représentation schématique des interactions possibles entre un lac et la nappe

Dans le secteur de Goro, l'analyse des interactions entre les lacs et les différents compartiments hydrogéologiques s'appuie sur des esquisses piézométriques détaillées construites à partir des observations piézométriques disponibles en périphérie des lacs. Ces cartes ont été établies à partir de données acquises en dehors des périodes pluvieuses, afin d'éviter d'éventuels biais liés par exemple à des modifications rapides du niveau des lacs induites par le ruissellement de surface généré par les précipitations.

L'objectif de l'analyse est de déterminer précisément le sens et la direction des écoulements mis en jeu dans les interactions entre la nappe et les lacs. Cette analyse a porté sur :

- Le lac Robert
- Le lac Xéré Wapo
- Le Grand Lac
- Le lac Goro Sud

Les résultats obtenus sont les suivants (A2EP, 2012b et 2014b) :

- Existence d'une connexion hydraulique entre les nappes et les lacs Goro Sud et Xere Wapo. Cette relation apparaît complexe avec des inversions de gradient hydraulique selon le contexte hydrologique. Pour Goro Sud et Xere Wapo les nappes alimentent ces lacs en situation de hautes et moyennes eaux. En basses eaux, une déconnexion ou une inversion des échanges est observée ;
- Pour le lac Robert, les observations suggèrent l'existence d'une déconnexion permanente avec la nappe des latérites ou d'une alimentation permanente de la nappe par des infiltrations sous le lac ;
- Le Grand Lac est alimenté continuellement par les eaux souterraines. Le débit d'alimentation d'origine souterraine est évalué à 38 l/s à l'étiage et à 360 l/s en moyenne annuelle ((A2EP, 2012d).

4.2.3 Qualité physico-chimique des eaux de doline

Les dolines présentent des eaux très claires légèrement acides et douces. Ces eaux, en raison de leur faible alcalinité (inférieure à 1 mg/l) ont un très faible pouvoir tampon ce qui les rend vulnérables aux variations de pH. Comme les rivières, elles présentent de faibles concentrations naturelles en nutriments et des concentrations naturelles élevées en métaux, notamment en nickel, fer et chrome, reflétant la géochimie des sols latéritiques environnants.

4.2.4 Qualité biologique des eaux des dolines et plans d'eau

4.2.4.1 Etat initial

L'étude de caractérisation menée par Rescan en 2000 indique que les lacs échantillonnés présentent généralement un habitat propice pour les poissons avec une couverture adéquate composée de végétaux, de rochers et de débris végétaux. Très peu de poissons ont été observés en 2000. Seuls 2 poissons, probablement des anguilles, ont été observés dans un seul lac.

Au cours de l'inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote VNC de 1999 en revanche, Erbio a observé un petit poisson à 2 reprises, qui était probablement l'espèce introduite *Oreochromis mossambicus* ou un goby (*Awaous guamensis*), espèce autochtone commune. Le déversoir attenant présentait les caractéristiques d'un milieu lotique avec la présence de trois espèces de poissons : *Oreochromis mossambicus*, *Kuhlia rupestris* et *Anguilla reinhardtii* (Pöllabauer, 1999).

Tableau 44 : Synthèse des travaux réalisés sur les lacs et les dolines de la région de Goro

Date	Expertise	Lieu	Richesse spécifique observée
1995	SNC-Lavalin	Lac en Huit, Grand Lac	Aucun invertébré benthique Traces de reptation et de déjections observées sur le fond indiquant la présence d'espèces vivantes, amphipodes
1999-2004	Erbio	2 plans d'eau permanents	17 espèces dont 1 coléoptère endémique <i>Megaporus</i>
		2 dolines périodiques	Conchostracé <i>Lynceus</i>
2000	Rescan	6 lacs	Large degré de variabilité entre les sites échantillonnés Présence de communautés benthiques en bonne santé dans 3 des 6 lacs inventoriés offrant un substrat adéquat Abondance d'oligochètes et de diptères

Tableau 45 : Macro-invertébrés recensés dans la doline de l'usine pilote et dans deux dolines de référence

Taxon	Espèce	Statut	DINCO1	DINCO2
Mollusques	<i>Physastra nasuta</i>	Endémique	X	X
Arachnides	<i>Araneae non déterminé</i>	Autochtone		X
Hétéroptères	<i>Anisops cleopatra</i>	Autochtone	X	X
	<i>Anisops hyperion</i>	Autochtone	X	X
	<i>Limnogonus fossarum</i>	Autochtone		X
	<i>Limnogonus sp.</i>	Autochtone	X	
Odonates	<i>Aechna brevistyla</i>	Autochtone	X	X
	<i>Tramea transmarina intersecta</i>	Autochtone	X	X
	<i>Hemicordulia sp.</i>	?		X
	<i>Lestes sp.</i>	Autochtone		X
	<i>Zygoptère</i>	?	X	
Coléoptères	<i>Gyrinus convexiusculus</i>	Autochtone	X	X
	<i>Dineutus australis</i>	Autochtone	X	
Dytiscidae	<i>Hyphydrus elegans</i>	Autochtone		X
	<i>Megaporus nsp.</i>	Endémique	X	X
	<i>Onychohydrus scutellaris</i>	Autochtone		X
Conchostracae	<i>Lynceus nsp.</i>	Endémique	X	
Total	17	> ou = 13	11	13

Ces milieux sont souvent colonisés par l'espèce de grenouille introduite *Litorina aurea*, dont les têtards se trouvent en nombre parfois très important.

Dolines périodiques

Les dolines périodiques, en eau lors des fortes précipitations, sont caractéristiques des milieux temporaires. Leur surface peut-être bien plus étendue que celle des dolines permanentes avec une profondeur ne dépassant pas les 2,50 m en pleine eau. La végétation rivulaire est identique à celle des dolines permanentes mais les espèces arbustives tolérantes aux inondations peuvent se développer à même le lit (niaoulis essentiellement) donnant ce caractère occasionnel de forêt immergée. Le fond est bien moins vaseux (car soumis à la dessiccation) et occupé par de nombreux héliophytes.

Du fait de la faible profondeur, l'amplitude thermique est bien plus importante avec un rafraîchissement plus rapide et un réchauffement important, accéléré par la baisse de niveau, aboutissant à l'assèchement complet.

L'impossibilité pour la plupart des macro-invertébrés d'effectuer un cycle biologique complet restreint la richesse spécifique aux espèces les plus mobiles ou adaptées aux milieux temporaires. C'est le cas du Conchostracé *Lynceus sp.* qui se développe très rapidement, notamment dans une doline inventoriée à ce jour et supporte plusieurs années de sécheresse avant de reprendre son cycle vital. Il vit à proximité des touffes d'héliophytes immergées. Les autres taxons présents, mollusques (genre *Physastra*) et larves de libellules, observent la même répartition que dans les dolines permanentes.

Les grenouilles *Litorina aurea* sont encore souvent présentes.

4.2.4.2 Inventaire faunistique des zones humides

Un inventaire faunistique des zones humides a été mené en 2010 sur 6 plans d'eau présents dans l'emprise de la mine à 5 ans (ancien projet), le tableau suivant présente le positionnement des stations (Erbio, 2010).

Tableau 46 : Coordonnées des stations d'inventaire faunistique des zones humides

Station	X (IGN 72)	Y (IGN 72)
ZH-01	702868	7533537
ZH-02	703645	7533065
ZH-03	703515	7532763
ZH-04	703358	7532704
ZH-05	702489	7532806
ZH-06	702276	7532870

Source : Aquaterra, août 2011

Ce premier inventaire a permis de collecter sur l'ensemble des stations 2475 individus, dont 2134 appartiennent à 6 classes : des amphibiens (têtards), des arachnides (araignées), des clitellés (oligochètes), des nématodes (vers), des larves d'insectes divers et des ostracodes. 13,8 %, restent indéterminés.

Globalement tous les plans d'eau semblaient impactés par les activités minières (les habitats sont modifiés, envasés, l'eau plus ou moins turbide), mis à part la station ZH-03, seul plan d'eau qui affichait une eau limpide et des habitats préservés entourés de joncs et de végétation primaire.

4.2.5 Sédiments des dolines

L'épaisseur de la couche de sédiments est variable d'une doline à l'autre. Les concentrations en carbone organique total (COT) sont très variables suggérant des variations importantes de productivité biologique d'une doline à l'autre. De même que pour les sédiments des rivières, les concentrations en métaux sont élevées notamment pour l'aluminium, le fer, le chrome, le nickel, le cobalt et le cuivre, reflétant le bruit de fond géochimique des sols environnants.

4.3 EAUX SOUTERRAINES

La géomorphologie si particulière du Massif du Sud est le résultat de l'action conjuguée de processus complexes impliquant l'activité tectonique passée et actuelle, des phénomènes d'altération géochimiques (à l'origine de la création des formations latéritiques) ainsi que des mécanismes de karstification des formations géologiques.

La karstification est un phénomène d'érosion interne des roches par le biais de processus chimiques ou mécaniques contrôlés par les eaux de surface et les eaux souterraines. A l'échelle mondiale, ce phénomène concerne très majoritairement les formations géologiques de type calcaire (formations carbonatées) dont le meilleur exemple régional est donné par l'île de Lifou.

Ce phénomène touche très rarement d'autres types de roches. La karstification des péridotites constitue donc la principale originalité du Massif du Sud. Elle permet le développement de systèmes hydrologiques très particuliers, appelés pseudo karsts, dont le fonctionnement est comparable à celui des karsts présents dans les massifs de calcaire.

Au sein de ce massif du Sud, le secteur de Goro est concerné par la présence de différentes unités hydrogéologiques dont le fonctionnement est présenté sous forme synthétique dans les paragraphes suivants. Le lecteur soucieux de prendre connaissance des détails sur ces modalités de fonctionnement (notamment celui des systèmes pseudo karstiques) est renvoyé aux volets C et E du livret D de la présente DAEM.

4.3.1 Les unités hydrogéologiques

Le secteur de Goro est constitué par un socle rocheux de péridotites sur lequel repose un manteau d'altération plus ou moins épais. Cet ensemble est organisé en une succession de plateaux et de bassins d'altitude décroissante du Nord-ouest vers le Sud-Est, généralement bien individualisés par une série de crêtes rocheuses (encore appelés chaînons rocheux).

Deux grandes familles de failles sont recensées : N120-130° et N20-30. Néanmoins, des linéaments sont également observés pour d'autres orientations, notamment N0° (orientation Nord-Sud). Selon le modèle structural généralement admis en Nouvelle-Calédonie les linéaments N120-130 correspondent à des failles en compression tandis que les N20-30 sont vues en extension. Le pendage de ces failles est considéré comme sub-vertical.

Les péridotites gardent la trace de ces accidents d'origine tectonique. Les failles ont permis le développement de réseaux de fractures favorisant le passage de l'eau ce qui entraîne localement un approfondissement de l'altération. A l'échelle locale, ce processus est à l'origine de la géométrie particulière de l'interface entre le bedrock rocheux et le profil d'altération. Le bedrock peut être décrit comme une "boîte à œuf" constituée d'une juxtaposition de pinacles marquant les limites de cuvettes plus ou moins profondes remplies par les produits de l'altération (latérite et saprolite). Ce motif a une distribution spatiale pratiquement fractale. On peut le retrouver à l'échelle régionale dans la morphologie du paysage (succession de bassins juxtaposés, limités par des crêtes rocheuses)

C'est dans ce cadre géologique et géométrique que vont se mettre en place les écoulements d'eau souterraine. Les différentes formations géologiques rencontrées dans le secteur de Goro ont été regroupées en 4 unités hydrogéologiques en fonction de leurs caractéristiques communes en matière de perméabilité et de porosité (Figure 35):

- L'aquifère supérieur constitué par la cuirasse : la perméabilité et la porosité de cette formation géologique peu épaisse est généralement très forte
- Une unité semi-perméable (aquitard) constituée par la latérite (rouge et jaune). Cette unité introduit un contraste de perméabilité important dans le profil d'altération ce qui participe à la stratification hydraulique de l'ensemble
- L'aquifère principal (ou aquifère inférieur) qui correspond essentiellement à la saprolite grossière et à la partie fracturée et altérée de la roche mère, notamment au niveau des crêtes rocheuses marquant les bordures de bassins et plateaux. La perméabilité de cette unité est en moyenne plus forte que celle des latérites mais elle reste significativement plus faible que celle de la cuirasse. Cette unité est le siège de la nappe la plus importante en terme de flux d'eau.
- Le substratum hydrogéologique correspond à la roche mère saine. La perméabilité de la roche mère est contrôlée par la fracturation et l'altération chimique de la péridotite. A partir d'une certaine profondeur, la roche mère est suffisamment peu perméable pour que les flux d'eau qui y circulent puissent être considérés comme négligeables. Elle constitue donc le socle au-dessus duquel l'essentiel des écoulements souterrains va se mettre en place.

Ponctuellement les formations alluviales rencontrées dans certains bassins sont le siège de circulations de sub-surface qui contribuent à la formation de zones marécageuses, notamment en saison des pluies. Ces formations sont vues en continuité hydraulique avec l'aquitard latéritique ou l'aquifère inférieur selon les secteurs.

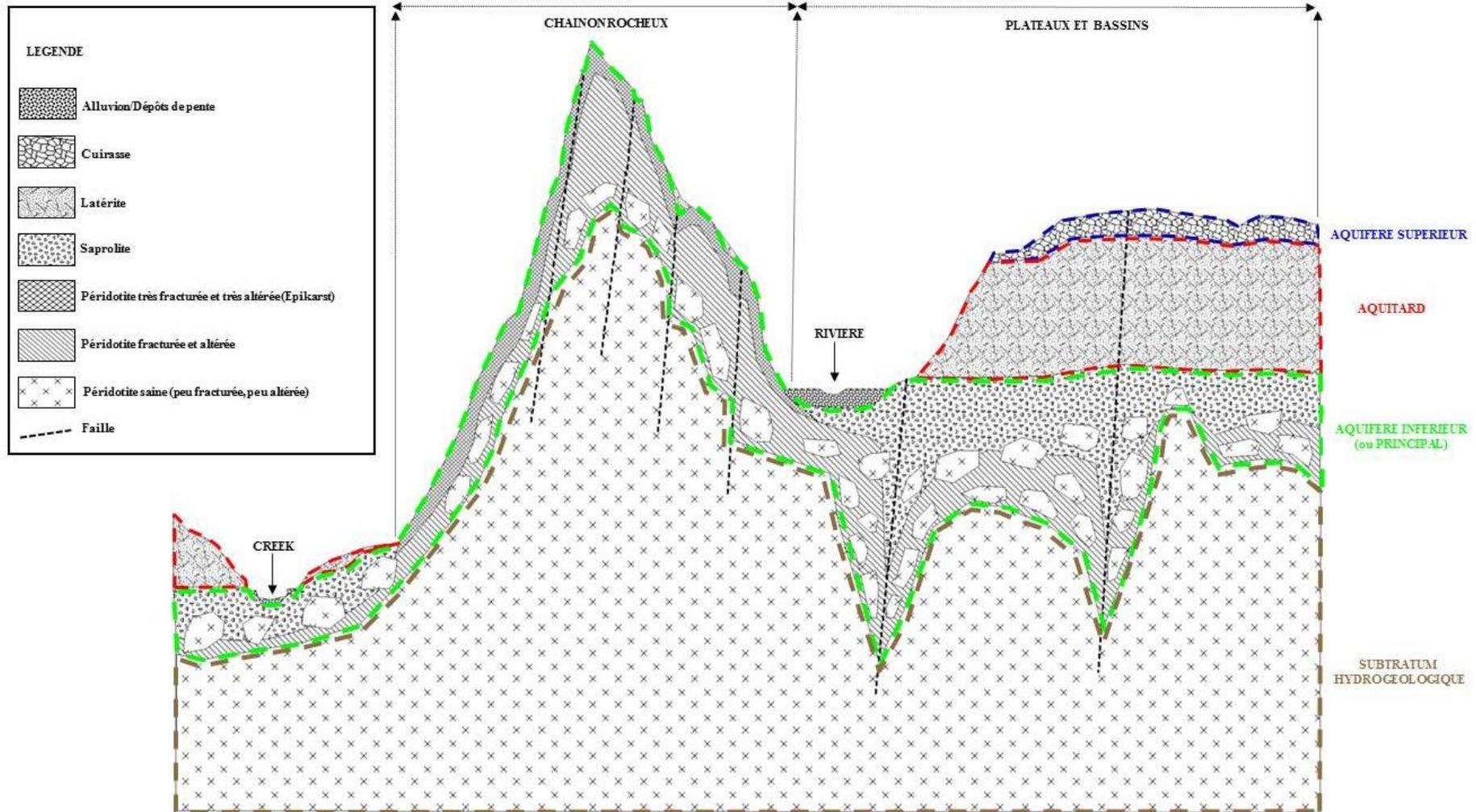


Figure 35 : Unités hydrogéologiques dans le contexte de Goro

4.3.2 Fonctionnement des unités hydrogéologiques

L'aquifère supérieur est alimenté par les pluies infiltrées dans les zones d'affleurement de la cuirasse. Il s'agit d'une nappe d'eau temporaire qui ne fonctionne que lors des épisodes de pluie. Cette nappe se vidange rapidement dans les rivières. Ces écoulements sont assimilés à du ruissellement retardé.

L'aquitard et l'aquifère principal sont les 2 unités hydrogéologiques pérennes du secteur de Goro. Elles constituent un système hydrogéologique classique, représenté par un niveau de saturation régional qui se répartit dans 2 couches interdépendantes dont les grandes caractéristiques de fonctionnement sont les suivantes :

Aquitard Latéritique

L'aquitard contient une nappe d'eau à surface libre. La nappe est continue à l'intérieur des plaines et des plateaux. Elle peut devenir discontinue au pied des crêtes ou dans les versants des grandes vallées qui entaillent le bassin de la Kué.

La surface de la nappe est globalement parallèle à la topographie. A l'intérieur des plaines et des plateaux, elle est généralement très proche de la surface du sol. Les amplitudes de variation des niveaux piézométriques y sont faibles. En se rapprochant des crêtes et des vallées encaissées, l'amplitude augmente.

Son alimentation se fait soit directement par les pluies infiltrés au niveau de la latérite à l'affleurement soit indirectement par une fraction des écoulements au sein de l'aquifère supérieur qui s'infiltrent dans la latérite sous jacente.

Les vitesses d'écoulement dans l'aquitard sont faibles (de l'ordre de 1 à 10 mètres par an). Mais, il est possible que des discontinuités géologiques locales puissent accélérer ces écoulements.

Aquifère principal

La nappe d'eau dans l'aquifère est captive (ou semi-captive) dans les plaines et à l'intérieur des plateaux. Au pied des crêtes, dans les crêtes et dans les vallées, la nappe de l'aquifère devient libre.

La surface de la nappe est globalement parallèle à la topographie sauf dans les zones drainées par des failles hydrauliquement actives.

Les amplitudes de fluctuation des niveaux piézométriques dans l'aquifère sont généralement comparables à celles observées dans l'aquitard. Elles augmentent à mesure que l'on se rapproche des crêtes et des axes de vallées. Les amplitudes les plus fortes sont observées aux pieds des crêtes et dans les crêtes.

L'aquifère principal est rechargé directement par les pluies infiltrées au niveau des chaînons rocheux et indirectement par le drainage de l'aquitard. Cette recharge représente annuellement en moyenne 29% des précipitations (de l'ordre de 900 mm sur la période 1998-2010).

Les vitesses d'écoulement dans l'aquifère sont de l'ordre de 10 à 1000 mètre par an.

Ce schéma hydrogéologique plutôt simple est complexifié par la présence de failles d'extension régionale associées ou non à des phénomènes de karstification. Cette fracturation introduit deux modalités supplémentaires de circulation des eaux qui viennent se surimposer au schéma initial : écoulements en milieu fracturé et écoulements pseudo karstiques.

Ces 2 modalités ont pour principales conséquences d'accélérer localement les vitesses d'écoulement des eaux souterraines et de permettre la mise en place d'interconnexions hydrauliques souterraines entre des bassins voisins considérés comme indépendants du point de vue des écoulements de surface.

Ces 2 modalités sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.3.3 Fonctionnement et rôle hydrogéologique des failles

Les grandes failles peuvent être assimilées à des zones à forte perméabilité qui vont correspondre à des axes préférentiels d'écoulement des eaux souterraines. Cette fonction n'est cependant pas systématique et va dépendre de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer le degré d'ouverture des failles, leur état de colmatage et l'énergie hydraulique disponible pour assurer leur fonctionnement.

Lorsqu'elles sont hydrauliquement fonctionnelles elles vont drainer plus ou moins intensément les nappes présentes dans le profil d'altération et/ou dans les chaînons rocheux. Le réseau d'observations piézométriques déployé sur le secteur de Goro est suffisamment dense pour permettre de localiser les zones drainées et les tronçons de faille impliqués dans le drainage. Cet effet de drainage est par exemple visible dans le bassin de KO4 ou celui de la Kué Est Amont.

La vitesse d'écoulement dans les failles hydrauliquement actives peut atteindre une centaine de mètre par jour (soit 40 fois plus que la vitesse d'écoulement dans l'aquifère principal).

4.3.4 Fonctionnement et rôle hydrogéologique des pseudo karsts

Le fonctionnement de ces systèmes (présenté au volet C du livret D) est complexe et certains aspects de ce fonctionnement restent hypothétiques en l'état actuel de l'étude hydrogéologique menée dans le secteur de Goro.

Néanmoins, dans le cadre d'une étude d'impact, l'information essentielle est connue puisque les différents tests et suivis réalisés (en particulier les essais par traçage) ont permis de :

- Repérer les principales voies d'entrée et de sortie de ces systèmes
- Evaluer les vitesses d'écoulements et les volumes d'eau mis en jeux.

Même s'il s'agit de systèmes complexes à étudier, le rôle hydrogéologique des systèmes pseudo karstique est relativement simple. Ces objets capturent les eaux de ruissellement et les eaux souterraines à l'intérieur des bassins endoréiques et permettent leur transfert rapide par voie souterraine vers un exutoire qui peut être situé dans un bassin versant voisin. Les écoulements y sont 10 fois plus rapides que ceux existant au sein des failles hydrauliquement actives.

4.3.5 Rôle hydrogéologique des chaînons rocheux

Les chaînons rocheux qui compartimentent les grands bassins versants de Goro constituent une entité hydrogéologique particulière :

- A l'échelle régionale, les chaînons correspondent à une limite de partage des eaux souterraines (et de surface) qui contribue à empêcher les échanges d'eau interbassins.
- Localement, une connexion hydraulique entre bassins peut se mettre en place dans les zones de passage des grandes failles si ces dernières sont non colmatées, ou suffisamment ouvertes pour pouvoir drainer significativement les eaux souterraines stockées dans les chaînons rocheux. Cet effet peut être pérenne ou bien saisonnier, avec une plus forte probabilité d'apparition en période d'étiage.
- Lorsque les conditions sont réunies, un système pseudo-karstique peut se développer le long de ces failles. Cela a alors pour effet d'augmenter significativement la vitesse d'écoulement des eaux souterraines et le volume d'eau échangé entre bassins.

Le rôle des chaînons rocheux est ambigu en matière de recharge des eaux souterraines du fait de la dualité dans les modalités d'écoulement au sein de ces objets. Ils peuvent être considérés ou non comme des zones privilégiées de recharge des eaux souterraines à l'échelle régionale.

4.3.6 Grandes directions d'écoulement des eaux souterraines dans le secteur de Goro

 Se référer à l'ANNEXE C03 – Synthèse des observations piézométriques – Secteur de Goro A2EP, 2012b et 2014b)

Les données piézométriques acquises sur le secteur de Goro ont fait l'objet d'une analyse spécifique réalisée en 2 temps (A2EP, 2012b, puis A2EP, 2014b). Ces 2 rapports sont fournis à l'**Annexe Cxxx**.

Les deux périodes retenues pour l'établissement des cartes piézométriques sont août 2012 pour les basses eaux (début de la période d'étiage) et avril 2013 pour les hautes eaux (fin de la saison des pluies).

Une synthèse des principaux résultats obtenus est présentée ci-après en distinguant l'aquifère principal de l'aquitard latéritique.

4.3.6.1 Aquifère principal

 Se référer aux cartes C16 et C17

Les esquisses piézométriques présentées sur les cartes C16 et C17 permettent de visualiser la surface piézométrique et de repérer le sens et la direction des écoulements dans l'aquifère durant la période de basses et hautes eaux.

Les cartes distinguent les axes de drainage et les limites de partages des eaux (représentés par des tirets orange).

Les axes drainants s'expliquent généralement par la présence de vallées encaissées ou de talwegs empruntés par le réseau hydrographique. Ces axes de drainage dans les vallées sont généralement associés à une augmentation importante du gradient piézométrique horizontal.

Des axes de drainage de la nappe dont l'emplacement est indépendant de la position des rivières sont mis en évidence dans la plaine de KO4 et à la limite avec le secteur SMLT. Ces axes entraînent une déformation des courbes isopièzes et une convergence des écoulements sans augmenter de façon importante le gradient piézométrique.

Les axes de drainage sont présentés ci-dessous :

- L'axe de drainage observé dans le secteur de KO4 (indiqué par les chevrons formés par les courbes isopièzes) s'inscrit dans une vaste plaine, avec des gradients piézométriques peu marqués à l'ouest et plus accentués à l'est. Dans ce secteur, les courbes isopièzes indiquent que les écoulements convergent tous vers un axe Nord-Ouest – Sud-Est. Cet axe drainant est décalé vers l'est par rapport à l'axe de la vallée. Un axe de drainage secondaire apparaît pendant la période de basses eaux en provenance de la bordure du secteur SMLT. L'axe de drainage principal se prolonge vers les crêtes situées au nord de la plaine. Par extrapolation, en prolongeant les axes de drainage vers le sud, on rencontre un secteur parsemé de dolines puis en recoupant la rivière Kué Ouest on trouve deux sources. Il est probable que ces axes de drainage soient situés dans une zone fracturée qui pourrait être connectée aux sources situées en aval ;
- Les axes de drainage observés au Nord (Camp de la géologie et secteur situé à proximité de l'ancien aérodrome) sont dirigés vers les crêtes pendant les périodes de basses eaux et ils disparaissent pendant les périodes de hautes eaux. La crête située au bord de cette zone de convergence présente une concentration importante de linéaments. La convergence des écoulements souterrains et la présence de linéaments sont des indices qui pourraient indiquer la présence d'un ou plusieurs conduits souterrains susceptibles de détourner une partie de l'eau souterraine en dehors de la Plaine des Lacs ;
- Tous les autres axes de drainage sont associés à des vallées plus ou moins profondes où s'écoulent les rivières. On observe une augmentation systématique du gradient piézométrique de part et d'autre de ces vallées pour les deux périodes hydrologiques. Cette augmentation des gradients piézométriques est induite par l'augmentation de déclivité du terrain.

Les limites de partage des eaux de l'aquifère de la saprolite, identifiées sur la base des courbes isopièzes interpolées et extrapolées au niveau des crêtes, sont décrites ci-dessous :

- Au Nord de la zone couverte par l'esquisse piézométrique, dans la partie méridionale de la Plaine des Lacs, les lignes de partage des eaux souterraines indiquent qu'une partie des écoulements se dirige vers la crête qui sépare le plateau de Goro et la Plaine des Lacs ;
- Au Nord-Est de la zone couverte par l'esquisse piézométrique, on trouve une limite de partage des eaux qui sépare les eaux souterraines qui seront drainées par la Kué Binyi et celles qui seront drainées par la Kué Nord. Cette séparation est induite par une remontée du substratum rocheux qui a permis la formation d'un dôme piézométrique par lequel passe la limite de partage des eaux ;
- Au Nord-Est de la carte, une ligne de partage sépare les eaux souterraines drainées par l'affluent Est de la Kué Nord (KN1) d'une part, et le reste de la Kué Nord d'autre part ;
- Le lac Xéré Wapo est situé à l'intersection des lignes de partage des eaux souterraines entre la Kué Nord, la rivière de l'entonnoir et la rivière Wajana ;
- Au Sud du lac Robert, les eaux souterraines s'orientent soit vers l'Ouest en direction de l'endoréique de la Kué Est, soit vers l'Est en direction de l'entonnoir.

Sept points de capture du réseau hydrographique ont été matérialisés sur les cartes. Ils correspondent aux exutoires des bassins versants endoréiques repéré sur le site de Goro. Les courbes isopièzes s'organisent, de manière concentrique, autour de ces captures et les axes de drainage convergent vers ces points.

4.3.6.2 Aquitard latéritique

 Se référer aux cartes C18 et C19

Les cartes C18 et C19 présentent les esquisses piézométriques du niveau aquitard des latérites pour la période de basses eaux et la période de hautes eaux respectivement. Selon le même principe que précédemment, ces cartes présentent les axes de drainage et les lignes de partage des eaux.

L'emplacement et la forme des lignes qui matérialisent les axes de drainage et les lignes de partage des eaux sont globalement identiques à celles qui sont matérialisées pour l'aquifère principal. Les différences les plus importantes entre l'aquifère et l'aquitard se situent dans la plaine de KO4 pour les deux périodes hydrologiques et sur la limite avec le secteur de SMLT pour la période de hautes eaux.

Les constats suivants sont formulés pour le secteur KO4 :

- Dans la plaine de KO4, on trouve un axe de drainage qui remonte quasiment jusqu'au pied de la crête située au Nord-Ouest de la carte. Cet axe de drainage est bien marqué dans l'aquifère et dans l'aquitard, mais sa position diffère suivant la période hydrologique et le réservoir hydrogéologique considéré ;
- Quelle que soit la période hydrologique (hautes eaux ou basses eaux), l'axe de drainage de l'aquifère est décalé vers l'Est par rapport à l'axe de la vallée. Pendant la période de basses eaux, des ramifications de l'axe de drainage principal se mettent en place à l'Est de la plaine ;
- Dans l'aquitard, l'axe de drainage principal est globalement superposé à l'axe de la vallée. En période de basses eaux un axe de drainage secondaire se met en place à l'Est de la plaine et draine les eaux souterraines de l'aquitard vers la bordure de la plaine de SMLT et la rivière KO5. L'Est de la plaine qui est drainé par l'axe de drainage secondaire est isolé du reste de l'aquitard par une limite de partage des eaux souterraines.

Les constats suivants sont formulés à la limite entre le secteur SMLT et le secteur de KO4 :

- La surface piézométrique de l'aquifère de la saprolite est relativement plane et la direction des écoulements indiquent que l'eau se dirige vers l'intérieur de la plaine de KO4 et non vers le secteur de SMLT. A l'inverse, comme l'indiquent les axes de drainage figurés sur la carte, une partie des eaux souterraines de l'aquitard des latérites est drainée depuis la bordure est de la plaine de KO4 vers le secteur SMLT ;
- Ce contraste entre l'aquitard des latérites et l'aquifère de la saprolite est mis en évidence en période de basses eaux mais disparaît pendant la période de hautes eaux ;
- Le déplacement de la ligne de partage des eaux du niveau aquitard pendant la période de hautes eaux induit une déformation des limites du bassin hydrogéologique. Cette déformation permet à la ligne de partage des eaux de se rapprocher des limites du bassin versant topographique. Ce constat suggère que dans ce secteur le gradient topographique contrôle les niveaux piézométriques dans l'aquitard pendant la période de hautes eaux.

4.3.7 Connexions interbassins prouvées

 Pièces graphiques – Carte C20 – Localisation des bassins endoréiques et connexions interbassins

 Se référer à l'ANNEXE C04 :

- Cartographie des dolines à l'aide des données Lidar (Géo Impact, 2010) et Réalisation d'un traçage à la fluorescéine au niveau du secteur Entonnoir – Cascade. Compte rendu de la mission de terrain (EMR, 2010)
- Réalisation d'une opération de traçage au niveau des eaux souterraines de la verse à stérile - Bassin de la Kué Est – Goro Nickel - Commune de Yaté (A2EP, 2008)
- Réalisation d'un traçage à la fluorescéine au niveau de la VSKE (EMR 2009)
- Groundwater Mapping and Tracing Study - East Kwe Waste Disposal Areas (Golder, 2002)
- Réalisation de traçages à la fluorescéine au niveau des secteurs Entonnoir-Cascade et Gouffre-Captage (EMR, 2011)

Ces connexions interbassins sont de deux natures différentes :

- Une connexion directe due à une continuité géologique et hydrogéologique du profil d'altération qui se partage entre plusieurs bassins ;
- Des connexions indirectes au travers des crêtes rocheuses via une faille qui peut ou non être concernée par des processus de karstification et par conséquent peut ou non porter un système pseudo karstique (au sens hydrogéologique du terme) ;

Dans le secteur d'étude, la seule connexion directe concerne la zone du trou du Tahitien située au Nord-Est du plateau de Goro et qui met en contact la Plaine des Lacs et le bassin de la Kwé Nord. Dans ce secteur, les données piézométriques disponibles montrent que les eaux souterraines de la Plaine des Lacs sont drainées à la fois par la Kwé Nord et par la kwé Binyi.

La position de la limite de partage des eaux souterraines entre ces trois identités (Plaine des Lacs, Kwé Binyi et Kwé Nord) n'est pour le moment pas connue. Un plan d'actions a été défini et est en cours de mise en oeuvre. Sa durée prévisionnelle est de 3 ans. Ce plan inclut notamment la réalisation d'une étude hydrogéologique spécifique au Trou du Tahitien dans le cadre d'une extension du projet CNRT HYPERK. Cet objet correspond à la plus grande et la plus profonde doline répertoriée dans le secteur d'étude.

Pour ce qui concerne les connexions indirectes, un effort important a été consacré dès 2008 à la caractérisation des endoréismes et des phénomènes pseudo-karstiques associés. Ces efforts ont principalement porté sur :

- la caractérisation théorique des systèmes pseudo-karstiques et de leur fonctionnement à l'aide d'une approche bibliographique ;
- la cartographie et la caractérisation morphologique systématique de l'ensemble des dépressions topographiques fermées sur le bassin de la Kué (Port boisé compris) à l'aide de données topographiques LIDAR (Géo Impact, 2010) ;
- une recherche systématique des bassins versants endoréiques de dimension significative par extraction automatisée (logiciel TOPAZ) à l'aide des données LIDAR disponibles ;
- la mise en œuvre d'essais par traçage et d'analyse de données piézométriques disponibles notamment sur les principaux bassins endoréiques.

A l'issue de ce travail, il est possible de considérer que l'essentiel des bassins endoréiques et des connexions interbassins ont été répertoriés. Les connexions hydrauliques indirectes prouvées entre le bassin de la Kué et les bassins voisins sont les suivantes (Carte C20) :

- au Nord, la rivière KN1 (bassin de la Kué Nord) est connectée au bassin endoréique du creek de la Plaine des Lacs dont la superficie est de 1,56 km² (EMR, 2010). La vitesse apparente de transfert du traceur utilisé (fluorescéine) est de 170 m/h ;
- un ensemble remarquable de 4 bassins connectés en cascade est situé en bordure Sud Est de la Kué. Le bassin endoréique de la Kué Est amont est relié à la rivière Truu (Source TR02) par un système pseudo-karstique dont l'axe de drainage orienté Nord-Sud fait 1,5 km de long (A2EP, 2008 ; EMR, 2009). La vitesse apparente de transfert du traceur est de 100 m/h. Les essais par traçage ont montré clairement que la rivière Truu était le point de sortie principal du système karstique (80 % du traceur a été retrouvé à la source TR02). Néanmoins, une faible proportion a traversé la crête séparant cet endoréique et le bassin de l'Entonnoir en 4 jours (GOLDER, 2002). La faible vitesse apparente de transfert (de l'ordre de 6 m/h) suggère qu'il s'agit d'une modalité d'écoulement en milieu fissuré et non d'un système pseudo-karstique ;
- l'Entonnoir est un bassin endoréique (1,13 km²) connecté au bassin Cascades (ancienne mine des Japonais). L'axe de drainage orienté Nord-Sud fait 500 m de longueur. La vitesse apparente de transfert du traceur est de l'ordre de 170 m/h (EMR, 2011) et son taux de récupération est très élevé (plus de 90 %), ce qui suggère que ce pseudo-karst a un point de sortie unique. L'essai a également montré l'absence de connexion entre l'Entonnoir et la rivière Wajana en contexte de hautes eaux. Ce constat peut être étendu aux contextes des moyennes et basses eaux car les hautes eaux correspondent à une situation dans laquelle l'énergie hydraulique disponible est maximale. Le pseudo-karst était donc pleinement fonctionnel lors de la réalisation du traçage ;
- le bassin Cascade est un endoréique de 2 km² connecté à la rivière Truu (source du captage de la Truu). L'axe de drainage est orienté Nord-Sud et a une longueur de 700 m. Le fort taux de récupération du traceur à la source (plus de 90 %) suggère que ce système a un point de sortie unique. La vitesse apparente de transfert est de l'ordre de 70 m/h (EMR, 2011), ce qui est faible par rapport aux autres systèmes étudiés. Sur la base des éléments décrits dans le volet C « Cadre hydrogéologique », il est fait l'hypothèse que ce système pseudo karstique est en phase de déclin avec un axe de drainage en cours de colmatage ;
- les données piézométriques disponibles montrent sans ambiguïté que le bassin endoréique de la Kué Ouest se vidange par voie souterraine dans la baie du Port Boisé. Les limites géographiques du bassin endoréique ne sont pas connues avec précision. Sa superficie serait de l'ordre de 0.6 km². Au regard des observations disponibles, il est fait l'hypothèse que ce bassin est associé à un système pseudo karstique fossile dont l'axe de drainage serait plus ou moins colmaté.

4.3.8 Connexions interbassins suspectées

 Pièces graphiques – Carte C20 – Localisation des bassins endoréiques et connexions interbassins

Dans certains secteurs, un certain nombre d'indices hydrologiques, piézométriques ou géomorphologiques sont concordants et permettent de suspecter l'existence de connexions interbassins sans que cela soit totalement démontré par des essais par traçage. Les connexions interbassins suspectées sont les suivantes.

4.3.8.1 Connexion Grand Lac – KO4 : Axe Grand Lac

☞ Se référer aux cartes C21, C22, C23, C24, C25

☞ Se référer à l'ANNEXE C05 :

- Notice de la carte morphostructurale. Secteur KO4, SMLT, Kaori, Kadji et Plaine des Lacs (sud) (A2EP, 2011)
- Campagne de tomographie électrique 2D sur le bassin de DROSEIRA (KO4) (Geophysical 2009)
- Campagne de tomographie électrique 2D au droit de l'axe Grand Lac (Vale NC, 2012)
- Secteur du Camp de la Géologie - Investigations hydrogéologiques par réalisation d'un forage profond et de tests par pompage (A2EP, 2013)
- Complément de mesures RMP ciblées sur le bassin KO-4, suite au test de Novembre 2011 (BRGM, 2012)

Le caractère atypique de la surface piézométrique de l'aquifère principal dans KO4 a conduit à s'interroger sur l'existence d'une connexion hydraulique avec le Grand lac.

Pour mémoire, un axe de drainage est observé dans le bassin de KO4. Cet axe est décalé de l'ordre de 200 m vers le Nord Est par rapport au centre de la vallée. Il est situé au droit d'une grande faille d'orientation N140° qui marque non seulement la morphologie du toit de la roche mère dans KO4 (zone d'épaississement du profil d'altération), mais également la morphologie du paysage vers l'amont (zone d'affaissement de la crête rocheuse entre le Grand Lac et KO4) et vers l'aval (bassin endoréique de la Kué Ouest).

Les cartes C21 et C22 montrent le fonctionnement hydraulique de l'aquitard et de l'aquifère le long de cet axe en situation de basses et de hautes eaux respectivement. En situation de basses eaux, l'effet de drainage de l'aquifère sur l'aquitard est visible même sur la partie amont de l'axe. Il s'intensifie rapidement vers l'aval, si bien que la composante horizontale des écoulements dans l'aquitard finit par pratiquement disparaître.

En situation de hautes eaux, les équipotentielles se redressent ce qui suggère que l'axe de drainage atteint sa capacité maximale de transfert d'eau au moins dans sa partie amont. Vers l'aval, le drainage de l'aquitard perdure.

Vers l'aval, la présence de deux sources dans le prolongement de cet axe semble indiquer l'existence d'une possible relation hydraulique entre ces dernières et la nappe principale. Pour au moins l'une d'elles (source de la rivière KO5), le débit spécifique d'étiage est très important et constitue clairement une anomalie par rapport à ce qui est généralement observé.

Lors d'une situation de sécheresse exceptionnelle observée entre novembre 2005 et janvier 2006, le débit spécifique de la rivière KO5 en aval de la source était de 26 l/s/km² contre 1 l/s/km² immédiatement en amont. Ce débit spécifique est équivalent à celui de la Kué Nord dont le bassin versant topographique fait 11 km² (contre 4 km² pour la rivière KO5)

Afin de caractériser cette connexion potentielle, les investigations suivantes ont été réalisées entre 2012 et 2013 (Carte C23) :

- étude structurale de KO4 et cartographie des linéaments (A2EP, 2011) ;
- mise en place de 9 piézomètres entre le chaînon rocheux et le Grand Lac à l'intérieur du Camp de la géologie de VNC et suivi des évolutions piézométriques à fréquence horaire depuis août 2012 ;

- campagne de tomographie électrique afin de localiser la zone de passage de la faille à proximité du Grand lac (VNC, 2012). Ces investigations viennent en complément d'une campagne de tomographie électrique (campagne DROSERA) réalisée à l'échelle du bassin de KO4 (Géophysical, 2009) ;
- évaluation de la perméabilité des terrains au droit de la faille par réalisation d'un essai par pompage de longue durée (A2EP, 2013) ;
- réalisation d'un essai par traçage de longue durée (cet essai n'a donné aucun résultat tangible) ;
- réalisation de sondages RMP (Résonance Magnétique des Protons) au droit de la zone supposée de passage de l'axe de connexion entre le Grand Lac et KO4 (BRGM, 2012). Ce travail a été réalisé en marge d'un projet plus global de test de méthodes d'investigation géophysique à vocation hydrogéologique et géotechnique porté par VNC et mené par le BRGM (projet de méthodologie géophysique « Karst & Dolines »).

Les principales conclusions formulées à l'issue de ces investigations sont les suivantes :

- Les observations piézométriques montrent qu'il existe une connexion entre la Plaine des Lacs et KO4 via une faille d'extension régionale et d'orientation N140° qui passe au niveau du Grand Lac ;
- La zone de capture des eaux souterraines par cette faille fait environ 12 ha correspondant à une petite partie du flanc Nord de la crête séparant la Plaine des Lacs du bassin KO4 ;
- Les observations piézométriques suggèrent que ce bassin d'alimentation pourrait être plus étendu et intégrer tout ou partie du Grand lac ;

Quelle que soit l'extension de ce bassin d'alimentation, le débit capturé par la faille et déversé dans KO4 est faible au regard de la perméabilité mesurée au droit de la faille au cours de l'essai par pompage réalisé en avril 2013. Il est très probablement négligeable par rapport à l'alimentation du Grand Lac (environ 0.04 m³/s à l'étiage et 1.25 m³/s en moyenne annuelle selon A2EP, 2012d).

L'ensemble des résultats obtenus sont présentés dans le détail au volet E du livret D.

4.3.8.2 Connexion Plaine des Lacs – KO4 : Axe de l'ancien aérodrome

A l'image de ce qui est observé au niveau du Grand Lac, les données piézométriques disponibles dans le secteur de l'aérodrome montrent l'existence de phénomènes saisonniers d'inversion des directions d'écoulement des eaux souterraines au droit d'une zone de passage d'une faille d'extension régionale et de direction N140°.

Au droit de cette faille, les eaux souterraines s'écoulent vers le Sud en direction de la crête lors des périodes de basses eaux. Le reste du cycle hydrologique, les écoulements se dirigent vers le Nord.

Sur cette base, une connexion hydraulique entre la Plaine des Lacs et KO4 est assumée le long de cet axe. La perméabilité de cette voie de passage n'est pas connue. A l'issue du calage des 2 modèles mathématiques utilisés pour évaluer l'impact hydrogéologique du projet minier (au sens large), cette perméabilité est vue comme significativement plus importante que celle de l'axe Grand Lac-KO4. Ce point est détaillé au volet C du livret C de la présente DAEM.

4.3.9 Connexions interbassins hypothétiques

 Pièces graphiques – Carte C26 – Hypothèse de continuité hydraulique entre KO4 et Trou Bleu

 Carte C20 – Localisation des bassins endoréiques et connexions interbassins

Ces connexions hypothétiques correspondent à des cas dans lesquels les indices hydrologiques et géomorphologiques sont concordants mais dans lesquels les données piézométriques ne permettent pas de décrire le comportement hydrodynamique de la zone concernée (données piézométriques absentes ou insuffisantes). Les connexions interbassins hypothétiques sont les suivantes :

- Hypothèse de continuité hydraulique depuis le Grand lac jusqu'aux bassins de Port Boisé (et notamment Trou Bleu). La question de l'existence de cette continuité hydraulique reste posée (Carte C26). Dans le cadre de l'étude d'impact hydrogéologique présentée au volet C du livret C, il est fait l'hypothèse que cette continuité n'existe pas ;
- Secteur de la Wajana : les données LIDAR disponibles ont permis de détecter la présence d'un bassin endoréique d'environ 1 km² de superficie, accolé à la limite Nord Est du bassin de la Wajana. Les campagnes de jaugeages différentiels réalisées dans le secteur (A2EP, 2012b et 2014b) suggèrent que ce bassin endoréique se déverse dans la rivière Wajana ;
- Secteur de l'Entonnoir : un petit bassin endoréique est situé en bordure Sud Est du bassin endoréique de l'Entonnoir. Ce bassin fait 0.28 km². Lors de la réalisation des essais par traçage au niveau de l'Entonnoir (EMR, 2011), il avait été envisagé de tester également ce petit bassin versant. Un exutoire supposé (qui prenait la forme d'une petite source) avait été localisé dans le bassin endoréique de la mine des japonais. Ce test n'a pas pu avoir lieu en raison d'un tarissement rapide de cette source.

Un plan d'actions spécifiques est en cours de définition afin de vérifier l'existence ou non d'une continuité hydraulique depuis le Grand lac jusqu'aux bassins de Port Boisé. A échéance de 2 ans à 3 ans, il poursuit les 2 objectifs suivants :

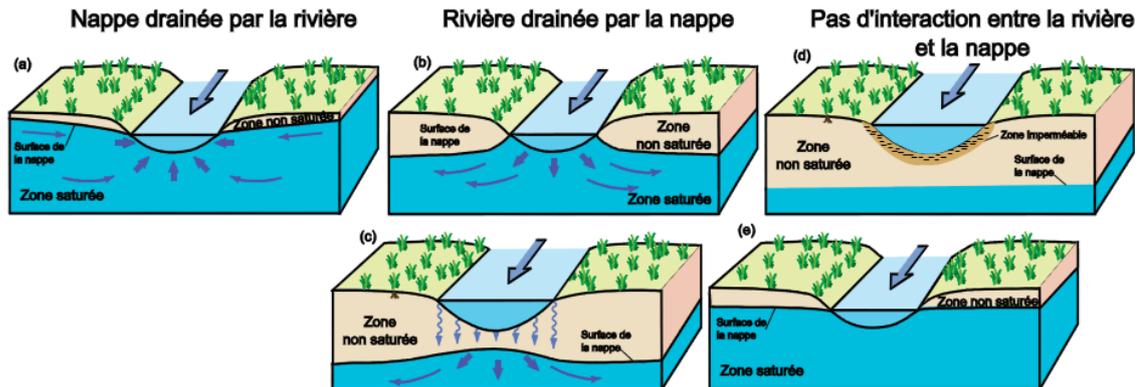
- déterminer s'il existe une continuité hydraulique entre KO4 et le bassin endoréique de la Kué Ouest
- définir les directions d'écoulement des eaux souterraines dans Port Boisé. L'objectif opérationnel de ce volet est de cartographier la limite de partage des eaux souterraines entre le bassin de la Kué principale et celui de Trou Bleu.

4.3.10 Relations nappes-rivières

 Se référer aux cartes C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33 et C34

 Se référer à l'ANNEXE C03 – Synthèse des observations piézométriques – Secteur de Goro (A2EP, 2012b).

Les différents types de relation hydraulique pouvant se mettre en place entre les rivières et les eaux souterraines sont présentés à la Figure 36.



(a) la rivière draine la nappe
 (b et c) la rivière alimente la nappe,
 (d et e) il n'y a pas d'interaction entre la rivière et la nappe
 Source : A2EP, 2014b, illustration inspirée de Winter et al., 1998

Figure 36 : Représentation schématique des interactions possibles entre une rivière et la nappe

D'une manière générale les rivières présentes dans le secteur de Goro drainent les unités hydrogéologiques du profil d'altération. L'aquifère principal joue notamment un rôle important pour le régime hydraulique des rivières. Il constitue une éponge qui va soutenir le débit des cours d'eau toute l'année et en assurer la pérennité durant l'étiage, au plus fort de la saison sèche. Ce débit d'origine souterraine est appelé débit de base. Au niveau du bassin de la Kué, il représente en moyenne 40 % du débit total annuel.

Ce constat est le résultat d'une analyse basée sur la réalisation de 8 campagnes de jaugeages différentiels entre 2011 et 2013. Chaque campagne a consisté à effectuer des mesures de débit à différents endroits le long d'un cours d'eau. La durée de campagne a dû être la plus courte possible pour chaque cours d'eau afin de se soustraire à de possibles variations de débit (crues ou périodes marquées de tarissement des rivières). Elles ont été effectuées hors influence de crue afin d'approcher le débit de base des cours d'eau. Pour un cours d'eau donné, la comparaison des débits mesurés de l'amont vers l'aval a permis de définir le caractère infiltrant ou drainant de chaque tronçon de rivière.

Les résultats obtenus sont synthétisés au Tableau 47 :

Tableau 47 : Synthèse des observations sur les interactions entre les rivières et la nappe principale

Rivière	Interaction(s) dominante(s)	Plage de débit l/s	Type d'évolution pendant le cycle hydrologique	Commentaires
Kué Binyi	Drainant	189 - 2000	Inversion	Inversion des interactions entre l'amont et l'aval au niveau de la zone de rupture de pente
Kué Nord	Drainant / neutre	198 - 407	assez importante et progressive	La partie amont est principalement drainante
KN1	Drainant	43 - 169	Très Peu	Quelques tronçons deviennent infiltrants
Kué Ouest	Drainant	267 - 685	Peu	L'évolution des interactions est plus importante dans la partie amont
KO5	Drainant	112 - 192	Aucune	Présence d'une source importante en amont de la confluence avec Kué Ouest
Kué Est	Drainant	8 - 92	Lente et progressive	Les interactions évoluent progressivement de l'amont vers l'aval
Creek de la Crête Sud	Drainant	9 - 72	Très peu	La rivière draine la nappe sur la totalité de son parcours
Wajana	Drainant	30 - 365	Très peu	
Cascade	Drainant/ Infiltrant	11 - 48	Aucune	Alternance de tronçons drainants et infiltrants
Truu	Drainant	64 - 301	Modérée	Caractère drainant apparent sur l'amont lié à la présence de sources.
Kadji 1	Drainant / Infiltrant	156 - 369	Importante	Biais à cause d'une répartition non uniforme des stations de jaugeage
Kadji 2	Drainant	102 - 239	Modérée	Diminution progressive des tronçons drainants et infiltrants au profit des tronçons neutres

4.3.11 Qualité des eaux souterraines

☞ Se référer au CD de données– Synthèse de la Qualité des eaux souterraines et superficielles – Secteur de Goro (A2EP, 2012a) et C02 Synthèse approfondie de la Qualité des eaux souterraines et superficielles – Secteur de Goro (A2EP, 2014a)

Ce volet constitue la synthèse de 2 rapports techniques (A2EP, 2012a et 2014a) fournis sur le CD de données. Les données étudiées correspondent à un total de 287 échantillons d'eau souterraine, prélevés à partir de 119 piézomètres répartis dans les trois grands secteurs de Goro :

- 199 échantillons dans le secteur FM25 ;
- 33 échantillons dans le secteur SMLT ;
- 55 échantillons dans le secteur KO4 ;

Tous les échantillons étudiés (eau de surface comprise) ont été prélevés durant quatre campagnes (n = nombre d'échantillons):

- du 8 juillet au 1er septembre 2011 en période de « moyennes eaux » (n = 90) ;

- du 25 octobre au 20 décembre 2011 en période de « basses eaux » (n = 88) ;
- du 13 février au 9 mars 2012 en période de « hautes eaux » (n = 76) ;
- du 26 juin au 6 août 2012 en période de « hautes eaux » (n = 100).

Le Tableau 48 synthétise l'ensemble des analyses chimiques réalisées sous forme de statistiques descriptives.

Tableau 48 : Statistiques descriptives des résultats d'analyses chimiques obtenus pour les eaux souterraines (A2EP, 2014a)

Paramètre	LQ (mg/L)	Eau souterraine de la latérite (n = 131)				Eau souterraine de l'ensemble saprolite/péridotite (n = 167)			
		% de détection	Médiane (mg/L)	± étendue interquartile (mg/L)	Min-Max (mg/L)	% de détection	Médiane (mg/L)	± étendue interquartile (mg/L)	Min-Max (mg/L)
Aluminium dissous	0.01	68	0.09	0.07	< 0.01 - 0.31	72	0.09	0.07	< 0.01 - 1.68
Ammonium dissous*	0.025	39	0.013	0.019	< 0.025 - 1.67	43	0.013	0.032	< 0.025 - 1.607
Calcium dissous	0.25	99	1.72	1.03	< 0.25 - 31.18	96	1.49	0.78	< 0.25 - 20.58
Carbonates	3	2	1.5	0	< 3 - 66	3	1.5	0	< 3 - 60
Chlorures dissous	0.125	100	9.990	1.415	2.89 - 23.55	100	9.220	0.620	1.0 - 16.31
Chrome dissous**	0.001	85	0.009	0.010	< 0.001 - 0.174	85	0.010	0.011	< 0.001 - 0.437
Chrome VI**	0.02	47	0.01	0.01	< 0.02 - 0.18	37	0.01	0.01	< 0.02 - 0.31
Fer dissous*	0.01	61	0.03	0.03	< 0.01 - 0.481	71	0.05	0.03	< 0.01 - 1.28
Fluorures dissous*	0.1	3	0.05	0.00	< 0.1 - 0.36	3	0.05	0.0	< 0.1 - 0.27
Hydrogène carbonates	6	98	18	9	< 6 - 109.8	100	67	15	< 6 - 165
Hydroxydes	2	1	1	0	< 1 - 10	0	-	-	-
Magnésium dissous	0.1	100	1.7	1.3	0.5 - 29.2	100	12.5	2.9	< 0.1 - 48.1
Manganèse dissous*	0.001	90	0.025	0.028	< 0.001 - 2.125	77	0.010	0.018	< 0.001 - 0.404
Nitrates dissous*	0.5	44	0.25	0.4	< 0.5 - 7.2	29	0.25	0.2	< 0.5 - 2.8
Nitrites dissous*	0.05	15	0.025	0.00	< 0.05 - 0.18	11	0.025	0.00	< 0.05 - 0.18

Paramètre	LQ (mg/L)	Eau souterraine de la latérite (n = 131)				Eau souterraine de l'ensemble saprolite/péridotite (n = 167)			
		% de détection	Médiane (mg/L)	± étendue interquartile (mg/L)	Min-Max (mg/L)	% de détection	Médiane (mg/L)	± étendue interquartile (mg/L)	Min-Max (mg/L)
Phosphates dissous*	0.5	0	-	-	-	1	0.25	0.0	< 0.5 - 2.0
Potassium dissous	0.1	98	0.5	0.5	0.1 - 5.6	90	0.3	0.1	< 0.1 - 15.3
Silice dissous	1	73	2	2	< 1 - 30	98	16	4	< 1 - 40
Sodium dissous	0.1	100	6.6	0.9	4.6 - 31.0	100	6.3	0.7	4.4 - 38.7
Sulfates dissous	1.25	85	2.70	2.18	< 1.25 - 63.5	87	2.36	1.05	< 1.25 - 113.5
Conductivité	-	-	67.0	24.8	11.5 - 918.0	-	135.3	30.7	41.0 - 604.0
pH	-	-	5.59	0.67	3.60 - 11.76	-	7.83	0.63	4.10 - 10.30

LQ = limite de quantification de la méthode

* Paramètre indésirable

** Paramètre concernant une substance toxique

n = nombre d'échantillons

4.3.11.1 Fond géochimique tous secteurs confondus

La méthode du 90e centile a été utilisée pour établir les fonds géochimiques des eaux souterraines (BRGM, 2007 et BRGM, 2008).

Globalement, cette analyse montre que (Figure 37) :

- les eaux de la latérite sont à dominance chlorurées sodiques ou sulfatées sodiques. Les autres faciès hydrogéochimiques secondaires rencontrés sont le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, le faciès carbonaté sodique et le faciès bicarbonaté calcique et magnésien,
- les eaux de l'ensemble saprolite-péridotite sont principalement bicarbonatées calciques et magnésiennes. Les faciès chlorurés sulfatés et chlorurés sodiques sont secondaires. Le fond géochimique des eaux de surface sur le secteur de Goro est comparable à celui de l'ensemble saprolite-péridotite,
- les eaux associées à la péridotite sont homogènes, bicarbonatées calciques et magnésiennes. Elles sont comparables à l'ensemble saprolite-péridotite.
- le calcium, potassium, manganèse et sulfates dissous présentent des teneurs supérieures dans la latérite et tendent à diminuer avec la profondeur.
- les teneurs en magnésium et silice dissous, ainsi que les teneurs en hydrogénocarbonates augmentent avec la profondeur. Elles sont plus élevées pour l'unité saprolite-péridotite fissurée que pour celles de la latérite et des eaux de surface.

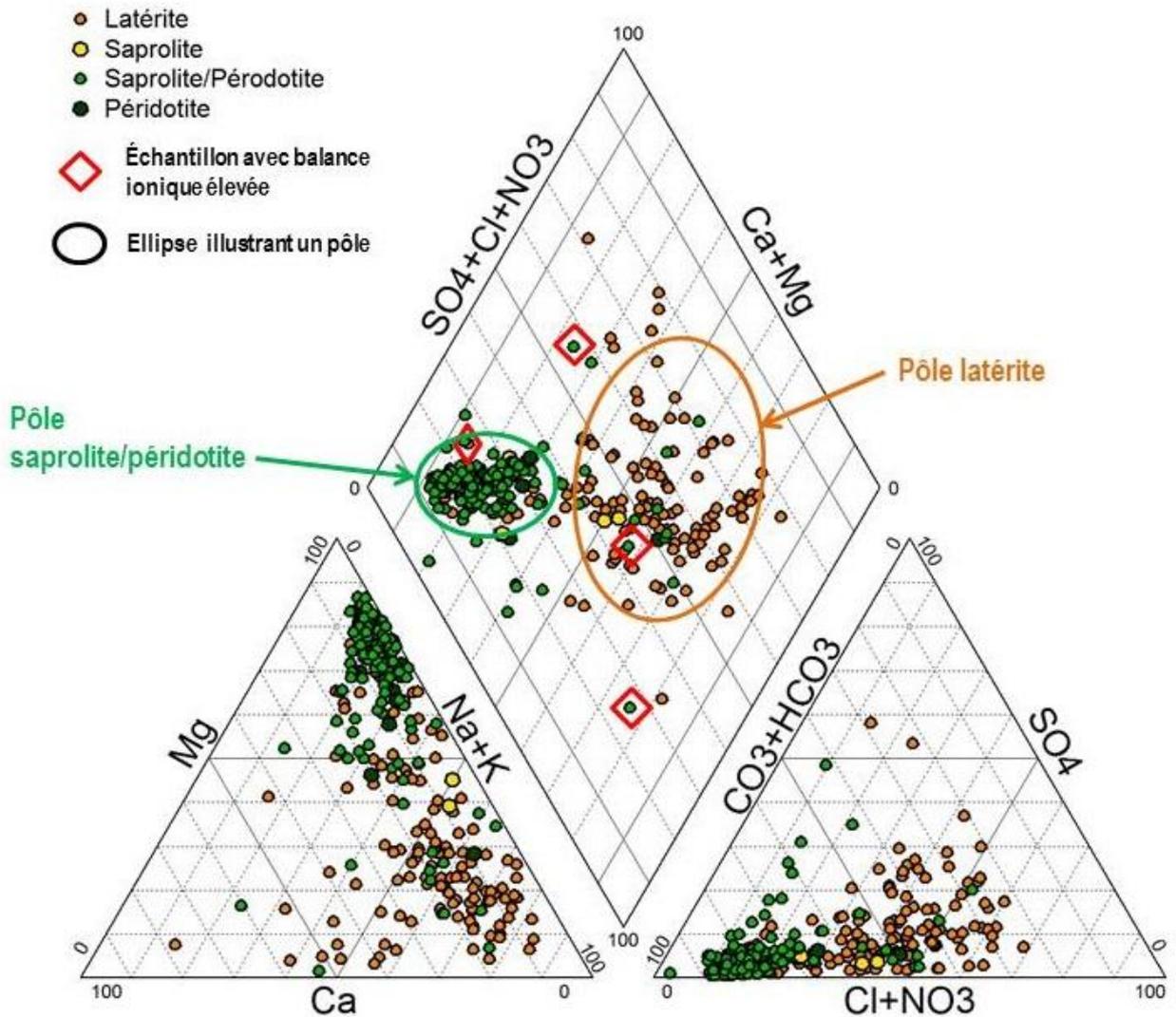


Figure 37 : Projection des signatures chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de Piper en fonction de l'hydrostratigraphie (A2EP, 2014a)

4.3.11.2 Fond géochimique par unité hydrostratigraphique

La synthèse des résultats obtenus est présentée au Tableau 49.

UNITE DES LATERITES

Pour les eaux latéritiques les principaux éléments, ordonnés par abondance décroissante et par secteur en considérant les valeurs médianes, sont les suivants :

- FM25: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Si(OH)}_4 > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+}$
- SMLT: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Si(OH)}_4 > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^-$
- KO4: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Si(OH)}_4 > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cr}^{6+}$

Les autres éléments sont présents à des concentrations faibles, proches ou inférieures aux limites de détection de la méthode (LDM).

Pour le secteur KO4, le faciès hydrogéochimique des eaux dans la latérite apparaît plus homogène que celui du secteur FM25. Les eaux sont majoritairement bicarbonatées calciques et magnésiennes avec une tendance chlorurée sodique et sulfatée.

Pour le secteur SMLT, le faciès dominant des eaux latéritiques est chloruré sodique ou bicarbonaté calcique et magnésien.

Les différences chimiques entre secteurs sont les suivantes :

- le secteur SMLT se distingue avec des concentrations en hydrogénocarbonates, en silice et en magnésium dissous plus élevées.
- les concentrations en chrome dissous et en chrome VI sont plus importantes dans le secteur KO4 comparativement aux deux autres secteurs. Ces concentrations pourraient s'expliquer par l'altération de chromites résiduelles piégées dans la cuirasse latéritique ou la latérite sédimentaire.

Tableau 49 : Fond géochimique par unité hydrostratigraphique (A2EP, 2014a)

Paramètre	Géologie			Eau de surface (mg/L)	Critère de qualité de l'eau (mg/L)
	Latérite (mg/L)	Saprolite / Péridotite (mg/L)	Péridotite (mg/L)		
	n = 131	n = 167	n = 20		
Aluminium dissous	0,16	0,16	0,12	0,08	-
Ammonium dissous*	0,178	0,216	0,064	<0,01	2
Calcium dissous	6,95	4,96	5,8	1,1	-
Carbonates	<3	<3	<3	0,1	-
Chlorures dissous	15,1	10,3	12,9	12,4	200
Chrome dissous**	0,049	0,047	0,036	0,018	0,05
Chrome VI**	0,05	0,06	0,04	<0,01	0,05
Fer dissous*	0,09	0,14	0,07	0,12	1
Fluorures dissous*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7/1
Hydrogénocarbonates	60	104	109	51	-
Hydroxydes	<2	<2	<2	<2	-
Magnésium dissous	10,0	19,7	16,5	11,2	-
Manganèse dissous*	0,134	0,137	0,018	0,016	1
Nitrates dissous*	1,8	0,9	1,1	<0,5	50
Nitrites dissous*	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-
Phosphates dissous*	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7
Potassium dissous	2,0	1,3	0,6	0,2	-
Silice dissous	13	22	26	7	-
Sodium dissous	9,9	9,3	9,2	7,1	-
Sulfates dissous	12,00	7,12	5,98	5,02	150

* Paramètre indésirable

** Substance toxique

Note : Le critère de qualité de l'eau indiqué pour le chrome dissous et le chrome VI est celui de l'Annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 précité et est pour le chrome total.

n= nombre d'échantillons analysés

UNITE DES SAPROLITES-PERIDOTITES FISSUREES

Quel que soit le secteur considéré les eaux de l'unité saprolite-péridotite fissurée appartiennent à la famille bicarbonatée calcique et magnésienne. Néanmoins, des différences apparaissent par secteur lorsqu'on examine l'abondance relative des éléments chimiques. Les principaux éléments, ordonnés par abondance décroissante et par secteur en considérant les valeurs médianes sont les suivants :

FM25: $\text{HCO}_3^- > \text{Si}(\text{OH})_4 > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+}$

SMLT: $\text{HCO}_3^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Si}(\text{OH})_4 > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{CO}_3^{2-} > \text{Fe}^{3+} > \text{F}^- > \text{Al}^{3+}$

KO4: $\text{HCO}_3^- > \text{Si}(\text{OH})_4 > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{6+} > \text{Cr}^{3+}$

Les autres éléments sont présents à des concentrations faibles proches ou inférieures aux LDM. Sur cette base les différences chimiques entre secteurs sont les suivantes :

- les eaux des secteurs FM25 et KO4 apparaissent plus riches en silice et en magnésium (constituants essentiels des roches ultrabasiques) que celles du secteur SMLT, même si globalement les concentrations en silices et magnésium sont élevées dans toutes les eaux de l'ensemble saprolite-péridotite ;
- les eaux du secteur KO4 se distinguent par des concentrations plus élevées en chrome, tout comme les eaux de la latérite de ce secteur.

BILAN DE L'ANALYSE

Les résultats des analyses d'eau montrent que le principal facteur qui influence les caractéristiques géochimiques de l'eau souterraine, de l'eau de surface et de l'eau de résurgence dans les secteurs étudiés est la géologie.

Ainsi, il existe une nette différence entre les eaux prélevées dans la latérite et celles prélevées dans la saprolite, saprolite-péridotite et dans la péridotite.

Dans la latérite les eaux présentent de plus faibles concentrations en silice et en magnésium dissous ainsi qu'en hydrogénocarbonates (bicarbonates), par rapport à celles de l'ensemble saprolite-péridotite. Il est généralement reconnu que lors de l'altération latéritique, silice et magnésium sont rapidement libérés par l'altération des minéraux ferromagnésiens comme l'olivine et la serpentine. Comme le milieu est généralement confiné et mal drainé à la base des profils latéritiques, les éléments s'accumulent dans la saprolite et la péridotite (silice, magnésium, nickel, etc.). Plus haut dans la latérite où le drainage est plus important ces éléments sont plutôt lessivés et s'accumulent vers le bas des profils latéritiques ou dans les zones basses en aval. C'est ce qui pourrait expliquer les concentrations plus élevées en silice et en magnésium dans les eaux de la saprolite, de la péridotite ainsi que des eaux de surface. D'ailleurs, l'influence de la géologie sur les variations spatiales a également été observée par Trescases (1975) dans ses travaux sur l'altération latéritique des roches ultrabasiques de la Nouvelle-Calédonie et par Roche lors de l'étude d'impact environnemental et social (EIES) du Projet Koniambo (2005).

La composition minéralogique de la roche mère influence également la composition chimique des eaux. A cet égard, dans le secteur KO4, on note que les concentrations en chrome dissous et en chrome VI sont plus élevées que dans les autres secteurs.

L'influence marine se manifeste principalement par la présence dans l'eau d'ions chlorures, fluorures et sodium (eaux à faciès hydrochimique chloruré et sodique). Ces éléments, en particulier le chlore, ne sont pas apportés par la roche mère ultrabasique, ils semblent donc apportés par l'eau de pluie (Trescases, 1975).

4.3.11.3 Comparaison des analyses chimiques et des fonds géochimiques avec des critères de qualité

Cette comparaison a été effectuée en prenant comme référence les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées (Annexe III de l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique), fixées pour l'application des dispositions des articles R. 1321-38 à R. 1321-41 du code de la santé publique.

En faisant une distinction par contexte géologique, la comparaison a porté sur :

- les analyses chimiques de l'ensemble des prélèvements ;
- le fond géochimique défini sur la base des prélèvements.

L'objectif est de montrer que dans certains secteurs du bassin de la Kué, les eaux souterraines présentent des teneurs naturelles en éléments chimiques qui dépassent les seuils fixé à l'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine. Ces dépassements sont liés au fond géochimique naturel des eaux. Les résultats obtenus sont les suivants (Tableau 50) :

- tous secteurs et géologies confondus, les critères de qualité en chrome dissous et en chrome VI sont respectivement dépassées pour 7 et 8 % des échantillons ;
- les dépassements du chrome touchent principalement le bassin KO4 alors que ce dernier est peu anthropisé. Ils représentent 14% des échantillons pour la latérite et entre 18 et 32 % pour l'unité saprolite-péridotite fissurée. Il convient de noter que la limite de qualité de l'annexe III concerne le chrome total (fraction solide et dissoute), ce qui signifie que les dépassements constatés sont probablement sous-estimés puisque les analyses chimiques ont porté sur la fraction dissoute uniquement. Ces dépassements touchent également le secteur FM25 (5 à 8 % des échantillons) et le secteur SMLT (8% des échantillons prélevés dans l'aquitard latéritique) ;
- 10 % des prélèvements réalisés dans les latérites du bassin KO4 dépassent la valeur limite en manganèse.

Enfin, pour le secteur SMLT, 10 % des prélèvements présentent des teneurs en fer dissous supérieures au critère de qualité.

Tableau 50 : Pourcentage de dépassement du critère en fonction des différents secteurs et de ses formations géologiques associées (A2EP, 2014a)

Géologie	Pourcentage de dépassement du critère					
	Chrome dissous	Chrome VI	Fer dissous	Manganèse dissous	Phosphate dissous	
Tous secteurs et géologie confondus (n = 354)	7%	8%	1%	1%	1%	
FM25	Latérite (n = 90)	8%	6%	0%	0%	0%
	Saprolite/Péridotite (n = 95)	5%	8%	1%	0%	2%
	Péridotite (n=14)	0%	0%	0%	0%	0%
KO4	Latérite (n = 29)	14%	14%	0%	10%	0%
	Saprolite/Péridotite (n = 25)	18%	32%	0%	0%	0%
SMLT	Latérite (n = 12)	8%	0%	0%	0%	0%
	Saprolite/Péridotite (n = 21)	0%	0%	10%	0%	0%

4.3.12 Suivi réglementaire des eaux souterraines

Un suivi réglementaire des eaux souterraines est effectué par VNC conformément aux arrêtés ICPE de l'usine, de l'UPM et du parc à résidus de la Kué Ouest. Ce suivi est réalisé à l'aide d'un réseau de piézomètres implantés de façon à suivre l'influence éventuelle de ces installations.

5 MILIEU MARIN

 Voir Atlas Carte C35 – Localisation des stations de suivi du milieu marin

5.1 INTRODUCTION

5.1.1 Cadre géographique

La zone d'étude est située dans la partie Sud du lagon de la Nouvelle-Calédonie. Notre attention, pour cette étude d'impact, se porte sur la zone d'influence potentielle du projet minier (à 25 ans d'exploitation) qui se situe dans le canal de la Havannah et plus particulièrement au niveau de la baie de la rivière Kué.

Le canal de la Havannah, situé à la pointe Sud de la Grande Terre, se présente comme un corridor de navigation orienté Sud-Ouest Nord-Est. D'une profondeur variable, pouvant dépasser 70 m, il est parsemé de hauts fonds, bancs (du Vandegou, de Kie, etc.) et récifs (Ioro, Kamekame, etc.) parfaitement cartographiés dans la partie Nord du canal, il s'agit d'un couloir balisé de navigation emprunté par de nombreux navires.

Au Nord le canal est limité par l'alignement quasi rectiligne des massifs ultrabasiques depuis le cap N'Dua à l'Ouest jusqu'au débouché dans les eaux franches du Pacifique à l'Est, au-delà du phare de Goro. Quatre indentations sensiblement perpendiculaires au trait de côte sont présentes sur ce segment littoral. Depuis le Sud-Ouest vers le Nord-Est il s'agit des sites de la baie de Port Boisé, de la baie de Port Kué et des passes de Toemo et Goro. Ces indentations sont associées à des systèmes de rias ennoyés, phénomène lié à l'effondrement d'une partie du grand massif du Sud et à la remontée eustatique post-wurmienne.



Figure 38 : Photographie aérienne du canal de la Havannah et des baies de Kué et Port Boisé

L'importance des constructions coralliennes croît également depuis le Sud-Ouest vers le Nord-Est. Le récif frangeant est en effet faiblement développé (moins de 200 m de large le plus souvent) entre le Cap N'Dua et la pointe de la Conception qui marque l'entrée dans Port Boisé. Il s'élargit de façon significative (plus de 500 m de large) au niveau de la baie Kué qui se trouve presque totalement colonisée, mis à part un étroit et profond thalweg central lié à l'ancien lit, aujourd'hui ennoyé, de la rivière Kué. Au-delà du Cap Reine Charlotte, les formations récifales littorales sont fortement développées (plusieurs kilomètres de large), en arrière du récif Koeda qui marque le raccordement avec la mer ouverte. Elles constituent l'essentiel des fonds littoraux, relativement peu profonds de la baie de Goro.

A l'embouchure de la rivière Kué (baie Kué¹⁵, cf. Figure 38) on observe deux grandes unités morphologiques support de biocénoses marines différentes :

- un récif frangeant, directement accolé à la côte, qui présente une extension de +/-1,2 km depuis le fond de la baie jusqu'à la crête récifale. Ce récif s'étend de part et d'autre de la passe qui fait face à la rivière ;
- une passe dans le prolongement de la rivière Kué, qui présente une largeur de 250 à 300 m.

Deux thalwegs bathymétriques sont aisément identifiables dans l'axe des deux rias ennoyées de Port Boisé et de Port Kué. Ils sont creusés sur près de 3 km de long depuis la côte pour le thalweg de Port Boisé et sur 4 km environ pour celui de Port Kué. Ces dépressions relativement étroites sont associées à des profondeurs importantes dans le contexte géomorphologique du lagon Sud,

¹⁵ Note : La rivière Kué et la baie Kué peuvent être orthographiées Kué ou Kwé, selon les experts à l'origine d'une étude, il s'agit bien de la même entité géographique .

puisque la carte marine donne des sondes à –63 m au droit de Port Boisé et –71 m de profondeur dans l'axe de la baie Kué. (cf. chapitre 5.2.1).

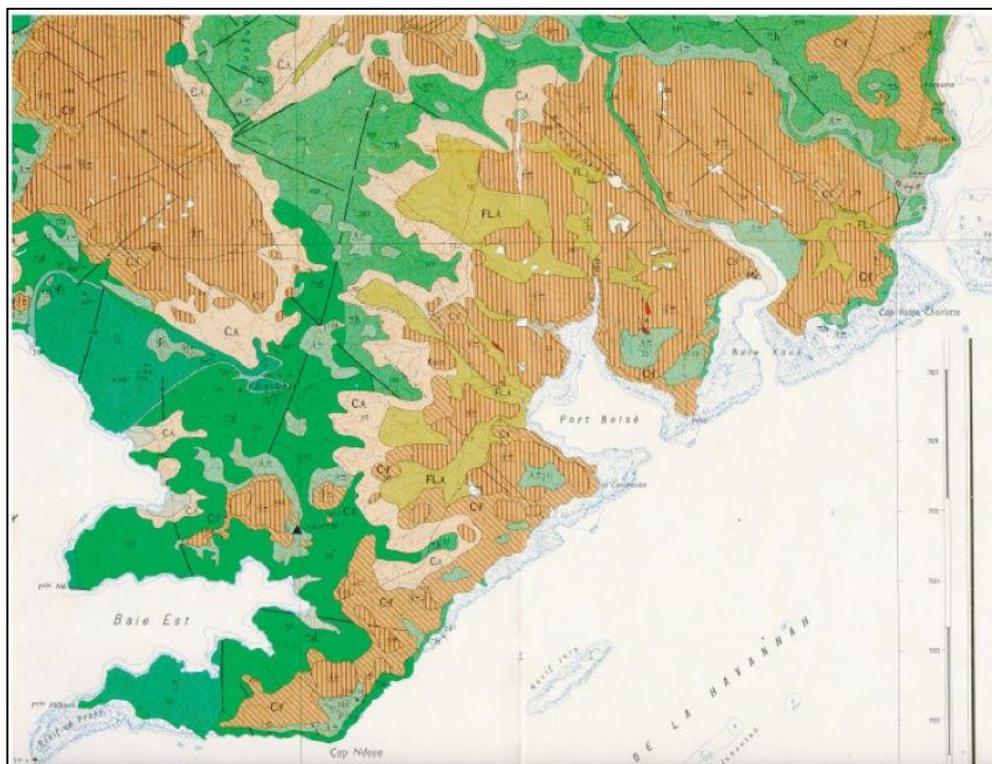
La réserve Yves Merlet, en zone inscrite au patrimoine de l'UNESCO, est située à un peu plus de 7 km au Sud-Est du canal de la Havannah.

5.1.2 Cadre géologique

Les roches formant l'arrière-pays immédiat du site marin étudié, constituent le substratum naturel de la baie Kué et correspondent à des roches ultrabasiqes, principalement des péridotites et des latérites. L'ensemble des éléments minéraux qui sont entraînés lors des pluies cycloniques, se déposent au débouché des rivières pour les plus grossiers et se décantent dans le fond des baies pour les plus fins.

La baie Kué se trouve à l'extrémité Sud-Est du grand massif péridotitique du Sud, constitué pour l'essentiel de roches basiques (gabbros, basaltes) et ultrabasiqes (dunites, harzburgites). Ces roches, issues du manteau supérieur, ont été mises en place entre l'écène et l'oligocène. Dans ce massif l'abondance des roches gabbroïques et leur structure litée révèle la présence à cet endroit d'une énorme chambre magmatique du type de celles rencontrées à l'aplomb des zones de rift. (J.H. GUILLON et J.J. TRESCASES -1971).

Sur le plan tectonique la région se caractérise par la présence d'un jeu de failles parallèles à l'allongement de la Grande Terre (de direction N 110° à N 170°) et de directions conjuguées (N 20° à N 40°). Les premières directions sont soulignées, notamment, par deux grandes failles : la faille de Plum-Ile Ouen et la faille de Kouakoué. Cet ensemble de failles détermine une série de compartiments (horsts et grabens) plus ou moins affaissés dont les baies de Prony, de Port Boisé et de Kué représentent des compartiments effondrés, ennoyés par la mer (c'est-à-dire un ria).



(D'après Guillon et Trescasse, 1971)

Figure 39 : Carte géologique au 1/50.000

5.1.3 Cadre hydrologique

Le bassin versant de la rivière Kué a une superficie de 39,05 km², il est alimenté par les affluents Kué Est, Kué Nord-Est, Kué Nord-Ouest et Kué Ouest. Ces rivières se rencontrent et coulent vers le Sud en direction de la vallée inférieure de la rivière Kué, nommée Kué Principale. Le bassin versant de la rivière Kué est représenté sur le schéma suivant, le bassin versant de Port boisé n'est pas sous influence minière.

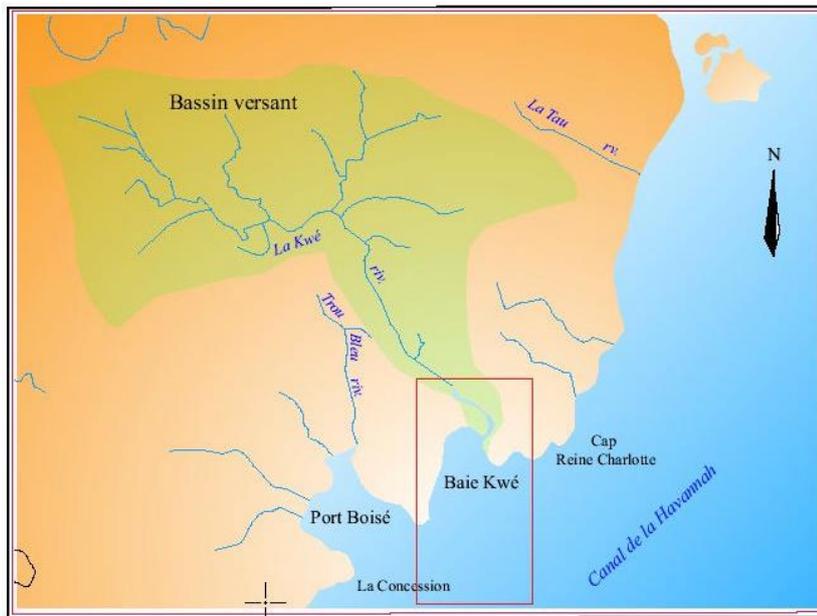


Figure 40 : Bassin versant de la rivière Kué

5.1.4 Aires protégées maritimes

 Voir Atlas Carte C36- Carte des aires protégées terrestres et maritimes

La protection de la faune et de la flore au sein des parcs et des réserves marines est l'une des priorités de la province Sud. Les aires protégées présentes dans l'aire d'influence du projet (notre aire d'étude) ou en périphérie immédiate sont les suivantes :

- Le Grand Lagon Sud avec la réserve naturelle intégrale Yves Merlet ainsi que la réserve naturelle de l'Aiguille de Prony;
- La réserve naturelle intégrale Yves Merlet s'étend sur 17 000 ha. Elle a été créée en 1970. La faune de cette réserve est remarquable avec une forte densité en tortues, en tricots rayés et la présence de baleines à bosse en hiver austral. Tout accès et tout passage de navire ou d'embarcation est interdit. Il est interdit de pêcher, capturer cueillir ou récolter tout minéral, végétal ou animal (coraux, poissons, coquillages) dans cette réserve.

Patrimoine mondial de l'UNESCO

Depuis le 8 juillet 2008 une partie des lagons, récifs et mangroves de Nouvelle-Calédonie est inscrite sur la liste du Patrimoine mondial de l'UNESCO. Ce Patrimoine est constitué de 6 sites, dont 2 en province Sud :

- le Grand Lagon Sud ;
- la zone côtière Ouest (province Sud).

La carte suivante présente la zone du Grand Lagon Sud (GLS).

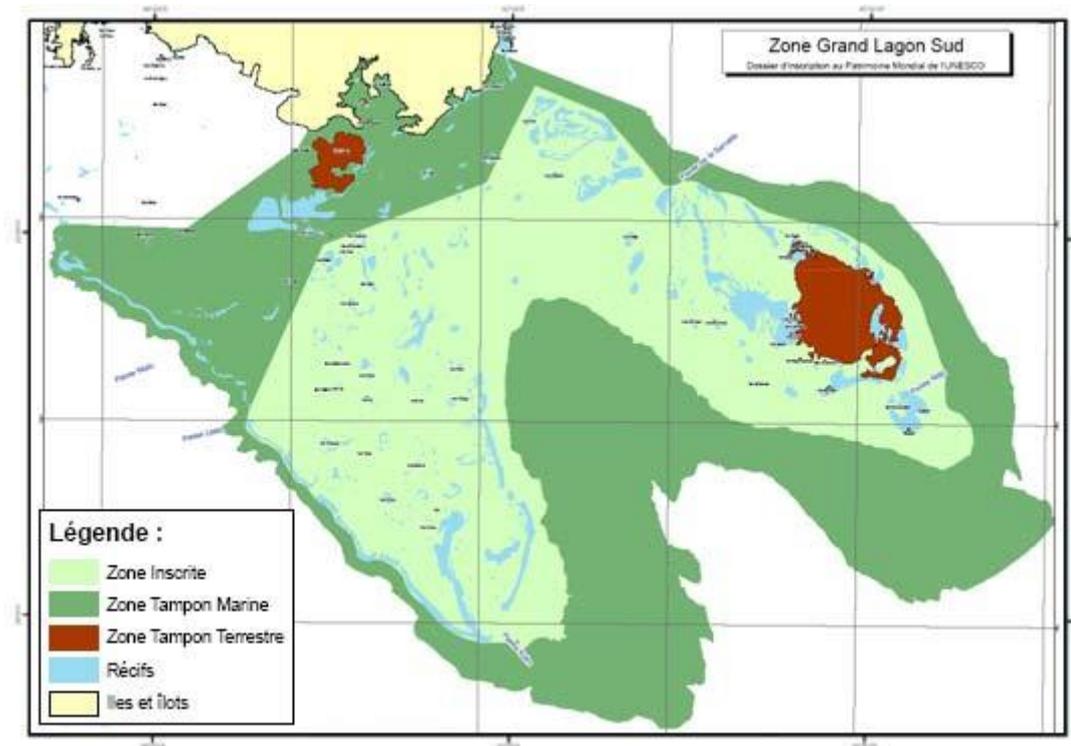


Figure 41 : Le Grand Lagon Sud et la zone inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO 2008 (vert clair)

Le Grand Lagon Sud est composé de deux zones aux morphologies et typologies de récifs distinctes : la partie Est et la Corne Sud. L'ensemble a été identifié comme présentant un « intérêt international » en matière de conservation. Le canal de la Havannah est compris dans la zone ceinture ou zone "tampon" de la zone inscrite au Patrimoine mondial de l'UNESCO.

5.2 DYNAMIQUE MARINE

5.2.1 Bathymétrie

La bathymétrie du lagon Sud et plus particulièrement de la zone d'influence du projet d'exploitation minière a été établie à l'aide des études successives suivantes :

- Rescan 2000 : une étude d'océanographie physique a été réalisée entre avril et juin 2000. Cette période de l'année représente une transition entre la saison chaude et la saison froide. Elle est généralement caractérisée par un plus faible nombre de tempêtes tropicales et de précipitations que le restant de l'année. La Figure 42 situe les stations de mesure qui ont permis de :
 - définir la carte bathymétrique de la baie de Kué ;
 - déterminer la circulation générale des courants dans la baie de Prony et la baie de Kué ;

- estimer la circulation des courants de surface dans la baie de Prony et le canal Woodin ;
 - déterminer la structure de la colonne d'eau.
- GEMS/URS 2002 : cette s'est appuyée sur de nombreuses données dont celles acquises lors d'une mission de terrain effectuée en novembre-décembre 2002, sur la bathymétrie et la courantologie du canal de la Havannah. Ces mesures ont été réalisées à l'aide de trois capteurs de courants déployés à 12 emplacements différents dans le canal de la Havannah.

Ces études de caractérisation sont présentées dans le dossier ICPE VNC Usine de 2007, au chapitre Etude d'impact - Caractérisation du milieu.

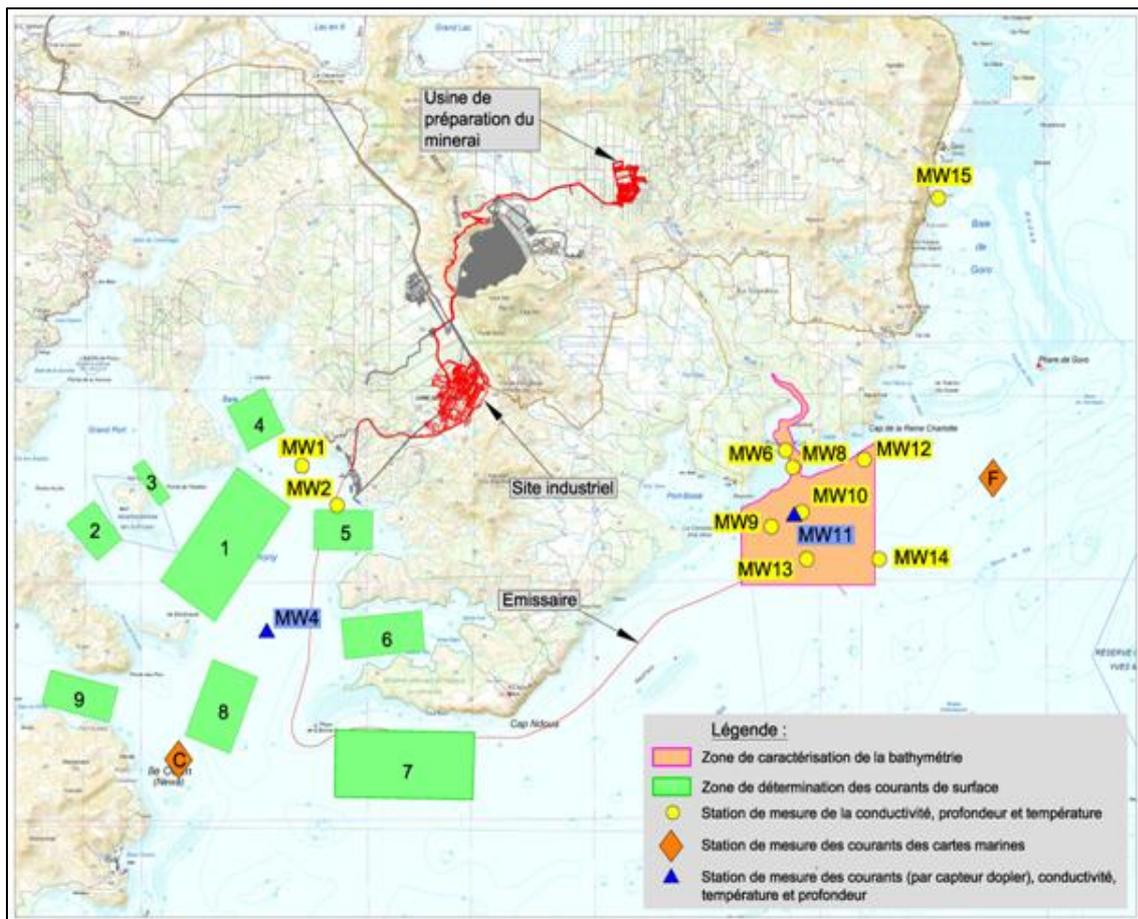


Figure 42 : Stations de mesure de l'étude Rescan 2000 sur l'océanographie physique

- IRD 2006/2009 : une des étapes préliminaires à toute étude de courantologie et à l'utilisation d'un modèle hydrodynamique de circulation dans le domaine côtier est de disposer d'une bathymétrie fine de toute la zone d'étude. Pour réaliser ce travail préliminaire l'IRD a collecté et digitalisé toutes les données existantes récoltées par le SHOM, le programme ZoNéCo et l'IRD, complétées par les données des campagnes Rescan 2000 et GEMS-URS 2002. Il les a ensuite regroupées dans une même base de données établie dans le référentiel géodésique WGS84 qui a servi de référentiel à toute la suite des études¹⁶. La campagne de mesures ECHOLAB (sondeur multi-faisceaux du navire océanographique ALIS de l'IRD du 12 février au 9 mars 2007) a été entreprise pour combler

¹⁶ Convention de recherches IRD/VNC Nouvelle-Calédonie. Rapport Modèle hydrodynamique, 2008

les lacunes notamment dans une partie de la corne Sud du lagon qui n'avait pas encore été hydrographiée.

Par ailleurs, des images satellitaires ont été analysées et interprétées de manière à compléter la partie Sud de la corne. Les fichiers de bathymétrie finaux ont été établis à partir des données de plus de 3 millions de sondes et permettent de disposer d'un état des lieux de qualité et d'étendue suffisantes afin de pouvoir continuer les études de courantologie et de modélisation hydrodynamique.

En 2012, ce complément d'études bathymétriques fines s'est concentré sur la baie de Prony afin d'étendre la modélisation hydrodynamique de la zone d'influence du canal de la Havannah (AEL/LEA 2012).

5.2.1.1 Bathymétrie du Sud calédonien

La Figure 43 ci-dessous présente la bathymétrie du Sud calédonien établie de façon synthétique par les études IRD.

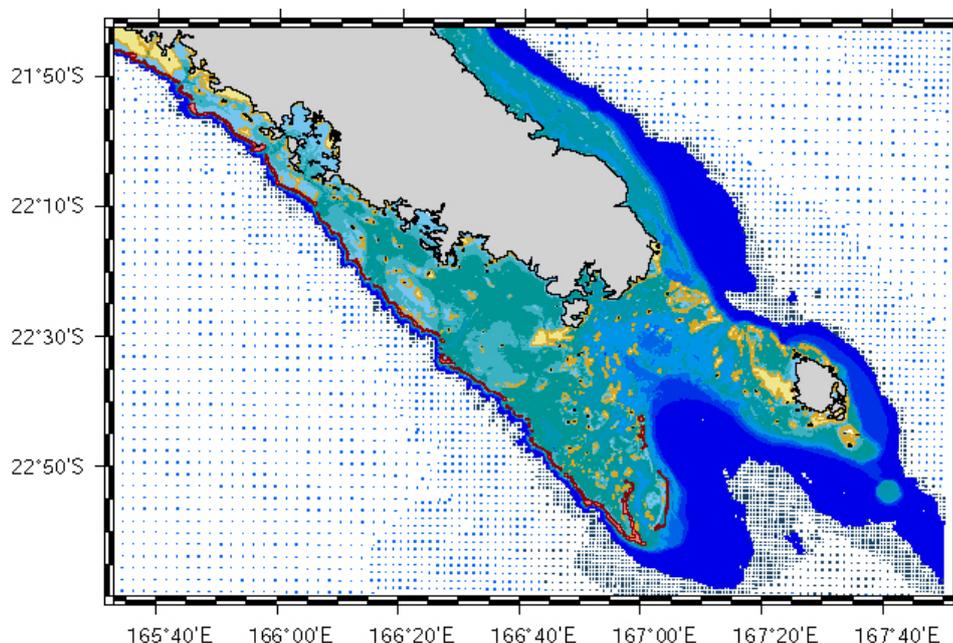


Figure 43 : Carte bathymétrique finale interpolée de la zone d'étude

La zone d'étude (canal de la Havannah et sa côte Nord) est composée d'une dépression faisant face à la Baie de Port Boisé dont la profondeur varie de 30 à 50 m et d'une vallée sous-marine bien individualisée qui atteint plus de 60 m dans le prolongement de la Baie Kué. Ailleurs, de petits monts sous-marins occupent une surface importante, notamment au Sud-Ouest du Récif Ioro. La profondeur entre la côte et le Récif Ioro est comprise entre 30 et 50 m. Au sud de la zone la profondeur oscille entre 40 et 60 m alors qu'à l'Est de la Baie Kué celle-ci avoisine seulement les 20 à 40 mètres.

5.2.1.2 La baie de Kué

La baie de Kué est de faible dimension, sa surface a été estimée à 0,8 km². Elle est colonisée par un récif frangeant à l'exception d'un talweg (dépression) sous-marin très prononcé de 200 à 300 m de large, orienté Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-est et qui s'étend sur 2,4 km au-delà du récif frangeant.

Ce dernier, creusé par l'écoulement de la rivière à une époque antérieure (période de transgression post-wurmienne), s'approfondit assez régulièrement en se rapprochant des fonds du canal de la Havannah auxquels il se raccorde à une profondeur de l'ordre de -30 à -35 m.

Le levé bathymétrique détaillé de cette baie effectué par Rescan en 2000, montre de nombreux petits "pointements" et dépressions traduisant une morphologie assez tourmentée des fonds. Ils atteignent rapidement -50 m, à 300 m environ de l'alignement des tombants coralliens littoraux encadrant la baie de Kué.

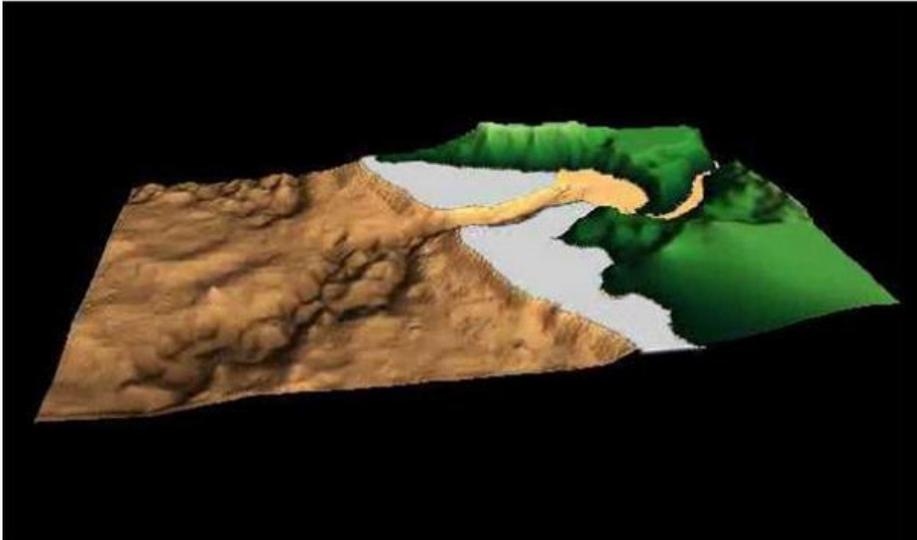


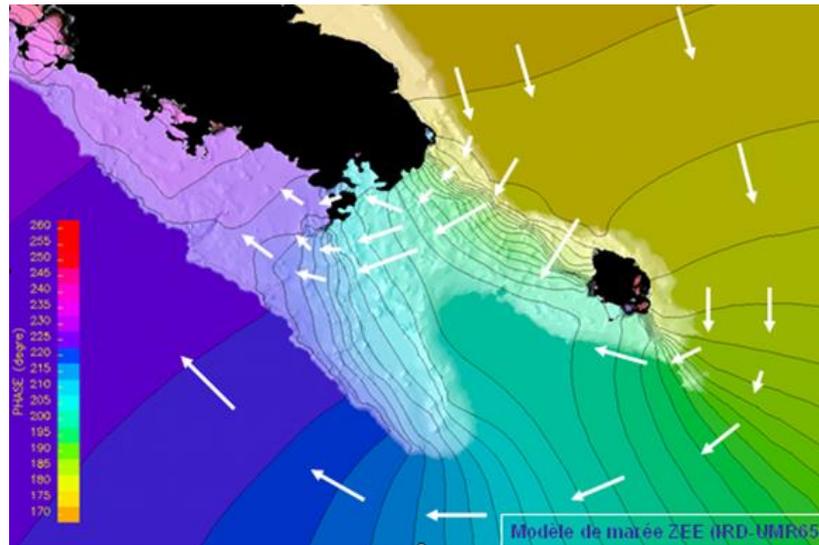
Figure 44 : Représentation en 3 dimensions de l'embouchure de la rivière Kué

5.2.2 Les marées

La marée le long du littoral Sud de la Nouvelle-Calédonie est de caractère semi-diurne mixte. Elle présente l'alternance, au cours d'un jour lunaire proche de 25 heures, de deux marées hautes et deux marées basses d'amplitude différente.

L'amplitude maximale des marées est de l'ordre de 1,7 m. Dans le lagon Sud l'onde de marée entre par le Sud-Est en empruntant plusieurs passes du récif et progresse ensuite vers le Nord-Ouest. Les modèles actuels dans le canal de la Havannah et en baie de Prony (développés par l'IRD et EAL/LEA entre 2006 et 2012) sont validés par les études de terrain et présentent l'onde de marée et sa propagation.

La configuration géomorphologique des sites lagunaires du littoral Sud néo-calédonien implique que la marée entre et sort du lagon par plusieurs passes, ce qui accentue localement la célérité des courants de marée, notamment dans le canal de la Havannah. (cf. Figure 45 et Figure 46).



Source : modèle IRD – UMR65

Figure 45 : Propagation de l'onde de marée

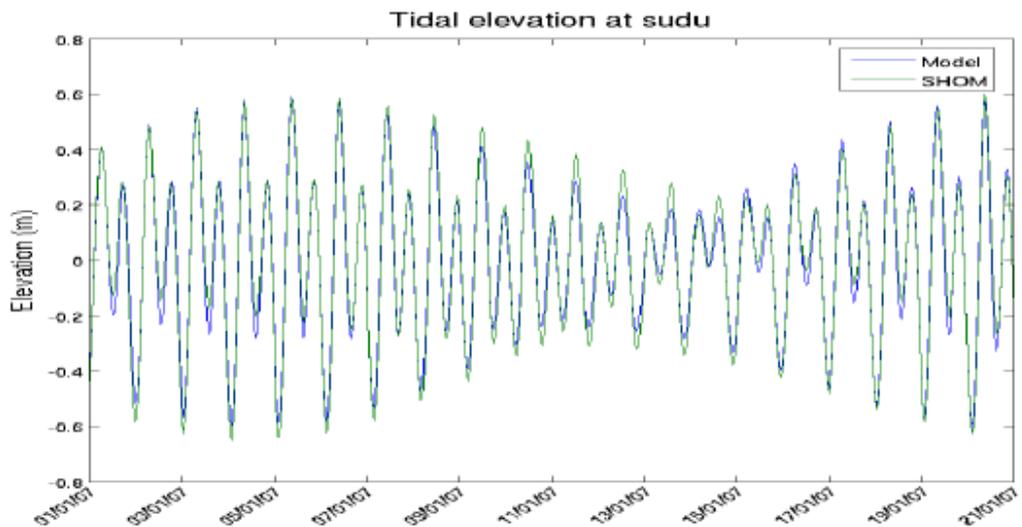


Figure 46 : Type de marée semi-diurne mixte : élévation du niveau de la mer selon le moment de la marée, Récif U, Ile Ouen, 1-21 janvier 2007

5.2.3 Vagues et houle

La présence du récif barrière de Nouvelle-Calédonie protège efficacement le lagon des grandes houles océaniques du Pacifique en situation climatique normale. L'essentiel de l'hydrodynamisme lié à la houle du large se dissipe sur la barrière récifale.

5.2.3.1 Situation normale

Les vagues sous influence éolienne ont une amplitude relativement faible, classiquement inférieure à 2 m, et des périodes de 3 à 8 secondes.

5.2.3.2 Dépressions et cyclones

Lorsqu'un cyclone aborde la Nouvelle-Calédonie, il peut provoquer des vagues en eau profonde (au-delà de la barrière récifale) de 10 m d'amplitude et de période supérieure à dix secondes. Ces vagues se brisent sur le récif et diminuent ainsi d'amplitude avant d'atteindre le lagon littoral. Un cyclone tropical peut également donner lieu à une onde de tempête le long de la côte avec une augmentation rapide du niveau d'eau, un phénomène de marée barométrique peut amplifier encore ce phénomène.

A la suite de l'épisode cyclonique et dépressionnaire de janvier-février 2011 (dépression Vania), le suivi des écosystèmes coralliens a montré des dégâts hydrodynamiques importants sur les récifs du canal Woodin et surtout du canal de la Havannah, notamment sur les profondeurs faibles (de 0 à 7 m) battues par la houle et dans l'axe de la passe de la Havannah. Au niveau de l'embouchures des rivières les effets dus à la houle et au ressac sont atténués, mais les épisodes de forte pluviométrie associé aux dépressions cycloniques sont responsables d'un dessalement de surface de l'eau de mer et d'un blanchissement du corail, qui est capable de résilience (le blanchissement du corail provient de l'expulsion des zooxanthelles symbiotiques lors d'un stress des polypes, les polypes ne sont pas morts et les zooxanthelles¹⁷ peuvent les réintégrer quand le stress cesse).

Sur les platiers peu profonds et proches de l'embouchure des creeks les épisodes de forte pluviométrie entraînent une dessalure des eaux de surface capable de provoquer des impacts irréversibles sur les invertébrés peu mobiles (coquillages, holothuries). Dans le canal de la Havannah et le canal Woodin les dégâts sont essentiellement dus au ressac.

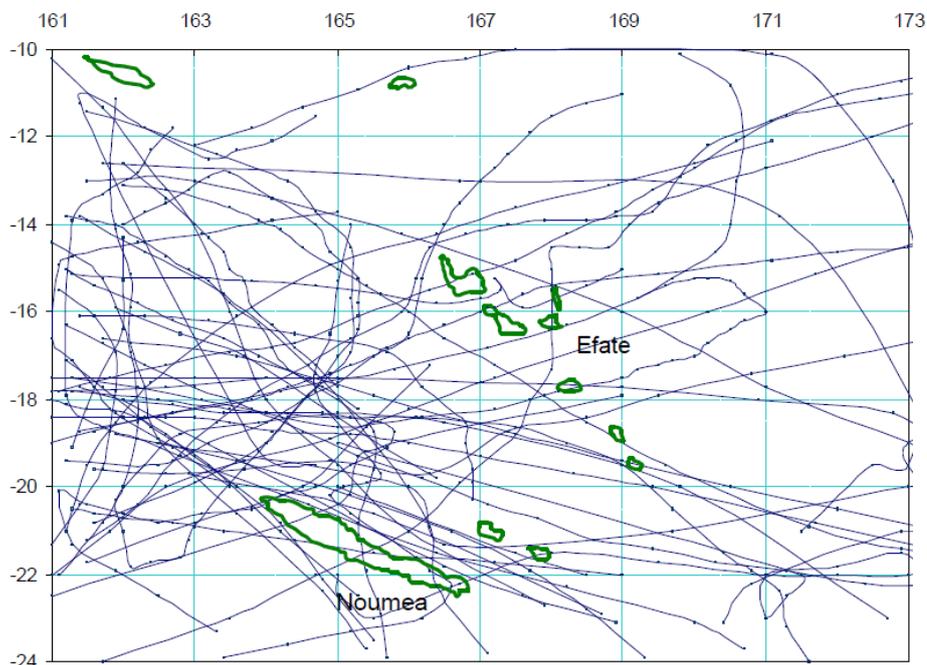


Figure 47 : Trajectoire des cyclones tropicaux 1950-2000

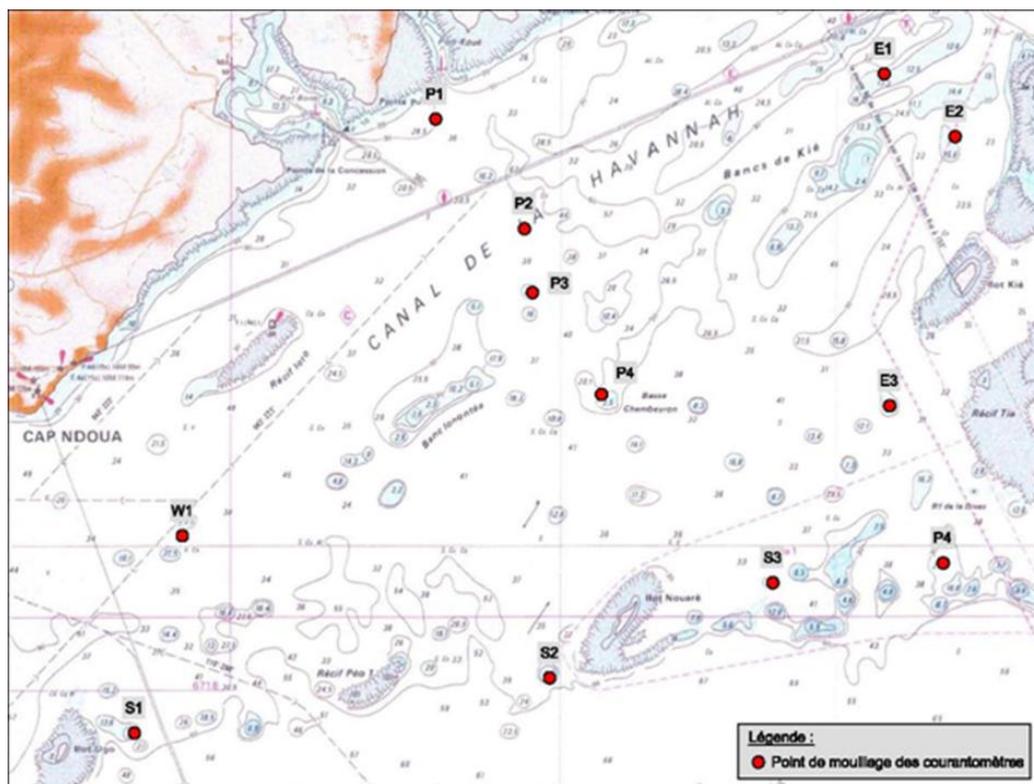
¹⁷ Les zooxanthelles sont des algues unicellulaires qui vivent en symbiose avec le corail dur, bâtisseur de récif, et qui colorent les polypes.

5.2.4 Les courants

La courantologie du lagon Sud de la Nouvelle-Calédonie est complexe en raison de l'interaction entre différents facteurs océanographiques et météorologiques, notamment : la modification de la propagation des courants de marées par les passes, bancs, îlots et chenaux présents dans le lagon; les facteurs météorologiques (vent) et la propagation de la houle dans le lagon. Différentes campagnes d'étude de la courantologie ont été réalisées dans le canal de la Havannah, dont une campagne menée par URS et GEMS de 2002 à 2004 et une campagne menée par l'IRD et le CEA de 2006 à 2009.

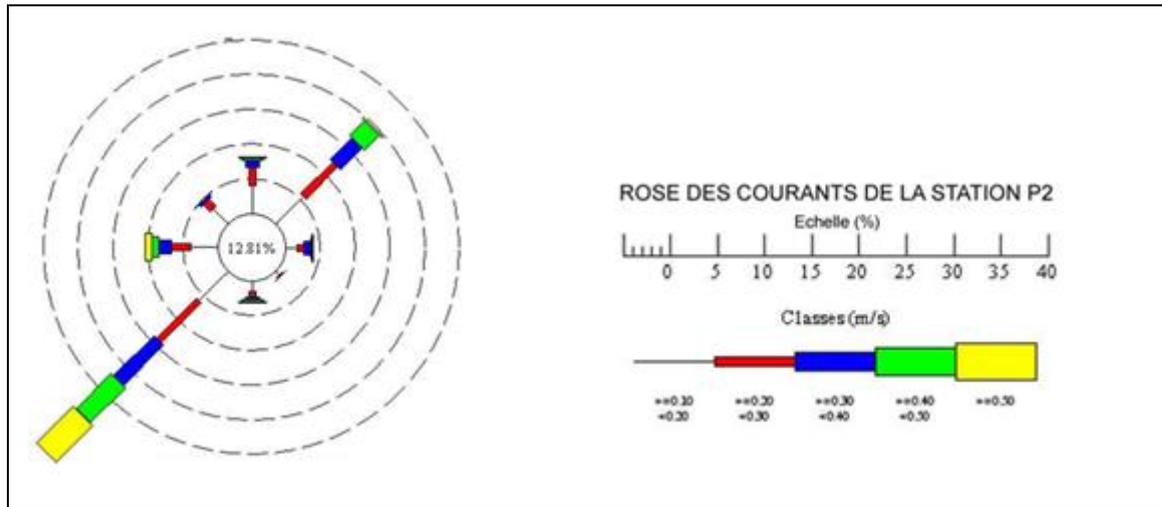
5.2.4.1 Mission GEMS de 2003

Les résultats de la mission GEMS de 2003 démontrent que les courants dans le canal de la Havannah (et les passes) sont très forts, atteignant une vitesse de plus de 3 nœuds à l'entrée Est. La cause principale est le flot de la marée et non l'incursion du courant subtropical Sud. La fourchette de hauteur des marées est réduite en raison de l'absence de plateau autour de la Nouvelle-Calédonie. Les courants des marées peuvent cependant être très forts car le "gonflement" lié à la marée est déplacé d'Est en Ouest et la masse d'eau issue des profondeurs de l'océan est entraînée dans le canal de la Havannah par la marée montante et relâchée à la marée descendante.



Source : étude GEMS, 2003

Figure 48 : Localisation des points de mouillage des courantomètres de l'étude GEMS (2003)



Résultats des mesures sur 30 jours de l'étude GEMS/URS

Figure 49 : Rose des courants de la station P2

Les courants de fond ont été mesurés dans le canal de la Havannah et comparés avec les courants enregistrés en surface, comme le montre la Figure 50 au point P1-Proche embouchure rivière Kué, localisé sur la Figure 48.

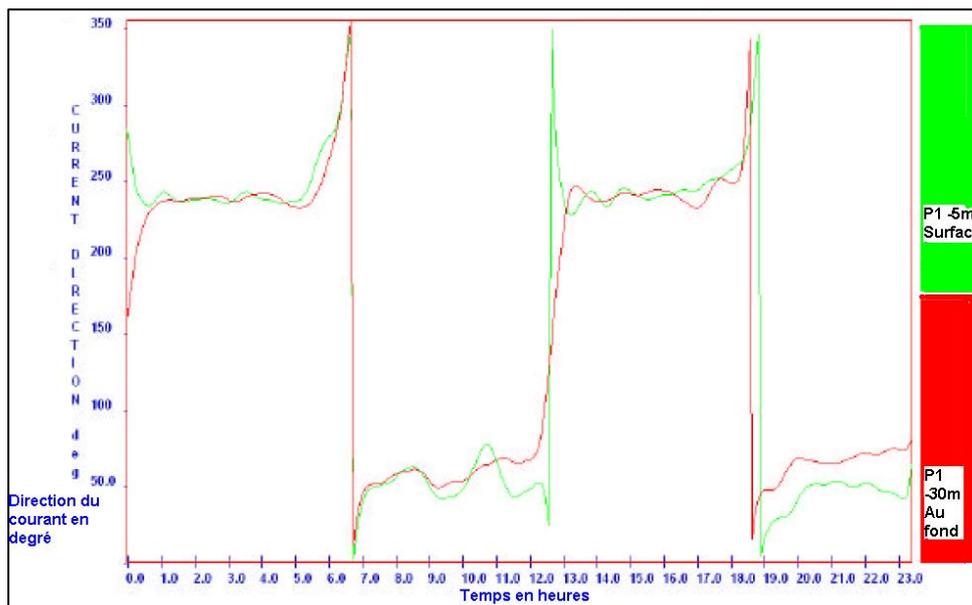
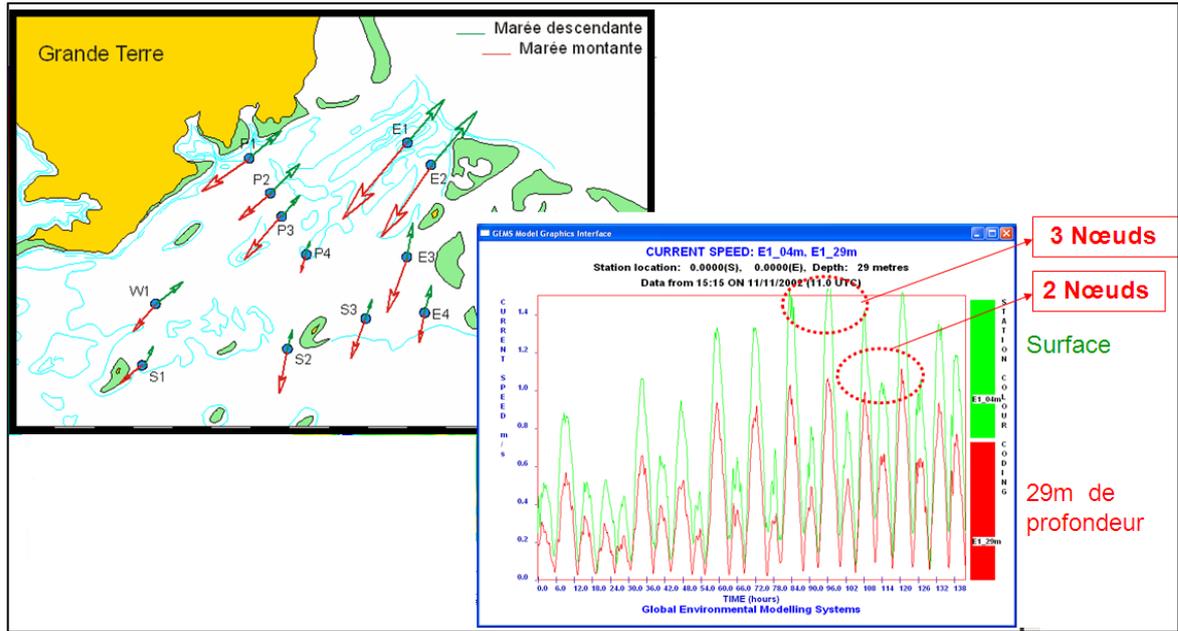


Figure 50 : Comparaison de la direction des courants de surface à 0,5 m (en vert) et par 30 m de fond (en rouge) au point d'enregistrement P1 (proche de la passe d'embouchure de la baie Kué)

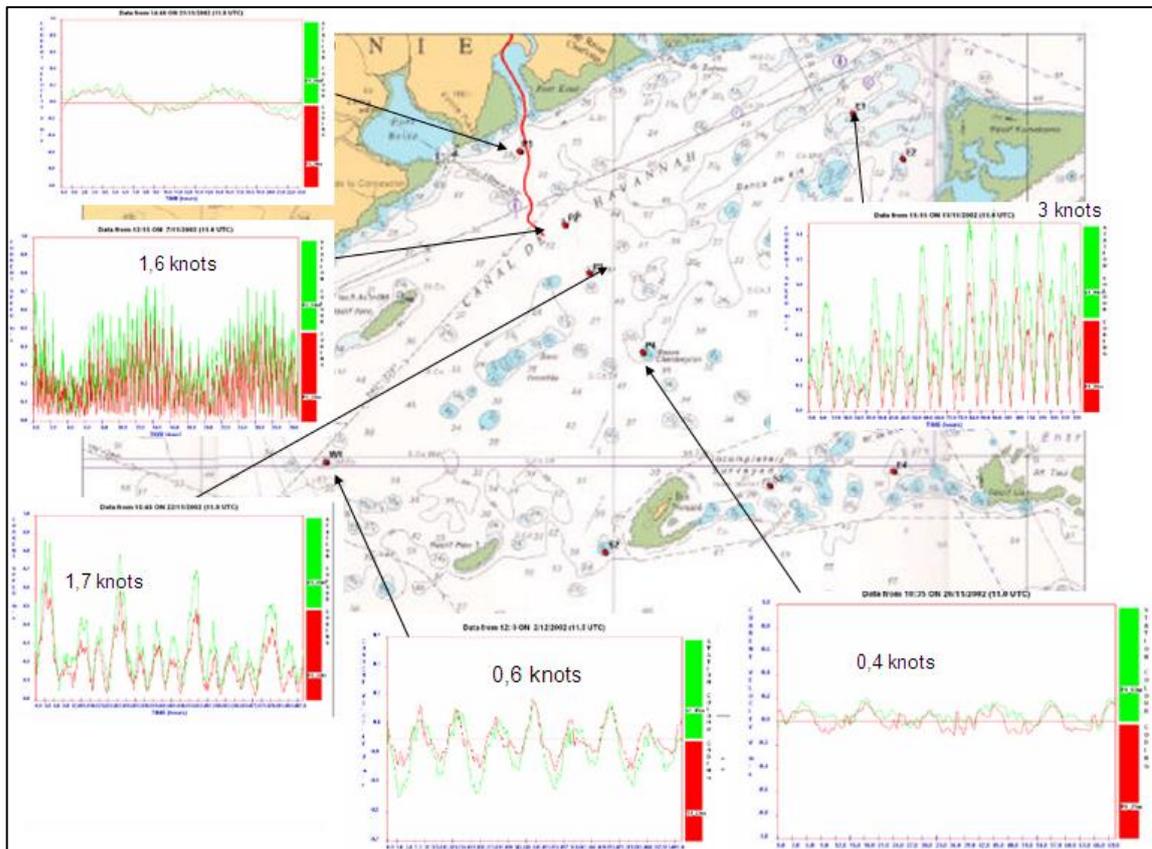
La vitesse des courants de surface et de fond a été caractérisée au niveau des 12 points indiqués sur la Figure 51. Cette figure montre également un exemple d'enregistrement au point E1.



Source : rapport GEMS, 2003

Figure 51 : Exemple d'enregistrement sur le point E1

Les courants de fond et de surface sont enregistrés sur chaque point et sur 24 heures (Cf. Figure 52).



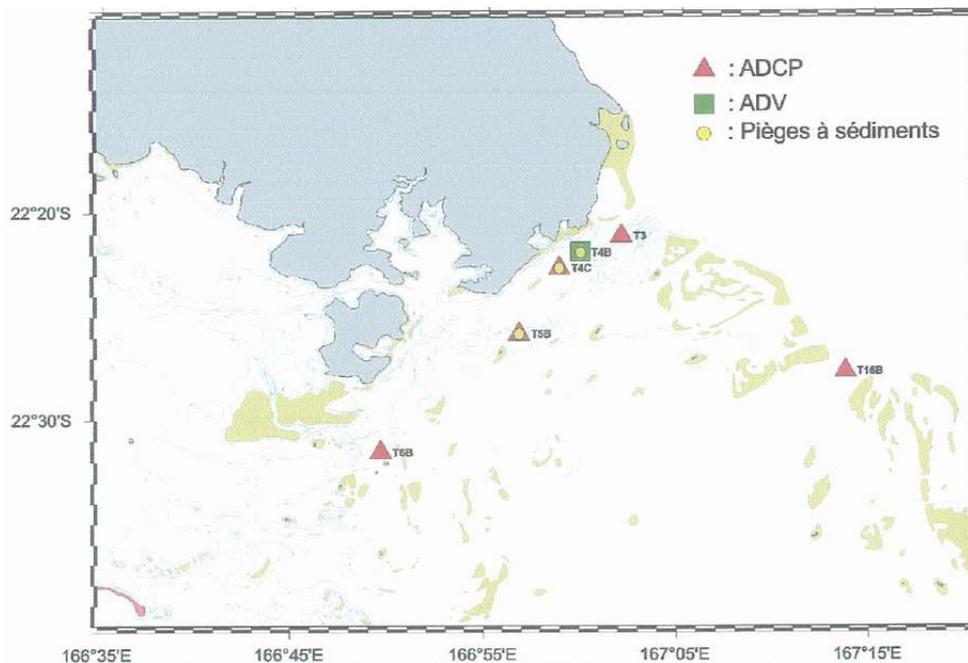
Source : rapport GEMS, 2003

Figure 52 : Enregistrement des courant de fond et de surface

5.2.4.2 L'étude IRD 2006/2009

L'IRD a poursuivi un travail de caractérisation de la zone avec :

- l'enregistrement des marégraphes disponibles pour le lagon depuis les années 80 (données SHOM et IRD) ;
- le mouillage de courantomètres à effet Doppler à plusieurs reprises durant l'année 2007 (Cf. Figure 53) ;
- le déploiement de bouées dérivantes dans la zone d'étude pour tracer les courants à différentes profondeurs ;
- la mise en place d'une station météorologique sur la balise du récif Ioro (cette station continue son activité).



Source : IRD

Figure 53 : Positionnement des différents courantomètres

Les résultats ont été interprétés pour les marées de mortes et de vives-eaux.

5.2.4.2.1 Marées de mortes-eaux

Les courants calculés sont relativement faibles sur l'ensemble du domaine de l'étude IRD de 2006-2009, sauf dans les passes de la Havannah et de la Sarcelle où ils peuvent atteindre encore des valeurs supérieures à 1 m/s (2 noeuds). Ils sont plus forts en surface qu'au fond. Dans le canal de la Havannah (point de mesure P2, Cf. Figure 51), il apparait schématiquement que :

- à marée haute les courants sont maximums et entrent à l'intérieur du lagon ;
- à marée haute +3 heures les courants sont pratiquement nuls ;
- à marée basse les courants sont dirigés vers l'extérieur du lagon ;
- à marée basse +3 heures les courants sont toujours dirigés vers l'extérieur du lagon mais ont des valeurs très faibles ;
- à marée basse +5 heures les courants sont à nouveau dirigés vers l'intérieur du lagon.

Dans les passes les courants peuvent être particulièrement complexes, des tourbillons transitoires apparaissent au cours du cycle de marée. D'un point de vue statistique le pourcentage de temps où

le courant reste inférieur à 0,1 m/s au cours d'un cycle de marée de mortes-eaux est plus important au fond (courants plus faibles) qu'en surface (courants plus forts). Dans les passes le pourcentage est proche de zéro, la renverse de courants s'opérant en moins de 10 minutes. Au centre du canal de la Havannah le pourcentage de temps où le courant est inférieur à 0,1 m/s est de 30 % au fond. Il est plus faible près de la surface. En termes d'intensité, le courant sera toujours inférieur à 0,2 m/s (0,4 nœuds) au fond et à 0,3 m/s (0,6 nœuds) en surface.

5.2.4.2.2 Marées de vives eaux

Les courants calculés sont relativement forts sur l'ensemble du domaine d'étude et très forts dans les passes de la Havannah et de la Sarcelle où ils peuvent atteindre des valeurs supérieures à 1,5 m/s (3 nœuds), voire occasionnellement 2 m/s (4 nœuds). Les courants sont toujours plus forts en surface qu'au fond. Dans le canal de la Havannah (point de mesure P2, cf. Figure 51) les courants sont :

- Au maximum un peu avant la marée haute et entrent à l'intérieur du lagon ;
- à marée haute +3 heures les courants se sont inversés partiellement dans la passe et le long de la côte de la Grande Terre, alors que le courant est encore entrant plus au large ;
- à marée basse les courants sont dirigés vers l'extérieur du lagon ;
- à marée basse +3 heures les courants sont à nouveau dirigés vers l'intérieur du lagon avec des valeurs déjà fortes ;
- à marée basse +5 heures les courants sont encore dirigés vers l'intérieur du lagon mais avec des valeurs plus fortes. Dans le chenal les courants sont majoritairement dirigés vers l'intérieur.

Dans la Havannah les courants peuvent être particulièrement complexes et de forts tourbillons transitoires apparaissent au large de Port Boisé et de la Baie de Kué. Le pourcentage de temps où le courant est inférieur à 0,1 m/s (0,2 nœuds) au cours d'un cycle de marée est légèrement plus fort au fond qu'en surface. Le pourcentage dans les passes est proche de zéro considérant que la renverse de courants s'opère en moins de 10 minutes. Dans la zone du centre du canal (zone P2), le pourcentage de temps où le courant est inférieur à 0,1 m/s est de l'ordre de 5 à 10 % au fond; il est seulement de 5 % en surface. En termes d'intensité, le courant sera toujours inférieur à 0,5 m/s (1,0 nœuds) au fond et 0,6 m/s (1,2 nœuds) en surface.

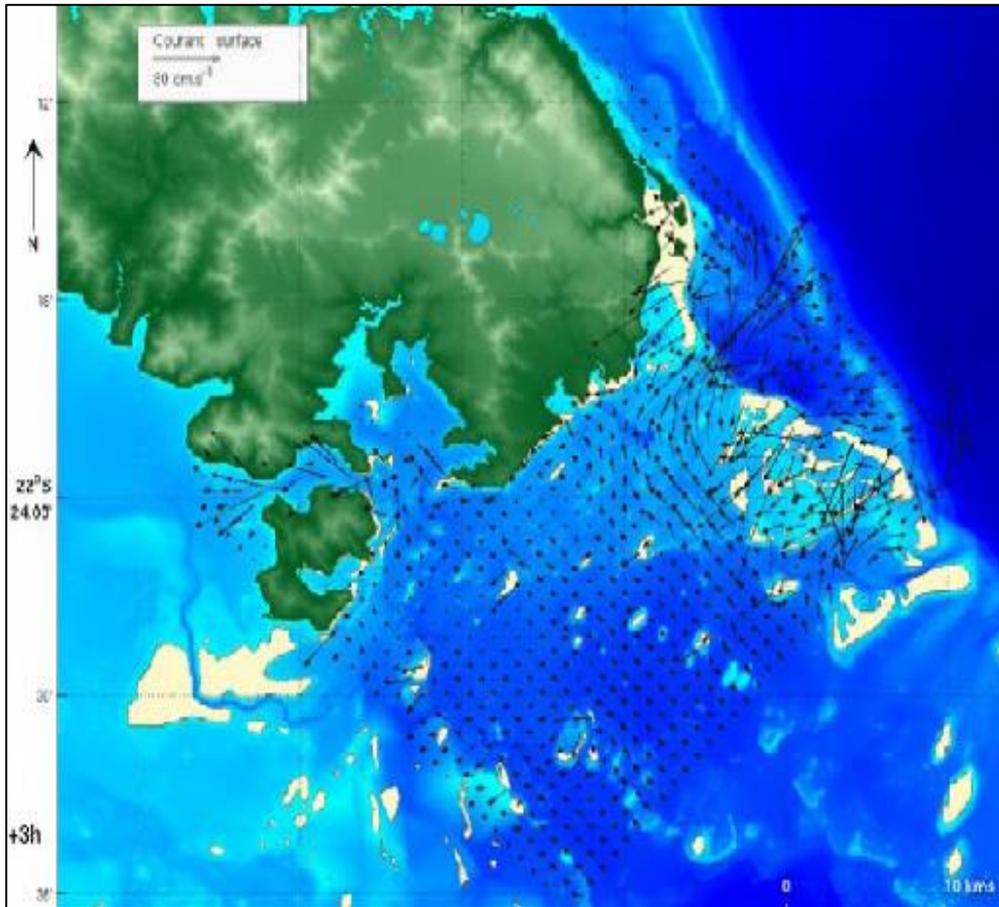
5.2.4.2.3 Situation la plus fréquente

Dans le lagon Sud de Nouvelle-Calédonie la situation la plus fréquente combine le cas d'une marée moyenne de vive-eau cumulée avec un vent alizé de Sud-Est modéré de l'ordre de 8 m/s (16 nœuds). Les courants calculés pour les conditions d'alizés modérés de 8 m/s sont différents entre la surface et le fond. Près du fond les courants sont forts sur l'ensemble du domaine d'étude, et très forts dans les passes où ils peuvent atteindre des valeurs supérieures à 1,5 m/s (3 nœuds). Ils dépendent presque exclusivement de la marée et sont naturellement plus intenses lorsque le vent et la marée sont dans la même direction (courants entrants). Près de la surface les courants restent largement influencés par la marée, tant en direction qu'en intensité, même si les vents y participent clairement.

5.2.4.2.4 Atlas des courants

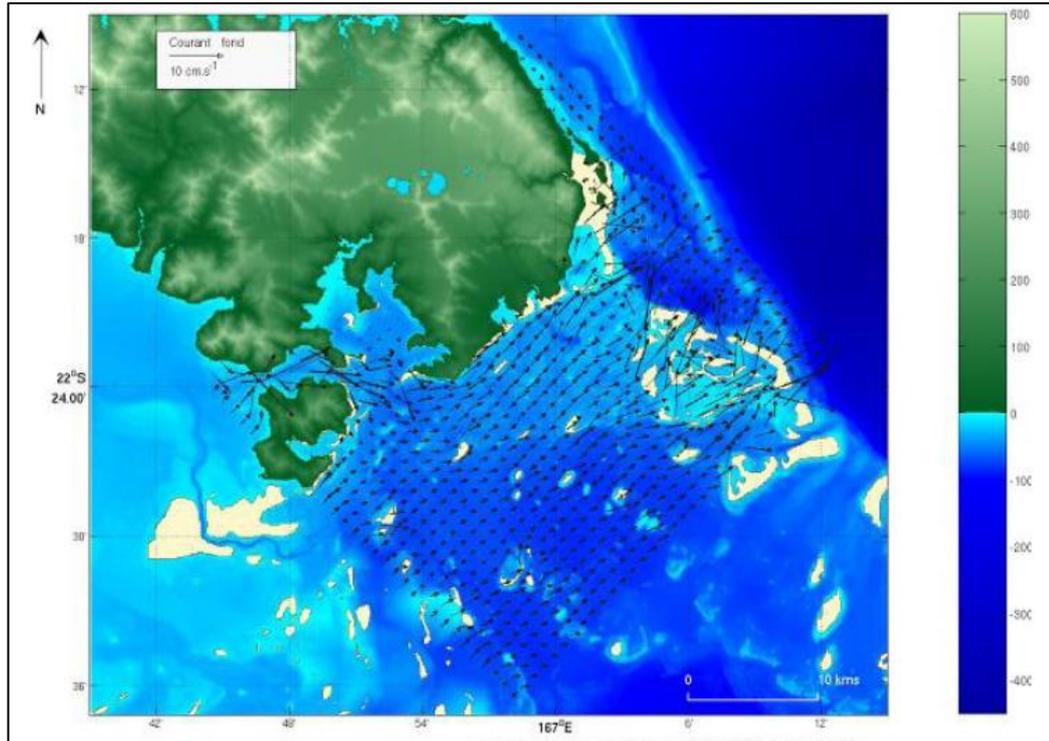
Un atlas des courants a été élaboré dans le cadre d'une convention de recherches IRD/VNC n° 1124 sur « le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon de la Nouvelle-Calédonie – Modèle hydrodynamique et atlas des courants ». L'objectif de cet atlas est de recenser l'ensemble des situations courantologiques pouvant se présenter dans une zone comprise entre l'île Ouen et la passe de la Havannah en incluant la Baie de Prony et la

réserve Merlet, par tout type de marée et tout type de vent. Des extractions ponctuelles de cet atlas sont présentées ci-dessous.



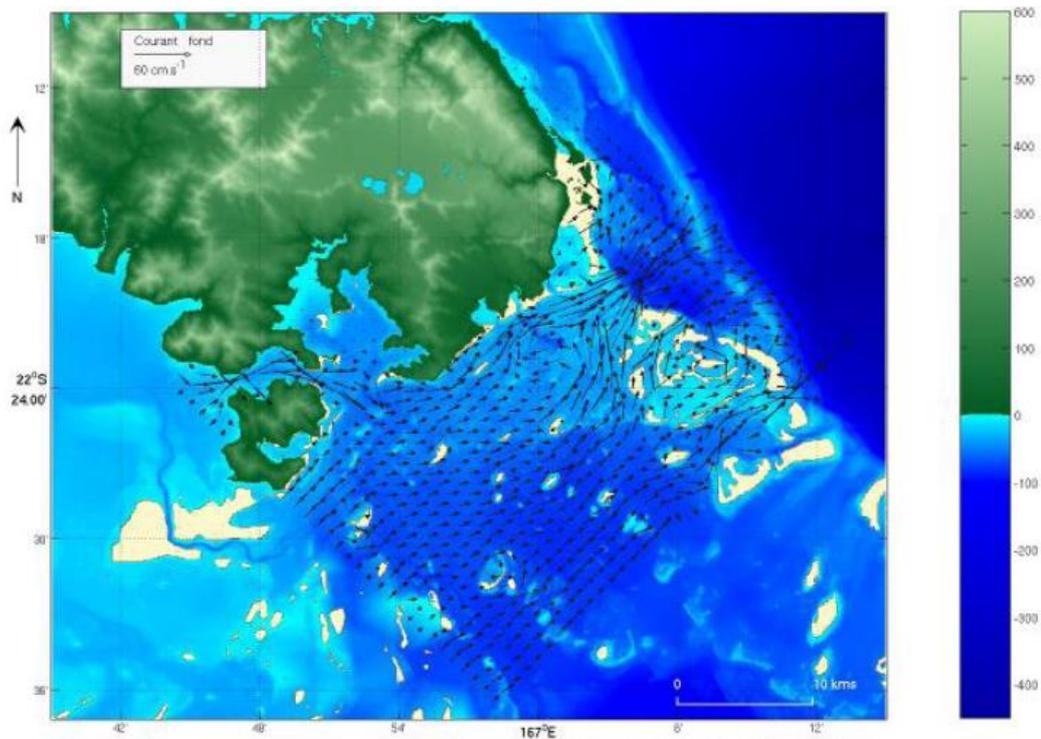
Source : Modèle hydrodynamique, Atlas courantologique IRD Nouméa

Figure 54 : Courant de fond par marée de mortes-eaux à marée base (+ 3h)



Source : Modèle hydrodynamique, Atlas courantologique IRD Nouméa

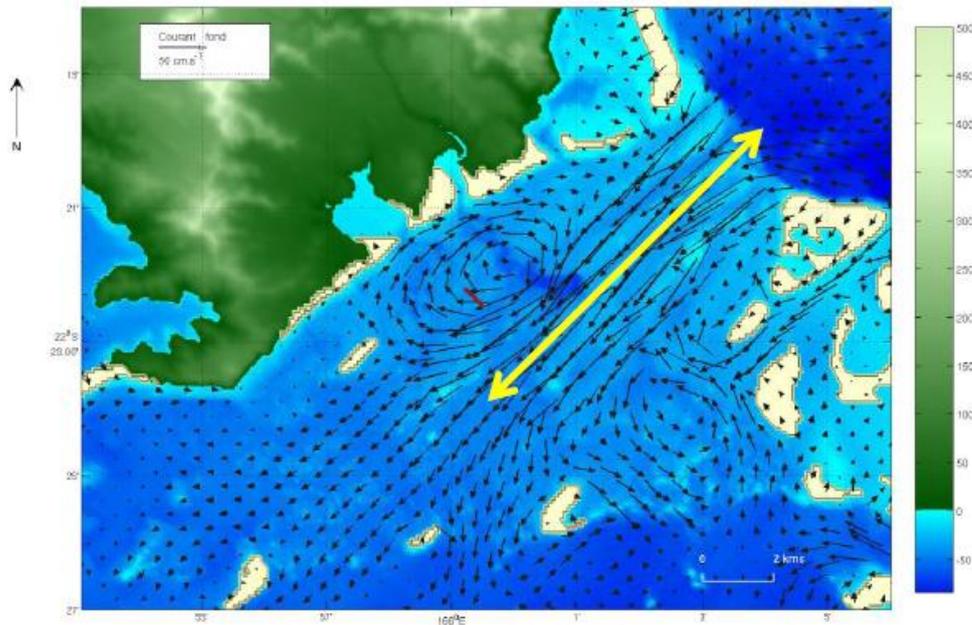
Figure 55 : Courant de fond par marée de morte-eau à marée haute (+ 3h)



Source : Modèle hydrodynamique, Atlas courantologique IRD Nouméa

Figure 56 : Courant de fond par marée de vive-eau à marée haute (+ 3h)

Un des résultats majeurs est qu'une frontière hydrodynamique divise longitudinalement le canal de la Havannah durant toute l'année. Cette frontière est matérialisée par la mise en place de deux tourbillons qui se font face au droit de Port Boisé et dont les sens de rotation sont inversés l'un par rapport à l'autre, comme illustré à la Figure 57.



Source : Modèle hydrodynamique, Atlas courantologique IRD Nouméa

Figure 57 : Formation de deux gyres (tourbillons), l'un anticyclonique au Nord-Ouest d'une ligne médiane (flèche jaune) et l'autre cyclonique au Sud-Est

5.3 TYPOLOGIE DES FONDS

5.3.1 Description des faciès des fonds sous-marins

La typologie des fonds a été étudiée par l'IRD (dans le cadre de la convention IRD-VNC 2006-2009) dans la baie de Prony, la baie de Port boisée, le canal de la Havannah et en baie de Goro, par méthode de prospection acoustique couplée d'une vérification de terrain (*typologie des fonds lagunaires par prospection acoustique (AGDS) Rapport final IRD-Nouméa, 15/08/09 Fernandez JM, Gautier S, Gorse L, Tolosa S, Chevillon Ch et Belhandouz UR-103 CAMELIA, IRD-Nouméa*).

Pour la zone de Goro, 35 km de traces acoustiques ont été réalisés sur une surface de 8 km² entre le village de Goro au Nord et l'île de Toémo au Sud, délimitée par la barrière récifale à l'Est et par la terre à l'Ouest. Pour le canal de la Havannah, la typologie des fonds est représentée à la Figure 59.

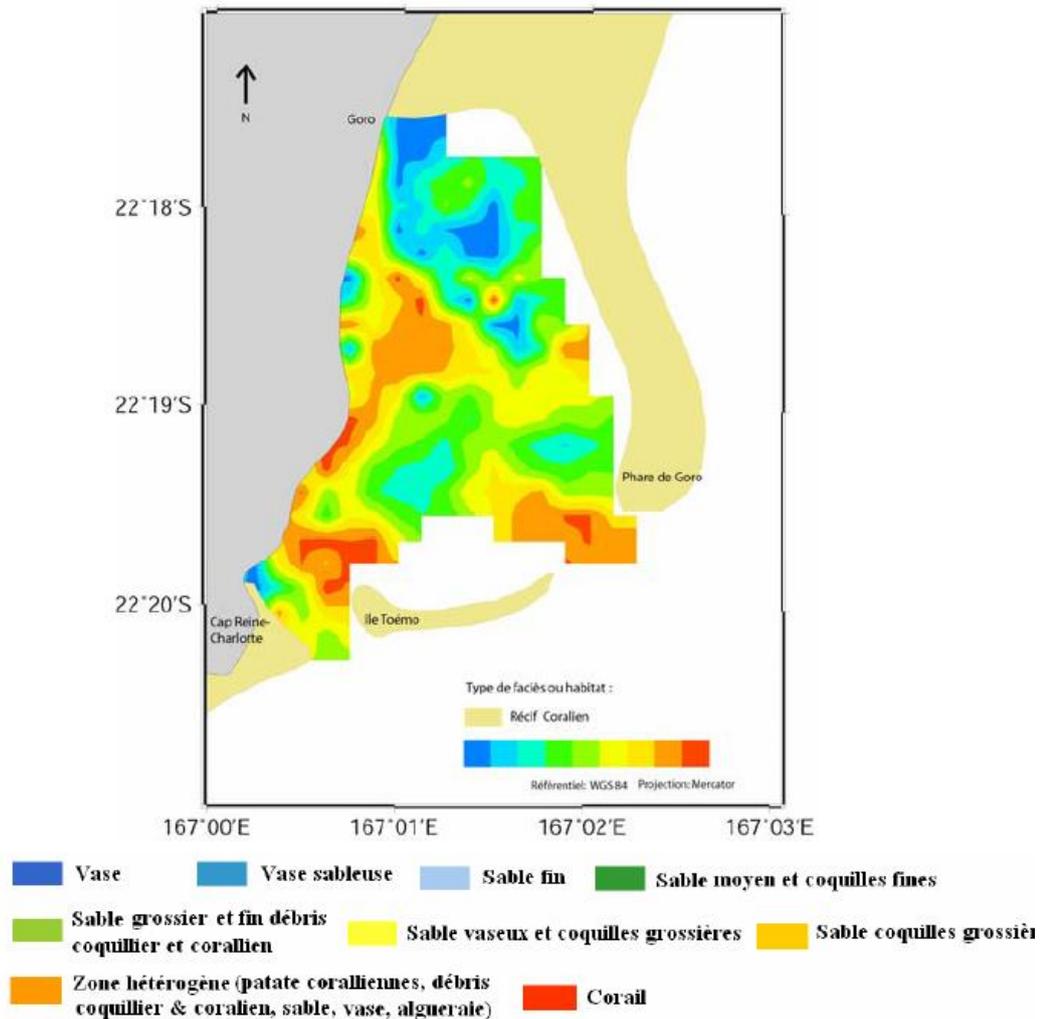


Figure 58 : Carte interpolée de la nature des fonds du port de Goro (2006)

Le Canal de la Havannah possède 9 types d'habitats identifiables mais seulement 7 d'entre eux ont été validés, certaines signatures correspondant à des formations trop limitées spatialement ou difficiles à échantillonner (ex. : fond de vallée sous-marine). On retiendra qu'il peut être composé dans sa partie Sud-Ouest, de vase compacte plutôt carbonatée si l'on se réfère aux études effectuées par Chevillon (2005). De manière synthétique les différents faciès sont répartis de la manière suivante :

- entre la Baie Kué et le port de Goro, en raison des conditions hydrodynamiques, seuls des graviers ($\varnothing > 2\text{cm}$) tapissent le fond et le substratum affleure par endroits ;
- au droit de la Baie Kué une profonde paléo-vallée d'axe NO-SE permet une sédimentation graduée de sables grossiers avec des débris coquilliers et coralliens du bord de la vallée à -40 m, puis de vases sableuses jusqu'à 70 m de profondeur ;
- entre Port Boisé et la Baie Kué on note la présence d'un éperon formé d'affleurements de roche alternant par endroits avec quelques poches de graviers et des massifs coralliens qui occupent les fonds de 20 à 40 m de profondeur ;
- une vaste zone dépressionnaire entre Port Boisé, le récif Ioro et le banc Ionontéa permet un dépôt plus fin, avec principalement de la vase sableuse et du sable fin ;
- les zones situées au Sud-Ouest du récif Ioro et au Sud du banc Ionontéa sont composées du même type de dépôt. Encore plus au Sud-Ouest, *a priori* une sédimentation de matériel fin se produit.

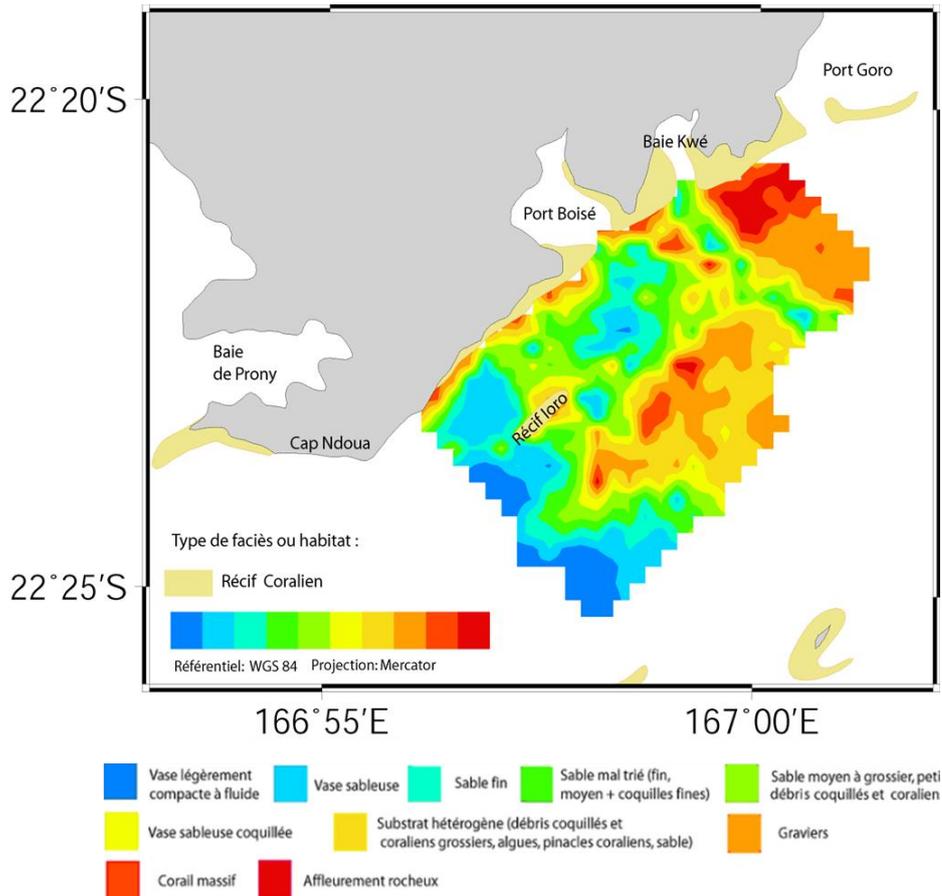


Figure 59 : Carte interpolée représentant le type de fond ou d'habitat du canal de la Havannah (2006)

Au Sud-Est du récif Ioro, le banc Ionontéa est constitué de pinacles coralliens d'une vingtaine de mètres de hauteur et dont la base est à plus de 30 m de profondeur. Le banc est constitué de graviers puis en s'éloignant vers le Sud-Est sur des fonds de 40 m, un vaste système hétérogène, constitué de débris coquilliers, de débris coralliens, d'algues, de sable et de quelques aiguilles prend place. Au niveau de Port-Boisé, la typologie des fonds est représentée sur la Figure 60.

Dans la baie de Kué, la typologie n'a pas pu être effectuée par les moyens techniques AGDS de l'IRD en 2006. Les fonds, très peu profonds en dehors du chenal d'entrée, ne permettent pas la mise en œuvre de cette technologie. Un état des lieux a été effectué en 2009 par la société EMR. Les résultats de cette étude sont présentés aux Figure 63 et Figure 64.

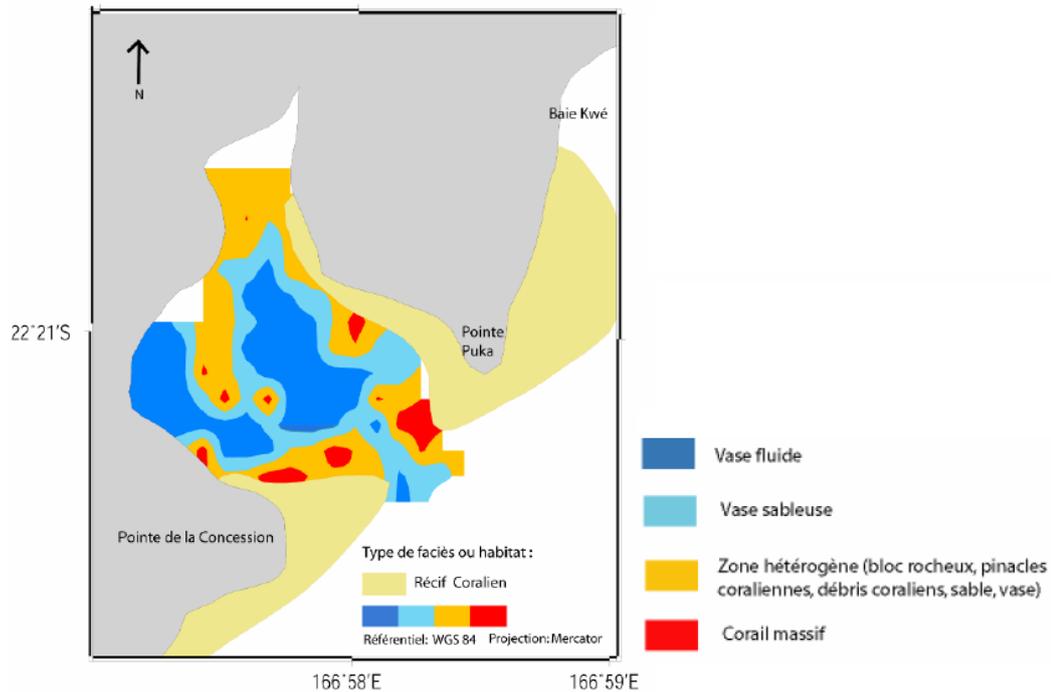


Figure 60 : Carte interpolée représentant le type de fond ou d'habitat en baie de Port Boisé

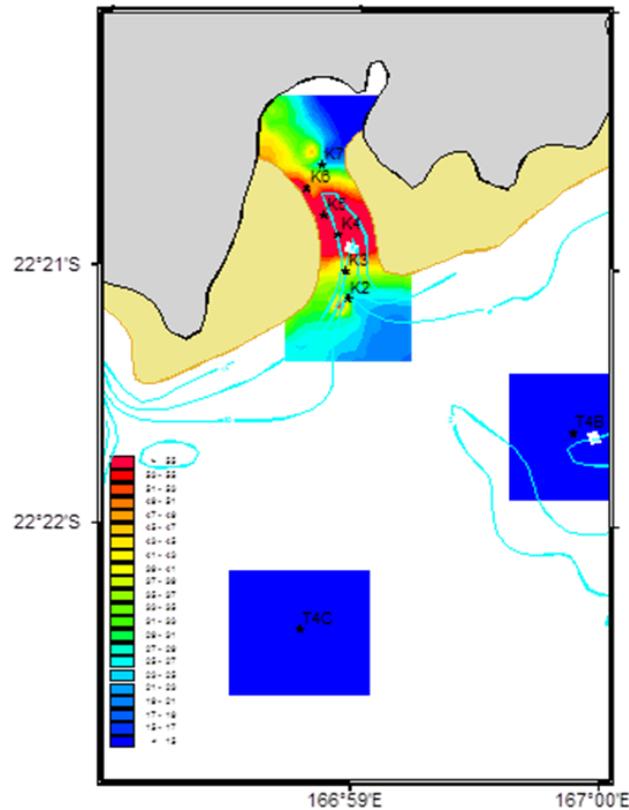
5.3.2 Distribution spatiale de la granulométrie des sédiments

La description des faciès présentée ci-dessus a été affinée afin de rendre compte des pourcentages de la fraction fine (plus précisément les pélites¹⁸, particules de diamètre < 40 μm) d'origine terrigène ou marine, cette distinction n'étant pas possible par la seule prospection acoustique des fonds. Le type d'étude sédimentologique AGDS doit être complété par une caractérisation géochimique, qui seule permet de suivre avec précision le niveau d'influence des apports terrigènes, liés ou non à l'activité anthropique. Les études suivantes sont utilisées pour présenter la granulochimie des sédiments en baie de Kué :

- mesures courantométriques en baie Kué, Tony Honoré, géomètre-expert, et Thierry Hoibiand, docteur en océanologie à l'université de Nouvelle-Calédonie, 2003 ;
- état de référence : Distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la Baie du Prony et dans la baie Kué, IRD, 2007 ;
- étude d'engravement de la rivière Kué, de son estuaire et de la baie, E.M.R., 2009.

La baie de Kué favorise la sédimentation des apports terrigènes. Les principaux résultats sont présentés ci-dessous. D'après l'IRD (2007), la répartition des pélites (particules <40 μm) fournit une vision de l'intensité de l'hydrodynamisme local. En 2007, l'IRD obtient la distribution spatiale de la granulométrie des sédiments telle que décrite par la carte de distribution des pélites dans les sédiments superficiels en baie Kué et aux abords du canal de la Havannah. Les résultats sont exprimés en (%) de la masse totale de sédiment brut.

¹⁸ *Granulométrie* : Les lutites : < 63 μm Les pélites : < 40 μm Les arénites : entre 1/16 de millimètre et 2 mm Les rudites : > 2mm

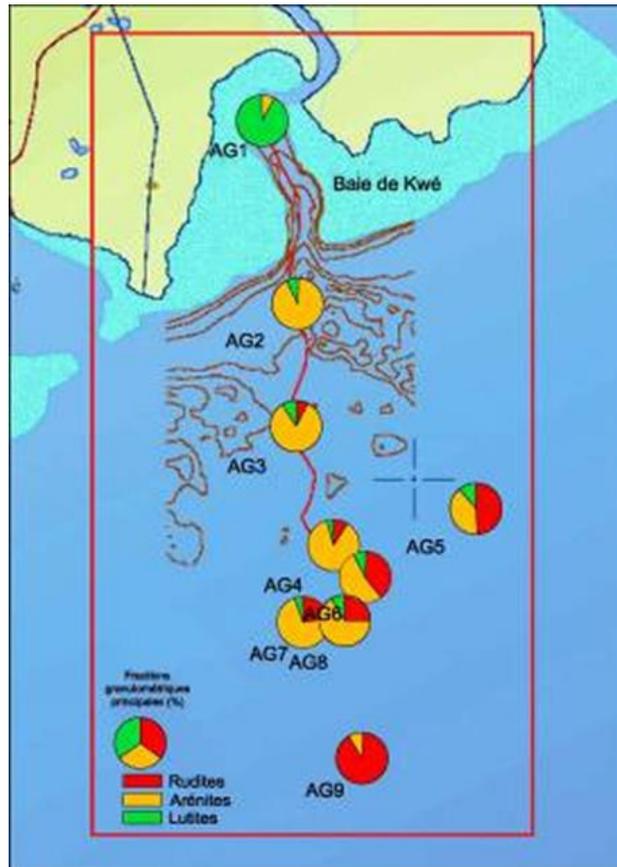


Source : IRD, 2007

Figure 61 : Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels dans la Baie de Kué et le Canal de la Havannah (%),

Les résultats obtenus montrent que seule la partie médiane du chenal d'accès de la baie possède un hydrodynamisme suffisamment faible pour permettre la sédimentation d'une majorité de pélites.

La Figure 62 montre la répartition des sédiments fins (lutites) et de grosse granulométrie (rudites) dans le canal de la Havannah au droit de la baie de Kué. Ces résultats, issus du prélèvement d'échantillons de surface en janvier 2003, sont en cohérence avec les études hydrologiques qui indiquent de forts courants et une influence océanique au centre du canal de la Havannah. Ainsi les lutites se déposent essentiellement dans la baie de Kué et leur taux va jusqu'à s'annuler au centre du canal de la Havannah.



Source : Tony Honoré Consultant, 2003

Figure 62 : Distribution des fractions granulométriques principales dans les sédiments de la baie de Kué

Référence du traitement	Teneurs en rudites % supérieur à 2 mm	Teneurs en arénites % ente 63µm et 2 mm	Teneurs en lutites % inférieur à 63µm
AG 1	0	7	93
AG 2	2	91	7
AG 3	7	84	9
AG 4	8	88	4
AG 5	49	40	11
AG 6	40	53	7
AG 7	22	73	5
AG 8	26	65	9
AG 9	92	6	2

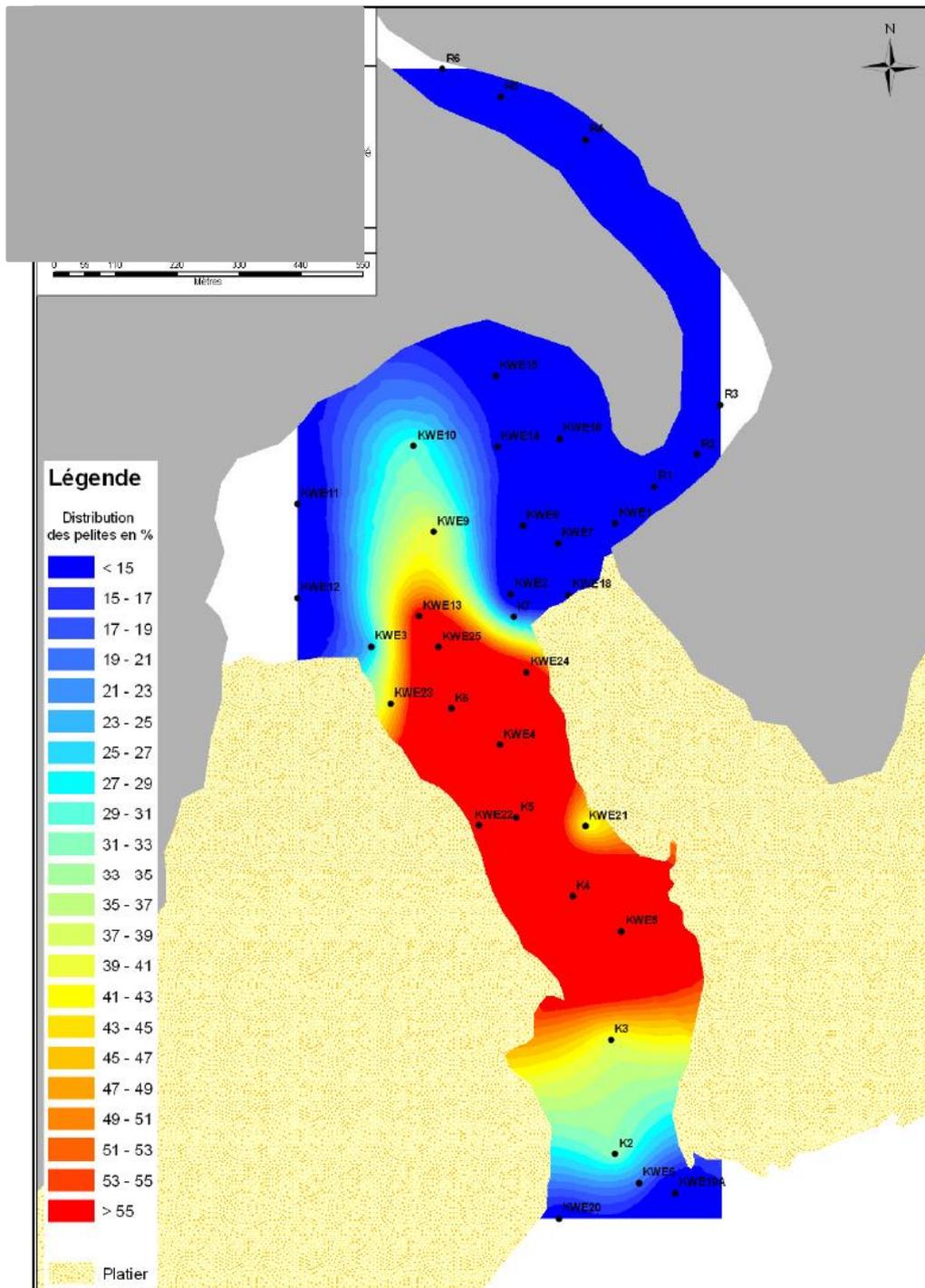
Source : LBTP

Tableau 51 : Tableau récapitulatif des analyses granulométriques dans la baie de Kué, 2003

Pour conclure, le taux de pélites dans les sédiments de la baie Kué varie d'environ 15 %, près de l'embouchure (de la rivière Kué), à 74 % au centre. Cette évolution traduit une diminution progressive et relativement rapide de l'influence des courants de la rivière en direction de la sortie de la baie, toutefois, vers le large, la teneur en pélites diminue à nouveau (23 %) en raison, cette

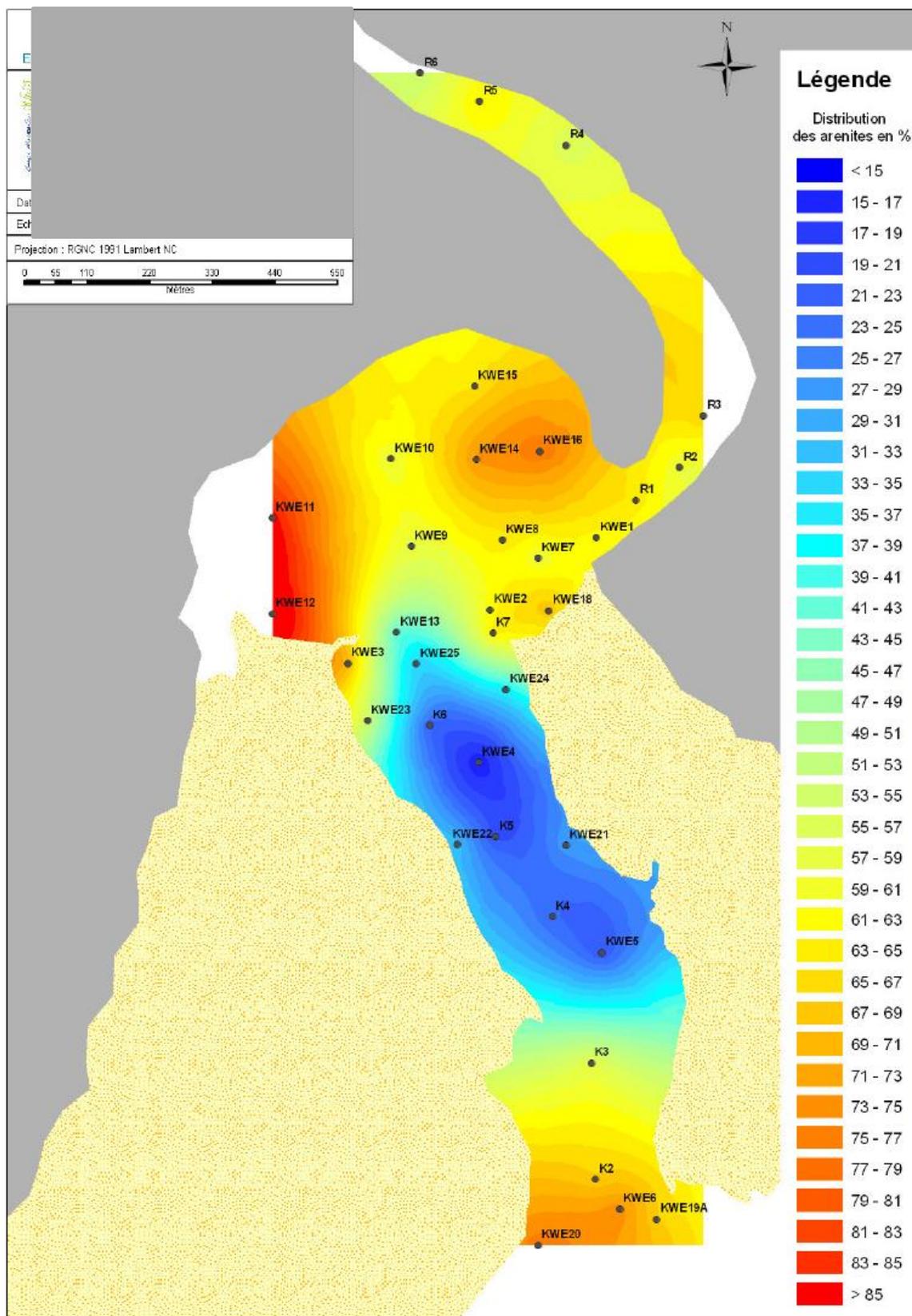
fois-ci, de l'influence des courants marins (>1m/s) qui règnent dans tout le secteur du canal et ne permettent que la mise en place, d'abord de sable peu vaseux au niveau du talus, puis uniquement de gravier. Les résultats de l'état des lieux granulométrique effectué dans la baie de Kué en 2009 par la société E.M.R. sont présentés à la Figure 63 et confirment les résultats antérieurs.

Les pélites (sédiments fins de particules <40µm) et arénites (sédiments de plus forte granulométrie) ont une distribution opposée.



Source : EMR

Figure 63 : Distribution des pélites/sédiments de fine granulométrie (%) dans les sédiments superficiels de l'estuaire et de la baie de Kué en septembre 2009



Source : EMR

Figure 64 : Distribution des arénites/ sédiments de plus forte granulométrie (%) dans les sédiments superficiels de l'estuaire et de la baie de Kué en septembre 2009

5.3.3 Distribution spatiale des sédiments carbonatés

La distribution spatiale des carbonates a été étudiée dans le but de différencier les influences terrigènes et marines (Etude : *A combined modelling and geotechnical study of the fate of terrigenous inputs from mixed natural and mining sources in a coral reef lagoon (New Caledonia)*, Fernandez, Chevillon, publiée en 2005). La distribution des carbonates est présentée ci-dessous.

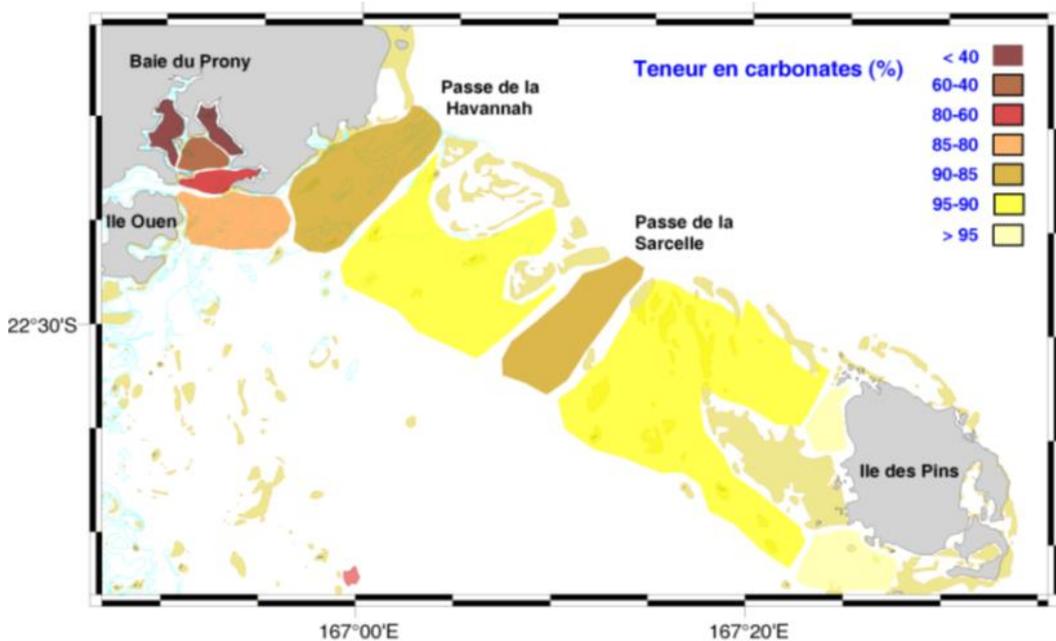


Figure 65 : Distribution des carbonates dans la baie de Kué (origine marine)

La distribution spatiale des carbonates augmente avec la distance à l'embouchure (de 22 % à l'embouchure à 68 % en sortie de baie). Les teneurs en carbonates témoignent d'une augmentation de l'influence marine progressive accompagnée d'une diminution de l'impact terrigène en direction du large. Cette évolution est confortée par les concentrations en Ni et Cr qui sont maximales au débouché de la Kué (respectivement 4400 mg/kg et 8700 mg/kg) et diminuent vers la sortie de la baie, respectivement à des valeurs de 1060 mg/kg et 2010 mg/kg.

5.3.4 Conclusion

Pour le Canal de la Havannah les fonds inférieurs à 40 m subissent une forte activité hydrodynamique qui n'autorise pas la sédimentation des particules fines ($\varnothing < 40 \mu\text{m}$), seuls de gros graviers profitent de ces conditions.

La paléo-vallée de la Baie Kué semble être le siège d'une sédimentation de matériaux relativement plus fins.

Pour les fonds de 40 m situés entre le récif loro et le banc Ionontéa, les formations sableuses sont courantes avec cependant l'intercalation de dépôts hétérogènes de matériels grossiers (débris coralliens, coquilliers grossiers..) au Sud-Est. La dépression localisée entre le récif loro, le banc Ionontéa et Port Boisé, ainsi que toute la région Sud-Ouest de cette cuvette est constituée d'un dépôt de sable fin, de sables vaseux et de vases carbonatées.

Les teneurs en carbonates témoignent d'une augmentation de l'influence marine progressive accompagnée d'une diminution de l'impact terrigène en direction du large.

5.4 SEDIMENTOLOGIE

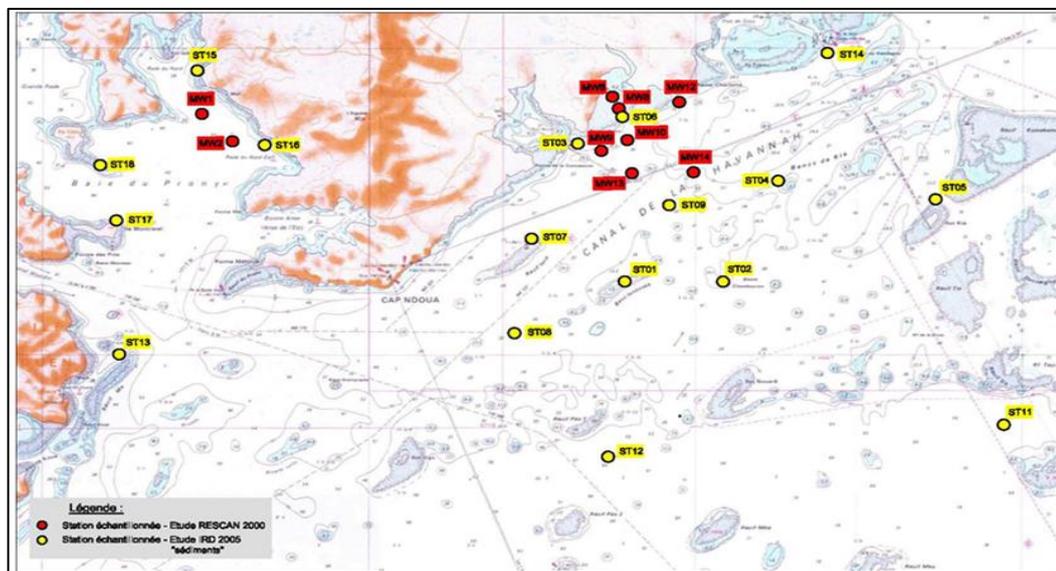
La déstabilisation des manteaux d'altération (latérites) a pour conséquence d'augmenter la quantité de matériel particulaire terrigène introduite dans le milieu lagunaire. Les phénomènes physiques de sédimentation sont mesurables à moyen et long termes par des méthodes de calcul :

- des taux d'accumulation qui intègrent dans le temps tous les phénomènes et mécanismes de déposition/érosion. Les effets à court terme des apports terrigènes, quant à eux, sont induits par les flux de particules .
- des "densité de flux" de particules (ou plus simplement de "flux" c'est-à-dire la quantité de particules qui transitent par unité de surface et de temps pour un lieu donné). En fonction de l'intensité du flux, les principaux effets prévisibles sont la réduction de la lumière et de l'oxygène dissous dans les eaux et la contamination potentielle des écosystèmes pélagiques par les polluants associés aux particules. L'étude des flux de particules prend en compte toutes les matières en suspension qui transitent avant qu'elles n'aillent se déposer.

5.4.1 Etat initial et état actuel

5.4.1.1 Etudes de référence

Ce paragraphe synthétise les informations issues des études de caractérisation de l'état initial et de l'état actuel sur les sédiments du milieu marin.



NB : les stations de la baie d'Ué et du port de Goro ne sont pas représentées sur cette figure

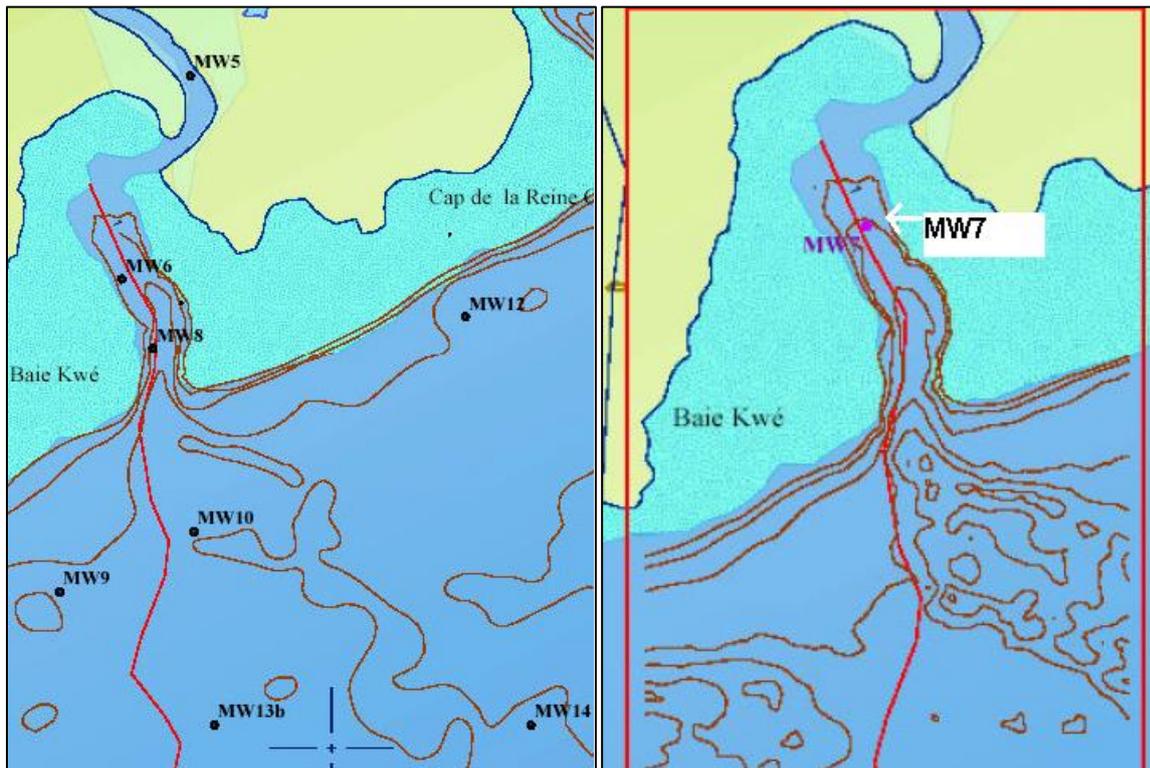
Source : Rescan 2000 en rouge et IRD 2006 en jaune

Figure 66 : Stations de prélèvement des sédiments

Ces études sont les suivantes :

- Rescan 2000, Supplemental Baseline Technical report : Marine Environment ;

- IRD, Etat de référence : Qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments, *Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R 2006 ;*
- IRD, Etat de référence, distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la Baie de Prony et dans la baie de Kué, *Fernandez JM Chevillon Ch, Dolbecq M, Legendre R, Belhandouz A, Lamoureux, JPUR-103 CAMELIA, IRD-Nouméa Nouvelle-Calédonie, 2007.*



Source : RESCAN

Figure 67 : Position des échantillons sédimentologiques (2000)

5.4.1.2 Résultats de l'étude sur les taux de sédimentation

L'étude sur les taux de sédimentation réalisée en 2000 montre que de faibles variations sont présentes entre les pièges d'une même station. La moyenne des taux de sédimentation mesurés en baie de Prony est plus faible que celle qui a été enregistrée en baie de Kué et en baie d'Ué (baie située à l'Ouest de l'île Ouen). Le tableau ci-dessous présente les résultats de cette étude.

Tableau 52 : Taux de sédimentation mesurés lors de l'étude Rescan , 2000

Lieu	Profondeur	Intervalle de mesure	Taux de sédimentation (g/m ² /j)
Intérieur de la baie de Kué	10 m	15 mai–30 juin	38,2 ± 1,1
		1–31 juillet	33,6 ± 1,7
		1–31 août	17,5 ± 0,7
Baie de Prony	10 m	15 mai–30 juin	14,9 ± 1,0
		1–31 juillet	25,5 ± 0,8
		1–31 août	9,0 ± 0,4
Baie d'Ué (Ouest de l'île Ouen)	10 m	15 mai–30 juin	28,5 ± 1,3
		1–31 juillet	65,1 ± 1,8
		1–31 août	20,0 ± 0,1

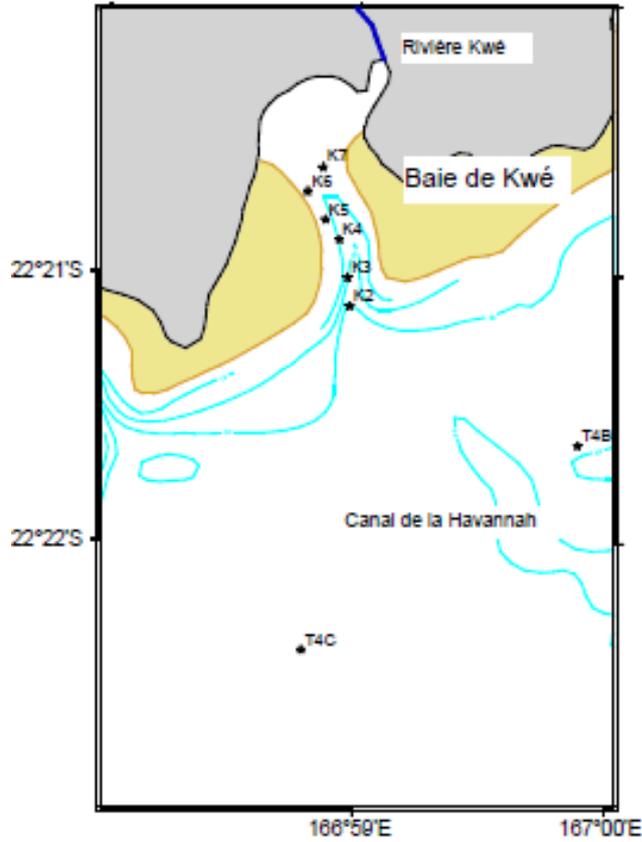
Un "piège" à sédiments a été mis en place par 10 m de fond au point MW7 (cf. Figure 67) par la société RESCAN Ltd. en 2000. Le piège a fonctionné durant 3 périodes : du 15 mai au 30 juin, du 01/07 au 31/07 et du 01/08 au 31/08. Les résultats montrent que pour tous les mouillages réalisés le taux de sédimentation en baie de Kué est sensiblement plus élevé que celui mesuré en baie de Prony et proche de celui de la baie Ué (à l'exception d'une séquence de mesure pour cette dernière baie – la période du mois de juillet 2000 – qui a délivré des valeurs plus élevées allant jusqu'à 65 g/m²/jour). Sur la base des données acquises et d'une densité moyenne de 2,69 pour le matériel sédimenté, le taux d'accumulation a été estimé à :

- 3,4 mm/an en baie de Prony ;
- 6,1 mm/an en baie de Kué ;
- 7,8 mm/an en baie d'Ué (Ouest de l'île Ouen).

Des carottages réalisés dans la couverture sédimentaire dans la baie Kué ont permis de détailler la géochronologie des événements sédimentaires grâce à la technique de datation au ²¹⁰Pb. Cette technique permet d'estimer les taux d'accumulation historiques et de les comparer aux taux actuels. La décroissance radioactive du ²¹⁰Pb en excès est relativement linéaire bien que des valeurs élevées en milieu de carotte laissent supposer que des événements catastrophiques se sont produits (apports peut-être liés à un cyclone). Il est cependant possible d'envisager le calcul d'un taux d'accumulation dont la valeur est 1,20 g/cm²/an.

5.4.1.3 Résultats de l'étude sur les flux de particules

En 2007, l'IRD a effectué un état des lieux corrélé de façon plus précise avec la pluviométrie (cf. § 5.4.1.1) dans la baie de Prony, le canal de la Havannah et la baie de Kué (au niveau de son embouchure, dans le domaine marin) comme le montre la carte suivante.



Source : IRD

Figure 68 : Etudes sédimentaire en baie de Kué, 2007

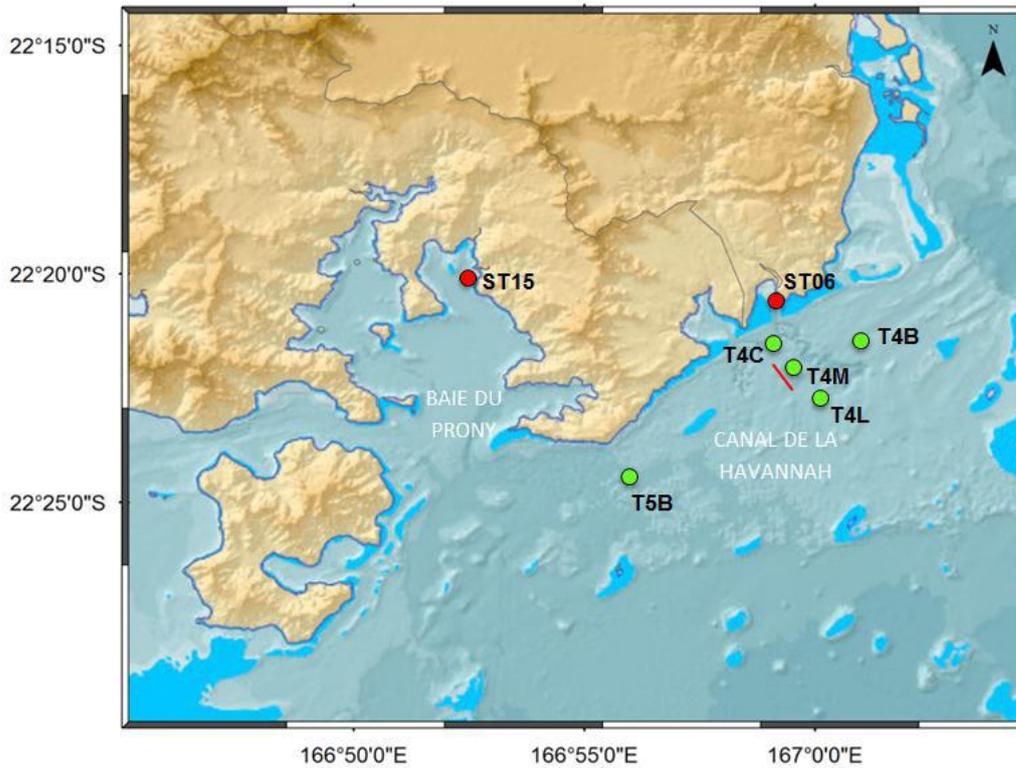


Figure 69 : Localisation des stations de carottage des sédiments et de mouillage des pièges à sédiments pour les baies de Prony et Kué et le canal de la Havannah

Il apparaît clairement que l'importance des précipitations influe sur la masse de matière exportée vers le lagon. En saison sèche, rares sont les journées de pluie qui totalisent plus de 20 mm de précipitations. Cette quantité est remarquable car, au-delà de celle-ci, les phénomènes d'érosion sont significatifs. En revanche, dans le Sud calédonien, en saison humide, 20 mm de précipitations sont cycliquement enregistrés un jour sur trois. Le passage des dépressions durant cette période apporte des quantités de pluie très importantes qui peuvent atteindre régulièrement 100 mm/jour et plus.

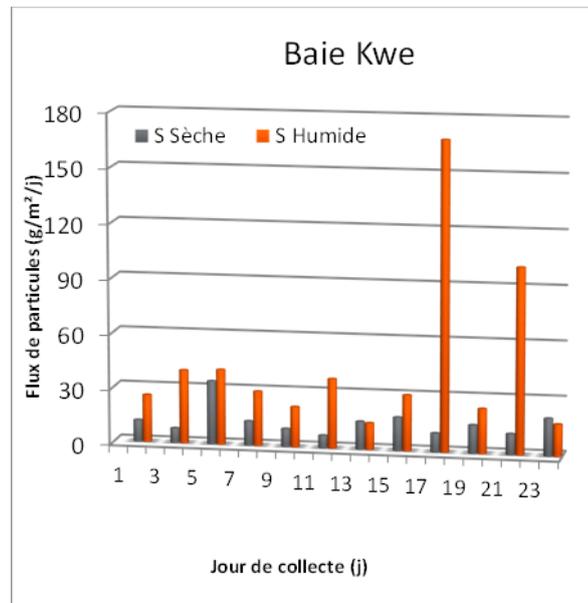


Figure 70 : Evolution des flux particulaires (en grammes/m²/j) pour les saisons sèche (octobre 2006) et humide (mars 2007) au droit des embouchures de la rivière Kué

Les phénomènes sont différents selon que l'on considère la saison sèche ou la saison humide. Ainsi :

- pendant la saison sèche le flux de matière particulaire se retrouve sensiblement constant quel que soit le site. Cette quantité constitue un "bruit de fond de densité de flux" et la matière particulaire qui transite ne semble pas majoritairement liée aux phénomènes de lessivage des sols. Toutefois, ce "bruit de fond" est inégal d'une unité physiographique à l'autre (ou hydro-région, cf. Figure 71) : en sortie de la baie de Kué, il peut être estimé entre 5 et 10 fois plus élevé qu'au droit de la rade du Nord (baie de Prony). Il peut être estimé autour de 10 g/m²/j pour la station de la baie de Kué et dix fois plus faible, entre 1 et 2 g/m²/j, pour les stations des rades Nord et Nord-Est ;
- en saison humide le niveau et l'occurrence des précipitations dictent la quantité de matières en suspension (M.E.S.) présente dans l'eau mer. Ainsi, pour les deux sites des rades du Nord et du Nord-Est en baie de Prony, tant que les précipitations n'excèdent pas 20 mm/j, le flux de matière particulaire se maintient à des niveaux comparables à ceux de la saison sèche, c'est-à-dire environ 1 à 3 g/m²/j. Lors des épisodes pluvieux plus intenses les flux des MES augmentent en se maintenant entre 20 et 30 g/m²/j, et plus si plus de 100mm/j de pluie.

En dehors de ces conditions météorologiques modérées, l'augmentation des flux de M.E.S. est liée à l'action combinée des phénomènes d'érosion des sols par les fortes pluies, notamment lors des dépressions tropicales et de l'action des vents. Les phénomènes de remise en suspension des particules sous l'action des régimes de vents (secteur Sud) sont d'intensité moindre en saison

humide. Pour la baie de Kué, les fortes concentrations de matière particulaire ($> 150 \text{ g/m}^2/\text{j}$) sont à relier, au moins en partie, à l'augmentation du phénomène d'érosion des sols.

Un phénomène de remise en suspension des sédiments est aussi observé : les épisodes qui dépassent les valeurs du "bruit de fond" sont à relier, soit à des très fortes précipitations soit à des mécanismes de remise en suspension, avec une combinaison possible des deux phénomènes. Ainsi, pour la baie de Kué, les débris coralliens du platier qui borde l'embouchure sont entraînés vers le lagon et/ou le chenal d'entrée en baie Kué en fonction du régime des vents (direction et vitesse).

Les vents de secteur Sud génèrent en effet une forte houle dans l'axe de la passe de cette baie, houle qui constitue le moteur du mécanisme de re-suspension de masses de particules relativement importantes. Pour d'autres sites, comme la rade du Nord, le phénomène de remise en suspension est plus modéré et localisé. Dans le canal de la Havannah, la charge particulaire semble demeurer en suspension plusieurs jours dans les eaux avant d'être évacuée ou sédimentée en direction du Sud-Ouest principalement.

Des événements de très fortes intensités pluvieuses peuvent aussi survenir en saison dite sèche (ex : 2 et 3 juillet 2013 avec une pluviométrie de l'ordre de $450 \text{ mm}/24\text{h}$) et donc les analyses des flux doivent être corrélés à la pluviométrie du mois) et à l'intensité des vents de secteur Sud, plus qu'à une saison annuelle (Cf. Figure 72).

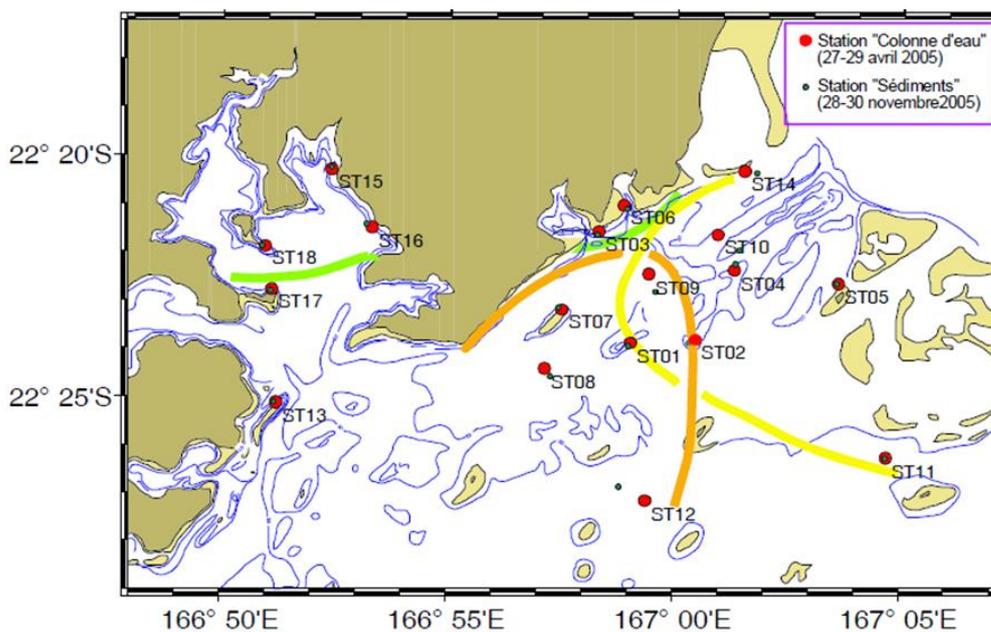


Figure 71 : Grands domaines marins : zones sous influence terrigène avec apports constants d'eau douce (en vert), zone sous influence océanique (à l'Est en jaune) et zone canal de la Havannah (en orange)

La figure suivante met en évidence les corrélations entre les flux de particules en suspension, la pluviométrie, la direction du vent et sa force.

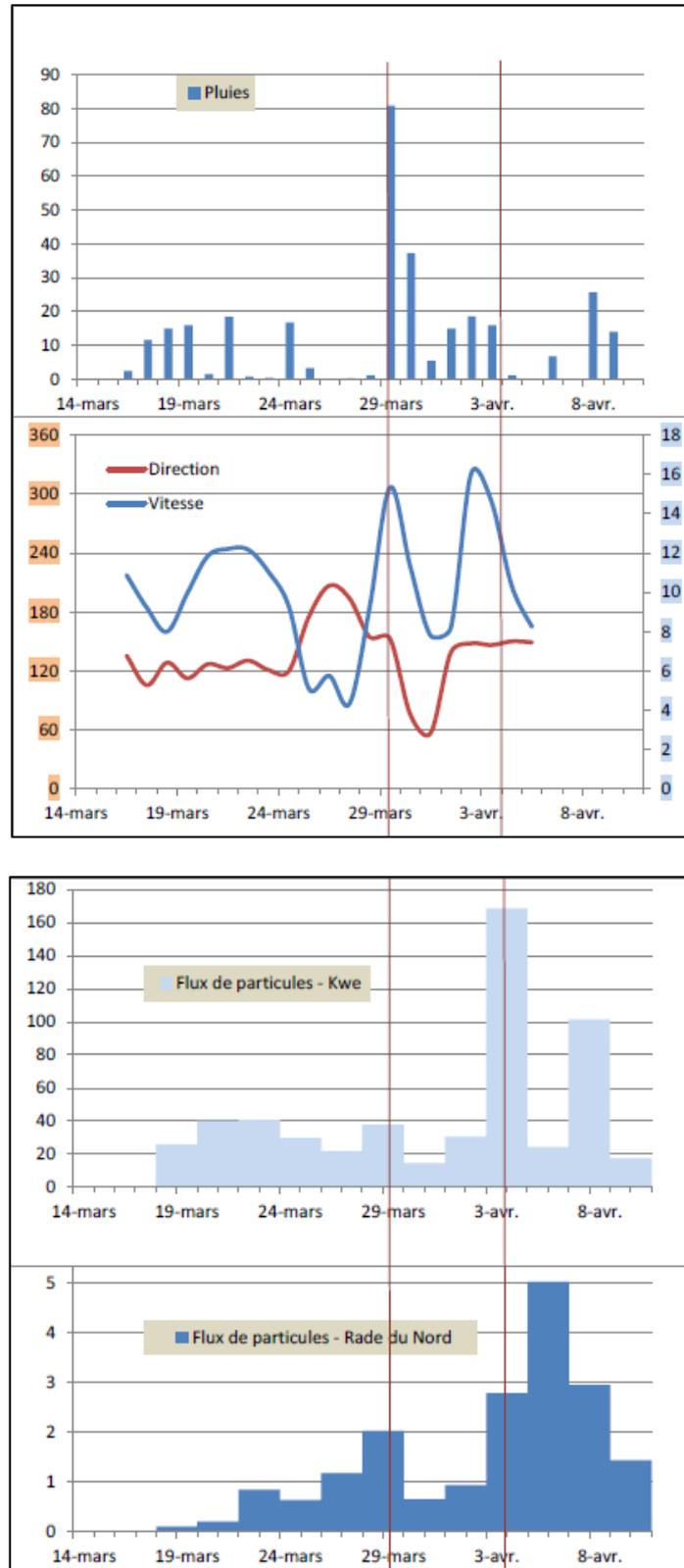


Figure 72 : Schéma synthétique des flux de particules et des facteurs d'influence (quantité de précipitation, vitesse et direction du vent) au droit de l'embouchure du creek de la Rade du Nord et de la Kué (pluie en mm/h, flux en mg/m²/j)

Pour la baie de Kué l'ensemble des données montre que les phénomènes sédimentaires sont importants. Au niveau du point de carottage (milieu de baie), les quantités de particules ne

semblent pas avoir beaucoup évolué avec le temps, en revanche la nature des apports a fortement varié et les fractions vaso-sableuses ont progressivement été remplacées par des fractions pélitiques, plus homogènes, en surface. Les pélites de surface contiennent toutefois une forte contribution de carbonates ($\approx 60\%$) ce qui leur confère une origine à dominante clairement marine.

5.4.1.4 Granulométrie

Le taux de pélites (sédiments très fins $< 40\ \mu\text{g}$) dans les sédiments de la baie Kwé varie d'environ 15%, près de l'embouchure même de la rivière Kwé, à 74%, au centre (Figure suivante). Cette évolution traduit une diminution progressive de l'influence des courants de la rivière vers la sortie de la baie. Toutefois, en direction du large, les teneurs en pélites diminuent à nouveau (23%) en raison, cette fois-ci, de l'influence des courants marins ($> 1\text{m/s}$) qui règnent dans ce secteur du Canal et ne permettent que la mise en place, d'abord de sables peu vaseux au niveau du talus puis uniquement de graviers. Dès 2000 RESCAN avait caractérisé la granulométrie des sédiments dans diverses baies du Grand Sud.

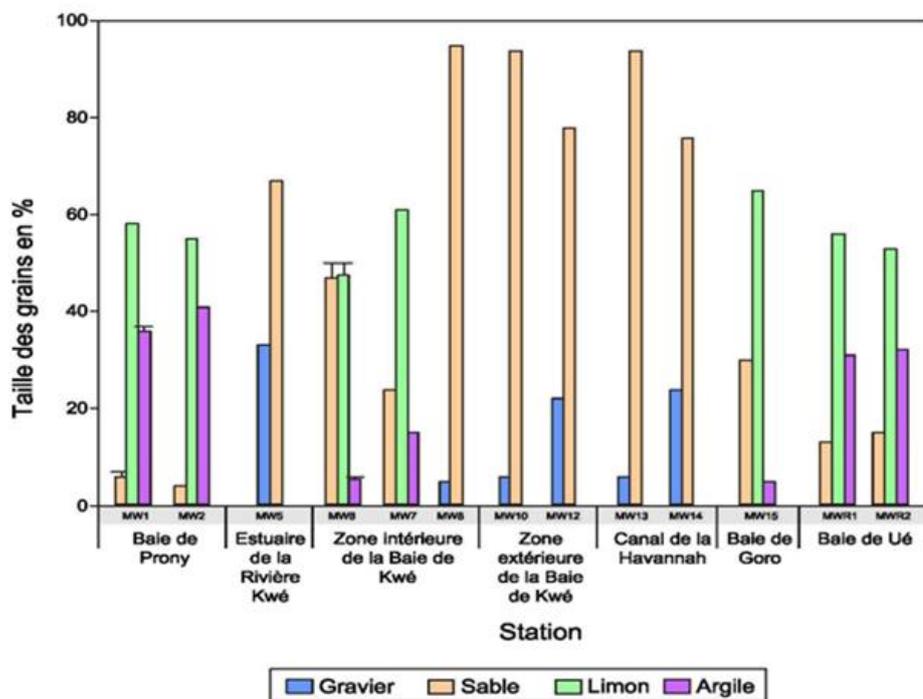


Figure 73 : Granulométrie des sédiments prélevés lors de l'étude RESCAN 2000

5.4.2 Tendance évolutive : suivi du taux d'accumulation des sédiments et des flux de particules

Le suivi des milieux récepteurs en zone d'influence fait partie des obligations réglementaires fixées par les arrêtés ICPE dont dispose VNC, notamment :

- l'arrêté autorisant à exploiter les installations portuaires de Goro n° 891-2007/PS du 13 juillet 2007 ;
- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une aire de stockage de résidus sur le site de la Kué Ouest n° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008 ;

- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une usine de traitement du minerai de nickel et de cobalt et d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008.

En ce qui concerne les sédiments, sont suivis : les flux particuliers (semestriellement à raison d'un suivi continu de 48 jours deux fois par an), le taux de sédimentation (à fréquence triennale) et la qualité des sédiments (suivi annuel ou triennal selon les stations). Tous les suivis sont externalisés. Les rapports semestriels délivrés aux autorités compétentes présentent une analyse de l'évolution spatiale et temporaire des paramètres à partir des études de l'état initial et des bases de données des études antérieures, pour en déterminer une tendance évolutive.

Pour le taux d'accumulation, le suivi est de fréquence triennale (cette fréquence a été déterminée par des experts) et porte sur les stations suivantes situées à l'embouchure des creeks sous influence du projet et près de l'île Ouen.

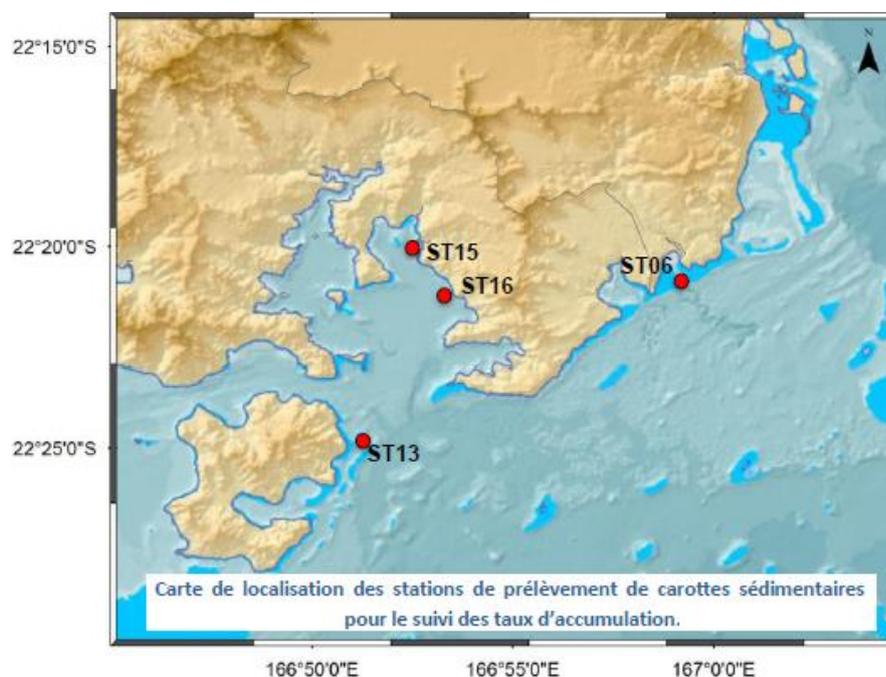


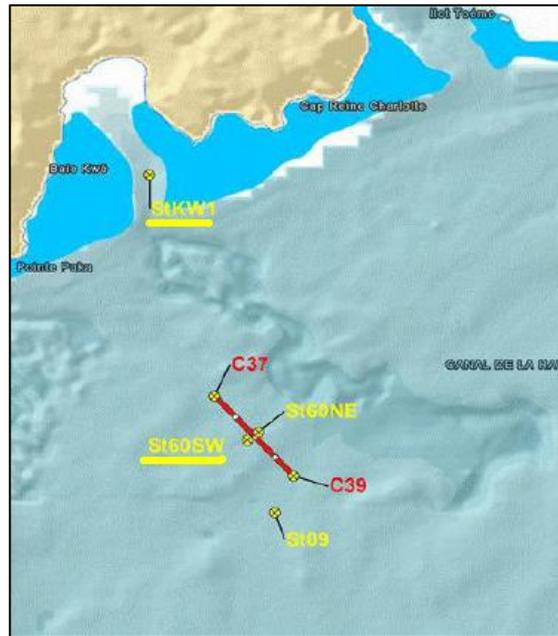
Figure 74 : Suivi de l'accumulation sédimentaire

La synthèse du suivi effectuée en 2012 indique :

- Pour les flux :

La densité de flux en matières en suspension et en métaux est conforme aux estimations réalisées lors de la définition de l'état de référence de 2007. Les valeurs mesurées lors du bilan 2011 sont données dans le tableau suivant (les stations mentionnées sont représentées sur la figure suivante)

:


Figure 75 : Stations du suivi et de l'état de référence (flux)
Tableau 53 : Valeurs minimales et maximales des densités de flux de matière particulaire aux stations KW1 (baie de Kué) et 60SW (canal de la Havannah) - comparaison des valeurs obtenues en 2011 avec celles mesurées en 2007 (Etat de référence, station T4M ; unité : mg/m²/jour)

	VALEUR DU FLUX (mg/m ² /j)	BAIE KWE (KW1)	CANAL DE LA HAVANNAH (60SW)
Etat de référence (T4M)	Minimum	8,0	0,7
	Maximum	168,4	14,8
Suivi 2011	Minimum	5,0	0,2
	Maximum	118,5	11,4

Pour l'année 2012 en baie de Kué, les densités de flux en matières en suspension sont du même ordre de grandeur qu'en 2007, lors de la définition de l'état de référence. En ce qui concerne le canal de la Havannah, pour la même année les flux sont 2 à 3 fois plus forts en saison chaude qu'en saison fraîche. Pour la période étudiée, la distribution des M.E.S. dans les eaux, tant en baie de Kué que dans le canal de la Havannah, est grandement régie par l'action mécanique de la houle, elle-même générée par les vents. Les régimes d'un large secteur Sud sont, à eux-seuls, susceptibles de remettre en suspension les particules sédimentées jusqu'à une profondeur de 10 m. Ce mécanisme est observable dans la baie, mais également le long des côtes.

En 2013 deux très forts épisodes pluvieux sont enregistrés en janvier et en juillet (> 400 mm pluie/24h), L'influence terrigène en baie Kwé est renforcée en raison des conditions hydro-climatiques notamment en juillet 2013 avec 540mm pluie/24 h sur la Plaine des Lacs. Pour la Baie Kwé, les valeurs moyennes des densités de flux en métaux totaux ont donc augmenté entre 2011 et 2013. Cette augmentation est explicitée par l'accroissement régulier des flux de matière terrigène particulaire de faible diamètre et de plus forte concentration spécifique en métaux ; ces apports étant liés au débit solide du creek Kwé.

L'évolution du ratio Ca/Fer est un bon indicateur sur l'origine des flux en MES, car son augmentation indique une moindre influence des apports d'origine terrigène (Fer : terrigène et Calcium : d'origine marine), Après un fort épisode pluvieux le ratio Ca/Fer chute.

Cependant, en 2014, en baie Kwé, il est observé que lors de certains épisodes pluvieux, le ratio Ca/Fe est resté stable. Le ratio Ca/Fe est supérieur en 2014 à celui enregistré à la même époque en 2013, aussi bien au premier qu'au second semestre, ce qui montre que l'influence marine a été plus forte (et l'influence terrigène moins forte) en 2014.

Pour la campagne de septembre/octobre 2014, les flux moyens sont comparables à ceux de l'état de référence 2006. C'est la première fois qu'une valeur des flux aussi faible est enregistrée depuis 2006 et la tendance est à la baisse. Cette « remontée » du ratio Ca/Fe en 2014, ainsi que sa stabilisation lors de certains épisodes pluvieux (<seuil), confirme une efficacité des bassins de décantation et de sédimentation mis en place sur le bassin versant de la rivière Kué et de ses affluents.

Une meilleure efficacité des bassins de sédimentation est certainement due à l'amélioration de l'entretien de nos ouvrages de gestion des eaux en 2013 et 2014.

- Pour le taux de sédimentation :

En baie de Kué la carotte St06-1 (Cf. Figure 74) est caractérisée par un taux élevé de pélites qui fluctue peu ($74,3 \pm 2,4$ %) et dont la mise en place s'est produite de manière pulsée. Toutefois, en particulier dans les 5 premiers centimètres de surface, une tendance nette à l'augmentation de la teneur en fractions fines pélitiques se dessine. Les sédiments de la carotte résultent du mélange, d'une part, des particules générées, soit par l'érosion naturelle du bassin versant, soit par l'excavation des couches latritiques du front de mine (apports de matériel terrigène fin), et d'autre part de la destruction naturelle du platier corallien de la baie. Les 13 premiers centimètres du dépôt montrent l'influence du creusement du front de mine (il y a en effet changement de la nature des minéraux dans les sédiments de surface), mais paradoxalement les taux de sédimentation ne semblent pas avoir significativement augmenté.

Les dépôts témoignent d'une accumulation sédimentaire intense qui reste du même ordre de grandeur entre 2007 et 2013 au point de carottage dans la baie Kwé : $1,83 \text{ g/cm}^2/\text{an}$ à $0,37 \text{ g/cm}^2/\text{an}$.

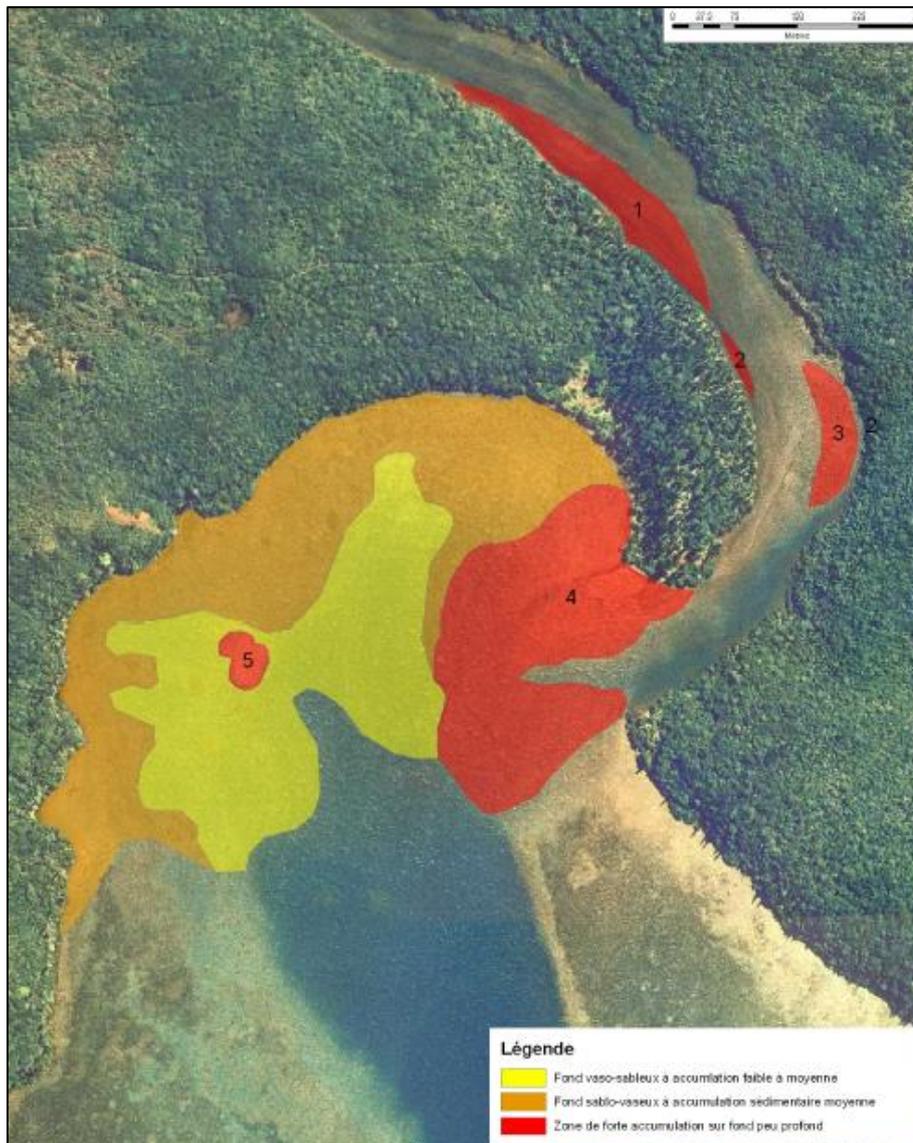
Les constructions coralliennes assurent, au point de carottage, un apport en carbonates de l'ordre de $57 \pm 2,0$ % de la masse sédimentée.

A titre indicatif, le guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie du CNRT / ZoNéCo (IRD, IFREMER), 2011, donne la grille suivante en fiche 6 :

Tableau 54 : Indicateur du taux de sédimentation, Guide CNRT / ZoNéCo, 2011

Taux de sédimentation (g/cm ² /an)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu considéré comme fortement perturbé
Fond de baie, littoral vaseux	< 0.15	[0.15– 0.60[	≥ 0.60
Baies avec embouchures, milieu côtier	< 0.40	[0.40 – 1.80[	≥ 1.80
Canyon sous-marin zones profondes	< 0.30	[0.30 1.25[	≥ 1.25

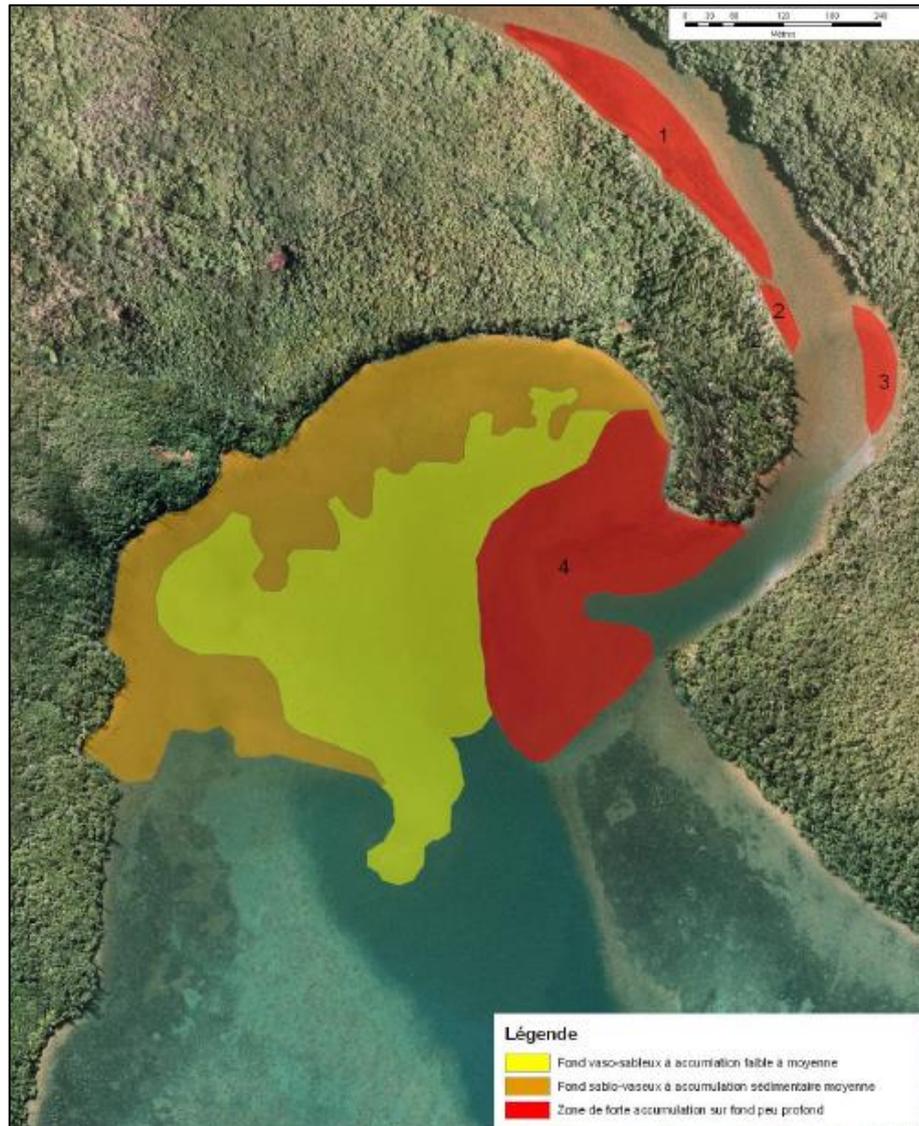
L'analyse diachronique compare des photographies prises en 2002, 2005 et 2009 au niveau de l'embouchure de la rivière Kué. Elle met en évidence une faible évolution des principales plages sédimentaires tant en termes de localisation que de superficie.



Source : EMR

Figure 76 : Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2002

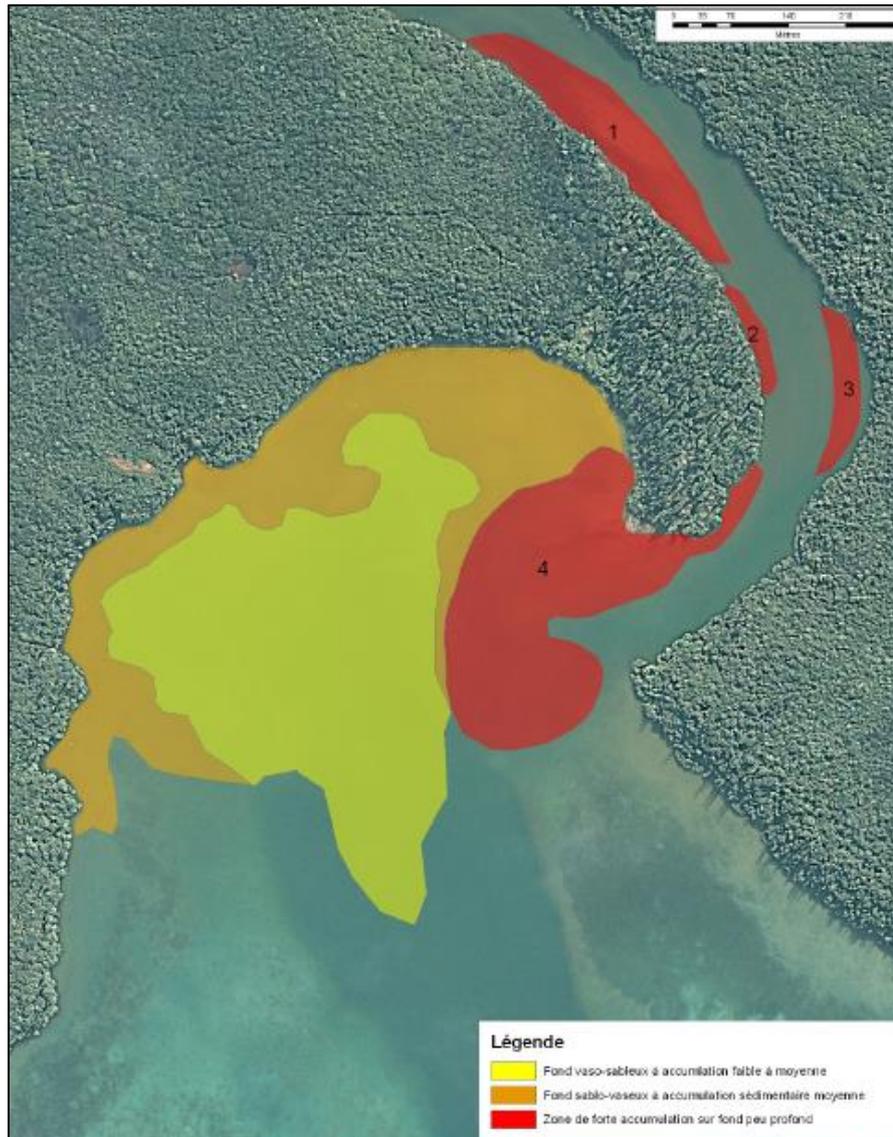
En 2002, on observe 5 zones principales de forte accumulation sédimentaire, dont 3 dans la rivière à proximité de l'embouchure, une dans le prolongement de la rive droite au niveau de l'embouchure (polygone 4) et une en fond de baie Ouest (polygone 5).



Source : EMR

Figure 77 : Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2005

En 2005, le polygone 5 a disparu.



Source : EMR

Figure 78 : Zones d'accumulation sédimentaire à l'embouchure de la rivière Kué et dans la baie de Kué, 2009

Le polygone 5 est toujours absent en 2009.

Dans le fond Nord de la baie Kué, une grande zone d'accumulation moyenne se situe le long de la côte alors qu'une zone d'accumulation moins importante est localisée au centre. Cette disposition des principales zones d'accumulation se retrouve entre 2002, 2005 et 2009.

Entre 2002 et 2009, les variations les plus fortes concernent, d'une part, les deux zones de forte accumulation que sont le polygone 1 et le polygone 2, avec 25 % et 61 % de variation, et d'autre part, la zone de faible accumulation avec 33 % de variation. La zone de faible accumulation s'étend vers le Sud en direction du chenal.

Entre 2005 et 2009, les écarts ne dépassent pas 14 % de variation, sauf pour le polygone 2 avec 35 % de différence entre les deux dates.



Figure 79 : Photographies aériennes de l'estuaire et de la baie de Kué en 2002, 2005, 2007 et 2009

5.5 QUALITE DES SEDIMENTS ET CONCENTRATION EN METAUX

5.5.1 Valeurs guides

Les valeurs-guides utilisées sont les suivantes :

- valeurs-guides publiées par l'ANZECC¹⁹ pour les sédiments (protection des écosystèmes aquatiques). Ces valeurs sont sujettes à évolution ;
- grille indicative de la concentration des métaux dans les sédiments présentée dans le 'Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie' (CNRT/ZoNéCo.2011 IFREMER, IRD et Melanopus), fiche 10 ;

5.5.2 Station de référence

La baie d'Ué, située à 15 km à l'Ouest du site industriel, est suffisamment éloignée de la zone du projet pour représenter un point de référence, en l'état des connaissances de la zone au moment du choix.

¹⁹ Australian and New Zealand Environment and Conservation Council ; Il présente des données indicatrices, en Australie et Nouvelle-Zélande, pour la qualité des eaux douces et marines.

Remarque : Les études ultérieures au choix de cette station de référence ont permis de différencier des hydro-régions à l'échelle du Grand Sud. Une station ne peut être "témoin" qu'à l'intérieur de la même hydro-région que celle de la station d'étude.

5.5.3 Etat initial et état actuel

De manière générale, les concentrations en arsenic, chrome, cobalt, cuivre et nickel sont élevées, notamment dans les zones au sein desquelles les apports terrigènes sont les plus importants (baies et embouchures de rivières). Les résultats d'analyse sont inférieurs, hormis pour le chrome et le nickel, aux valeurs guides. Ces sols ne constituent pas une source de pollution car leur concentration en métaux est inférieure à la valeur de définition de la source sol (la VDSS).

Les teneurs élevées en chrome et nickel sont représentatives de la géochimie des sols environnants la baie de Prony et la baie de Kué (cf. § 3.1.2). Elles traduisent le potentiel minier de la région de Goro. Le milieu biologique est adapté à de telles concentrations qui sont une tendance générale en Nouvelle-Calédonie. Par ailleurs, les analyses de pesticides (organochlorés, organophosphorés et triazines) ont produit des résultats inférieurs au seuil de détection pour tous les échantillons de sédiments. Ces sédiments ne sont donc pas contaminés par ce type de produit nocif pour l'environnement. Cela s'explique par l'absence de valorisation agricole de la région de Goro. Les résultats des états initiaux sont basés sur les analyses physico-chimiques suivantes :

- étude Rescan 2000 : des valeurs minimales et maximales sont indiquées lorsque plusieurs échantillons de sédiments ont été prélevés sur une même station afin d'assurer une bonne représentativité de l'échantillonnage ;
- étude IRD 2005 : les résultats indiqués pour 2005 sont issus du rapport IRD Etat de référence, qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Les concentrations en métaux sont exprimées par kilo de sédiments bruts.

Les analyses ont permis de distinguer, d'une part, les fonds du canal de la Havannah et sa frange côtière Nord, et, d'autre part, la baie de Prony. Elles confirment la différenciation de domaines (ou hydro-régions) différents :

- dans la zone centrale du canal les dépôts sont peu marqués par les apports particuliers terrigènes et donc présentent les plus faibles concentrations en métaux ; la "barrière hydrodynamique" indiquée dans le chapitre 5.2.4.2.4 sur la courantologie est confirmée ;
- le long de la frange littorale Nord du canal de la Havannah, en baie de Port Boisé et en Baie de Kué les concentrations en métaux augmentent avec la proximité des sources terrigènes ;
- dans la baie de Prony, les concentrations augmentent considérablement, les valeurs les plus élevées étant enregistrées dans la rade Nord.

La comparaison de la concentration en métaux totaux dans les sédiments bruts avec les valeurs guides montrent les points suivants :

- pour la baie de Prony, les concentrations maximales enregistrées en As, Cr, Cu et Ni sont supérieures aux valeurs guides publiées par l'ANZECC pour les sédiments (ces valeurs sont indiquées dans les tableaux suivants pour faciliter la lecture et la comparaison). Les concentrations maximales enregistrées en As et en Cu sont

également supérieures à la VCI pour un usage sensible²⁰ alors que les concentrations maximales en Cr et en Ni sont supérieures à la VCI pour un usage non sensible²¹. Les plus fortes valeurs en métaux ont été mesurées dans la rade Nord et à proximité de l'embouchure du creek de la Baie Nord. Sur cette station la concentration en cobalt est également supérieure à la VDSS²² ;

- pour la baie de Kué, les concentrations maximales enregistrées en As, Cr et Ni sont supérieures aux valeurs guides de l'ANZECC. Les concentrations maximales enregistrées en As et en Co sont également supérieures à la VCI usage sensible alors que les concentrations maximales en Cr et en Ni sont supérieures à la VCI pour un usage non sensible. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées à proximité des sources terrigènes (estuaire de la rivière Kué et intérieur de la baie) ;
- pour le canal de la Havannah, les concentrations maximales enregistrées en Cr et Ni sont supérieures aux valeurs guides publiées par l'ANZECC pour les sédiments et respectivement à la VCI usage sensible et VCI usage non sensible. Les concentrations les plus élevées ont été enregistrées au niveau de la bordure Ouest du canal, juste à l'extérieur de la baie de Prony à la pointe du récif Ma de l'île Ouen.

Comme expliqué en introduction, les teneurs élevées en métaux sont représentatives de la géochimie des sols environnants. Les concentrations maximales en chrome et cuivre enregistrées dans la baie de Prony sont nettement supérieures aux concentrations mesurées dans la baie d'Ué, de même que pour les concentrations en chrome, cobalt et manganèse détectées en baie de Kué.

20 VCI usage sensible : Valeur de constat d'Impact pour un usage sensible résidentiel avec potagers

21 VCI usage non sensible : Valeur de constat d'Impact pour un usage sans résidence ni potagers

22 VDSS : valeur guide spécifique de la DRIRE pour une substance, elle correspond au seuil en-dessous duquel on considère qu'un sol ne constitue pas une source de pollution à évaluer

Tableau 55 : Données sur la qualité des sédiments en baie de Kué (pour la localisation des stations, cf. Figure 66)

Paramètres	Unités	Baie de Kué										Synthèse des données		Baie Ué		ANZECC Sédiments*
		Estuaire		Intérieur						extérieur				MWR1, MWR2		
		MW5 2000		MW6 2000		MW7 2000	MW8 2000	MW10 2000	MW12 2000	St6 2005	St3 2005	2000				
min	max	min	max							min	max	min	max			
Phosphore	mg/kg	<0.2	1.9	0.2	0.5	<0.2	0.5	0.5	0.5	na	na	<0.2	1.9	<0.2	0.2	-
Azote total	%	0.01	0.01	0.11	0.12	0.16	0.05	0.03	0.04	na	na	0.01	0.16	0.11	0.11	-
Calcium	mg/kg	919	1470	297000	329000	208000	343000	314000	330000	na	na	919	343 000	209000	489000	-
Magnésium	mg/kg	2820	2920	14100	15000	14700	18100	19600	20000	na	na	2 820	20 000	20000	40700	-
Potassium	mg/kg	<800	<800	<800	<800	756	<2000	1600	<1000	na	na	756	1 600	1560	3810	-
Sodium	mg/kg	1360	1420	13600	13800	18400	11000	9380	7550	na	na	1 360	18 400	18400	46000	-
Soufre total	%	0.12	0.14	0.39	0.43	0.48	0.27	0.25	0.18	na	na	0.12	0.48	0.27	0.29	-
Carbone organique total	%	0.29	0.6	0.36	0.43	1.3	<0.05	<0.05	<0.05	na	na	<0.05	1.3	0.58	0.61	-
Aluminium	mg/kg	25100	25500	5160	6170	11100	928	605	351	na	na	351	25 500	20500	43300	-
Antimoine	mg/kg	1.67	1.81	0.65	0.96	1.21	0.71	0.99	1.27	na	na	0.65	1.81	0.79	1.09	2
Argent	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	na	na	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1
Arsenic	mg/kg	7.3	8.9	43	46	59	15.3	10.9	11.2	na	na	7.3	59	58	102	20
Cadmium	mg/kg	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	na	na	<0.4	<0.4	<0.6	<0.6	1.5
Chrome	mg/kg	13800	14400	2150	2660	4810	314	152	60	1616	6.6	6.6	14 400	2700	3530	80
Cobalt	mg/kg	533	579	90	106	179	17	5	5	32.6	0.21	0.21	579	190	235	-
Cuivre	mg/kg	32	38	7	10	18	5	3	<3	45.7	<ld	<3	45.7	13	25	65
Fer	mg/kg	400000	421000	98400	117000	212000	14800	6220	3500	54700	260	260	421000	155000	164000	-
Plomb	mg/kg	1	2	2	3	2	4	4	4	na	na	1	4	5	7	50
Manganese	mg/kg	3610	4150	735	862	1600	180	76	74	320	1.6	1.6	4 150	1490	1850	-
Mercure	mg/kg	0.044	0.046	0.026	0.029	0.046	0.008	0.008	0.005	na	na	0.005	0.046	0.027	0.034	0.15
Nickel	mg/kg	4050	4530	1520	1810	3290	213	54	30	542	2.9	2.9	4 530	2980	3690	21
Selenium	mg/kg	1.1	1.3	0.8	1.1	0.7	0.2	0.1	<0.1	na	na	<0.1	1.3	0.5	0.6	-
Zinc	mg/kg	176	191	50	59	107	8	<5	<5	na	na	<5	191	100	106	200

Note : Les résultats d'analyses indiqués pour l'année 2000 proviennent de l'étude RESCAN 2000. Des Valeurs minimales et maximales sont indiquées lorsque plusieurs échantillons de sédiments ont été prélevés sur une même station afin d'assurer une bonne représentativité de l'échantillonnage.

Les résultats indiqués pour 2005 sont issus du rapport IRD « Etat de référence qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments ». Les concentrations en métaux sont exprimées par kilo de sédiments bruts.

La baie d'Ué est utilisée comme point de référence car elle est suffisamment éloignée de la zone du projet VNC.

*Valeurs guides développées par l'ANZECC pour les sédiments (protection des écosystèmes aquatiques). Ces Valeurs sont provisoires.

na = non analysé.

Tableau 56 : Données sur la qualité des sédiments dans le canal de la Havannah (pour la localisation des stations, Cf. Figure 66)

Paramètres	Unités	Zone du canal de la Havannah											Synthèse des données		Baie Ué		ANZECC Sédiments*	
		Canal de la Havannah				Banc Ionotea	Basse Chambeyron	Ilot Kié	Récif Loro	Fosse Ouest	Pointe du récif Ma (île Ouen)	Tombant Est île Toémo			MWR1, MWR2			
		MW13 2000	MW14 2000	St8 2005	St9 2005	St1 2005	St2 2005	St5 2005	St7 2005	St12 2005	St13 2005	St14 2005	min	max	min	max		2000
Phosphore	mg/kg	1.2	0.2	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0.2	1.2	<0.2	0.2	-
Azote total	%	0.04	0.03	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0.03	0.04	0.11	0.11	-
Calcium	mg/kg	321000	326000	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	321 000	326 000	209000	489000	-
Magnésium	mg/kg	19900	17600	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	17 600	19 900	20000	40700	-
Potassium	mg/kg	795	1140	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	795	1 140	1560	3810	-
Sodium	mg/kg	8250	9840	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	8 250	9 840	18400	46000	-
Soufre total	%	0.22	0.14	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0.14	0.22	0.27	0.29	-
Carbone organique total	%	<0.05	<0.05	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.05	<0.05	0.58	0.61	-
Aluminium	mg/kg	522	437	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	437	522	20500	43300	-
Antimoine	mg/kg	1.38	0.6	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0.6	1.38	0.79	1.09	2
Argent	mg/kg	<0.1	<0.1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1
Arsenic	mg/kg	13.5	10.5	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	10.5	13.5	58	102	20
Cadmium	mg/kg	<0.4	<0.4	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.4	<0.4	<0.6	<0.6	1.5
Chrome	mg/kg	73	64	<ld	11	23.3	0.6	2.9	331.2	2.9	814	1.9	0.6	814	2700	3530	80	
Cobalt	mg/kg	3	4	0.033	0.33	0.58	<ld	0.69	7.2	0.1	59.4	0.04	0.033	59.4	190	235	-	
Cuivre	mg/kg	4	<2	<ld	<ld	0.25	<ld	<ld	5.6	<ld	<ld	<ld	0.25	5.6	13	25	65	
Fer	mg/kg	4320	3650	32	450	920	5	560	11200	120	46800	50	5	46 800	155000	164000	-	
Plomb	mg/kg	5	5	na	na	na	na	na	na	na	na	na	5	5	5	7	50	
Manganèse	mg/kg	49	58	<ld	7.9	6.9	0.46	2.9	68.7	0.26	411	0.2	0.2	411	1490	1850	-	
Mercuré	mg/kg	0.007	0.006	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0.006	0.007	0.027	0.034	0.15	
Nickel	mg/kg	43	37	<ld	2.5	6.9	0.25	5.7	114	1.8	1191	0.9	0.25	1191	2980	3690	21	
Selenium	mg/kg	<0.1	0.1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.1	0.1	0.5	0.6	-	
Zinc	mg/kg	<3	<3	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<3	<3	100	106	200	

Note : Les résultats d'analyses indiqués pour l'année 2000 proviennent de l'étude RESCAN 2000. Des Valeurs minimales et maximales sont indiquées lorsque plusieurs échantillons de sédiments ont été prélevés sur une même station afin d'assurer une bonne représentativité de l'échantillonnage.

Les résultats indiqués pour 2005 sont issus du rapport IRD « Etat de référence qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments ». Les concentrations en métaux sont exprimées par kilo de sédiments bruts.

La baie d'Ué est utilisée comme point de référence car elle est suffisamment éloignée de la zone du projet VNC.

*Valeurs guides développées par l'ANZECC pour les sédiments (protection des écosystèmes aquatiques). Ces Valeurs sont provisoires.

na = non analysé.

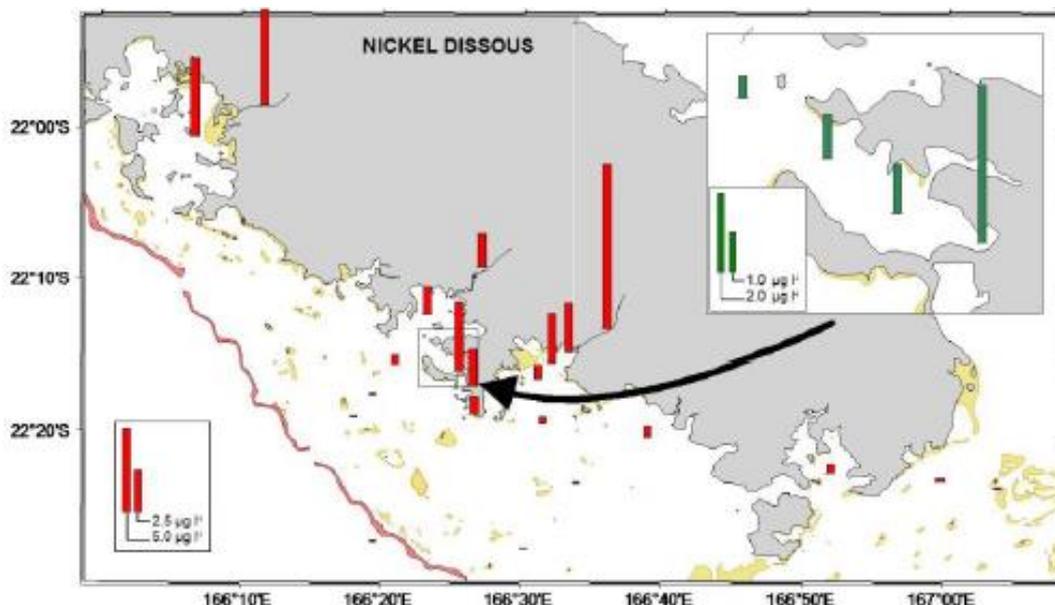
En conclusion, les apports terrigènes constituent une réserve d'éléments métalliques qui, avec le temps, peuvent être redistribués sous des formes géochimiques diverses, d'abord dissoutes avant de se recombinaer avec les phases particulaires. Les tableaux des pages précédentes présentent un état des lieux pour la baie de Kué et le canal de la Havannah, zones comprises dans l'aire d'étude des impacts (Cf. Carte C10). Ils sont à mettre en parallèle avec ceux d'autres régions en Nouvelle-Calédonie et en France.

Tableau 57 : Teneur moyenne des sédiments fins (< 63 microns) en métaux totaux ($\mu\text{g/g}$) dans les embouchures de différentes rivières du Sud de la Nouvelle-Calédonie

ESTUAIRE	Co ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Fe ($\mu\text{g/g}$)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Ni ($\mu\text{g/g}$)
Boulari	329	2 750	179 348	1 847	4 913
Dumbéa	225	1 822	132 632	1 603	3 943
Pirogues	315	3 426	197 475	2 095	4 535
Kadji	123	8 993	165 001	648	2 153
Creek Rade Nord	200	13 013	293 061	1 383	3 442
Creek rade N-Est	326	12 668	291 427	1 460	4 339
Kwé	187	6 523	213 681	1 032	3 343
Seine ³				150 - 450	
Loire ⁶		25 - 80			15 - 30
Gironde ⁵		38 - 88			18 - 25

Source : Fernandez et al., 2006

Les apports terrigènes conditionnent, d'une part la concentration en métaux dissous et particulaires mesurées dans l'eau de mer (Cf. Figure 80), et d'autre part le niveau potentiel d'incorporation de ces mêmes métaux dans les organismes vivants du lagon.



Source : Fernandez et al., 2006

Figure 80 : Teneur en nickel dissous dans les eaux de diverses régions de Nouvelle-Calédonie

5.5.4 Suivi et tendances évolutives

Les études sont effectuées par l'IRD puis par AEL/LEA dans le cadre des suivis réglementaires ICPE exigés par les arrêtés suivants :

- l'arrêté autorisant à exploiter les installations portuaires de Goro n° 891-2007/PS du 13 juillet 2007 ;
- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une aire de stockage de résidus sur le site de la Kué Ouest n° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008 ;
- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une usine de traitement du minerai de nickel et de cobalt et d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008.

Le suivi réglementaire de la qualité des sédiments permet une connaissance plus précise de l'état des lieux et de la compréhension des phénomènes.

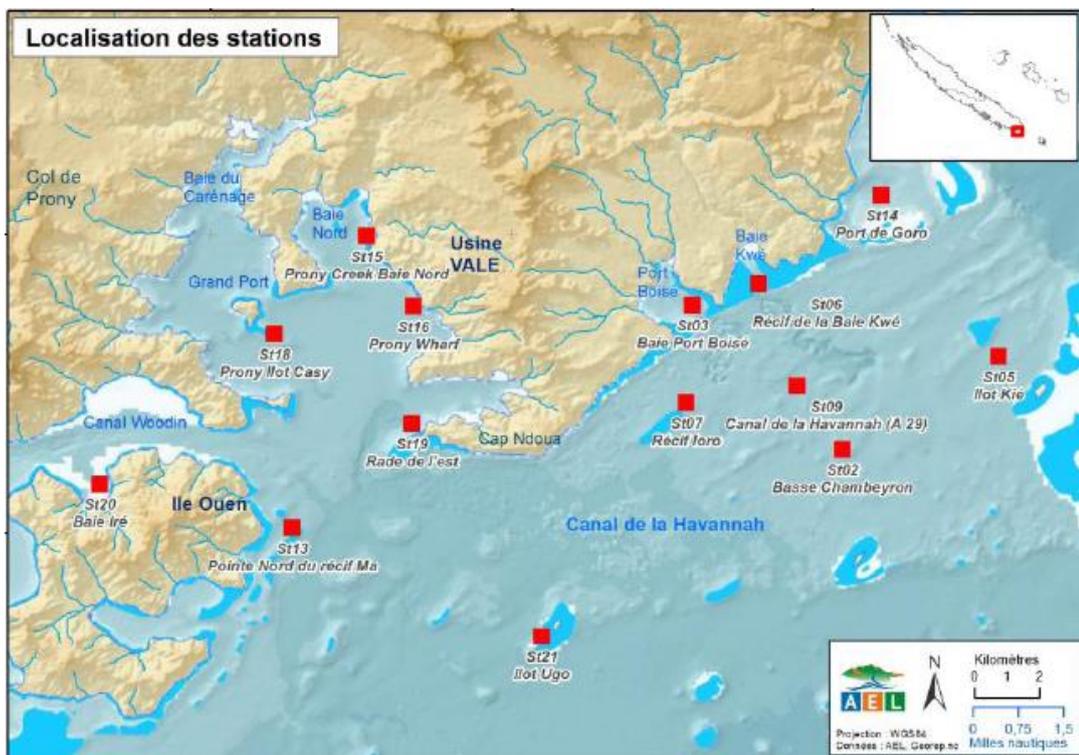


Figure 81 : Localisation des points de suivi de la qualité des sédiments marins

La majorité des contaminants déversés en mer, directement ou non, se retrouve piégée dans les sédiments, toutefois ce piégeage n'est pas définitif et une fraction non négligeable peut être remise en solution et ainsi contribuer à la contamination de la biocénose. Il est nécessaire d'approcher du mieux possible la part des contaminants métalliques présents dans les sédiments et susceptibles d'être transférée dans les organismes marins. Pour répondre à cette nécessité, l'application des « seuils de qualité dans les sédiments basés sur la concentration en métal total » n'est pas convenable car elle ne permet pas de considérer le critère de disponibilité pour la biocénose. Une des voies satisfaisantes pour estimer les fractions labiles (disponibles pour la biocénose), capables d'être remises en solution dans la masse d'eau lagunaire, est de doser les fractions dites disponibles. C'est ce qui est effectué pour le suivi de la qualité des sédiments.

Les éléments métalliques analysés sont les suivants : As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn.

Les aires de plus grande concentration en métaux totaux sont le Nord-Est de l'île Ouen et les embouchures des creeks. Les fractions labiles, donc potentiellement disponibles pour certains organismes, sont mesurées dans les phases organiques et carbonatées. Pour le manganèse, cette proportion peut atteindre 50 % de la concentration totale du métal. Les résultats des missions de

suivi et des analyses de sédiments donnent une synthèse conclusive sur les stations de prélèvement des sédiments indiquées sur la Figure 81. L'évolution temporelle entre 2006, 2009 et 2012 (suivi de fréquence triennale) est la suivante :

- Les analyses en métaux totaux montrent que les concentrations en Co et Mn sont remarquablement constantes dans le temps. La figure suivante présente les résultats pour le cobalt (indicateur terrigène) à la station St06 située en baie de Kué.

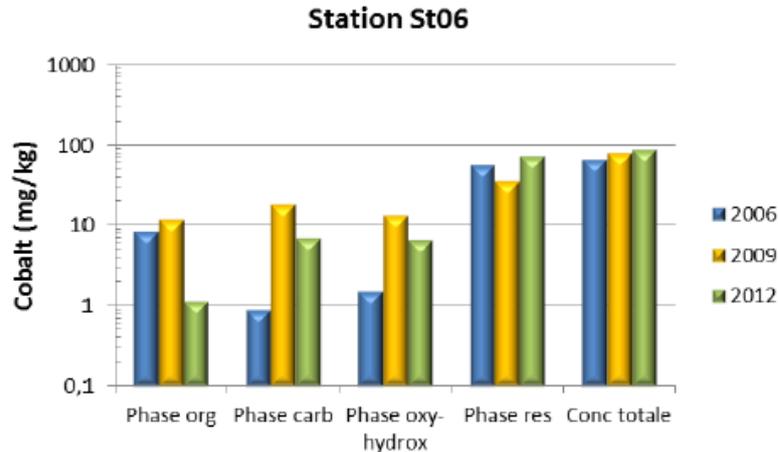


Figure 82 : Concentration en Co dans les 4 différentes phases géochimiques des sédiments - évolution temporelle, St06

- les autres métaux sont également suivis dans le temps. Les exemples du chrome et du nickel sur la station d'embouchure de la baie Kué sont présentés ci-dessous :

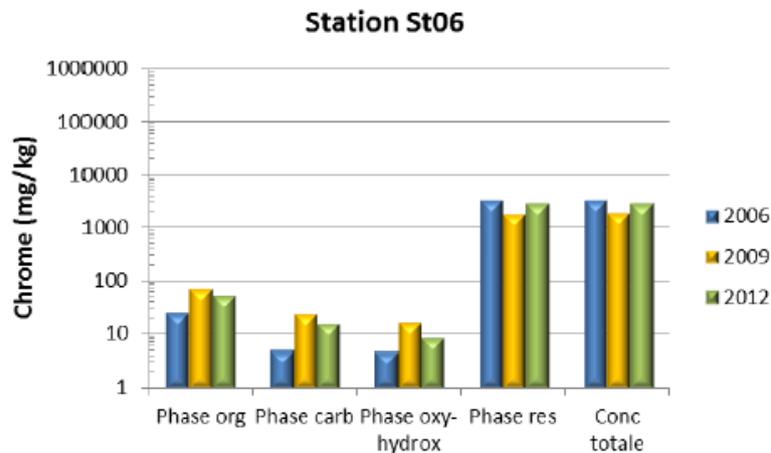


Figure 83 : Concentration en Cr dans les 4 différentes phases géochimiques : évolution temporelle 2006, 2009 et 2012 pour la station St06 (Baie Kué)

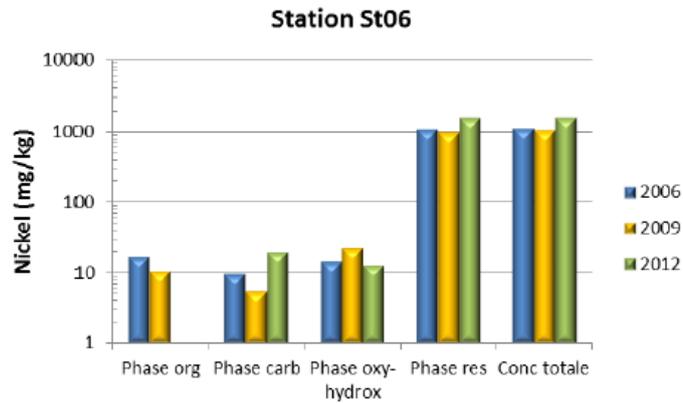
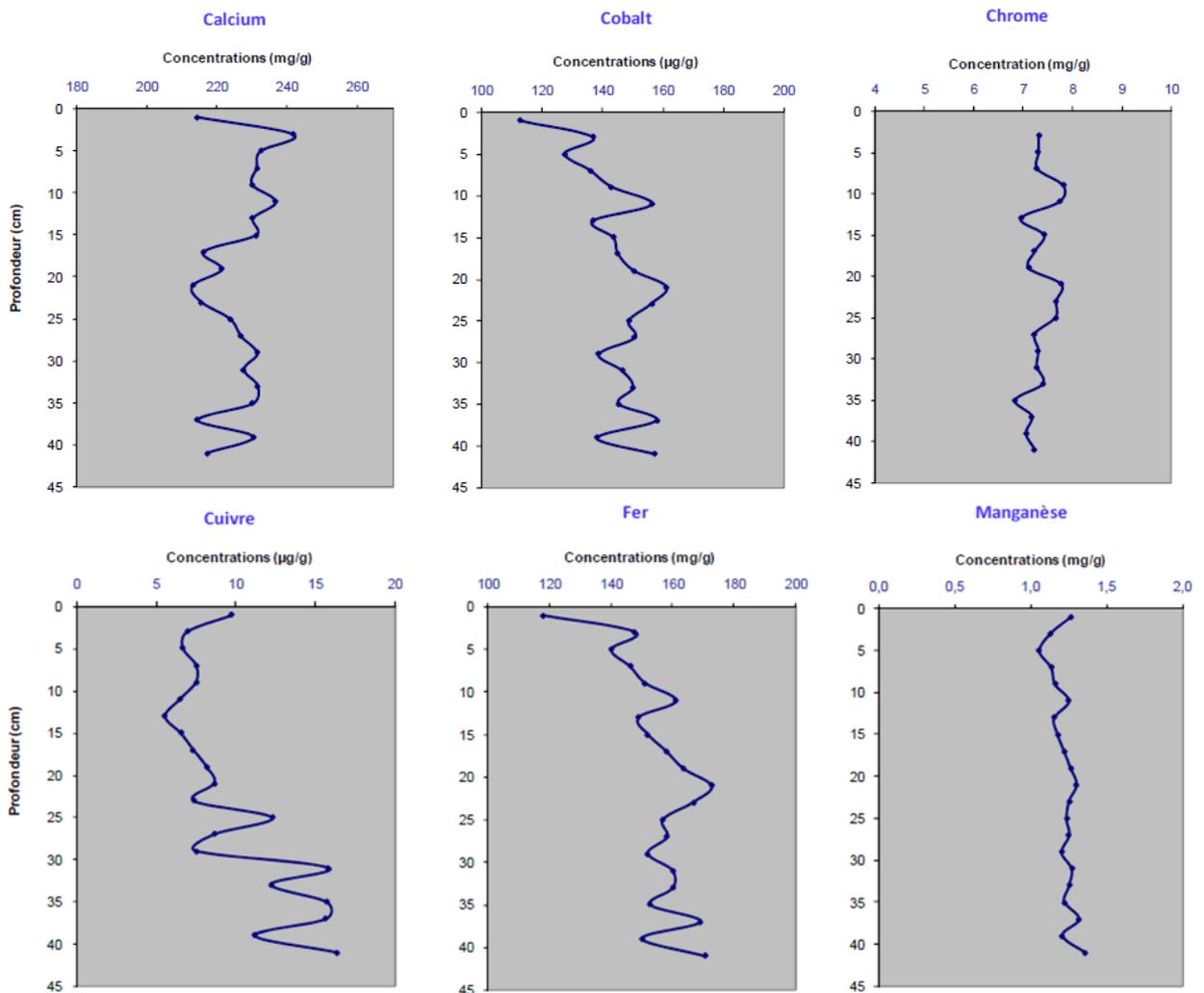


Figure 84 : Concentration en Ni dans les 4 différentes phases géochimiques : évolution temporelle 2006, 2009 et 2012 pour la station St06 (Baie Kué)

En complément, le prélèvement d'une carotte sédimentaire, en baie de Kué, à la station ST06 de la baie Kwé, a permis une représentation graphique des concentrations mesurées en fonction de la profondeur (qui indique la date du dépôt) pour Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn. Elle figure ci-après :



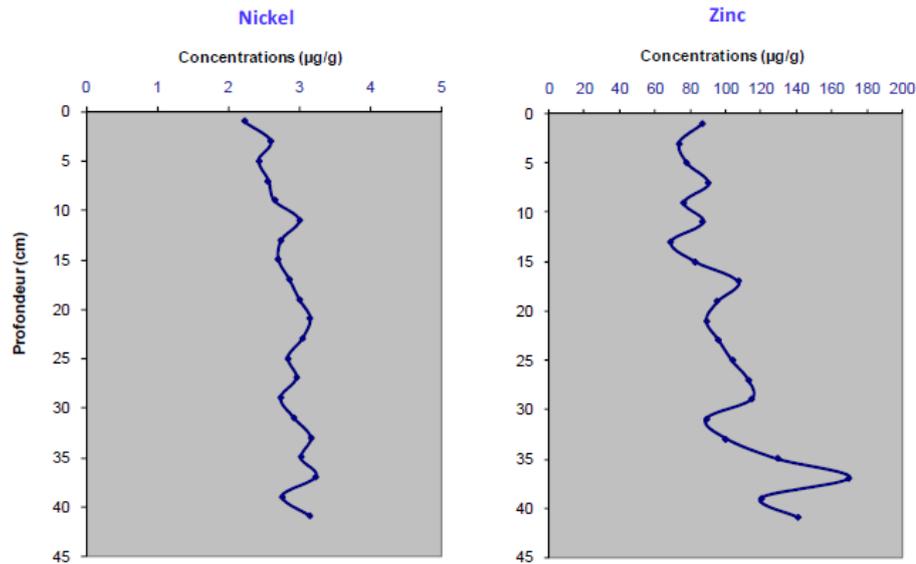


Figure 85 : Évolution verticale de la concentration en calcium et métaux (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) dans la carotte de la station St06-1, rapport de suivi janvier 2011

L'analyse de ces graphes permet de remarquer :

- une diminution nette des concentrations dans l'horizon de surface (0-2 cm) par rapport aux dépôts sous-jacents, pour Ca, Co, Fe (voire Ni). A l'inverse, les éléments Cu, Mn et dans une toute moindre mesure Zn sont plus concentrés en surface ;
- des tendances, soit à l'augmentation des concentrations avec la profondeur pour Co, Fe, Ni, voire Zn, soit, inversement à la diminution (Ca, Cr, voire Cu) jusqu'à la cote 23 cm environ ;
- de fortes variations dans les sédiments les plus anciens mais sans tendance particulière observable.

En ce qui concerne la station St06, les sédiments traduisent, pour leurs horizons les plus récents, des changements dans leur nature et leur origine.

5.6 STRUCTURE ET QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER

5.6.1 Etat initial et état actuel (qualité de l'eau de mer)

5.6.1.1 Valeurs guides

Les valeurs guides publiées par l'ANZECC²³ s'appliquent aux eaux marines pour les activités récréatives, pour l'esthétique et pour la protection des écosystèmes (protection de 99 % des espèces).

²³ Australian and New Zealand Environment and Conservation Council

Le tableau ci-dessous présente diverses concentrations en métaux dissous (cobalt, fer, manganèse et nickel) en µg/L pour différents sites de Nouvelle-Calédonie.

Tableau 58 : Concentration en métaux dissous (cobalt, fer, manganèse et nickel) en µg/L pour différents sites de Nouvelle-Calédonie

SITE ECHANTILLONNE	Co (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)
Anse Vata (r=21)	0,035 ± 0,007	0,22 ± 0,06	1,32 ± 0,12	1,00 ± 0,04
Port Moselle (r=9)	0,20±0,02	0,57 ± 0,05	2,53 ± 0,03	2,08 ± 0,01
Baie de St Vincent (n=10)	0,04 - 0,09	0,71 - 2,65	0,94 - 2,48	1,95 - 7,10
Baie de la Dumbea (n=10)	0,01 - 0,04	0,23 - 1,41	0,32 - 2,32	0,13 - 4,52
Baie de Boulari (n=10)	0,03 - 0,07	0,24 - 1,38	0,29 - 0,83	0,95 - 3,92
Canal de la Havannah (n=6)	0,025 - 0,033	0,08 - 0,18	0,13 - 0,24	0,18 - 0,26
Reserve Merlet (n=2)	0,006 - 0,009	0,09 - 0,10	0,09 - 0,11	0,09 - 0,10
Bay de Prony (n=4)	0,058 - 0,082	0,05 - 0,10	0,25 - 0,43	0,44 - 0,54
La Coulée River (n=3)	0,069 - 0,072	0,07 - 0,15	2,10 - 2,50	8,93 - 10,65
Dumbea River (n=3)	0,011 - 0,018	0,14 - 0,17	0,66 - 0,86	5,63 - 7,05
La Tontouta River (n=3)	0,012 - 0,023	0,05 - 0,06	1,17 - 1,68	1,92 - 2,12
Milieu lagunaire type (n = 3)	<QL	0,17 ± 0,04	0,13 ± 0,02	0,15 ± 0,02
Milieu océanique (n = 3)	<QL	0,03 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,09 ± 0,02

(nd = non déterminée ; n = nb de stations d'échantillonnage ; r = nb de répliques pour une même station ; <ql = inférieur a la limite de quantification)

Source : Moreton et Fernandez, 2008

Concernant la toxicité du manganèse pour les écosystèmes marins, une étude du CSIRO²⁴ (2004 et 2006) sur la toxicité du manganèse et ses dérivés indique que la valeur cible pour la protection de 99 % des espèces serait de 20 µg/l (en mer). Les paramètres indicateurs retenus étant la mort, une anomalie larvaire et/ou une croissance altérée pour une exposition des organismes à des concentrations élevées pendant des brèves périodes. A des doses inférieures, les résultats montrent l'absence de mortalité mais des atteintes au niveau cellulaire sur la base des tests de mortalité, d'inhibition de croissance et d'anomalie larvaire.

Il a donc été proposé de diminuer la valeur seuil du CSIRO (20 µg/l) à **10 µg/l de manganèse** dans le lagon. Cette valeur est retenue dans la suite de ce chapitre notamment dans la notation des impacts sur les écosystèmes. Les résultats d'analyses des échantillons prélevés lors des campagnes de suivi de la qualité des eaux de surface sont comparés :

- aux concentrations mesurées par l'IRD classiquement dans le lagon de Nouvelle-Calédonie (en baie de Dumbéa notamment) et aux concentrations mesurées par l'IRD en 2005 dans l'étude de caractérisation de l'état physico chimique des eaux du lagon Sud qui sert de référence ;
- aux concentrations mesurées en 2000 par RESCAN dans la baie d'Ué ;
- aux valeurs guides publiées par l'ANZECC ;
- aux fiches du guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie (CNRT/ZoNéCo.2011 Par : B.Bélieff, G.Bouvet, J.M. Fernandez, C.David et T.Laugier).

²⁴ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

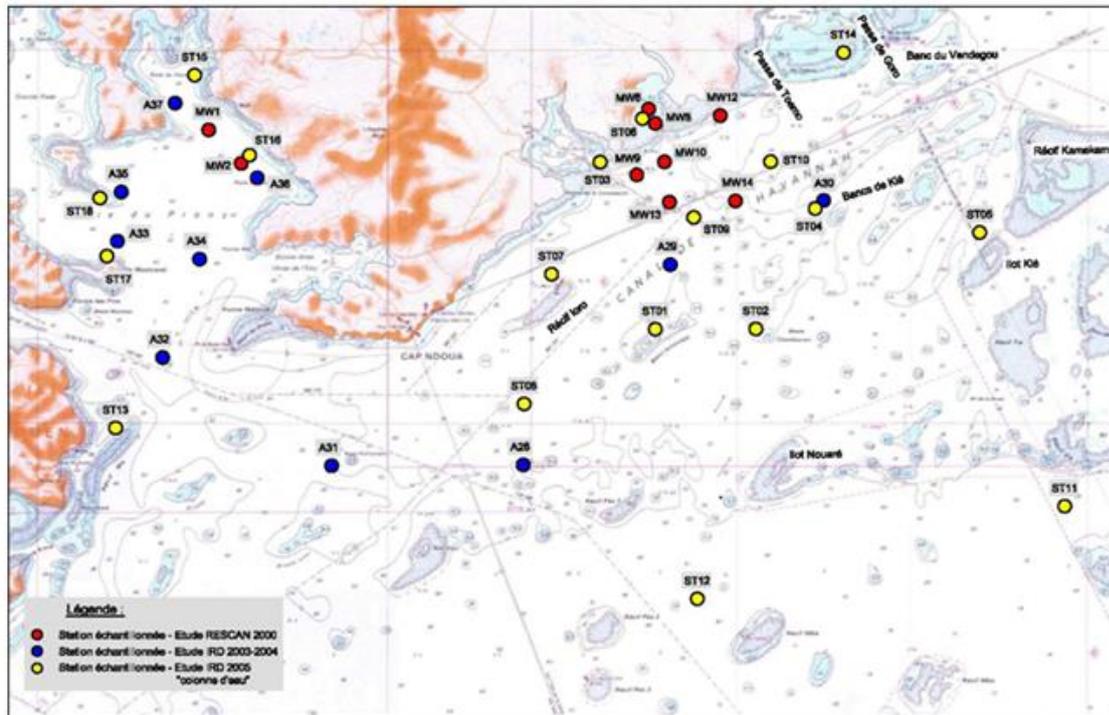


Figure 86 : Stations échantillonnées lors des études RESCAN (2000) et IRD (2003,2004, 2005)

5.6.1.2 Station de référence

La baie d'Ué, située à approximativement 15 km à l'Ouest du site industriel du projet VNC, est suffisamment éloignée de la zone du projet pour représenter un point de référence. Cependant le milieu marin présente des "hydro-éco-régions", et les valeurs naturelles d'une zone sous influence marine ne sont pas les mêmes que les valeurs d'une zone de baie ouverte ou de fond de baie calme. Les variations saisonnières sont davantage marquées dans les zones des estuaires, tandis que le centre du canal de la Havannah sous influence marine présente une plus grande stabilité.

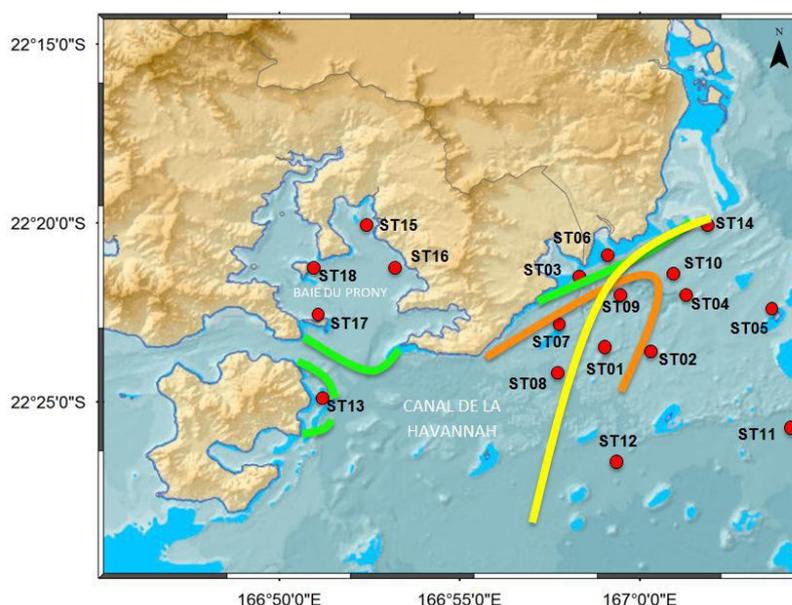
5.6.1.3 Stations échantillonnées

Les campagnes de suivi de la qualité des eaux marines se succèdent de façon semestrielle depuis 2007 et elles permettent d'enrichir la base de données ainsi que la connaissance des variations naturelles, saisonnières ou dues à des dépressions cycloniques, en allant au-delà des résultats des premières missions de référence pour l'état initial. Les stations échantillonnées figurent sur la carte ci-dessous.

5.6.1.4 Présentation comparative des domaines ou hydro-régions

La qualité des eaux à proximité ou dans la baie de Kué montre une influence des apports côtiers. On note en particulier dans la baie de Kué une légère dessalure dans les 6 premiers mètres de la colonne d'eau et le profil de température met en évidence des veines de courant plus ou moins froides et dessalées, en étroite relation avec la pluviométrie antérieure. La turbidité générale de ces eaux est généralement plus élevée que dans le canal de la Havannah. Une couche néphéloïde²⁵ de fond peut être décelée, tout comme en baie de Prony.

²⁵ néphéloïde : adjectif relatif à une couche d'eau plus ou moins mobile et proche du fond



Délimitation des aires d'influences terrigènes (lignes vertes pour les influences dues à l'île Ouen, aux creeks de la Baie de Prony et à l'ensemble Port Boisé-Baie Kué-Port de Goro) et des aires océaniques (ligne jaune). Le trait orange délimite approximativement la zone de mélange des eaux lagunaires et océaniques.

Figure 87 : Structure horizontale des masses d'eau, canal de la Havannah et baie de Prony

Dans le canal de la Havannah on distingue une évolution de la qualité des eaux d'Est en Ouest : dans sa bordure Est ses eaux présentent une similitude avec les eaux océaniques (température et salinité constantes, turbidité faible).

La baie de Port Boisé, située à l'Ouest proche de la baie Kwé, n'est pas sous l'influence de bassins versants sous pression minière, elle peut être considérée comme une baie « homologue témoin » de la baie Kwé et les suivis des deux baies se font simultanément.

5.6.1.5 Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico chimiques analysés pour la caractérisation de l'eau de mer et les suivis semestriels (ou mensuels selon les stations) sont au nombre de 36 :

- pour la structure physique de la colonne d'eau les paramètres suivis en sub-surface (à moins de 3 m de profondeur), à mi-profondeur et au fond (à moins de 3 m du fond) sur chacune des 14 stations sont les suivants :
 - température;
 - salinité;
 - fluorescence et irradiance;
 - turbidité;
- pH, matières en suspension M.E.S. et éléments majeurs :
 - calcium (Ca), potassium (K), magnésium (Mg), sodium (Na), carbonates (CO₃), chlorures (Cl) et sulfates (SO₄);
 - hydrocarbures totaux HCT;
- sels nutritifs et matières organiques :
 - ammonium (NH₄⁺);
 - nitrates et nitrites (NO₃ et NO₂);
 - phosphates (PO₄²⁻);

Cette figure montre que la salinité et la température, à la station St15 du creek de la Baie Nord, le 13 mars 2010, ont été enregistrées par la sonde multiparamétrique entre 0 et 26 m de profondeur. L'eau de surface véhiculée par ce creek est nettement détectée et indiquée par le profil. Les figures suivantes montrent la température, la salinité et la turbidité de l'eau dans le canal de la Havannah, à la station A29 (cf. Figure 86 pour l'emplacement de cette station).

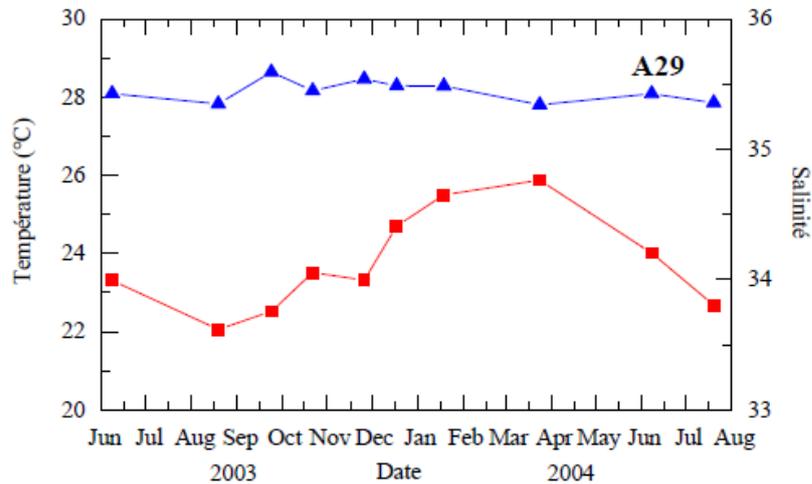


Figure 89 : Evolution de la température et de la salinité en surface (moyenne sur les 3 premiers mètres) pour le canal de la Havannah (Station A29)

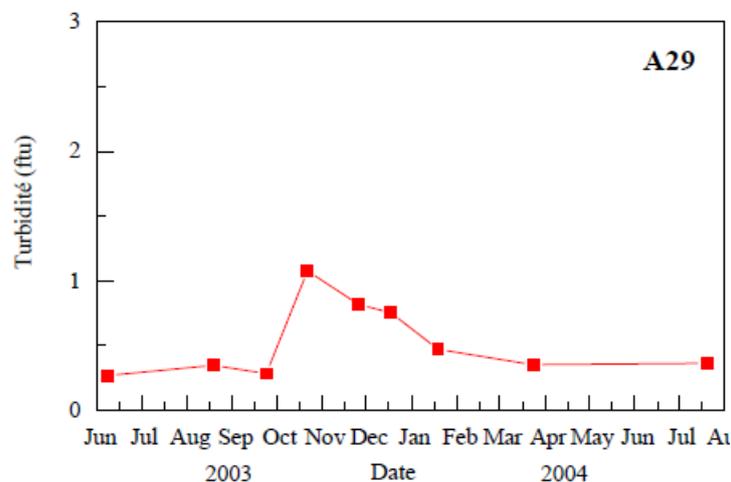


Figure 90 : Evolution de la turbidité en surface (moyenne sur les 3 premiers mètres) pour le canal de la Havannah (station A29)

L'évolution de la température au cours de l'année suit l'évolution normale de celle du lagon Sud, avec un minimum hivernal en juillet et août autour de 21-22°C, et un maximum estival autour de 26-27°C en janvier et février. Il faut rappeler que des températures estivales anormalement chaudes (29°C) peuvent être observées occasionnellement lors d'épisodes climatiques ENSO²⁶. La salinité est remarquablement constante dans le canal de la Havannah, traduisant une influence essentiellement océanique sans l'influence chronique des apports par les rivières (35,5 ‰). L'évolution temporelle de la turbidité dans le canal de la Havannah se traduit par un niveau de base

²⁶ ENSO : El Nino Southern Oscillation

d'environ 0,2 FTU²⁷. Les pics supérieurs à 0,5 FTU peuvent être découplés de tout épisode pluvieux et correspondent plutôt à des conditions hydrodynamiques agitées.

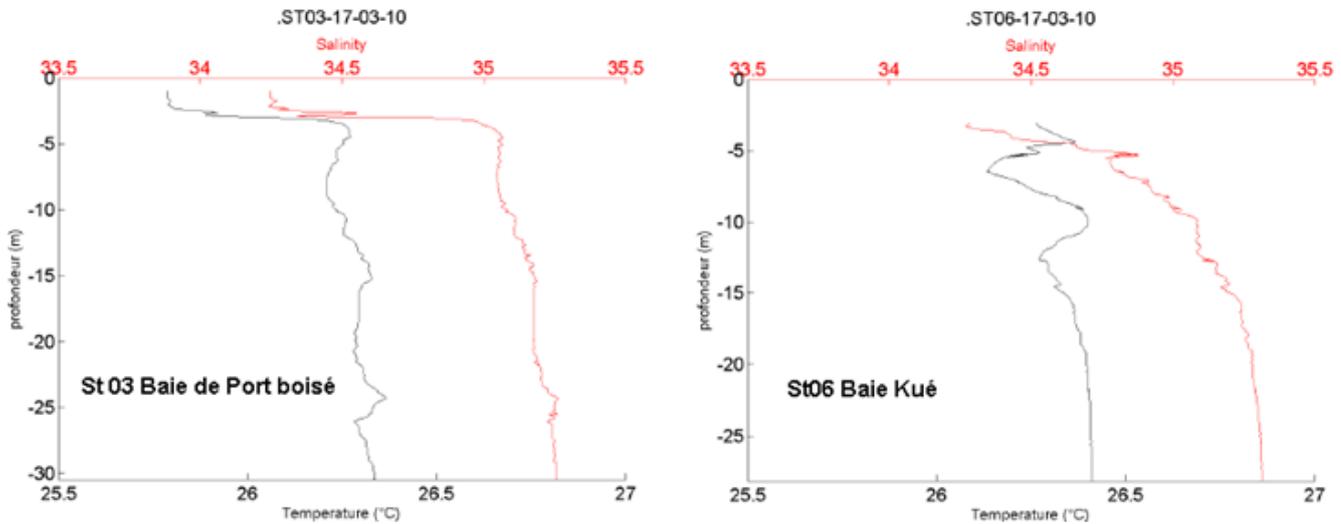


Figure 91 : Structure de la colonne d'eau en domaine côtier (baie de Port Boisé et baie de Kué)

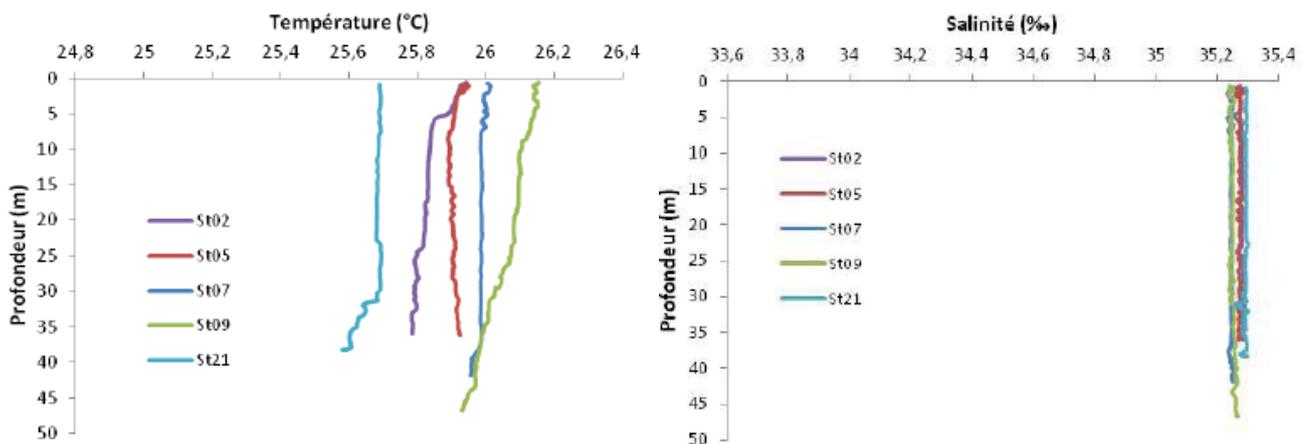


Figure 92 : Structure de la colonne d'eau dans le canal de la Havannah

Les figures de la structure de la colonne d'eau précédentes présentent des colonnes d'eau

- en domaine côtier, sous influence des creeks (baie de Port boisé et baie Kué) ;
- des eaux du canal de la Havannah. Elle montre nettement la dessalure de surface sur une couche n'excédant pas 4 mètres de profondeur, avec une salinité inférieure à 34,5 ‰. Elle est aussi plus fraîche.

La structure de la colonne d'eau est étroitement liée à l'hydro-région à laquelle elle appartient. Dans le canal la salinité et la température sont homogènes sur toute la colonne d'eau.

²⁷ FTU : Unité de mesure de la turbidité qui signifie Formazing Turbidity Unit, 1 FTU correspond approximativement à 1 mg/L de matière particulaire sèche

5.6.1.7 Les éléments nutritifs

Les concentrations décelées sont propres de celles d'un milieu lagonaire oligotrophe (pauvre en éléments nutritifs) tropical non altéré par les activités anthropiques (non pollué par l'homme). Ce constat s'impose malgré les apports terrigènes. Il n'y pas eu de phénomène d'eutrophisation ni d'augmentation des concentrations en sels nutritifs sur toute la zone suivie .

Tableau 60 : Concentration moyenne et écart-type en sels nutritifs et composés organiques dissous et particulaires dans les eaux du lagon Sud de Nouvelle-Calédonie - valeurs retenues pour la définition de l'état de référence physicochimique de la colonne d'eau

		Chlor a (µg/L)	Phéop (µg/L)	NH4 (µmol/L)	NO2+NO3 (µmol/L)	PO4 (µmol/L)	SiO4 (µmol/L)	NOD (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POD (µmol/L)	POP (µmol/L)
Domaine entier	Min	0,09	0,04	0,001	<ld	<ld	0,43	1,12	0,001	0,11	0,007
	Max	1,05	0,47	0,410	4,92	0,15	5,35	9,89	4,147	0,64	0,228
	Moyenne	0,44	0,17	0,056	0,20	0,04	2,03	4,03	0,864	0,26	0,066
	Ecart-type	0,02	0,03	0,035	0,12	0,01	1,15	1,17	0,431	0,11	0,014
Canal de la Havannah	Min	0,09	0,04	0,001	<ld	<ld	0,43	1,12	0,001	0,11	0,013
	Max	0,98	0,47	0,410	4,92	0,13	4,94	9,89	4,147	0,58	0,228
	Moyenne	0,42	0,18	0,215	0,29	0,04	1,77	3,98	0,942	0,29	0,064
	Ecart-type	0,02	0,03	0,173	0,14	0,01	1,21	1,15	0,457	0,10	0,010
Baie du Prony	Min	0,16	0,05	0,005	0,01	0,01	1,23	1,98	0,002	0,16	0,007
	Max	1,05	0,44	0,170	1,21	0,13	5,35	6,32	2,771	0,64	0,115
	Moyenne	0,43	0,15	0,039	0,21	0,04	2,64	4,02	0,657	0,29	0,066
	Ecart-type	0,04	0,03	0,019	0,11	0,02	0,93	1,01	0,577	0,15	0,028

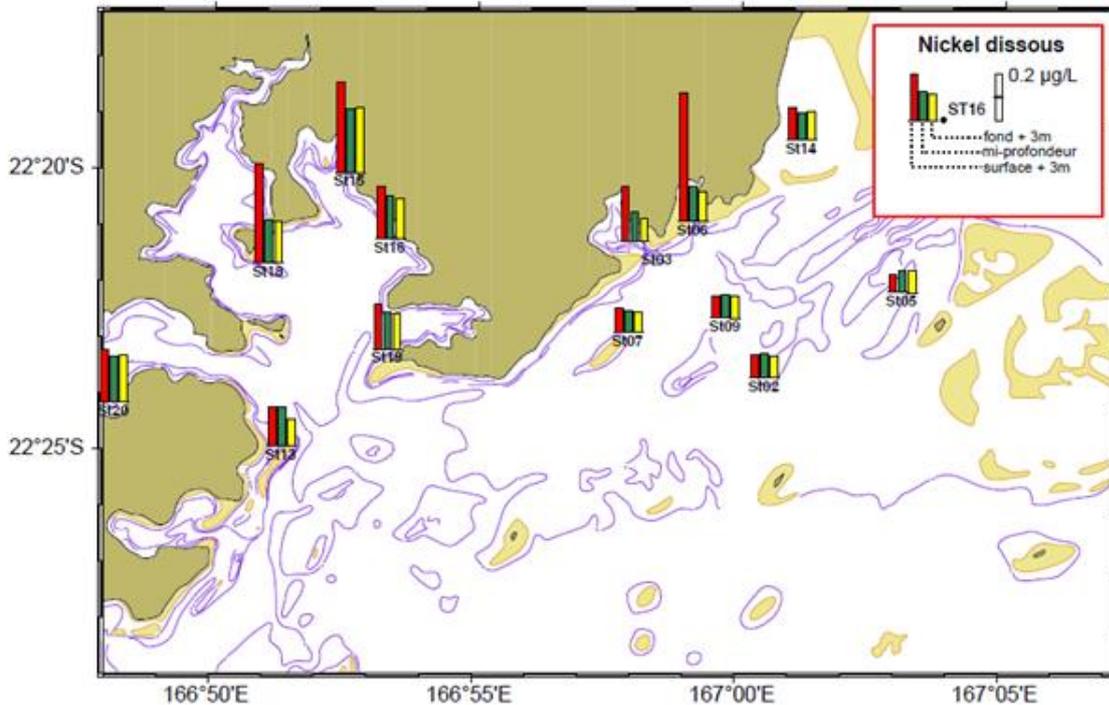
5.6.1.8 La concentration en métaux

La détermination des concentrations naturelles pour les principaux métaux dissous a fait l'objet d'une attention particulière, notamment compte tenu du contexte géologique, des aléas climatiques des aires tropicales et de la nature des industries minières. Il s'agit avant tout, d'obtenir une image la plus claire possible de la répartition spatiale et temporelle des concentrations naturelles et de leurs variations naturelles.

Pour l'ensemble du domaine étudié, les concentrations en éléments métalliques tels que Cr(VI), Co, Mn et Ni se distribuent selon un double gradient, (i) horizontal côte-large et (ii) vertical entre la surface et le fond. Le nickel et le manganèse sont les meilleurs exemples de traceurs de cette distribution des métaux, ils sont une signature d'apports terrigènes.

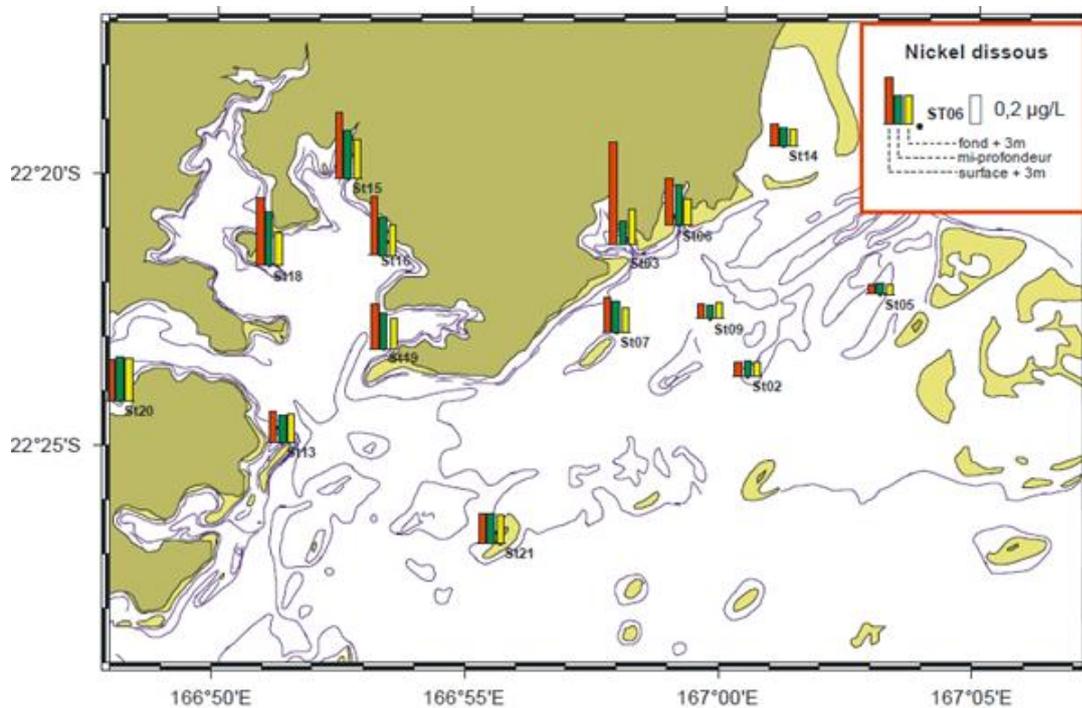
Le long des côtes et en face des embouchures comme dans les baies abritées (baie de Prony, baie de Port Boisé et baie de Kué, baie d'Ué, etc.), quelle que soit la saison, la concentration des métaux dissous est en rapport avec la charge particulaire transportée par les rivières, elle est reliée à l'intensité des précipitations atmosphériques. Un facteur aggravant de ces apports est la déstabilisation des sols, toute modification dans l'extension des surfaces dévégétalisées entraînant une redistribution des éléments métalliques dissous et particulaires (MES) dans les zones d'embouchure.

Dans le canal de la Havannah l'intense circulation des masses d'eau et la barrière hydrodynamique font qu'à une distance de quelques miles au large l'influence terrigène n'est plus décelable sur l'ensemble de la colonne d'eau. Les exemples de distribution du nickel et du manganèse dissous illustrent parfaitement cette conclusion (cf. Figure 93 et Figure 94).



Source : IRD

Figure 93 : Concentration en nickel dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le canal de la Havannah et la Baie de Prony, saison fraiche mars 2009



Source : IRD

Figure 94 : Concentration en nickel dissous dans la colonne d'eau, échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le canal de la Havannah et la Baie de Prony, saison chaude, mai 2009

A titre indicatif, le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, CNRT/ZoNeCo 2011, propose des valeurs de concentration qui, sans faire office de seuils, servent

de support et permettent de croiser les informations données par plusieurs indicateurs pour une analyse raisonnée des hydrorégions (Cf. Tableau 61).

Tableau 61 : Fiche 9 - Métaux dissous (Guide CNRT / ZoNéco)

Nickel [Ni] dans l'eau			
Ni (µg/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu considéré comme fortement perturbé
Fond de baie, littoral	< 0.40	[0.40 – 0.75[	≥ 0.75
Lagon en milieu côtier	< 0.30	[0.30 – 0.50[	≥ 0.50
Proche récif barrière	< 0.15	[0.15– 0.20[	≥ 0.20

Chrome VI [Cr (VI)] dans l'eau			
Cr(VI) (µg/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu considéré comme fortement perturbé
Fond de baie, littoral	< 0.25	[0.25 - 0.60[	≥0.60
Lagon en milieu côtier	< 0.20	[0.20 – 0.30[	≥ 0.30
Proche récif barrière	< 0.15	[0.15 – 0.20[	≥ 0.20

Manganèse [Mn] dans l'eau			
Mn (µg/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu considéré comme fortement perturbé
Fond de baie, littoral	< 0.35	[0.35 – 0.80[	≥ 0.80
Lagon en milieu côtier	< 0.25	[0.25– 0.50[	≥ 0.50
Proche récif barrière	< 0.10	[0.10 – 0.20[	≥ 0.20

Les tableaux suivants (Tableau 62, Tableau 63 et Tableau 64) présentent les résultats de l'étude Rescan réalisée en 2000 (état initial) et ceux de l'étude IRD de 2005 pour les métaux. Les concentrations sont en µg/l. Les résultats montrent qu'il existe un gradient de concentration entre la passe de la Havannah et le reste du domaine, les concentrations les plus élevées étant enregistrées dans la baie de Prony. Seuls deux éléments, le cadmium et le cobalt sont en concentration très homogène dans tout le domaine de la baie de Prony et du canal de la Havannah, sur toute la colonne d'eau.

Tableau 62 : Qualité des eaux marines et critères de référence

Paramètre	Unité	Baie d'Ué MWR1, MWR2 2000			Baie de Prony 2000 à 2005			Canal de la Havannah 2000 à 2005			ANZECC 2000	
		S	M	P	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Valeurs guides pour les activités récréatives	Valeurs guides pour les eaux et écosystèmes marins
Paramètres physiques												
pH		8.04	8.07	8.02	8.3	7.9	8.4	8.3	7	8.5	6.5 - 8.5	
Oxygène dissous	mg/l	6.5	6.55	12.9	6.6	6.4	6.7	6.4	6.1	7	> 6.5	-
Salinité	mg/l	na	na	na	27833	27000	28000	28017	28000	28500	-	-
Conductivité	µS/cm	>50000	>50000	>50000	>50000	>50000	>50000	>50000	>50000	>50000	-	-
MES	mg/l	17	13	7	9.8	3	19.5	9.7	3	20	-	-
Turbidité	NTU	1	1.2	1	0.38	0.23	0.95	0.37	0.22	1.3	-	-
Nutriments												
Ammonium	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	0.001	0.0005	0.003	-	0.002	0.002	0.01	0.5
Nitrate	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	0.003	0.0006	0.006	0.01	0.002	0.03	10	0.7 (e)
Nitrite	mg/l	<0.001	0.002	0.003	-	<0.001	0.008	-	-	-	1	-
Orthophosphate	mg/l	<0.001	0.002	0.0008	0.002	<0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	-	-
Phosphate total	mg/l	<0.002	0.004	0.032	0.003	0.0009	0.008	0.006	0.002	0.01	-	-
Phosphore	mg/l	na	na	na	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
Métaux												
Aluminium total	µg/l	1	0.75	1.25	20	2	52	-	1.5	1.5	200	0.5 (a)
Aluminium dissous	µg/l	1	1	1	10	2	22	-	0.75	0.75	-	-
Antimoine total	µg/l	1.1	0.55	1.05	1.07	0.3	2.1	0.5	0.5	0.5	-	270 (b)
Antimoine dissous	µg/l	0.3	0.45	0.4	0.37	0.3	0.5	0.47	0.4	0.55	-	-
Arsenic total	µg/l	1.1	1.15	1.35	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	50	(c)
Arsenic dissous	µg/l	1	1.15	1.1	1	<0.8	1.4	1.04	0.74	1.41	-	-
Argent	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	50	0.8
Argent dissous	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-
Cadmium total	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	5	0.7
Cadmium dissous	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	0.07	<0.02	0.1	0.07	<0.02	0.15	-	-
Chrome total	µg/l	0.2	0.2	<0.2	0.35	<0.2	0.4	0.17	0.15	0.2	50	(d)
Chrome dissous	µg/l	0.2	0.15	<0.2	0.4	0.3	0.4	0.15	0.15	0.15	-	-
Cobalt total	µg/l	0.06	0.05	0.05	0.03	0.002	0.07	-	0.008	0.008	-	0.005
Cobalt dissous	µg/l	<0.05	<0.05	0.31	0.04	0.002	0.08	0.03	0.001	0.07	-	-
Cuivre total	µg/l	0.25	0.35	0.25	0.42	0.04	1.53	0.11	0.00006	0.25	1000	0.3
Cuivre dissous	µg/l	0.24	0.35	0.25	1.07	0.007	4.54	1.27	0.02	10.07	-	-
Fer total	µg/l	<30	<30	<30	36.1	1.24	139.2	1.26	0.13	2.39	300	ID
Fer dissous	µg/l	<30	<30	<30	0.33	0.12	0.53	0.34	0.13	0.55	-	-
Manganèse total	µg/l	0.81	0.56	0.59	0.66	0.05	2.15	0.17	0.08	0.23	100	80 (b)
Manganèse dissous	µg/l	0.52	0.4	0.45	1.37	0.02	4.79	0.59	0.07	3.14	-	-
Mercuré total	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1	0.1
Mercuré dissous	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Nickel total	µg/l	0.73	0.73	0.63	0.59	0.06	2.29	0.25	0.13	0.33	100	7
Nickel dissous	µg/l	0.75	0.75	0.7	1.12	0.04	3.61	0.52	0.09	1.62	-	-
Plomb total	µg/l	<0.1	0.3	0.08	-	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	50	2.2
Plomb dissous	µg/l	<0.1	<0.1	0.08	0.2	<0.05	0.28	-	-	-	-	-
Sélénium total	µg/l	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1	<1	10	ID
Sélénium dissous	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-
Zinc total	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	-	<0.5	1	-	<0.5	0.5	5000	7
Zinc dissous	µg/l	0.53	<0.5	<0.5	3.09	<0.5	7.34	3.4	0.43	13.36	-	-

Note : S = surface, M = mi-profondeur, P = profondeur, Moy = Valeursmoyennes, Min = Valeursminimales, Max = Valeursmaximales.

Les Valeursguidess de l'ANZECC pour la protection des écosystèmes ont été développées pour une protection de 99 % des espèces sauf indication contraire.

(a) VNCur indicative provisoire (95 % des espèces protégées)

(b) une VNCur indicative provisoire est publiée pour l'antimoine III (270 µg/l)

(c) des Valeursprovisoires sont publiées pour As III (2.3 µg/l) et As V (4.5 µg/l)

(d) des Valeursguidess (95 % des espèces protégées) sont publiées pour le Cr III (7.7 µg/l) et pour le Cr VI (0.14 µg/l)

(e) VNCur indicative provisoire ID = données insuffisantes pour le développement de Valeurs guides

Tableau 63 : Qualité des eaux marines et critères de référence dans la baie de Kué

Paramètres	Unités	Baie de Kwé												Synthèse des données			Ile de Ué			ANZECC Guidelines		
		Estuaire	intérieur			extérieur			MW1. MW2			Activités récréatives	Ecosystèmes									
		MW5 2000	MW6. MW8 2000	S16 2005	MW9. MW10. MW12 2000	S13 2005	S	M	P	Moyenne	Min			Max	S	M	P					
Aluminium total	µg/l	<1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<1	<1	<1	1	0.75	1.25	200	0.5 (a)	
Aluminium dissous	µg/l	2	2	7	1	na	na	na	1	1.33	0.67	na	na	na	2.14	0.67	7	1	1	1	-	-
Antimoine total	µg/l	0.4	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	0.4	0.4	1.1	0.55	1.05	-	(b)
Antimoine dissous	µg/l	0.3	<0.2	<0.2	0.4	na	na	na	0.4	0.5	0.3	na	na	na	-	0.3	0.5	0.3	0.45	0.40	-	-
Arsenic total	µg/l	0.3	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	0.3	0.3	1.1	1.15	1.35	50	(c)
Arsenic dissous	µg/l	0.4	1.25	1.15	1.40	<0.8	<0.8	<0.8	1.23	1.3	1.2	<0.8	<0.8	<0.8	-	0.4	1.4	1	1.15	1.10	-	-
Argent	µg/l	<0.01	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	50	0.8
Argent dissous	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	na	na	na	<0.01	<0.01	<0.01	na	na	na	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-
Cadmium total	µg/l	<0.02	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	5	0.7
Cadmium dissous	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.07	0.08	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.07	0.06	0.03	0.08	<0.02	<0.02	<0.02	-	-
Chrome total	µg/l	6.40	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	6.4	6.4	0.2	0.2	<0.2	50	(d)
Chrome dissous	µg/l	6	0.2	0.6	0.6	<0.4	<0.4	<0.4	0.33	0.13	0.13	<0.4	<0.4	<0.4	-	0.13	6	0.20	0.15	<0.2	-	-
Cobalt total	µg/l	0.25	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	0.25	0.25	0.06	0.05	0.05	-	0.005
Cobalt dissous	µg/l	0.2	0.14	0.1	<0.05	0.03	0.05	0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0.04	0.03	0.03	-	0.03	0.2	<0.05	<0.05	0.31	-	-
Cuivre total	µg/l	0.08	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	0.08	0.08	0.25	0.35	0.25	1000	0.3
Cuivre dissous	µg/l	0.09	0.21	0.27	0.62	0.18	0.89	0.10	0.27	0.26	0.27	0.21	0.88	0.28	0.35	0.09	0.89	0.24	0.35	0.25	-	-
Fer total	µg/l	<30	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	<30	<30	<30	<30	<30	300	ID
Fer dissous	µg/l	<30	30	<30	<30	na	na	na	<30	<30	<30	na	na	na	-	<30	30	<30	<30	<30	-	-
Plomb	µg/l	0.1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	0.1	0.1	<0.1	0.30	0.08	50	2.2
Plomb dissous	µg/l	<0.1	0.15	0.18	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	0.10	0.72	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	-	0.07	0.72	<0.1	<0.1	0.08	-	-
Manganese total	µg/l	3.43	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	3.43	3.43	0.81	0.56	0.59	100	80 (e)
Manganese dissous	µg/l	2.78	1.24	0.61	0.44	0.55	2.91	0.96	0.24	0.18	0.20	0.45	0.69	0.36	0.89	0.18	2.91	0.52	0.40	0.45	-	-
Mercure total	µg/l	<0.05	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1	0.1
Mercure dissous	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	na	na	na	<0.05	<0.05	<0.05	na	na	na	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Nickel total	µg/l	12.4	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	12.4	12.4	0.73	0.73	0.63	100	7
Nickel dissous	µg/l	11.2	1.45	0.61	0.70	0.37	1.38	0.40	0.49	0.34	0.36	0.46	0.42	0.32	1.42	0.32	11.2	0.75	0.75	0.70	-	-
Selenium total	µg/l	<1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	<1	<1	<1	<1	<1	10	-
Selenium dissous	µg/l	<1	<1	<1	<1	na	na	na	<1	<1	<1	na	na	na	-	<1	<1	<1	<1	<1	-	-
Zinc total	µg/l	<0.5	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	5000	7
Zinc dissous	µg/l	<0.5	<0.5	0.65	0.6	2.62	1.93	<0.9	<0.5	<0.5	<0.5	1.42	4.17	1.64	-	<0.5	4.17	0.53	<0.5	<0.5	-	-

Note : S = surface, M = mi-profondeur, P = profondeur, Moy = Valeursmoyennes, Min = Valeursminimales, Max = Valeursmaximales.

Les Valeursguides de l'ANZECC pour la protection des écosystèmes ont été développées pour une protection de 99 % des espèces sauf indication contraire.

(a) VNCur indicative provisoire (95 % des espèces protégées)

(b) une VNCur indicative provisoire est publiée pour l'antimoine III (270 µg/l)

(c) des Valeursprovisoires sont publiées pour As III (2.3 µg/l) et As V (4.5 µg/l)

(d) des Valeursguides (95 % des espèces protégées) sont publiées pour le Cr III (7.7 µg/l) et pour le Cr VI (0.14 µg/l)

(e) VNCur indicative provisoire ID = données insuffisantes pour le développement de Valeursguides

5.6.2 Tendances évolutives et suivi de l'eau de mer

Les études sont effectuées par l'IRD puis par AEL/LEA dans le cadre du suivi réglementaire ICPE exigé par les arrêtés suivants :

- l'arrêté autorisant à exploiter les installations portuaires de Goro n° 891-2007/PS du 13 juillet 2007 ;
- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une aire de stockage de résidus sur le site de la Kué Ouest n° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008 ;
- l'arrêté autorisant l'exploitation d'une usine de traitement du minerai de nickel et de cobalt et d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008.

Les 14 stations d'échantillonnage de la colonne d'eau sont localisées sur la Figure 95.

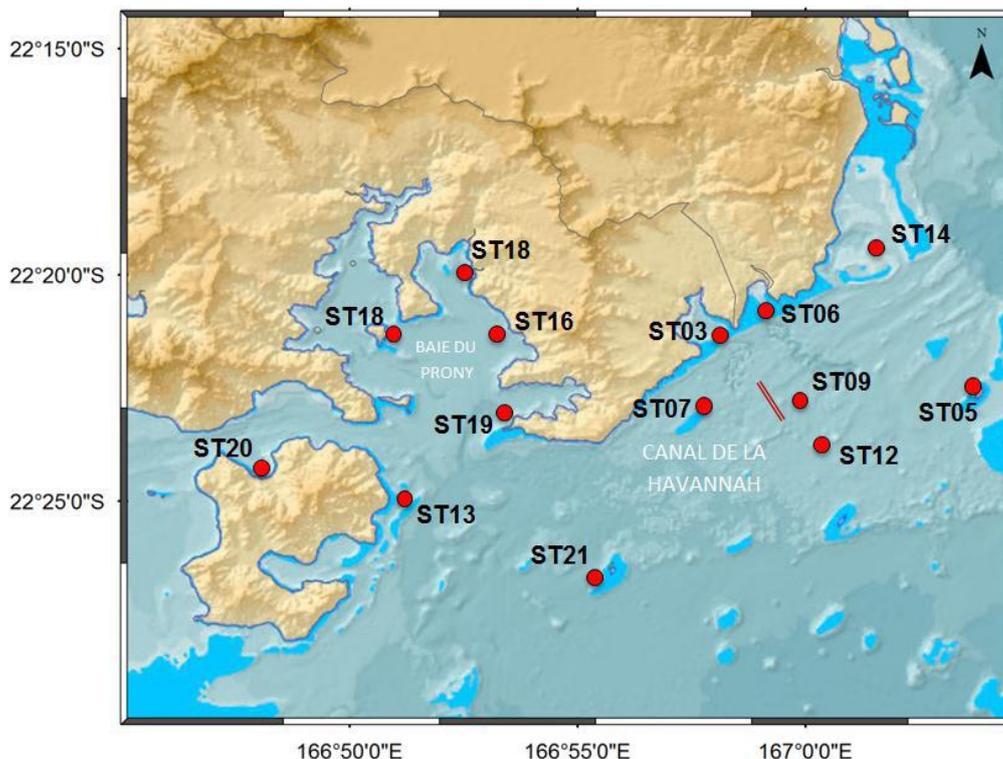


Figure 95 : Les 14 stations d'échantillonnage de la colonne d'eau

Les résultats statistiques concernent le suivi réalisé durant les campagnes d'août 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012 selon les mêmes méthodologies exactement.

Les courbes d'évolution temporelle présentées ici sont celles de la baie de Kué (St06) et du canal de la Havannah (St09), elles concernent le domaine d'influence de la zone minière.

5.6.2.1 Saison fraîche

Les figures suivantes présentent les tendances en saison fraîche, en baie Kué (St06) et dans le canal de la Havannah à la station St09 proche du diffuseur.

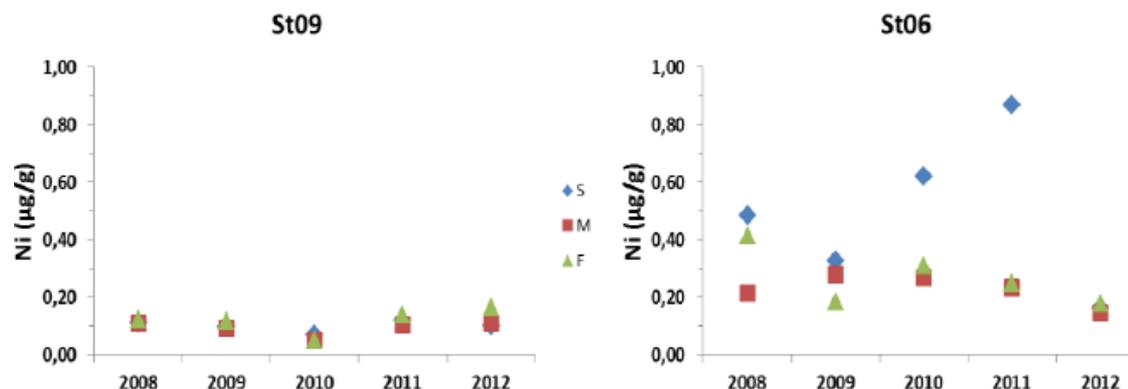


Figure 96 : Concentration en Ni mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kwé) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012)

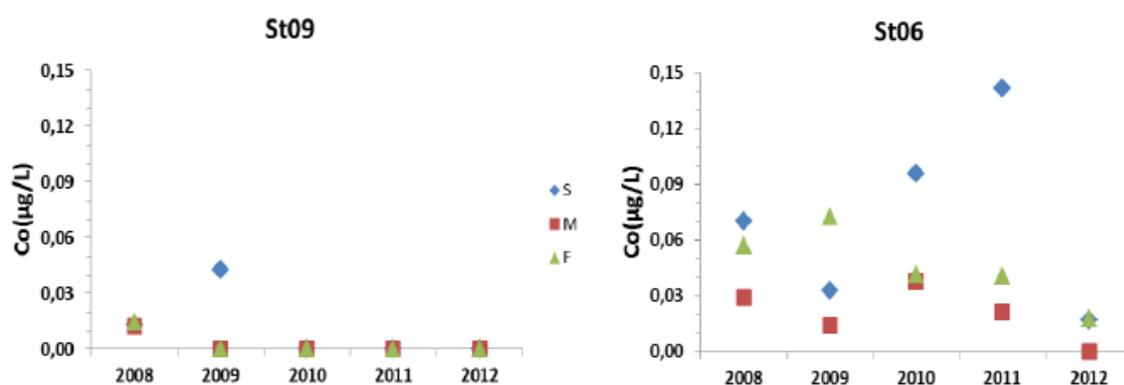


Figure 97 : Concentration du cobalt mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012)

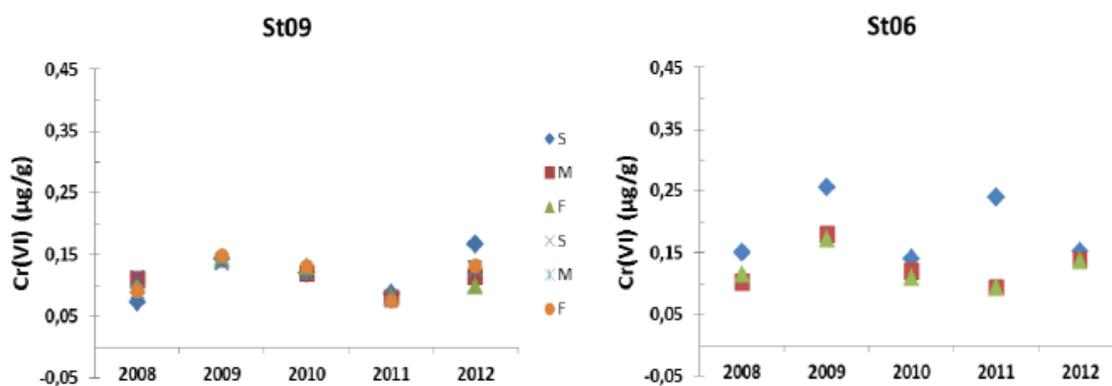


Figure 98 : Concentration du chrome VI mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012)

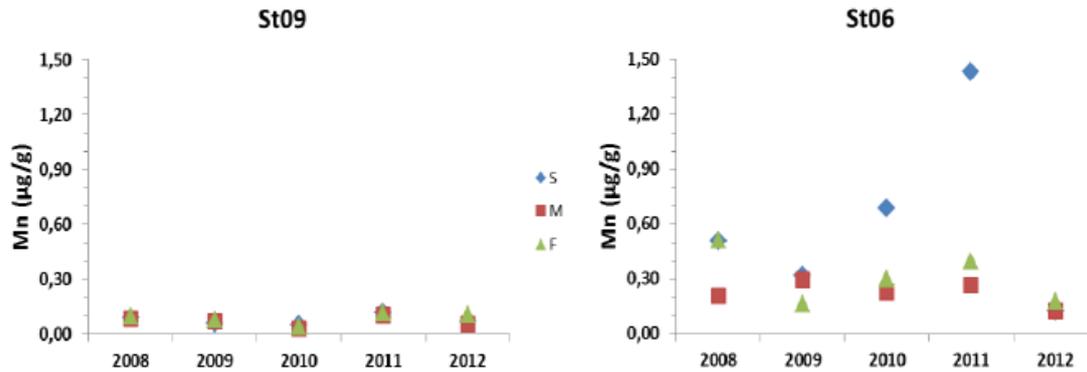


Figure 99 : Concentration en manganèse mesurée en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09 (canal de la Havannah) et St06 (baie Kué) lors des campagnes saison fraîche (2008 à 2012).

Les concentrations de Co, Mn et Ni présentent des fluctuations corrélées entre elles depuis 2008. Les concentrations de mi-profondeur et du fond ne varient que très légèrement alors que les concentrations de surface atteignent une valeur maximale en 2011 en baie de Kué. Ce pic est particulièrement flagrant pour le Mn dont les concentrations en 2011 (1,43 µg/L) sont 2 à 4 fois supérieures à celles des autres années : 0,13 µg/L (2012) et 0,69 µg/L (2010). Ces fortes concentrations sont à lier au rythme des apports terrigènes de la rivière Kué, eux-mêmes générés par le régime des précipitations atmosphériques (cf. Figure ci-dessous) et également au fait que, le prélèvement 2011 ayant été effectué en fin de marée basse, la dilution des eaux du creek a probablement été moins efficace. Un relevé météorologique de la semaine et le marégraphe sont couplés à chaque mission.

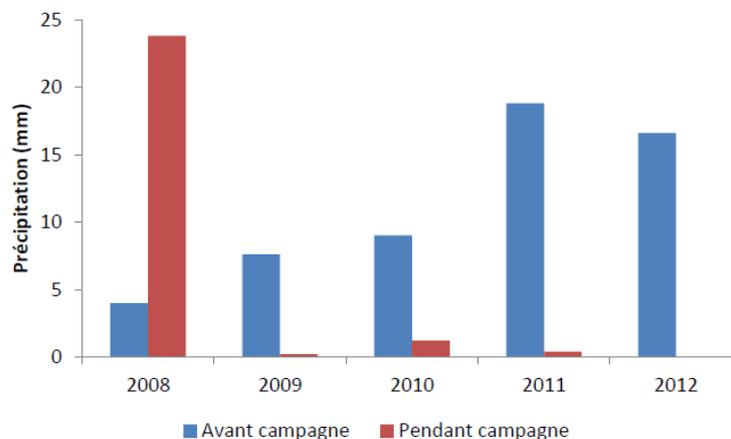


Figure 100 : Cumul des précipitations avant (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement saison sèche de 2008 à 2012, station d'observation Prony Pilot Station

Aucune évolution particulière n'a été observée lors de la campagne d'août 2012 qui reste conforme aux mesurées déjà réalisées depuis 2008.

5.6.2.2 Saison chaude

Les figures suivantes présentent les tendances évolutive en saison chaude au niveau de la baie Kué (St 06) et du canal de la Havannah sur la station St09 proche du diffuseur, pour les métaux Co, Ni, CrVI et Mn.

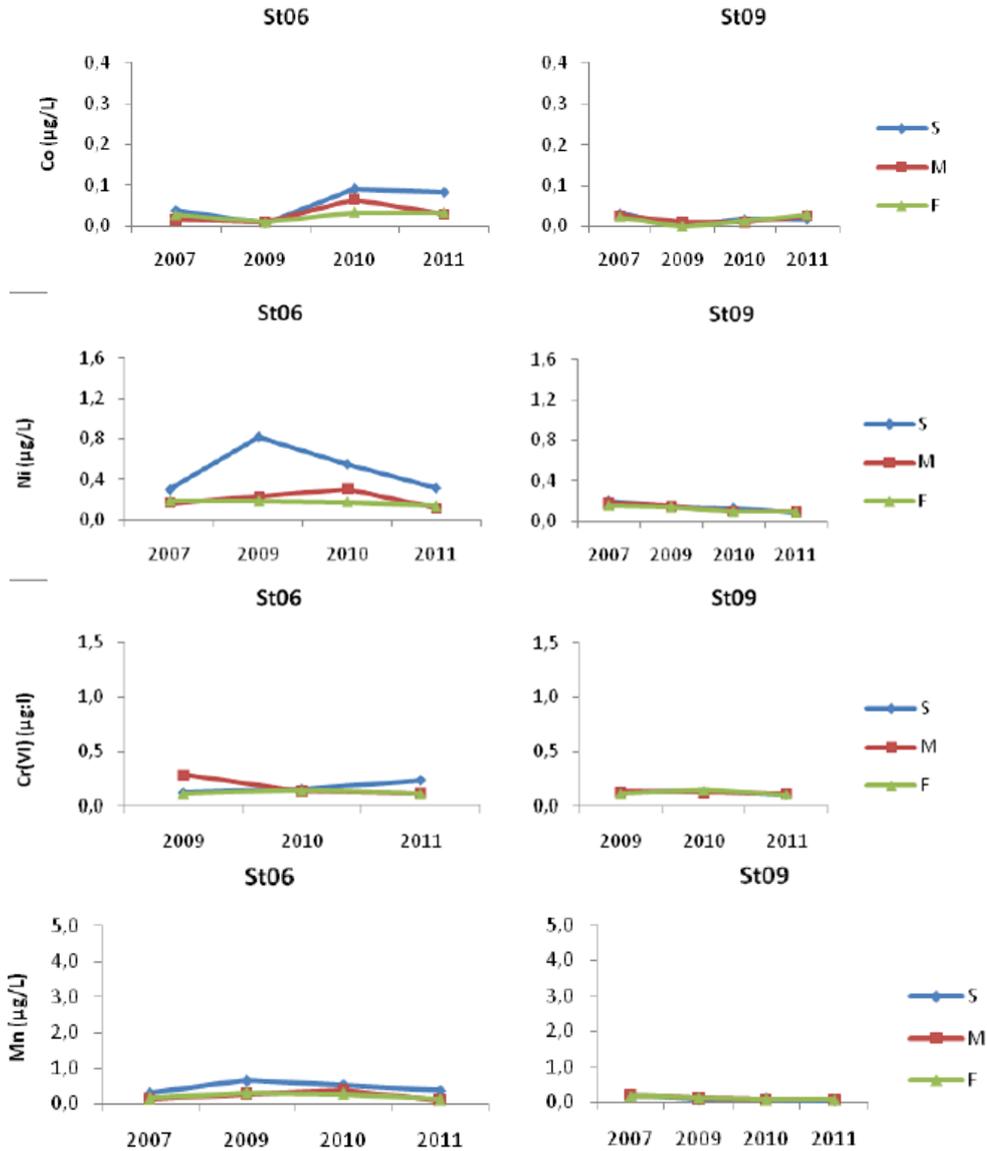
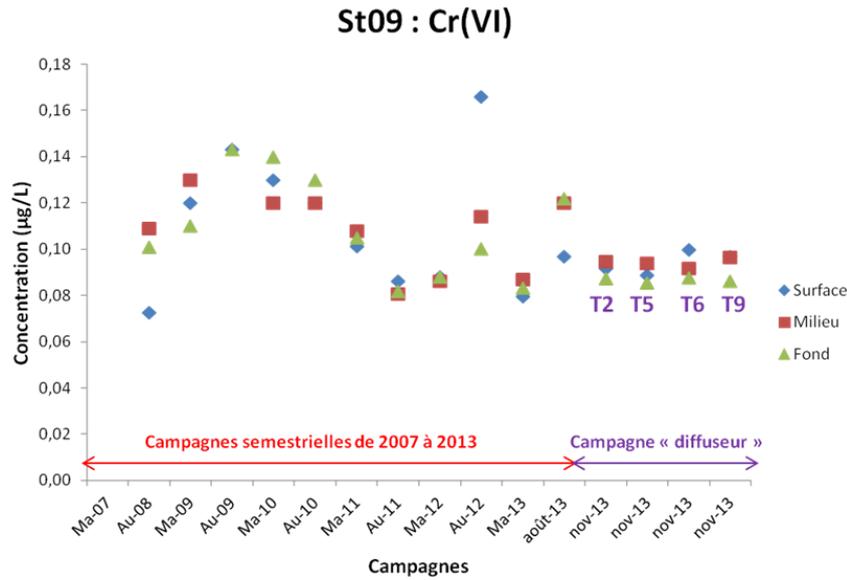


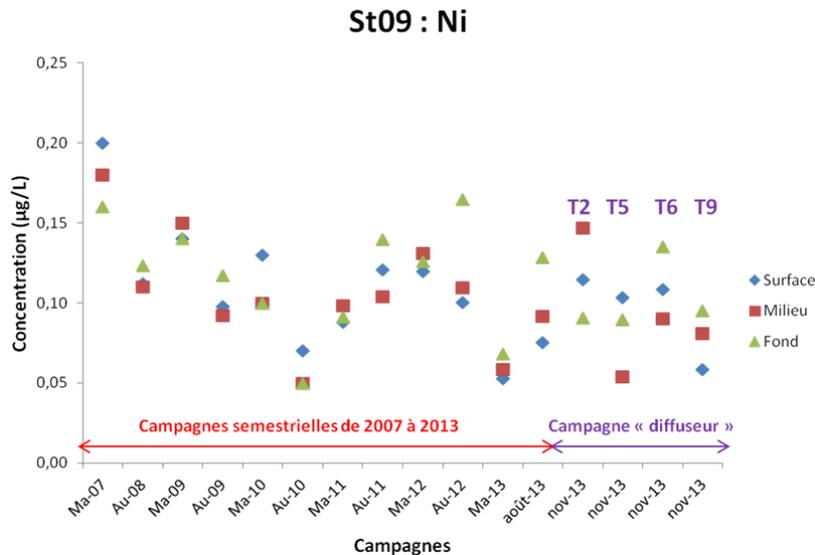
Figure 101 : Concentration en Co, Ni, Cr (VI) et Mn en surface, au milieu et au fond aux stations St06 (baie Kué) et St 09 dans le canal de la Havannah en saison chaude, 2007, 2009, 2010 et 2011

Les figures suivantes montrent le suivi du CrVI et du Ni dans le canal de la Havannah à la station St 09 (proche du diffuseur) entre 2007 et novembre 2013 toutes les saisons confondues et aux trois profondeurs.



Source : IRD et AEL/LEA

Figure 102 : Concentration en Cr (VI) en surface, au milieu et au fond dans le canal de la Havannah (St 09), toutes saisons confonues entre mars 2007 et novembre 2013



Source : IRD et AEL/LEA

Figure 103 : Concentration en Ni en surface, au milieu et au fond dans le canal de la Havannah (St 09), toutes saisons confonues entre mars 2007 et novembre 2013

5.6.3 Conclusion des rapports de suivi

Au niveau de la baie de Kué, les concentrations mesurées dans les échantillon d'eau prélevés de façon ponctuelle, aux trois profondeurs, ont varié fortement au cours du temps. De plus, ces concentrations sont bien plus élevées que celles enregistrées plus au large et reflètent de manière évidente l'influence des apports terrigènes (lixiviation des sols par les pluies) le long de la côte.

Le long des côtes et, *a fortiori*, au droit des embouchures ainsi que dans les baies abritées (baie du Prony, baie de Port Boisé, baie Kué), quelle que soit la saison, la concentration des métaux dissous est en rapport avec la charge particulaire transportée par les rivières, donc reliée à l'intensité des précipitations atmosphériques. Un facteur aggravant de ces apports est la déstabilisation des sols. Ainsi par exemple, toute modification dans l'extension des surfaces dévégétalisées et/ou des couches géologiques remaniées sera sanctionnée par une redistribution des éléments métalliques dissous et particuliers (matières en suspension) dans le lagon.

Les concentrations les plus élevées sont analysées dans les couches turbides de surface et/ou de fond (néphéloïde benthique) lorsqu'elles existent ; leur dispersion/dilution s'effectue selon une dynamique étroitement liée à la physiographie du milieu récepteur.

Dans le canal de la Havannah l'intense circulation des masses d'eau régie par les phénomènes de marées permet, très rapidement, un brassage efficace des eaux marquées par les apports terrigènes : il en résulte qu'à une distance de 2-3 miles au large, l'influence terrigène n'est plus décelable sur l'ensemble de la colonne d'eau. Les exemples de distribution du nickel et du manganèse dissous illustrent parfaitement cette conclusion .

Au niveau de l'îlot Kié (St05, entrée Est du canal de la Havannah) et du centre du canal de la Havannah (St09), les concentrations dans les eaux de surface, à mi-profondeur et au fond, ne varient pas ou très peu au cours du temps. Cette constatation conforte les résultats de la modélisation hydrodynamique (Douillet et Fernandez, 2009) et de la caractérisation des états de référence physico-chimiques qui montrent que la réserve Merlet (îlot Kié) est isolée des influences terrigènes grâce à l'existence de forts courants prenant naissance dans la passe de la Havannah.

La délimitation des zones d'influence océanique ou terrigène passe approximativement au Nord de la station St09 et divise le canal longitudinalement (Fernandez et al, 2009).

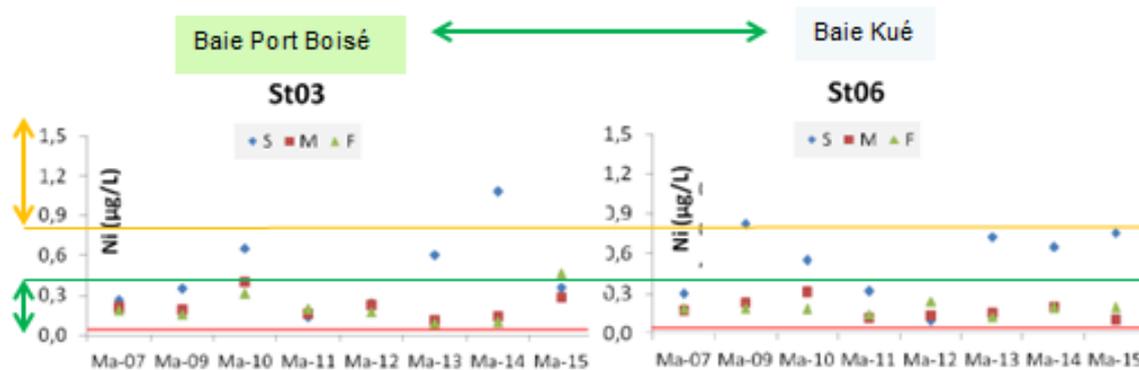
Le bilan 2015 confirme ces analyses. Il est présenté sur les figures suivantes pour la Baie Kué (dont les bassins versants sont sous l'influence de l'exploitation minière) et pour son « homologue témoins » qu' est la baie de Port Boisé, pareillement suivie à titre comparatif.

Sur ces figures :

- Le trait rouge représente la limite de quantification de l'élément selon la méthodologie du laboratoire d'analyse des échantillons d'eau de mer ;
- A titre indicatif et ne faisant pas office de seuil : le trait vert montre la concentration donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé. Toute concentration en dessous de cet indicateur vert indique une très bonne qualité de l'eau à l'égard de l'élément analysé ;
- Le trait orange montre qu'une perturbation (naturelle ou anthropique) est notée sur la station, si la valeur de la concentration est supérieure à cette indication orange et pour l'élément analysé.

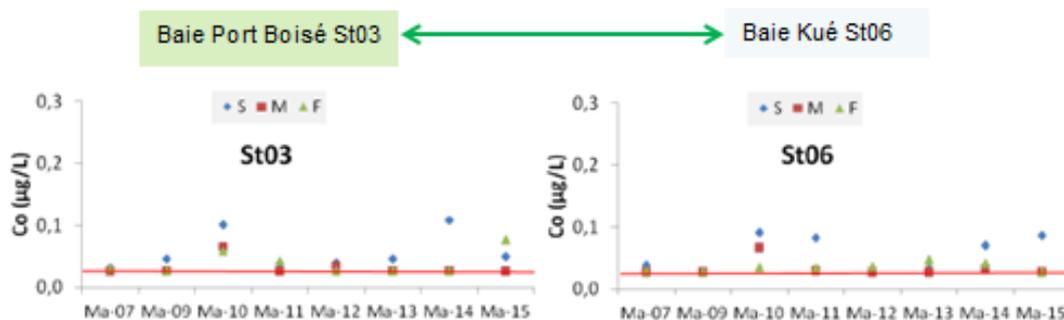
Pour le nickel :

Il n'y a pas de différence significative entre la baie témoin (port Boisé) et la baie Kué. La grande majorité des mesures montre une eau de bonne qualité à l'égard de cet indicateur terrigène qu' est le nickel, les eaux de surface qui présentent ponctuellement une valeur plus haute en Ni sont dues aux apports d'eau douce des creeks, après de fortes pluies.



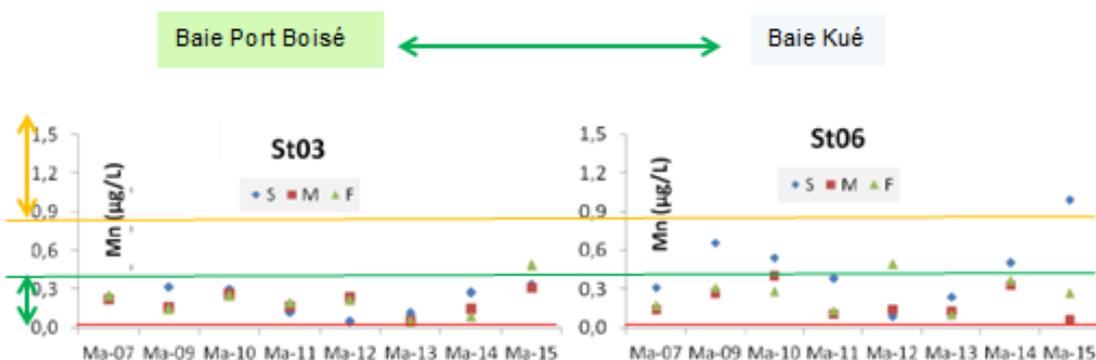
Pour le Cobalt :

Il n'y a pas de différence entre la baie témoin (port Boisé) et la baie Kué. Des similitudes notamment au niveau des eaux de surface (apports d'eau douce moins dense) sont notées.



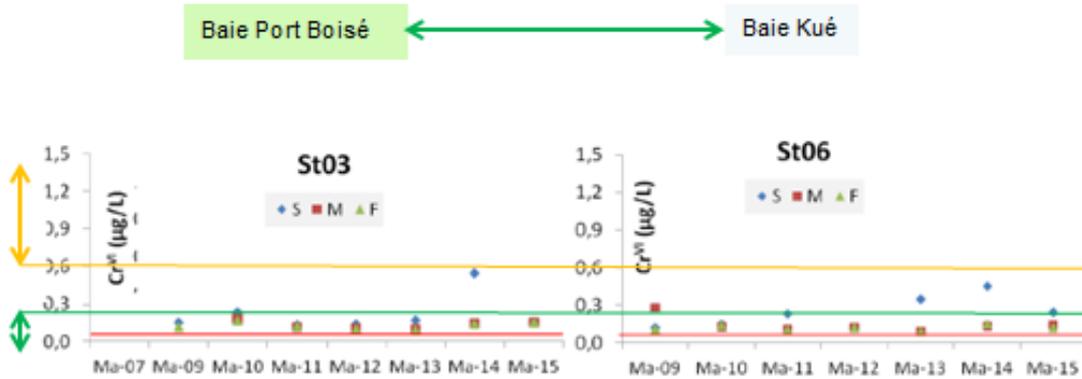
Pour le Manganèse :

Le Mn est un indicateur terrigène, comme Ni, Co et Cr.



Pour le Chrome (VI) :

La qualité de l'eau est stable et bonne et les deux baies sont homologues.



En conclusion, il n'y a pas d'évolution des concentrations en métaux indicateurs terrigènes dans les échantillons d'eau prélevés à 3 profondeurs différentes en baie Kué entre 2007 et 2015, et la baie Kué suit le même comportement géo-chimique que son homologue témoin, la baie de Port Boisé.

5.7 BIOLOGIE MARINE ET LITTORALE

5.7.1 Caractérisation de l'état de référence

Plusieurs études spécifiques au lagon Sud et au canal de la Havannah ont été réalisées dans le cadre du développement du projet global Goro Nickel avec la participation de nombreux experts depuis 1994 jusqu'en 2005 (hors état de référence de l'émissaire en mer). Ces études permettent de dresser l'état des lieux présenté ci-après.

Les suivis de la santé des écosystèmes coralliens et des populations associées, effectués par VNC depuis 2007 selon les prescriptions réglementaires du plan de suivi marin (suite aux arrêtés ICPE²⁸) enrichissent la base de données des indicateurs définis par le plan de suivi du milieu marin et permettent de surveiller une tendance évolutive.

La zone d'influence du projet d'exploitation minière concerne plus particulièrement la baie de Kué, la baie de Goro une partie du canal de la Havannah (Cf. Carte C10 dans l'atlas), qui a fait l'objet d'investigations spécifiques dès 2000. Le Tableau 65 présente les études de caractérisation de l'état initial et de l'état des lieux réalisées au niveau du lagon Sud calédonien.

²⁸ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007; Arrêté ICPE : usine et UPM du 9 Octobre 2008.

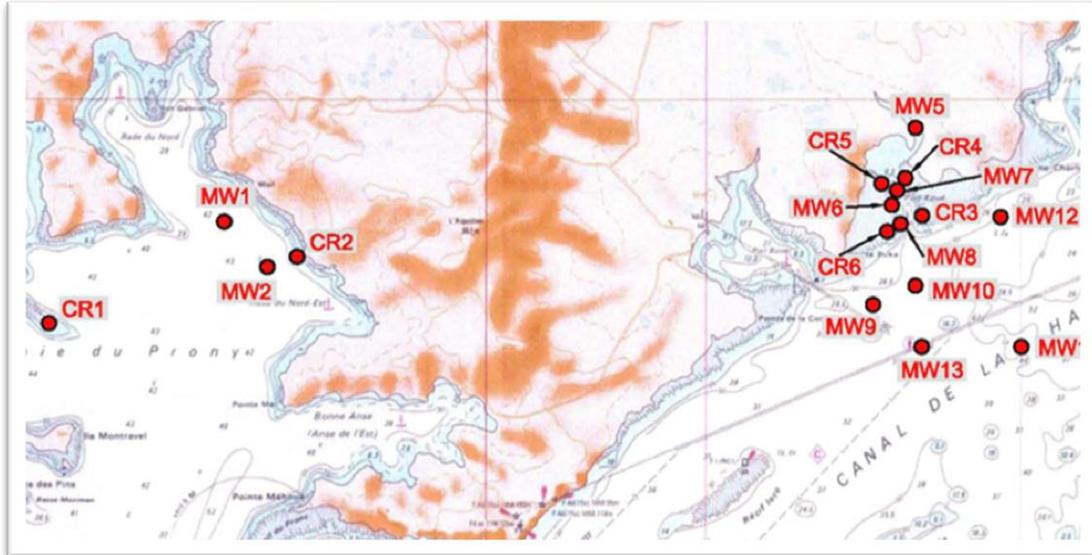
Tableau 65 : Récapitulatif des études relatives au milieu marin en rapport avec le développement du projet global depuis 1994

Date de l'évaluation	Auteurs et/ou bureaux d'études	Titre
Caractérisation de l'état de référence		
1994	Pierre Thollot & Laurent Wantiez Consultants	Caractérisation du milieu marin dans la région de Prony
1996	Pierre Thollot & Laurent Wantiez Consultants	Evaluation de l'impact du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la baie de Kué et de la zone portuaire de la baie de Prony
Aout 2000	Rescan/ACREM/A2EP	Évaluation environnementale du projet Goro Nickel - milieu marin
Juillet 2000	ACREM/ Sebastien Sarramegna	Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel
Avril 2004	Rescan/ ACREM	Caractérisation du milieu marin (15 stations)
Mai et juin 2004	Sabrina Virly/ Pierre Laboute	Caractérisation des communautés biologiques du banc Ionontea dans le canal de la Havannah
Novembre 2004	Pierre Laboute Entreprise	Expertise des communautés marines biologiques du site : zone du débarcadère en baie de Prony
Mai 2005	Sabrina Virly/Pierre Laboute	Caractérisation des communautés marines biologiques autour du futur émissaire du projet Goro Nickel
Juillet 2005	Pierre Laboute Entreprise	Caractérisation des communautés marines biologiques sur 6 stations du canal de la Havannah
Août 2005	A2EP/ACREM	Etat de référence des peuplements récifaux et poissons associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah
Août 2005	Pierre Laboute Entreprise	Expertise communautés marines biologiques en baie de Prony
Mars 2007	Melanopus	Etat de référence des habitats coralliens le long du tracé de l'émissaire - baie de Kué et canal de la Havannah
Mai 2007	Soproner	Caractérisation du milieu marin le long du tracé de l'émissaire
Novembre 2007	Aqua terra/ ACREM	Etat biologique de 5 stations sur le tracé de l'émissaire
Décembre 2007	A2EP	Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie de Prony et canal de la Havannah
Suivi réglementaire		
2008 2009 2010a 2010b 2011a 2011b 2012a 2012b 2013a 2013b 2014a 2014b 2015a	Aqua terra / ACREM / Biocénose	Suivi de l'état des communautés coralliennes et des populations associées en baie de Prony et dans le canal de la Havannah Suivi semestriel réglementaire

- Etude Rescan 2000

Les études de terrain ont été conduites en mai 2000, avec notamment une campagne d'échantillonnage des producteurs primaires et secondaires et des prélèvements de la faune benthique. Une campagne de reconnaissance des récifs coralliens a également été réalisée en

juillet 2000. Des poissons ont été capturés en août et en septembre 2000 dans des sites désignés de la baie de Prony, la baie de Kué et la baie de Goro, afin que leurs tissus musculaires et hépatiques soient analysés. La campagne d'échantillonnage et d'évaluation des coraux a été réalisée par des plongeurs le long de transects de 50 m de long.



Source : Rescan

Figure 104 : Stations d'échantillonnage et d'évaluation pour la caractérisation du milieu marin en baie de Prony et baie de Kué, 2000

Les stations ont ensuite été inventoriées par le Professeur Chauvet (2002), par P. Laboute (mai-juin 2004 et juillet 2005), par S. Virly et par P. Laboute et C. Chauvet (août 2005).

- Etude du professeur Chauvet²⁹/A2EP de 2002

Cette étude a été réalisée en 2002 afin de caractériser les écosystèmes marins le long du tracé projeté de l'émissaire de rejet des effluents traités. A cette époque, le tracé envisageait un accès maritime de l'émissaire par la baie de Kué. L'étude de 2002 a porté sur 15 stations situées le long du tracé envisagé en baie de Kué et dans le canal de la Havannah. Sur chaque station, les inventaires ont été effectués le long de 1 à 4 transects de 10 à 20 m de long.

- Etudes de Pierre Laboute de mai-juin 2004 et de juillet 2005

Une description qualitative et quantitative des fonds marins du banc Ionontéa a été réalisée par P. Laboute entre le 28 mai et le 12 juin 2004. Cette étude a été effectuée sur cinq stations et présente des informations relatives au substrat, à la couverture végétale, à la couverture corallienne, à la faune benthique et à la faune ichtyologique. Sur chaque station, une radiale de 50 m de long a été matérialisée et les organismes y ont été répertoriés dans un couloir de largeur fixe dont la mesure dépend des espèces ciblées.

Un état de référence des peuplements récifaux et des poissons du canal de la Havannah a ensuite été réalisé en juin 2005 sur 6 stations selon deux transects de 50 m de long par station.

- Etude de Sabrina Virly en mai 2005

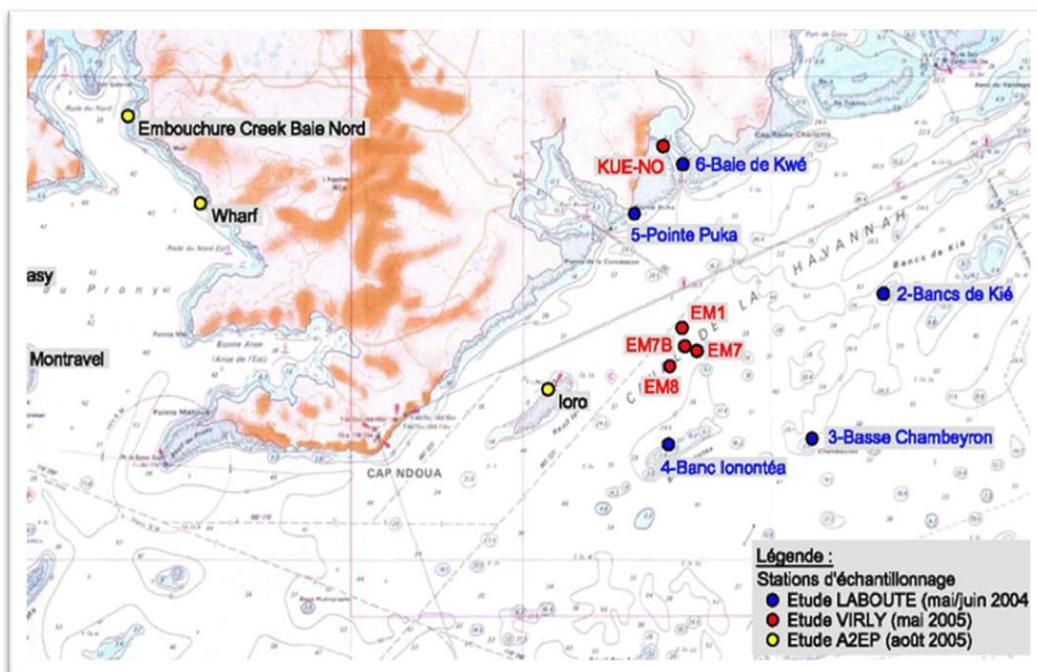
²⁹ Directeur du laboratoire LERVEM de l'Université de Nouvelle-Calédonie

L'objectif de cette étude était de caractériser l'environnement marin dans la zone projetée d'implantation de l'émissaire de rejet des effluents traités. Cette étude a été réalisée sur les stations répertoriées comme les plus intéressantes du point de vue de la diversité et de la richesse des écosystèmes en 2002 par le professeur Chauvet (notamment celles de la baie de Kué et celles situées à l'embouchure de l'émissaire).

L'étude de terrain a permis de décrire la nature du substrat, de qualifier et de quantifier les espèces commerciales de la faune ichtyologique et du macrobenthos. Elle a été réalisée en mai 2005 sur quatre stations selon une radiale de longueur réduite (comprise entre 20 m et 30 m) pour des raisons d'hygiène et sécurité liées à l'échantillonnage à 40 m de profondeur.

- Etude A2EP en août 2005

Cet état de référence des peuplements récifaux et des poissons associés a porté sur 5 stations (4 dans la baie de Prony et 1 dans le canal de la Havannah). Il a été réalisé en juin 2005 selon la méthode des transects (transect de 50 m de long).



Source : P. Laboute (mai-juin 2004 et juillet 2005), S. Virly (mai 2005) et A2EP (août 2005)

Figure 105 : Stations d'échantillonnage pour la caractérisation du milieu marin

5.7.2 Suivi réglementaire depuis 2007

Depuis 2007, la réalisation du suivi règlementaire ³⁰ renseigne sur la santé des écosystèmes marins et des populations associées : le suivi semestriel du milieu marin ont permis 11 missions d'évaluation sur les mêmes stations fixes, notamment sur celles qui concernent plus particulièrement le projet d'exploitation minière : St06 baie de Kué, ST08 pointe Puka près de la passe de la baie de Kué, ST11 Touémo et les stations du canal de la Havannah.

³⁰ La méthodologie des 11 suivis effectués sur 3 transects situés à différentes profondeurs sur chaque station fixe a été établie par la DENV et la DIMENC avec l'accompagnement des scientifiques experts du milieu marin calédonien. Dès 2006 elle a été validée par les autorités compétentes et fixée dans les arrêtés ICPE et la CCB.

5.7.3 Le plancton

5.7.3.1 Phytoplancton

Le phytoplancton est constitué d'organismes microscopiques qui convertissent l'énergie solaire pour produire des composés organiques. Ces "plantes" océaniques sont le fondement du réseau trophique marin et fournissent de l'énergie à la quasi-totalité des autres organismes marins.

La biomasse est mesurée selon la quantité de chlorophylle a (pigment d'algues) dans les échantillons provenant de diverses profondeurs. Sur les stations échantillonnées (Rescan, 2000) la biomasse était faible dans toutes les zones examinées comparativement aux eaux tempérées de l'océan, ce qui est typique des eaux tropicales. Les diatomées, groupe d'algues unicellulaires propres aux eaux côtières du globe, sont le type prédominant de phytoplancton recensé. Le Tableau 66 ci-dessous résume l'abondance de la biomasse ainsi que la diversité du phytoplancton.

Tableau 66 : Caractéristiques phytoplanctoniques de l'eau de mer dans la baie de Kué et ses environs

	Estuaire rivière Kué	Baie de Kué	Partie ext. baie de Kué	Canal de la Havannah	Port de Goro	Baie d'Ué
Biomasse phytoplanctonique (μg acide chl./l)	0,04	0,20	0,22	0,19	0,23	0,11
Densité phytoplanctonique (cellules/ml)	20,8	11,3	100,4	57,4	74,2	71,5
Richesse phytoplanctonique (Nombre de genres)	18	16	32	26	34	24
Diversité phytoplanctonique (Indice Shannon)	2,51	2,39	2,47	2,69	2,94	2,58

Source : Rescan 2000

5.7.3.2 Zooplancton

Le zooplancton est formé de petits organismes (de 0,2 à 2,0 mm) qui constituent le lien entre le phytoplancton et les invertébrés benthiques et les poissons du réseau trophique marin. Le zooplancton est aussi omniprésent dans les océans que le phytoplancton, et différentes espèces de zooplancton présentent souvent des caractéristiques biogéographiques et relatives à leur cycle de vie particulier, autant sur le plan de leur distribution verticale que de leur distribution horizontale. Les études réalisées en mai 2000 par Rescan sur le zooplancton ont porté sur des stations localisées dans la baie de Kué et ses environs (canal de la Havannah, baie d'Ué et port de Goro).

La quantité de zooplancton dans tous les sites étudiés était faible, ce qui est typique des eaux tropicales. Le tableau ci-dessous résume la quantité moyenne, la richesse et la diversité des assemblages de zooplancton dans chaque zone située à proximité du projet.

Tableau 67 : Caractéristiques zooplanctoniques de l'eau de mer dans la baie de Kué et ses environs

	Estuaire rivière Kué	Partie int. baie de Kué	Partie ext. baie de Kué	Canal de la Havannah	Port de Goro	Baie Ué
Abondance zooplanctonique (individus/m ³)	553	400	399	273	171	2474
Richesse zooplanctonique (Nombre de genres)	15	24	36	40	12	37
Diversité zooplanctonique (Indice Shannon)	0,87	1,66	2,74	2,87	1,72	2,27

Source : Rescan 2000

5.7.4 Les communautés littorales et marines

Les différentes composantes des communautés littorales marines de la baie de Kué (mangrove, herbier et récif) ont un rôle écologique majeur. La mangrove, est considérée classiquement comme un filtre qui piège les particules terrigènes véhiculées par la rivière (Nair et Hashimi, 1986), la charge solide des eaux est ainsi limitée (Trescases, 1969), mais dans le cas de la baie de Kué ce rôle pourrait ne pas être si important car les stations situées à proximité de l'estuaire présentent une proportion importante de vase. Plusieurs raisons peuvent être apportées : soit la superficie de la mangrove située dans l'estuaire est trop faible pour constituer un filtre efficace, soit l'apport sédimentaire naturel est très important. Malgré tout, des structures récifales importantes se sont développées. Ces dernières constituent une barrière contre les agressions marines (houle du large, tempêtes, etc.) et limitent l'hydrodynamisme, créant ainsi des conditions favorables au développement de la mangrove (David, 1985 ; Rougerie, 1986).

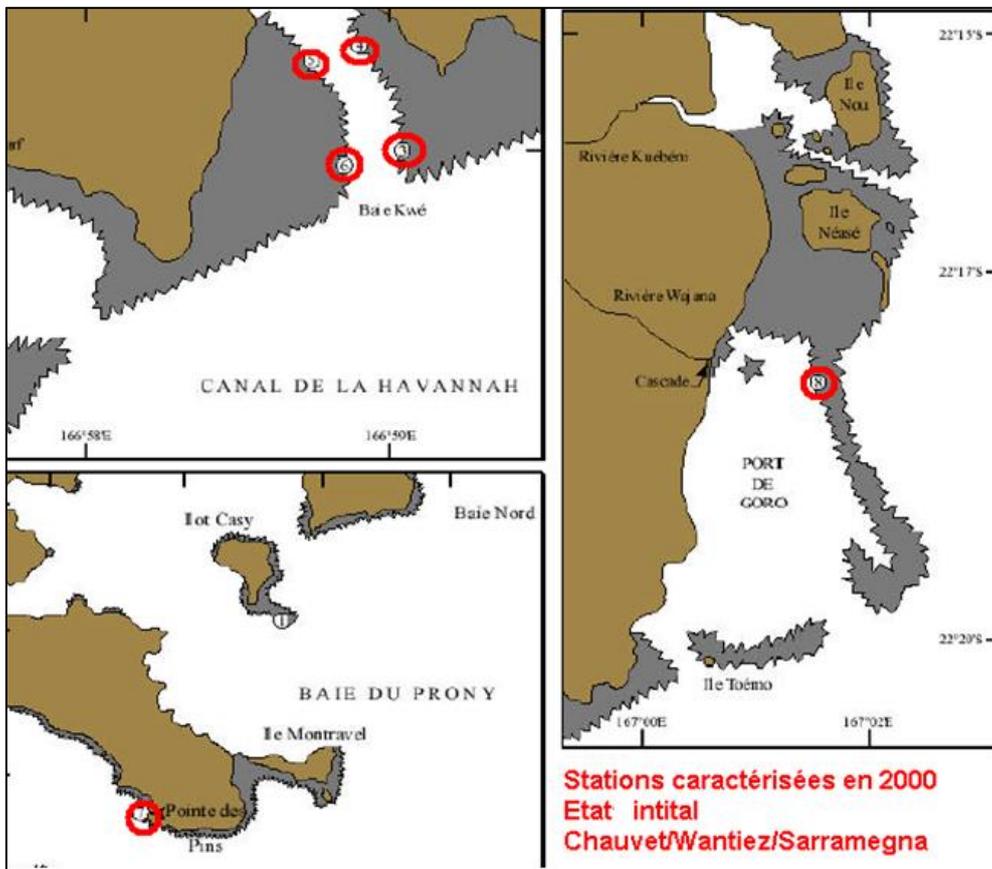
Sur le plan biologique, la mangrove, l'herbier et le récif sont des systèmes très productifs (Birkeland, 1985). La mangrove et l'herbier utilisent des éléments nutritifs d'origine terrigène pour la plupart et participent à un enrichissement des eaux côtières dont profite le récif (Cintron et Schaeffer-Novelli, 1983 ; Wiebe, 1987 ; Parrish, 1989). De plus, les juvéniles sont particulièrement abondants dans ces zones peu profondes où ils exploitent les ressources alimentaires disponibles et bénéficient d'une protection contre les prédateurs (Blaber et Blaber, 1980; Cyrus, 1984; Robertson et Duke, 1987 ; Thollot, 1992).

5.7.4.1 Les récifs coralliens et le substrat

Les éléments ci-après synthétisent les résultats des investigations effectuées par Thollot & Wantiez Consultants, complétés par les données recueillies au cours des campagnes de reconnaissance effectuées en 2000 et par les observations faites par Laboute Entreprise en 2005 afin d'évaluer un état des lieux initial. Les stations d'échantillonnage sont réparties comme suit (Cf. Figure 106) :

- deux stations, situées à proximité de l'embouchure de la rivière Kué, de part et d'autre de la baie (n° 5 et n° 4) ;
- deux stations situées de part et d'autre de la sortie de la baie (n° 3 et n° 6) ;
- une station témoin a été choisie sur la partie Grande Terre du canal Woodin. Elle se situe au niveau du récif frangeant de la Pointe des Pins, entre 2,3 et 7,2 m de profondeur. Cette station, située à proximité d'une petite rivière, est soumise à des apports terrigènes (comme celles de la baie de Kué ;
- une station de référence a été choisie dans la baie de Goro. Cette station n° 2 se situe en face de la cascade de Goro, à proximité du récif barrière, par 3 m de profondeur ;

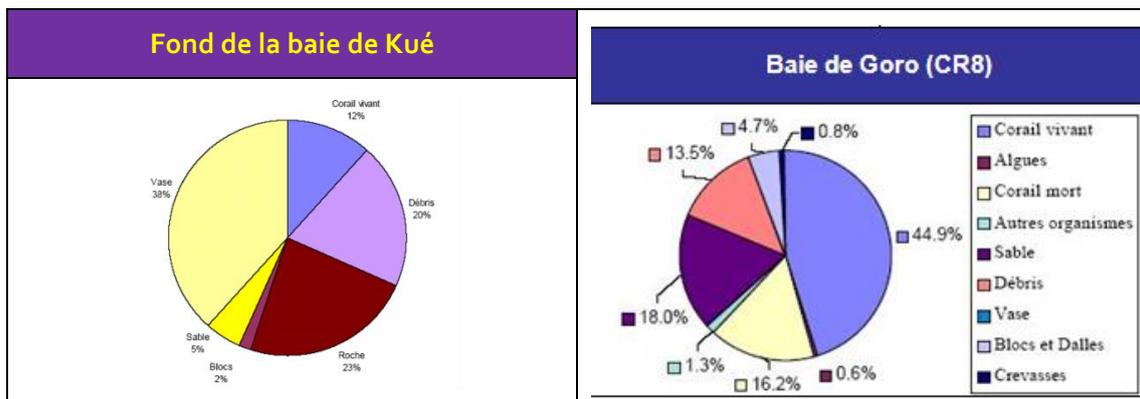
- l'état des récifs coralliens de la pointe Puka est également présenté (d'après les transects réalisés par Laboute Entreprise en 2005).

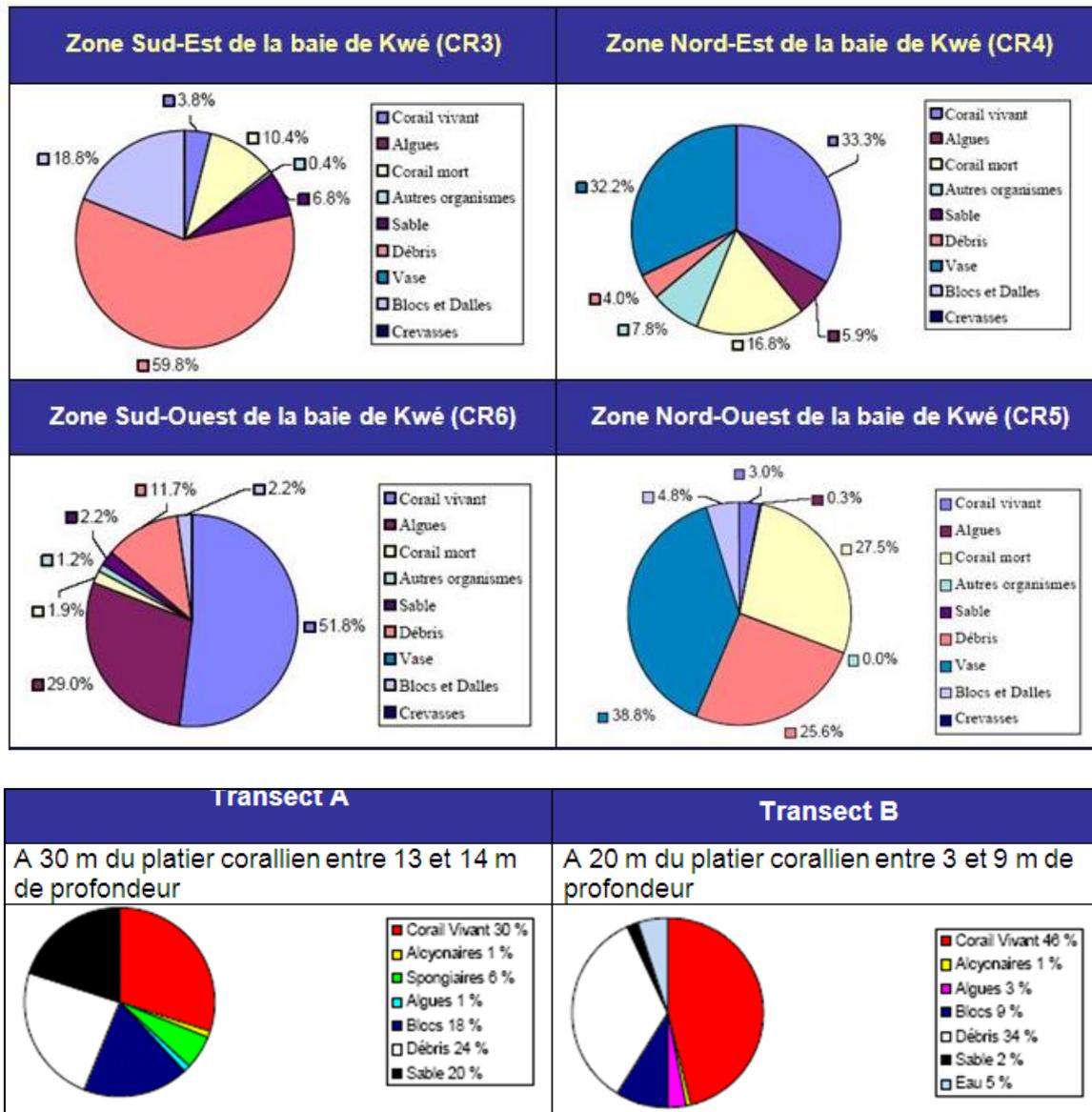


Source : Chauvet, Wantiez et Sarramegna, 2000

Figure 106 : Localisation des stations pour la caractérisation du milieu marin

La figure suivante présente la caractérisation du substrat sur les stations définies à la Figure 107 selon la méthodologie LIT (Line Intercept Transect) de English et al., 1997.





Source : Chauvet et al., 2000 & Laboute, 2005

Figure 107 : Composition et abondance relative (% de recouvrement) du benthos marin dans la zone de la baie de Kué, de la baie de Goro et de la Pointe Puka - état initial de la baie de Kué

La baie de Kué rassemble, sur une faible superficie, des communautés riches et diversifiées, organisées selon l'importance relative des influences terrigènes et océaniques. Au contact du milieu océanique (canal de la Havannah) elle représente une transition entre les domaines terrestre et marin et constitue à ce titre un écosystème intéressant.

Baie de Kué : Station Sud-Est n°3 (Figure 106)

Cette zone est caractérisée par la prédominance de débris coralliens (60 %). Le reste du fond est recouvert de blocs et dalles pour 19 % et de sable nu (7 %). La proportion de corail vivant est faible puisqu'elle ne constitue que 10 % de la couverture du substrat.

La macroflore benthique est constituée presque exclusivement par une algue, *Neomeris anulata*. Des invertébrés sont présents. Ce sont principalement des éponges (*Spirastrella vagabunda*) et des vers (*Spirobranchus giganteus*). Des échinodermes ont également été observés.

L'ichtyofaune de la station 3 est représentée par 32 espèces de poissons. La densité totale est de 2,14 poissons/m².

Baie de Kué : Station Nord-Est n° 4 (Figure 106)

La station n° 4 située à proximité de l'embouchure de la Kué, présente une salinité beaucoup plus faible (24‰) que les autres stations à cause des apports d'eau douce en provenance de la rivière. La visibilité est aussi faible. Le substrat de la station n° 4 est composé en majorité de corail vivant (33 %). Le reste du substrat est recouvert de vase (32 %) et de corail mort (17 %). Il faut noter une proportion plus importante d'algues (6 %) et d'autres organismes (8 %) au niveau de cette station.

La macroflore benthique est principalement constituée d'algues *Actinotrichia fragilis*.

De nombreux coraux libres (*Fungia sp.*) et des alcyonaires (*Sarcophyton sp.*) ont également été observés. En revanche, les invertébrés sont peu nombreux. Ils ne sont représentés que par un bivalve (*Tridacna maxima*), une porcelaine (*Cyprae tigris*), l'oursin "diadème" (*Diadema setosum*) et quelques étoiles de mer (*Fromia monilis*).

L'ichtyofaune observée sur la station 4 est représentée par 38 espèces. La densité est de 4,35 poissons/m².

Baie de Kué : Station Nord-Ouest n° 5 (Figure 106)

La station n° 5 est située face à l'estuaire de la rivière Kué. La température est de 22 °C. Elle est soumise, comme la station n° 4, à l'influence directe de la rivière Kué. Les conséquences sont une salinité faible (29‰) et une visibilité (4 m) très faible, en raison des apports d'eau douce et de la mise en suspension de particules fines. Le substrat de cette zone est composé en majorité de vase (38 %), de corail mort (28 %) et de débris coralliens (26 %).

La macroflore est constituée d'algues, notamment *Halimeda sp. cf. capiosa*, *Neomeris anulata*, *Actinotrichia fragilis*, *Amphiroa foliacea*, mais également de phanérogames, principalement *Cymodocea serrulata*, qui se développent sur les fonds sableux. De nombreuses éponges ont été recensées. Quelques mollusques ont également été recensés. L'ichtyofaune de la station 5 est représentée par 24 espèces. La densité est de 0,97 poissons/m².

Baie de Kué : Station Sud-Ouest n° 6 (Figure 106)

Le substrat de cette station est caractérisé par la prédominance de corail vivant (52 %) et par une proportion très importante d'algues (29 %). Le reste du substrat est composé de débris coralliens (12 %) et en proportions équivalentes de corail mort, de blocs, de dalles et de sable nu. La macroflore est constituée d'algues, notamment *Halimeda sp. cf. capiosa*. De nombreuses éponges ont été recensées. Certains coraux (*Fungia sp.*) et Alcyonaires (*Sarcophyton sp.*) sont abondants. L'ichtyofaune de la station 6 est représentée par 58 espèces. La densité est de 2,88 poissons/m².

En complément de ces observations, deux transects de la bordure Est du récif Ouest de la baie de Kué ont été étudiés par Laboute Entreprise en juin 2005. Ils présentent des proportions différentes de substrat abiotique (de 35 % à 50 % de la surface au sol) constitué de sable, blocs et débris. Le substrat biotique est majoritairement composé d'algues calcaires (de 25 % à 38 %) et de coraux branchus et sub-massifs. Le taux de recouvrement par les sclérectiniaux vivants (coraux durs) varie de 4,2 à 5,8 colonies/ m². La richesse spécifique totale varie entre 33 et 47

taxa : entre 12 et 13 pour la famille des Acroporidae et 6 à 12 pour les Faviidae. Les familles dominantes en termes de recouvrement sont, par ordre décroissant, les Acroporidae, les Pocilloporidae, les Oculinidae/Poritidae et les Faviidae.



A la limite des constructions coralliennes et du sable, vers 7 m de profondeur, une holothurie, ***Bohadschia maculisparsa***



Les algues vertes recouvrent parfois à 90 % des patches de plusieurs dizaines de m², avec un mélange de 3 espèces, dont ***Halimeda incrassata*** les plus abondantes et ***Halimeda gigas*** les moins nombreuses



Le scléractiniaire, ***Turbinaria* cf. *Mesenterina***



Acropora grandis, occupe, avec ***A. cuneata***, la plus grande superficie du recouvrement corallien

Figure 108 : Espèces rencontrées lors de la campagne de P. Laboute (juin 2005)

5.7.4.1.1 Baie de Goro

La baie de Goro est caractérisée par la présence d'un récif riche et diversifié, représenté par des champs d'*Acropora* et des massifs de *Porites*. Les poissons y sont plus diversifiés qu'en baie de Kué. Ce récif est soumis à l'influence de la rivière Wajana. La faible profondeur (3 m) rend cette zone particulièrement sensible à toute perturbation de l'environnement.

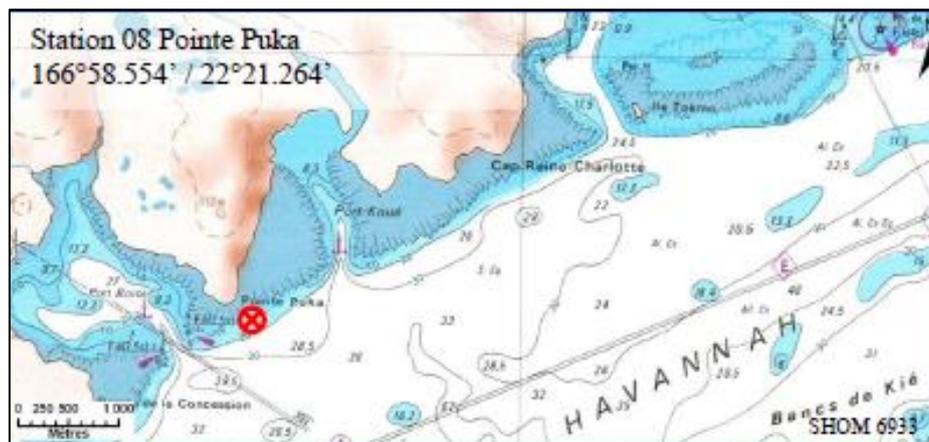
La station n° 8 (cf. Figure 106) se situe dans la baie de Goro, face à la cascade de Goro. La température est de 22 °C, la salinité est classique des eaux lagunaires (36‰) et la visibilité est bonne (10 à 15 m). Le substrat de cette station est composé de corail vivant pour majorité (44 %). Ce corail se trouve sur un fond de sable corallien nu (18 %). Le reste du fond est recouvert en pourcentages équivalents de corail mort (16 %) et de débris coralliens (14 %). La macroflore est constituée d'algues, notamment des algues du genre *Halimeda*. Une espèce d'éponge est abondante. De même, les Alcyonaires (*Sarcophyton* sp.) sont très abondants. Plusieurs espèces d'échinodermes (genre *Holothuria* et *Telenota*) ont été recensées.

L'ichtyofaune de la station 8 est représentée par 56 espèces. La densité est de 3,26 poissons/m².

5.7.4.1.2 Le canal de la Havannah – Pointe Puka

Les deux transects de la pointe Puka étudiés par Laboute Entreprise en juin 2005 (Cf. Figure 105, station n° 5 Pointe Puka) présentent des proportions différentes de substrat abiotique (de 45 % à 62 % de la surface au sol). Le substrat biotique est majoritairement composé de coraux sub-massifs, branchus et encroûtants et d'éponges. Le taux de recouvrement général par les scléroustinaires vivants (coraux durs) varie de 20 à 45 % (7,7 à 8,3 colonies/m²) et peut atteindre 80 à 90 % par endroit au sommet des éperons. La richesse spécifique totale varie entre 31 et 32 taxa : entre 6 et 13 pour la famille des Acroporidae et 6-7 pour les Faviidae. Les familles dominantes en terme de recouvrement sont, par ordre décroissant, les Faviidae, les Pocilloporidae et les Acroporidae/Poritidae.

Cette pointe, située dans le canal de la Havannah à la sortie de la baie Kué (entre la baie Kué et la baie de Port boisé) est suivie de façon précise et quantifiée par le suivi réglementaire depuis 2007 et a été l'objet de 14 campagnes d'investigation sur une station sous-marine fixe schématisée ci-dessous (Cf. Figure 109).



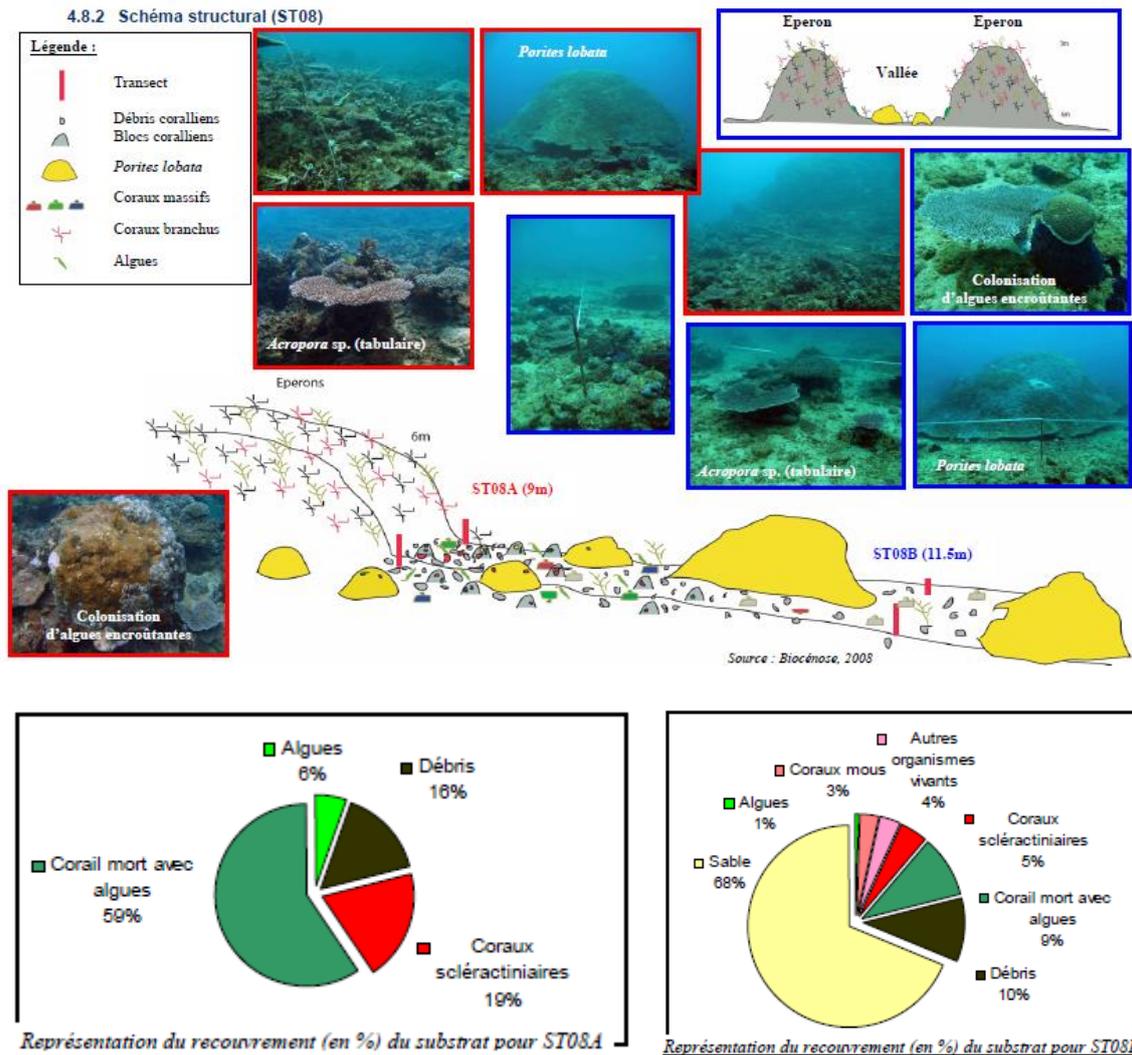


Figure 109 : Station fixe de suivi - Station ST08 à la pointe Puka en 2008

5.7.4.1.3 La ciguatera

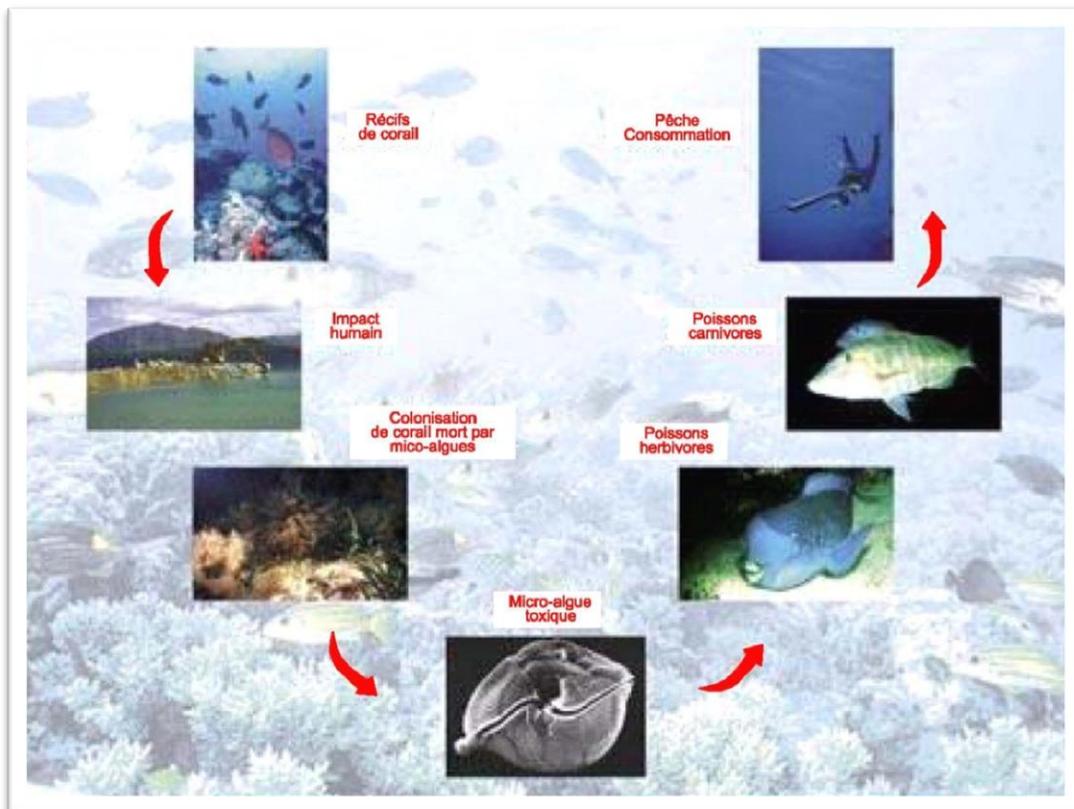
Le dinoflagellé *Gambierdiscus toxicus* est une espèce peu mobile qui dans un environnement riche en coraux vivants, existe en faible densité sans porter à conséquence sur la toxicité des poissons. En revanche, en cas de développement de grandes surfaces de coraux morts, des gazons mixtes (algues filamenteuses et calcaires, algues unicellulaires, macro-algues) s'installent et deviennent des supports privilégiés de micro-algues toxiques.

Toute perturbation entraînant la formation de substrats vierges peut conduire à une prolifération de *Gambierdiscus toxicus* et provoquer une flambée ciguatérique. Ces perturbations peuvent être naturelles (tsunamis, cyclones, séismes, volcanisme sous-marin) mais aussi anthropiques (aménagement du littoral, construction de digues, creusement de chenal, température, etc.).

La ciguatera peut être très localisée, à une portion de récif, à une passe, autour d'un bateau échoué. C'est également un phénomène évolutif, des zones saines pouvant devenir toxiques et inversement. D'après le guide pratique publié par l'IRD intitulé « Ciguatera », une flambée ciguatérique peut couvrir une période de dix à quinze ans. Une enquête statistique menée par l'ORSTOM en 1992, l'Aquarium de Nouméa et l'ITSEE auprès de la population calédonienne a

permis d'estimer que 25% de la population du grand Nouméa (soit environ 20 000 personnes) ont été intoxiqués au moins une fois par la ciguatera (Laurent et al., 1992).

Les populations de Dinoflagellées sont suivies dans la zone d'influence du projet VNC et à ce jour aucune prolifération n'a été enregistrée. Il n'y a pas eu de « flambée ciguatérique » au-delà du bruit de fond des eaux tropicales, même au moment de la construction du port de VNC en baie de Prony (qui n'a pas nécessité le creusement d'un chenal). Les algues cynophycées, qui peuvent être porteuses de toxines proches de celles qui sont responsables de la ciguatera (Cf. thèse d'Anne-Sophie Kerbrat, 2010³¹) sont aussi suivies dans la zone d'influence du projet global de VNC. Même après le passage du cyclone Vania (2011), il n'a pas été observé de prolifération de cyanophycées sur les blocs coralliens affectés et morts qui sont colonisés par des macrophytes.



Source : Ifreco

Figure 110 : Le cycle de la ciguatera

5.7.4.2 L'herbier de phanérogames de la baie de Kué

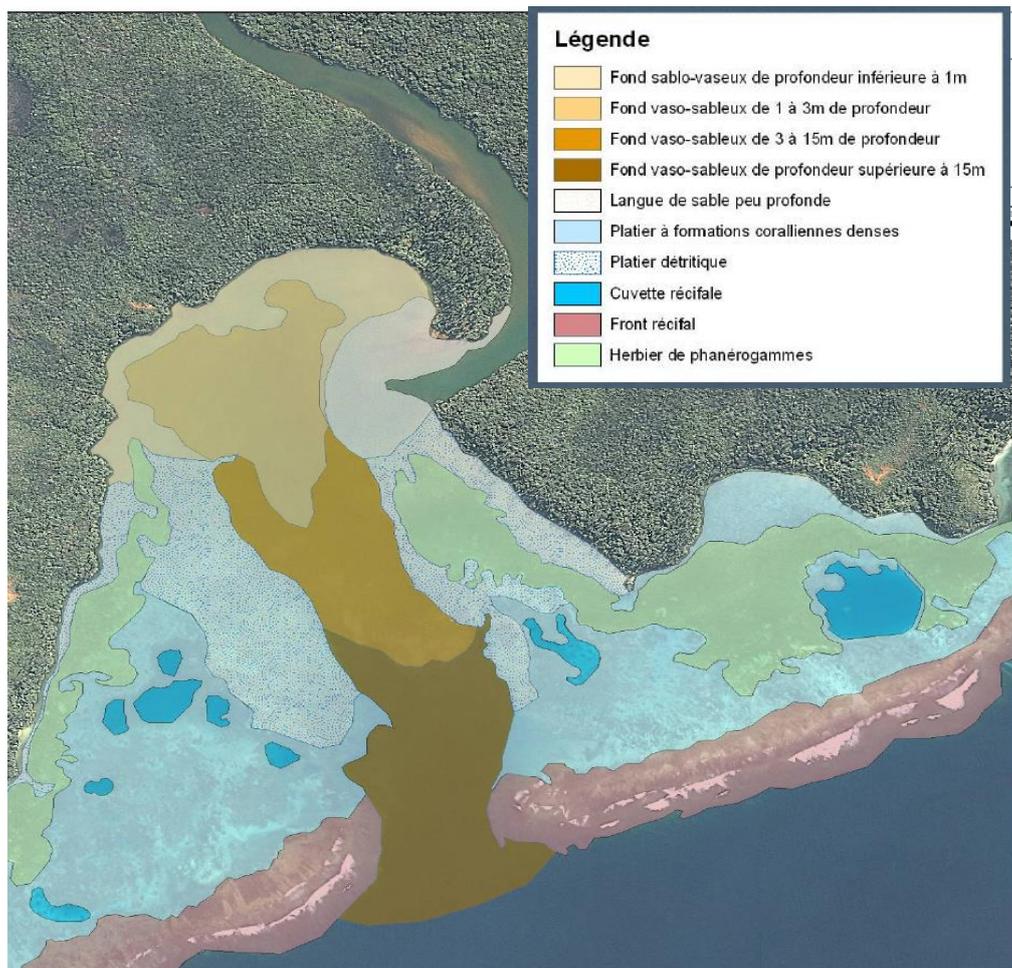
Une cartographie des unités géomorphologiques et biocénoses marines (carte bionomique) au sein de la baie de Kué a été réalisée par la société EMR en septembre 2009. Un herbier de phanérogames marines est localisé sur le platier accolé à la côte, protégé de la houle et des vagues par la présence du platier détritique et à formations coralliennes, ainsi que du front récifal. Les herbiers se développent généralement sur des milieux calmes, et celui-ci avait déjà été

³¹ Rôle des cyanobactéries dans le développement des zones ciguatériques en lien avec les impacts anthropiques, pour une meilleure gestion du risque ciguatérique (Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie/ 2010)

observé par Thollot et Wantiez en 1996. La profondeur est faible sur cette zone, en moyenne - 1m.

Les espèces dominantes sont *Cymodocea serrulata* et *Halodule uninervis*, en formations mixtes. On observe également à proximité de la côte des tapis d'*Halophila ovalis* en formation mono-spécifique. Associées aux herbiers, on peut observer des algues, notamment *Caulerpa uvilliana*, *Halimeda macroloba* et *H. taenicola*. Par endroits on rencontre également des coraux mêlés à l'herbier, en particulier des colonies de *Porites nigrescens*. Le substrat est sableux (sable grossier).

Une nouvelle évaluation de cet herbier a eu lieu en 2013 avec le positionnement de quadrats de suivi.



Source : EMR, septembre 2009

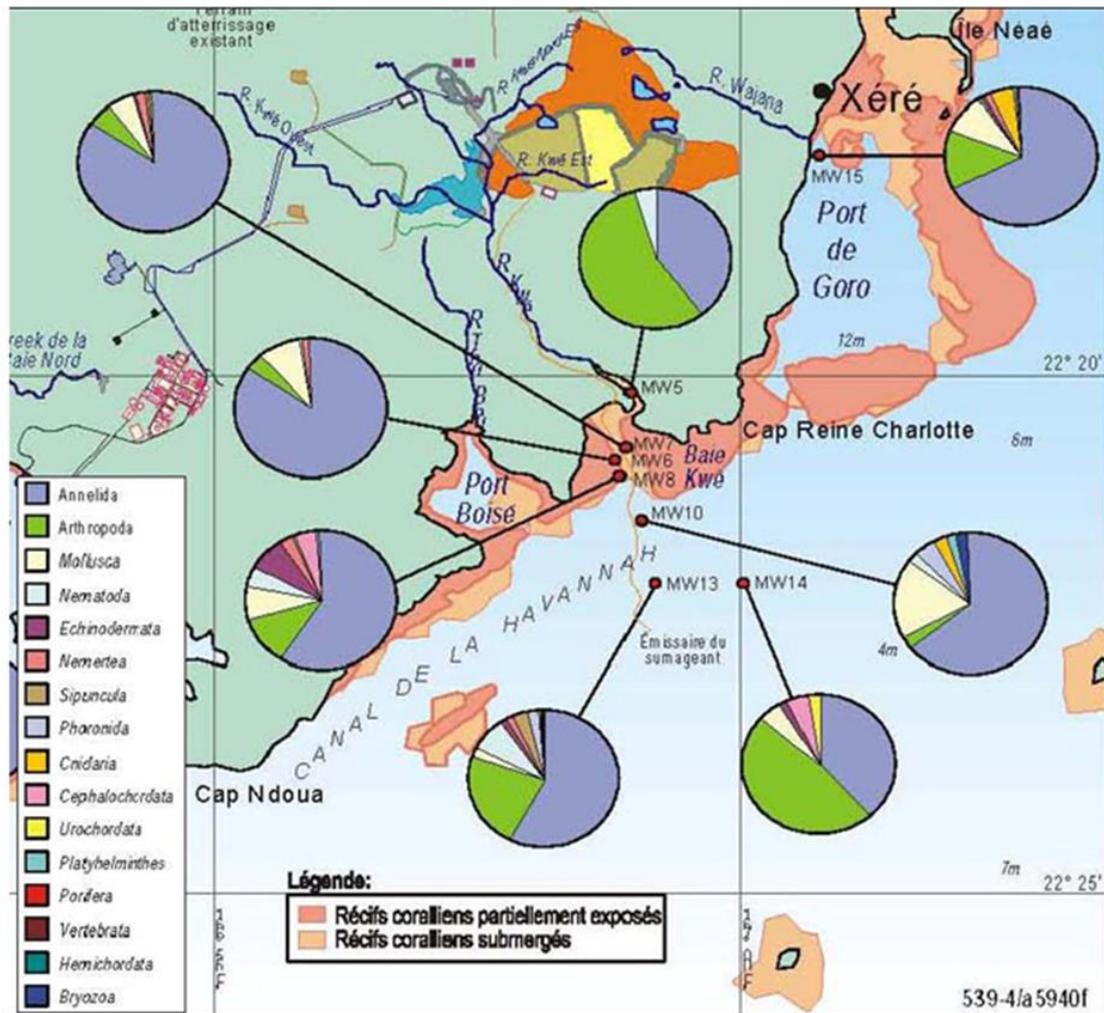
Figure 111 : Unités géomorphologiques et biocénoses marines (carte bionomique) de la baie de Kué

5.7.4.3 Les communautés benthiques

Les invertébrés marins benthiques se nourrissent (épifaune) des sédiments qui se trouvent au fond de l'océan, ou vivent dans ceux-ci (endofaune). Ils constituent une source d'alimentation importante pour certains poissons et forment ensemble un écosystème dynamique. La campagne de terrain effectuée sur le canal de la Havannah et la baie de Kué conduite par Rescan en 2000 a montré que la faune benthique était constituée en majorité par des annélides (polychètes

essentiellement) et des arthropodes. L'abondance totale variait considérablement entre les stations.

Dans les relevés effectués, la plus grande abondance correspondait à 7900 ind./m² à la station MW13 du canal de la Havannah (cf. Figure 104), soit plus du double de la deuxième station la plus abondante. L'abondance mesurée près du récif de la baie de Kué était moyenne, même si le substrat dur rendait le processus de relevé difficile. L'abondance relevée dans le port de Goro et dans la baie d'Ué correspondait aux valeurs habituellement observées dans les autres stations. Dans l'ensemble, l'abondance relative d'adultes et de juvéniles était similaire entre les stations. La Figure 112 ci-dessous présente les résultats de l'étude de la faune benthique de Rescan.



Source : Rescan, 2000

Figure 112 : Composition et abondance relative du benthos marin dans la zone de la baie de Kué et du canal de la Havannah

Tableau 68 : Synthèse de l'inventaire de la faune benthique en baie de Kué et canal de la Havannah

Invertébrés	Ilot Kié				Banc Kié				Basse Chambeyron				Banc de Ionontéa				Pointe Puka				Baie Kwé			
	Transect A		Transect B		Transect A		Transect B		Transect A		Transect B		Transect A		Transect B		Transect A		Transect B		Transect A		Transect B	
	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité	Nbre Taxa	Densité
Actiniaire (actinie)	1	0.01	1	0.02					3	XXX	2	XXX	1	XXX		XXX	1	X	1	XX	1	0.02	1	XXXX
Algue brune	1	0.07			1	XX																		
Algue rouge	1	0.1	2	0.1	1	XXX	1	XX	1	XXXXX	1	XXXX	2	XXXX		XXX	1	XX	1	XXXXX	1	XXX		
Algue verte			2	0.41			4	XXXX	1	XX			1	X		X	2	XX	1	X	6	XXXX	4	XXXXX
Anthipathaire	2	0.04	1	0.01									1	0.03										
Ascidie	5	0.31	6	0.11	8	0.51	6	1.81	8	0.31	7	0.56	8	0.39		1.35	2	0.06				1	0.03	
Bryozoaire	2	0.09	2	0.04	2	0.17	1	0.32	4	0.42	1	0.02	4	0.35		0.3								
Crustacés (crabe)													1	0.01										
Crustacés (crevette)	1	0.15																						
Cyanobactérie	1	0.02					2	XX																
Echinoderme (Asterie)	1	0.01			1	0.01	2	0.04	3	0.03	2	0.02	1	0.02		0.02					1	0.01	1	0.02
Echinoderme (Crinoïde)	3	0.05	6	0.25	9	0.53	5	2.63	4	0.09	4	0.13	2	0.02		0.14	4	0.09	2	0.02				
Echinoderme (Oursin)			2	0.02	3	0.06	3	0.03			1	0.02												
Echinoderme (Holothurie)	1	0.03			1	0.01	2	0.02	3	0.08	1	0.02	1	0.01		0.01						1	0.01	
Echinoderme (Ophiure)							1	0.2																
Hydraire	3	0.57			1	0.09			2	0.01														
Mollusque (bivalve)	4	0.04	2	0.02	1	0.05	1	0.39	2	0.04						0.02	1	0.05						
Mollusque (gastéropode)			2	0.02			4	0.1	1	0.02	1	0.02				0.02					3	0.03		
Mollusque (céphalopode)									1	0.01														
Mollusque (nudibranche)			2	0.03					1	0.01			1	0.01										
Octocoralliaire (Stolonifères)	1	0.01	1	0.01																				
Octocoralliaire (Alcyonnaire)	5	0.49	3	0.06	12	1.23	12	2.21	2	0.07	4	0.08	6	0.16		0.21	7	0.36	5	0.24	2	0.03	2	0.01
Octocoralliaire (Gorgone)	4	0.18	1	0.04	3	0.09	1	0.03	1	0.01						0.06						1	0.04	
Spongiaire	5	0.3	1	0.03	4	0.6	3	0.09	8	0.66	3	0.14	8	1.14		0.98	4	1.13	3	0.52	1	0.36	3	1.28
Stylaster							1	0.02																
Ver (Polychète)	1	0.55	1	0.4	1	0.2	2	0.08					2	0.52	1	0.06	1	0.11						
Zoanthaire	1	0.01			1	0.2	1	0.13	1	0.05	1	0.02			1	0.03					1	0.01		
TOTAL	43	3.03	35	1.57	49	3.75	52	8.1	46	1.81	28	1.03	39	2.66	35	3.2	23	1.8	13	0.78	16	0.45	14	1.39

Source : Laboute, 2005

 Note : densité en individus/m²

5.7.4.4 Les poissons

Le tableau ci-après présente les résultats de l'inventaire ichthyologique réalisé en 2000 par A2EP/Rescan au droit du canal de la Havannah et de la baie de Kué (Cf. Figure 106).

Tableau 69 : Inventaire de la faune ichthyologique

Zone	Nbre d'espèces / densité totale poissons/m ²	Densité - espèces majeures	Biomasse g/m ²	Biomasse – espèces majeures
Baie de Kué Sud-est	32 / 2,14	<i>Pomacentrus pavo</i> (35,2 %) <i>Acanthurus blochii</i> (12,1 %)	303,4	<i>Acanthurus blochii</i> (61,6 %) <i>Scarus flavipectoralis</i> (26,9 %)
Baie de Kué Nord-est	38 / 4,35	<i>Caesio caerulea</i> (20,7 %) <i>Neopomacentrus azysron</i> (17,1 %) <i>Chrysiptera rollandi</i> (11,7 %)	217,3	<i>Lutjanus fulviflamma</i> (32,1 %) <i>Caesio caerulea</i> (26,5 %)
Baie de Kué Nord-ouest	24 / 0,97	<i>Neopomacentrus azysron</i> (17,7 %) <i>Pomacentrus pavo</i> (11,9 %) <i>Thalassoma lunare</i> (10,6 %) <i>Pomacentrus philippinus</i> (10,4 %)	10,1	<i>Epinephelus merra</i> (20,4 %)
Baie de Kué Sud-Ouest	58 / 2,88	<i>Pomacentrus Moluccensis</i> (32,6 %) <i>Scarus sordidus</i> (11,3 %)	85	<i>Acanthurus blochii</i> (17,9 %)
Canal Woodin	53 / 13,7	<i>Pomacentrus smithi</i> (57 %)	514,6	<i>Scomberomorus commerson</i> (53,1 %) <i>Scarus flavipectoralis</i> (13,3 %)
Baie de Goro	56 / 3,26	<i>Chromis Viridis</i> (17,3 %) <i>Caesio caerulea</i> (16,4 %) <i>Dascyllus aruanus</i> (12,7 %) <i>Pomacentrus moluccensis</i> (11,8 %) <i>Scarus sordidus</i> (6,1 %)	1912,5	<i>Trianodon obesus</i> (88,9 %)

Source : A2EP/Rescan, 2000

5.7.4.5 Les tortues

L'Association pour la sauvegarde de la nature de Nouvelle-Calédonie (ASNNC) a réalisé une étude sur les tortues marines de Nouvelle-Calédonie entre mai 2002 et septembre 2003. Les données présentées ci-dessous sont issues de cette étude. L'IUCN les a classées en fonction des menaces qui pèsent sur elles selon trois catégories.

Tableau 70 : Classement des tortues marines menacées

Classement de l'IUCN	Espèces
Gravement menacée d'extinction	Tortue luth Tortue imbriquée
Menacée d'extinction	Tortue verte Tortue noire Caouanne Tortue olivâtre
Vulnérable	Tortue à dos plat

L'ASNNC suit les populations marines de Nouvelle-Calédonie depuis 1989. Sur les sept espèces de tortues marines que compte la région Pacifique, quatre sont présentes de manière régulière dans les eaux calédoniennes :

- la tortue verte, la caouanne et la tortue imbriquée qui s'alimentent et se reproduisent en Nouvelle-Calédonie ;
- la tortue luth qui ne traverse les eaux calédoniennes que lors de sa migration entre les sites de ponte et les sites d'alimentation.

Le rapport d'étude de l'ASNNC indique qu'il est probable que la tortue olivâtre fréquente également les eaux calédoniennes car son aire de répartition est très étendue, mais cela reste à confirmer.

La très grande majorité des sites montrant une activité de ponte significative se situe sur les îlots des lagons Ouest et Nord, les îles Loyauté (en particulier Ouvéa et les Pleïades) et le site de la Roche Percée à Bourail (environ 140 nids pendant la saison de ponte 2003-2004, ce qui représenterait une quarantaine de femelles). Le Sud calédonien ne semble pas concerné par la ponte.

5.7.4.6 Les mammifères marins

Plusieurs espèces de mammifères marins ont été observées et recensées dans les eaux du lagon Sud. Les deux ordres de mammifères marins identifiés sont les siréniens et les cétacés. Le Tableau 71 ci-dessous présente la liste des espèces de mammifères marins recensés dans la zone du projet. Certaines de ces espèces (grand cachalot et petit rorqual) sont rarement observées. La baleine bleue, la baleine à bec de Blainville et le cachalot pygmée n'ont été rencontrés qu'à l'occasion d'échouages.

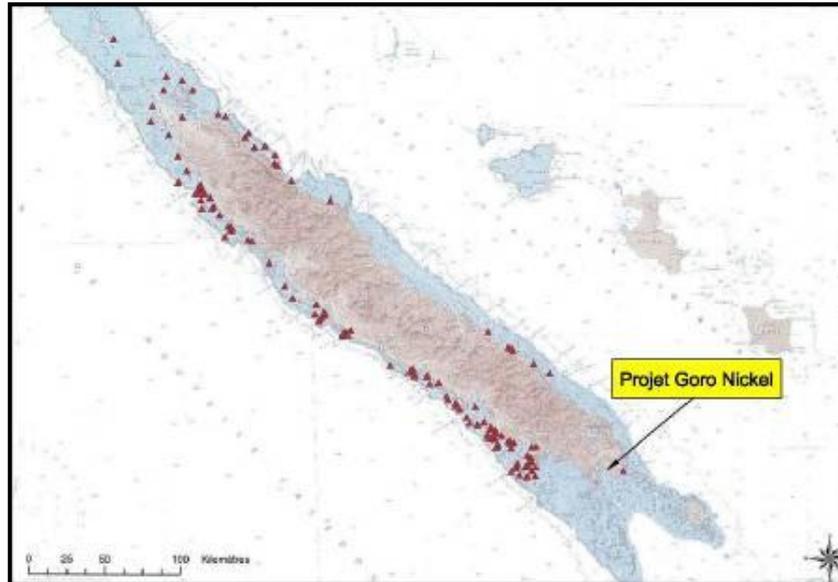
Tableau 71 : Mammifères marins recensés dans la zone du projet

Ordre	Famille	Nom scientifique	Nom commun
Cétacés	Balaenopteridae	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Petit rorqual, rorqual à museau pointu, baleine de Minke
		<i>Balaenoptera musculus</i>	Baleine bleue, rorqual bleu
		<i>Megaptera novaeangliae</i>	Baleine à bosse, rorqual à bosse
	Physeteridae	<i>Physeter macrocephalus</i>	Grand cachalot
	Kogiidae	<i>Kogia breviceps de Blainville</i>	Cachalot pygmée
	Ziphiidae	<i>Mesoplodon densirostris de Blainville</i>	Baleine à bec de Blainville
	Delphinidae	<i>Tursiops aduncus</i>	Grand dauphin de l'Indo-Pacifique
Siréniens	Dugongidés	<i>Dugong dugong</i>	Dugong, vache marine

Source : Opération Cétacés

- Les siréniens

La seule espèce de siréniens vue dans le lagon est le Dugong (*Dugong dugon*) ou vache marine, un parent du lamantin. Cette espèce est classée comme 'vulnérable' par l'IUCN. La carte suivante présente la distribution générale des dugongs autour de la Grande Terre. L'extrême Sud de la Grande Terre ne semble pas très propice à cette espèce, une seule station est repérée à proximité de Goro.



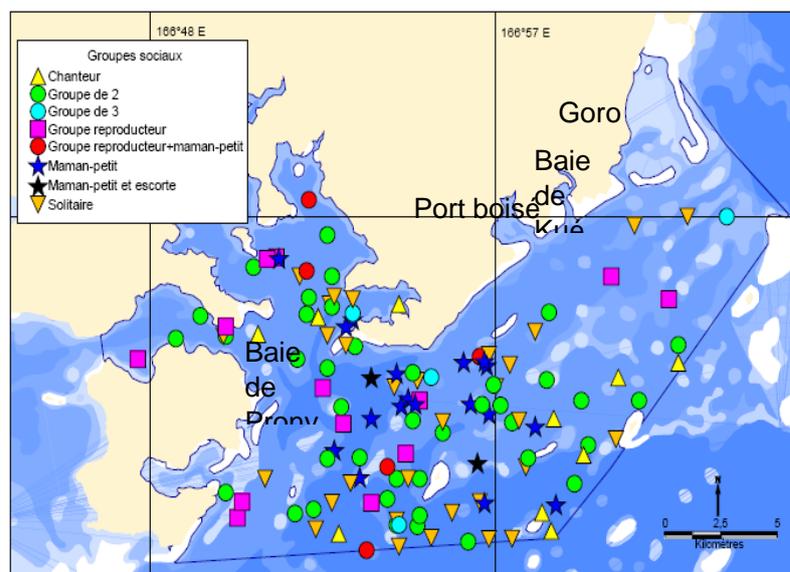
Source : Garrigue, 2003

Figure 113 : Distribution générale des dugongs autour de la Grande Terre, 2-30 juin 2003

- Les cétacés

Les baleines

Sept espèces de cétacés fréquentent couramment les eaux du Sud de la Nouvelle-Calédonie, toutefois il est probable que d'autres espèces soient observées dans cette zone (Opérations Cétacés), car aucune des espèces répertoriées n'y est confinée, ces espèces ayant une aire de distribution mondiale.



Source : Bio&Sea

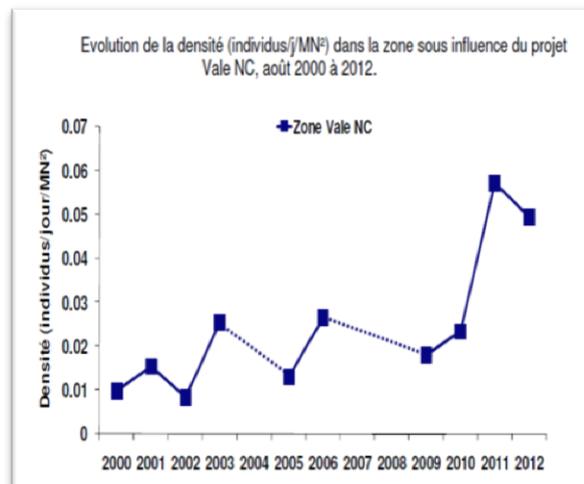
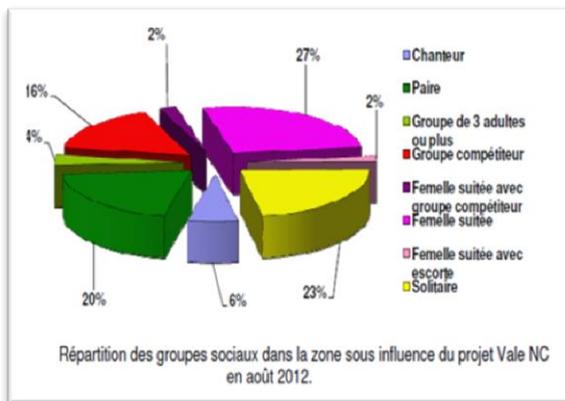
Figure 114 : Distribution spatiale des baleines (2000-2005)

Si la baleine à bosse, ou *Megaptera novaeangliae*, est aujourd'hui le point de mire de l'industrie touristique dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie, jusqu'en 1991 la présence et la distribution des

baleines à bosse en Nouvelle-Calédonie n'étaient pas bien documentées et les études scientifiques étaient rares. En 2010 VNC s'est associé à la province Sud dans le cadre d'une étude des populations de baleines dans le grand Sud calédonien. Chaque année VNC prend l'initiative de soutenir une étude sur la fréquentation des baleines lors de leur présence saisonnière dans la zone d'influence potentielle du projet global.

Les baleines à bosse sont le plus souvent observées dans le lagon Sud de la Grande Terre entre juillet et septembre, et c'est au mois d'août qu'elles sont en plus grand nombre. VNC a demandé à « Opération Cétacé/Bio&Sea » une étude saisonnière sur la population de baleines qui fréquente la zone proche du projet VNC, durant plusieurs années (entre 2005 et 2012), cette population a été identifiée comme en tendance haussière.

Les figures suivantes présentent la distribution spatiale de baleines dans la zone du projet VNC entre 2000 et 2005 et leur distribution en 2012.



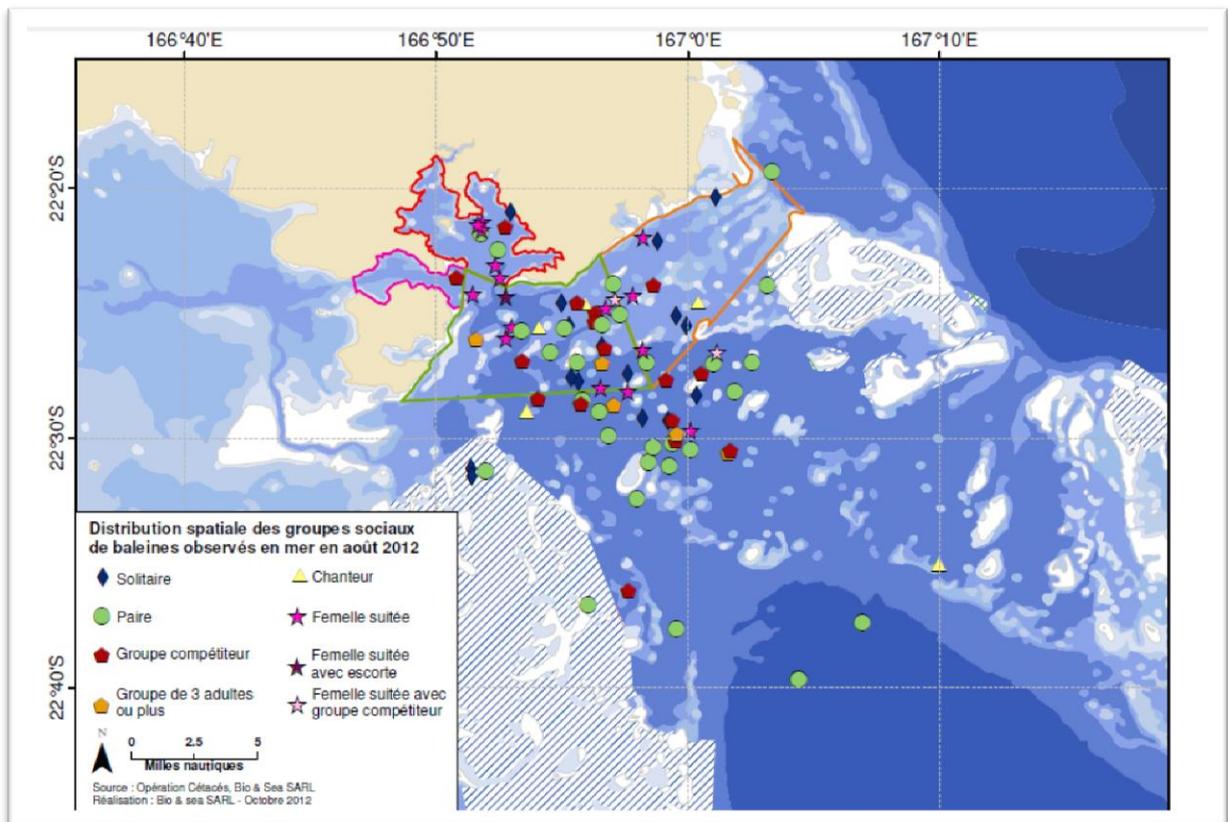


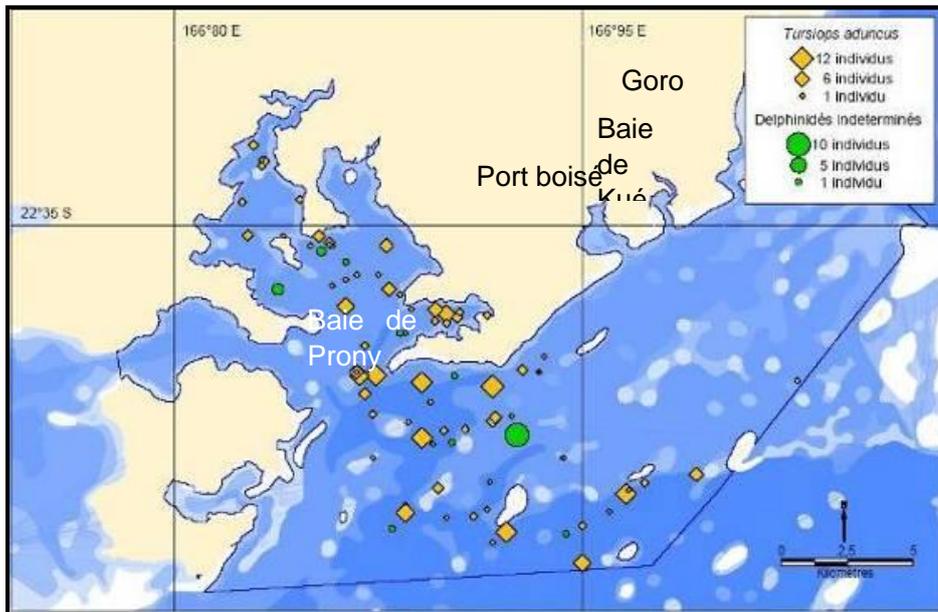
Figure 115 : Distribution spatiale des groupes sociaux observés en août 2012

La présence d'individus accompagnés de jeunes (de petite taille, à peau claire et aux mouvements non coordonnés) ainsi que les observations d'un comportement de reproduction au sein des groupes sans jeune laissent supposer que les baleines à bosse migrent vers la Nouvelle-Calédonie et le lagon Sud pour se reproduire et mettre bas. Ces observations suggèrent que les eaux du lagon Sud sont propices au vèlage, peut-être en raison des profondeurs appropriées et des récifs et des îlots offrant protection. Les baleines à bosse ne se nourrissent pas durant cette période dans le lagon Sud.

Les comptages effectués dans la zone d'influence du projet global VNC mettent en évidence une tendance à l'accroissement de la population de baleines à bosse depuis 2000.

Les dauphins

Le grand dauphin de l'Indo-Pacifique (*Tursiops aduncus*) est régulièrement observé par Opération Cétacés en baie de Prony et dans la partie Ouest du canal de la Havannah (voir figure ci-dessous). Le nombre d'individus dénombré chaque année est compris entre 35 et 54. Les données collectées sur les grands dauphins de l'Indo-Pacifique ont montré que quelques individus ont été observés à plusieurs années d'intervalle dans la zone du projet. Ceci indique, d'après Opération Cétacés, que l'espèce est probablement résidente de la zone.



Source : Opération Cétacés

Figure 116 : Distribution des delphinidés dans la zone du projet de 1991 à 2005

5.7.5 Tendance évolutive

5.7.5.1 Positionnement des stations de suivi

Les douze stations sous-marines fixes de suivi sont localisées sur la figure suivante.

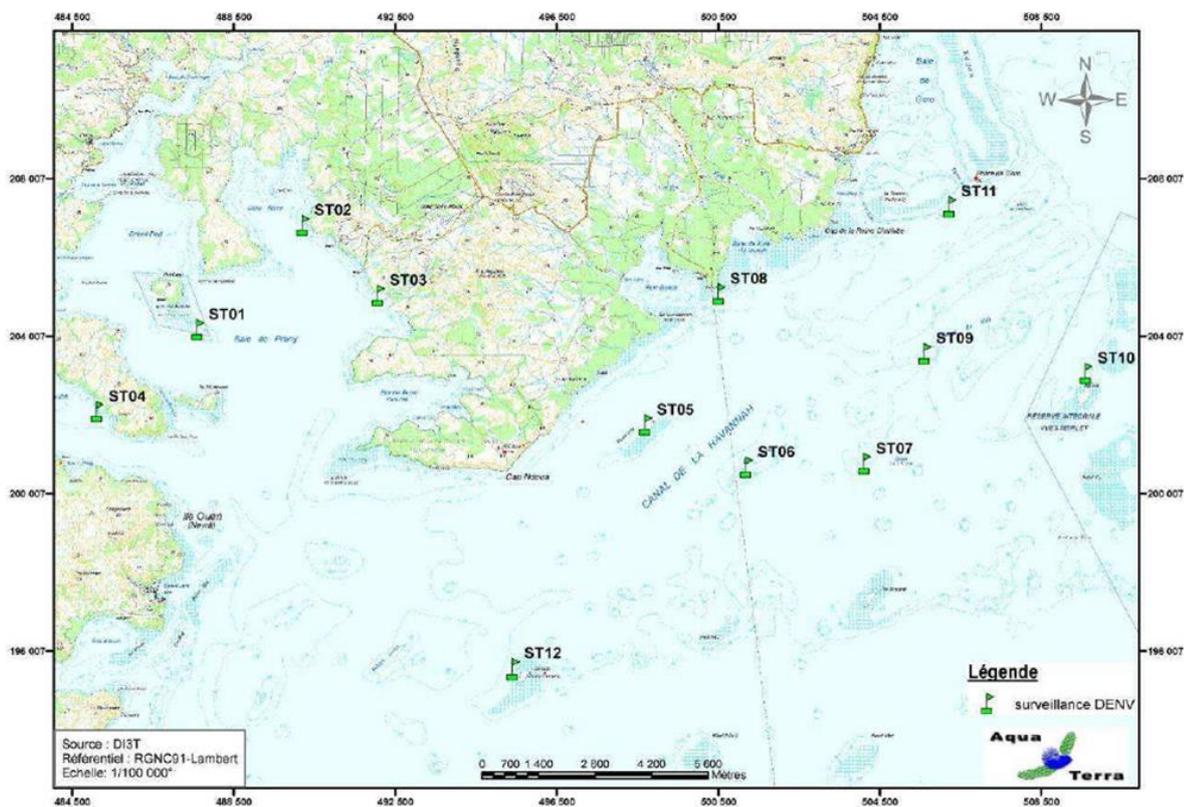


Figure 117 : Localisation géographique des stations sous-marines fixes de suivi des écosystèmes récifaux et des peuplements de poissons associés

Remarque : l'effort de suivi porte sur un périmètre plus large, notamment en baie du Prony et dans la zone de la baie Kué et du canal de la Havannah

5.7.5.2 Paramètres suivis

Les paramètres ci-dessous sont suivis :

- le substrat (selon la méthode LIT) ;
- le macro et épi-benthos ;
- les poissons (densité, biomasse et biodiversité) ;
- la bioaccumulation des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées dans 8 cages sous-marines.

La figure suivante présente une station sous-marine à titre d'exemple.

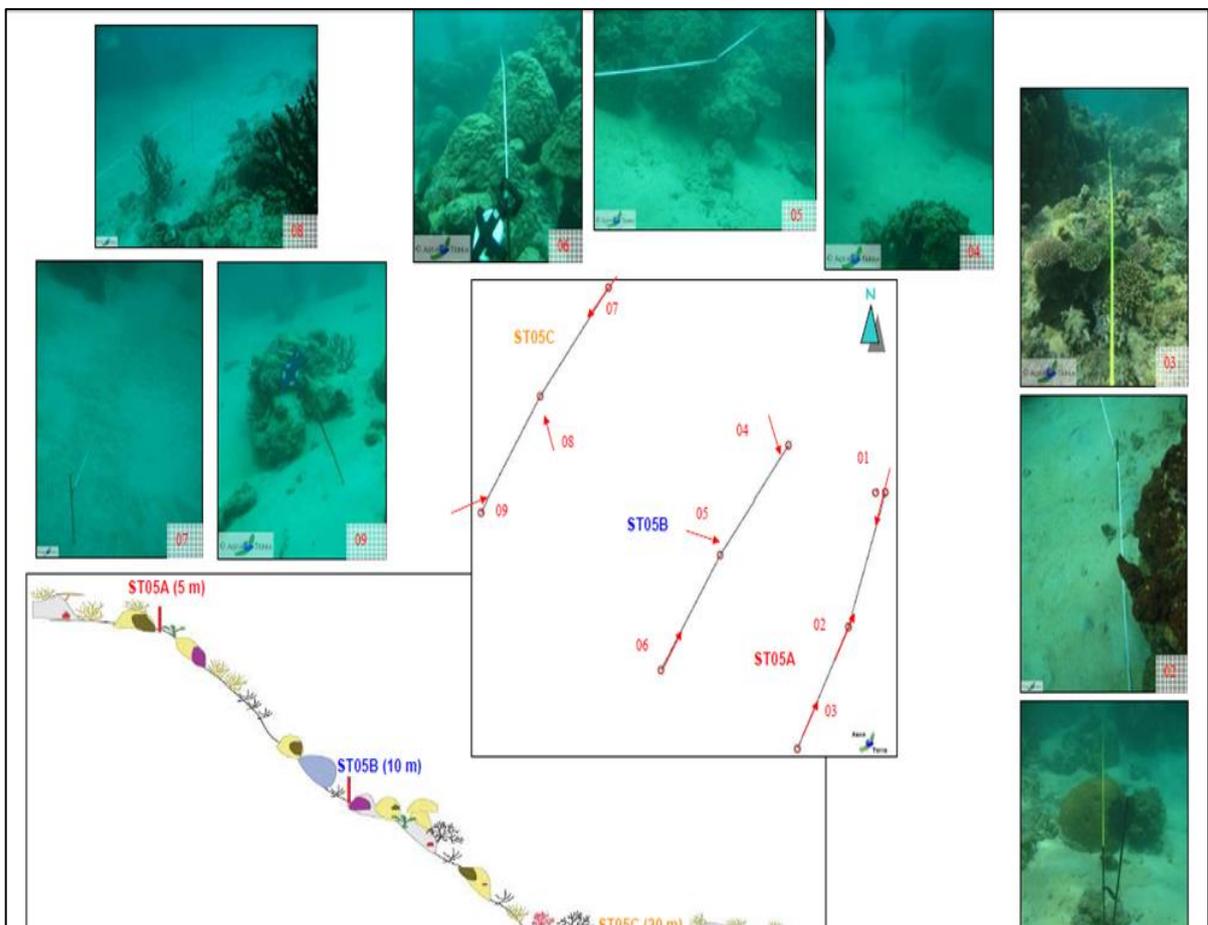


Figure 118 : Exemple de schéma structural d'une station sous-marine de suivi : la station ST05 dans le canal de la Havannah au niveau du récif Loro

VNC complète ce suivi par :

- la surveillance d'éventuelles espèces exogènes. Un plan de veille des espèces exotiques envahissantes est en place sur le site VNC. Cette veille concerne aussi le milieu marin ;
- le suivi des cyanobactéries et de l'évolution saisonnière et pluriannuelle de leur couverture ;

- le suivi des algues macroscopiques et de l'évolution saisonnière de leur couverture ;
- le suivi du corail et de son éventuel blanchissement, notamment après les fortes dépressions tropicales ;
- le suivi des étoiles de mer ravageuses du corail ;
- le suivi, avec iconographie associée, de certaines colonies coralliennes géo-référencées avec évaluation de leur croissance ;
- vidéo et iconographie du suivi par transect à titre d'archivage ;
- suivi sanitaire des poissons et des coquillages de consommation.

5.7.5.3 Référentiel

Pour le suivi du milieu marin il n'y a pas de dépassement de seuil réglementaire proprement dit, ne s'agissant pas d'émissions sujettes à des seuils mais de la santé des écosystèmes (milieux récepteurs). Les référentiels sont les suivants :

- états de référence observés avant le développement du projet ;
- guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, CNRT, 2011 ;
- bases de données issues des missions de suivi antérieures.

5.7.5.4 Tendances évolutives

Les comparaisons temporelles se font depuis 2007 grâce aux missions semestrielles fidèles à la même méthodologie. Les résultats sont présentés ci-dessous.

5.7.5.4.1 Substrat

Les variations apparaissant sont peu nombreuses, et dues à des variations du recouvrement biotique résultant d'une hausse du substrat "corail mort avec algues", au détriment du sédiment (sable ou vase) précédemment rencontré. Le recouvrement en coraux scélacliniens³² (fourchette de variation entre -4.0 % et +14.5 %), avec une tendance générale qui semble être une légère hausse (+2.3 %), excepté sur le point Puka.

5.7.5.4.2 Benthos et coraux scélacliniens

La richesse spécifique corallienne augmente au fur et à mesure des missions, notamment entre 2009 et octobre 2012. La petite baisse de diversité en mars 2011 est corrélée aux dépressions Vania et Zelia qui se sont déroulées en début d'année 2011. On constate une stabilité suite à cet événement dépressionnaire, le récif se régénérant progressivement (septembre 2011, mars 2012 et octobre 2012). Début 2013, un nouvel événement dépressionnaire est enregistré avec le cyclone Freda. Le graphe suivant indique l'évolution temporelle des coraux durs.

³² Coraux scélacliniens : coraux durs bâtisseurs de récifs

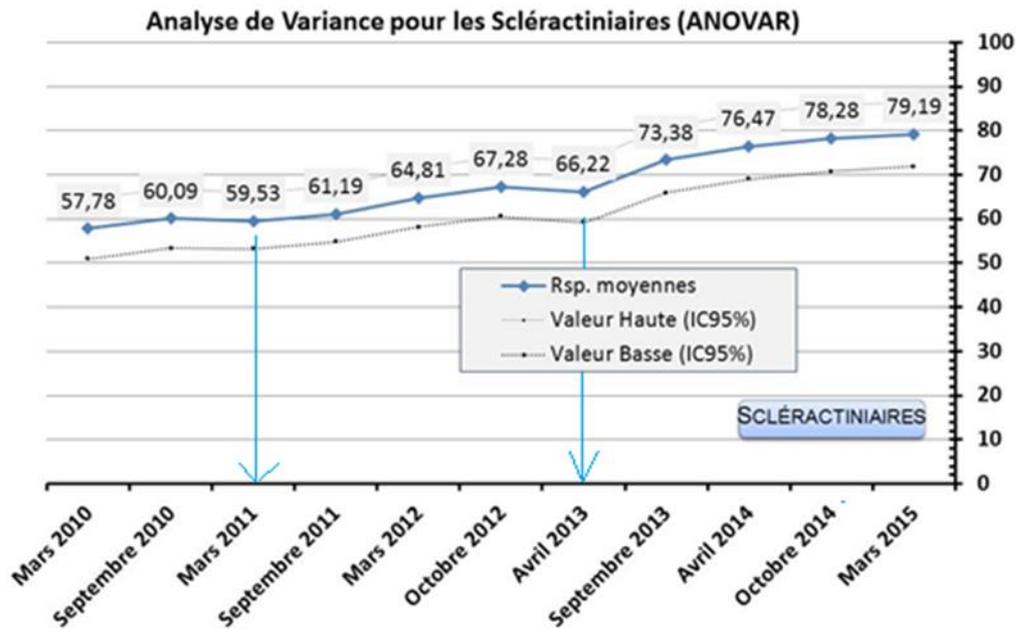


Figure 119 : Valeur de la richesse spécifique (nombre d'espèces de coraux durs par couloir inventorié) moyenne des coraux durs (scléractiniaires) depuis 2007 et jusqu'au premier semestre 2015

5.7.5.4.3 Pour les Invertébrés (sauf le corail dur)

Le graphe suivant indique leur évolution temporelle :

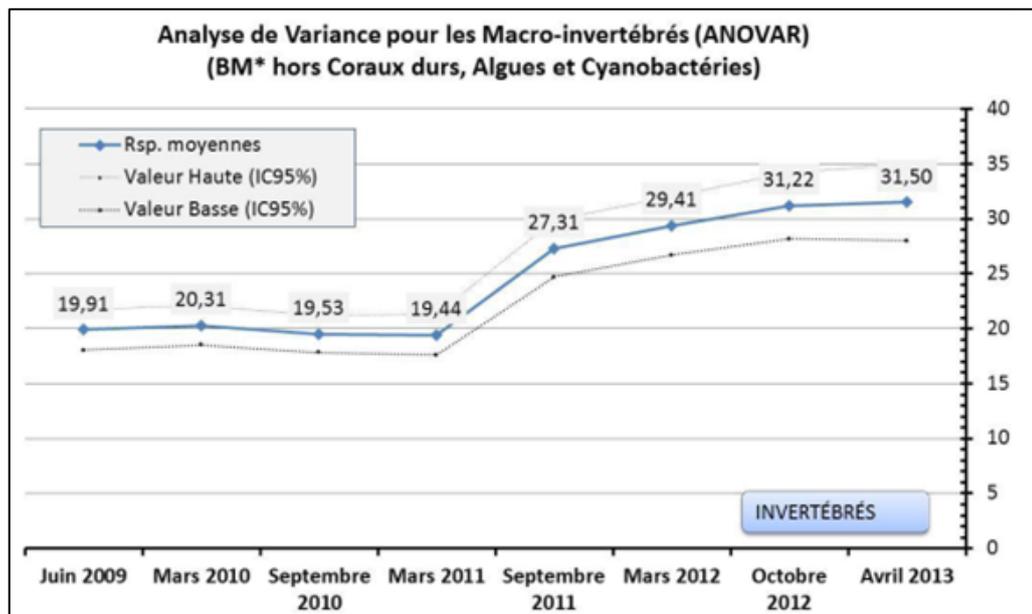


Figure 120 : Analyse de la variance de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) sur tous les transects depuis 2009

Il a été observé une augmentation très importante de la diversité pendant la mission de septembre 2011 car les invertébrés ont recolonisé les récifs suite aux événements dépressionnaires du début de l'année.

5.7.5.4.4 Algues dites macrophytes

La richesse spécifique et l'abondance des algues sont très variables dans l'année et dans le temps et dépendent :

- 1) du cycle de développement des espèces ;
- 2) des variations des paramètres environnementaux (saisonnalité) ;
- 3) du degré d'exposition des récifs par rapport aux agents hydrodynamiques ;
- 4) des facteurs environnementaux exceptionnels tels que les évènements dépressionnaires et les phénomènes climatiques.

Elles font l'objet d'un suivi attentif et leur évolution fait l'objet du rapport *Synthèse des données sur les algues, évolution spatiale et temporelle en baie du Prony, canal Woodin et canal de la Havannah de 2007 à 2012*.

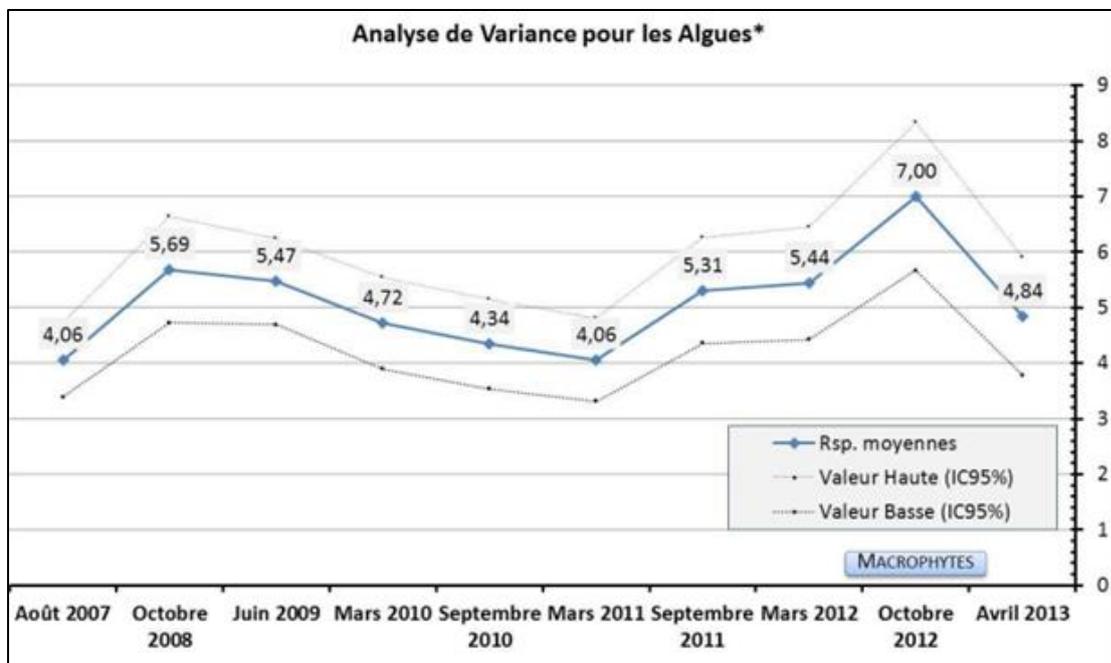


Figure 121 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2007

5.7.5.4.5 Coraux

La santé des coraux est suivie avec attention grâce à la participation d'une spécialiste des coraux calédoniens aux missions de suivis depuis 2008. Abondance, mortalité, richesse spécifique, recrutement et blanchissement coralliens sont les paramètres de l'évaluation de la santé du récif. Les phénomènes observés sont les suivants :

- **le recrutement corallien** : il comprend les nouvelles espèces recensées sur le couloir d'étude et l'augmentation d'une espèce déjà présente grâce à des juvéniles nouvellement installés ;
- **la mortalité** : elle est détectée par les exosquelettes restés en place et la connaissance du milieu par un évaluateur qui le connaît depuis de nombreuses missions notamment en baie de Prony ;
- **le blanchissement corallien** : il est potentiellement réversible et différemment ressentis par les espèces. Il est à prendre en compte car il donne des indications sur l'affaiblissement des récifs. Les colonies blanchies ne sont pas vouées à mourir car leur

résilience est importante et elles peuvent réintégrer rapidement leur zooxanthelles si les conditions environnementales redeviennent meilleures. La coloration des coraux varie selon les espèces et ne peut pas être un indicateur universel facile de blanchissement pour tous les coraux ;

- les maladies du corail dont celle dite “de la bande blanche”.

Le phénomène de blanchissement tend à s’amoinrir par résilience après le passage d’une dépression cyclonique qui affecte des écosystèmes par effets de cassures mécaniques (dans les zones de fort hydrodynamisme) et par dessalure dues à la forte pluviométrie (en zones côtières). Les colonies coralliennes réintègrent leurs zooxanthelles et le blanchissement s’estompe, si le stress perdure le blanchissement conduit à la mort des polypes. Dans les baies abritées les coraux sont d’espèces adaptées qui résistent à la sédimentation et à la dessalure et le blanchiment s’estompe rapidement après une forte dessalure. Dans le canal de la Havannah la résilience est plus lente car les cassures évoluent vers les bas de pente et les récifs dont les coraux sont adaptés un fort ressac quasi-continu résistent mieux aux cyclones.

Aucune prolifération des prédateurs corallivores, ni d’algues ou de cyanobactéries, n’a été enregistrée même à la suite des dépressions cycloniques de 2011 et 2013.

5.7.5.4.6 Poissons

Les indicateurs suivis sont la densité des individus par mètre carré sur chaque couloir de chaque station, la biomasse calculée des poissons et leur biodiversité selon une liste de poissons cibles (selon la méthodologie imposée par les arrêtés ICPE). La figure suivante synthétise une analyse de la variance des densités moyennes (individus/m²) dans le canal de la Havannah sur toutes les campagnes depuis 2007.

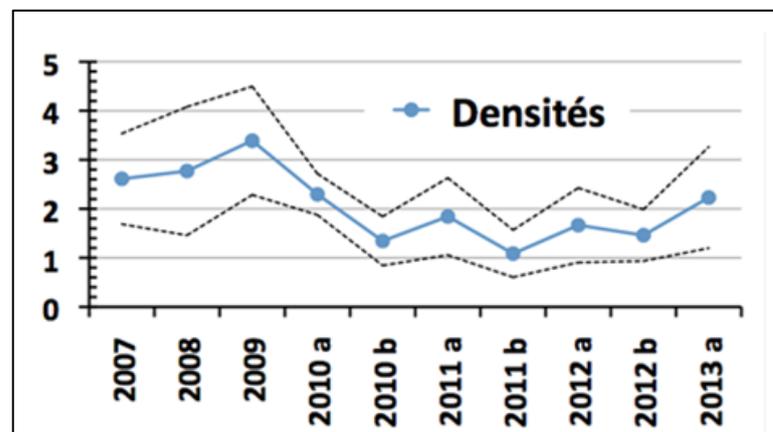


Figure 122 : Evolution des densités ichtyologiques moyennes depuis 2007

En ce qui concerne la densité, la série historique apparaît comme étant divisée en deux : une partie avec des valeurs hautes (2007-08-09-10a), et une partie avec des valeurs plus basses (2010b-11a-11b-12a et 12 b). La méthode est très sensible à la position des poissons par rapport à la ligne de transect et surtout à la position des bancs, comme les bancs de *Caesio* par exemple, qui sont très mobiles à l’échelle du transect.

Les bancs, ou nuages, de *Pomacentridés* peuvent se placer plus ou moins loin du transect et leur recrutement est plus ou moins récent. Ils sont également responsables d’une part importante de ces variations sans pour autant faire varier grandement la biomasse (Rapports ACREM, Claude Chauvet).

La figure suivante synthétise une analyse de la variance des biomasses (g/m^2) moyennes sur toutes les campagnes dans le canal de la Havannah.

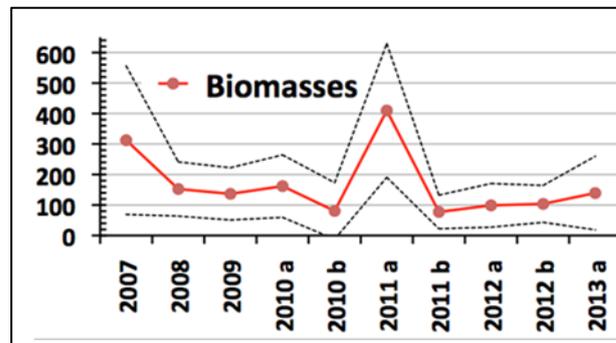


Figure 123 : Evolution des biomasses ichtyologiques moyennes depuis 2007

L'analyse des variances de la biodiversité (les espèces de la liste restreinte, sur les transects) pour toutes les campagnes est présentée sur la figure suivante, pour le canal de la Havannah.

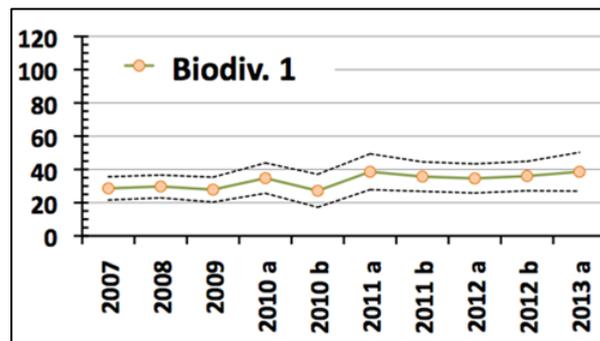


Figure 124 : Evolution des biodiversités ichtyologiques moyennes depuis 2007

Compte tenu de l'importance des intervalles de confiance, les résultats sont à considérer comme stables depuis 2007. Ces résultats sont confirmés lors des campagnes 2014 et 2015.

6 MILIEU BIOLOGIQUE TERRESTRE

6.1 SIGNIFICATION GLOBALE DE LA BIODIVERSITE CALEDONIENNE

La Nouvelle-Calédonie possède une biodiversité exceptionnelle et un très fort taux d'endémisme. De nombreuses espèces endémiques, animales et végétales, y sont répertoriées et contribuent à la richesse patrimoniale du milieu naturel calédonien.

Toutes les formations naturelles terrestres présentent un taux d'endémisme particulièrement élevé aussi bien pour la flore que pour la faune terrestre (entre 75 et 80 %). Cette situation résulte de l'isolement très ancien d'un fragment du continent Gondwana, il y a 70 millions d'années, au Crétacé, et des contraintes liées à la nature des sols qui ont favorisé l'adaptation et la spéciation des organismes.

Le nombre d'espèces terrestres endémiques est supérieur à celui de l'Europe entière. Aussi la Nouvelle-Calédonie est considérée comme faisant partie des quatre premiers territoires au monde en matière de biodiversité. Le classement de la Nouvelle-Calédonie parmi les **34 zones prioritaires ("hotspots")** pour la préservation de la biodiversité terrestre planétaire est dû en grande partie aux particularités de sa flore.

La flore de Nouvelle-Calédonie comprend environ 3350 espèces de plantes vasculaires autochtones et son taux d'endémisme est de 74 % (Morat *et al*, 2010). Elle est reconnue comme une des flores les plus originales de la planète.

La flore des terrains miniers contribue pour une part majeure à la richesse et surtout à l'originalité de la flore de la Nouvelle-Calédonie, reconnue également comme un des principaux "hotspots" mondiaux des flores métallophytes (plantes capables de se développer sur des sols riches en métaux phytotoxiques) (Whiting *et al*, 2004).

La faune de Nouvelle-Calédonie, encore incomplètement explorée pour certains groupes, est également originale avec une forte endémicité. On recense actuellement près de 5000 espèces pour la faune terrestre, dont la majorité (90 %) est constituée par les arthropodes dont l'inventaire n'est pas achevé. Les mammifères autochtones sont très faiblement représentés.

Devant l'importance de l'endémisme et la fragilité des milieux qui abritent la faune et la flore, les espèces animales ou végétales introduites représentent un risque majeur. Ces espèces introduites peuvent s'implanter massivement et durablement et entrer en compétition avec les espèces indigènes et/ou endémiques. Les cas les plus généralement cités sont le cerf rusa, la fourmi électrique, mais aussi les rongeurs, les chiens et les chats errants qui ont un impact élevé sur la faune et ou la flore endémique.

6.2 LES AIRES PROTEGEES TERRESTRES

 Voir Atlas Carte C36- Carte des aires protégées terrestres et maritimes

La protection de la faune et de la flore au sein des parcs et des réserves terrestres est l'une des priorités de la province Sud. Les aires protégées présentes dans l'aire d'influence du projet (notre aire d'étude) ou en périphérie immédiate sont les suivantes :

- la réserve naturelle du Pic du Grand Kaori ;
- la réserve naturelle de la Forêt Nord ;
- la réserve naturelle du Cap N'Dua.

6.3 ESPECES MENACEES D'EXTINCTION DANS LE GRAND SUD

Dans le Sud calédonien un nombre important d'espèces végétales et animales sont identifiées comme rares et/ou menacées et bénéficient d'un régime de protection au niveau calédonien et/ou au niveau international. L'établissement du statut de menace et de protection des espèces doit intégrer les classifications suivantes :

En Nouvelle-Calédonie

La province Sud a édité une liste des espèces animales ou végétales protégées, consultable dans le code de l'environnement et régulièrement mise à jour.

Au niveau international

La Convention de Washington sur le commerce international des espèces de faune et flore menacées d'extinction (CITES) produit une liste d'espèces protégées et énumère 147 espèces végétales en Nouvelle-Calédonie susceptibles d'être menacées d'extinction et dont le commerce international est interdit et potentiellement sanctionné.

L'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) propose une Liste rouge des espèces menacées, régulièrement mise à jour à l'aide d'un réseau mondial d'experts. Cette liste utilise une classification selon plusieurs niveaux de menace jusqu'à l'extinction avérée. Le statut des espèces selon les critères de référence établis par l'UICN est présenté en Figure 125.

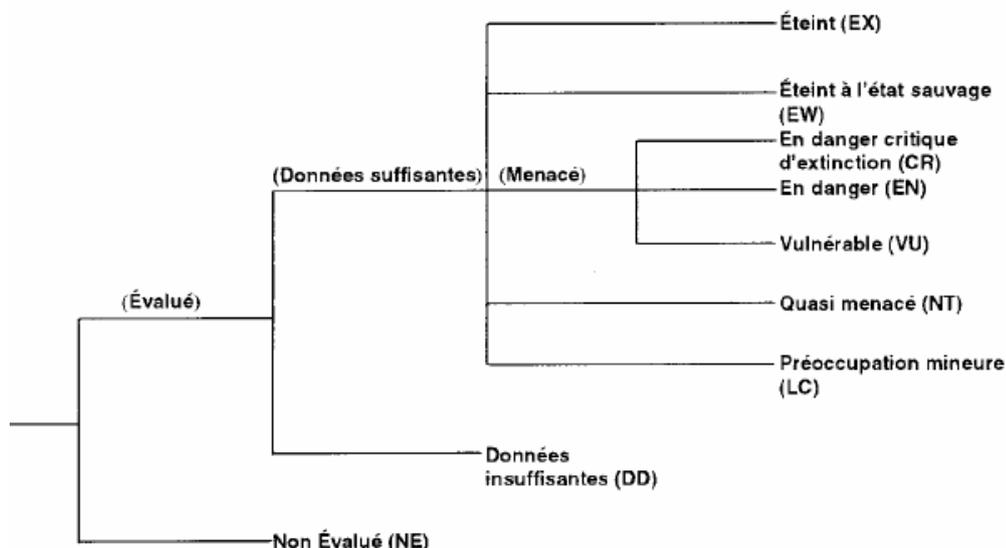


Figure 125 : Statut des espèces sur l'aire du projet selon l'UICN

Les listes rouges de l'UICN citées dans ce document sont celles de 1994, 2006 et la dernière, révisée en 2015 (version 2015.3).

Compte tenu de l'existence de familles taxonomiques non complètement décrites (*Rubiaceae*, *Araliaceae*, *Myrsinaceae*) et de familles en cours de révision (*Myrtaceae*, *Sapotaceae*) en Nouvelle-Calédonie, le statut UICN des espèces existantes dans l'aire du projet VNC est basé sur les critères publiés par Morat *et al* (1986, 1994), Jaffre *et al* (1998 b), Jaffre (2000) ; Jaffre *et al* (2004), Munzinger *et al* (2004), Munzinger *et al* (2005), Munzinger *et al* (2006). Il est à noter que certaines espèces sont listées par l'UICN avec un statut de rareté, mais qu'elles n'apparaissent pas dans le code de l'environnement de la province Sud, et inversement.

6.4 VEGETATION ET HABITATS

☞ Voir Atlas Carte C36– Aires protégées, terrestres et marines

☞ Voir Atlas Carte C37– Groupements végétaux de la zone du projet

☞ Voir Atlas Carte C38– Patrimoine végétal

La flore des terrains miniers rassemble approximativement 2150 espèces de plantes vasculaires autochtones avec un taux d'endémisme voisin de 82 % (L'Huillier *et al.*, 2010). Cette flore est plus riche et plus originale que celle des autres substrats géologiques. Ceci est dû aux particularités édaphiques des substrats ultramafiques ayant favorisé une importante diversification résultant d'un processus de spéciation par radiation adaptative à partir des espèces originelles.

L'étendue des forêts et des maquis a varié au cours des époques géologiques sous l'effet d'incendies d'origine naturelle qui ont sévi durant des millions d'années favorisant l'alternance d'épisodes d'extension des formations héliophiles (maquis) au détriment des forêts, puis d'une reconstitution des forêts à l'échelle de plusieurs siècles. Avant l'arrivée de l'homme sur l'île, les forêts de Nouvelle-Calédonie occupaient une surface bien plus étendue que la surface actuelle (actuellement 20 % du territoire, 9 % dans la région du Grand Sud). L'ouvrage du capitaine Sébert *Notice sur les bois de la Nouvelle-Calédonie* (Sebert, 1874) témoigne qu'il y a moins de 150 ans les

forêts du Grand Sud calédonien couvraient d'importantes surfaces. Elles formaient par endroits de vastes continuums forestiers (Monts Negoné, Rivière Bleue, Rivière Blanche) dans lesquels des arbres aux dimensions « prodigieuses » fascinèrent les premiers explorateurs. Puis, vint l'exploitation forestière qui visait les sujets de plus gros diamètre.

Aujourd'hui, les forêts ont fortement régressé sur les massifs miniers sous l'action des incendies répétés d'origine anthropique qui sévissent durant la saison sèche et des aménagements généralement liés à l'exploitation minière. Elles ne subsistent plus que sous forme de lambeaux résiduels nichés dans des endroits protégés (dans les talwegs et le long des cours d'eau). Les forêts denses sur substrat ultramafique font partie des écosystèmes les plus menacés de Nouvelle-Calédonie. Les forêts denses humides de basse et moyenne altitude ne couvrent plus aujourd'hui que quelques pour cent de la surface du Grand Sud calédonien (9%).

6.4.1 Dynamique de la végétation sur terrains miniers

Les forêts denses humides sont considérées comme la formation climacique de l'étage bioclimatique. Seule une infime portion du maquis ultramafique (maquis minier) pourrait représenter également une formation climacique³³ (Morat et al. 1986 ; Jaffré et al. 1998). La série de végétation associée intègre des stades variés de la succession secondaire post-dégradation : maquis arbustif ouvert et maquis ligno-herbacé, puis maquis arbustif dense et maquis paraforestier. Ces derniers pouvant parfois évoluer vers une formation forestière (Jaffré, 1980, Jaffré et al., 1997, McCoy et al. 1999).

Le terme 'maquis minier' regroupe localement toutes les formations végétales sur roches ultramafiques (péridotites et serpentinites) n'appartenant pas à la forêt dense humide ni aux forêts rivulaires (Jaffré, 1980, Morat et al., 1986). Ce sont des formations buissonnantes d'arbustes sclérophylles à feuilles vivaces héliophiles ou des formations ligneuses/herbacées avec une strate dense de plantes appartenant à la famille des Cypéraceae (Morat et al. 1986). L'établissement d'une strate cyperacéenne constituée essentiellement de *Pteridium esculentum* et *Lepidosperma perteres* est une caractéristique des zones souvent décimées par le feu (Jaffré et al. 1997).

Les maquis miniers possèdent une flore qui a conservé son originalité avec la présence d'espèces spécialisées, dont plus de 89 % sont endémiques de la Nouvelle-Calédonie (L'Huillier et al., 2010). Après dégradation par l'exploitation minière, la recolonisation spontanée est particulièrement lente. Elle est l'œuvre d'un petit groupe d'espèces pionnières du maquis avoisinant capables de tolérer des conditions édaphiques extrêmes comme l'absence quasi complète d'éléments nutritifs et de fortes concentrations naturelles en nickel, magnésium et autres métaux, un environnement entièrement ouvert, une lumière naturelle intense (Jaffré, 1980).

6.4.2 La zone de référence du Grand Sud

La description des groupements végétaux de la zone d'étude se réalise par rapport à une zone biogéographique plus vaste et qui correspond au Grand Sud. Cette zone de référence du grand Sud (66 992 ha) s'étend au Sud d'une ligne allant du Mont-Dore à Yaté. A l'échelle régionale, cette zone de référence est composée de maquis, forêts, zones humides, végétations littorales, milieux aquatiques (creek, dolines et lacs), zones anthropisées. Hors milieux aquatiques et zones anthropisées, les formations végétales de cette zone représentent 59 979 hectares (souvent arrondi à 60 000 hectares).

³³ Climacique : Qualifie une association végétale (plusieurs végétaux) qui a atteint le stade terminal stable de son évolution.

Sa couverture végétale est caractérisée par des formations principales (forêts denses humides et maquis de terrains miniers auxquels sont rattachés les groupements végétaux des zones humides du Sud) distribuées en une vingtaine d'écotypes ou groupements végétaux. Ceux-ci sont définis à partir de la nature du sol ainsi que de la physionomie du peuplement végétal et de la présence d'espèces remarquables ou facilement reconnaissables en raison de leur abondance ou de leur architecture particulière.

Tableau 72 : Typologie des groupements végétaux dans le Grand Sud

Formation	Ecotypes	Groupements		
Forêt	Forêts denses humides sempervirentes ³⁴ de basse et moyenne altitude	Forêt dominée par <i>Arillastrum gummiferum</i> (chêne gomme)		
		Forêt dominée par <i>Agathis lanceolata</i> (kaori)		
Maquis	Maquis des zones humides	Maquis ligno-herbacé des zones à hydromorphie permanente	Maquis des plaines hydromorphes Maquis rivulaire Groupement végétal des dolines	
		Maquis ligno-herbacé des zones à hydromorphie temporaire		
	Maquis des zones drainées	Maquis arbustif ouvert à dense sur gabbros		
		Maquis arbustif à paraforestier	Maquis ouvert à dense Maquis arbustif semi-ouvert à dense Maquis arbustif dense Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i> (chêne gomme) Groupement paraforestier à <i>Araucaria nemorosa</i>	
			Maquis ligno-herbacé sur sols ferrallitiques ferritiques fortement remaniés par érosion ou colluvionnement, occupant les pentes des chaînons rocheux, piémonts de bas de pente	Maquis ligno-herbacé des crêtes et pentes érodées Maquis ligno-herbacé de bas de pentes et de piémont Maquis ligno-herbacé dense à <i>Codia spatulata</i> sur colluvions
			Maquis arbustif sur serpentinite (sols bruns hypermagnésiens)	
			Reliques de maquis et forêts	
		Végétation ripicole et du littoral	Zones humides Zones humides à niaoulis Mangrove, formant une ceinture continue sur la côte Est de la Nouvelle-Calédonie, depuis l'embouchure de la rivière Kuébini jusqu'à la baie de Goro Végétation paraforestière littorale	

La cartographie des groupements végétaux selon la typologie établie par l'IRD a été réalisée successivement par l'IRD (2003) pour les groupements végétaux situés à une altitude inférieure à 500 m d'altitude, puis par BlueCham (2006-2012), à partir des photos satellites. La typologie des

³⁴ Les forêts denses humides sempervirentes sont identifiées comme des écosystème d'intérêt patrimonial par le code de l'environnement de la province Sud de la Nouvelle-Calédonie.

formations végétales étant plus précise à partir de 2012 (Typologie BlueCham, 2012), le tableau de correspondance présenté ci-dessous a été utilisé pour comparer les surfaces impactées à celle du Grand Sud (Typologie IRD, 2003).

Tableau 73 : Tableau de correspondance entre les typologies de l'IRD et de Blue Cham

Typologie IRD 2003	Typologie de comparaison	Typologie Bluecham
Divers		
Creeks, dolines, lacs	Creeks, dolines, lacs	Creeks, dolines, lacs
Zones anthropisées	zones anthropisées	zones anthropisées
Sol nu, zones dégradées	sol nu, zones dégradées	sol nu, zones dégradées
Maquis		
Maquis très ouvert sur gabbros	Maquis sur gabbro	Maquis ouvert sur gabbro
Maquis ouvert sur gabbros		Maquis dense sur gabbros
Maquis à Niaoulis sur gabbros		
Maquis semi-ouvert à dense, dominé par <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	Maquis semi-ouvert à dense, dominé par <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	Maquis dense sur sol ferrallitique ou gravillonnaire
Maquis paraforestier rivulaire	Maquis sur sol à hydromorphie temporaire ou permanente	
Mosaïque maquis à <i>Gymnostoma</i> et de zones hydromorphes		Maquis arbustif semi-ouvert sur sol ferrallitique cuirassé ou gravillonnaire
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie permanente		Maquis des plaines hydromorphes
Mosaïque de maquis : hydromorphie temporaire/hydromorphie permanente		Maquis des sols à hydromorphie temporaire
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie temporaire		
Maquis ligno-herbacé de pente érodée		Maquis ligno-herbacées des pentes érodées	Maquis ligno-herbacées de pente érodée
Reliques forêts / maquis	Maquis ligno-herbacé de bas de pente et piémont	Maquis ligno-herbacé de bas de pentes et piémonts
Maquis ligno-herbacé de bas de pente et de piémont		Maquis ligno-herbacé dense
		Maquis paraforestier de piémont
Maquis ouvert sur sol cuirassé	Maquis arbustif sur sol ferrallitique cuirassé	Maquis arbustif sur sol ferrallitique cuirassé
Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> dominant sur sol induré	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> dominant sur sol induré	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> <i>Gymnostoma deplancheanum</i> <i>deplancheanum</i>
		Maquis préforestier
		Maquis paraforestier sur colluvion
Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>
Végétation littorale	Groupelement paraforestier du littoral	Groupelement paraforestier du littoral
Forêts		
Forêts	Forêts	Forêt a <i>Arillastrum gummiferum</i>
		Forêt sur éboulis péridotitiques et forêts rivulaires
		Forêt dominées par <i>Agathis lanceolata</i>
		Forêt littorale sur éboulis
		Formation à <i>Araucaria nemorosa</i>

La végétation de la zone du projet est présentée dans l'atlas cartographique à la carte C37.

Tableau 74 : Distribution des groupements végétaux identifiés dans la région de référence du Grand Sud, 2003

Ecosystème	Surface (ha)	Surface (%)
Forêt	5929	8,85
Maquis	52160	77,86
Relique forêt/maquis	3966	5,92
Maquis des zones humides	9430	14,08
Maquis arbustif à paraforestier	4118	6,15
Maquis ligno-herbacés bien drainés	21457	32,03
Maquis ouvert à dense dominé par <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	10006	14,94
Maquis sur gabbro	2899	4,33
Maquis sur serpentinites	161	0,24
Savanes à niaouli	123	0,18
Végétation ripicole et du littoral	1890	2,82
Végétation littorale	600	0,90
Zones humides	1290	1,93
Total formations végétales région Grand Sud	59 979	89,53
Milieux aquatiques et zones anthropisées	7013	10,47
Total superficie région de référence du Grand Sud	66 992	100,00

Source : IRD, 2003

Les 59 979 ha représentent les formations végétales répertoriées sur la zone du Grand Sud. Sur les 66 992 ha, emprise totale de la zone de référence du Grand Sud, il faut retirer les zones déjà dénudées (anthropisées) à l'état initial du projet (7003 ha) et les dolines (milieu aquatique 10 ha). Cette zone d'évaluation (arrondie à **60 000 ha**) regroupant l'ensemble des formations végétales est une base pour rechercher la distribution d'un écosystème dans le Grand Sud et le comparer à son aire impactée.

Il est notable que la proportion globale de forêts résiduelles dans le Grand Sud est très faible (9 %) et bien inférieure à sa représentation à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, voisine de 20 %. De plus, les plus grands lambeaux de forêts situés à proximité du projet VNC c'est-à-dire la Forêt Nord et le Pic du Grand Kaori sont protégés par le statut de réserve naturelle.

6.4.2.1 Les forêts

Les forêts constituent un ensemble dont la composition floristique varie en fonction de la situation topographique, de la pluviométrie, de la nature du sol et du degré de secondarisation, amenant à distinguer de nombreuses catégories ou faciès. La localisation spécifique (littorale, rivulaire) ou la présence de certaines espèces d'arbres qui génèrent une strate arborescente quasi mono-spécifique, telles que le chêne gomme (*Arillastrum gummiferum*) et *Gymnostoma deplancheanum* ou à port remarquable comme le kaori (*Agathis lanceolata*) sont utilisées pour différencier des faciès particuliers représentatifs des forêts sur terrains miniers.

Tableau 75 : Diversité floristique et distribution des forêts dans les zones inventoriées du projet VNC

Ecotype	Surface (ha)	Surface (%)	Nombre d'espèces inventoriées	Nombre d'espèces endémiques	Proportion d'espèces endémiques
Forêt à <i>Arillastrum gummiferum</i>	25,1	2,60	308	292	95 %
Forêt sur éboulis péridotitiques et forêts rivulaires	17,8	1,85	285	270	95 %
Forêt à <i>Agathis lanceolata</i>	6,3	0,65	156	148	95 %
Forêt littorale sur éboulis	0,4	0,04	58	54	93 %
Formation à <i>Araucaria nemorosa</i>	1,4	0,15	-	-	-
Forêt de piémont sur sol colluvial (Forêt Nord)	-	-	108	101	93 %
Total formations de forêts	51	5,3			
Total formations végétales investiguées (1)	96,35	100	554	508	92 %

(1) Investigations réalisées entre 2002 et 2003 par l'IRD sur la zone d'implantation des infrastructures industrielles et minières incluant les formations de forêts, de maquis et un groupement du bord de mer.

Source : IRD, 2004

Ces chiffres montrent la richesse floristique et l'endémicité remarquable au sein de ces forêts (92 %).

6.4.2.2 Les maquis

Les maquis constituent 52 160 ha de la zone du Grand Sud et ils sont la formation majoritaire qui représente 87 % des formations végétales du Grand Sud.

La zone du Grand Sud, bien que largement dégradée par les feux répétés et les phénomènes d'érosion, possède une flore d'une grande richesse. Au total, **547 espèces** ont été signalées **dans les maquis de basse altitude** de la zone du Grand Sud avec un fort taux d'endémicité de 90 %. Les différentes formations de maquis, leur richesse spécifique et leur endémicité sont résumées dans le Tableau 76 ci-après. Ces données ne concernent que la zone investiguée en 2003 par l'IRD.

Tableau 76 : Diversité floristique et distribution des espèces de maquis dans la zone de référence du Grand Sud, pour sa partie investiguée

Ecotypes MAQUIS dans le Grand Sud	Surface (ha)	Occupation du sol par rapport à surface des maquis (%)	Occupation sol par rapport à zone de référence (%)	Nombre d'espèces inventoriées	Nombre d'espèces endémiques	Proportion d'espèces endémiques
Maquis des zones humides	9430	20	14	198	181	91 %
Maquis arbustif à paraforestier	4118	9	6	395	362	92 %
Maquis ligno-herbacés bien drainés	21457	45	32	132	121	92 %
Maquis ouvert sur sol cuirassé à dense dominé par <i>Gymnostoma deplanchanum</i>	10006	21	15	214	201	94 %
Groupements sur gabbros	2899	6	4	88	78	89 %
Maquis sur serpentinites	161	0	0	89	81	91 %
Total formations de maquis (sans la formation relique forêt/maquis)	48071	100 %	72 %	547	494	90 %

Source : IRD 2003

6.4.2.3 Espèces rares et menacées dans la zone de référence du Grand Sud

Les espèces rares ont été identifiées dans les forêts et la végétation de maquis inventoriés du Grand Sud (emprise d'une surface totale de 66 992 ha).

Le

Tableau 77 rend compte, toutes formations confondues, de la présence de **57 espèces rares ou menacées** dans la zone de référence dont **12 espèces gravement menacées d'extinction** et **13 espèces en danger d'extinction** sur la base des études réalisées par l'IRD en 2003-2004 et en se basant sur la liste rouge UICN des espèces végétales menacées de 1994.

Tableau 77 : Nombre d'espèces rares inventoriées dans la zone du Grand Sud selon la liste rouge de l'UICN, 1994

Ecotype	Nombre d'espèces selon catégories UICN (1)				Total espèces rares ou menacées
	CR	EN	VU	LRcd	
Forêt à chênes gomme	1	3	3	1	8
Forêt sur éboulis péridotitiques et forêts rivulaires	1	3	3	0	7
Forêt dominée par <i>Agathis lanceolata</i>	0	1	1	1	3
Forêt littorale sur éboulis	0	0	0	0	0
Forêt de piémont sur sol colluvial (Forêt Nord)	2	0	0	2	4
Total forêts	3	3	4	3	13
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie permanente	5	3	7	0	15
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie temporaire	2	3	9	0	14
Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> sur sol induré	2	4	10	1	17
Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	1	1	5	0	7
Maquis ligno-herbacé des pentes érodées	0	0	1	0	1
Maquis ligno-herbacé de bas de pentes et de piémonts	0	1	2	1	4
Maquis ouvert sur sol cuirassé	1	1	5	0	7
Maquis semi-ouvert à dense dominé par <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	3	2	8	1	14
Groupement sur gabbros	0	0	1	0	1
Maquis sur serpentinites	0	0	0	0	0
Maquis préforestier à <i>Metrosideros nítida</i>	0	0	0	0	0
Total maquis	9	10	24	1	44

(1) Catégories UICN : NE non évalué, CR gravement menacé d'extinction, EN menacé d'extinction, VU vulnérable, LRcd menace réduite au sein de la zone protégée, LR faible risque

Source : IRD, 2003 et 2004

6.4.3 Habitats et flore terrestre dans la zone d'étude

 Voir Atlas Carte C37 – Groupements végétaux dans la zone du projet

 Voir Atlas Carte C38 – Patrimoine végétal

De nombreux inventaires botaniques et études sur la flore ont été réalisés entre 2001 et 2015 par et pour le compte de VNC, par des organismes de compétence reconnue (IRD) ou des bureaux d'études spécialisés (notamment Bota Environnement), dans le but de caractériser l'état de la flore terrestre avant l'implantation du projet industriel dans la région du Massif du Sud. Les méthodes employées sont décrites dans le volet F « Méthodes utilisées pour suivre et évaluer les effets du projet », et l'ensemble des sources et des rapports d'inventaire correspondants sont répertoriés dans la liste bibliographique. Ces études ont permis :

- de caractériser les groupements végétaux représentatifs des conditions du milieu ;
- de cartographier les groupements végétaux reconnus ;
- d'inventorier les espèces et d'identifier celles ayant un statut de protection ;
- d'identifier certains secteurs qui pourraient ou devraient être épargnés compte tenu de leurs caractéristiques spécifiques.

Ainsi, sur l'emprise globale du projet global de VNC, on constate les évolutions suivantes :

- entre 2000 et 2007, toutes les surfaces ayant eu à subir des impacts lors de la construction du projet (y compris les zones de pré-production minière) ont été inventoriées afin d'en établir l'état initial, soit par l'IRD, soit par les botanistes de VNC ;
- entre 2007 et 2011, la quasi-totalité des formations végétales de la zone à 25 ans du développement minier a été cartographiée, notamment l'extension de la fosse du plateau de Goro et le secteur KO4. L'inventaire floristique des habitats a été fait par les botanistes de VNC et Bota Environnement sur la zone de la fosse à 15 ans de la mine, SMLT et KO5 ainsi que sur les pistes et plates-formes de sondages (campagne Gardenia à maille 100 m x 100 m dans le secteur KO4) et les zones de piedmont du bassin versant KO4 ;
- en 2012, un travail de télédétection a été entrepris pour cartographier les milieux naturels dans une zone étendue du Grand Sud comprenant la zone d'influence du projet (ensemble des concessions de VNC, Thiebaghi inclus), en utilisant une technique de différenciation des formations végétales par télédétection (Bluecham, 2012). L'ensemble de la végétation comprise dans l'emprise du projet à 25 ans a été cartographié et les surfaces déjà impactées par le projet actuel ont été inventoriées préalablement au défrichement.

Le tableau 10 du volet F présente une liste de tous les inventaires réalisés pour le projet de Goro depuis 2002.

La suppression de la végétation sur l'emprise globale du projet minier a été évaluée à **1169,52 ha**, soit **1,75 %** de la végétation de la zone de référence du Grand Sud. L'estimation des surfaces par formation végétale est présentée dans le Tableau 78. D'une manière globale on note que les formations de maquis payent le plus lourd tribut des défrichements avec une proportion sensiblement équivalente (environ 400 ha) entre les maquis semi-ouvert à dense dominés par *Gymnostoma Deplancheanum* et les maquis sur sols à hydromorphie temporaire ou permanente.

Les superficies d'habitats sensibles concernés par l'ensemble du projet minier sont :

- Formations d'intérêt patrimonial
 - 7,04ha de formations forestières, y compris de petits îlots relictuels forestiers ou de maquis haut, soit au total 0,12 % du total de ces formations dans le Grand Sud ;
- Formations végétales d'intérêt écologique
 - 30,97 ha de maquis préforestier à *metrosideros nítida* ;
 - 109,16 ha de maquis paraforestier ;
 - 164, 25 ha d'habitats de zone humide temporaire ou permanents, soit 1,74 % du total de ces formations dans le Grand Sud.

Tableau 78 : Formations végétales dans l'empreinte totale du projet minier

Formations végétales	Surface déjà défrichée	Surface restant à défricher	surface totale	% formations dans le Grand Sud
DIVERS	104,01	156,94	260,95	
Creeks, dolines, lacs	5,67	14,02	19,68	N/A
Zones anthropisées	64,54	66,91	131,45	4,44%
Sol nu, zones dégradées	33,81	76,02	109,82	2,72%
MAQUIS	362,29	533,32	895,62	1,71%
Maquis sur gabbro	0,00	0,00	0,00	0,00

Formations végétales	Surface déjà défrichée	Surface restant à défricher	surface totale	% formations dans le Grand Sud
Maquis semi-ouvert à dense, dominé par <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	115,08	236,85	351,93	3,74%
Maquis sur sol à hydromorphie temporaire ou permanente	140,81	42,09	182,91	1,94%
Maquis ligno-herbacées des pentes érodées	10,59	19,19	29,79	0,17%
Maquis ligno-herbacées de bas de pente et piémont	22,28	24,4	46,68	0,6%
Maquis arbustif sur sol ferrallitique cuirassé	34,8	109,37	144,17	24,07%
Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> dominant sur sol induré	27	65,3	92,3	2,82%
Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	11,72	5,14	16,86	2,01%
Maquis préforestier à <i>Metrosideros nitida</i>	0	30,97	30,97	5,16%
FORETS	3,79	3,25	7,04	0,12%
AUTRES - non identifié	5,70	0,22	5,92	0,38%
TOTAL (sans DIVERS)	475,79	693,73	1169,52	1,75%

6.4.3.1 Recensement des formations forestières

(D'après IRD, 2009)

Les forêts recensées dans le cadre du projet minier VNC appartiennent au groupe des forêts denses humides sempervirentes de basse altitude généralement cantonnées à des talwegs et le long des cours d'eau. Elles ne représentent que 9 % de la zone de référence du Grand Sud en termes de surface.

Les principales forêts inventoriées (à la date d'octobre 2006) dans le cadre du projet sont localisées sur la Figure 126.

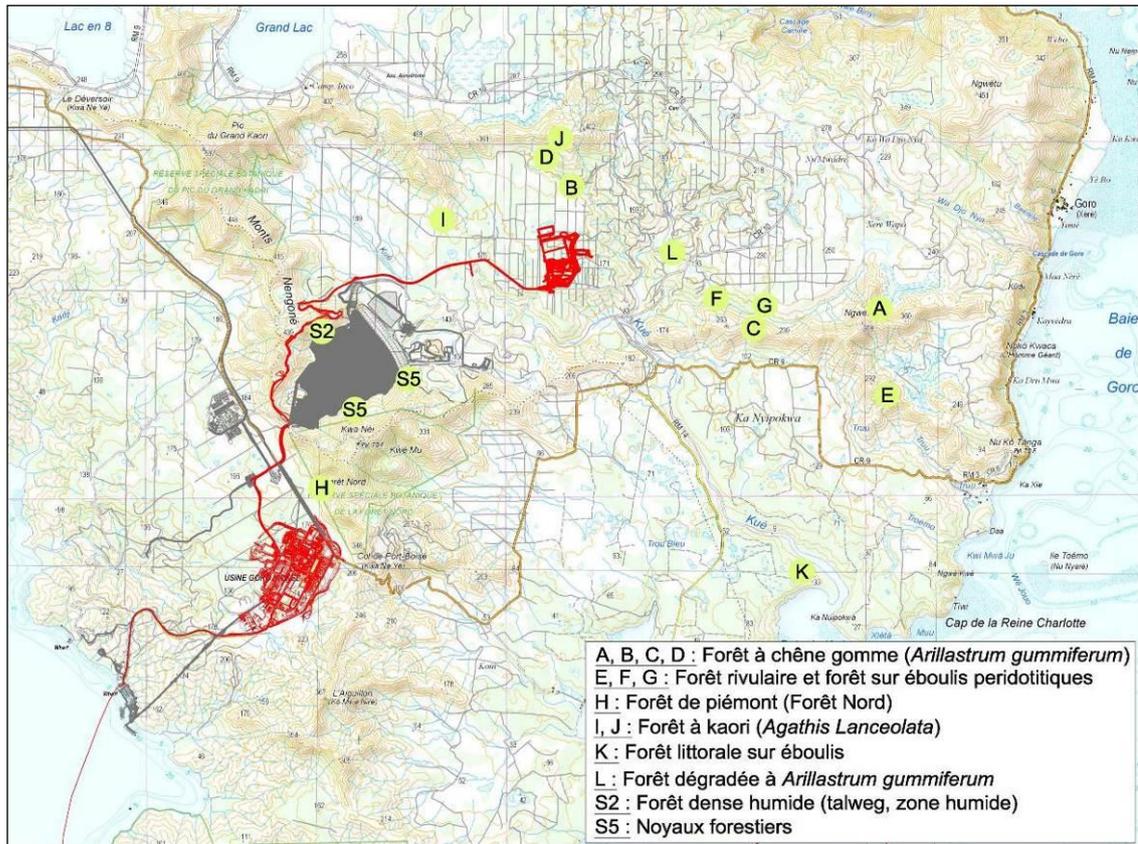


Figure 126 : Localisation des forêts inventoriées, octobre 2006

6.4.3.2 Richesse floristique et fragmentation forestière

Les forêts denses humides inventoriées ne sont pas homogènes. Les espèces y sont distribuées selon leurs affinités écologiques et forment ainsi différents faciès qu'il est généralement possible de distinguer lorsqu'ils ne sont pas trop perturbés. Bien qu'ils possèdent un fond floristique commun ces faciès abritent des espèces qui leur sont propres (Jaffré and Veillon, 1990) et qui participent à la diversité floristique de la formation dans son ensemble. Or, les formations les plus riches sont aussi celles qui se développent sans discontinuité des replats alluvionnaires aux fortes pentes du haut versant. Les formations les plus réduites en surface ne présentent plus actuellement qu'une partie de leurs faciès originels, qui sont d'ailleurs bien souvent fortement perturbés.

Des études sont en cours pour déterminer l'étendue de l'effet lisière sur la végétation en place (projet CORRIFOR du CNRT). On peut considérer que les noyaux forestiers des formations les plus réduites en surface sont perturbés dans leur globalité et comportent une forte contribution des espèces secondaires dans leur composition floristique.

Les formations telles que la Forêt Nord et la forêt du Pic du Grand Kaori conservent un noyau forestier conséquent et les essences exclusives de ce type de milieu.

- La Forêt Nord



Figure 127 : Forêt Nord, flanc Sud-Ouest avec en arrière plan le complexe métallurgique

Cette formation, appelée Forêt Nord, dont la surface est estimée à 179 ha est en partie incluse dans la réserve naturelle de la Forêt Nord protégée par le code de l'environnement de la province Sud. Elle se développe sur trois versants du Mont Kwa Néie, sous la forme de 12 patchs forestiers, des replats alluvionnaires aux hauts de crêtes (entre 200 et 500 m d'altitude). Elle fut exploitée à la fin du XIX^{ème}/ début du XX^{ème} siècle par l'administration pénitentiaire, probablement de façon artisanale et modérée, ce qui explique en partie son état de conservation relativement bon. 452 taxons répartis en 213 genres et 88 familles ont été recensés dans cette forêt.

Les espèces caractéristiques de cette formation sont, par ordre d'importance *Macaranga alchorneoides* (Euphorbiaceae), *Archidendropsis granulosa* (Mimosaceae), *Sparattosyce dioica* (Moraceae), *Codia jaffrei* (Cunoniaceae), *Planchonella endlicheri* (Sapotaceae), *Calophyllum caledonicum* (Clusiaceae), *Dysoxylum dzumacense* (Meliaceae), *Schefflera gabriellae* (Araliaceae), *Planchonella wakere* (Sapotaceae), *Garcinia neglecta* et *G. balansae* (Clusiaceae), *Cunonia balansae* (Cunoniaceae), *Myodocarpus fraxinifolius* (Araliaceae), *Agathis moorei* (Araucariaceae) et *Xylopia vieillardii* (Annonaceae).

- Forêt du Pic du Grand Kaori

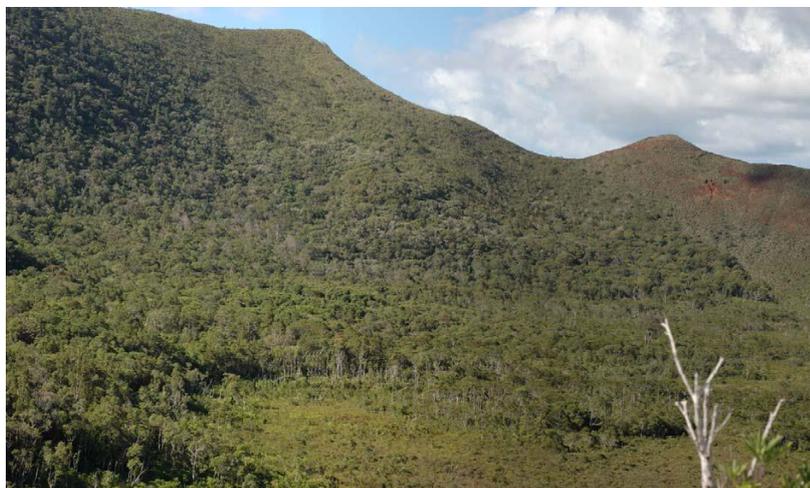


Figure 128 : Forêt du pic du Grand Kaori, versant lac en huit

Cette formation de 58 hectares est intégrée dans la réserve naturelle du Pic du Grand Kaori et protégée par le code de l'environnement de la province Sud. Elle se développe sur des replats alluvionnaires aux fortes pentes du versant Sud-Est du Pic du Grand Kaori, entre 260 et 560 m d'altitude. Elle n'est pas homogène dans son ensemble et différents faciès y sont visuellement discernables (replats, bas de pentes et piedmont, fortes pentes, creeks temporaires, etc.). Dans ses parties hautes, des affleurements de roche mère ont formé d'immenses marches en marge desquelles se développent les maquis de crête. En contrebas de cette zone, sur les fortes pentes, de gros araucarias surciment localement la végétation en place.

D'anciennes pistes forestières et de nombreux creeks temporaires sillonnent le bas de cette formation qui fût sans doute principalement exploitée par le bagne. Un faciès mono-spécifique à *Nothofagus aequilateralis* a été observé dans les parties basses de cette forêt. 314 taxons répartis en 81 familles et 168 genres y ont été inventoriés.

6.4.3.3 Les maquis

Les maquis constituent la majorité des formations végétales représentées dans l'emprise du projet minier de VNC. Le maquis présent sur la zone d'influence du projet VNC occupe une surface de 7643,8 ha. Les maquis occupent environ 86,9 % des surfaces végétalisées de la région de référence du Grand Sud (hors surfaces anthropisées et milieux aquatiques, soit un total de 52 160 ha). Dans la zone d'influence du projet minier, on distingue (BotaEnvironnement, 2011 ; IRD, 2003) :

- Les maquis ligno-herbacé : composés d'une strate herbacée cyperacéenne très développée et d'une strate ligneuse plus ou moins dense et continue ;
 - les *maquis arbustifs ouverts à semi-ouvert*, possédant une strate arborescente quasi absente et une strate arbustive lâche laissant de nombreuses zones nues de sols cuirassés. La strate herbacée est quasiment absente ;
 - les *maquis arbustifs denses*, composés d'une strate arborescente basse et pauvre en espèces et d'une strate arbustive majoritaire en termes de recouvrement ;
 - les *maquis hydromorphes*, se développent sur des dolines recouvertes de colluvions et sur des lignes de drainage alimentées par des résurgences d'eau dans le sol de façon temporaire ou permanente sur les plateaux de cuirasse ;
 - les *maquis paraforestiers*, formations plus hautes avec une diversité floristique plus élevée par rapport au maquis dense, surtout au niveau de la strate arborescente ;
 - les *formations forestières* sont des formations hautes constituées majoritairement d'espèces forestières strictes, avec une strate herbacée pratiquement nulle, presque uniquement composée d'orchidées et de fougères.
-
- Creeks et dolines

La végétation en bordure des creeks et dolines est très similaire à celle des maquis à hydromorphie permanente ou temporaire. Elle se distingue en fonction du niveau des eaux dans la doline. Les zones à hydromorphie temporaire proches des berges peuvent être constituées d'une couverture mono spécifique de la fougère *Dicranopteris linearis* ou composées de plantes supportant les zones humides telles que les *Cyperaceae Gahnia novocaledonensis*, *Lepidosperma perteres*, *Shoenus brevifolius* et les *Myrtaceae Melaleuca gnidioides* et *Sanantha leratii*.

Dans les zones inondées en permanence, on note la présence des *Cyperaceae Chorizandra cymbaria*, *Lepironia articulata*, de la *Xyridaceae Xyris neocaledonica*, de l'*Orchidaceae Eriaxis rigida* et de l'*Eriocaulaceae Eriocaulon neocaledonicum*.

- Maquis des plaines hydromorphes

Ils sont caractérisés par des sols à hydromorphie permanente présentant une organisation et un cortège de plantes particulières, adaptées aux zones humides. Ce type de végétation est bas, parsemé d'arbustes < 2m de hauteur, et présente un couvert continu de Cypéracées composé de *Costularia arundinaceae*, *C. xyridoides*, *Lepidosperma pertere* et *Machaerina deplanchei* voir *Chorizandra cymbaria*, *Tricostularia guillauminii* ainsi que des espèces *Eriocaulon neocaledonicum*, *Xyris neocaledonica* et de *Drosera neocaledonica*. Cette dernière est très ubiquiste en ce qui concerne l'humidité du milieu puisqu'elle est aussi bien en zone sclérophylle qu'en zone humide.

Dans ces zones humides, une espèce, protégée en province Sud et classée "en danger d'extinction (EN)" selon les critères de l'UICN, est fréquemment observée. Il s'agit de *Retrophyllum minor* (le bois bouchon) qui affectionne les berges des cours d'eau.

- Maquis des sols à hydromorphie temporaire

Ils peuvent correspondre à une végétation anciennement dégradée ou bien à d'anciennes zones de drainage naturel. Ils se situent dans tous les reliefs bas, cuvettes et dépressions topographiques qui parsèment la zone Nord du site d'étude. Ces formations se retrouvent souvent en bordure de zones à hydromorphie permanente et se finissent sur les parties plus hautes de cuirasse. La flore des maquis à hydromorphie temporaire est caractérisée par une strate ligneuse composée principalement de *Sanantha leratii*, *Homalium kaniense*, *Grevillea gillvrayii*, *Tristaniopsis glauca*, *Syzygium ngoyenses*, *Codia nitida*, *Pancheria communis*, *Cloezia artensis*, *Melaleuca gnidioides*, *Dracophyllum cosmelioides*, *Xanthostemon aurantiacus*, *Myodocarpus crassifolius* pouvant atteindre un recouvrement de 40%. La strate de *Cyperaceae* est moins diverse : *Costularia comosa*, *Lepidosperma perteres* voir *Gahnia novocaledonensis*, *Gleichenia dicarpa*, *Dicranopteris linearis*, *Drosera neocaledonica*, *Eriocaulon neocaledonica*, *Xyris neocaledonica*.

- Maquis ligno-herbacés de bas de pente et de piémont

Ce type de maquis se situe en général en dessous du maquis ligno-herbacé des pentes et est caractérisé par une strate herbacée cypéracéenne très développée et par une strate ligneuse buissonnante et discontinue. De part sa situation topographique, ce type de maquis n'est pas sujet au phénomène d'érosion. Ce groupement, en raison des apports colluvionnaire en provenance des pentes et de condition hydrique plus favorable se reconstitue plus rapidement que le maquis ligno-herbacé de pente après le passage du feu.

La strate herbacée est caractérisée par une strate de *Cyperaceae* de *Costularia nervosa*, *Costularia comosa*, *Costularia arundinaceae* et *Lepidosperma perteres* dont le recouvrement herbacé dépasse 60 %. La strate arbustive est moyennement couvrante et atteint généralement un recouvrement de l'ordre de 50 % et une hauteur moyenne de 3 m. Les espèces d'arbustes les plus communes sont *Grevillea exul* var. *rubiginosa*, *Hibbertia lucens*, *H. pancheri*, *Pancheria veillardii*, *Codia discolor*, *Myodocarpus lanceolatus*, *Polycias pancheri*, *Eugenia stricta*, *Styphelia veillonii* et *Osmanthus austrocaledonica*. La plupart de ces espèces, étant capables de rejeter de souches après les incendies, sont adaptées au feu (McCoy et al. 1999 et Jaffre et al 1999).

La strate arbustive peut parfois s'avérer plus riche, plus dense, plus recouvrante (70 % de recouvrement) et atteindre 8 à 10 m de hauteur et prendre l'aspect de maquis paraforestier indiquant alors un stade de succession plus avancé avec notamment la présence d'individus d'espèces plutôt forestières (*Archidendropsis granulosa*, *Stereocaryum rubiginosum*, *Calophyllum calodonicum*). Cependant comme indiqué par Jaffre *et al* (2003), ses formations sont souvent bloquées à un stade paraforestier de maquis qui persiste par manque de source de semences en proximité pour stimuler le développement forestier et nécessite une implantation manuelle d'arbres de forêt pour stimuler son développement.

Les inventaires des maquis ligno-herbacés de piémont sur le plateau de Goro ont permis d'identifier 104 espèces. Le taux d'endémisme de cette formation est de 92,4 %.

- Maquis ligno-herbacés des pentes érodées

Le maquis ligno-herbacé des pentes érodées se trouve principalement sur les crêtes et pentes érodées avec affleurement de blocs de péridotite. Il s'agit d'une végétation secondaire, abondante sur toute la Grande-Terre, constituée d'espèces communes qui ne présente pas d'intérêt particulier en terme de conservation dans la zone d'étude.

Ce maquis est caractérisé par une strate de Cyperaceae dense composée d'espèces communes (*Costularia nervosa*, *C. pubescens*, *Lepidosperma perteres*, *Schoenus juvenis* et *S. neocaledonicus*). *Lepidosperma perteres* associé à *Pteridium esculentum* dominant lorsque la végétation a été sujette à des incendies au cours des 10 à 15 dernières années (Jaffré et al. 1998). Selon le degré de dégradation ou d'érosion auquel il a été soumis, les maquis ligno-herbacés des pentes laissent alors entrevoir des plages de sols nus plus ou moins importantes.

La strate arbustive basse et discontinue est composée d'espèces appartenant aux genres *Dracophyllum*, *Hibbertia*, *Grevillea*, *Montrouziara*, *Myrtastrum*, *Normandia*, *Pancheria*, *Peripterygia*, *Psychotria*, *Scaevola*, *Stenocarpus* et *Styphelia*. Cette strate ligneuse dépasse rarement 1.5 m de hauteur, à l'exception de *Grevillea exul* var. *rubiginosa* et *G. gillivrayii*.

Les inventaires des maquis ligno-herbacés des pentes ont permis d'identifier 73 espèces. Le taux d'endémisme de cette formation est de 90 %.

- Maquis arbustifs ouverts sur sol ferrallitique cuirassé

Le maquis arbustif ouvert se développe sur les parties des plateaux de cuirasse qui sont les plus exposées au vent et en voie de démantèlement. C'est une formation appauvrie dans laquelle ne subsistent plus que les espèces les plus héliophiles, le sol induré complètement mis à nu rendant impropre la germination et l'enracinement des plants.

Il se développe sur un sol composé de blocs de cuirasse de grande taille et est composé d'une strate cyperacéenne très pauvre ne dépassant pas 10% de recouvrement. La strate arbustive plus dense mais dépasse rarement un recouvrement de 30%. Elle est constituée d'espèces communes de maquis, telles que *Longetia buxoides*, *Styphelia veillonii*, *Tristaniopsis calobuxus*, *Tristaniopsis glauca*, *Dracophyllum* sp., *Pleioluma baueri*, *Pancheria billardieri*, *Polyscias* sp. et mesure 2 à 3 m de haut. La strate arborescente inférieure à 3-4 m apparaît très lâche et est composée d'individus isolés ou de petits peuplements de *Gymnostoma deplancheanum*, *Dacrydium araucarioides*, *Grevillea gillivrayi*, *Pleioluma sebertii* et *Myodocarpus crassifolius*.

- Maquis arbustifs semi-ouverts sur sol ferrallitique cuirassé ou gravillonnaire

Il est caractérisé par une strate arborescente lâche, inférieure à 4m, dominée par *Gymnostoma deplancheanum* et *Dacrydium araucarioides*, *Tristaniopsis guillainii*, *T. callobuxus*, *T. macphersonii*

ou *Pleioluma sebertii*. La strate arbustive, dont la hauteur est inférieure à 2 m, présente un recouvrement échelonné de 25 % à 50 % selon les localités associé à une augmentation de la diversité. Cette strate arbustive est majoritairement composée de peuplements lâches de *Longetia buxoides*, *Pleiluma baueri*, *Alstonia lenormandii*, *Codia albifrons*, *Dracophyllum ramosum*, *Psychotria rupicola*, *Uromyrtus emarginatus*, *Styphelia pancheri*, *Pancheria billardierei*, *Montrouzieria sphaeroidea*, *Myodocarpus fraxinifolius*, *M. involucrat*, *Polyscias pancheri*, *Hibbertia pancheri*, *Gardenia aubreyi*, *Beccariella baueri*, *Uromyrtus emarginata*. Ce groupement est également caractérisé par une strate de Cyperaceae éparses (recouvrement de 5 à 10 %), dominée par *Costularia comosa*, *C. pubescens* et *Schoenus neocaledonicus*.

- Maquis arbustifs denses

Les formations de maquis arbustif dense se trouvent dans des zones du plateau sur sols ferrallitiques cuirassés ou lignes de crête moins exposées aux vents dominants. Elles deviennent parfois abondantes dans les légères dépressions sur les plateaux ou autour des dolines.

Ce maquis est caractérisé par une strate arborescente dépassant rarement 8 m. La strate arbustive supérieure à 2 m est dense et peut atteindre 70% de recouvrement. Cette strate est plutôt diversifiée en espèce avec des espèces du maquis semi-ouvert et du maquis para-forestier telles que *Longetia buxoides*, *Lomandra insularis*, *Maytenus fournieri*, *Montrouzieria sphaeroidea*, *Diospyros veillardii*, *Gossia alaternoides*, *Eugenia stricta*, *Dracophyllum ramosum*, *Gardenia aubryi*, *Hibbertia pancheri*, *Styphelia veillonii*, *Solmsia calophylla*, *Halfordia kendac*, *Beccariella baueri*, *Tristaniopsis macphersonii*, *Tristaniopsis guillainii*, *Codia spatulata*, *Styphelia pancheri*, *Dysoxylum canalense* et *Litsea triflora*. La densité de plants dans les maquis denses apporte les conditions particulières comme l'ombrage et une humidité accrue nécessaires à l'arrivée d'espèces pré-forestières.

La strate Cypéracée est quasi absente et souvent remplacée par une litière de feuillage de *Gymnostoma*. Elle apparaît parfois largement dominée par *Gahnia spp.* et *Lepidosperma perteres* pouvant parfois avoir un fort recouvrement dans les dépressions et ruisseaux temporaires sur la cuirasse.

- Maquis paraforestiers à *Gymnostoma*

Le maquis paraforestier se retrouve sur des sols ferrallitiques plus ou moins gravillonnaires ou cuirassés. Ces zones sont caractérisées par l'abondance de gros blocs de cuirasse et l'existence de nombreuses résurgences qui ont réduit les passages des feux.

Il est caractérisé par une strate arborescente quasi mono-spécifique dominée par *Gymnostoma deplancheanum* pouvant atteindre 15 m de hauteur et par la présence d'espèces forestières (*Planchonella wakere*, *Calophyllum caledonicum*, *Flindersia fournieri*, *Neoguillauminia cleopatra*) et de maquis arbustif (*Tristaniopsis macphersonii*, *T. guillainii*, *Codia spatulata*). Il se rapproche du maquis denses mais plus haut avec un faciès plus évolué pouvant abriter des espèces forestières.

La strate arbustive, qui peut atteindre 6m de haut, est composée d'espèces arbustives identiques à celles des maquis denses auxquelles s'ajoute quelques espèces forestières telles que *Longetia buxoides*, *Lomandra insularis*, *Styphelia sp.*, *Dracophyllum sp.*, *Hibbertia pancheri.*, *Litsea trifolia*, *Psychotria semperflorens*, *P. cardiochlamys*, *Stenocarpus trinervis*, *Tapeinosperma robustum*, *Hedycarya parviflora*, *Dysoxylum canalienses*, *Dyospiros sp.*, etc.

La strate cypéracéenne entre les gros blocs de cuirasse est souvent absente et remplacée par une couche de matière organique à décomposition lente. On note également la présence d'orchidées et de lianes appartenant aux familles des *Apocynaceae*, *Smilacaceae*, *Lamiaceae*, *Menispermaceae*

et des *Pandanaceae* (*Freycinetia* spp.). On observe néanmoins par endroits des poches de *Lepidosperma perteres* ou de *Gahnia novocaledonensis*.

Ce groupement qui pourrait, selon les localités, évoluer vers de la forêt présente une diversité spécifique de 205 espèces avec un taux d'endémisme de 94,2 %.

- Maquis paraforestiers à *Arillastrum gummiferum*

Le maquis paraforestier à Chênes gommés regroupe des faciès très hétérogènes suivant leurs niveaux de dégradation consécutifs aux incendies.

La strate arborescente est composée d'individus d'*Arillastrum gummiferum* dominant la canopée associés très souvent à des spécimens de *Gymnostoma deplancheanum*, *Tristaniopsis guillainii*, *Dacrydium araucarioides*, *Dysoxylum canalense*, *Hibbertia* spp., *Codia spatulata*, *Garcinia balansae*, *Calophyllum caledonicum*, *Panchonella kuebinensis*, *Neoguillauminia cleopatra*, *Xanthostemon multipetalum*.

Sous ce couvert végétal dense, se trouve un cortège d'espèces assez important formant une strate arbustive éparse dominée en nombre par les espèces *Pagiantha cerifera*, *Lomandra insularis*, *Deplanchea speciosa*, *Garcinia* spp., *Hibbertia pancheri*, *Styphelia* spp., *Litsea trifolia*, *Pandanus* sp., *Psychotria* spp., *Becariella baueri*, *Solmsia calophylla*, *Montrouziera sphaeroidea*, *Hibbertia lucens*, *Guioa villosa*.

La strate Cypéracée est composée de *Dianella* sp., *Gahnia novocaledonensis*, *Dendrobium fractiflexum* ainsi que de étendus de *Lepidosperma perteres* et de *Pteridium esculentum* témoignant une régénération suite des incendies.

Une diversité de 247 espèces communes, provenant pour la plupart du maquis, auxquelles s'ajoutent quelques espèces forestières recensées dans ce type de formation. Le taux d'endémisme des angiospermes dans cette formation est de 94 %.

6.4.3.4 Espèces floristiques rares et/ou menacées d'extinction dans la zone d'influence

Des études de la base de données de l'herbier de l'IRD Nouméa, ainsi que les inventaires de l'IRD et de VNC entre 2000 et 2006 avaient permis d'identifier au total 61 espèces rares (CR, EN, VU et/ou protégées par le code de l'environnement de la Province Sud) sur l'aire du projet global et sur les bassins versants environnants comprenant la Plaine des Lacs et Prony. Les inventaires floristiques qui se sont poursuivis jusqu'en 2015 et les modifications de listes d'espèces protégées/rares (province Sud et UICN) ont permis d'actualiser ces résultats. En 2015, sur la zone globale du projet VNC, 65 espèces rares ont été dénombrées, réparties selon les statuts UICN suivants :

- 12 espèces vulnérables (VU) ;
- 10 espèces en danger (EN) ;
- 7 espèces en danger critique (CR) ;
- 36 espèces non évaluées (NE) inscrite sur la liste des espèces protégées du code de l'environnement de la province Sud.

Une synthèse du statut UICN et du statut de protection par le code de l'environnement de la Province Sud des espèces est présentée au Tableau 79.

Sont qualifiées d'espèces rares les espèces protégées par le code de l'environnement de la Province Sud et/ou par les critères de l'UICN telles que les espèces vulnérables (VU), les espèces en danger (EN) ainsi que les espèces en danger critique (CR)

Tableau 79 : Espèces recensées sur la zone d'influence du projet global et disposant d'un statut IUCN et/ou d'un statut au titre du code de l'environnement de la province Sud (modifié en 2015)

Famille	Espèce	IUCN revue en 2015
Araucariaceae	<i>Araucaria nemorosa</i>	CR
Araucariaceae	<i>Agathis ovata</i>	EN
Araucariaceae	<i>Araucaria muelleri</i>	EN
Araucariaceae	<i>Araucaria luxurians</i>	EN
Araucariaceae	<i>Araucaria biramulata</i>	VU
Araucariaceae	<i>Agathis moorei</i>	VU
Araucariaceae	<i>Agathis lanceolata</i>	VU
Araucariaceae	<i>Araucaria bernieri</i>	VU
Cupressaceae	<i>Neocallitropsis pancheri</i>	EN
Lamiaceae	<i>Gmelina lignum-vitreum</i>	CR
Lamiaceae	<i>Oxera macrocalyx</i>	VU
Myricaceae	<i>Canacomyrica monticola</i>	EN
Myrtaceae	<i>Tristaniopsis yateensis</i>	EN
Myrtaceae	<i>Tristaniopsis reticulata</i>	VU
Myrtaceae	<i>Xanthostemon sulfureus</i>	VU
Myrtaceae	<i>Tristaniopsis vieillardii</i>	VU
Myrtaceae	<i>Tristaniopsis macphersonii</i>	VU
Orchidaceae	<i>Acianthus aegeridantennatus</i>	NE
Orchidaceae	<i>Acianthus confusus</i>	NE
Orchidaceae	<i>Acianthus elegans</i>	NE
Orchidaceae	<i>Acianthus halleanus</i>	NE
Orchidaceae	<i>Anoetochilus imitans</i>	NE
Orchidaceae	<i>Bulbophyllum gracillimum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Bulbophyllum ngoyense</i>	NE
Orchidaceae	<i>Bulbophyllum baladeanum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Caladenia catenata</i>	NE
Orchidaceae	<i>Calanthe balansae</i>	NE
Orchidaceae	<i>Calanthe hololeuca</i>	NE
Orchidaceae	<i>Calanthe triplicata</i>	NE
Orchidaceae	<i>Calanthe ventilabrum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Calochilus neocaledonicus</i>	NE
Orchidaceae	<i>Clematepistephium smilacifolium</i>	NE
Orchidaceae	<i>Eria robusta</i>	NE
Orchidaceae	<i>Eria rostriflora</i>	NE
Orchidaceae	<i>Liparis chalandei</i>	NE
Orchidaceae	<i>Liparis disepala</i>	NE
Orchidaceae	<i>Liparis gibbosa</i>	NE
Orchidaceae	<i>Liparis laxa</i>	NE
Orchidaceae	<i>Liparis layardii</i>	NE
Orchidaceae	<i>Luisia teretifolia</i>	NE
Orchidaceae	<i>Megastylis latilabris</i>	NE
Orchidaceae	<i>Megastylis rara</i>	NE

Famille	Espèce	UICN revue en 2015
Orchidaceae	<i>Pachyplectron arifolium</i>	NE
Orchidaceae	<i>Pachyplectron neocaledonicum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Peristylus novoebudarum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Phaius tancarvilleae</i>	NE
Orchidaceae	<i>Phreatia stenostachya</i>	NE
Orchidaceae	<i>Prasophyllum calopterum</i>	NE
Orchidaceae	<i>Pterostylis bureaviana</i>	NE
Orchidaceae	<i>Sarcochilus rarus</i>	NE
Orchidaceae	<i>Spathoglottis plicata</i>	NE
Orchidaceae	<i>Tropidia viridifusca</i>	NE
Palmae	<i>Saribus jeanneneyi</i>	CR
Palmae	<i>Kentiopsis pyriformis</i>	NE
Pandanaceae	<i>Pandanus verecundus</i>	CR
Pandanaceae	<i>Pandanus lacuum</i>	EN
Pittosporaceae	<i>Pittosporum muricatum</i>	EN
Podocarpaceae	<i>Dacrydium guillauminii</i>	CR
Podocarpaceae	<i>Retrophyllum minus</i>	EN
Proteaceae	<i>Vrotia neurophylla</i>	VU
Proteaceae	<i>Kermadecia pronyensis</i>	VU
Sapotaceae	<i>Planchonella latihila</i>	CR
Sapotaceae	<i>Leptostylis goroensis</i>	CR
Sapotaceae	<i>Planchonella pronyensis</i>	EN
Sapotaceae	<i>Pycnandra francii</i>	VU
Espèces protégées par le code de l'Environnement de la province Sud		

6.4.4 Recommandations concernant les formations fragiles et les espèces rares

Les rapports produits suite aux inventaires floristiques sur le site des installations industrielles et minières de VNC ont conduit à des séries de recommandations et de mises en garde concernant les formations d'intérêt patrimonial, sensibles et les espèces rares. La recommandation la plus courante, dans les rapports de priorité de l'IRD, est la **protection des lambeaux de forêts humides à *Arillastrum gummiferum* et celle des forêts humides sur éboulis**.

Les forêts humides à *Arillastrum* les plus intactes se trouvent dans la Kué Est en aval de la verse à stériles, ainsi que sur les versants Est et Sud de la Kué Nord en amont de l'exercice minier. Ces grandes formations forestières couvrent une surface discontinue d'environ 20 hectares sur les zones de piémont et de pentes à éboulis entre les sources du KN1 et du KN2. Les forêts humides sur éboulis se trouvent au lieu-dit "l'entonnoir", en amont de la Kué Est et sur les versants Est, Ouest, Nord et Sud du Mont Ongoné ainsi que sur le versant Sud de la Kué Ouest à l'intérieur de l'emprise de l'aire de stockage des résidus.

Ces recommandations sont issues des travaux scientifiques menés par l'IRD démontrant que les forêts humides sont en régression dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie suite à une augmentation de la fréquence des incendies (Jaffré *et al*, 1998 b). La disparition des lambeaux de forêts dans le bassin de la Kué réduirait le potentiel génétique des dernières formations forestières et leur aptitude à se reproduire et à se régénérer. Ceci pourrait entraîner la disparition de populations d'espèces

forestières ainsi qu'une ressource économique renouvelable en essence forestière (*Arillastrum gummiferum*, *Montrouziera gabriellae*, *Agathis lanceolata*).

Les **maquis paraforestier à *Gymnostoma* et à *Arillastrum***, peuvent selon leur localisation, remplir des fonctions écologiques particulières (rôle de tampon, de réservoir de semences forestières, de corridor pour la faune ou encore la capacité d'évoluer vers des formations plus forestières. Ces derniers mériteraient, si possible, d'être utilisés comme milieu de reconstitution des formations forestières.

La deuxième recommandation concernant les formations végétales vise **la sauvegarde des maquis des zones humides et des formations rivulaires**. Outre leur intérêt écologique internationalement reconnu (zone RAMSAR), sont également reconnues pour les fonctions qu'elles exercent (épuration, stockage de l'eau...) et les cortèges originaux de faune et de flore qu'elles abritent. Les maquis de zone humide permanente constituent un écosystème particulier, très original, qui ne se rencontre que dans l'extrême Sud de la Grande-Terre notamment au niveau de la plaine des lacs (Jaffré et al. 2003). Cette aire restreinte se traduit par une flore composée d'espèces semi-aquatiques avec une répartition réduite, et qui pourrait subir des conséquences graves et irréversibles si une augmentation des perturbations des rivières advenait (Jaffré et al. 1998b).

Les surfaces de maquis rivulaires occupées par des installations du projet sont limitées au bassin de la Kué. En outre, des mesures de sauvegarde sont établies pour les espèces les plus rares (*Neocallitropsis pancheri*, *Rauvolfia sevenetii*, *Retrophyllum minus*, *Dacrydium guillauminii*). Ces mesures sont rappelées dans le volet E du présent livret.

6.5 FAUNE TERRESTRE

6.5.1 Les mammifères

Les chiroptères sont les seuls mammifères indigènes que l'on trouve en Nouvelle-Calédonie. On distingue les mégachiroptères (Roussettes) qui consomment principalement des fruits, des fleurs et du nectar et les microchiroptères (Chauve-souris) insectivores.

Parmi les mégachiroptères, il existe en Nouvelle-Calédonie deux genres possédant des espèces endémiques : *Pteropus* (4 espèces dont 2 endémiques) et *Notopteris* (1 espèce endémique). Parmi les microchiroptères, le genre *Miniopterus* possède 3 espèces endémiques.

Deux espèces ont été décrites dans la partie Sud de l'île (Mont-Dore et Yaté) et sont potentiellement présentes dans la zone du projet VNC : *Miniopterus australis australis* et *Miniopterus macrocneme* (Kirsh et al., 2002). Ces deux espèces sont cavernicoles et rupestres et se nourrissent d'insectes qu'elles chassent en empruntant des couloirs forestiers, des linéaires d'arbres ou des lisières, mais peuvent également survoler des zones plus ouvertes. En Australie, ces espèces montrent une préférence pour les habitats forestiers denses notamment les forêts denses humides. Les maquis ligno-herbacés ou arbustifs ne sont pas des milieux attractifs pour les mégachiroptères, en dehors des maquis paraforestiers (JC. Lefeuvre, C.I., comm. personnelle).

La plupart des autres mammifères de Nouvelle-Calédonie sont des espèces non indigènes arrivées avec l'homme, notamment des rongeurs, des ongulés, des chiens et des chats sauvages. Ils sont

néanmoins intéressants à étudier dans le cadre de la lutte contre les espèces envahissantes, et pour le danger qu'ils représentent pour la faune endémique. Les rongeurs (surtout les rats) sont peu abondants sur les sols ultrabasiques, mais peuvent proliférer autour des établissements humains.

Parmi les ongulés sauvages, il faut mentionner le cerf rusa et le cochon sauvage. Ils sont présents dans la région de Goro mais rarement observés et peuvent être un facteur de diminution des populations de végétaux et d'oiseaux (consommation des jeunes pousses par le cerf, piétinement et déracinement des végétaux par le cochon).

Les chiens et les chats sont les seuls prédateurs de mammifères en Nouvelle-Calédonie. Le chien a été introduit par les Mélanésien, tandis que les Européens ont introduit le chat.

Sur le site, des chats sauvages sont présents à proximité du CIM. A proximité du site, des rousettes ont été observées près de la Wadjana et de la forêt Nord (coté Port Boisé) lors de suivis de l'avifaune par le bureau d'étude ECCET. Des chiens de chasse égarés ont déjà été observés dans la plaine de Port Boisé et la Plaine des Lacs.

Des premières écoutes nocturnes, réalisées par l'IAC en mai 2015 au niveau d'allées forestières et de lisières Forêt/maquis, ont permis de détecter la présence de microchiroptère en transit et/ou en activité de chasse.

6.5.2 Les reptiles

 Voir Atlas Carte C39 - Localisation des stations d'inventaire de l'herpétofaune (état initial)

 Voir Atlas Carte C41 – Localisation des stations de suivi annuel de l'avifaune et de l'herpétofaune

La Nouvelle-Calédonie possède une faune de reptiles riche et diversifiée composée de serpents et de lézards. Les serpents terrestres sont représentés par 3 espèces.

30 espèces de lézards sur les 105 espèces du territoire sont actuellement répertoriées dans le Grand Sud (au sud d'une ligne Yaté-Mont Dore), la plupart sont endémiques et un nombre important reste à être décrit. Hormis quelques espèces de geckos répandues dans la région du Pacifique, la plupart des espèces de lézard répertoriées en Nouvelle-Calédonie sont endémiques à l'île.

La faune endémique des lézards comprend deux familles de geckos, les *Gekkonidés* et les *Diplodactylidés* ainsi qu'une famille de scinque, les *Scincidés*.

6.5.2.1 Etat initial

Plusieurs études ont permis successivement d'établir l'état initial de populations de lézards de l'emprise du projet de 2003 à 2011.

Une première étude a été entreprise en décembre 2003 pour identifier les espèces présentes par type d'habitat et une seconde en 2005 sur la région du grand Sud et du plateau de Goro³⁵. D'autres inventaires ont été réalisés jusqu'en 2015 sur les zones à défricher (voir Tableau 80). La plupart des espèces de lézard peut être classée dans l'un des 4 groupes suivants sur la base du comportement et de la préférence d'habitat :

³⁵ Inventaires effectués en 2005 par R. Sadlier et Glenn Shea du muséum de Sydney et par V. Laigret de l'Université de Nouvelle-Calédonie).

- espèces discrètes qui s’abritent et se nourrissent sous de surface du sol (la rhizosphère);
- espèces actives diurnes de surface qui ont tendance à forer et à se réfugier sous de la terre ;
- espèces actives diurnes de surface à comportement arboricole qui ont tendance à forer et se réfugier près des troncs et dans les feuillages des arbres, occasionnellement actives sur la surface du sol ;
- espèces nocturnes qui se nourrissent la nuit dans de petits arbrisseaux, des petits arbres ou dans des couverts forestiers, s’abritant durant le jour dans la végétation ou sous la couche de surface du sol, tous habitats confondus.

Le Tableau 80 présente la liste des lézards (scinques et geckos) inventoriés dans la zone d’influence du projet. La diversité spécifique s’établit à **18 espèces** de lézards répertoriées (10 scincidés et 8 geckos).

8 espèces de geckos sont présentes à la fois dans des habitats de maquis et de forêt . Parmi elles, le gecko *B. septuiclavis* est une espèce endémique régionale, limitée à l’extrême Sud de l’île (Bauer & Sadlier, 2000).

Les habitats les plus riches en termes de nombre d’espèces (15 espèces) sont les habitats “forestiers” au sens large : comprenant la forêt humide à Aghaitis (13 espèces), des morcellements de forêts rivulaires (5 espèces), la forêt à chêne gomme - *Arillastrum* (8 espèces), et les maquis paraforestiers (8 espèces). Pratiquement toutes les espèces de scincidés et de geckos répertoriées sur tous les sites de forêt fermée ont été également observées dans la Forêt Nord et trois espèces de geckos *Bavayia geitaina*, le *Bavayia robusta* et le *Rhacodactylus leachianus* n’ont été jusque-là observées que sur ces sites.

Onze espèces de lézards ont été identifiées comme étant endémiques inféodées au Sud de la Grande Terre sur les sols ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie ou même limitées aux habitats de forêt.

Quatre de ces espèces (*Bavayia robusta*, *Bavayia* cf. *sauvagii*, *Rhacodactylus sarasinorum*, et *Bavayia septuiclavis*) ont des distributions limitées à l’extrême Sud de l’île avec une limite Nord représentée par le Mont Ouin ou les Monts Koghis.

Le scincidé *Lacertoides pardalis* est inféodé aux crêtes de peridotites rocheuses du Grand Sud situées entre le bassin versant de la Kué (ex : zone du Col de l’Antenne) et la Rivière Bleue (Sadlier et al, 2014)). Le gecko *Bavayia* (cf. *cyclura*), devenu *Bavayia goroensis*, a été observé sur deux sites uniquement, l’un en maquis arbustif, l’autre en maquis préforestier à proximité du projet VNC.

Tableau 80 : Lézards inventoriés dans la zone d'influence du projet et répartition par formation végétale

	Espèce	Habitat							Endémique du Sud	
		Forêt fermée	Forêt rivulaire	Forêt à <i>Arillastrum gummiferum</i>	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	Maquis arbustif ouvert et fermé sur sol ferrallitique	Maquis ligno-herbacé sur pentes érodées et de piedmont		Maquis sur cuirasse
8 Geckos	<i>SQUAMATA</i>									
	<i>Diplodactylidae</i>									
	<i>Bavayia cyclura cf (Bavayia goroensis)</i>					*	*			*
	<i>Bavayia geitaina</i>	*						*		*
	<i>Bavayia robusta</i>	*								*
	<i>Bavayia sauvageii</i>	*		*					*	*
	<i>Bavayia septuiclavis</i>	*		*		*	*			*
	<i>Rhacodactylus auriculatus</i>	*	*	*		*	*	*	*	
	<i>Rhacodactylus leachianus</i>	*								
	<i>Rhacodactylus sarasinorum</i>	*		*						*
10 Scinques	<i>Scincidae</i>									
	<i>Caledoniscincus atropunctatus</i> °	*	*	*	*	*	*			
	<i>Caledoniscincus austrocaledonicus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	
	<i>Cryptoblepharus novocaledonicus</i>								*	
	<i>Lacertoides pardalis</i>							*		*
	<i>Lioscincus nigrofasciolatum</i>	(*)	*			*	*			
	<i>Lioscincus tillieri</i>							*	*	*
	<i>Marmorosphax tricolor</i>	*				*				
	<i>Nannoscincus mariei</i>			*			*			*
	<i>Sigaloseps deplanchei</i>	*								*
<i>Tropidoscincus variabilis</i>	(*)	*	*		*		*		*	
Total		13	5	8	2	8	7	6	5	11

° espèce non endémique

Source : Sadlier et Shea, 2004

6.5.2.2 Inventaires complémentaires

Une liste des inventaires complémentaires, réalisés depuis 2008 est présentée dans le volet F – Méthodes, à la section 2.2.5, notamment des inventaires complémentaires menés dans deux zones spécifiques :

- dans le secteur KO4 (sur les concessions AS1, AS2 et AS7) ;
- au niveau du col de l'Antenne pour le suivi du scinque léopard.

Par ailleurs, dans le cadre des études menées pour l'établissement des dossiers de défrichement, des observations relatives à la présence de lézards sont effectuées systématiquement. Les zones déjà prospectées sont les suivantes :

- les forêts humides de la Wajana et de la Kué Nord (2006) ;
- les forêts humides S2 et S5 de la Kué Ouest (2006) ;
- le tronçon de la voie de roulage entre KN1 et KN2-3 (2008) ;
- la zone de stockage de minerai basse teneur de la zone KN2-3 (SMBT KN2-3) et son bassin de sédimentation (BS KN2-3) ;
- la versée à stériles de la Kué Est (VSKE) et du noyau forestier situé en contrebas de la digue Ouest (KE4) (2008) ;
- la zone de stockage de minerai long terme (SMLT) et son bassin de sédimentation (BS6) (2008) ;
- la zone d'extraction de la fosse minière (5-10 ans) (2008) ;
- la zone de conservation de VNC de la Kué Nord (2009) ;
- la zone d'extraction de la fosse minière (10-20 ans) (2009) ;
- les campagnes de sondage KAORI, GANHIA 01 et GANHIA 03 (2010) ;
- la zone d'extraction de la fosse minière (20-30 ans) (2011) ;
- les secteurs KO4, Bureaux KO4, BS 10, BS V6, KWRSF, Ext ROM Pad & MIA, et ZEF (2014) ;
- la forêt Nothofagus (2014).

Enfin, les dernières campagnes de 2015 concernent les zones périphériques (zones tampons et route d'accès) et forestières du bassin versant de la Kué Ouest (KO4), du projet de déversoir et de la carrière.

- **Inventaires dans le secteur Kué Ouest**

Lors du dernier inventaire réalisé sur les forêts FA1, 2, 3, 4, 5 et 6 (en périphérie du projet Lucy) en mai 2015, 11 espèces de lézards comprenant 8 espèces de scinques et 4 espèces de geckos ont été répertoriées, sur l'ensemble des sites choisis.

Lors des inventaires des zones périphériques à KO4, 11 espèces de lézards (dont 3 geckos) ont également été répertoriées. L'ensemble de ces espèces est inscrit dans la liste des espèces animales protégées du code de l'environnement de la province Sud.

Tableau 81 : Distribution des espèces dans le secteur de la Kué Ouest

Espèces	Forêts KO4		Secteurs périphériques / route d'accès / carrière	
	Présence	Nb d'individus	Présence	
SCINQUES				
	<i>Caledoniscincus austrocaledonicus</i>	x	1	x
	<i>Caledoniscincus notialis</i>	x	10	x
	<i>Marmorosphax tricolor</i>	x	156	x
	<i>Simisscincus aurantiacus</i>	x	1	route d'accès
	<i>Sigaloseps deplanchei</i>	x	32	x
	<i>Tropidoscincus variabilis</i>	x	1	x
	<i>Lioscincus nigrofasciolatum</i>	x	1	route d'accès et carrière
<i>Lioscincus tillieri</i>			périphérie et carrière	
GECKOS	<i>Bavayia cf. sauvagii</i>	x	1	carrière
	<i>Bavayia septuiclavis</i>	x	4	carrière
	<i>Rhacodactylus sarasinorum</i>	x	1	
	<i>Rhacodactylus auriculatus</i>	x	1	route d'accès et carrière
Nombre d'espèces	11	209	11	

- Inventaires dans la zone KO4**

Lors des l'études de l'herpétofaune réalisée sur l'ensemble du projet Lucy es concessions AS2 et AS7 (KO4), 1 seule espèce présentant un intérêt particulier en termes de conservation a été observée. Il s'agit du Scinque Léopard de Nouvelle-Calédonie (*Lacertoides pardalis*). Trois individus ont en effet été observés sur le site proposé pour l'implantation de la carrière CP-A1 (entre KO4 et KO5) en 2014.

Il est aussi cependant indiqué que la forêt humide sur la concession AS7 accueille probablement plusieurs espèces présentant un intérêt particulier en termes de conservation. Cependant les campagnes de détection n'ont pas réussi à les enregistrer en grand nombre suggérant des faibles populations.

Différentes parcelles de maquis arbustif dense, situées le long de la limite du projet pourraient assurer la présence de populations sources adaptées pour la réintroduction d'un ensemble d'espèces de lézards sur les sites adjacents proposés pour un projet de repeuplement à venir.

- **Suivi d'une espèce protégée par le code de l'environnement de la province Sud, le scinque léopard**

Le scinque léopard de Nouvelle-Calédonie, *Lacertoides pardalis*, a une aire de répartition restreinte à l'extrême Sud de la Grande Terre entre la région de la Plaines des Lacs, les bassins avoisinants et le bassin versant de la Rivière Bleue. Elle se trouve inféodée au maquis ligno-herbacé sur pente avec blocs de péridotites.

La première population de scinque léopard a été découverte en 1995 au col de l'Antenne, lors de la prospection dans la région par les herpétologistes australiens (Sadler et al., 1997). L'espèce a, de nouveau, été observée lors de l'état initial des populations de lézards de l'ensemble du projet de VNC de 2003, à proximité de travaux d'aménagement au col de l'Antenne. Suite à cela, il a été demandé un suivi permanent de cette population qui était à l'époque la seule population connue. Plusieurs suivis ont depuis été réalisés :

- en 2005, au col de l'Antenne, sur 7 stations de suivi. La méthode utilisée était l'observation opportuniste des individus avec une paire de jumelles pendant 15 minutes, deux fois par jour, sur 3 jours ;
- en décembre 2008, au col de l'Antenne, le suivi a permis de recenser trois individus de lézards sur deux localités différentes, supposés représenter deux populations distinctes :
 - sur la route de l'Antenne (Forêt Nord – 4 stations), deux individus sub-adultes (site C : 75 mm et site B : 83 mm de long) ont été capturés grâce aux pièges à glue en maquis dense ;
 - sur la mine A1 (1 station) un seul individu femelle de 134 mm de long, a été capturé par un piège à glue en maquis dense avec blocs de péridotite.

La confirmation de la présence de sub-adultes lézards léopard au col de l'Antenne, après les travaux de dynamitage effectués en 2006 montre que cette population est toujours active sexuellement, dans le sens où ces individus sont supposés provenir d'une portée remontant à la période de forte activité sur ce col.

Les amphibiens terrestres ne sont représentés dans le Sud que par une seule espèce introduite de grenouille *Litoria aurea* (Bauer et Vidum, 1990). Elle provient d'Australie et vit dans de nombreux habitats situés à moins de 200 m d'altitude. Cette espèce est observée dans les dolines permanentes ou temporaires et les lacs (forme adulte ou têtards en grand nombre). Bien qu'inscrite sur la liste rouge de l'UICN, il s'agit d'une espèce exogène qui prolifère dans un milieu vacant d'amphibien indigène, en particulier dans le Grand Sud, et reste à ce titre à surveiller.

L'espèce envahissante *Chaunus marinus*, le crapaud buffle, détecté en Nouvelle-Calédonie depuis 2009, suite à une introduction accidentelle, fait l'objet d'un suivi préventif sur le site de Goro (Biodical, 2012), mais aucun individu ni aucune ponte n'ont été détectés à ce jour.

6.5.3 L'avifaune

 Voir Atlas Carte C40 – Localisation des stations d'inventaire de l'avifaune (état initial)

 Voir Atlas Carte C41 – Localisation des stations de suivi annuel de l'herpétofaune et de l'avifaune

Les oiseaux sont les espèces animales les mieux documentées de la Nouvelle-Calédonie et les vertébrés les mieux représentés. L'avifaune terrestre néo-calédonienne compte 189 espèces dont 24 sont endémiques (Barré et Dutson, 2000). Elle est considérée comme l'une des plus riches du Pacifique. De plus, la coévolution supposée entre les oiseaux de Nouvelle-Calédonie et la flore locale accentue l'importance de la sauvegarde de chacun de ces groupes, interconnectés et nécessaires l'un à l'autre (Desmoulins, 2009).

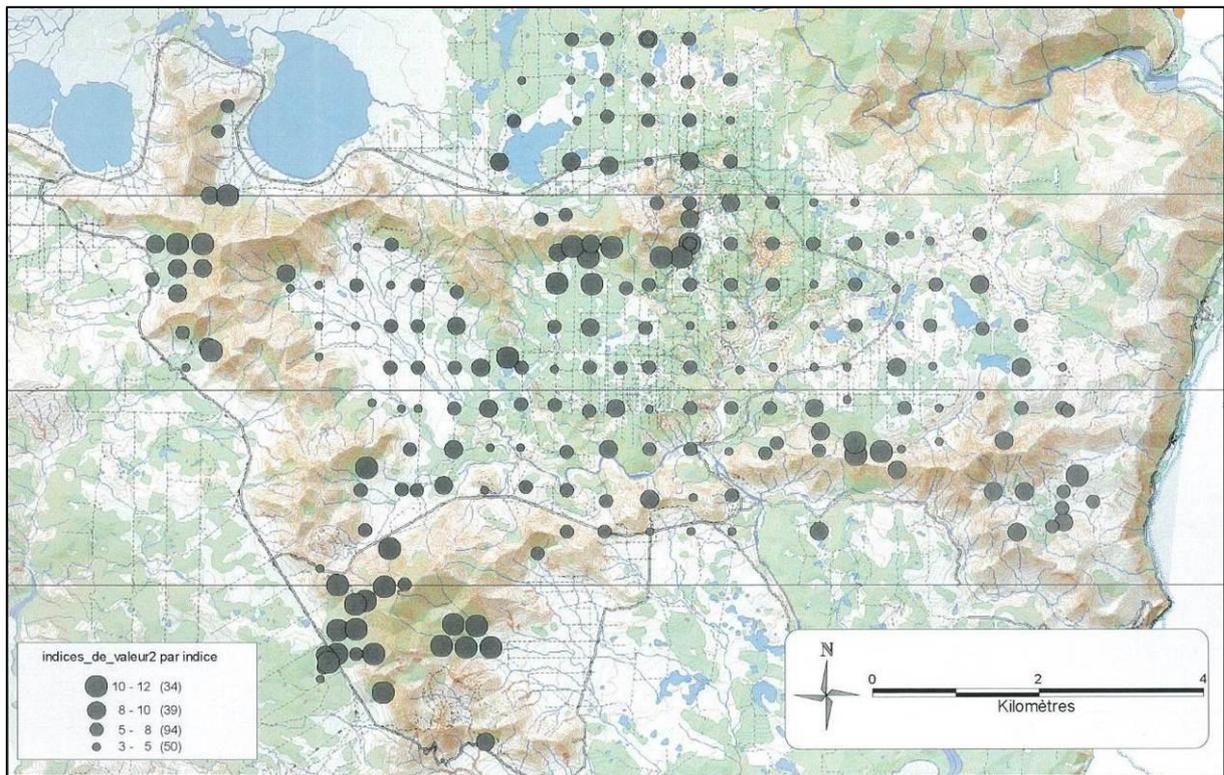
Environ 15 espèces d'oiseaux ont été introduites en Nouvelle-Calédonie mais à peine la moitié d'entre elles s'y est vraiment développée.

6.5.3.1 Etat initial avant l'exploitation de la mine

Un inventaire de l'avifaune du plateau de Goro a été réalisé en 2003 (saison sèche) et en 2004 (saison humide) à la demande de VNC par l'Institut agronomique Néo-Calédonien. Les prospections ont concerné les maquis et la forêt dense humide sempervirente. Les deux plans d'eau principaux de la Plaine des Lacs (Lac en Huit, Grand Lac) ont également été inventoriés.

Le Plateau de Goro présente une richesse avifaunistique importante avec **34 espèces dont 11 endémiques, selon le dernier inventaire de 2014**. Le taux élevé d'endémisme (37,5 %) des espèces d'oiseaux rencontrées sur le plateau de Goro est révélateur d'un milieu intéressant par son originalité et sa biodiversité. **Deux espèces sont identifiées comme « espèces protégées » par le code de l'environnement de la province Sud** : l'Autour à ventre blanc et la Perruche à front rouge.

Un indice synthétique de valeur patrimoniale a été déterminé pour chaque point d'écoute en fonction du nombre d'espèces contactées, du nombre d'individus contactés, du nombre d'espèces endémiques et du nombre d'espèces patrimoniales référencées par l'UICN. La Figure 129 présente les résultats de cette analyse.



Source : IAC, 2004

Figure 129 : Répartition des points d'écoute en fonction de la valeur de l'indice patrimonial en saison sèche

Sur la base des indices patrimoniaux les secteurs présentant la plus forte avifaune sont les suivants : le pic du Grand Kaori et sa réserve naturelle, la réserve naturelle de la Forêt Nord, la petite forêt au Nord de la Forêt Nord, les forêts du Pic de l'ancienne mine, la forêt et la vallée des Monts Mwéri, la forêt de plaine et les forêts de la cuvette Est.

Inventaires complémentaires

Un inventaire de l'avifaune a été réalisé en mai 2011 sur les **concessions AS1 (partie Sud) AS3, AS4, AS5** et sur la zone **NICO B EST**. Seule la concession AS1 est intégrée à l'emprise du projet VNC. La carrière Audemard est établie au centre de cette concession, le parc à résidus occupe la partie Ouest et des routes relient le parc à résidus à la mine au Nord et au centre.

Dans ce secteur, **20 individus ont été contactés pour 6 espèces**. Ce site est clairement le secteur le plus pauvre. Il s'agit d'un secteur très peu favorable au contact des oiseaux en raison de l'activité industrielle intense qui s'y déroule, le bruit ambiant rendant la détectabilité des oiseaux plus faible. Quatre espèces sont constantes : le Zostérops à dos vert, le Méliphage barré, le Myzomèle calédonien et le Diamant psittaculaire. Trois espèces sont accessoires : le Siffleur itchong, le Rhipidure à collier et le Méliphage à oreillons gris.

6.5.3.2 Etat actuel : suivi de l'avifaune

Les oiseaux terrestres ont été retenus comme groupe faunistique indicateur de la santé des milieux terrestres de la région du Grand Sud, et notamment des écosystèmes forestiers limitrophes des infrastructures de VNC. Les habitats à forte diversité biologique et d'intérêt patrimonial comme, par exemple, les forêts humides, lesquelles sont protégées d'après le code de l'environnement de la

province Sud (articles 231-1 à 235-3) ou les maquis paraforestiers renferment la plus forte diversité en espèces d'oiseaux. Ces habitats particuliers ont donc été choisis pour être suivis.

Le suivi de l'avifaune forestière et lacustre du Plateau de Goro consiste à surveiller la richesse d'espèces et d'individus d'oiseaux des milieux forestiers, paraforestiers et lacustres. Les investigations ont porté sur 12 sites comportant 4 stations chacun (2 stations se situant dans la forêt humide et 2 dans le maquis paraforestier limitrophe) depuis 2008. Le bilan des données collectées des suivis de 2008 à 2014 est présenté dans le Tableau 82.

Tableau 82 : Bilan des données collectées pour le suivi des oiseaux terrestres, 2008-2009-2013-2014

	2008		2009	2013	2014
	Saison humide	Saison post-nuptiale	Saison post-nuptiale	Saison post-nuptiale	Saison post-nuptiale
Nombre d'espèces	26	28	29 (+6 espèces lacustres)	28	34
Nombre d'individus	1802	2409	2957	2629	3169
Nombre de relevés	192	192	202	-	-

Hormis le corbeau calédonien, espèce endémique rarement observée sur le plateau de Goro et qui n'a pas été observé pendant la période post-nuptiale de 2009, le peuplement d'oiseaux terrestres n'a que peu évolué entre 2008 et 2014. Enfin, toutes les espèces endémiques comme le Notou, l'Autour à ventre blanc ou encore la Perruche à front rouge ont été observées lors de chaque suivis.

Les réserves spéciales de faune (oiseaux marins) les plus proches de la zone du projet de VNC sont situées à proximité de Nouméa (îlot Sèche-croissant et île aux Goélands), à plus de 60 km de la zone du projet. Les oiseaux marins protégés par le code de l'environnement de la province Sud (pétrels et puffins actifs durant la nuit) font l'objet de surveillance continue. Le nombre d'oiseaux marins échoués est comptabilisé depuis 2008. Trois sous-espèces endémiques sont ciblées :

- Pétrel de Gould, *Pterodroma leucoptera caledonica* qui est classée vulnérable sur la liste rouge de l'UICN (UV) (Barré, Hébert et Demoulin 2011) ;
- Pétrel de Tahiti, *Pseudobulweria rostrata trouessarti* qui est classée quasi menacée d'extinction (NT) ;
- Puffin du Pacifique ou Puffin Fouquet, *Puffinus pacificus chlororinchus* dont 50 % de la population mondiale est concentrée sur le territoire de Nouvelle-Calédonie (CPS, SCO et province Sud, 2009).

Les oiseaux marins, notamment le pétrel de Gould, le pétrel de Tahiti et le puffin du Pacifique, sont tous protégés par le code de l'environnement de la province Sud et font partie d'un programme de sauvegarde mené par la Société Calédonienne d'Ornithologie (SCO) intégrant une vigilance accrue lors des périodes de premier envol des petits (décembre à mai), qui s'échouent régulièrement. VNC participe activement à ce programme depuis 2007, tient à jour un registre des actions menées en faveur des oiseaux marins et le transmet à la SCO qui l'inclut dans son bilan annuel du programme.

6.5.4 Les Mollusques

En Nouvelle-Calédonie, plusieurs groupes d'invertébrés présentent un fort taux d'endémisme (60 à 100 %) et une grande diversité spécifique. Les mollusques terrestres sont représentés par 131 espèces de la classe des gastropodes (Rescan, 2000a). Deux genres d'escargots de la famille des

Buliminidae, Placostylus et Leucocharis, existent dans le Sud. De nombreuses grosses coquilles vides de l'espèce endémique *Placostylus fibratus* ont été identifiées à la lisière des formations paraforestières de la région de Goro. Cet escargot est classé comme 'vulnérable' (VUA1cde) par l'UICN.

Espèce invasives

L'escargot géant originaire d'Afrique (*Achatina fulica*) est également présent dans la région du Sud. Cette espèce a été introduite en Asie du Sud-Est comme source d'alimentation avant d'arriver en Nouvelle-Calédonie via Tahiti en 1972. Consommant toutes sortes d'aliments et particulièrement prolifique, il fait ainsi concurrence aux escargots endémiques qui occupent des niches écologiques semblables.

6.5.5 Les insectes

Un inventaire des insectes de quatre réserves naturelles du Sud de la Nouvelle-Calédonie (Pic du Pin, Pic du Grand Kaori, Forêt Nord et Cap N'Dua) a été réalisé par le Museum of Queensland en décembre 2004 et janvier 2005. Un total de 1456 espèces d'insectes a été trié lors de cette étude, représentant 10 ordres et 166 familles.

La réserve naturelle du Pic du Grand Kaori abrite le plus grand nombre d'espèces intéressantes (45), suivi par la Forêt Nord (37) et le Pic du Pin (35). Le Cap N'Dua présente le plus faible nombre d'espèces intéressantes en raison, peut-être, d'après le Queensland Museum, de la présence forte de *Wasmannia* (fourmi électrique).

Le cas particulier des fourmis

 Voir Atlas Carte C42 – Localisation des stations d'inventaire de la myrmécofaune (état initial)

Une étude sur la myrmécofaune a été réalisée en 2003-2004 (rapport final Chazeau *et al.*, 2004) par l'IRD dans la zone du projet de VNC. Les Formicidae (*Insecta*, *Hymenoptera*) ont été retenus comme un groupe faunistique indicateur de la qualité des milieux. Ils sont en effet un groupe clé de voûte dans les systèmes écologiques terrestres et un bon marqueur des habitats, utilisé en particulier comme indicateur dans le suivi de la réhabilitation de zones dégradées en milieu minier (Majer 1983, 1992, 1996, 2000, Andersen 1990, Majer *et de* Kock 1992, Majer *et* Beeston 1996, King *et al.* 1998, Bisevac *et* Majer 1999, Lloyd *et al.* 2002).

La faune myrmécologique recensée présente un grand intérêt au plan de la taxonomie et de la biogéographie : l'endémisme spécifique est très élevé et le caractère archaïque de plusieurs genres (*Leptomyrme*, *Discothyrea*, *Cerapachys*, *etc.*) en accroît l'intérêt scientifique et patrimonial.

Un total de **66 espèces de fourmis, appartenant à 32 genres** a été recensé lors de l'étude de l'IRD. Les deux tiers de ces espèces sont endémiques (43 espèces, soit 65 %), 13 espèces (soit 20 %) sont natives et 10 espèces sont introduites (15 %).

Les différences faunistiques entre les grands ensembles sont assez bien marquées, richesse et originalité faunistique allant croissant avec la complexité du milieu. Seuls les maquis paraforestiers, les formations préforestières et les forêts comptent plus de 13 espèces : tous les maquis ligno-herbacés et arbustifs, mais aussi 2 des maquis paraforestiers, comptent de 8 à 13 espèces.

Espèces introduites et invasives

Les espèces invasives considérées comme les plus dangereuses pour la qualité des milieux sont *Wasmannia auropunctata* et *Anoplolepis gracilipes*. *Wasmannia auropunctata* ont une action dépressive sur la faune et sont présentes à des niveaux divers. Les autres fourmis invasives sont les espèces communément rencontrées dans le Sud et l'Ouest calédonien : *Brachymyrmex obscurior*, *Cardiocondyla emeryi*, *Monomorium floricola*, *Paratrechina longicornis*, *Paratrechina vaga*, *Solenopsis geminata* et *Tetramorium tonganum*. La différence est très sensible entre les stations où la faune native est soumise à la pression des espèces introduites (zones anthropisées) et les stations indemnes d'invasives.

Solenopsis invicta, la « red imported fire ant » (RIFA) qui a été recherchée dans les zones d'arrivée et de stockage de matériel, n'a pas été observée et *Solenopsis geminata* est la seule espèce du genre capturée au cours de l'étude. Cette "fourmi rouge" calédonienne, très proche morphologiquement de *S. invicta*, est aussi une espèce introduite, aujourd'hui commune dans les milieux ouverts de l'Ouest et du Sud.

Un bilan de la contamination par la fourmi électrique des habitats naturels situés sur la zone d'emprise de l'unité de préparation du minerai a été réalisé en juillet 2006 par l'IRD. Les populations détectées sont de tailles variables et occupent des zones allant de 0,5 à 3,17 ha. La surface contaminée représente 9,8 % de la zone investiguée.

Tableau 83 : Liste de la myrmécofaune du site de VNC (Chazeau et al., 2004)

Espèce	Statut	Habitats contactés								
		Formations pré forestières et forestières	Maquis paraforestier	Maquis arbustifs	Maquis Ligno-herbacés	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum</i>	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma</i>	Forêt rivulaire (Entonnoire)	Maquis arbustif à <i>Araucaria muelleri</i>	
<i>Adelomyrmex sp. GA</i>	E	*	*			*	*		*	
<i>Anochetus graeffei</i> Mayr, 1870	N	*	*		*			*		
<i>Anonychomyrma sp. GA</i>	E	*								
<i>Camponotus gambeyi</i> Emery, 1883	E	*	*						*	
<i>Camponotus hoplites</i> Emery 1914	E	*								
<i>Camponotus sommeri</i> Forel, 1894	N	*								
<i>Cerapachys sp. GA</i>	E	*								
<i>Crematogaster sp. GA</i>	E	*								
<i>Discothyrea sp. GA</i>	E	*	*					*		
<i>Discothyrea sp. GB</i>	E	*								
<i>Eurhopalothrix caledonica</i> Brown & Kempf, 1960	E	*	*				*			
<i>Hypoponera sp. GA</i>	N	*								
<i>Iridomyrmex calvus</i> Emery, 1914	E				*					
<i>Leptomymex pallens</i> Emery, 1883	N	*								
<i>Leptomymex pallens nigriceps</i> Emery, 1883	E	*	*	*					*	*
<i>Lordomyrma rouxi</i> (Emery), 1914	E	*							*	
<i>Lordomyrma sp. GA</i>	E		*							
<i>Lordomyrma sp. GB</i>	E	*								
<i>Lordomyrma sp. GC</i>	E	*								
<i>Lordomyrma sp. GD</i>	E		*							
<i>Lordomyrma sp. GE</i>	E	*	*			*				
<i>Megalomyrmex sp.</i>	E	*								
<i>Meranoplus levellei</i> Emery, 1883	E	*	*							

Espèce	Statut	Habitats contactés								
		Formations pré forestières et forestières	Maquis paraforestier	Maquis arbustifs	Maquis Ligno-herbacés	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum</i>	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma</i>	Forêt rivulaire (Entonnoire)	Maquis arbustif à <i>Araucaria muelleri</i>	
<i>Monomorium longipes</i> Emery, 1914	E	*	*	*		*			*	*
<i>Monomorium</i> sp. GC	E	*								
<i>Monomorium</i> sp. GA	N	*	*		*			*	*	
<i>Monomorium</i> sp. GB	E		*	*		*				*
<i>Monomorium tricolor</i> Emery, 1914	E	*	*	*						
<i>Ochetellus glaber</i> Mayr, 1862	N		*		*			*		
<i>Odontomachus simillimus</i> Smith, F., 1858	N									
<i>Oligomyrmex sodalis</i> (Emery), 1914	N	*	*	*					*	
<i>Oligomyrmex</i> sp. GA	E				*					
<i>Orectognathus sarasini</i> (Emery), 1914	E		*			*				
<i>Paratrechina caledonica</i> (Forel), 1902	E	*	*						*	
<i>Paratrechina foreli</i> (Emery), 1914	E	*	*	*					*	*
<i>Paratrechina</i> sp. GA	E	*	*	*		*		*		
<i>Paratrechina</i> sp. GB	E	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Paratrechina</i> sp. GC	E	*								
<i>Paratrechina</i> sp. GD	E	*	*							
<i>Pheidole luteipes</i> (Emery), 1914	E	*	*	*	*	*		*	*	
<i>Pheidole</i> sp. GA	E	*								
<i>Pheidole</i> sp. GB	E			*						
<i>Pheidole</i> sp. GC	E	*	*	*	*	*	*		*	
<i>Pheidole</i> sp. GD	E	*	*							
<i>Podomyrma</i> sp.	E	*		*						
<i>Polyrhachis guerini</i> Roger, 1863	N	*	*	*	*	*				*
<i>Pyramica (Glamyromyrmex)</i> sp. GA	E		*							
<i>Rhytidoponera littoralis</i> Ward, 1984	E		*							
<i>Rhytidoponera luteipes</i> Ward, 1984	E	*								

Espèce	Statut	Habitats contactés								
		Formations pré forestières et forestières	Maquis paraforestier	Maquis arbustifs	Maquis Ligno-herbacés	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum</i>	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma</i>	Forêt rivulaire (Entonnoire)	Maquis arbustif à <i>Araucaria muelleri</i>	
<i>Rhytidoponera numeensis</i> (André), 1889	E	*	*	*		*			*	*
<i>Rhytidoponera versicolor</i> Brown, 1958	E	*	*	*		*			*	*
<i>Strumigenys lamia</i> Bolton, 2000	E	*	*						*	
<i>Strumigenys</i> sp. GA	N	*								
<i>Strumigenys</i> sp. GB	N	*								
<i>Tetramorium</i> sp. GA	N	*	*	*		*				
<i>Tetramorium tenuicrinis</i> (Emery), 1914	N	*								
Espèces introduites										
<i>Anoplolepis gracilipes</i> (Smith, F.), 1857	I	*	*	*	*		*	*		
<i>Brachymyrmex obscurior</i> Forel, 1893	I	*	*	*	*	*	*			
<i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881	I	*	*	*	*			*		*
<i>Iridomyrmex</i> sp.	I									
<i>Monomorium floricola</i> (Jerdon), 1851	I	*	*	*	*		*		*	
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille), 1802	I	*								
<i>Paratrechina vaga</i> (Forel), 1901	I			*	*					
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius), 1804	I		*		*					
<i>Tetramorium tonganum</i> Mayr, 1870	I		*	*				*		
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger), 1863	I	*	*	*	*	*	*			
Total		51	39	23	16				16	9

Légende :

E : espèce endémique; N : espèce native (indigène);

I : espèce introduite

6.5.6 Les araignées

Une espèce endémique d'araignée mygalomorphe, *Idioctis ferrophila*, est localisée et limitée à la zone intertidale autour de la jetée de Port Boisé où elle vit dans les cavités des rochers le long du rivage (Rescan, 2000). Deux autres genres endémiques d'araignées, Barycheloides (5 espèces) et Encocrypta (16 espèces limitées aux habitats ultramaïques) existent sans doute dans la région de Goro. On y trouve également des veuves noires (*Latrodectus sp.*).

6.5.7 Espèces animales protégées, endémiques, rares ou menacées d'extinction

En province Sud, le code de l'environnement établit la liste des espèces animales protégées. La législation en vigueur classe les **espèces faunistiques** protégées en trois listes :

- Liste A : espèces sujettes à des mesures de protection saisonnières ou provisoires ;
- Liste B : espèces dont la chasse et la capture sont interdites tout au long de l'année et dont la possession est assujettie à des dispositions bien précises ;
- Liste C : espèces menacées d'extinction dont la chasse, la capture ou la possession est rigoureusement interdite, sauf dans certains cas précis (comme la recherche scientifique).

La protection internationale des espèces faunistiques est assurée par diverses conventions et organisations, notamment la Convention CITES, le PNUE et l'UICN. Pour déterminer la situation des espèces animales en matière de conservation sous l'angle de l'évaluation environnementale du projet, les éléments suivants ont été utilisés :

- les critères des catégories de l'UICN pour les listes rouges (UICN, 1994) ;
- les listes rouges des animaux menacés d'extinction dressées en 1996 par l'UICN pour l'établissement des espèces faunistiques déjà classées comme menacées (UICN, 1996; Walter et Gillett, 1998) ;
- la liste des animaux protégés en vertu de la Convention CITES (CITES, 2000) et du PNUE (PNUE, 2000) ;
- la liste des espèces animales protégées par le code de l'environnement de la province Sud.

Concernant la région du projet industriel VNC, une liste des espèces classées par ces trois organisations est présentée dans le rapport Rescan (2000a). Sur les 78 espèces potentiellement présentes dans la zone du projet industriel VNC, 9 sont listées par la CITES, 4 par le PNUE et 8 sont classées comme "menacées" selon l'UICN. Ces espèces sont listées dans le Tableau 84.

Tableau 84 : Liste des espèces classées par la CITES, le PNUE, l'UICN et protégées par le code de l'environnement de la province Sud sur la zone du projet VNC

Groupe	Nom taxinomique	CITES	PNUE	UICN	Code de l'environnement
oiseaux	<i>Pandion haliaetus melvillensis</i>	Appendix II	nc	nc	
oiseaux	<i>Circus approximans</i>	Appendix II	nc	nc	protégée
oiseaux	<i>Eunymphicus cornutus cornutus</i>	Appendix II	nc	Vulnérable	protégée
reptiles	<i>Rhynchochetos jubatus</i>	Appendix I	Menacé d'extinction	Menacé d'extinction	protégée
oiseaux	<i>Coracina analis</i>	nc	Rare	nc	protégée
oiseaux	<i>Ducula goliath</i>	nc	Vulnérable	Vulnérable	
oiseaux	<i>Gymnomyza aubryana</i>	nc	nc	Vulnérable	protégée
oiseaux	<i>Drepanoptila holosericea</i>	nc	Vulnérable	Vulnérable	protégée
oiseaux	<i>Accipiter haplochrous</i>	Appendix II	nc	nc	protégée
oiseaux	<i>Cyanonamphus novaezelandiae saisseti</i>	Appendix I	nc	nc	
oiseaux	<i>Haliastur sphenurus</i>	Appendix II	nc	nc	protégée

Groupe	Nom taxinomique	CITES	PNUE	UICN	Code de l'environnement
oiseaux	<i>Falco peregrinus nesiotés</i>	Appendix I	nc	nc	protégée
oiseaux	<i>Tyto alba lifuensis</i>	Appendix II	na	nc	
mammifères	<i>Miniopterus australis australis</i>	nc	nc	Faible risque	protégée
amphibiens	<i>Litoria aurea</i>	nc	nc	Faible risque	
Mollusques	<i>Placostylus fibratus</i>	nc	nc	Vulnérable	protégée
	<i>Note : nc = non classé. Classification CITES :- Appendix I : liste des espèces menacées d'extinction. Appendix II : liste des espèces qui ne sont pas nécessairement en danger d'extinction aujourd'hui mais qui peuvent le devenir à moins que leur commerce ne soit strictement contrôlé</i>				

Note : nc = non classé. Classification CITES :- Appendix I : liste des espèces menacées d'extinction. Appendix II : liste des espèces qui ne sont pas nécessairement en danger d'extinction aujourd'hui mais qui peuvent le devenir à moins que leur commerce ne soit strictement contrôlé

6.6 CONTINUITES ECOLOGIQUES

Les continuités écologiques, souvent appelées corridors écologiques, sont des continuums plus ou moins perméables aux espèces qu'ils ciblent, entre des habitats discontinus.

Il existe une grande variété de réalités derrière l'intitulé « corridor » : corridors biologiques, corridors écologiques ou corridors de conservation, à chacune correspondant une échelle d'analyse et une diversité d'acteurs. Toutefois, elles ciblent les mêmes deux objectifs prioritaires :

- Maintenir des écosystèmes fonctionnels et évolutifs capables de supporter la conservation des espèces et des habitats ;
- Promouvoir l'utilisation raisonnée des ressources naturelles.

Le CNRT et la province Sud travaillent actuellement en partenariat avec des organismes spécialisés sur des études dont l'objectif est d'identifier et proposer des continuités écologiques dans le Grand Sud Calédonien.

7 MILIEU HUMAIN

 Voir Atlas Carte C43 – Milieu Humain : habitat, patrimoine et tourisme

Le livret G développe largement l'état des lieux socio-économique dans la zone d'étude. Ce chapitre reprend seulement les éléments permettant d'appuyer l'évaluation des effets potentiels du projet sur les biens, le patrimoine archéologique et culturel, tel que demandé dans le code minier.

L'aire d'influence potentielle du projet comprend les communes du Mont Dore et de Yaté mais les impacts étudiés ici concernent essentiellement la commune de Yaté. Les zones suivantes sont susceptibles d'être impactées :

- La Conception (commune du Mont-Dore) ;
- Saint-Louis (commune du Mont-Dore) ;
- Mont-Dore (commune du Mont-Dore) ;
- Ile Ouen (commune du Mont-Dore) ;
- Goro (commune de Yaté) ;
- Touaourou (Commune de Yaté) ;
- Unia (commune de Yaté) ;
- Waho (commune de Yaté).

La commune de Yaté, la plus étendue de Nouvelle-Calédonie et la moins densément peuplée, est composée d'une population d'origine mélanésienne (plus de 95 %), localisée essentiellement sur la bande littorale du Sud-Est de la commune. Les structures traditionnelles du pouvoir et des prises de décision sont encore bien présentes.

En revanche, au Mont-Dore, la population est plus nombreuse et d'origine diverse (européenne, mélanésienne, polynésienne, et autres). La population du Mont-Dore est concentrée à la périphérie de Nouméa et sur une bande littorale qui s'étend jusqu'à Plum. Le niveau d'équipements publics est plus important qu'à Yaté, sauf pour la partie Sud de la commune et notamment l'île Ouen.

7.1 FREQUENTATION ET UTILISATION DU SITE

Le site du projet est fréquenté actuellement par les employés de VNC pour l'exploitation de la mine et peut également être traversé par les habitants de Goro qui empruntent la route publique CR10. Avant le développement du projet la région était fréquentée pour les loisirs (balades, 4x4, vtt) et pour la coupe de bois.

7.2 POPULATION ET INSTALLATIONS PERIPHERIQUES

7.2.1 Population

La population totale de la Nouvelle-Calédonie s'établit à 245 580 habitants (recensement de 2009). Elle subit une croissance rapide car elle a plus que doublé depuis 1965.

Commune de Yaté

La commune de Yaté se compose de 4 tribus (Unia, Waho, Touaourou et Goro) et d'un "centre administratif" nommé Yaté village. La population de la commune de Yaté s'élevait à 1881 habitants en 2009. En 2005, la tribu d'Unia représentait à elle seule 43,5 % de la population de Yaté, la tribu de Touaourou 25 %, Waho 15 % et Goro 14 %. Les 2,5 % restant vivaient au village. Les données par tribu ne sont pas disponibles en 2009, mais on peut supposer que la répartition est la même qu'en 2005.

Tableau 85 : Evolution de la population sur la commune de Yaté

Commune	Population			Taux d'évolution annuel
	1996	2004	2009	
Yaté	1 554	1 843	1 881	1,48 %
Province Sud	134 546	164 235	183 007	2,4 %
Nouvelle-Calédonie	196 836	230 789	245 580	1,72 %

Source : INSEE-ISEE Recensement de la population, Nouvelle-Calédonie, 1996 à 2009

La population de Yaté représente une très faible proportion de la population de la Nouvelle-Calédonie (moins de 1 %). C'est également la commune la moins densément peuplée de la Nouvelle-Calédonie car c'est la plus étendue au niveau de sa superficie (1 338 km² - 15^{ème} commune de France). L'accroissement de la population de Yaté est élevé (69 % entre 1969 et 2009). La population est jeune et sur-masculinisée.

Commune de Mont-Dore

La commune de Mont-Dore se compose de 3 tribus (la Conception, Saint-Louis et Mont-Dore). La population de la commune de Mont-Dore représente 25 683 habitants en 2009. Les trois tribus mélanésiennes les plus peuplées sont intégrées en milieu suburbain. Une petite communauté tribale (tribu d'Ouara) traditionnelle à faible densité de population est isolée sur l'île Ouen. Entre 1996 et 2004, ces trois tribus tout comme l'île Ouen ont présenté une diminution de population.

Tableau 86 : Evolution de la population sur la commune de Yaté

Commune	Population			Taux d'évolution annuel
	1996	2004	2009	
Mont-Dore	20 780	24 195	25 683	1,64 %
Province Sud	134 546	164 235	183 007	2,4 %
Nouvelle-Calédonie	196 836	230 789	245 580	1,72 %

Source : INSEE-ISEE Recensement de la population, Nouvelle-Calédonie, 1996 à 2009

La population de Mont-Dore a fortement augmenté depuis 1969. Cette augmentation est en lien avec l'explosion de la population du Grand Nouméa. La population du Mont-Dore représente à peu près 10 % de la population de la Nouvelle-Calédonie. La commune est étendue et diverse (urbaine et rurale) et les densités de population sont contrastées.

7.2.2 Habitat-logement

En Nouvelle-Calédonie, le type d'habitation recensé en 2009 était pour 66 % des maisons, 28 % des appartements et 2 % des cases mélanésiennes. Les maisons individuelles constituent le type d'habitation le plus répandu, à part à Nouméa, où les immeubles collectifs prédominent. En 2009, 62 % des ménages étaient propriétaires de leur résidence principale. Près du tiers des ménages sont locataires et 7 % sont logés gratuitement.

Commune de Yaté

Sur la commune de Yaté en 2009, on recensait 426 maisons qui représentaient 96 % du nombre total d'habitations. Les autres types d'habitations correspondent à des cases mélanésiennes ou des constructions provisoires. A Yaté, le pourcentage de personnes vivant en location est quasiment insignifiant (2 %), reflétant une structure de propriété traditionnelle (90 % de propriétaire). 8 % des foyers sont occupants à titre gratuit, en accord avec la moyenne territoriale.

Commune de Mont-Dore

Bien que situé en zone urbaine et péri-urbaine, le Mont-Dore ne comporte pas une proportion importante d'appartements. En effet, on y recense 91 % de maisons et seulement 6 % d'appartements. Près des trois quarts de la population vivent dans des logements dont ils sont propriétaires (73 %) et 7 % sont logés gratuitement, en accord avec la moyenne du Territoire. La proportion de locataires (20 %) est plus importante qu'à Yaté, en cohérence avec le statut urbain de certaines parties du Mont-Dore.

7.2.3 Installations périphériques : administration et équipements sportifs

Commune de Yaté

Dans le domaine administratif, on recense les établissements suivants :

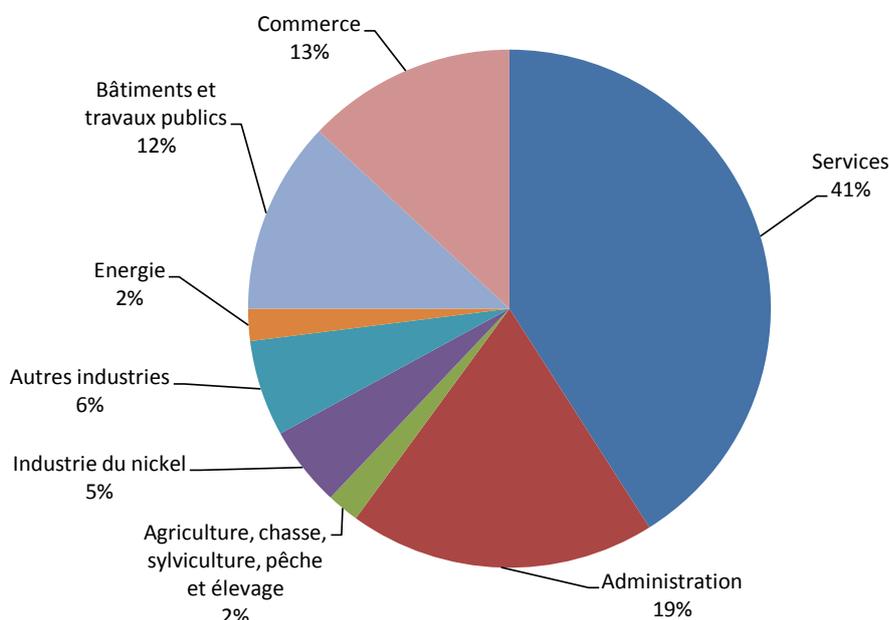
- la DASS (aide médicale, assistante sociale) ;
- l'agence OPT CCP ;
- la gendarmerie ;
- la mairie de Yaté ;
- l'antenne Province Sud (DEFE) ;
- la mission d'insertion des jeunes.

En ce qui concerne les équipements sportifs la commune de Yaté dispose d'un plateau sportif dans chacune des tribus : équipements pour sports collectifs (volley, football, cricket). Une salle omnisport est en construction également dans le cadre d'un contrat de développement signé entre VNC et la mairie de Yaté.

7.3 ACTIVITES

7.3.1 Contexte général en Nouvelle-Calédonie

L'économie de la Nouvelle-Calédonie est une économie tertiaire : les services, y compris les banques et administrations, représentaient en 2009 plus de 50 % de la valeur ajoutée. L'administration, à elle seule, représentait près de 20 % de la valeur ajoutée. Le BTP, les transports et communications et le commerce représentaient un tiers de la valeur ajoutée. Le reste, soit 15 %, rassemble les industries primaires (agriculture, pêche, mine) et secondaires (industries du nickel et autres industries) ainsi que l'énergie. Le graphique suivant présente la répartition de la valeur ajoutée par secteur d'activité. Il faut cependant noter que les projets industriels liés au nickel, tant qu'ils sont en construction, contribuent à l'activité BTP et non à l'activité industrielle du nickel.



Source : ISEE, site internet, accédé le 19 décembre 2011

Figure 130 : Répartition de la valeur ajoutée par secteur d'activité en 2009

7.3.2 Activités liées à l'exploitation des minerais

Contexte en Nouvelle-Calédonie

L'industrie minière et de transformation métallurgique néo-calédonienne dépend très largement du nickel, qui représente une très large part des exportations. En 2010, la production de la Nouvelle-Calédonie était estimée à 8 700 000 tonnes humides de minerai, en augmentation très nette par rapport à 2009 (année de basse production), cela constituait un record historique.

Communes de Yaté et Mont-Dore

Le site de VNC est situé en partie sur la commune de Yaté et, en partie, sur celle du Mont-Dore. Historiquement, Yaté a été un site d'exploitation, avec une mine de fer avant la seconde guerre mondiale. Sur la commune de Yaté, des entreprises se sont développées en lien avec le projet VNC, notamment des entreprises de construction, de transport routier et de roulage sur mine.

7.3.3 Autres secteurs d'activités : BTP, commerces et services

Contexte en Nouvelle-Calédonie

Le secteur du BTP est un secteur important en Nouvelle-Calédonie qui a connu une expansion significative depuis plusieurs années. Le secteur est porté non seulement par les travaux de construction du projet VNC et du projet du Nord, mais aussi par la construction de logements.

Le secteur du commerce est assez diffus, puisqu'il comprend à la fois les petits commerces et les grandes chaînes d'hypermarchés. Il représente 13 % de la création de valeur ajoutée et il est très sensible à la conjoncture et à l'orientation de la consommation des ménages.

Concernant le secteur lié aux services, celui-ci représente une part très significative du PIB et de la formation de la valeur ajoutée (pratiquement 60 %). La part des administrations en particulier est importante (19 %).

Communes de Yaté et Mont-Dore

Environ 60 % des artisans de Yaté inscrits au registre de la Chambre de Métiers en 2007³⁶ déclaraient avoir une activité en rapport avec le BTP. Il est difficile d'estimer quelle proportion de l'activité BTP est en rapport avec la mine, mais il est probable que cette proportion soit très significative, notamment au travers de la SAS Goro Mines.

Les magasins recensés sur la commune de Yaté sont de petites structures. On en dénombre 8 sur les 4 tribus et le centre administratif : magasins, hébergement, et structures commerciales. La commune du Mont-Doré, faisant partie du Grand Nouméa, dispose d'un plus grand choix de magasins que Yaté.

L'essentiel des services à Yaté est public. La commune est le premier employeur de Yaté. Le reste des services sont des services de transport : ambulances, services de navettes entre les tribus.

7.3.4 Agriculture et pêche

Contexte en Nouvelle-Calédonie

- **Agriculture**

Les terres agricoles (Surface Agricole Utilisée ou SAU) représentent 13 % de la superficie du territoire (chiffres du recensement agricole de 2002). Cette proportion relativement faible s'explique par différents facteurs : sols ultrabasiques, impropres à la culture, sur 1/3 du territoire, ressources en eau fragile et affleurement calcaire sur les îles Loyauté, aléas climatiques (cyclones et sécheresses fréquents), éloignement, notamment pour les producteurs du Nord et des îles, du principal centre de consommation (Grand Nouméa). En contrepartie, le climat de l'île permet de développer des cultures "tropicales" aussi bien que des cultures "tempérées" et il existe des zones où le sol est de bonne qualité, en particulier dans le Nord.

³⁶ *Chambre de métiers et de l'artisanat. Nouméa le 6 février 2007. Service Economique - compte rendu de l'enquête réalisée auprès des artisans de Yaté (C. FUZIVALA)*

Les terres agricoles utilisées représentent environ 250 000 ha, dont à peine plus de 1000 ha dans les îles Loyauté, un peu plus de la moitié en province Sud et un peu moins de la moitié en province Nord.

Les exploitations sont de petite taille : en 2002, 3000 exploitations (soit 54 %) avaient une SAU inférieure à 1 ha.

Concernant le type de culture, la Nouvelle-Calédonie dispose de sols qui permettent la production d'une grande variété de produits agricoles, que ce soit des productions végétales ou animales. Le système polyculture élevage (associant cultures et bovins ou porcins) est le plus répandu, sans doute parce qu'il limite les risques économiques. C'est en province Sud qu'on trouve la plus grande proportion de monocultures ou mono-élevage.

▪ **Pêche et aquaculture**

La pêche professionnelle au large représente les volumes les plus importants, suivie de la pêche professionnelle lagonnaire. Les exportations de produits de la mer sont en recul par rapport à la période 2001-2005 en raison de la chute de l'aquaculture. L'aquaculture est une filière que la Nouvelle-Calédonie tente de promouvoir avec notamment les élevages de crevettes. La pêche hauturière, considérée comme semi-industrielle, vise presque exclusivement le thon, celui-ci étant exporté, pour partie, vers le marché japonais du sashimi. En 2009, la filière de la pêche fournit un emploi à plus de 800 marins embarqués, dont 80 % pour la pêche récifo-lagonnaire.

Communes de Yaté et Mont-Dore

▪ **Agriculture**

L'agriculture n'a jamais été une activité économique importante sur cette partie de l'île, les terrains étant escarpés et les sols généralement pauvres.

La municipalité de Yaté comprend environ 290 ha de terres cultivables, soit seulement 0,2 % des terres. Les fermes sont habituellement de petites propriétés de quelques hectares seulement ou moins. Selon le recensement de 2002, 81 exploitations agricoles étaient recensées sur la commune de Yaté pour une surface cultivée de 40 ha seulement, soit une taille moyenne de 0,5 ha par exploitation. Il n'y a pas d'exploitation dont la surface dépasse 10 ha. Les exploitations ont une production assez diversifiée, avec une majorité de tubercules tropicaux (igname, taro, manioc, patate douce), mais aussi des arbres fruitiers divers et des jardins familiaux. Les animaux élevés sont surtout des volailles et des porcs.

La surface agricole utilisée au Mont-Dore est très faible par rapport à la moyenne sur la province et le territoire, ce qui semble indiquer une faible professionnalisation. 129 exploitations étaient répertoriées en 2002 (lors du recensement agricole) pour une superficie agricole utilisée de 548 ha. Comme à Yaté, on note un recul de la superficie agricole utilisée depuis 1991, avec en particulier, la disparition des plus grandes exploitations (supérieures à 50 ha), dont il ne reste plus qu'une en 2002. En revanche, le nombre d'exploitations comprises entre 2 et 20 ha semble augmenter (en particulier celles comprises entre 5 et 10 ha), alors que les très petites exploitations (moins de 2 ha) diminuent. Une partie de la superficie agricole utilisée était consacrée à la production de fruits en 2002 (36 % des superficies, avant même prise en compte des jachères). La surface plantée en légumes est significative (52 ha, sans compter les tubercules), probablement en raison de la proximité de Nouméa. Entre 1991 et 2002, on note un net recul de l'élevage sauf les volailles qui restent à peu près stationnaires (environ 92 000 têtes) et les abeilles, avec un nombre

de ruches qui augmente très significativement à 193 ruches. Concernant l'île Ouen, selon le recensement agricole de 2002, il n'y aurait que 6 exploitations agricoles sur l'île, avec un total de 5 ha de superficie agricole utilisée et seulement 4 ha entretenus, dont 2 ha d'arbres fruitiers, 1 ha de tubercules et 1 ha de légumes.

▪ **Pêche et aquaculture**

Le Service de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes donne une liste de 20 bateaux et de 45 pêcheurs pour les deux municipalités de Mont-Dore et de Yaté, pour l'année 1999. Le RIDET (ISEE) enregistre 24 entreprises de « pêche, aquaculture » à Yaté, mais elles ne comportent pas d'employés : il s'agirait donc bien d'une activité familiale, peut-être seulement occasionnelle. Les membres des collectivités de Goro, de Port Boisé et de l'île Ouen pêchent surtout dans le lagon, à un kilomètre tout au plus de leurs plages. Une partie de la pêche se fait à des fins commerciales et une partie à des fins de subsistance. La pêche en rivière n'est pas courante, le poisson étant plus abondant dans les lagons.

7.3.5 Loisirs et tourisme

Contexte en Nouvelle-Calédonie

Les activités touristiques en Nouvelle-Calédonie concernent, à la fois, les visiteurs venus de l'extérieur et le tourisme local où les néo-calédoniens profitent des activités de loisir qu'offre le territoire, tant à titre gratuit qu'à titre payant. La Nouvelle-Calédonie souffre de certains désavantages concurrentiels, notamment en raison de ses prix élevés, de son relatif isolement, du petit nombre relatif de plages "paradisiales" et d'un déficit d'image, notamment auprès des tours opérateurs mondiaux. Le secteur n'est pas moteur dans l'économie et n'est pas structuré en filière. En 2010, le tourisme demeurait dans une situation fragile, avec un nombre de touristes venus de l'extérieur au plus bas depuis 10 ans (moins de 100 000), à l'exception des croisiéristes, dont le nombre était au contraire au plus haut (plus de 200 000). Concernant, les loisirs, on note parmi les principaux : les loisirs nautiques (bateaux taxi, transport de passagers, charter, plongée sous-marine, location de plaisance, etc.) et la navigation de plaisance (22 819 unités en 2010).

Communes de Yaté et Mont-Dore

Les atouts touristiques de Yaté sont essentiellement liés à la nature. En raison sa proximité avec le centre urbain et touristique qu'est Nouméa (Yaté est à 80 km de Nouméa), le Grand Sud est une zone de tourisme récréatif privilégiée. Les centres d'intérêt suivants ont été recensés sur la commune de Yaté :

- le Sentier de grande randonnée de la Transprovinciale Sud GR1 ;
- le lac de Yaté ;
- le site de Netcha ;
- le barrage de Yaté ;
- les chutes de la Madeleine ;
- la cascade de Wadjana - Goro ;
- le Parc Provincial de la Rivière Bleue ;
- la mission de Touaourou ;
- la baie de Port Boisé (à proximité du site de Goro Nickel) ;
- la Forêt Noyée ;
- les bois du Sud.

D'après une enquête « Omnibus » effectuée par TNS en 2009, 79 % des randonneurs locaux fréquentent les sentiers du parc de la Rivière Bleue. Les sentiers de la province Sud les plus fréquentés sont :

- le sentier botanique de la Madeleine (35 %) ;
- l'ascension du Mont-Dore (31 %) ;
- la route à horaire de Yaté (29 %) ³⁷.

Les activités pratiquées sur Yaté sont la plongée (masque et tuba), pirogue, canoë-kayak, le VTT, la randonnée et les visites en tribu.

Les sites signalés comme d'intérêt touristique sur la commune du Mont-Dore sont divers et se réfèrent, à la fois, au patrimoine culturel et naturel. Plusieurs d'entre eux sont tournés vers la mer (aiguille de Prony et les îles) :

- l'église de La Conception ;
- la mission de Saint-Louis ;
- le sommet du Mont-Dore ;
- la fontaine de Plum ;
- l'ancienne gendarmerie de Plum ;
- l'île Ouen.

Les sites suivants, en particulier, sont à proximité du projet :

- Prony et son village ;
- source de Prony ;
- le cap N'Dua ;
- les Bois du Sud ;
- l'îlot Casy ;
- l'Aiguille de Prony.

7.4 BIENS ET SERVICES

7.4.1 Infrastructure de transport

Contexte général en Nouvelle-Calédonie

En matière de transport, la Nouvelle-Calédonie dispose d'infrastructures routières, maritimes et aériennes. Le trafic aérien international transite par l'aéroport de Nouméa-La Tontouta. Le trafic aérien intérieur est essentiellement concentré sur l'aérodrome de Magenta. En raison de l'étendue et de la géographie de la Nouvelle-Calédonie, de nombreux aérodromes opèrent sur le territoire, notamment dans chaque île loyauté ou encore dans l'intérieur, à Koumac ou à Belep.

Le transport maritime international s'organise autour de plusieurs infrastructures portuaires : le port public de Nouméa, le port privé de la Société Le Nickel, la baie des dames, la cimenterie de

³⁷ Enquête TNS, en ligne http://www.province-sud.nc/documents/pdf/contenu/tourisme/dev_prioritaire/dossier_752_defe_denv_rapport_1ere_partie.pdf (21 décembre 2011)

Numbo, le port de Nepoui et le port de Prony. Le trafic maritime intérieur transite par le port de Nouméa, qui est géré par le Port Autonome de la Nouvelle-Calédonie.

En Nouvelle-Calédonie, le réseau routier est de compétences diverses. On distingue les routes territoriales dont le financement et l'entretien incombent à la Nouvelle-Calédonie, les routes provinciales financées et entretenues par les provinces et les routes communales qui desservent des intérêts municipaux et sont entretenues par les communes.

Contexte local : Yaté et Mont-Dore

Le Mont-Dore est facilement accessible de Nouméa, faisant partie de l'agglomération. On y recense les Routes Provinciales suivantes : RP1 et RP2. La commune de Yaté est plus isolée, en raison de la faiblesse du réseau routier en dehors des zones urbaines. On y distingue la Route Provinciale 3 (RP3) qui relie Yaté à Nouméa sur une distance d'environ 80 km. La route RP3 est revêtue sur toute la distance et abimée par endroits. Elle comprend quelques passages de creek par des gués bétonnés, qui peuvent poser problème à certains véhicules en cas de crues. La route permet le trafic de véhicules de tourisme, de transports en commun et camions assurant les livraisons entre Nouméa et Yaté. La route n'est cependant pas dimensionnée pour le trafic de lourds camions. Cette route est entretenue et améliorée essentiellement dans le cadre de contrats de développement par lesquels un financement 50 %-50 % est assuré conjointement par la province Sud et l'Etat français.

Le CR10, passant par Netcha et la réserve des chutes de la Madeleine, longe le Lac en Huit et le Grand Lac puis traverse le site minier du plateau de Goro pour rejoindre la RM10 qui donne accès à Goro ou la RM14 qui donne accès à Port boisé. Un nouveau tracé pour le CR10 est en projet pour contourner la fosse minière de Goro.

Descriptif du réseau routier proche du site industriel VNC

L'accès terrestre au site de VNC peut s'effectuer par :

- la route des Chutes de la Madeleine ;
- la route de Plum (Col de Prony).

Ces deux routes se rejoignent au Déversoir.

Au Déversoir, la route des Chutes de la Madeleine (RM9) contourne le Lac en Huit et la Plaine des Lacs pour donner accès au camp de géologie de VNC et au Nord du Plateau de Goro via le CR10. Cette route traverse ensuite le Plateau de Goro où se situe la fosse minière du projet minier VNC et rejoint la route du circuit du Grand Sud au niveau de la rivière Kué principale.

La route de Plum longe la côte Ouest de la Grande Terre. Cette route est l'un des axes principaux du circuit du Grand Sud. Elle permet l'accès à Port Boisé, à la baie de Prony et au village de Goro par le Sud de la Grande Terre.

Le site de VNC est également accessible au Sud par la route en provenance du village de Goro via Yaté. Cette route qui longe la côte Est de la Grande Terre est le deuxième axe routier du circuit du Grand Sud.

7.4.2 Réseaux électriques

Contexte général en Nouvelle-Calédonie

Du fait de la présence de l'industrie métallurgique, les besoins énergétiques de la Nouvelle-Calédonie sont importants. Or, le territoire ne produit qu'une faible quantité d'énergie et la majeure partie est importée. La production énergétique primaire de la Nouvelle-Calédonie est presque totalement constituée d'énergie électrique d'origine hydraulique et thermique, la production éolienne solaire étant encore faible malgré une nette augmentation de la puissance installée.

Les unités de production principales exploitées par Enercal assurent 98 % de la production d'électricité en Nouvelle-Calédonie. Le dispositif comprend quatre centrales thermiques : Doniambo (160MW), Népoui (53MW) et les turbines à combustion de Ducos (45MW), ainsi que la nouvelle capacité de production de Prony Energies (100MW).

Contexte local : Yaté et Mont-Dore

Les communes de Yaté et du Mont-Dore sont reliées au réseau territorial de distribution d'électricité. Une ligne de 33 KV dessert Yaté, ce qui est suffisant pour répondre aux besoins de la population et devrait pouvoir soutenir une demande accrue si de nouvelles activités étaient développées. Une ligne similaire alimente le Mont-Dore. La desserte vers chacun des secteurs urbanisés se fait par des lignes de 15 KV. L'alimentation actuelle doit répondre aux objectifs d'aménagement de la commune pour les 10 ans à venir. L'île Ouen dispose d'un groupe électrogène pour la production d'électricité.

7.5 BRUIT ET VIBRATION

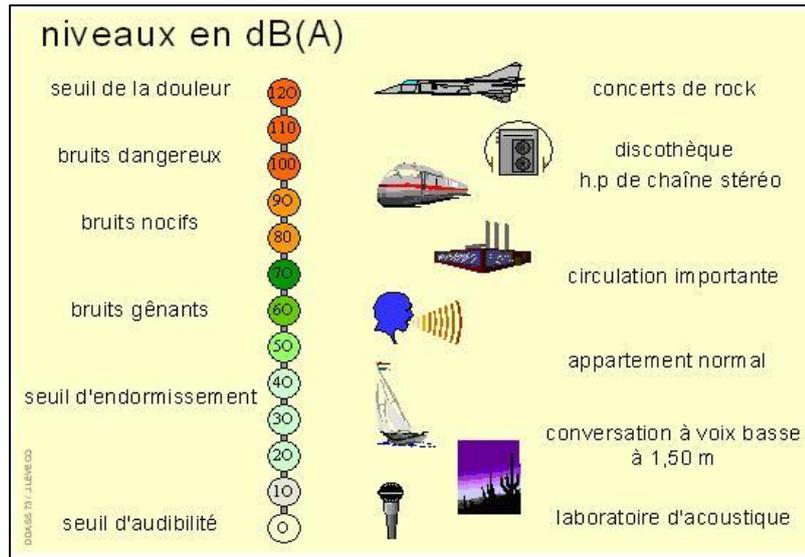
7.5.1 Bruit

 Voir Atlas Carte C44 - Carte de localisation des stations de mesure (météorologie, qualité de l'air, eau de pluie, poussière, bruit)

7.5.1.1 Notions d'acoustique

La pression acoustique la plus faible que puisse détecter l'oreille est qualifiée de seuil d'audibilité ou de perception. Ce seuil varie beaucoup avec la fréquence : pour 1 000 Hz, il est voisin de zéro décibel. Il atteint 20 décibels à 100 Hz et 70 décibels à 20 Hz.

L'oreille peut percevoir, pendant de courtes durées, sans risque de dégradation, des niveaux de bruit élevés mais il existe un seuil maximal qualifié de seuil de douleur au-dessus duquel l'oreille est le siège de troubles physiologiques. Ce seuil est voisin de 120 décibels à 1000 Hz et il varie moins avec la fréquence que le seuil d'audibilité.



Source : Spectra

Figure 131 : Echelle des bruits

7.5.1.2 Situation acoustique au droit du site

Etat initial

Une campagne de mesures du niveau sonore initial à proximité du site du projet VNC a été effectuée par ERA (M. Miguel Pol) du 4 au 10 novembre 2001. Cette campagne caractérise l'état initial de la zone du projet. Il convient cependant de noter qu'à cette date, la base-vie du projet VNC était déjà construite. La campagne de mesures correspondant à l'état initial a été réalisée sur 5 stations.

Les valeurs enregistrées lors de cette campagne sont faibles (Cf. Tableau 87).

Etat 2005

Une campagne de mesures du niveau sonore a été effectuée sur les zones habitées identiques à la campagne de 2001, en avril et mai 2005 (A2EP et ERA). Cette campagne a permis d'établir l'état du niveau sonore en période de construction dans les zones habitées les plus proches. Il convient de noter qu'à cette date, des travaux de construction sur le site industriel et le port étaient engagés.

Les niveaux sonores enregistrés sont tous plus élevés qu'en 2001 et jusqu'à 3 fois plus élevés au village de Prony la nuit. Par ailleurs, l'écart entre les niveaux de bruit diurne et nocturne a eu tendance à s'atténuer, voire s'inverser.

Le Tableau 87 récapitule les résultats de ces campagnes de mesure pour l'ensemble des stations.

Etat actuel

Une campagne de mesures du niveau sonore a été effectuée sur 5 points de mesure définis dans l'arrêté ICPE de l'usine et 9 points complémentaires.

Les résultats des stations les plus représentatives du bruit émis par le projet minier sont présentés dans le Tableau 87.

Tableau 87 : Niveaux sonores dans la zone du site Goro en 2001, 2005 et 2013

Référence	Période	Mesures 2001 Niveau moyen en dB(A)	Mesures 2005 Leq continue pondérée – en dB(A) (2)	Mesures 2013 Bruit résiduel LAeq ou L50 mesuré en dB(A)
Tribu de Goro	Jour	40	59,9	40
	Nuit	34	60,1	33
Port Boisé (1)	Jour	38	44,2	39,5
	Nuit	24	44	40
Base vie	Jour	22	46,4	41,5
	Nuit	20	46	31
Village de Prony	Jour	30	62,1	34
	Nuit	18	59,7	29
Ilot de Casy	Jour	30	46,5	41,5
	Nuit	28	53,6	33

Note : Les mesures 1 et 2 ont été réalisées sur des durées approximatives de 30 min. les mesures diurnes ont été effectuées entre 7h et 22h et les mesures nocturnes entre 22h et 7h.

1) = mesures réalisées au gîte Kanua

2) = intensité moyenne réelle perçue par l'oreille, engendrée par des phases de bruit entrecoupées de phases de silence.

En 2001, les valeurs de niveau de bruit enregistrées sont faibles. Elle sont représentative de l'état initial sonore du site minier avant la phase de construction du projet.

En 2005, les résultats correspondent à une moyenne pondérée sur deux mesures. Les valeurs de niveau de bruit enregistrées sont élevées car le projet est en phase de construction. Lors de ces mesures, les niveaux sonores enregistrés sur la base vie et le gîte Kanua à Port Boisé étaient les plus faibles. Des niveaux sonores plus élevés (supérieurs à 60 dB(A)) ont été mesurés sur les stations de la tribu de Goro et du village de Prony.

En 2013, en phase d'exploitation, les niveaux de bruit enregistrés se situent en dessous de 42 dB(A).

7.5.2 Vibrations

Des vibrations peuvent être perçues au voisinage des zones de travaux et des voies de circulation, à l'occasion des tirs de mine ou à proximité de l'UPM.

Des mesures de vibrations sont régulièrement effectuées au niveau de la zone d'emprunt de matériaux de la Kué Ouest à cause de la proximité du pipeline.

7.6 LUMIERE ET RADIATIONS

Un recensement des sources lumineuses a été réalisé en 2012 sur l'ensemble des installations de VNC³⁸ afin de dénombrer les sources de lumière et les types d'ampoules. Environ 6150 lumières extérieures ont été recensés sur l'ensemble du site, dont 85 sur le site de la mine (grands projecteurs et tours lumineuses). Certaines zones du secteur minier sont éclairées afin de permettre le travail nocturne, en particulier :

- le centre industriel de la mine : l'équipement le plus élevé se trouve sur l'unité de préparation de la pulpe de minerai. Il s'agit de la grue de maintenance des hydrocyclones et d'alimentation du broyeur à boulets (11,25 m). Il est éclairé pour permettre les travaux durant la nuit ;
- la mine : le régime de fonctionnement de la mine est de 24 heures par jour pour toute l'année. Le front de taille de la mine est éclairé pour permettre les travaux durant la nuit.

Le Tableau 88 ci-dessous indique la répartition des types de luminaires sur le secteur de la mine.

Tableau 88 : Recensement des luminaires en 2012 sur le secteur de la mine

Type de lampe	Nombre luminaires	%
Grand projecteur	33	39 %
Tour lumineuse	52	61 %
TOTAL luminaires par secteur	85	100

Les résultats du recensement de la mine indiquent qu'il y a une forte utilisation des tours mobiles d'éclairage. Ces luminaires sont très puissants et peuvent être néfastes pour les oiseaux marins lorsqu'ils sont mal orientés.

Les grands projecteurs, largement représentés sur l'ensemble du site, sont alimentés par des ampoules à vapeur de sodium haute pression mais il peut arriver qu'elles soient remplacées par des iodures métalliques. Ces dernières ont un excellent rendu des couleurs mais une durée de vie moins longue et une plus large pollution du spectre lumineux de nature à accentuer la pollution lumineuse.

³⁸ Lehouiller C., 2012. *Etude de la pollution lumineuse sur le site industriel et minier de VNC. Rapport de stage*

7.7 UTILISATION DES RESSOURCES

7.7.1 Usages de la ressource en eaux superficielles

 Source : Extrait du Rapport intitulé VNC NOUVELLE CALEDONIE, 2010 Suivi environnemental – Rapport annuel 2010 – Captages. 20p.

7.7.1.1 Principaux usages

Les principaux usages des eaux superficielles recensés sont :

- l'adduction en eau potable (AEP) pour la base-vie, les tribus alentours, l'usine, l'unité de Préparation du Minerai et Prony Energies,
- l'irrigation pour la pépinière de VNC,
- l'usage industriel pour les installations de chantier (phase de construction).

A l'heure actuelle, 7 captages permettent de satisfaire ces usages. Ils sont listés et détaillés dans le Tableau 89.

suivant.

Les principaux usages de la ressource en eau concernent les eaux superficielles.

7.7.1.2 Localisation et description des captages

Actuellement, quatre captages sont recensés dans le secteur du site de Goro. Ils sont listés et détaillés dans le tableau ci-après.

Tableau 89 : Localisation et description des captages

Dénomination	Bassin Versant	Type de suivi	Statut	Autorisation	Utilisation de l'eau captée	Coordonnées RGNC 91	
						X	Y
Captage lac de barrage de Yaté	Lac de Yaté	Captage	Actif	Arrêté n° 70-2007/PS du 12 février 2007	Approvisionnement en eau des installations de VNC et de la centrale à charbon de Prony Energies. Alimentation en eau potable de la base-vie, de l'Usine, de l'Unité de Préparation du Minerai et de Prony Energies pendant la phase d'exploitation.	488618	227090
Captage du Grand lac pour la pépinière	Plaine des Lacs	Captage	Actif	Arrêté n° 1253-2008/PS du 2 septembre 2008	Alimentation en eau de la pépinière de VNC.	493970	214322
Captage du grand lac pour le camp de la géologie	Plaine des Lacs	Captage	Actif	N°710-2013/ARR/DDR	Alimentation en eau du camp de la géologie	494066	214500
Captage dans la Kué Ouest et Kué principale	Kué Ouest et Kué principale	captage	Actif	Arrêté n° 1059-2005/PS du 25 août 2005	Alimentation en eau potable de la base-vie et en eau industrielle des installations de chantier pendant la durée de la construction. Alimentation en eau industrielle de l'Unité de Préparation de Minerai pour l'exploitation.	E 699 530 E 701 425 (UTM IGN 72)	N 7 531 810 N 7 532 080 UTM IGN 72)
Captage de la Truu	Truu	Captage	Actif	Aucune autorisation de prélèvement enregistrée	Alimentation en eau potable du village de la Truu.	ND	ND
Captage de la Kué Binyi	Kué Binyi	Captage	Actif	Demande d'autorisation de prélèvement en cours d'instruction (Mairie de Yaté)	Alimentation en eau potable des tribus depuis le Nord de Yaté jusqu'à Goro	503 478	215 747
Captage de la Wajana	Wajana	Captage	Actif	Arrêté n° 81/300/CG du 23/06/1981	Alimentation en eau potable de la tribu de Goro Alimentation électrique par hydroélectricité	503 859	212 158

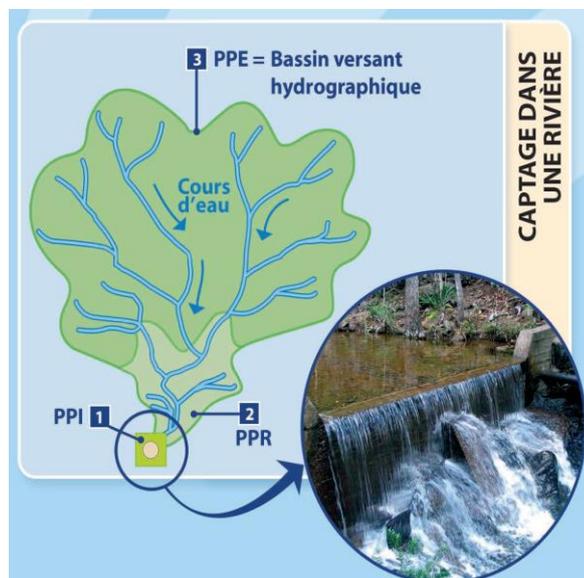
L'usage de la ressource en eau est réglementé par des arrêtés qui imposent une limite de captage ou de pompage.

7.7.1.3 Périmètres de protection des eaux (PPE)

☞ Voir Atlas Carte C12 – Réseau hydrographique

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées. Leur mise en place est obligatoire autour de tous les captages d'eau destinés aux collectivités humaines. Leur mise en œuvre en Nouvelle-Calédonie est encadrée par la délibération n° 105 du 9 août 1968, article 14. Cette protection comporte 3 niveaux concentriques établis à partir d'études hydrogéologiques (cf. Figure 132) :

- le périmètre de protection immédiat (**PPI**) correspond au site de captage. Il est acquis en pleine propriété par le maître d'ouvrage. Clôturé pour éviter toute intrusion, son rôle est d'empêcher la détérioration des installations et le déversement de substances polluantes à proximité du lieu de prélèvement. Hormis les opérations d'entretien aucune activité n'est permise ;
- dans le périmètre de protection rapproché (**PPR**), de surface généralement plus vaste, toutes les activités susceptibles de provoquer une pollution sont interdites ou soumises à des prescriptions particulières (construction, activité, dépôts, etc.) ;
- enfin, la mise en place d'un périmètre de protection éloigné (**PPE**) n'est pas obligatoire. Elle est rendue nécessaire lorsque la réglementation générale est jugée insuffisante et que certaines activités présentant des risques sanitaires doivent être encadrées pour réduire leur impact. Ce périmètre correspond à la zone d'alimentation du captage mais peut s'étendre à l'ensemble du bassin versant.



Source : DAVAR

Figure 132 : Schéma de représentation des périmètres de protection des eaux

Les périmètres de protection des eaux qui concernent le projet sont les suivants :

- PPE du lac de Yaté (pépinière et camp de géologie et leur captage d'eau potable) ;
- PPE de la rivière Wajana (recoupe partiellement la zone d'exploitation à 25 ans).

7.7.2 Usage de la ressource en eau souterraine

Il n'y a pas d'usage recensé de la ressource en eau souterraine pour le projet minier de VNC.

7.7.3 Eau potable

En Nouvelle-Calédonie, la gestion d'eau potable est réalisée sous trois formes : la régie municipale, l'affermage et la concession. La gestion de la distribution d'eau et des eaux usées est de la responsabilité des communes. Un projet d'alimentation en eau de toutes les tribus du Sud à partir de la Kuébini est en cours d'étude.

Contexte local : Yaté et Mont-Dore

Les besoins en eau potable de Yaté sont assurés dans chaque tribu par des captages effectués sur les sources et/ou les creeks avoisinants. Ces captages suffisent à satisfaire les besoins des particuliers, des activités économiques et l'irrigation des surfaces agricoles. En ce qui concerne les deux captages d'eau pour la tribu de Goro, la plus proche du projet minier, l'un est pris à la cascade de la Wajana et l'autre sur le creek de la Truu.

La distribution d'eau courante sur la commune du Mont-Dore est assurée par un tuyau d'approvisionnement venant de la Tontouta ("le grand tuyau") pour le Nord de la commune, et par divers captages pour le Sud de la commune. Afin d'assurer une plus grande sécurité d'approvisionnement le prolongement du grand tuyau fait partie des projets de la commune.

7.7.4 Ressources marines

La Nouvelle-Calédonie dispose d'une zone économique exclusive d'une superficie de 1 450 000 km² dans les eaux du Pacifique, autour de l'archipel, ce qui correspond à la moitié de la Méditerranée.

La pêche est une ressource importante, tant d'un point de vue d'activité traditionnelle et vivrière que d'un point de vue semi industriel. Les ressources marines offrent également des possibilités de loisirs. Les eaux côtières fournissent aux personnes s'adonnant à la voile des lieux de navigation et de mouillage sans danger et un grand nombre de récifs coralliens sont des milieux sous-marins vierges offerts à l'exploration des amateurs de plongée sous-marine. L'observation des baleines au moment de leur passage dans les eaux de Nouvelle-Calédonie (juillet à septembre, essentiellement) est également une activité à potentiel touristique.

Contexte local : Yaté et Mont-Dore

La pêche est une activité traditionnelle des populations mélanésiennes, sous de multiples formes. Très peu de pêcheurs s'inscrivent dans une logique de professionnalisation. La mer est plus une ressource dans laquelle on puise lorsqu'on a un besoin (pour sa consommation personnelle ou avec un objectif de monétarisation en vendant le produit de la pêche).

Il est difficile d'estimer la production des pêcheurs de Yaté, car seule une partie est commercialisée (l'autoconsommation reste importante). Il n'existe pas d'information spécifique sur la pêche pratiquée par les habitants de l'île Ouen, hormis le fait, signalé ci-dessus, selon lequel 80 % des personnes interrogées dans la région de Yaté-île Ouen déclarent qu'au moins un membre de leur famille pêche en mer.

Les attraits touristiques sont repris dans la partie Tourisme et loisirs présentée précédemment.

7.8 PATRIMOINE CULTUREL ET ARCHEOLOGIQUE

« Le patrimoine désigne tout objet ou ensemble, naturel ou culturel, matériel ou immatériel, qu'une collectivité reconnaît pour ses valeurs de témoignage et de mémoire historique, en faisant ressortir la nécessité de le protéger, de le conserver, de se l'approprier, de le mettre en valeur et de le transmettre. »

7.8.1 Patrimoine culturel matériel à proximité du site de Goro

Dans la région de Goro, la baie de Prony constitue une zone à potentiel historique. Ancienne zone d'exploitation forestière puis d'implantation d'un village minier, la baie du Prony présente ainsi un certain nombre de sites historiques qui se situent essentiellement sur le pourtour de la baie.

Un inventaire archéologique raisonné a été commandité par Goro Nickel et réalisé par l'Association Océanienne d'Archéologie (AOA) en 2006. Ses conclusions sont résumées ci-après. Un inventaire archéologique raisonné n'est pas un travail exhaustif, il ne comprend aucune fouille systématique ni aucune cartographie détaillée des sites de la zone étudiée. Son objectif est de permettre une reconnaissance d'ensemble des sites archéologiques de surface, afin de mieux définir le potentiel archéologique de la zone, en vue de travaux ultérieurs éventuels.

Les photographies aériennes n'ont pas permis d'identifier d'éventuels vestiges en raison de la nature de la couverture végétale. L'analyse des archives, bien que succincte, a permis de focaliser l'étude de terrain sur les secteurs non encore étudiés.

L'étude de terrain a permis d'inventorier un certain nombre de sites classifiés en deux catégories principales : les entités historiques (XIXe et XXe siècle) qui constituent la majorité des entités relevées à proximité du site industriel et les entités Kanaks diachroniques qui ont été trouvées essentiellement au Sud de la baie de Goro et aux alentours de la baie de Kué. Les entités repérées à proximité du site du projet sont surtout à proximité de la côte, et en particulier le long du creek de la baie Nord.

Par ailleurs, le rapport de l'AOA met en garde sur le fait que l'absence d'observations d'entités archéologiques sur la zone ne signifie pas l'absence d'activité anthropique (les perturbations du site à l'époque d'occupation européenne et les mouvements de terrain sont susceptibles d'avoir recouvert des vestiges). Il est donc recommandé que les travaux soient conduits avec vigilance.

Une entité archéologique (historique) a été identifiée en bordure de la Kué au sein de l'emprise du projet. Il s'agit de vestiges miniers datant de la fin du XIXe siècle-début du XXe. Des traces fugaces d'une ancienne occupation minière ont pu être observées. Des plates-formes sûrement destinées à recevoir des baraquements, recouvertes aujourd'hui, par un épais maquis minier sont identifiables. Un fossé bordant le site est également encore partiellement visible. De la même façon, un escalier taillé dans le terrain naturel se devine encore malgré l'érosion provoquée par les fluctuations de la Kué. Quelques restes de structures en bois et taule effondrées au sol sont encore visibles

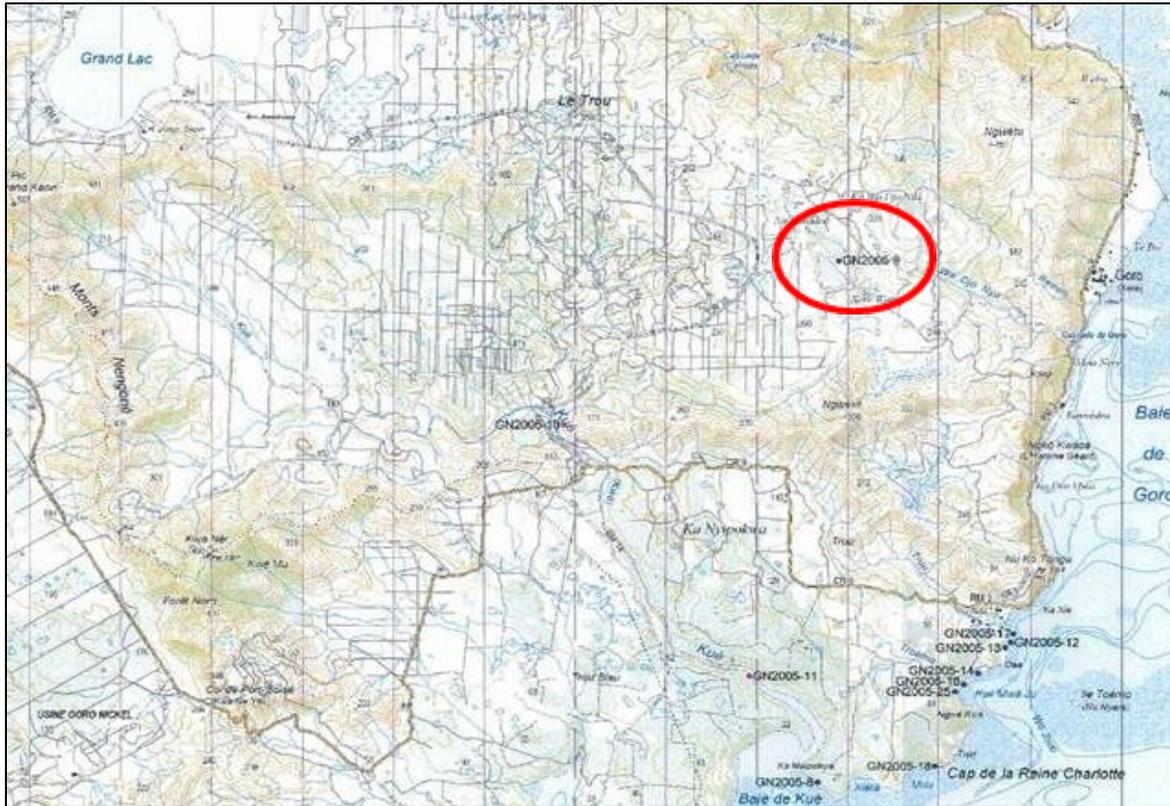


Figure 133 : Localisation des vestiges miniers

Lors de la caractérisation floristique de la CPVSKE réalisée en septembre 2013, des coquillages ont été retrouvés sous un rocher singulier au sommet de la ligne de crête (coordonnées : E : 501 418 et N : 210 735). Suite à ces découvertes, VNC a demandé à l'IANCP de réaliser une prospection archéologique sur l'emprise de la carrière.

D'après cet inventaire archéologique, outre la zone de dépôt de coquillage, la prospection n'a pas permis de « vérifier la présence d'autres structures archéologiques anciennes. Des structures anthropiques récentes, principalement des aménagements de petits cairns, sont à associer à l'exploitation du cobalt dans la région de Goro. » (Source : Rapport d'intervention sur site minier – Projet VSKE, IANCP, 2014).

Selon les interprétations de l'IANCP, ce lieu serait un aménagement à vocation funéraire. Aucun élément en os humain n'a pu cependant être observé en surface, mais il est possible que les os aient pu être enterrés ou que l'acidité des sols ultramafiques ait détruit la matière osseuse. La présence de coquillages déposés récemment indiquerait que le site est toujours visité par les populations locales. Les dépôts coquilliers sont localisés sur la carte C43.

Entités Kanaks

Une grotte fréquentée par les kanaks encore assez récemment (avant le développement du projet minier) est située immédiatement en aval du parc à résidus le long de la Kué.

7.8.2 Patrimoine culturel immatériel

Aux termes de la Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel (UNESCO, 2003), le patrimoine culturel immatériel – ou patrimoine vivant – est le creuset de la diversité

culturelle et sa préservation le garant de la créativité permanente de l'homme. Parmi les points pertinents pour les communautés de Yaté et du Mont-Dore on recense :

- les pratiques sociales, rituels et événements sportifs ;
- la coutume ;
- la fête de l'igname ;
- les mariages ;
- les deuils ;
- la langue ;
- le savoir artisanal.

7.9 PAYSAGE

Avant l'installation du projet, l'attrait du Grand Sud calédonien résidait dans l'immensité de ce terrain quasi vierge de toute habitation permanente, ne comportant aucune piste goudronnée et couvert de maquis à perte de vue.

Le projet d'exploitation se développe à l'intérieur du bassin de la Kué ceinturé par des chainons montagneux qui occultent presque totalement les vues depuis l'extérieur, le lagon ou les villages et tribus du Sud. Seul, le passage du CR10 à l'intérieur du site minier autorise un point de vue de proximité sur les zones du projet, mais les contrôles d'accès sur certaines zones réduisent tout de même sensiblement le nombre d'observateurs potentiels.

8

SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

Les principales caractéristiques décrites dans l'état des lieux pour chaque composante de l'environnement sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 90 : Synthèse des principales caractéristiques de l'environnement identifiées dans la zone d'étude

Milieu	Composante environnementale	Principales caractéristiques de l'environnement dans la zone d'étude
Milieu physique terrestre	Climat global	Augmentation progressive de l'émission de gaz à effets de serre en Nouvelle-Calédonie (activité industrielle et transports en progression générateurs d'émissions de carbone), pression croissante sur la ressource en eau. Tendance : accroissement des moyennes annuelles de températures de 0,2 à 0,3°C d'ici la fin du siècle, augmentation du nombre annuel de jours pluvieux, diminution des épisodes de pluies substantielles sur la côte Est.
	Climat local	Climat sub-tropical avec une alternance de 2 saisons bien marquées (saison sèche et saison humide) et deux intersaisons. Fortes précipitations (entre 3 et 4 m par an) avec une grande variabilité interannuelle. Régime d'alizés dominant avec des vents de direction Sud-Sud-Est, majoritairement de vitesse modérée. Risque climatique lié aux cyclones tropicaux : activité cyclonique de janvier à mars, probabilité de dépression tropicale d'intensité modérée à forte de 62 % sur le site de Goro.
	Qualité de l'air	Qualité de l'air pour les populations voisines du site essentiellement ciblée sur les retombées de poussières. Présence d'amiante dans certaines formations géologiques donnant lieu à un programme de surveillance de VNC.
	Géologie	Le Sud calédonien appartient aux massifs ultramafiques ou massifs miniers. Il constitue de larges bassins topographiques (200 à 300 m d'altitude) profondément altérés. Présence de bassins endoréiques. Ensemble actuellement en régime érosif. Profil d'altération de 40 à 60 m se déclinant en 7 horizons géologiques différents, cuirasse en surface, limonite épaisse et saprolite en profondeur (roche mère). Profil type d'altération latéritique supergène de roche ultra-basique en milieu tropical, produisant un enrichissement en nickel et cobalt.
	Pédologie	Pas de sol agricole directement sur le site du projet. Sols de type ferrallitiques ferritiques présentant de fortes carences en azote, phosphore, potassium et calcium et un excès de magnésium et d'oxydes métalliques. Horizon humifère de surface (top soil) très faible à inexistant.
Milieu eaux continentale	Rivières : réseau hydrographique et qualité des eaux de surface	Le bassin versant principal directement concerné par le projet est celui de la rivière Kué. Les autres bassins versants indirectement concernés sont ceux des rivières Trou bleu, Wajana, Kuébini et Truu. Le site est voisin de la Plaine des Lacs au Nord (Site inscrit à la convention RAMSAR sur les zones humides). Présence de nombreuses dolines sur le plateau de Goro (doline du Trou du Tahitien) et de lacs permanents (lac Xéré Wapo, lac de Goro, lac Robert). Débits moyen annuels des rivières : Kué principale (2,26 m ³ /s), alimentée par ses deux affluents Kué Ouest (0,52 m ³ /s) et Kué Nord (0,86 m ³ /s). Débit caractéristique d'étiage des rivières : Kué principale (0,32 m ³ /s), Kué Ouest (0,025 m ³ /s), Kué Nord (0,20 m ³ /s). Qualité des eaux de surface comparable aux eaux souterraines, caractérisée par la faiblesse en nutriments, un faible pouvoir tampon, une importante concentration naturelle en nickel, cobalt, cuivre. Tendance à l'augmentation des teneurs en cobalt, chrome, manganèse, nickel et zinc. Variabilité temporelle et spatiale de la turbidité, couleur, matières en suspension. Concentrations en silice, magnésium et hydrogénocarbonates plus élevées dans les eaux profondes que dans les eaux de sub-surface. Les indices biotiques des branches de la Kué indiquent une qualité biologique de l'eau passable à bonne et une qualité bio-sédimentaire passable à mauvaise. Usage des eaux de surface : 4 captages pour les besoins de l'exploitation dans la Kué et dans le Grand Lac, captages des populations sur les rivières Truu et Wajana en aval du plateau de Goro comme accès unique actuel à la ressource en eau.

Milieu	Composante environnementale	Principales caractéristiques de l'environnement dans la zone d'étude
		Le projet concerne plusieurs périmètres de protection des eaux : PPE du Grand lac, PPR de la rivière Wajana. Les sédiments des rivières sont riches en métaux nickel, chrome et cobalt, en accord avec le fond géochimique du plateau de Goro.
	Lacs et zones humides	Deux types de plans d'eau sont présents au sein de la zone d'étude : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les plans d'eau permanents (dolines, plans d'eau permanents) présentant une population de poissons peu riche, ▪ Les plans d'eau périodiques (dolines en eau lors des fortes précipitations) présentant une richesse spécifique liée aux espèces les plus mobiles ou adaptées aux milieux temporaires. Sur les 6 zones humides étudiées sur le plateau de Goro, 5 zones humides possèdent des habitats modifiés, envasés avec de l'eau plus ou moins turbide. Classement en zone RAMSAR de la Plaine des Lacs 39 espèces de poissons recensés à l'état initial dans les lacs et rivières du Sud calédonien, dont 5 espèces endémiques, essentiellement dans les rivières <u>Milieux lotiques</u> : rivière Kué et rivières périphériques Les communautés de poissons des rivières du secteur de Goro sont globalement caractérisées par des densités faibles, une proportion élevée d'espèces endémiques et toutes amphidromes. La rivière Wajana ressort comme la plus favorable en termes de biodiversité (abondance, diversité et endémisme). Recensement dans la Kué toutes branches confondues de : 16 espèces de poissons appartenant à 7 familles différentes dans la rivière Kué (toutes branches confondues), dont 3 espèces endémiques inscrites sur la liste des espèces protégées de la province Sud et 4 espèces sur la liste rouge de l'UICN en catégorie "préoccupation mineure" vis-à-vis de leur conservation (juin 2012). Pour les crustacés, 6 espèces de crevettes appartenant à 2 familles différentes et 1 espèce de crabe d'eau douce recensées dans la Kué Présence du mulot noir (<i>Cestreaeus malanosoma</i>) à noter car cette espèce est de plus en plus rare en Nouvelle-Calédonie. La Kué principale est plus riche et plus diversifiée que les autres branches, et la faune augmente en densité et biomasse en progressant vers l'embouchure. La faiblesse de la faune des branches amont pourrait être due à la présence d'obstacle à la migration des espèces (amphidromes). <u>Milieux lenticques permanents</u> : (dolines, plans d'eau permanents) : ichtyofaune peu riche <u>Milieux lenticques périodiques</u> : (dolines en eau lors des fortes précipitations), richesse spécifique liée aux espèces les plus mobiles ou adaptées aux milieux temporaires <u>Zones humides</u> : sur les 6 zones humides étudiées, 5 présentent des habitats modifiés, envasés avec de l'eau plus ou moins turbide. Inventaire (2010) présente 6 classes d'individus : amphibiens (têtards), arachnides (araignées), clitellés (oligochètes), nématodes (vers), larves d'insectes divers et ostracodes.
	Eaux souterraines	Fonctionnement hydrogéologique de type pseudo-karstique ménageant des liaisons souterraines. Crêtes considérées comme des secteurs privilégiés d'infiltration. Présence de 3 niveaux de nappes souterraines présentant des écoulements différenciés, l'aquifère principal étant situé dans la saprolite grossière. Existence de relations directes nappes-rivières et nappes-lacs. Mise en évidence de connexions souterraines entre bassins endoréiques voisins. Localisation en cours des lignes de partage des eaux souterraines entre la future fosse du plateau de Goro, la Plaine des Lacs et les rivières Kuébini et Wajana. Pas d'usage de la ressource en eau souterraine.
Milieu marin	Sédimentation et dynamique marine	Marées d'amplitude maximale 1,7 m, sous l'influence de plusieurs passes entre lagon et haute mer. Orientation du courant dans le canal de la Havannah : Sud-Sud-Ouest (marée montante) ou Nord-Nord-Est (marée descendante); décroissance du courant au fur et à mesure que l'on s'enfonce vers le Sud-ouest du canal. Existence d'une "frontière hydrodynamique" divisant longitudinalement le canal de la Havannah et jouant un rôle dans la dispersion de l'apport terrigène dans les eaux du lagon. Hydrodynamisme dépendant des vents de secteur Sud dans la baie de Kué. Hydrodynamisme fort dans le canal de la Havannah. Influence forte des dépressions cycloniques en saison chaude.
	Qualité des eaux marines et côtières	Température, salinité et turbidité relativement constantes dans le canal et très variables sur le domaine côtier en fonction de la pluviométrie. Concentrations naturelles en métaux généralement faibles et sans tendance saisonnière dans le canal de la Havannah, gradient de concentration en Ni, Co et Mn croissant avec un maximum dans la baie de Prony, en baie de Port boisé et à l'embouchure de la rivière Kué. Les gradients de concentration en nickel, cobalt et manganèse permettent de distinguer les domaines sous influence marine et ceux sous influence terrigène. En 2005 les concentrations en nickel les plus faibles sont enregistrées au niveau de la passe de la Havannah (0,2 à 0,4 µg/L) et les plus fortes en baie de Prony (3,6 µg/L). Aucune évolution des concentrations en métaux n'a été décelée dans le canal de la Havannah entre les états initiaux et fin 2012. En zone côtière, il n'y a pas eu d'évolution au-delà des fluctuations saisonnières dues au passage des dépressions cycloniques.

Milieu	Composante environnementale	Principales caractéristiques de l'environnement dans la zone d'étude
	Qualité des sédiments marins	<p>Les baies présentent une sédimentation superficielle à dominante fine dans les zones de faible hydrodynamisme. Le canal de la Havannah présente une dominante sédimentaire grossière. Les concentrations en arsenic, chrome et nickel sont supérieures aux valeurs guides de l'ANZECC à proximité des sources d'apport terrigène et même dans le canal de la Havannah pour le nickel</p> <p>Les dépôts en baie Kué témoignent d'une accumulation sédimentaire intense qui reste du même ordre de grandeur entre 2007 et 2010 (1,60 ±0,20 g/cm2/an). La signature terrigène augmente dans l'horizon de surface.</p>
	Biologie marine et littorale	<p>Quantités relativement faibles de phytoplancton et zooplancton caractéristiques des eaux tropicales par rapport aux eaux tempérées de l'océan</p> <p><u>Récifs coralliens</u> : baie de Kué, platier à communauté riche et diversifiée, écosystème intéressant; baie de Goro, récif riche et diversifié – soumis à l'influence de la rivière Wajana – faible profondeur (3m); canal de la Havannah marqué par la prédominance de corail vivant</p> <p><u>Mammifères marins</u> :</p> <p>Les siréniens : en 2003 peu d'individus de dugong (classé comme "vulnérable" par l'UICN) recensés dans le Sud</p> <p>Les cétacés : 7 espèces de baleines, dont la baleine à bosse, fréquentent couramment les eaux du Sud (reproduction et mise à bas supposées dans le lagon Sud) et le grand dauphin régulièrement observé (espèce probablement résidente de la zone),</p>
Milieu biologique terrestre	Biodiversité globale	<p>Classement de la Nouvelle-Calédonie parmi les 25 "hotspots" pour la préservation de la biodiversité terrestre planétaire, surtout pour la particularité de sa flore et notamment celle qui s'est développée sur substrats ultramafiques</p> <p>Endémisme exceptionnellement élevé pour la flore et la faune, globalement voisin de 80 %.</p>
	Aires protégées	<p>Patrimoine terrestre : 3 réserves naturelles (réserves provinciales) – réserve naturelle du Pic du grand Kaori, réserve naturelle du cap N'Dua, réserve naturelle de la Forêt Nord.</p> <p>Patrimoine marin : parc du Grand Lagon Sud et réserve naturelle intégrale Yves Merlet.</p> <p>Patrimoine mondial de l'UNESCO : le Grand Lagon Sud et la zone côtière Ouest.</p>
	Habitat, flore	<p>Ecosystèmes présents dans la zone de référence du grand Sud : forêt, maquis miniers, Végétation ripicole et du littoral et milieux aquatiques et zone anthropisées</p> <p><u>Formations forestières</u> :</p> <p>Forêt dense humide sempervirente de basse altitude, richesse floristique et forte endémicité, population d'espèces menacées en termes de renouvellement, distinction de 5 types de forêts. Identification des lambeaux forestiers à préserver : Forêt Nord, forêt du Pic du Grand Kaori.</p> <p><u>Maquis</u> : flore riche qui a conservé son originalité (espèces spécialisées), forte endémicité 90 %, 6 grands types de maquis différenciés</p> <p><u>Espèces rares et menacées</u> : 65 espèces rares, répertoriées dans la zone globale du projet VNC, dont 36 espèces inscrites sur la liste des espèces protégées de la province Sud.</p> <p><u>Recommandations</u> relatives à la préservation des formations fragiles et espèces rares :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lambeaux de forêts à <i>Arillastrum gummiferum</i> (chêne gomme) et forêts humides sur éboulis à protéger • Maquis rivulaires à sauvegarder • Formations du maquis paraforestier à utiliser comme milieu de reconstitution des formations forestières.
	Faune	<p><u>Mammifères</u> : présence potentielle de chiroptères endémiques notamment du genre <i>Miniopterus</i> dans la zone de projet VNC.</p> <p><u>Reptiles</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 18 espèces de lézards (10 scincidés et 8 geckos) enregistrées dont 11 espèces endémiques du Sud, • présence de 7 espèces de lézards protégées par le code de l'environnement de la province Sud (sur la concession AS2 et AS7) • présence d'une espèce d'intérêt, le scinque léopard de Nouvelle-Calédonie (route du col de l'Antenne en Forêt Nord et mine A1) <p><u>Avifaune</u> :</p> <p>Grande richesse faunistique du plateau de Goro : richesse avifaunistique importante avec 34 espèces dont 11 endémiques, selon le dernier inventaire de 2014 Coévolution supposée entre les oiseaux de Nouvelle-Calédonie et la flore locale</p> <p>Les lambeaux forestiers résiduels sont les secteurs avec les plus fortes densités et diversités.</p> <p><u>Mollusques</u> : présence du <i>Placostylus fibratus</i>, espèce endémique classée comme vulnérable (UICN) identifiée à la lisière des formations paraforestières de la région de Goro. Présence de l'espèce invasive <i>Achatina fulica</i></p> <p><u>Insectes</u> : diversité spécifique très importante, notamment en forêt</p> <p><u>Myrmécofaune</u> : 66 espèces recensées, endémisme spécifique très élevé, présence de plusieurs espèces invasives, notamment <i>Wasmannia auropunctata</i> (<i>fourmis électrique</i>)</p> <p><u>Araignées</u> : présence potentielle de 4 genres endémiques d'araignées dans la région de Goro en maquis. Une espèce mygalomorphe <i>Idiotis ferrophila</i> le long du rivage à Port Boisé, une veuve noire (<i>Latrodectus sp.</i>) dans la région de Goro. et potentiellement Barycheloides</p>

Milieu	Composante environnementale	Principales caractéristiques de l'environnement dans la zone d'étude
		(5 espèces) et Encocrypta (16 espèces limitées aux habitats ultramafiques) <u>Espèces rares et menacées</u> : 78 espèces potentiellement présentes dont <ul style="list-style-type: none"> • 9 espèces listées par la CITES • 4 espèces listées par l'UNEP • 8 espèces classées comme menacées selon l'UICN 13 espèces d'oiseaux, 1 espèce de chiroptère, 1 espèce d'amphibien, 1 espèce de mollusque
Milieu humain	Fréquentation et utilisation du site	Le site du projet est fréquenté actuellement par les employés de VNC pour l'exploitation de la mine et peut également être traversé par les habitants de Goro qui empruntent la route publique CR10. Avant le développement du projet, la région était fréquentée pour les loisirs (balades, 4x4, vtt) et pour la coupe de bois.
	Population et installations périphériques	L'étude concerne essentiellement les populations de la commune de Yaté composée de 4 tribus (Unia, Waho, Touaourou et Goro) et d'un centre administratif : 1881 habitants en 2009 et également la commune du Mont Dore
	Activités	<u>Industrielles</u> : présence de la mine (site d'exploitation) sur la commune de Yaté et installation d'entreprises en lien avec les activités de la mine (construction, transport routier et roulage sur mine) <u>Agricoles</u> : peu d'activité agricoles sur cette partie de l'île, essentiellement tournées vers la culture de subsistance, peu de terres cultivables <u>Pêche et aquaculture</u> : pêche dans le lagon à un kilomètre des plages à fin commerciales et de subsistance. Pêche en rivière peu courante <u>Tourisme et loisirs</u> : Attractions touristiques de Yaté liés à la nature (écotourisme) : sentier de randonnées de la transprovinciale Sud GR1, pistes de Vtt dans tout le Sud. Loisirs sur le littoral : voile, lieux de navigation et de mouillage, plongée sous-marine, observation de baleines.
	Biens et services	<u>Infrastructures de transport</u> : Route principale : RP3 qui relie Yaté à Nouméa Routes secondaires : CR10 qui traverse la future fosse de Goro et doit être détournée pour maintenir l'accès à la tribu de Goro <u>Réseaux électriques</u> : une ligne de 33 KV dessert Yaté puis chacun des secteurs urbanisés par des lignes de 45 KV <u>Eau potable</u> : captage de la Wajana, captage du Creek de la Truu
	Bruit et vibrations	Les niveaux de bruit sont suivis tous les trois ans dans le périmètre de l'exploitation minière ; la zone du projet se trouve confinée dans le bassin de la Kué et ne comporte pas d'habitation à proximité immédiate.
	Lumière et radiations	Le recensement des lumières du site indique qu'il y a une forte utilisation des tours mobiles d'éclairage ; Une mauvaise orientation des lampes peut être un facteur de perturbation des oiseaux marins. 3 sources radioactives sont utilisées dans l'UPM
	Utilisation des ressources	Actuellement, 7 captages sont autorisés dans le secteur du site de Goro en relation avec l'activité minière et le fonctionnement de la pépinière ; Captage dans le lac artificiel de Yaté (eau potable) qui produit en phase d'exploitation la plus grande partie de l'eau nécessaire au secteur du projet minier ; Captage du Grand Lac pour la pépinière ; Captage du Grand Lac pour le camp de géologie ; Les périmètres de protection des eaux qui concernent le projet sont les suivants : PPE du lac de Yaté (pépinière et camp de géologie et leur captage d'eau potable) ; PPR de la rivière Wajana (intègre l'extrême bordure Est du périmètre d'exploitation à 5 ans et se trouve englobé totalement dans la limite d'exploitation à 25 ans).
	Patrimoine culturel et archéologique	<u>Patrimoine culturel matériel</u> : Entités historiques des XIXe et XXe siècles en bordure de la Kué Est Entités Kanaks diachroniques dans le Sud de la baie de Goro et aux alentours de la baie de Kué ; une grotte localisée en aval du parc à résidus en bordure de la Kué <u>Patrimoine culturel immatériel</u> : pratiques sociales, rituels et événements sportifs, coutume, fête de l'igname, mariages, deuils, langue, savoir artisanal
Paysage	Le projet d'exploitation se développe à l'intérieur du bassin de la Kué ceinturé par des chaînons montagneux qui occultent presque totalement les vues depuis l'extérieur, le lagon ou les villages et tribus du sud. Seul, le passage du CR10 à l'intérieur du site minier autorise un point de vue de proximité sur les zones du projet, mais les contrôles d'accès sur certaines zones réduisent tout de même sensiblement le nombre d'observateurs potentiels.	

9 BIBLIOGRAPHIE

Climatologie

Cavarero V. *et al.*, 2012. Les évolutions passées et futures du climat de la Nouvelle-Calédonie. La météorologie n° 77, mai 2012.

DAVAR, 2003. Traitement et analyse des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie (Nouvelle-Calédonie).

DAVAR, 2011. Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie (Nouvelle-Calédonie: Direction des Affaires Vétérinaires Alimentaires et Rurales (DAVAR)-Service de l'Eau des Statistiques et Etudes Rurales (SESER) - Observatoire de la Ressource en Eau (ORE).

METEO France, 2010. Bulletin climatique annuel 2010 (Nouvelle-Calédonie)

METEO France, 2012a. Climat en Nouvelle-Calédonie. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteo.nc/climat/climat-en-nc> » (consulté le 21/04/12a).

METEO France, 2012b. Cyclone. [en ligne]. Disponible sur : « <http://www.meteo.nc/cyclone/cyclones-passe> » (consulté le 21/04/12b).

Topographie, géologie, pédologie

A2EP, 2011. Notice de la carte morphostructurale. Secteur KO4, SMLT, Kaori, Kadji et Plaine des Lacs (sud). Rapport 042/11/O/HG/NC D0141/12/JP Révision : 0A, décembre 2011. 19p.

BRGM, 2012. Complément de mesures RMP ciblées sur le bassin KO-4, suite au test de Novembre 2011. Mesures réalisées entre le 30/07 et le 7/08/2012 en marge du projet de méthodologie géophysique « Karst & Dolines ». DRAFT Rapport final. BRGM/RC ou RP-xxxx-FR. Octobre 2012.

GEOPHYSICAL, 2009. Campagne de tomographie électrique 2D sur le bassin de DROSER (KO4). Résultats et interprétations. 2009. 107p.

GNI, contexte géologique et hydrogéologique du parc minier de la Kué Ouest, juillet 2007.

Latham M., Quantin P., Aubert G., 1978. Etudes des sols de Nouvelle – Calédonie. ORTOM Paris

VALE NOUVELLE CALEDONIE, 2012. Rapport technique - Campagne de mesures électriques –

Hydrologie et hydrogéologie

A2EP, 2008. Réalisation d'une opération de traçage au niveau des eaux souterraines de la verse à stérile – Bassin de la Kué Est. Rapport 015/08/HG/FJ – Version 02, novembre 2008. 69p.

A2EP, 2012a. Synthèse de la Qualité des eaux souterraines et superficielles (Secteur de Goro). Document 0438/12/NC, révision 00, avril 2012.39p.

- A2EP, 2012b. Synthèse des observations piézométriques (secteur de Goro). Rapport D0440/12/NC, révision 00, avril 2012. 81p.
- A2EP, 2012c. Synthèse climatologique (Secteur de Goro). Rapport D0436/12/NC, révision 0B, avril 2012. 69p.
- A2EP, 2012d. Bilans hydrologiques (Bassin versant de la Kué et Plaine des Lacs). Rapport 0437/12/NC révision 0B, avril 2012. 109p.
- A2EP, 2013. Secteur du camp de la géologie (Grand Lac). Investigations hydrogéologiques par réalisation d'un forage profond et de test par pompage. Document D0884/13/O/HG Révision : 0A, juillet 2013.
- A2EP, 2014a. Synthèse approfondie de la Qualité des eaux souterraines et superficielles (Secteur de Goro). Document 0413/12/NC, mars 2014. 81p.
- A2EP, 2014b. Synthèse des observations piézométriques – Secteur de Goro : Analyses complémentaire pour la période 2011 à 2013. En cours de publication.
- IAHS, (Association internationale de l'hydrologie scientifique), 2003. Répertoire mondial des crues maximales observées. Reg Herschy IAHS Publication 284, décembre 2003. ISBN 1-901502-47-3; 320 pp.
- ARTELIA, 2012. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur Goro – fosse minière à 25 ans. Note de présentation des résultats des scénarios, avril 2012. 21p.
- ARTELIA, 2013a. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur Goro – fosse minière à 25 ans. Rapport de phase 2 – version 2, août 2013. 91p.
- ARTELIA, 2013b. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur KO4. Rapport intermédiaire, octobre 2013. 110p.
- ARTELIA, 2014. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur FM25 et KO4. Note de présentation des simulations, février 2014. 31p.
- BRGM, 2000. Guide méthodologique pour la gestion des sites (potentiellement) pollués - Version 2 ;
- BRGM, 2007. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Cinq volumes (Bassin Artois-Picardie, Bassin Rhin-Meuse, Bassin Seine-Normandie, Bassin Loire-Bretagne, Bassin Adour-Garonne). (MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DIRECTION DE L'EAU).
- BRGM, 2008. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines de la Réunion (Réunion: Office national de l'eau et des milieux aquatiques ONEMA).
- DAVAR, 2009. Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie (Nouvelle-Calédonie: Direction des Affaires Vétérinaires Alimentaires et Rurales (DAVAR)-Service de l'Eau des Statistiques et Etudes Rurales (SESER) - Observatoire de la Ressource en Eau (ORE).
- Biotop, 2011. Suivi annuel de la qualité des eaux de surface du site de VNC– Année 2010.
- EMR, 2009. Réalisation d'un traçage à la fluorescéine au niveau de la VSKE. Rapport Ra-09-073, juillet 2009. 33p + annexes.
- EMR, 2010. Réalisation d'un traçage à la fluorescéine au niveau du secteur Entonnoir – Cascade – Compte-rendu de la mission de terrain. Rapport Ra-09-0184, octobre 2010. 35p.
- EMR, 2011. Réalisation de traçages à la fluorescéine au niveau des secteurs Entonnoir-Cascade et Gouffre-Captage (avril 2011). Goro –Rapport Ra–11-0313, mai 2011. 50p + annexes.
- GEO.IMPACT, 2010. Cartographie des dolines à l'aide des données LIDAR. Ra-10-64, mars 2010. 13p + annexes.
- GOLDER, 2002. Cartographie hydrogéologique et essais au traceur – Aires de stockage de résidus et de morts-terrains de la Kué Est. Doc-B-295. 113p
- HYDRIAD, 2012. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière à 25 ans – Régime permanent moyen, avril 2012. 75p.

HYDRIAD, 2013. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière à 25 ans et KO4 – Régime permanent moyen, juillet 2013. 91p.

HYDRIAD, 2014. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière à 25 ans et KO4 – Régime transitoire, février 2014. 39p

RESCAN, 2000. Supplemental Baseline Technical Report : Freshwater Environment, octobre 2000.

TRESCASES J. J., 1975. L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale : formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie. Mém. ORSTOM, n°78, 259p.

Bruit et vibrations

A2EP, 2010. Campagne de mesures du bruit résiduel Etat des lieux. Site industriel et minier de VNC, communes du Mont Dore et Yaté.

VNC, 2011. Suivi environnemental – Rapport annuel 2010 – Emissions sonores. Février 2011.

Bureau veritas, 2013, Rapport de mesurage de bruit ICPE, septembre 2013

Ouvrages de référence

- BANTON O., BANGOY L. M., 1999. Hydrogéologie. Multi-science environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec / AUPELF, 460 p.
- DE MARSILY G., 1981. Hydrogéologie quantitative. Collection Sciences de la Terre, Masson Paris, 1981, 215 p.
- L'Huillier L., Jafrré T., Wulff A., 2010. Mines et Environnement en Nouvelle-Calédonie : les milieux ultramafiques et leur restauration. Eds IAC, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 412 p.

Rapports et thèses

- BRUNET J.F., ARTIGNAN D., 2006. Synthèse bibliographique sur l'élimination du manganèse dans les eaux d'origine minière. Rapport BRGM/RP-54479-FR, mars 2006.
- DURIN L., 1999. Transfert d'eau et contaminants organiques dans les structures d'étanchéité synthétiques et minérales des centres de stockage de déchet ménager. Thèse Université de Paris Orsay, avril 1999. 255p.
- ESPIRAT J.J., 1967. Étude hydrogéologique de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie, BRGM, 177 p
- LANINI S., FABRIOL R., 2000. Différentes approches de modélisation des écoulements et du transport dans un réseau de tubes. Comparaison avec des résultats expérimentaux. Rapport BRGM/RP-50154-FR, mai 2000.
- LAROCQUE M., 1997. Intégration d'approches quantitatives de caractérisation et de simulation des aquifères calcaires fissurés - application à l'aquifère karstique de la Rochefoucauld (Charentes, France), Thèse, Université de Poitiers, 247 p.
- ROBERT R. SEAL II, NORA K. FOLEY, xxx. Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types. U. S. Geological Survey Open-File Report 02-195.
- SIEGEL P., 1995. Transfert de masse en milieux poreux fortement hétérogènes. Modélisation et estimation de paramètre par les éléments finis mixtes hybrides et discontinus. Thèse, Université Louis Pasteur de Strasbourg (Institut de Mécanique des Fluides), 185 p.

Publications

- BEAUVAIS A., RITZ M., PARISOT J.-C., BANTSIMBA C. & DUKHAN M., 2004. Combined ERT and GPR methods for investigating twosteped lateritic weathering systems. *Geoderma* 119, 121 – 132.
- BEAUVAIS A., RITZ M., PARISOT J.-C., DUKHAN M. & BANTSIMBA C., 1999. Analysis of poorly stratified lateritic terrains overlying a granitic bedrock in West Africa, using a 2-D electrical resistivity tomography. *Earth and Planetary Science Letters* 173, 413 – 424.
- BERKOWITZ B., BEAR J., BRAESTER C., 1988. Continuum models for contaminant transport in fractured porous formations. *Water Resour. Res.* 24, pp. 1225-1236
- CHARDIGNY E., SIEGEL P., Mosé R., ACKERER P., 1996. Parameter identification for complex groundwater systems. In : *Computational methods in water resources XI. Vol. 1. Computational methods in subsurface flow and transport problems.* Aldama *et al* (éd.). Southampton, Massachusetts, USA. pp. 297-312
- CIPOLLI F., GAMBARDELLA B., MARINI L., OTTONELLO G., VETUSCHI ZUCCOLINI M., Geochemistry of high-pH waters from serpentinites of the Gruppo di Voltri (Genova, Italy) and reaction path modelling of CO₂ sequestration in serpentinite aquifers, *Appl. Geochem.* 19 (2004) 787–802.
- COSTIS, C., JOIN, J.-L., ROBINEAU, B. and AMBROSI, J.-P., 2004. Caractérisation des circulations d'eau souterraine dans les massifs miniers de Nouvelle-Calédonie: Exemple du massif de Tiébaghi. In: IRD (Editor), *Assises de la Recherche Française dans le Pacifique.* IRD, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, pp. 115-116.

- DEWANDEL B., LACHASSAGNE P., QATAN A., Spatial measurements of stream baseflow, a relevant method for aquifer characterization and permeability evaluation. Application to a hard rock aquifer, the Oman ophiolite, *Hydrol. Processes* 18 (2004) 3391–3400.
- GRILLOT J. C., RAUNET M., FERRY L., Comportement piézométrique des nappes d'altérites en zone intertropicale humide d'altitude (Hauts Plateaux de Madagascar), *J. Hydrol.* 120 (1990) 271–282.
- HAZELL J. R. T., CRATCHLEY C. R. & JONES C. R. C. 1992. The hydrogeology of crystalline aquifers in northern Nigeria and geophysical techniques used in their exploration. In: Wright E. P. & Burger W. G. eds. *Hydrogeology of Crystalline Basements Aquifers in Africa*, pp. 155 – 182. Geological Society of London Special Publication 66.
- HOWARD K.W.F., KARUNDU J., Constraints on the exploitation of basement aquifers in East Africa – Water balance implications and the role of the regolith, *J. Hydrol.* 139 (1992) 183–196.
- JOIN, J.-L., ROBINEAU, B., AMBROSI, J.-P., COSTIS, C., AMBROSI, J.-P., 2005. Système hydrogéologique d'un massif minier ultrabasique de Nouvelle-Calédonie. *Comptes Rendus Geosciences* 337, 1500 – 1508.
- KUMA J.S., YOUNGER P.L., BOWELL R.J., Expanding the hydrogeological base in mining EIA studies: A focus on Ghana, *Environ. Impact Assessment Rev.* 22 (2002) 273–287.
- MARECHAL J.-C., WYNS R., LACHASSAGNE P., SUBRAHMANYAM K., TOUCHARD F., Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socle : concordance avec la structure géologique des profils d'altération, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 451–460.
- OLSTHOORN T. N., 1995. Effective parameter optimisation for groundwater model calibration. *Groundwater.* 33(1) : pp 42-48
- OWEN S. J., JONES N. L., HOLLAND J. P., 1996. A comprehensive modeling environment for the simulation of groundwater flow and transport. *Engineering with Computers.* 12 : 235-242.
- OWOADE A., The potential for minimizing drawdowns in groundwater wells in tropical aquifers, *J. Afr. Earth Sci.* 20 (1995) 289–293.
- PARISOT J.-C., MATHE D., BE´ZIS S., COMBIER V., PAUGAM A., RITZ M., SAVIN C., ROBINEAU B. & BEAUVAIS A. 2003. Appraisal of physical and chemical parameters controlling the electrical resistivity of weathering materials of ultramafic rocks at Tiebaghi, New Caledonia. *Proceedings, International Conference Preservation et restauration écologique en environnement minier, Noumea, Nouvelle-Calédonie.*
- POETER E. P., HILL M. C., 1997. Inverse models : a necessary next step in groundwater modeling. *Groundwater.* 35(2) : pp. 250-260
- SAVIN C., ROBINEAU B., MONTEIL G., BEAUVAIS A., PARISOT J.-C. & RITZ M. 2002. Electrical imaging of peridotite weathering mantles as a complementary tool for a nickel ore exploration in New Caledonia. *Proceedings 16th ASEG Geophysical Conference, Adelaide.*
- SAVIN C., ROBINEAU B., MONTEIL G., BEAUVAIS A., PARISOT J.-C., RITZ M., Electrical imaging of peridotite weathering mantles as a complementary tool for a nickel ore exploration in New Caledonia, in: *ASEG 16th Geophysical conference, Adelaide, Australia, 2002*, p. 5.
- TAYLOR R.G., HOWARD K.W.F., Groundwater recharge in the Victoria Nile basin of East Africa: support for the soil moisture balance approach using stable isotope tracers and flow modelling, *J. Hydrol.* 180 (1996) 31–53.
- WINTER T. C., HARVEY J. W., FRANKE O. L., ALLEY, W. M, 1998. Ground water and surface water. A single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139, GB661.2.G76 1998 98–2686, 553.7—dc21 CIP. ISBN 0–607–89339–7. 87p.
- WITHERSPOON P. A., WANG J. S. Y., IWAI K., GALE J. E., 1979. Validity of cubic law for fluid flow in a deformable rock fracture. *Water Resour. Res.* 16(6), pp. 1016-1024
- ZHOU W., BECK B. F. & STEPHENSON J. B. 1999. Reliability of dipole –dipole electrical resistivity tomography for defining depth to bedrock in covered karst terranes. *Environmental Geology* 39, 760 – 766.

Facteurs écologiques

INERIS, 2006. Détermination de concentrations prédites sans effet sur les organismes aquatiques PNECaqua pour les substances de la liste II de la Directive 76/464/CEE – Substances traitées en 2005 – Partie II substances inorganiques (23 substances) », février 2006;

Flore terrestre

BotaEnvironnement, 2001. Inventaire floristique – Plateau de Goro – Zone des 15 ans d'exploitation – VNC Nouvelle-Calédonie – Rapport final. Novembre 2011.

Goro Nickel, 2005. Inventaire de la flore et des essences forestières du maquis para-forestier et de la forêt rivulaire dans l'emprise du bassin de sédimentation et de la sur-verse de l'usine de Goro Nickel, novembre 2005.

Goro Nickel, 2005. Photographie aérienne de la zone du projet de Goro Nickel, septembre 2005.

Goro Nickel, 2005., Inventaire de la flore des formations végétales sur la zone d'entreposage, août 2005.

Goro Nickel, 2006. Inventaire floristique des maquis para-forestiers dans l'emprise des bassins de confinement du stockage de soufre et de premier flot, avril 2006.

Goro Nickel, 2006. Inventaire floristique du centre de maintenance de la mine, du centre de préparation du minerai et du dépôt à court terme de Goro Nickel dans le bassin de la Kué, septembre 2006.

Goro Nickel, 2006. Inventaire floristique du tronçon de la route et de la plate forme de sondage directionnel – émissaire de l'effluent à Port Boisé, décembre 2006.

IRD, 2000. Caractéristiques floristiques de la zone de Prony à Goro, juillet 2000.

IRD, 2001. Végétation et flore du site d'implantation de la future usine de Goro Nickel SA., octobre 2001.

IRD, 2003. Annexe 1 de l'étude, Identification, typologie et cartographie des groupements végétaux de basse altitude du Grand Sud calédonien et de la vallée de la Tontouta, 2003.

IRD, 2003. Distribution des écotypes dans la région du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie, 2003.

IRD, 2004. Inventaires floristiques des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro Nickel, janvier 2004.

Ouvrages ayant contribué à la connaissance de la végétation et de la flore calédoniennes

Godard Ph., Jaffré T., Themereau A., 1978. Fleurs en Nouvelle-Calédonie. Les éditions françaises d'Océanie, Nouméa. 278 p.

Guillaumin A., 1948. Flore analytique et synoptique de la Nouvelle - Calédonie. Phanérogames. ORSTOM Paris. 369p.

Hodel R.H., Pintaud J.C., 1998. The Palms of New Caledonia. Allen Press, Lawrence Kansas, USA. 119 p.

Jaffré T., 1980. Etude écologique du peuplement végétal des sols dérivés de roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. ORSTOM. (Travaux et Documents de l'ORSTOM; 124). 273 p. + annexes.

Jaffré T., Becquer T., Reeves R., 1997. Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères. Actes de la 2ème Conférence Internationale sur les Milieux Serpentiniques. ORSTOM, Nouméa. (Documents Scientifiques et Techniques : III, 2), 306 p.

Jaffré T., Morat P et Veillon J.M. 1994. Caractéristiques et composition floristique des principales formations végétales. Bois et forêts des Tropiques. 242 : 7-29.

Jaffré T., Morat P., Rigault F., Veillon J.M., Dagostini G., 2001. Composition et caractéristiques de la flore indigène de la Nouvelle-Calédonie. IRD, Nouméa. (Documents Scientifiques et Techniques : II, 4), 121 p.

- Jaffré T., Pelletier B., 1992. Plantes de Nouvelle-Calédonie permettant de revégétaliser des sites miniers. SLN, Nouméa. 114 p.
- La Billardière (J.J.H. de), 1824. Sertum Austro- Céledonicum Huzard. Paris.
- Manauté J., Jaffré T., Veillon J.M., Kranitz M.L., 2003. Revue des Araucariaceae de Nouvelle-Calédonie. IRD / Province Sud, Nouméa. 28 p.
- McCoy S.G., 1998. The dynamics of *Gymnostoma maquis* on ultramafic soils in New Caledonia. Australian National University, Canberra. PhD Thesis. 177 p.
- Montrouzier X., 1860. Flore de l'île d'Art.
- Pintaud J.C., 1999. Phylogénie, biogéographie et écologie des palmiers de Nouvelle- Calédonie. Université Paul Sabatier, Toulouse. Thèse. 316 p.
- Rageau J. 1973. Les plantes médicinales en Nouvelle – Calédonie. ORSTOM Paris.
- Schmid M., 1981. Fleurs et plantes de Nouvelle-Calédonie. Editions du Pacifique, Nouméa. 165 p.
- Veillon J.M. 1976. Architecture végétale de quelques arbres de l'archipel néo -calédonien. Université de Montpellier. Thèse Univ. Sciences et Techniques. 299 p.

Contribution à la connaissance de la végétation et de la flore calédoniennes

Publications – rapports

- Bartish I.V., Swenson U., Munzinger J., Anderberg A.A., 2005. Phylogenetic relationships among New Caledonian Sapotaceae (Ericales): molecular evidence for generic polyphyly and repeated dispersal. *American Journal of Botany* 92(4): 667-673.
- Becquer Th., Rigault F., Jaffré T., 2002. Nickel bioavailability assessed by ion exchange resin in the field. *Comm. soil. Sci. Plant. Anal.*, 33 (3- 4): 439-450.
- Bouchet P., Jaffré T., Veillon J.M., 1995. Plant extinction in New Caledonia : Protection of sclerophyll forests urgently need. *Biodiversity and Conservation*, 4: 415-428.
- Boyd R.S., Jaffré T., 1999. Variation of nickel content in nickel hyper-accumulating shrub *Psychotria Duarrei* (Rubiaceae) from New Caledonia. *Biotropica*, 31 (3): 403-410.
- Boyd R.S., Jaffré T., 2001. Phytoenrichment of soil content by *Sebertia acuminata* in New Caledonia and concept of elemental allelopathy. *South African Journal of Sciences*, 97: 535-538.
- Bradford J., Jaffré T., 2004. Plant species microendemism and conservation of montain maquis in New Caledonia: two new species of *Pancheria* (Cunoniaceae) from Roche Ouaième. *Biodiversity and Conservation* 13 : 2253-2273.
- Brooks R.R., Lee J., Jaffré T., 1974. Some New Zealand and New Caledonia plant accumulators of nickel. *J. Ecol.*, 62: 493-499.
- Brooks R.R., Lee J., Reeves R.D., Jaffré T., 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochem. Explor.*, 7:
- Brooks R.R., Trow S.M., Veillon J.M., Jaffré T., 1981. Studies on manganese accumulating *Alyxia* species from New Caledonia. *Taxon*, 30 (2): 420-423.
- Cabalion P., Morat Ph., 1983. Introduction à la végétation, à la flore et aux noms vernaculaires de l'île de Pentecôte (Vanuatu). *J. Agric. Trop. Bot. Appl.*, 30 (3): 197- 248.
- Carpenter R. J., Read J., Jaffré T., 2003. Reproductive traits of tropical rainforest trees on ultramafic soils in New Caledonia. *Tropical Journal of Ecology*, 18:351-365.
- Chazeau J., Jaffré T., Richer de Forges B., 1995. La biodiversité en Nouvelle-Calédonie, la richesse d'un milieu exeptionnel. *ORSTOM Actualités*, 46 : 15-22.
- Cosson J.P., Schmid M., 1970. Les alcaloïdes d'*Ochrosia silvatica* (Apocynaceae). *Phytochemistry*, 9: 1353-1354.
- Ducouso, M., C. Contesto, M. Cossegal, Y. Prin, F. Rigault, & G. Eyssartier. 2004. *Cantharellus garnierii* sp. nov., une nouvelle chanterelle des maquis miniers nickélicifères de Nouvelle-Calédonie. *Cryptogamie, Mycologie* 25: 115-125.

- Enright N.J., Rigg L., Jaffré T., 2001. Environmental controls on species composition along a (maquis) shrubland to forest gradient on ultramafics at Mt Do, New Caledonia. *South African Journal of Sciences*, 97: 573-580.
- Feild T.S., Brodribb., Jaffré T., Holbrook N.M., 2001. Acclimation of leaf anatomy, photosynthetic light use, and xylem hydraulics to light in *Amborella trichopoda* (Amborellaceae). *J. Plant Res.*, 162 (5): 999-1008.
- Feild T.S., Zweiniecki M.A., Brodribb T., Jaffré T., Donoghue M.J., Holbrook N.M., 2000. Structure and fonction of tracheary elements in *Amborella trichopoda*. *Int. J. Plant Sci.*, 161 (5): 705-712.
- Gargominy O., Bouchet P., Pascal M., Jaffré T., Tourneur J.C., 1996. Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 51: 375-402.
- Gauthier D., Jaffré T., Prin Y., 1999. Occurrence of both *Casuarina*-infective and *Elaeagnus*-infective *Frankia* strains within actinorhizae of *Casuarina collina*, endemic to New Caledonia. *Eur. J. soil Biol.*, 35 (1): 9-15.
- Gauthier D., Jaffré T., Prin Y., 2000. Abundance of *Frankia* from *Gymnostoma* spp. in the rhizosphere of *Alphitonia neocaledonica* a non-nodulate *Rhamnaceae* endemic to New Caledonia. *Eur. J. Soil Biol.*, 36 (3-4): 169-175.
- Gauthier D., Navarro I., Rinaudo G., Jourand P., Jaffré T., Prin Y., 2000. Isolation, characterisation (PCR-RFLP) and specificity of *Frankia* from eight *Gymnostoma* species endemic to New Caledonia. *Eur. J. Soil Biol.*, 35 (4): 199-205.
- Gillespie T.W., Jaffré T., 2003. Tropical dry forest in New Caledonia. *Biodiversity and Conservation*, 12: 1697-2003.
- Guillaumin A., Veillon J.M., 1969. Plantes des archipels Huon et Chesterfield. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat.*, 41 (2): 606-607.
- Herbant-Mauri R., Veillon J.M., 1989. Branching and leaf initiation in the erect aerial system of *Stromatopteris moliniformis* (Gleicheniaceae). *Canadian Journal of Botany*, 67: 407-414.
- Herbert J., Hollingsworth P. M., Gardner M. F., Jaffré T., Mill R. R., Thomas P. L., 2002. Conservation genetics and phylogenetics of New Caledonian *Retrophyllum* (Podocarpaceae) species. *New Zealand Journal of Botany*, 40 (2): 175- 188.
- Hery M., Nazaret S., Jaffré T., Normand Ph., Navarro E., 2003. Adaptation to nickel spiking of bacterial communities in Neo-caledonian soils. *Environmental Microbiology*, 5 (1): 3-12. 17
- Hodel D.R., Pintaud J.C., 1998. A revision of *Kentiopsis*, a genus endemic to New Caledonia. *Principes*, 42 (1): 32-33, 41-53.
- Hodel D.R., Pintaud J.C., 1998. Three new species of *Burretokientia*. *Principes*, 42 (3): 152-155, 160-166.
- Hoff M., 1983. Quelques aspects des forêts de Nouvelle-Calédonie et de leurs structures. *Bulletin de Liaison de la SEPANRIT*, 12: 113-118.
- Jaffré T., 1974. La végétation et la flore d'un massif de roches ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie : le Koniambo. *Candollea*, 29: 427-456.
- Jaffré T., 1976. Composition chimique et conditions de l'alimentation minérale des plantes sur roches ultrabasiques. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, XI (1): 53-63.
- Jaffré T., 1977. Accumulation du manganèse par des espèces associées aux terrains ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie. *C.R. Acad. Sci. Paris (D)*, 284 (16): 1573-1575.
- Jaffré T., 1977. Composition chimique élémentaire des tissus foliaires des espèces végétales colonisatrices des anciennes mines de nickel en Nouvelle-Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, XII (4): 323-330.
- Jaffré T., 1979. Accumulation du manganèse par les *Proteaceae* de Nouvelle-Calédonie. *C.R. Acad. Sci. Paris (D)*, 289 (4): 425-428.
- Jaffré T., 1993. Relation between ecological diversity and floristic diversity in New Caledonia. *Biodiversity Letters*, 1 (3-4): 82-91.

- Jaffré T., Bouchet P., Veillon J.M., 1998. Threatened plants of New Caledonia : Is the system of protected areas adequate ?. *Biodiversity and Conservation*, 7: 107- 135.
- Jaffré T., Brooks R.R., Lee J., Reeves R.D., 1976. *Sebertia acuminata*, a hyperaccumulator of nickel from New Caledonia. *Science*, 193: 579-580.
- Jaffré T., Brooks R.R., Trow J.M., 1979. Hyperaccumulation of nickel by Geissois species. *Plant and soil*, 51 (1): 157-162.
- Jaffré T., Fambart J., 2002. Quatre nouvelles espèces de *Soulamea* (Simaroubaceae) de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, 24 (2): 159-168.
- Jaffré T., Gauthier D., Rigault F., MacCoy S.G., 1994. Les Casuarinacées endémiques, caractéristiques écologiques et nutritionnelles. *Dossier Nouvelle- Calédonie. Bois et Forêts des Tropiques*, 242: 31-43. 12
- Jaffré T., Kersten W., Brooks R.R., Reeves R.D., 1979. Nickel uptake by Flacourtiaceae of New Caledonia. *Proc. R. Soc. Lond. (B)*, 205: 385-394.
- Jaffré T., Latham M., 1974. Contribution à l'étude des relations sol-végétation sur un massif de roches ultrabasiques de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie : le Boulinda. *Adansonia*, 14 (3): 311-336.
- Jaffré T., Latham M., Schmid M., 1977. Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle-Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, XII (4): 307-321.
- Jaffré T., MacCoy S.G., Rigault F., Navarro E., 2001. A comparative study of flora and symbiotic micro-flora diversity in two vicariate *Gymnostoma* formation on ultramafics. *South African Journal of Sciences*, 97 (11-12 part. 2): 599-603.
- Jaffré T., Morat P., Veillon J.M., 1994. La flore, caractéristiques et composition floristique des principales formations végétales. *Dossier Nouvelle-Calédonie. Bois et Forêts des Tropiques*, 242: 7-30.
- Jaffré T., Morat P., Veillon J.M., MacKee H.S., 1987. Changements dans la végétation de la Nouvelle-Calédonie au cours du tertiaire : La végétation et la flore des roches ultrabasiques. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 9: 365- 391.
- Jaffré T., Morat Ph., Veillon J.M., 1993. Etude floristique et phytogéographique de la forêt sclérophylle de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 15: 107-147.
- Jaffré T., Rigault F., Dagostini G., 1998. Impact des feux de brousse sur les maquis ligno-herbacés des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, sér. 3., 20 (1): 173-189.
- Jaffré T., Rigault F., Sarrailh J.M., 1994. Végétalisation des anciens sites miniers. *Dossier Nouvelle-Calédonie. Bois et Forêts des Tropiques*, 242: 45-57.
- Jaffré T., Schmid M., 1974. Accumulation du nickel par une Rubiaceae de Nouvelle-Calédonie, *Psychotria Duarrei* (G. Beauvisage) Däniker. *C.R. Acad. Sci. Paris (D)*, 278: 1727-1730.
- Jaffré T., Veillon J.M., 1990. Etude floristique et structurale de deux forêts denses humides sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 12(3-4): 243-273.
- Jaffré T., Veillon J.M., 1995. Structural and floristic characteristics of a rain forest on schist in New Caledonia : a comparison with an ultramafic rain forest. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 17(3-4): 201-226.
- Jaffré T., Veillon J.M., Cherrier J.F., 1987. Sur la présence de deux Cupressaceae *Neocallitropsis pancheri* (Carr.) Laubenf. et *Libocedrus austrocaledonica* Brongn. et Gris dans le massif du Paéoua et localités nouvelles de Gymnospermes en Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4ème sér., 9 (3): 273-288.
- Kan-Fan C., Das B.C., Potier P., Schmid M., 1970. Alcaloïdes des feuilles d'*Ochrosia vieillardii* (Apocynaceae). *Phytochemistry*, 9: 1351-1352.
- Kelly P.C., Brooks R.R., Dilli S., Jaffré T., 1975. Preliminary observations on the ecology and plant chemistry of some nickel accumulating plants from New Caledonia. *Proc. R. Soc. Lond. (B)*, 189: 69-80.

- Kersten W.J., Brooks R.A., Reeves R.D., Jaffré T., 1980. The nature of nickel complex in *Psychotria Duarrei* G. Beauvisage, Daniker, and other nickel accumulating plant. *Phytochemistry*, 19: 1963-1965.
- Kersten W.J., Brooks R.R., Reeves R.D., Jaffré T., 1979. Nickel uptake by New Caledonian species of *Phyllanthus*. *Taxon*, 28 (5-6): 529-534.
- Kurata K., Jaffré T., Setoguchi H., 2004. Variation in pitcher morphology within *Nepenthes vieillardii* Hook. F. (*Nepenthaceae*) in New Caledonia. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 55(3): 181-197.
- Lee J., Brooks R.R., Reeves R.D., Boswell C.R., Jaffré T., 1977. Plant-soil relationships in a New Caledonian serpentine flora. *Plant and soil*, 46 (3): 675-680.
- Lee J., Reeves R.D., Brooks R.D., Jaffré T., 1978. The relation between nickel and citric acid in some nickel-accumulating plants. *Phytochemistry*, 17 (6): 1033-1035.
- Lee J., Reeves R.D., Brooks R.R., Jaffré T., 1977. Isolation and identification of a citrato-complex of nickel from nickel-accumulating plants. *Phytochemistry*, 16 (10): 1503-1505.
- MacCoy S.G., Jaffré T., Rigault F., Ash J.E., 1999. Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia. *Journal of Biogeography*, 26 (3): 579-594.
- MacKee H.S., Morat Ph., Veillon J.M., 1985. Palms in New Caledonia. *Principes*, 29 (4): 166-169.
- MacPherson G., Morat P., Veillon J.M., 1981. Existence d'une 2ème espèce appartenant au genre *Oncotheca* endémique de la Nouvelle-Calédonie, et nouvelles données concernant les *Oncothecaceae*. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 3 (3): 297-312.
- Morat P., 1988. Contribution à l'étude des *Sterculiaceae* de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 10(2): 93-103.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., 1994. Richesse et affinités floristiques de la Nouvelle-Calédonie : conséquence directe de son histoire géologique. *Mém. Soc. Biogéogr.*, 4: 111-123.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., 1999. Menaces sur les taxons rares de la Nouvelle-Calédonie. Actes du Colloque sur les espèces végétales menacées de France. *Bulletin de la Société Botanique du Sud-Ouest*, Numéro spécial, 19: 129-144.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., 2001. The flora of New Caledonia's Calcareous substrate : tolerance or dependence. *Adansonia*, 23 (1): 1-19.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., MacKee H.S., 1986. Affinités floristiques et considérations sur l'origine des maquis miniers de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 8 (2): 133-182.
- Morat Ph., 1978. Note sur les Graminées de Nouvelle-Calédonie.
- Morat Ph., 1981. Note sur les Graminées de la Nouvelle-Calédonie. III. Révision des genres *Brachiaria* (Trin.) Griseb. et *Panicum* L. *Candollea*, 36 (1): 203-213.
- Morat Ph., 1981. Note sur les Graminées de la Nouvelle-Calédonie. VI. *Lepturopetium* genre nouveau endémique. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 20 (4): 377-381.
- Morat Ph., 1981. Notes sur les Graminées de la Nouvelle-Calédonie.
- Morat Ph., MacKee H.S., 1977. Quelques précisions sur le *Trimenia neo-caledonica* Bak. F. et la famille des *Trimeniaceae* en Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, sér. 2, 17 (2): 205-213.
- Morat Ph., Veillon J.M., 1985. Contribution à la connaissance de la végétation et de la flore de Wallis et Futuna. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4è sér., 7 (3): 259-329.
- Munzinger, J. 2001. Two new species of *Agatea* (*Violaceae*) endemic to New Caledonia, with some taxonomic notes and a key to New Caledonian species. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 137: 91-97.
- Nasi R., Jaffré T., Sarrailh J.M., 2002. Les forêts de montagnes de Nouvelle-Calédonie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 274: 5-17.
- Navarro E., Jaffré T., Gauthier D., Gourbière F., Rinaudo G., Simonet P., 1999. Distribution of *Gymnostoma* spp micro symbiotic *Frankia* strains in New Caledonia is related to soil type and host-plant species. *Molecular Ecology*, 8: 1781-1788.

- Ogima K., Jaffré T., Tobe H., 2000. The karyotype analysis of somatic chromosomes in *Amborella trichopoda* (Amborellaceae). *J. Plant Res.*, 113: 281-283.
- Pauly A., Munzinger J., 2003. Contribution à la connaissance des Hymenoptera Apoidea de Nouvelle-Calédonie et de leurs relations avec la flore butinée. *Annales de la Société Entomologique de France*, 39 (2): 153-166.
- Perrier N., Colin F., Jaffré T., Ambrosi J. R., Ballero J. P., 2004. Nickel speciation in *Sebertia acuminata*, a plant growing on a laterite soil of New Caledonia. *C.R. Geoscience*, 333: 567-577.
- Perry G., Enright N.J., Jaffré T., 2001. Spatial modelling of landscape-scale vegetation dynamics, Mt Do, New Caledonia. *South African Journal of Sciences*, 97 (11-12 part. 2): 501-509.
- Pillon, Y., M. F. Fay, A. B. Shipunov, & M. W. Chase. 2005. Species diversity versus phylogenetic diversity: a practical study in the taxonomically difficult genus *Dactylorhiza* (Orchidaceae). *Biological Conservation*: in press.
- Pintaud J.C., 1999. La saga des Palmiers de Nouvelle-Calédonie : Homme et plantes. *Revue du Conservatoire des Collections Végétales Spécialisées*, 29: 54-63.
- Pintaud J.C., Jaffré T., 2001. Pattern of diversification of Palms on ultramafic rocks in New Caledonia. *South African Journal of Sciences*, 97 (11-12 part. 2): 548-550.
- Pintaud J.C., Jaffré T., Puig H., 2001. Chorology of New Caledonian palms and possible evidence of Pleistocene rain refugia. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sci. de la vie*, 324: 1-11.
- Pintaud J.C., Jaffré T., Veillon J.M., 1999. Conservation status of New Caledonia Palms. *Pacific Conservation Biology*, 5 (1): 9-15.
- Pusset J., Lopez J.L., Pais M., Al Neirabeyeh M., Veillon J.M., 1991. Isolation and 2D NMR Studies of Alkaloids from *Comptonella sessilifoliola*. *Planta Med.*, 57: 153-155.
- Read J., Ferris J.M., Jaffré T., 2002. The foliar mineral content of *Nothofagus* species on ultramafic soils in New Caledonia and non-ultramafic soils in Papua New Guinea. *Aust. J. Bot.*, 50 (5): 607-617.
- Read J., Jaffré T., Hope G., Godrie E., Veillon J.M., 2000. Structural and floristic characteristics of some monodominant and adjacent mixed rainforests in New Caledonia. *Journal of Biogeography*, 27: 233-250.
- Richer de Forges B., Jaffré T., Chazeau J., 1995. La Nouvelle-Calédonie, vestige du Continent de Gondwana. *Revue des Ressources génétiques végétales du GEVES et de l'INRA*: 11 pages.
- Rigg L.S., Enright N.J., Jaffré T., 1998. Stand structure of the emergent conifer *Araucaria laubenfelsii*, in maquis and rainforest, Mont Do, New Caledonia. *Australian Journal of Ecology*, 23: 528-538.
- Savolainen V., Fay M.F., Albach D.C., Backlund A., Van der Bank M., Cameron K.M., Johnson S.A., Lledo M.D., Pintaud J.C., Powell M., Mheahan M.C., Soltis D.E., Soltis P.S., Weston P., Whitten W.N., Wurdack K.J., Chase M.W., 2000. Phylogeny of the eudicots : a nearly complete familial analysis based on *rbcL* gene sequences. *Kew Bulletin*, 55: 257-309.
- Schmid M., 1975. La flore et la végétation de la partie méridionale de l'archipel des Nouvelles-Hébrides. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., B* (272): 329-342.
- Schmid M., 1976. La Nouvelle-Calédonie, terre d'élection pour les botanistes. *Etudes Mélanésiennes*, 26: 23-29.
- Schmid M., 1982. Endémisme et spéciation en Nouvelle-Calédonie. *C.R. Soc. Biogéogr.*, 48 (2): 52-60.
- Setoguchi H., Ohsawa P., Pintaud J.C., Jaffré T., Veillon J.M., 1998. Phylogenetic relationship of *Araucariaceae* inferred from *rbcL* gene sequence. *American Journal of Botany*, 85 (11): 1507-1516.
- Sinclair W. T., Mill R. R., Gardner M. F., Woltz P., Jaffré T., Preston J., Hollingsworth M. L., Ponge A., Moller M., 2002. Evolutionary relationships of the New Caledonian heterotrophic conifer, *Parasitaxus ustus* (Podocarpaceae) inferred from chloroplast *trnL-F* intron/spacer and nuclear rDNA ITS2 sequences. *Plant Syst. Evol.*, 233: 79-104.

- Sogo A., Noguchi J., Jaffré T., H. Tobe, 2004. Pollen-tube growth and fertilization mode in *Gymnostoma* (Casuarinaceae): their characteristics and evolution. *Journal of Plant Research* 117: 249-251.
- Sogo A., Setoguchi H., Noguchi J., Jaffré T., Tobe H., 2001. Molecular Phylogeny of Casuarinaceae based on rbcL and matK gene sequences. *J. Plant Res.*, 114: 459-464.
- Sogo, A., Noguchi J., Jaffré T., H. Tobe. 2004. Pollen-tube growth pattern and chalazogamy in *Casuarina equisetifolia*. *Journal of Plant Research* 117: 37-46.
- Thien B.T., Sage T., Jaffré T., Bernhardt P., Pontieri V., Weston P., Malloch D., Azuma H., Graham S., MacPherson M.A., Rai H., Sage A., Duprey J.L., 2003. The population structure and floral biology of *Amborella trichopoda* Baillon (Amborellaceae). *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 90: 466-490.
- Tirel C., Veillon J.M., 1994. Six nouvelles espèces de *Pittosporum* (Pittosporaceae) à fruits ornementés de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4^e sér., 16 (2-4): 195-212.
- Tirel C., Veillon J.M., 1995. Une nouvelle espèce de *Pittosporum* (Pittosporaceae) de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4^eème sér., 17 (1-2): 7- 10.
- Tirel C., Veillon J.M., 1997. Deux nouvelles espèces de *Pittosporum* (Pittosporaceae) de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, sér. 3., 19 (1): 39-43.
- Tirel C., Veillon J.M., 1998. *Pittosporum lanipetalum* (Pittosporaceae), nouvelle espèce de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, 20 (2): 243-246.
- Tirel C., Veillon J.M., 1999. Trois nouvelles espèces de *Pittosporum* (Pittosporaceae) de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, 21 (2): 213-219.
- Tobe H., Jaffré T., Raven P., 2000. Embryology of *Amborella* (Amborellaceae) : description and polarity of character states. *J. Plant Res.*, 113: 271-280.
- Toutain B., Veillon J.M., 1990. Observations à propos de Graminées du genre *Themeda* en Nouvelle-Calédonie. *Rev. d'Elevage et de Médecine Vétérinaire de Nouvelle-Calédonie*, 13: 15-18.
- V. Présence en Nouvelle-Calédonie des genres *Ottochloa* Dandy, *Entolasia* Stapf et *Eriochloa* Kunth. *Candollea*, 36 (1): 215-222.
- Veillon J.M., 1971. Une Apocynaceae monocarpique de Nouvelle-Calédonie : *Cerberiopsis candelabrum* Vieillard. *Adansonia*, ser. 2, 11 (4): 625-639.
- Veillon J.M., 1976. Note relative à l'architecture des *Rauvolfia* néo-calédoniens. *Adansonia*, sér. 2, 16 (1): 61-63.
- Veillon J.M., 1981. Réhabilitation de l'espèce *Blechnum francii* Rosenstock, Fougère aquatique de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4^e sér., 3 (2): 241-247.
- Veillon J.M., 1992. Présence du genre *Trigonostemon* Blume (Euphorbiaceae) en Nouvelle-Calédonie : description d'une nouvelle espèce *T. cherrieri* Veillon. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*, 4^e sér., 14 (1): 53-60.
- Veillon J.M., 1993. State of the protection of floristic diversity in New Caledonia. *Biodiversity Letters*, 1 (3-4): 92-94.
- Verlière G., Heller R., 1981. Effets du nickel sur la croissance des racines isolées de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit et caractères de son absorption. *Physiol. Veg.*, 19 (2): 263-275.
- Whiting S.N., Reeves R.D., Richards D., Johnson M. S., Cooke J.A., Malaisse F., Paton A., Smith J.A.C., Angle J.S., Chaney R.L., Ginocchio R., Jaffré T., Johns R., MacIntyre T., Purvis O.W., Salt D.E., Schat H., Zhao F. J., Baker A.J.M., 2004. Research priorities for conservation of metallophyte biodiversity and its sustainable uses in ecological restoration and site. *Restoration Ecology*, 12 (1): 106-116.
- Whittier D.P., Pintaud J.C., 1999. Spore germination and early gametophyte development in *Stromatopteris*. *American Fern Journal*, 89 (2): 142-148.
- Woltz P., Bailly Y., 1982. *Austrotaxus spicata* Compton, Taxaceae de Nouvelle- Calédonie : aspects anatomiques et évolution de l'appareil conducteur de la plantule. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 129 (Lettres bot.): 223-230.

Yang H.H., Brooks R.R., Jaffré T., J. Lee, 1985. Elemental levels and relationships in the Flacourtiaceae of New Caledonia and their significance for the evaluation of the serpentine problem. *Plant and Soil*, 87: 281-291.

Parties d'ouvrages contribuant à la connaissance de la végétation et de la flore calédoniennes

Aronson, J., D. Vallauri, T. Jaffré, P. P. Lowry II. 2005. Restoring dry tropical forests. In S. Mansourian [ed.], *Beyond planting tree restoring forests and their function in landscapes*, 285-290. Springer, UK.

Brooks R.R., Chiarucci A., Jaffré T., 1998. Revegetation and stabilisation of mine dumps and other degraded terrain. Plants that hyperaccumulate heavy metals. In (Eds: Brooks R.R.). Oxford University Press. 227-247.

Enright N., Miller B.P., Jaffré T., 2004. Ecology and population dynamics of the endemic New Caledonian conifer, *Araucaria muelleri* (Araucariaceae). In *Proceedings of the symposium of Dendrology*. Auckland. 427-433.

Hoff M., Brisse H., Grandjouan G., 1983. La végétation rudérale et anthropique de la Nouvelle-Calédonie et des Iles Loyauté (Pacifique Sud). Colloque Phytosociologique XII, Végétation nitrophile. Beilleul. 180-248.

Jaffré T., 1992. Floristic and Ecological diversity of the vegetation on ultramafic rocks in New Caledonia. In *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*. (Eds: Baker A.J.M., Proctor J. et Reeves R.D.). Intercept Ltd. Andover, U.K. 101-107. 20

Jaffré T., 1994. Distribution and Ecology of the Conifers of New Caledonia. In *Conifers of the Southern Hemisphere*. (Eds: Enright N.J. et Hill R.S.). Melbourne University Press. Australia. 171-196.

Jaffré T., 1995. La Botanique, un endémisme prometteur. In *Nouvelle-Calédonie, Terre de Recherches*. Thèse-Pac. Nouméa. 47-49.

Jaffré T., 1996. Etude comparative des formations végétales et des flores des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie et d'autres régions tropicales du monde. In *Phytogéographie Tropicale, Réalité et Perspectives*. (Eds: Guillaumet J.L., Belin M. et Puig H.). ORSTOM, Paris, Colloques et Séminaires. 137-149.

Jaffré T., MacCoy S.G., Rigault F., Dagostini G., 1997. Quelle méthode de végétalisation pour la réhabilitation des anciens sites miniers de Nouvelle-Calédonie ?. In *Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères*. (Eds: Jaffré T., Reeves R. et Becquer T.). ORSTOM, Nouméa. 285-288.

Jaffré T., Rigault F., 1999. Gestion de la biodiversité floristique en zone minière. In *Actes du Colloque sur l'Environnement*. (Eds: Cressens B.). Pouembout (Nouvelle-Calédonie). 166-170.

Jaffré T., Rigault F., Dagostini G., Fambart J., Manauté J., 2004. Le conservatoire botanique de forêt sclérophylle sèche de Tiéa (Pouembout) : typologie et analyse floristique des groupements végétaux. In *Les aires protégées insulaires et littorales tropicales*. (Eds: Lebigre J.M. et Decoudras P.M.). Université de Bordeaux 3-CRET, Bordeaux, Coll. Iles et archipels n° 32. 257-270.

Jaffré T., Veillon J.M., 1989. Morphology, Distribution and ecology of Palms in New Caledonia. In *Palms of the South West Pacific*. Milton : Palm and Cycas Societies of Australia. (Eds: Dowe J.L.). 158-169.

Jaffré T., Veillon J.M., Pintaud J.C., 1997. Comparaison de la diversité floristique des forêts denses humides sur roches ultramafiques et sur substrats différents en Nouvelle-Calédonie. In *Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères*. (Eds: Jaffré T., Reeves R.D. et Becquer T.). ORSTOM, Nouméa. 163-170.

Lowry II, P. P., J. Munzinger, P. Bouchet, H. Géraux, A. Bauer, O. Langrand, & R. A. Mittermeier. 2005. New Caledonia. In R. A. Mittermeier, P. Robles Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. L. Lamoreux, and G. A. B. da Fonseca [eds.], *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Threatened Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, Mexico.

- MacCoy S.G., Ash J., Jaffré T., 1997. The effect of *Gymnostoma deplancheanum* (Casuarinaceae) litter on seedlings establishment of New Caledonia ultramafic maquis species. In Proceedings of the second Australian on native seed biology for revegetation Workshop. (Eds: Bellairs S.M. et Osborne J.M.). Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research. Newcastle, New South Wales. 127-135.
- Manauté J., Jaffré T., Veillon J.M., Kranitz M-L., 2004. Review of the Araucariaceae in New Caledonia. In Proceedings of the Symposium of Dendrology. Auckland. 403-417.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., 1996. Data sheet of Grande Terre, New Caledonia. In Centres of Plant Diversity : a guide and strategy for their conservation. (Eds: Davis S.D., Heywood V.H. et Hamilton A.C.). UICN-WWF. Oxford University Press. 529-537.
- Morat P., Jaffré T., Veillon J.M., MacKee H.S., 1981. Végétation. In Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances. ORSTOM, Paris.: planche 15, carte et notice.
- Morat P., Veillon J.M., 1988. Oncothecaceae. In Flore de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances, volume 15 (Eds: Morat P. et MacKee H.S.). MNHN, Paris. 90-98.
- Morat P., Veillon J.M., MacKee H.S., 1984. Floristic Relationships of New Caledonia Rain Forest Phanerogam. In Biogeography of the Tropical Pacific. (Eds: Radovsky, Raven P., Sohmer et Bernice P.). Bishop Museum. Special Publication (72).
- Pintaud J.C., 1998. Key to the genera of the Archontophoenicinae. In Flowering plants, Monocotyledons. Alismataceae and Commelinaceae. The families and genera of Vascular Plants: volume 4. (Eds: Draansfield J., Uhl N. et Kubitzki K.). 360 p.
- Pintaud J.C., Jaffré T., Veillon J.M., Albano P.O., 1997. Palm Communities as a key to forest types and soils on ultramafic rocks in southern New Caledonia. In 21 Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères. (Eds: Jaffré T., Reeves R.D. et Becquer T.). ORSTOM Nouméa. 171-172.
- Rigault F., Dagostini G., Jaffré T., 1997. Relation entre les teneurs en nickel, manganèse et cobalt de quelques espèces des maquis miniers et les risques de toxicité en ces éléments du sol. In Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères. (Eds: Jaffré T., Reeves R.D. et Becquer T.). ORSTOM Nouméa. 187-195.
- Schmid M., 1978. The Melanesian forest ecosystems (New Caledonia, New Hebrides, Fiji Islands and Solomon Islands). In Tropical forest ecosystems. (Eds: UNESCO). UNESCO - Natural Resources Research. PARIS. XIV. 654-683.
- Veillon J.M., 1973. La flore néo-calédonienne. Son originalité, sa vulnérabilité face aux problèmes de dégradation et de pollution. Colloque régional sur la protection de la nature. Récifs et lagons. Actes et communications. Nouméa : Commission du Pacifique Sud. 145-150.
- Veillon J.M., 1978. Architecture of the New Caledonian species of *Araucaria*. In Tropical trees as living systems. (Eds: Tomlinson P.B. et Zimmermann M.H.). Cambridge University Press. Cambridge. 233-245.
- Veillon J.M., 1990. Les Dilleniaceae. Flore de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances,
- Veillon J.M., Dagostini G., 1999. La forêt sclérophylle : patrimoine néo-calédonien en péril. In Actes du Colloque sur l'Environnement. (Eds: Cressens B.). Pouembout (Nouvelle-Calédonie). 99-101.
- Veillon J.M., Jaffré T., 1995. Sandalwood (*Santalum austrocaledonicum* Vieillard). In New Caledonia : taxonomy, distribution. Ecology Sandalwood seed nursery and plantation technology. (Eds: Gjerum L. et Fox J.E.D.). ACIAR-FAO. Field Document n° 8. 25-36.
- volume 16 (Eds: Morat P. et MacKee H.S.). MNHN, Paris. 3-86.
- Whiting, S. N., R. D. Reeves, D. Richards, M. S. Johnson, J. A. Cooke, F. Malaisse, A. Paton, J. A. C. Smith, J. S. Angle, R. L. Chaney, R. Ginocchio, T. Jaffré, R. Johns, T. Macintyre, O. W. Purvis, D. E. Salt, H. Schat, F. J. Zhao, & A. J. M. Baker. 2005. Use of plants to manage sites contaminated with metals. In M. R. Broadley and P. J. White [eds.], Plant nutritional genomics, 285-314. CRC Press.

Avifaune

EC CET, 2008. Rapport d'expertise. Mise en place d'un suivi de l'avifaune forestière du plateau de Goro (année 2008)

EC CET, 2009. Rapport d'expertise. Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro (année 2009)

EC CET, 2011. Inventaire avien des concessions AS1, AS3, AS4, AS5 et Nico B Est – Rapport n° 5 année 2011 – Frédéric Desmoulins. mai 2011

PROVINCE SUD, mar–oct 2002, Recensements des oiseaux dans trois réserves spéciales botaniques du Sud : Forêt Nord, Grand Lac, Cap N'dua - campagnes mars–mai et septembre–octobre 2002, Jean-Marc MÉRIOT, Yves LÉTOCART

IAC, janv-04, Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro – Rapport d'étude – Saison sèche (x 2), Frédéric DESMOULINS, Nicolas BARRE

IAC, juil-04, Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro - Programme élevage et faune sauvage, n° 9/2004 (x 3), Frédéric DESMOULINS, Nicolas BARRE

Entomofaune

Province Sud-Queensland Museum, févr-06, Inventaire de l'entomofaune de quatre réserves du Sud de la Nouvelle-Calédonie, G.B. MONTEITH, C.J. BURWELL, S. WRIGHT

IRD, juil-05, Bilan entomologique des noyaux forestiers dits "S2 et S5" à Prony, définis par Goro Nickel, Hervé JOURDAN, Joël KONGHOULEUX

Faune (généralités et autre faune)

A2EP, déc-05, Complément pour le dossier de déclaration minière : synthèse des données bibliographiques faunistiques

IRD, 2003, Conventions Sciences de la vie - Zoologie appliquée - N° 15 - Identification, typologie et cartographie des groupements végétaux de basse altitude du grand Sud calédonien et de la vallée de la Tontouta - Rapport final - Étude zoologique - 2ème partie, J.CHAZEAU, H.JOURDAN, R. SADLIER, L. BONNET de LABORGNE, J. KONGHOULEUX, T. POTIAROA

IRD, janv-04, Recherche des caractéristiques faunistiques des habitats se trouvant sur les sites retenus pour l'installation des infrastructures minières et industrielles du complexe de Goro Nickel - Rapport préliminaire, J.CHAZEAU, H.JOURDAN, L. BONNET de LABORGNE, J. KONGHOULEUX, T. POTIARO

Kirsh, R.A, *et al.*2002. Contribution à l'inventaire chiroptérologique de la Nouvelle-calédonie. Chiroptera Pacifica, Missions 2000 & 2001 rapport final et recommandations. Novembre 2002.129p.

Faune aquatique

Aqua Terra, décembre 2011. Inventaire de la faune dulcicole de zones humides – Phase 02 : Inventaire – Zone 01 – Plaine des Lacs – Mission août 2011.

BioImpact, sept-02. Rapport de consultance - Détermination de l'IBNC et évaluation de la qualité de l'eau du Creek de la Baie Nord (baie de Prony).

BioImpact, 2012. L'état écologique de la Kué. Etude basée sur les données historiques de suivi environnemental.

Biotop, 2011. Suivi annuel de la qualité biologique des eaux de surface du site de VNC NC – Année 2010.

Biotop, juillet 2010. Etude de la composition faunistique de trois dolines du site de la mine du complexe de VNC NC.

Biotop, juillet 2010. Suivi annuel de la qualité biologique des eaux de surface du site de VNC NC – Année 2009 - Synthèse.

- ERBIO, 2000. Inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote Goro Nickel et du déversoir, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, 2007. Inventaire piscicole du Creek de la Baie Nord de rivières Kué (principale), Wajana et Trou Bleu.
- ERBIO, 2008. Inventaire piscicole de la Kué Nord – Complément du rapport de l'inventaire piscicole du Creek de la Baie Nord de rivières Kué (principale), Wajana et Trou Bleu du 11 octobre 2007.
- ERBIO, 2009. Inventaire des espèces invasives du lac en huit, du Grand Lac et du Lac en Y – Rapport final
- ERBIO, 2011. Etude de suivi macrobenthique, ichtyologique et carcinologique du bassin versant kué Ouest 5. Campagne d'Avril 2011.
- ERBIO, 2011. Etude de suivi macrobenthique, ichtyologique et carcinologique du bassin versant kué Ouest 4. Campagne d'Avril 2011.
- ERBIO, 2012a. Inventaire ichtyologique et carcinologique dans les bassins versants du creek de la Baie Nord, de la Kué, de la Kuébini, de la Wajana, du trou bleu et de la Truu. Campagne de janvier 2012.
- ERBIO, 2012b. Inventaire ichtyologique et carcinologique dans les bassins versants du creek de la Baie Nord, de la Kué, de la Kuébini, de la Wajana, du trou bleu et de la Truu. Campagne de juin 2012.
- ERBIO, août 2011, Etude de suivi macrobenthique, ichtyologique et carcinologique du bassin versant KWE Ouest 5– Campagne d'avril 2011.
- ERBIO, déc-01. Troisième inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote, du déversoir et du creek de la baie Nord, version modifiée du 17/08/03, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, déc-03. Étude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la zone impactée (doline de l'usine pilote, déversoir et creek de la baie Nord), Rapport final de la campagne 2002 Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, déc-04. Étude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la doline de l'usine pilote, du creek de la baie Nord et du déversoir, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, jan-mars 2005. Écosystème d'eau douce Partie I : état initial, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, jan-mars 2005. Écosystème d'eau douce Partie II : stratégies d'échantillonnage et bio-indicateurs, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, 2005. Écosystème d'eau douce, Rapport de synthèse pour la caractérisation de l'état initial - version préliminaire, janvier 2005.
- ERBIO, juil-99. Inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote et du déversoir, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, juillet 2010. Inventaire de 6 zones humides – Rapport final – Version préliminaire
- ERBIO, juillet 2011, Etude de suivi macrobenthique, ichtyologique et carcinologique du bassin versant KWE Ouest 4– Campagne d'avril 2011.
- ERBIO, juin 2011, Etude de suivi ichtyologique et carcinologique du Creek de la Baie Nord, la Kué et la Kuébini – Campagne janvier 2011.
- ERBIO, novembre 2010, Etude de suivi ichtyologique et carcinologique dans le Creek de la Baie Nord, la Kué, el Trou Bleu, la Wajana et la Kuébini – Campagne mai-juin 2010.
- ERBIO, oct-04. Étude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la zone impactée - Rapport final de la campagne 2004, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, Sept-08. Inventaire faunistique d'un affluent du creek de la baie Nord, Christine PÖLLABAUER
- ERBIO, Sept-08. Synthèse des inventaires faunistiques de 1995 à 2008, Christine PÖLLABAUER
- ETEC, 2006. Suivi de la qualité biologique des cours d'eau - Indices biotiques - Campagne 2006
- ETEC, fév–mar 05. Indices biotiques de Nouvelle-Calédonie - Campagne des 15 et 16 février 2005

WWF, juin-05. Synthèse des données sur la biodiversité et les usages des écosystèmes d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie, Clémentine FLOUHR, Nathalie MARY

Herpétofaune

Biodical, 2012. Seconde campagne de détection du carpaud buffle (*Chaunus marinus*) sur le site industriel de Vale Nouvelle-Calédonie à Prony.

VNC, 2010. Bilan environnemental 2008-2009 Faune terrestre.

AMBS, févr-04. Étude faunistique spécifique herpétofaune sur le site minier Goro Nickel proposé, Ross SADLIER, Glen SHEA

CYGNET, mai-06. An assessment of the lizard fauna of the proposed humid forest preserves in the Wajana Basin and North Kué range, Gerry SWAN

CYGNET, mai-06. Lizard species inhabiting the Kué West humid forest sites S2 and S5 on the Goro Nickel mine site, Gerry SWAN

Goro Nickel, juin-06. Résultats d'observation du *Lacertoides pardalis*

Goro Nickel, août-05. Premiers résultats du plan de suivi du LACERTOIDES PARDALIS sur le site du col de l'antenne, Virginie LAIGRET

Université de la Nouvelle-Calédonie, nov-05. Aménagement d'un complexe industriel et suivi de la biodiversité – Le cas de *Lacertoides pardalis* sur le site de Goro Nickel, Virginie LAIGRET

Goro Nickel, déc-06. Résultats d'observation du *Lacertoides pardalis*

Myrmécofaune

Biodical, 2012. Surveillance des fourmis envahissantes sur les zones à risques du site industriel de Vale Nouvelle-Calédonie.

IRD, sept-06. Bilan de la contamination par la fourmi électrique (*Wasmannia auropunctata*) des habitats naturels situés sur la zone d'emprise dites "FPP et MIA" et une voie de roulage associée, définies par Goro Nickel, Hervé JOURDAN, Julien LEBRETON

IRD, mai-04. Recherche des caractéristiques faunistiques des habitats se trouvant sur les sites retenus pour l'installation des infrastructures minières et industrielles du complexe de Goro Nickel – Rapport final - (Myrmécofaune indicatrice) , J.CHAZEAU, H.JOURDAN, L. BONNET de LABORGNE, J. KONGHOULEUX, T. POTIARO

Ouvrages et rapports ayant contribué à la connaissance de la faune calédonienne

Arrignon J., 1991. Aménagement piscicole des eaux douces (4e édition). Technique et Documentation Lavoisier, Paris. 631p.

Balfour-Browne J., 1939. New and rare species of aquatic Coleoptera from New Caledonia. Dytiscidae and Palpicornia. Ann. Mag. Nat. Hist. Ser. 2-3: 370-376.

Barré N, Desmoulins F, Bachy P et Guhring J. 2005. Avifaune des zones humides de la Province Sud. Nouvelle – Calédonie. SCO. Nouméa.

Barré N. et Bachy P. 2003. Complément à la liste commentée des oiseaux de Nouvelle – Calédonie. Alauda.

Barré, N. & G. Dutson. (2000). "Oiseaux de Nouvelle-Calédonie". Liste commentée. Alauda. Suppl. (68), 48 p.

Bauer A.M. et Sadlier R.A. 1993. Systematic biogeography and conservation of the lizards of New – Caledonia. Biodiversity letters 1: 107-122.

Bauer, A.M. & R.A. Sadlier. (2000). The Herpetofauna of New Caledonia. Society for the Study of Amphibians and Reptiles in cooperation with the Institut de Recherche pour le Développement, 310 p. SSAR, Ithaca, New York.

- Beauchamp, 1968. Turbellariés d'eau douce de Nouvelle-Calédonie. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol., Vol. II n° 1, pp. 67-68.
- Bertrand H., 1968. VI. Larves de coléoptères aquatiques de Nouvelle-Calédonie. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol. II (1), 75-82.
- Catala R., 1950. Etude préliminaire sur les constituants ichtyofaunistiques du cours moyen des rivières néo-calédoniennes, sur l'intérêt alimentaire de certains d'entre eux et sur les modes de pêches s'y rapportant. Octobre. pp.260-267.
- Chartendrault V. et Barré N. 2006. Etude du statut et de la distribution des oiseaux des forêts humides de la Province Sud de Nouvelle – Calédonie. IAC
- Chazeau, J., H. Jourdan, L. Bonnet de Larbogne, J. Konghouleux et T. Potiaroa. (2004). "Recherche des caractéristiques des habitats se trouvant sur les sites retenus pour l'installation des infrastructures minières et industrielles du complexe de Goro Nickel", Convention Goro Nickel/IRD n° 5763.00 du 14/08/2003, Rapport final, 76 p. IRD, Nouméa.
- Clastrier J. & Delécolle J.-C., 1991. Diptera Ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 8. Genre *Forcipomyia*. In : Chazeau J. & Tillier S. (eds) *Zoologia Neocaledonica* 2. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat. (A) 149, 177-231.
- Clastrier J., 1988. Diptères ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 6. Note sur le genre *Dasyhelea*. In : Tillier S. (ed), *Zoologia Neocaledonica* 1. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat. (A) 142, 75-82.
- Clastrier J., 1993. Diptera Ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 10. Genre *Monohela*. In : Matile L., Najt J. & Tillier S. (eds) *Zoologia Neocaledonica* 3. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat. 157, 157-164.
- Desmoulin F. et Barré N. 2004. Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro. IAC
- Ekstrom J.M.M., Jones J.P.G., Willis J., Tobias J., Dutson G. et Barré N. 2002. New information on the distribution, status and conservation of terrestrial birds species in Grande Terre; New Caledonia. *Emu* 102: 197 – 207.
- Johanson K.A. & Mary N., 2000. *Helicopsyche trispina* sp.n. (Insecta, Trichoptera, Helicopsychidae) from New Caledonia. *Aquatic Insects* 23 (4): 315-322.
- Johanson K.A. & Scheffer P.W., 1999. Taxonomic survey of the New Caledonian species of *Helicopsyche* described by H. H. Ross (Trichoptera: Helicopsychidae). *Entomologica Scandinavica* 30: 1-29.
- Johanson K.A. & Ward J.B., 2001. Four new species and a new genus of trichoptera (Helicophidae) from New Caledonia. *New Zealand Journal of Zoology*. Vol. 28: 247-255.
- Johanson K.A., 1999. Seventeen new *Helicopsyche* from New Caledonia (Trichoptera, Helicopsychidae). *Tijdschrift voor entologie* 142: 37-64.
- Johanson K.A., 2002. A new species of the New Caledonian endemic genus *Xanthochorema* Kimmins, 1953 (Insecta: Trichoptera: Hydrobiosidae). *Zootaxa* 42: 1-6.
- Johanson K.A., 2003. Phylogenetic analysis of the genus *Helicophya* Mosely (Trichoptera: Helicophidae), with description of five new species from New Caledonia. *Insect Syst. Evol.* 34: 131-151.
- Johanson K.A., 2003. Revision of the New Caledonian genus *Mecynostomella* (Trichoptera, Kokiriidae). *Zootaxa* 270: 1-24.
- Jouan H., 1861. Note sur quelques espèces de poissons de la Nouvelle-Calédonie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 8 : 241-308
- Jouan H., 1863. Note sur quelques animaux observés à la Nouvelle-Calédonie, pendant les années 1861 et 1862. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 9 : 89-127.
- Jouan H., 1877. Quelques mots sur la faune ichtyologique de la côte Nord-est d'Australie et du détroit de Torrès, comparée à celle de la Nouvelle-Calédonie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 21 : 328-335.
- Kamita T., 1967. Some shrimps and prawns from New Caledonia. *Bull. Osaka Museum Nat. Hist.* 20, 1-10.
- Kawakatsu M., 1969. Report on freshwater and land planarians from New Caledonia. *Bull. Osaka Museum Nat. Hist.* 22, 1-14.

- Keith P., Vigneux E., Marquet G., 2002a. Atlas des poissons et crustacés d'eau douce de la Polynésie française. Patrimoines naturels, (MNHN), 55 :1-175.
- Keith P., Watson R.E., Marquet G., 2000. Découverte d'*Awaous ocellaris* (Broussonet, 1782) (Perciformes, Gobiidae) en Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu et conséquences biogéographiques. *Cybium*, 24(4) : 395-400.
- Keith P., Watson R.E., Marquet G., 2002b. *Stenogobius* (*Insularigobius*) *yateiensis*, une nouvelle espèce de gobie dulçaquicole de Nouvelle-Calédonie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364/187-196.
- Kelley R.W., 1989. New species of micro-caddisflies (Trichoptera : Hydroptilidae) from New Caledonia, Vanuatu and Fiji. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 91 (2), 190-202.
- Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2001a. Rapport intermédiaire sur les crustacés et les poissons d'eau douce de la Province Sud. Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud, 82p.
- Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2001b. Inventaire des crustacés et des poissons d'eau douce de la Province Nord. Direction du Développement Economique de la Province Nord, 88p.
- Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2002. Inventaire des crustacés et des poissons d'eau douce des îles Loyauté. Service Topographie et Environnement, 15p.
- Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2003. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de Nouvelle-Calédonie. Patrimoines Naturels, 58 : 282p.
- Mary N. & Ward J.B., 2001. Descriptions of the larvae and adults of three new species of Triplectides (Trichoptera: Leptoceridae) from New Caledonia. *Aquatic Insects* 23(3): 219-231.
- Mary N., 1999. Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie - Proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Thèse Dr.Univ . française du Pacifique. 181p.
- Mary N., 2000. Guide pratique d'identification des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau. 92p.
- Mary N., Marquet G., Chauvet C., 1997. Early results from trophic relationships between some fish and benthic macroinvertebrates in new caledonian freshwaters. In : ORSTOM, Nouméa, NCL (éd) 5th Indo-Pacific fish conference 03-08 november 1997: abstracts. P. 65.
- McDowall R.M., 1992. Exploring New Caledonia for freshwater fishes. *Freshwater Catch* 49. pp. 21-23.
- Peters W.L. & Peters J.G., 1980. The Leptophlebiidae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part II – Systematics. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* XIII (1-2), 61-82.
- Peters W.L. & Peters J.G., 1981a. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia of New Caledonia (Ephemeroptera). Part III – Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14(3), 233-243.
- Peters W.L. & Peters J.G., 1981b. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia of New Caledonia (Ephemeroptera). Part IV – Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14(3), 245-252.
- Peters W.L. & Peters J.G., 2000. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part VII: Systematics. *Annals. Limnol.* 36 (1): 31-55.
- Peters W.L., 1981. Zoogeography of selected aquatic insects in New Caledonia. *National Geographic Society Research Reports* 13, 493-496.
- Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1978. The Leptophlebiidae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part I – Introduction et systematics. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* 7 (2), 97-117.
- Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1990. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part V: Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23(2): 124-140.
- Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1994. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part VI: Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 27 (2): 97-105.
- Polhemus J.T. & Herring J.L., 1970. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de zoologie de l'Université de Vienne). X. Aquatic and semi-aquatic hemiptera of New Caledonia. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* IV (2), 3-12.
- Pöllabauer C., 1986. Beitrag zur Taxonomie, Biologie und Ökologie mixohaliner polymorpher Neritiden (Archegastropoda, Mollusca). Thèse Dr., Univ. Wien. 184p.

- Pöllabauer C, 1997a. Etude de gestion rationnelle de la faune aquacole, III. Poissons de rivière de Nouvelle-Calédonie. Les espèces d'un intérêt halieutique. Erbio, pour Province Sud NC, Service de l'environnement. 45p.
- Pöllabauer C, 1997b. Conserving the freshwater fish fauna of New Caledonia. In : ORSTOM, Nouméa, NCL (éd) – 5th Indo-Pacific fish conférence 03-08 novembre 1997 : abstracts. P.83.
- Pöllabauer C, 1999a. Le milieu fluviolacustre de 4 rivières dans le sud de la Grande Terre : Kué, Trou Bleu, Wajana et Creek de la Baie Nord. Etude d'impact. Erbio.
- Pöllabauer C, 1999b. Faune ichtyologique et carcinologique de Nouvelle-Calédonie. Rapport final de l'inventaire des cours d'eau de la Province Sud. Erbio, pour la Province Sud NC, Direction des Ressources Naturelles. Juillet. 183p.
- ROBILLARD T., Jourdan H. & Grandcolas P. (eds) - a review of the species' morphology, distribution, behavior and conservation, in Guilbert é.,
- Ross H.H., 1975. A preliminary report on the Helicopsychidae (Trichoptera) of New Caledonia. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol. IX (2), 67-80.
- Roux J., 1926. Crustacés décapodes d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. In : Sarasin F. & Roux J., Nova Caledonia 4 (2), 181-240.
- Rützler K., 1968. Freshwater sponges from New Caledonia. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol. Vol. II, n° 1, pp. 57-66
- SADLIER R. A., SHEA G. M., JOURDAN H., WHITAKER A. H. & BAUER A. M. 2014 — The New Caledonian Leopard Skink *Lacertoides pardalis* (Reptilia: Scincidae);
- Sadlier, R. & G. Shea. (2004). "A survey of the Lizard Fauna of the Proposed Goro Nickel Mine Site", Convention Goro Nickel/AMBS n° 2003013, Final report, 27 p. AMBS, Sydney.
- SNC-Lavalin, 1997. Goro Nickel Project Bankable Feasibility Study Report, Volume 7.
- SNC-Lavalin, 1995. Goro Nickel Project, New Caledonia Environmental Baseline Study Report.
- Spaggiari J. 2005. Inventaire de données ornithologiques disponibles en Nouvelle – Calédonie en vue de l'identification d'un réseau d'Important birds Areas IBA. SCO
- Spaggiari J., Chartendault V. et Barré N. 2007. Zones importantes pour la conservation des oiseaux en Nouvelle – Calédonie. SCO Bird life.
- Suprin B., Agourou G., Létocart Y., Brochot S. Et Gilbert A. 1997. Statut des oiseaux dans la région littorale de Port Boisé. Direction du développement rural. Nouméa.
- Ward J.B. & Mary N.J., 2000. *Xanthochorema paniensis* (Trichoptera, Hydrobiosidae) species from upland New Caledonia. Aquatic Insects 22(1): 71-76.
- Ward J.B. & Scheffer P.W., 2000. A new genus and twenty new species of New Caledonian Ecnomidae (Trichoptera). Records of Canterbury Museum 14: 55-87.
- Watson R.E., 1992. A review of the gobiid fish genus *Awaous* from insular streams of the Pacific Plate. Ichtyol. Explor. Freshwaters 3 (2)/ pp. 161-176.
- Watson R.E., Keith P., Marquet G., 2001. *Sicyopus* (*Smilosicyopus*) *chloe*, a new species of freshwater goby from New Caledonia (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae). Cybium, 25(1): 41-52.
- Watson R.E., Keith P., Marquet G., 2002. *Lentipes kaaea*, a new species of freshwater goby (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae) from New Caledonia. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 364: 173-185.
- Watson R.E., Pöllabauer C., 1998. A new genus and species of freshwater goby from New Caledonia with a complete lateral line – *Senckenbergiana biologica* 77(2). Pp. 147-153.
- Weber M., Beaufort de L.F., 1915. Les poissons d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. In Sarasin F. et J. Roux, Nova Caledonia Zoologie, vol. II, pp 3-41. Kreidels Verlag ed., Wiesbaden
- Wells A., 1995. New Caledonian Hydroptilidae (Trichoptera) with new records, descriptions of larvae and new species. Aquat. Insect 17 (4), 223-239.
- Weninger G., 1968. Etudes hydrobiologique en Nouvelle-Calédonie (mission 1965 du premier institut de zoologie de l'Université de Vienne) : Beiträge zum chemismus der gewässer von Neukaledonien (SW-Pacific). Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol. 11(1) 35-55

Zoologia Neocaledonica 8. Biodiversity studies in New Caledonia. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris : 31-44 (Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle ; 206). ISBN : 978-2-85653-707-7.

Gestion HSQE

Veritas, 2011. Rapport de concentration en fibres d'amiante dans l'air.

Adriaanse, A., 1993. Environmental policy performance indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in The Netherlands, Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. The Hague: 175 p.

Ahrend, R., 2006. How to sustain growth in a resource based economy? The main concepts and theirs applications to the Russian case - Economics Department Working papers n° 478, OCDE. Paris: 33.

Alvarez Campillay, V., 2002. Towards sustainable development indicators for the mining sector (1st Stage). Indicators of Sustainability for the Mineral Extraction Industries. R. Villas Boas, Carajás: 177-244.

AngloAmerican, 2005. Creating enduring value - Report to society 2004, Anglo American. London: 74.

Aquier, A. and J.-P. Gond, 2005. Aux sources de la responsabilité sociale d'entreprise. (Re)lecture et analyse d'un ouvrage fondateur: Social responsibilities of the businessman d'Howard Bowen (1953). Journée Développement Durable. Aix en Provence, AIMS.

AREVA, 2003. Guide méthodologique des indicateurs Développement Durable AREVA. 74.

AREVA, 2005. Faits et chiffres développement durable 2004. Paris: 43.

Arrow, K. J., 1951. Social Choice and Individual Values, Wiley.

Arrow, K. J., A. K. Sen and K. Suzumura, 2002. Handbook of Social Choice and Welfare (Vol 1) Eds. Elsevier.

Artignan, D. and F. Cottard, 2003. Eléments à prendre en compte pour l'évaluation des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), BRGM - Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Economie. Orléans: 46.

Association minière du Canada, 2004. Vers le développement minier durable – Principes directeurs de l'initiative VDMD. 2.

Auty, R. M., 1994. "Industrial policy reform in six newly industrializing countries: the resource curse thesis." World development 22(1).

Auty, R. M., Ed., 2001. Resource Abundance and Economic Development, Oxford University Press. tel-00194445, version 1 - 6 Dec 2007

Azapagic, A., 2004. "Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry." Journal of Cleaner Production 12: pp. 639–662.

Ballet, J. and F. De Bry, 2001. L'entreprise et l'éthique, Editions du Seuil, Paris.

BankTrack, 2006. Equator Principles II : NGO comments on the proposed revision of the Equator Principles. Utrecht, Neth.: 22.

Baudais, V. and E. Sborgi, 2005. "The general elections in Niger , November 2004."

Biodiversité

AMC, Association minière du Canada. 2004. Vers le développement minier durable.

Baudry J, 1988. Approche écologique des paysages. Courrier de l'environnement N° 4. Juin 1988.

Baudry, J, 2002. Les échelles d'espace et de temps en écologie de la restauration. Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie).

- Beauvais M.L., Coléno A., Jourdan H., 2006. Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien. IRD éditions.
- Boulanger, 2004. Les indicateurs du développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. Les séminaires de l'IDDRI, n° 12.
- Cadre réglementaire en vigueur ou en préparation en France contenant la notion de compensation. Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale. B2-05-090
- CAS : Rapports CAS (Centre d'analyse stratégique) FRANCE. 2009. Bernard Chevassus-au-Louis & groupe de travail. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes.
- Chazeau, J. & Bonnet de Larbogne, L. , 1999. The invasion of the little fire ant *Wasmannia auropunctata* in Vanuatu. Report to the Pacific Community., pp. 1-10, IRD, Nouméa
- Chazeau, J., Potiaroa, T., Bonnet de Larbogne, L., Konghouleux, D. & Jourdan, H., 2000. Etude de la "fourmi électrique" *Wasmannia auropunctata* (Roger) en Nouvelle-Calédonie : expressions de l'invasion, moyens d'une maîtrise de la nuisance en milieu agricole, praticabilité d'une préservation des milieux naturels. pp. 1-27, Annex., IRD, Nouméa
- Chevalier L., 1962. L'introduction du Merle des Moluques en Nouvelle- Calédonie. Bulletin de la société d'études mélanésiennes 14 -17.
- Cochereau, P. & Potiaora, T. , 1995. Caféculture et *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera, Formicidae) en Nouvelle-Calédonie, pp. 20, IRD, Nouméa.
- Courchamp F., Bretagnolle V., Chapuis J.L. et Pascal M., 2003. Invasions biologiques et conservation : éradication d'espèces invasives et réactions en chaînes. IFB
- Decamps H., 2004. L'écologie du paysage ou l'ambition paysagère de l'écologie.
- Denhez., 2005. Les pollutions invisibles. Delachaux et Niestlé.
- Entreprises pour l'Environnement. Dires d'experts, 1996. Problèmes d'environnement. Lavoisier Tec et doc.
- Fabres, G. & Brown, W. L., Jr., 1978. The recent introduction of the pest ant *Wasmannia auropunctata* into New Caledonia. J. Aust. Entomol. Soc. 17, 139-142.
- Gargominy O., 2003. Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre-mer. Rapport UICN. Collection Planète Nature.
- Gargominy O., Bouchet, Pascal, Jaffré, Tourneur, 1996. Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. Revue d'Ecologie (La terre et la Vie), 51 : 375-401
- Garine-Wichatitsky, Barré, Blanfort, Brescia, Chazeau, Fogliani, Jaffré, Jourdan, Meyer, Papineau, Tassin, 2005. Altération de la biodiversité terrestre des îles françaises du Pacifique, effets de l'anthropisation et des invasions biologiques. Actes des assises de la recherche française dans le Pacifique. 24-26. Aout 2004. Nouméa. Pp. 89-96.
- Gestion des parcs naturels régionaux. Méthodologie pour la mise en œuvre de couloirs écologiques ou biologiques. www.parcs-naturels-regionaux.fr/upload/doc
- ICMM / UICN. 2006. Good practice guidance for mining and biodiversity.
- ICMM, Framework ICMM pour le développement durable.
- Jaffré, Rigault, Dagostini, 1998b. Impact des feux de brousse sur les maquis ligno-herbacés des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. *Adansonia*, 20(1) : 173-189.
- Jourdan, H. (1997): Threats on Pacific islands : the spread of the tramp ant *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera : Formicidae). *Pacific Conservation Biology* 3, 61-64.
- Jourdan, H. (1999): Dynamique de la biodiversité de quelques écosystèmes terrestres néo-calédoniens sous l'effet de l'invasion de la fourmi peste *Wasmannia auropunctata* (Roger), 1863 (Hymenoptera : Formicidae). Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse
- Lagadic, Caquet, Amiard, Ramade *et col.*, 1998. Utilisation de bio-marqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Ed. Lavoisier Tec&Doc
- Levêque C., 2001. Ecologie de l'écosystème à la biosphère. Dunod.

- Levrel H., 2007. Quels indicateurs pour la biodiversité ? IFB.
- OCDE, 2004. Indicateurs clés d'Environnement.
- Pavé A. 2007. Vers une théorie synthétique de la biodiversité. EDP Sciences.
- Pinna S. Une invasion en Nouvelle – Calédonie : faire face à la fourmi électrique. IRD Nouméa.
- Ramade F., 1999. Le grand massacre. Hachette
- Rio Tinto et la FFI (Fauna § Flora international), 2006. Application de la stratégie de Rio Tinto pour la biodiversité.
- Rio Tinto, 2006. Stratégie de Rio Tinto pour la biodiversité.
- Spaggiari, Chartendrault, Barré, 2007. Zones importantes pour la conservation des oiseaux de Nouvelle – Calédonie. SCO
- Teyssède, 2007. Quel futur pour la biodiversité ? Scénarios et projections à moyen terme. Biosystema.
- Trometter M., Weber J., 2003. Diversité biologique et mondialisation : un défi global, des réponses locales. Revue de politique étrangère n° 2, pages 381-393
- Trometter M., Weber J., 2004. Diversité biologique et mondialisation. Rapport Ramsès 2005. IFRI. PARIS
- Trometter M., Weber J., 2005. Développement durable et changements globaux : le développement durable l'est-il pour longtemps ? 20 p. In. Barbault R. et Chevassus-Au-Louis, B., Changement Global et Biodiversité, Paris, ADPF
- Trometter M., Weber Jacques et Houdet J. 2009. La perception que les entreprises ont de la biodiversité. De la mitigation des impacts à de nouvelles stratégies et pratiques. Cahier de l'école polytechnique.
- Turner, Gardner, O'Neil, 2001. Landscape ecology in theory and practice. Springer.
- UICN, 2003. Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre mer.
- UICN, Kate K, Bishop J., Bayon R., 2000. Biodiversity offsets: views, experience and business case.
- UNEP, 2006. Convention sur la diversité biologique. Indicateurs d'évaluation des progrès accomplis dans la poursuite de l'objectif de 2010 relatif à la diversité biologique.
- UNEP, 2007. Convention sur la diversité biologique. Recommandations de l'instance permanente des nations unies sur les questions autochtones.
- UNEP, 2007. Development of elements of sui generis systems for the protection of traditional knowledge, innovations and practices of identify priority elements
- Weber, J., 2009. Vers un monde responsable ? Prospective Stratégique, N° 35, juin-juillet : 42-49.
- Wilson, 1992. La diversité de la vie, trad. de l'américain, Paris, Ed. Odile Jacob.
- WWF, 2003. Comment rendre compte des avancements dans les sites protégés ?
- WWF, 2005. Synthèse des données sur la biodiversité et les usages des écosystèmes d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. C. Flouhr; N. Mary; P. Keith

Etudes d'impact environnemental

Arrêté du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie n° 2002-1567 du 30 mai 2002 relatif aux études d'impact préalables à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages sur le domaine public maritime de la Nouvelle-Calédonie et des Provinces

Arrêté du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie n° 2002-1569 du 30 mai 2002 relatif aux enquêtes publiques préalables à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages sur le domaine public maritime de la Nouvelle-Calédonie et des Provinces

Australian Government, Department of the Environment and Heritage, Environment Protection and Biodiversity Conservation Act – Administrative guidelines on significance, July 2000

Délibération n° 14/APS du 21 juin 1985 et modifications, relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, Province Sud, Nouvelle-Calédonie.

Directive européenne du Conseil 97/11/CE du 3 mars 1997 modifiant la directive 85/337/CEE sur l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement

European Commission, Guidance on EIA - Scoping, June 2001

France, Circulaire du 9 juin 1994 relative au décret n° 94-484 du 9 juin 1994 modifiant le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977

France, Circulaire n° 93-73 du 27 septembre 1993 prise pour l'application du décret n° 93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques et modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 et l'annexe au décret n° 85-453 du 23 avril 1985

France, Code de l'environnement, Livre V, Titre I relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement

France, Décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 (codifiée dans le Code français de l'environnement) relative aux installations classées pour la protection de l'environnement

France, DRIRE Ile-de-France, Installations classées pour la protection de l'environnement - Guide pour l'élaboration d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter, octobre 2003

France, Secrétariat d'Etat auprès du premier ministre, chargé de l'Environnement, L'étude d'impact des ports de plaisance, 1988, 113 p.

Government of Western Australia, Environmental Protection Authority, Guide to Preparing an Environmental Scoping, Version 1, June 2002

IFC International Finance Corporation, The "Equator Principles" – An industry approach for financial institutions in determining, assessing and managing environmental & social risk in project managing, 4 June 2003

La Réglementation de l'Environnement en Province sud – Province Sud, Nouvelle-Calédonie, 2002, 585 p.

Loi de pays n° 2001-017 du 11 janvier 2002 sur le domaine public maritime de la Nouvelle-Calédonie et des Provinces

Ministère français de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, "L'étude d'impact sur l'environnement",

Ministères de l'Environnement Français et de Polynésie Française, Milieu littoral et récifal intertropical et aménagements – Guide pratique, 1993, 238 p.

World Bank, Potential environmental and social impacts of mining activities, 1998

Evaluation des effets environnementaux

André P. *et al*, 1999. Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, L'évaluation des impacts sur l'environnement, 1999, 416 p.

Canadian Environmental Assessment Agency, Assessing Environmental Effects,

European Commission, Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions, May 1999

France, DIREN Midi-Pyrénées, Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact, novembre 2002

France, Ministère de l'Environnement, L'Evaluation environnementale des plans et programmes de transport, 2001, 89 p.

France, Ministère de l'environnement, L'évaluation environnementale dans les pays francophones. Rencontre des pays et des experts francophones, Paris 7-9 novembre 1995, 141 p.

http://www.ceaa-acee.gc.ca/013/0001/0008/partie2_4_e.htm#1.5, last update: 7 October 2003

Hydro-québec, Guide méthodologique de l'évaluation des effets environnementaux, Montréal, Hydro-Québec, 1990

International Association for Impact Assessment, Principles of Impact Assessment Best Practice, 1999

Madagascar, Ministère de l'environnement, des eaux et forêts, Guide d'évaluation des études d'impacts environnementaux, novembre 2003

PNUE/UNEP, 2002. Environmental Impact Assessment - Training Resource Manual, Second Edition, June 2002

World Bank, 1991. Environmental Assessment Sourcebook and Updates

World Bank, 2002. Biodiversity and Environmental Assessment Toolkit, March 2000