

Rapport

**Version 4.0
20 septembre 2002**

Cartographie hydrogéologique et essais au traceur Aires de stockage des résidus et de morts-terrains de la Kwé Est

Contrat Golder 24659.001

Projet Golder n° 011-1827 (5712)

Document n° B-295

Présenté par :



Golder Associates Pty Ltd
Goro Nickel Project

c/o BTH
Level 8, 201 Charlotte Street
Brisbane, Qld 4064, Australia
Telephone (07) 3115 9420
Fax (07) 3115 9447



Le 20 septembre 2002.

011-1827 (5712)

Bechtel-Technip-Hatch
C/o Goro Nickel Project
201 Charlotte Street
Brisbane Qld 4000

À l'attention de M. John Rattray/Wolf Boczek

Messieurs,

**OBJET: CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE ET ESSAIS AU
TRACEUR - AIRE DE STOCKAGE DES RÉSIDUS ET DE
MORTS-TERRAINS DE LA KWÉ EST**

Nous avons le plaisir de vous faire parvenir la version 4.0 du rapport portant sur la cartographie hydrogéologique et les essais au traceur. Ce document décrit les méthodes et les résultats du travail de terrain qui a débuté en décembre 2001 et des études réalisées en janvier et février 2002.

Les résultats analytiques des échantillons provenant des essais au traceur débutés en décembre 2001 et en février 2002 sont présentés dans le présent rapport avec la cartographie hydrogéologique effectuée dans les aires de stockage des résidus et des morts-terrains.

Au départ, cette étude avait d'abord été définie comme étant strictement un "essai au traceur"; elle a cependant permis de mieux comprendre le système hydrogéologique dans son ensemble et ses conséquences pour la conception des aires de stockage des résidus et de morts terrains.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos meilleures salutations.

GOLDER ASSOCIATES

Ian Smith
Gérant de projet

SOMMAIRE

Un programme de travail couvrant la cartographie hydrogéologique, des essais au traceur (avec du bromure de potassium comme traceur), la collecte et l'analyse de données sur les niveaux d'eau a été réalisé de décembre 2001 à février 2002.

La cartographie hydrogéologique des bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'aire de stockage est des résidus épaissis et de quatre bassins versants adjacents a été effectuée en saison sèche et en saison des pluies en décembre 2001 et en janvier-février 2002. Les données acquises ont servi à mieux comprendre le volume et la présence des eaux de ruissellement, de l'aquifère profond et de l'aquifère superficiel et de leurs apports à l'écoulement dans ces bassins versants.

D'après la cartographie hydrogéologique, une connexion de la nappe phréatique par la roche fracturée est interprétée entre le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains et le bassin de l'ancienne mine. La cartographie hydrogéologique ne prouve pas cependant qu'il y ait une connexion de même nature entre l'aire de stockage est des morts-terrains et les autres bassins, y compris celui de la Wajana.

La cartographie a mis en évidence la présence de bassins versants topographiquement fermés qui étaient insoupçonnés à ce jour et qui sont régis par des infiltrations au travers des dolines. Par exemple, un nouveau bassin fermé a été cartographié dans l'aire de stockage est des résidus épaissis (c'est à dire dans la partie supérieure du bassin versant de la Kwé Est). On peut supposer qu'il reste d'autres bassins versants fermés à découvrir.

Les résultats des essais au traceur ont fourni des données intéressantes, à partir desquelles on a pu faire une estimation de la conductivité hydraulique des systèmes de fractures profondes. Les informations dont nous disposons indiquent une très grande conductivité hydraulique (plus de 10^{-3} m/s) au sein du système de fractures profondes dans l'aire de stockage est des morts-terrains et dans l'aire de stockage est des résidus épaissis. Les concentrations en traceur détectées dans les puits des vallées en aval des points d'injection du traceur (les 14 décembre et 5 février), tant pour l'aire de stockage est des résidus épaissis que pour l'aire de stockage est des morts-terrains, ont confirmé la présence d'écoulement rapide le long de l'axe des vallées, là où les failles dans la nappe aquifère profonde sont interprétées.

Les résultats des essais au traceur n'ont pas formellement démontré une connexion par les systèmes de fractures entre l'aire de stockage est des morts-terrains et les bassins versants avoisinants. Il est possible que la dilution du traceur sous la limite de détection soit la cause de ce résultat.

Par ailleurs, les résultats des essais au traceur suggèrent la présence d'une connexion par le système de fractures entre l'aire de stockage est des résidus épaissis et le bassin adjacent de l'aire de stockage est des morts-terrains. Les résultats des essais au traceur pour l'aire de

stockage est des résidus épaissis n'ont pas formellement démontré l'existence d'une connexion par les systèmes de fracture avec l'un ou l'autre des autres bassins avoisinants. Cependant, nos calculs indiquent que ce résultat peut avoir pour cause la dilution du traceur sous la limite de détection.

Vus dans leur ensemble, les résultats des tests au traceur indiquent :

- qu'un écoulement rapide peut exister entre les bassins versants fermés, là où des connexions existent;
- cependant, la dilution qui interviendra le long du trajet de l'écoulement des nappes souterraines en réduira l'effet en aval.

L'ensemble des résultats de cartographie et des essais au traceur nous amène à conclure qu'il existe un système de fractures reliant l'aire de stockage est des morts-terrains avec le bassin de l'ancienne mine. Nous concluons également qu'il existe un système de fissures reliant l'aire de stockage est des résidus épaissis à celle des morts-terrains.

TABLE DES MATIERES

<u>SECTION</u>	<u>PAGE</u>
SOMMAIRE	i
1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte	1
1.2 Objectifs de l'étude.....	2
1.3 Données disponibles.....	3
1.4 Limitations	4
2.0 MODÈLE GÉOLOGIQUE CONCEPTUEL.....	4
2.1 Géologie du site	4
2.2 Structures géologiques et dolines	5
2.3 Systèmes aquifères	6
2.4 Mécanismes de recharge et résurgences	8
2.5 Vitesse d'écoulement des eaux souterraines	8
3.0 ÉTUDES DE TERRAIN	9
3.1 Cartographie hydrogéologique	9
3.2 Conception et mise en œuvre des essais au traceur.....	10
3.2.1 Équipement de terrain et choix du traceur	10
3.2.2 Analyse des concentrations en traceur	11
3.2.3 Lieux et calendrier de réalisation des essais au traceur.....	11
4.0 RÉSULTATS	14
4.1 Cartographie hydrogéologique	14
4.1.1 Structures géologiques et piézométrie	14
4.1.2 Cartographie des débits d'écoulement, des sources et relevé géologique.....	15
4.1.3 Profils physico-chimiques de l'eau des ruisseaux.....	17
4.2 Essais au traceur	21
4.2.1 Injection du traceur en décembre 2001 (saison sèche).....	21
4.2.2 Injection du traceur en février 2002 (saison des pluies)	21
5.0 DISCUSSION	22
5.1 Évaluation de la conductivité hydraulique des zones de failles	22
5.2 Évaluation de la dilution du traceur	23
5.2.1 Injection du traceur le 14 décembre	23
5.2.2 Injection du traceur le 5 février	23
5.3 Explications des résultats d'analyse.....	24
5.3.1 Injection de traceur de décembre 2001 (saison sèche).....	24
5.3.2 Injection de traceur de février 2002 (saison des pluies)	25
6.0 CONCLUSIONS.....	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Plan du site
Figure 2	Géologie du site
Figure 3	Carte hydrogéologique (janvier 2002)
Figure 4	Sources et profils physico-chimiques (saison sèche)
Figure 5	Sources et profils physico-chimiques (saison des pluies)
Figure 6	Emplacements d'injection de traceur et des stations d'échantillonnage (saison sèche)
Figure 7	Emplacements d'injection de traceur et des stations d'échantillonnage (saison des pluies)

LISTE DES TABLES

Tableau 1	Plages des valeurs caractéristiques de conductivité hydraulique
Tableau 2	Plages des vitesses caractéristiques d'écoulement des eaux souterraines
Tableau 3	Profils physico-chimiques des ruisseaux (saison sèche)
Tableau 4	Profils physico-chimiques des ruisseaux (saison des pluies)
Tableau 5	Valeurs interprétées de la conductivité hydraulique des zones de faille

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Photos des essais au traceur
Annexe B	Résultats d'analyse du bromure - Spectrophotomètre sur le terrain et résultats du laboratoire ALS
Annexe C	Fiche signalétique du bromure de potassium
Annexe D	Certificats d'analyse - Laboratoire ALS
Annexe E	Schémas d'installation des piézomètres (piézomètres TBH032, TBH042 et TBH066)

1.0 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Goro Nickel S.A. (GNi) envisage d'exploiter un gisement latéritique de cobalt et de nickel qui se situe sur le plateau de Goro dans la province sud en Nouvelle-Calédonie, dans le Pacifique Sud. GNi prévoit une exploitation à ciel ouvert dotée d'infrastructures dont un réservoir d'eau douce, une usine de préparation du minerai, une usine de traitement du minerai, une usine pour les résidus épaissis, un port et un campement permanent. Il y aura également des aires de stockage des résidus, c'est à dire des aires pour les morts-terrains et pour les résidus miniers épaissis. Deux zones seront mises en œuvre au départ (c'est-à-dire pendant la période de développement initiale de la mine) pour entreposer les morts-terrains et les résidus épaissis. Elles se situent au sud-est de la mine à ciel ouvert comme l'indique la figure 1. Ces zones sont dénommées: aire de stockage est des morts-terrains et aire de stockage est des résidus épaissis.

Les investigations géotechniques et la cartographie géologique effectués sur le site par Golder Associates (Golder) depuis septembre 2001 ainsi que l'analyse des données hydrologiques disponibles pour les rivières Kwé ont indiqué la présence de connexions hydrauliques importantes entre des bassins versants fermés topographiquement. Ces connexions hydrauliques correspondent à des écoulements d'eaux souterraines qui semblent contrôlés par des structures géologiques dans la partie supérieure du roc et il est possible qu'elles soient associées à des dolines qui constituent l'expression topographique des structures géologiques présentes autour de la mine. Ces structures sont dites « pseudo-karstiques » et elles pourraient favoriser des écoulements souterrains préférentiels par des fractures ouvertes importantes.

Les écoulements d'eaux souterraines contrôlés par ces structures sont observés au site et ces écoulements sont généralement décrits comme « rivières souterraines » en raison de leur très fort débit (localement). Dans certains cas, on a noté que des ruisseaux avec un débit allant jusqu'à 100 L/s coulaient vers les dolines et s'y infiltraient. Un tel comportement a été noté en janvier 2002 aux bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'ancienne mine. La figure 1 indique l'emplacement de ces bassins versants. À ces emplacements, aucune eau stagnante n'a été notée autour des dolines, car les ruissellements sont dirigés immédiatement vers les « rivières souterraines ». Pour les deux bassins, aucune eau ne s'échappe par les ruissellements de surface et leur superficie est d'environ 1 km² pour l'aire de stockage est des morts-terrains et de 2 km² pour le bassin versant de l'ancienne mine.

Ces observations ont donné à penser que ces conditions hydrogéologiques pourraient favoriser le transport des matières dissoutes et des solides en suspension depuis l'aire de stockage est des morts-terrains et l'aire de stockage est des résidus épaissis jusqu'aux bassins versants adjacents, lorsque la mine sera en exploitation. Une cartographie hydrogéologique et des essais au traceur ont donc été mis de l'avant pour étudier les connexions souterraines

possibles entre le bassin de l'aire de stockage est des morts-terrains ou celui de l'aire de stockage est des résidus épaissis et les bassins adjacents.

1.2 Objectifs de l'étude

Les services de Golder ont été retenus pour effectuer des essais au traceur (dans les eaux souterraines) concernant particulièrement la partie est de la mine, et surtout les bassins versants de l'aire de stockage est des résidus épaissis, de l'aire de stockage est des morts-terrains et les bassins versants adjacents. Cette étude au traceur comprend la cartographie hydrologique et le suivi des sept bassins versants qui sont indiqués sur la figure 1:

- le bassin versant de l'aire de stockage est des résidus épaissis;
- le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains;
- le bassin versant de la rivière Kwé Est;
- la partie aval du bassin versant de Wajana;
- la partie nord du bassin versant de l'ancienne mine;
- la partie nord du bassin versant de la rivière Tou ; et
- le bassin versant de la rivière située au sud de la Crête Sud.

L'étude au traceur comprenait l'injection et le suivi du traceur dans les eaux souterraines, ainsi que la cartographie hydrogéologique des bassins versants de l'aire de stockage est des résidus épaissis et de l'aire de stockage est des morts-terrains. L'étude se composait de:

- la cartographie de la stratigraphie le long des ruisseaux;
- la cartographie des résurgences de la nappe souterraine (sources) et des dolines dans les bassins versants;
- l'étude des débits de ruisseaux dans les bassins versants;
- l'enregistrement des paramètres physico-chimiques de l'eau des ruisseaux;
- le choix des emplacements pour l'injection du traceur d'après les conditions observées sur le terrain;
- le choix des stations d'échantillonnage automatique et manuel d'après les conditions observées sur le terrain;

- la préparation et l'injection de la solution de traçage; et
- l'analyse chimique des échantillons recueillis.

En plus de la présentation factuelle des résultats, les objectifs de l'étude comprennent également l'interprétation hydrogéologique des données.

Cette interprétation comprend:

- l'évaluation de la conductivité hydraulique du pseudo-karst et des zones de fractures;
- l'évaluation des connexions souterraines entre bassins versants;
- l'évaluation des vitesses des écoulements souterrains potentiels;
- l'estimation de la part du débit de base des eaux souterraines et du débit des eaux de ruissellement dans le débit des ruisseaux; et
- l'évaluation de l'effet du débit des eaux souterraines provenant de l'aquifère superficiel éphémère sur le débit des ruisseaux.

1.3 Données disponibles

En dehors des données acquises lors des essais au traceur, cette étude s'appuie sur des données provenant de plusieurs sources.

Ces sources de données sont :

- la stratigraphie, les détails de construction des piézomètres provenant de journaux de sondage et des données sur le niveau des nappes souterraines (Inco 2002, Inco 2000a, Inco 2000b, Inco 2001a, Inco 2001b, Inco 1998);
- la stratigraphie, les détails de construction des piézomètres provenant de journaux de sondage, des données sur le niveau des nappes souterraines et la cartographie géologique sur site (Golder 2001a, Golder 2001b, Golder 2002a et Golder 2002b et relevés piézométriques de Golder);
- des rapports hydrogéologiques (SNC 1997, SNC 1996, GHB 1988)
- des rapports sur la géologie régionale de Nouvelle-Calédonie (BRGM 1971); et
- et des photos aériennes.

1.4 Limitations

Pour l'élaboration de ce rapport, Golder s'est appuyé de bonne foi sur les informations mentionnées ci-dessus et qui sont censées être fiables. Nous avons pris comme hypothèse que les données obtenues par d'autres que Golder ont été recueillies selon les méthodes normalement appliquées par des spécialistes avertis lors d'investigations et de relevés de même nature. Golder n'accepte aucune responsabilité pour la qualité des données qui n'ont pas été recueillies par ses soins.

Il est aussi bon de comprendre que les milieux géologiques ne sont pas homogènes. L'interprétation de Golder des conditions souterraines réelles représente un avis éclairé et les données ont été interprétées selon les méthodes généralement appliquées lors d'études comparables. Si de nouvelles informations venaient à être connues, Golder devrait en être averti afin de pouvoir revoir ses conclusions.

2.0 MODÈLE GÉOLOGIQUE CONCEPTUEL

2.1 Géologie du site

La géologie du secteur du projet est montrée sur la figure 2. La géologie et les structures géologiques présentées sur cette figure s'appuient sur l'interprétation du BRGM des caractéristiques de la région. La figure 3 présente une interprétation plus détaillée des structures géologiques du site qui est issue de la cartographie effectuée par Golder et que nous estimons plus fidèle aux structures réelles du site.

Selon notre interprétation, une roche-mère de péridotite est présente sous l'ensemble du site. La péridotite est une roche intrusive ultramafique. Toutes les unités stratigraphiques qui recouvrent la roche-mère résultent de l'altération de la péridotite. D'un point de vue technique et pour que la description des unités stratigraphiques sur tout le site soit homogène, il convient de diviser le profil latéritique en unités spécifiques selon la nomenclature suivante:

Ferricrete (cuirasse de fer):	fragments de la taille des blocs et des cailloux, composés de croûte altérée riche en fer et comprenant des vides (semblable aux scories)
Gravier argileux (grenaille de fer):	gravier ferrugineux (pisolithique) sableux à argileux.
Limonite rouge/jaune:	silt argileux rouge à jaune à argile silteuse avec des traces de sable et de gravier localement
Zone de transition:	silt argileux rouge à jaune à argile silteuse avec des traces de sable et de gravier localement et des structures reliques de la roche mère
Saprolite:	blocs de péridotite dans une matrice de silt argileux.

Roche-mère : péridotite peu altérée ou non-altérée

Les différentes régions géomorphologiques du secteur du projet sont caractérisées par différentes des unités géologiques:

Plateaux

En raison de leur faible taux d'érosion et du fait que l'altération chimique de la roche-mère de péridotite se passe sur une longue durée, les zones de plateaux présentent généralement toutes les couches stratigraphiques décrites plus haut.

Crêtes

À l'inverse, les zones de crête présentent un profil d'altération peu développé. La roche-mère ou la saprolite sont généralement exposés en surface. Certaines zones sont protégées du processus d'érosion et présentent d'étroites bandes de cuirasse de fer, de gravier argileux et de limonite.

Colluvion et limonite sédimentaire

En dehors de la latérite résiduelle des zones de plateaux, on trouve également des zones de limonite (sédimentaire) et de colluvions entraînés (comprenant des dépôts de cuirasse de fer dont la taille varie de celle de sable à celle de blocs et matériaux détritiques de roche-mère et de limonite remaniés et re-dépôts). Ces derniers se trouvent surtout sur les pentes inférieures du piedmont des crêtes limitrophes prononcées. Ces accumulations colluviales sont souvent localement ferrugineuses et re-cimentées et sont généralement associées à des accumulations importantes de gravier arrondi ferrugineux (pisolithique). Dans ces régions, la stratigraphie a souvent tendance à être plus complexe que celle des zones de plateaux ou de crêtes, à cause de la possibilité de dépôts successifs liés aux colluvions et à la limonite sédimentaire.

2.2 Structures géologiques et dolines

La figure 3 indique l'interprétation hydrogéologique du site la plus récente. Elle montre l'interprétation actuelle des structures géologiques du site (failles et/ou diaclases) ainsi que la répartition des dolines cartographiées dans la zone étudiée. Les failles sont interprétées à partir de photos aériennes et de la cartographie sur le terrain. Les évidences de ces failles se caractérisent par des dépressions observées sur la surface topographique (soit sur le terrain, soit sur photos aériennes), des alignements de dolines, l'expression des failles sur des affleurements de roche-mère ou par ces trois indicateurs à la fois.

Selon notre interprétation, les dolines de la figure 3 sont associées à des discontinuités de la roche-mère sous-jacente. Cependant ces dolines ne peuvent pas toujours servir à interpréter la

longueur et la direction des discontinuités quand elles sont isolées et qu'elles ne se rapportent pas de façon nette à d'autres dolines ou à d'autres failles.

Les courbes isopièzes des eaux souterraines de l'aquifère profond sont également indiquées sur la figure 3. Les données actuelles confirment que la région du Plateau de Goro est une zone de niveaux piézométriques élevés, dont l'écoulement va du plateau vers les vallées avoisinantes de la Kwé Nord et de la Kwé Est. Les données provenant des piézomètres installés le long de la Crête Sud indiquent des niveaux piézométriques élevés. Cependant, le nombre de piézomètres ne suffit pas à déterminer si ces niveaux élevés existent tout le long de la crête ou non, ou si les failles créent des dépressions importantes dans les niveaux piézométriques.

Dans le secteur de la mine, la masse rocheuse est recoupée par des structures primaires qui caractérisent la plus grande partie de l'île. Une famille de structures nord-ouest/sud-est fortement développée (d'azimut 110° à 130° environ) est évidente, avec des structures transversales orthogonales très développées de direction nord-est/sud-ouest (d'azimut 040° à 060° environ).

Les failles cartographiées sur le site semblent se limiter à des linéaments sans qu'il y ait indication de rejet horizontaux. Là où certains rejets peuvent apparaître, ils n'indiquent qu'un mouvement vertical simple. Il a donc été interprété que les caractéristiques principales sont celles d'une série de structures horst et graben. Cependant, l'altération de la roche rend difficile la localisation précise des structures. On considère en général que ces structures géologiques régionales se caractérisent, à l'échelle de l'affleurement, par des zones de forte serpentisation associée à du cisaillement. On estime aussi qu'un développement latéritique plus épais et localisé indique les emplacements associés aux structures principales.

2.3 Systèmes aquifères

D'après la stratigraphie décrite plus haut, deux aquifères ont été identifiés dans le secteur de la mine: l'aquifère superficiel constitué par la cuirasse de fer et la grenaille de fer et l'aquifère profond constitué par la saprolite et la roche-mère.

L'aquifère superficiel est un aquifère éphémère dont la conductivité hydraulique et le débit peuvent être très élevés après de fortes pluies. Il réagit directement à la pluie en acceptant facilement les infiltrations d'eaux de pluie et en entraînant l'eau latéralement à de faibles profondeurs pour se déverser dans les points topographiques bas, comme les cours d'eau présents localement. La direction de l'écoulement dans cet aquifère superficiel est semblable à celui des ruissellements de surface, ce qui correspond à la pente du terrain.

L'aquifère profond correspond à la zone de contact entre la saprolite et la partie supérieure du socle rocheux (roche-mère). Les directions d'écoulement des eaux souterraines dans cet aquifère ne correspondent pas nécessairement à celles de l'aquifère superficiel et elles sont

régies localement par des structures géologiques (failles) qui peuvent se transformer en système pseudo-karstique. Généralement, l'aquifère profond est confiné ou partiellement confiné par l'unité de limonite qui sépare les deux aquifères. Des vides notés localement dans la limonite favorisent les écoulements préférentiels dans la limonite. On ne peut cependant pas dire avec certitude si ces structures s'étendent sur de longues distances ou dans quelle mesure elles facilitent la connexion entre les deux aquifères. Elles semblent associées aux discontinuités sous-jacentes dans la roche-mère, là où il y a un fort débit des eaux souterraines qui cause la migration des vides dans la limonite.

Lorsqu'un pseudo-karst se forme dans l'aquifère profond, on suppose qu'il crée des passages permettant les écoulements d'eaux souterraines depuis des bassins versants fermés topographiquement vers des bassins adjacents en passant sous les crêtes. La conductivité hydraulique du pseudo-karst dans l'aquifère profond est beaucoup plus forte que celle de la zone saprolite/roche-mère supérieure. En fait, il existe probablement une gradation des conductivités hydrauliques entre la roche-mère non fracturée, la zone saprolite/roche-mère supérieure, les zones de failles et le pseudo-karst. Selon notre interprétation actuelle, les pseudo-karsts évoluent graduellement grâce à l'écoulement préférentiel des eaux souterraines au travers des zones de failles, qui deviennent plus perméables au fil du temps et causent l'affaissement du terrain et la formation de dolines.

Le tableau 1 résume les plages de valeurs caractéristiques de conductivité hydraulique associées aux différentes unités stratigraphiques. (Golder 2001a).

Tableau 1: Plages de valeurs caractéristiques de conductivité hydraulique

Unité stratigraphique	Conductivité hydraulique
Cuirasse de fer	Élevée localement
Gravier argileux (grenaille de fer)	Modérée (6×10^{-7} m/s)
Limonite	Très basse (6×10^{-10} m/s)
Saprolite	Modérée (3×10^{-7} à 5×10^{-6} m/s)
Saprolite / roche-mère	Modérée (3×10^{-7} à 6×10^{-6} m/s)
Saprolite / roche-mère (zones de failles et pseudo-karst)	Élevée (supérieure à 10^{-4} m/s)
Roche-mère non altérée (en profondeur)	Modérée à faible (10^{-8} m/s)

2.4 Mécanismes de recharge et résurgences

D'après les données disponibles, la recharge de l'aquifère profond semble provenir de l'infiltration d'eaux de pluie, principalement dans les régions de plateaux, là où les ruissellements ne sont pas aussi marqués que sur les flancs de collines le long des vallées et des crêtes. L'infiltration des eaux de surface par les dolines et les lacs semble aussi participer de façon notable à la recharge de l'aquifère profond.

La recharge est saisonnière et déclenche une réaction rapide dans l'aquifère superficiel. La réaction de recharge de l'aquifère profond est différée cependant, à l'exception des failles et de la zone de pseudo-karst qui transportent directement l'eau de ruissellement vers le système aquifère profond.

Il semble que la recharge soit plus faible sur les crêtes quand la roche-mère est présente en surface, parce que la topographie de la crête augmente les ruissellements et aussi parce que la roche-mère non fracturée en surface ne favorise pas les infiltrations d'eaux de pluie. Il existe des points de résurgence de l'aquifère (c'est à dire des sources) le long des ruisseaux et des rivières. Au cours des travaux de cartographie hydrogéologique, plusieurs sources ont été notées tel que mentionné dans les sections 3 et 4. Nos données démontrent que l'emplacement et le débit de ces sources varient dans le temps. Durant la saison sèche, elles ont tendance à se trouver à des altitudes moindres et avec des débits plus faibles, alors que pendant la saison des pluies, on les trouve à des altitudes plus élevées et avec des débits plus forts.

2.5 Vitesse d'écoulement des eaux souterraines

L'estimation des vitesses d'écoulement des eaux souterraines s'appuie sur l'interprétation des valeurs de conductivité et des gradients hydrauliques. Les estimations indiquent que les vitesses d'écoulement dans les zones de failles pourraient être très élevées (Golder 2001a). À noter que, même si l'aquifère superficiel peut connaître des vitesses d'écoulement supérieures à celles de l'aquifère profond, il s'agit d'un aquifère éphémère et donc l'éventualité du transport des eaux souterraines et des matières dissoutes par l'aquifère superficiel est limitée, du moins dans le temps.

En ce qui concerne l'aquifère profond, on identifie trois types d'écoulement, à savoir écoulement par la matrice (roche-mère essentiellement non-fracturée et non-altérée), écoulement dans les fractures (roche-mère fracturée) et écoulement rapide de type « conduit ouvert » (faille/pseudo-karst). Pour chaque type d'aquifère, les vitesses estimées d'écoulement des eaux souterraines correspondent à un accroissement de la conductivité hydraulique interprétée. Elles sont reprises dans le tableau 2.

Tableau 2: Plages des vitesses caractéristiques d'écoulement des eaux souterraines¹

Aquifère	Estimation des vitesses d'écoulement des eaux souterraines (m/an)
Aquifère superficiel	Probablement plus élevée que l'aquifère profond (failles/pseudo-karst) (pas de données disponibles sur les gradients hydrauliques et les conductivités hydrauliques)
Aquifère profond – écoulement par la matrice (milieu non fracturé non-altéré)	1 à 20
Aquifère profond – écoulement dans les fractures (milieu moyen fracturé)	4 à 2000
Aquifère profond – écoulement rapide (zones de failles et de pseudo-karst)	Supérieures à 30 000

3.0 ÉTUDES DE TERRAIN

3.1 Cartographie hydrogéologique

La cartographie hydrogéologique comprenait des observations stratigraphiques le long des ruisseaux, la cartographie des dolines, le levé des emplacements des sources, le débit et la direction d'écoulement des sources, l'examen du débit des ruisseaux et le relevé de profils physico-chimiques de l'eau le long des ruisseaux.

Cette cartographie fut effectuée à deux reprises: une fois en saison sèche (décembre 2001) et une fois en saison des pluies (janvier-février 2002). Elle couvrait les bassins versants de l'aire de stockage est des résidus épaissis et de l'aire de stockage est des morts-terrains, la partie aval du bassin de la Wajana, la partie nord du bassin de l'ancienne mine, la partie nord du bassin de la rivière Tou et le bassin de la rivière au sud de la Crête Sud (nommée rivière "South Ridge" sur les figures 4 et 5).

La cartographie a été effectuée à l'aide d'un système de navigation globale GPS qui permet une localisation en plan des points étudiés selon le système de coordonnées UTM de Nouvelle-Calédonie². La précision horizontale du système GPS est de ± 10 m. La stratigraphie a été déterminée visuellement le long des rives de ruisseaux lorsqu'elle était visible, toutes les dolines observées et toutes les sources importantes ont été repérées avec le

¹ Ces vitesses d'écoulement sont établies sur la base de gradients hydrauliques interprétés de 0,02 à 0,10 et sur une porosité du milieu géologique estimée de 1 à 5%.

² UTM zone 58 projection. Datum IGN 72

système GPS, et les débits des sources ainsi que ceux des ruisseaux où un écoulement existait ont aussi été estimés visuellement.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau le long des ruisseaux ont été notés dans la mesure du possible. L'appareil de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau utilisé sur le terrain a permis de mesurer l'oxygène dissous (OD), le potentiel redox (Eh), le pH, la salinité, la conductivité électrique, la température et la turbidité. L'appareil utilisé était un Yeo-Kal, modèle 611, calibré en laboratoire par le fournisseur avant expédition. Les mesures ont été prises le long des ruisseaux cartographiés en plaçant la sonde dans l'eau du ruisseau pendant quelques secondes et en notant les paramètres physico-chimiques. Les emplacements de mesure de la qualité des eaux sont indiqués sur les figures 4 et 5.

Dès la fin des travaux de cartographie en saison sèche (ou en saison des pluies), les emplacements d'injection de traceur et des stations d'échantillonnage ont été choisis pour la réalisation des essais au traceur.

3.2 Conception et mise en œuvre des essais au traceur

3.2.1 Équipement de terrain et choix du traceur

Pour les essais au traceur des eaux souterraines à Goro, nous avons choisi le bromure de potassium (KBr) en raison de sa sécurité d'emploi, de sa grande disponibilité auprès de fournisseurs de produits chimiques et de sa facilité de mélange sur le terrain à Goro. De plus, son analyse en laboratoire n'est pas très onéreuse. N'étant pas considéré matière dangereuse, le bromure de potassium était facile à transporter sur le site, ce qui a permis à Golder de le mettre en œuvre rapidement. La fiche signalétique du bromure de potassium se trouve à l'annexe C.

Nous avons emporté deux sacs de 25 kg de bromure de potassium depuis l'Australie jusqu'au site, ainsi que deux échantillonneurs automatiques, un spectrophotomètre et les réactifs chimiques nécessaires à l'analyse du bromure sur place.

Les échantillonneurs automatiques du modèle 900 d'American Sigma étaient équipés d'un tube d'aspiration, d'une pompe péristaltique électrique, d'un bloc-piles, d'un porte-flacons et d'un tube d'échantillonnage rotatif (permettant le prélèvement de 24 échantillons maximum) ainsi que d'une minuterie pour programmer la purge automatique du tube d'aspiration et la collecte des échantillons à des intervalles de temps variables. Le programme comprenait la purge initiale du tube d'aspiration placé dans le ruisseau ou dans la source et le prélèvement d'un volume d'eau adéquat (environ 400 ml par échantillon). Les échantillons recueillis furent conservés à leur température d'origine d'environ 22°C sans ajout d'agent de préservation dans les flacons d'échantillons.

Le spectrophotomètre apporté sur le site était un Spectronic, modèle Helios Epsilon, équipé d'une lampe fournissant un tracé lumineux d'au moins 2 cm et d'un filtre orange avec un facteur de transmission de 590 nm. Les réactifs apportés pour les analyses du bromure comprenaient une solution tampon d'acétate, un réactif de rouge de phénol, une solution de chloramine-T, du thiosulfate de sodium et des solutions (standards) de bromure.

Les photos de l'annexe A montrent l'équipement utilisé sur le terrain et les échantillonneurs automatiques installés à deux des stations d'échantillonnage.

3.2.2 Analyse des concentrations en traceur

L'analyse des échantillons d'eau fut effectuée sur place pour un premier jeu d'échantillons et en laboratoire pour un deuxième jeu. Les analyses sur place furent effectuées avec un spectrophotomètre selon la méthode colorimétrique au rouge de phénol (American Public Health Association, 1995) dont le seuil de détection est de 0,1 mg/L. Les analyses en laboratoire ont été effectuées par Australian Laboratory Services (ALS) à Brisbane, selon la méthode ICP MS dont le seuil de détection est de 0,1 mg/L.

Les analyses effectuées sur place avec le spectrophotomètre ont sans doute été perturbées par le faible pH ou par la présence d'autres sels dissous dans les échantillons (y compris bicarbonate et chlorure), qui ont interféré avec la méthode colorimétrique. Les données provenant des analyses effectuées sur place étaient donc peu fiables pour les faibles concentrations qui ont été détectées dans la majorité des échantillons recueillis. En conséquence, des vérifications en laboratoire par la méthode ICP MS ont été effectuées par ALS afin de confirmer les résultats obtenus sur place.

3.2.3 Lieux et calendrier de réalisation des essais au traceur

Dès la fin des travaux de cartographie hydrogéologique, les emplacements pour les injections de traceur ont été choisis ainsi que ceux des stations d'échantillonnage de l'eau. Ceci a été effectué à deux reprises: une fois pendant la saison sèche en décembre 2001 et une fois pendant la saison des pluies en janvier-février 2002.

Essais de décembre 2001 (saison sèche)

Pour le premier essai au traceur, la solution de bromure a été versée à l'emplacement GA-I1 dans l'aire de stockage est des morts-terrains (voir la figure 6) aux coordonnées suivantes: 705 138 mE, 7 532 571 mN. Ce traceur a été déversé le 14 décembre 2001 à 13h30, à l'endroit où l'eau du ruisseau de l'aire de stockage est des morts-terrains s'infiltrait dans le lit de la rivière. À cet endroit, tout l'écoulement disparaissait et la partie du ruisseau en aval était tarie. Aucune eau du ruisseau ne coulait donc vers la doline cartographiée à la partie aval du bassin.

Le traceur injecté se composait de 25 kg de sel de bromure de potassium (KBr) dissous dans 70 litres d'eau recueillis dans le ruisseau dans lequel le traceur devait être injecté. Après avoir été dissous par agitation en quatre lots de 15 à 20 litres chacun, le sel fut versé dans le ruisseau là où l'eau du ruisseau s'infiltrait dans le lit de la rivière. La concentration de bromure dans le traceur était évaluée à environ 250 000 mg/L.

Il existait à ce moment-là un autre emplacement qui aurait pu servir de lieu d'injection (pour un deuxième test), à savoir une doline située dans l'aire de stockage est des résidus épaissis. Cependant, en décembre 2001, toute cette zone (y compris la doline) était complètement à sec. Ce deuxième test fut donc remis à plus tard, en attendant la reprise de l'écoulement de surface dans cette zone.

Les échantillonneurs automatiques avaient été déjà installés à des endroits pré-sélectionnés et programmés pour recueillir des échantillons à intervalles pré-déterminés, avant et juste après l'injection du traceur dans l'eau. La figure 6 montre les emplacements des échantillonneurs automatiques TT-SW1 et TT-SW2. Ces emplacements furent choisis en priorité parce que:

- TT-SW1 se situe sur le seul ruisseau (proche du bassin où le traceur avait été injecté) qui coulait dans la rivière Wajana à la saison sèche (nous avons compris que la protection de la qualité de l'eau est une des priorités majeures du projet Goro);
- TT-SW2 se situe sur la seule source produisant de l'eau à proximité du point d'injection du traceur.

Des emplacements pour quatre autres stations d'échantillonnage marquées TT-SW-3 à 6 et un piézomètre (TBH042) furent sélectionnés pour les prélèvements manuels (voir la figure 6). Les échantillons provenant du puits TBH042 ont été recueillis avec une écope dédiée. Il est à noter que tous les lieux de prélèvements se trouvaient à des altitudes inférieures à celle de l'injection du traceur.

La fréquence de prélèvement des échantillonneurs automatiques avait été établie à une à deux heures pour le premier jour, à quatre heures pour le deuxième jour puis toutes les 24 heures. Des échantillons sont manquants pour la station d'échantillonnage TT-SW2 pendant la période couvrant Noël, à cause d'une baisse du niveau d'eau à l'emplacement du tube d'aspiration. L'échantillonneur fut re-programmé et re-placé le 19 janvier, après la reprise du suivi des stations automatiques d'échantillonnage par le personnel sur le terrain.

Les échantillons manuels furent recueillis tous les jours entre le 14 et le 19 décembre 2001 et tous les trois à cinq jours après les vacances de Noël.

Essais de février 2002 (saison des pluies)

Pour le deuxième essai au traceur, la solution de bromure fut injectée à l'emplacement GA-12 dans l'aire de stockage est des résidus épaissis (voir la figure 7) situé aux coordonnées suivantes: 704 548 mE, 7 532 647 mN. Ce traceur fut injecté le 5 février 2002 à 13h15 à l'emplacement de la doline qui avait été précédemment choisie. L'écoulement (qui était tari avant Noël) avait repris et il y avait environ 2 m d'eau dans la doline au moment de l'injection du traceur.

Le traceur utilisé consistait en 25 kg de sel de bromure de potassium (KBr) dissous dans 40 litres d'eau chaude provenant du camp. Après avoir été dissous par agitation en deux lots de 20 litres chacun et transporté à l'emplacement de l'injection, le sel fut versé par un tubage en polychlorure de vinyle (PVC) placé au fond de la doline. Le tube en PVC servait à éviter de diluer le traceur dans l'eau présente dans la doline. La concentration³ de bromure dans le traceur était évaluée à environ 400 000 mg/L.

Les échantillonneurs automatiques avaient été installés à des emplacements choisis avant l'injection et programmés pour faire des prélèvements à des intervalles de temps prédéterminés. Ces emplacements marqués TT-SW7 et TT-SW8 sont indiqués sur la figure 7.

Ils avaient été choisis prioritairement parce que :

- TT-SW7 se situe dans la vallée de la Kwé Est en aval par rapport au point d'injection; la vallée de Kwé Est semblait offrir une trajectoire éventuelle pour l'écoulement rapide de type "conduit ouvert" pour les eaux souterraines ayant pénétré dans le système au niveau des dolines en amont; et
- TT-SW8 est situé sur une source de l'autre côté de la Crête Sud, là où la crête est étroite.

Deux autres lieux de prélèvement, TT-SW-9 et TT-SW-10, ainsi que deux puits de surveillance (TBH032 et TBH066) avaient été choisis pour les prélèvements manuels (voir figure 7). Les prélèvements sur TBH042 qui avait été échantillonné durant l'essai mené en saison sèche, furent repris. Les échantillons des puits TBH066 et TBH042 furent recueillis avec du tube et des valves Waterra dédiés et alors que l'eau du puits TBH032 fut prélevée avec une écope dédiée.

La fréquence des prélèvements pour les échantillonneurs automatiques fut fixée à 12 heures pour l'ensemble de la période de prélèvement et les échantillons manuels furent recueillis quotidiennement lorsque les conditions le permettaient

³ L'analyse en laboratoire d'un échantillon de solution (numéroté noyau KBr #2) indiquait une concentration de 357 000 mg/L.

4.0 RÉSULTATS

4.1 Cartographie hydrogéologique

4.1.1 Structures géologiques et piézométrie

La figure 3 présente les zones de failles interprétées, les dolines répertoriées et les conditions piézométriques interprétées de l'aquifère profond en janvier 2002.

Plus d'une demi-douzaine de dolines ont été répertoriées dans l'aire de stockage est des résidus épaissis, au sud de la rivière Kwé Est. Ces dolines sont alignées, et l'on a déduit qu'elles sont reliées à une faille orientée nord-est/sud-ouest. On a également déduit que les deux dolines répertoriées dans l'aire de stockage est des morts-terrains sont reliées à une zone de failles orientées est/ouest le long du ruisseau. La doline répertoriée dans le bassin versant de l'ancienne mine présente des caractéristiques similaires, et les investigations sur le terrain ⁴ suggèrent la présence d'une faille orientée nord-est/sud-ouest.

Plusieurs dolines ont été répertoriées au nord du piézomètre TBH007. Ces dolines sont alignées sur une trajectoire nord/sud, et l'on a également déduit qu'elles étaient liées à une zone de faille. Les deux dolines répertoriées sur le sommet de la crête ne sont pas considérées comme étant liées à une zone de faille connue.

Les failles interprétées sur la figure 3 indiquent qu'une faille d'orientation nord-ouest/sud-ouest pourrait potentiellement fournir une connexion hydraulique entre l'aire de stockage est des résidus épaissis et le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains. Des failles nord-est/sud-ouest interprétées existent dans ces deux bassins versants, de même que dans les bassins versants adjacents de l'ancienne mine et de la rivière Wajana.

Les conditions piézométriques interprétées indiquent des niveaux piézométriques élevés dans la région du plateau de Goro. L'écoulement souterrain dans l'aquifère profond part du centre de la zone de niveaux piézométriques élevés sur le plateau vers l'ouest (en direction de la vallée de la Kwé Nord) et vers le sud (en direction la vallée de la Kwé Est). On observe également une zone de niveaux piézométriques élevés le long de la Crête Sud, comme l'indique le nombre limité de piézomètres dans cette région. Cependant, le nombre de piézomètres le long de la crête n'est pas suffisant pour évaluer l'existence ou non d'une zone de niveaux piézométriques élevés tout le long de la crête, ou pour confirmer que les failles le long de la crête créent des dépressions importantes dans les niveaux piézométriques.

Les piézomètres TBH031 et TBH028 indiquent des élévations de l'eau souterraine de 252 m et 187 m respectivement. Le piézomètre TBH063 est situé sur la Crête Sud à l'endroit où une

⁴ Un bruit d'écoulement d'eau a été entendu à proximité du lit de la rivière asséchée, en février 2002. De l'eau provenant du ruisseau s'infiltrait dans le lit de la rivière en amont à partir d'une doline, et un bruit d'écoulement d'eau a été entendu, semblant venir d'une grande doline « à sec ».

zone de failles traverse la crête et était sec lors du dernier relevé de niveau d'eau (janvier 2002). En raison de la haute perméabilité qui leur est typiquement associée, les zones de faille ont la capacité de réduire de façon importante les niveaux piézométriques là où elles traversent une crête. Les zones de faille peuvent aussi produire le même effet dans les régions de plateau ou de vallée.

Les données piézométriques dans la partie est du site sont très limitées dans l'espace et sont limitées également dans le temps (en nombre d'observations). Toutefois, il a été interprété qu'un écoulement relié à l'aquifère profond se produisait à partir du lac situé au nord de l'aire de stockage est des morts-terrains, en direction du sud, aussi bien vers la vallée de la Kwé Est, que vers la doline située à l'est du piézomètre TBH042.

4.1.2 Cartographie des débits d'écoulement, des sources et relevé géologique

Les figures 4 et 5 résument les données recueillies sur le terrain lors des relevés hydrogéologiques réalisés entre décembre 2001 et janvier-février 2002

En ce qui concerne le relevé de décembre 2001 montré dans la figure 4 (sensé être représentatif de la saison sèche), il est à noter que le nombre de sources était faible. Le nombre et la longueur des ruisseaux contenant de l'eau étaient également limités (de nombreux ruisseaux asséchés ont été répertoriés, et l'on a observé que seuls quelques segments contenaient de l'eau). En fait, à l'exception de la rivière Kwé Principale, de la section inférieure des rivières Kwé Est et Wajana, soit les ruisseaux répertoriés étaient secs, soit ils offraient un faible débit d'eau sur une longueur limitée.

Les ruisseaux des bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'ancienne mine étaient typiques de cette situation. Dans les deux cas, l'écoulement des eaux était alimenté par une source principale située à la rupture de pente environ 50 m en aval d'une zone de blocs rocheux. On pense que ces zones de blocs rocheux correspondent aux emplacements de sources pendant la saison des pluies et que les hauts débits rencontrés pendant cette saison emportent le matériau argileux de l'unité de saprolite typiquement exposée à ces niveaux, laissant alors exposés à la surface uniquement les blocs de péridotite.

A ces deux endroits, le débit était minimal lors du relevé de la saison sèche (moins d'un litre/sec). L'écoulement de l'eau n'atteignait pas la doline en aval et s'infiltrait dans le lit de la rivière aux points indiqués sur la figure 4. La source alimentant le ruisseau au bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains était apparemment alimentée par le lac situé approximativement à 200 m en amont.

La situation dans le bassin versant de la rivière Tou était identique, avec un débit d'eau inférieur à un litre/sec, une source principale contribuant au débit, et de l'eau s'infiltrant dans le lit de la rivière en aval de la source.

On remarque que l'élévation du point où l'eau s'infiltrait dans le lit du ruisseau dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains, était approximativement de 200 m et que l'élévation des sources du bassin de l'ancienne mine était environ de 170 m. On note également que l'on estimait que le débit de l'eau s'infiltrant dans le lit de la rivière du bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains était l'équivalent de celui observé dans le ruisseau du bassin versant de l'ancienne mine. Les différences de niveaux entre les points d'infiltration et les sources, associées aux débits d'eau observés, suggèrent une connexion hydraulique entre le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains et celui de l'ancienne mine.

En ce qui concerne le relevé de janvier-février 2002 présenté à la figure 5 (lequel devrait être représentatif de la saison des pluies), le nombre de sources avait énormément augmenté par rapport à décembre. Dix sources ont été répertoriées, et la longueur, ainsi que les débits des ruisseaux contenant de l'eau, ont également augmenté de façon importante. Les débits observés en janvier 2002 aux endroits répertoriés en décembre 2001 ont montré des écoulements de 10 à 40 L/s, correspondant à une augmentation de débit de un à deux ordres de grandeur.

Le relevé de janvier-février indiquait que l'écoulement de surface provenant de zones relativement vastes s'infiltrait entièrement dans les dolines. On a observé cela dans le bassin versant supérieur de la rivière Kwé Est où l'on a remarqué que l'écoulement de surface était vers le sud-ouest dans la partie en amont du bassin versant, alors qu'il était orienté de façon opposée (c-à-d vers le nord-est) plus loin en aval dans le bassin versant de la rivière Kwé Est. L'écoulement d'eau de surface d'une zone d'environ 2 km² était drainé par une série de petites dolines situées à proximité du point d'injection GA-12, montré sur la figure 7. Les débits d'eau de surface s'écoulant vers les dolines n'ont pas pu être évalués de façon fiable puisque la zone était essentiellement inondée et qu'il existait probablement plusieurs canaux menant aux dolines.

En ce qui concerne le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains, des débits d'environ 30 L/s s'écoulaient dans les deux dolines, sans présence d'eau stagnante au niveau des dolines. On suppose que les dolines pourraient drainer l'eau de façon instantanée en cas de débits d'eau encore plus élevés que ceux observés. Dans le bassin versant de l'ancienne mine, des débits de l'ordre de 20 à 30 L/s ont été notés, s'infiltrant dans le lit du ruisseau avant d'avoir pu atteindre la doline située en aval. On a déduit que l'eau coulait le long d'une zone de faille située sous le lit de la rivière et menant à la doline.

Dans des conditions de saison des pluies, il est plus difficile d'analyser les connexions probables d'infiltration entre les bassins versants uniquement sur la base des débits des sources en raison des nombreux endroits où les écoulements d'eau de surface et les sources ont été observés.

4.1.3 Profils physico-chimiques de l'eau des ruisseaux

Les figures 4 et 5 présentent les points de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau le long des ruisseaux. Les tableaux 3 et 4 présentent les données répertoriées pour chacun de ces lieux durant la saison sèche et la saison des pluies respectivement.

TABLEAU 3: PROFILS PHYSICO-CHIMIQUES DES RUISSEAUX (SAISON SECHE)

Zone	Mesures		Paramètres							Coordonnées	
		Date	OD (mg/L)	Eh (mV)	pH	Sal (ppt)	CE (µS/cm)	Température °C	Turbidité (ntu)	Est (m)	Nord (m)
Aire de stockage est des morts-terrains (doline ouest)	DS1	12-déc-02	6.3	260	4.62	0.00	40	26.7	12.1	705125	7532563
	DS2	12-déc-02	6.6	261	4.64	0.00	40	25.4	12.1	705107	7532574
	DS3	12-déc-02	6.2	271	4.62	0.00	41	27.7	13.0	705046	7532601
	DS4	12-déc-02	5.7	266	4.60	0.00	42	29.2	12.3	705009	7532728
	DS5	12-déc-02	3.2	272	4.67	0.00	46	24.2	12.7	704996	7532860
	DS6	12-déc-02	1.8	267	4.67	0.00	46	24.1	12.8	704980	7532868
Rivière Wajana	DS7	12-déc-02	6.0	274	4.60	0.01	84	27.9	12.2	706256	7533427
Bassin versant de l'ancienne mine	DS8	12-déc-02	6.6	243	4.80	0.01	108	22.8	12.5	705773	7531923
	DS9	12-déc-02	4.7	264	4.74	0.02	110	24.2	12.7	705787	7532008
	DS10	12-déc-02	1.3	272	4.81	0.01	106	22.1	19.0	705715	7532053
Rivière Tou	DS12	13-déc-02	6.6	275	4.81	0.02	122	22.2	14.9	704149	7531384
	DS13	13-déc-02	6.1	281	4.72	0.02	119	22.1	13.5	704157	7531386

Notes:

OD: Oxygène dissous

Eh: Potentiel redox

Sal: Salinité

CE: Conductivité électrique

TABLEAU 4: PROFILS PHYSICO-CHIMIQUES DES RUISSEAUX (SAISON DES PLUIES)

Zone	Mesures	Date	Paramètres de terrain							Coordonnées	
			OD (mg/L)	Eh (mV)	pH	Sal (ppt)	CE (uS/cm)	Température °C	Turbidité (ntu)	Est (m)	Nord (m)
Aire de stockage est des morts-terrains (doline est)	WS3	1-fév-02	6.4	130	2.61	0.00	44	25.1	10.0	705 597	7532676
Aire de stockage est des morts-terrains (doline ouest)	WS1	1-fév-02	6.4	150	3.45	0.00	36	25.5	12.0	705550	7532676
	WS4	1-fév-02	6.1	89	4.40	0.00	36	25.4	8.2	705510	7532665
	WS5	1-fév-02	6.1	83	4.50	0.00	36	25.4	8.4	705470	7532655
	WS6	1-fév-02	6.0	93	4.35	0.00	36	25.4	7.7	705430	7532645
	WS7	1-fév-02	6.0	96	4.16	0.00	36	25.4	7.8	705390	7532635
	WS8	1-fév-02	5.9	112	3.90	0.00	36	25.5	7.1	705342	7532585
	WS9	1-fév-02	5.9	124	3.70	0.00	36	25.5	7.2	705309	7532589
	WS10	1-fév-02	5.9	125	3.68	0.00	36	25.5	6.7	705279	7532587
	WS11	1-fév-02	5.9	121	3.85	0.00	36	25.4	6.9	705227	7532577
	WS12	1-fév-02	5.8	96	4.41	0.00	36	25.5	6.4	705139	7532563
	WS13	1-fév-02	5.8	76	4.81	0.00	36	25.6	4.5	705080	7532570
	WS15	1-fév-02	5.8	92	4.51	0.00	34	25.6	4.4	705040	7532585
	WS16	1-fév-02	5.7	80	6.86	0.00	69	22.9	4.4	705040	7532605
	WS17	1-fév-02	5.8	91	4.33	0.00	36	27.8	4.0	705056	7532649
	WS18	1-fév-02	5.6	94	4.07	0.00	39	25.9	4.5	705019	7532729
	WS19	1-fév-02	5.8	105	3.61	0.00	42	27.9	3.7	705032	7532759
	WS20	1-fév-02	4.4	125	3.53	0.00	41	25.9	4.1	705005	7532825
	WS21	1-fév-02	4.1	126	3.52	0.00	41	26.3	3.9	705000	7532885
	WS22	1-fév-02	5.2	117	3.65	0.00	37	28.7	5.3	704895	7532916
	WS23	1-fév-02	3.8	181	2.39	0.00	39	29.2	4.5	705007	7532988

Notes:

OD: Oxygène dissous

Eh: Potentiel redox

Sal: Salinité

CE: Conductivité électrique

La figure 4 présente deux profils physico-chimiques de l'eau de surface réalisés en décembre 2001 le long des ruisseaux dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains (points DS1 à DS6) et dans le bassin versant de l'ancienne mine (points SD8 à DS10). Les autres points de mesure sont isolés (DS7, DS12 et DS13).

En ce qui concerne les profils DS1-DS6 et DS8-DS10, des tendances similaires ont été observées : plus les analyses se rapprochent des sources, plus les concentrations d'oxygène dissous diminuent, passant d'environ 6 mg/L à 1-2 mg/L.

Ces données correspondent aux observations faites sur le terrain, lesquelles indiquaient que l'écoulement des ruisseaux était essentiellement alimenté par une source principale en aval pour les deux ruisseaux au moment des relevés de terrain (décembre 2001). Il a également été noté que la température de l'eau à proximité de la source était plus élevée au point DS6 qu'au point DS10. Une explication possible est que la source au point DS6 est alimentée par le lac situé approximativement à 200 m en amont, alors que la source au point DS10 est alimentée par l'aquifère profond, donnant ainsi des températures plus basses à cette époque de l'année.

Un pH plus élevé (4,8 par rapport à 4,6) et des conductivités électriques plus fortes (110 par rapport à 45 uS/cm) de l'eau du ruisseau des bassins versants de l'ancienne mine et de la rivière Tou par rapport à l'eau du bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains, signifie un temps de résidence plus long dans le système d'écoulement souterrain profond. Ainsi, il peut également être déduit que l'eau des bassins versants de la rivière Tou et de l'ancienne mine provient d'un écoulement souterrain provenant probablement du nord.

La figure 5 présente un profil réalisé en février 2002 le long du ruisseau dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains (points WS1 à WS23). Les données du profil WS1-WS23 font apparaître des concentrations d'oxygène dissous plus élevées à proximité du lac, par rapport à décembre 2001 (3,8 contre 1,8 mg/L). Ces données suggèrent un mélange d'eau de source et d'eau de ruissellement pendant la période de crue. Le pH était globalement plus faible en février, suggérant ainsi que l'eau s'écoulant à travers le cuirasse de fer (aquifère peu profond éphémère) est probablement plus acide que l'eau de l'aquifère profond et qu'elle contribue au débit des cours d'eau pendant la saison des pluies.

Les variations du potentiel redox (Eh), du pH et de la conductivité électrique notées sur le profil sont plus importantes pour l'étude de février 2002 que pour celle de décembre. On explique ces fluctuations comme étant dues à une plus grande variété de sources d'écoulement pendant la saison des pluies (écoulement de surface, aquifère peu profond et aquifère profond / source), contrairement à la saison sèche où il est probable que la majorité de l'écoulement provienne d'une seule origine (aquifère profond / source).

Un exemple illustrant l'effet des différents écoulements se mélangeant est celui du point WS16. Ces données représentent un petit tributaire, probablement alimenté par une source (à partir de l'aquifère profond), pénétrant le ruisseau par le côté sud. La différence dans la

qualité de l'eau, évidente par le fait que le bassin tributaire ait un pH de 6,8 par rapport aux pH variant entre 2,4 et 4,8 pour le reste du ruisseau, suggère que l'eau de l'aquifère profond a des caractéristiques physico-chimiques assez différentes par rapport à l'écoulement de surface et à l'aquifère peu profond.

Les observations confirment l'hypothèse d'un débit des sources, en saison sèche, provenant uniquement de l'aquifère profond, alors que les écoulements de la saison des pluies peuvent varier dans le temps et être un mélange de contributions de l'aquifère profond ou de l'aquifère peu profond.

4.2 Essais au traceur

4.2.1 Injection du traceur en décembre 2001 (saison sèche)

Les résultats d'analyse du laboratoire ALS font apparaître des concentrations importantes de bromure dans le puits TBH042 entre le 15 décembre 2001 et le 28 janvier 2002. Le premier échantillon obtenu montrait une concentration de 0,3 mg/L, légèrement au dessus de la limite de détection de 0,1 mg/L. L'échantillon suivant, du 15 décembre, montrait une concentration de 2,4 mg/L. Cet échantillon a été obtenu 20,5 heures après que le traceur ait été émis.

Toutes les analyses des échantillons provenant d'autres lieux ont présenté des concentrations en deçà de la limite de détection de 0,1 mg/L, sauf:

- un échantillon de TT-SW1 où 0,2 mg/L de bromure a été détecté le 16 décembre 2001;
- un échantillon de TT-SW2 où 0,2 mg/L de bromure a été détecté le 19 janvier 2002; et,
- un échantillon de TT-SW4 où 0,2 mg/L de bromure a été détecté le 15 décembre 2001.

L'annexe B présente un tableau des résultats du spectrophotomètre utilisé sur le terrain et les résultats du laboratoire. Les graphiques de l'annexe B montrent les concentrations de bromure à travers le temps, pour tous les points d'échantillonnage.

4.2.2 Injection du traceur en février 2002 (saison des pluies)

Les résultats d'analyse du laboratoire ALS font apparaître des concentrations de bromure importantes dans les échantillons prélevés dans le puits TBH032, les 10 et 11 février 2002. Le premier échantillon obtenu (10 février) avait une concentration de 1,9 mg/L, et l'échantillon suivant prélevé le 11 février, avait une concentration de 36,3 mg/L. Cet échantillon a été prélevé 147 heures après l'injection du traceur.

L'échantillon suivant, du 12 février, montrait une concentration de 0,13 mg/L, correspondant aux concentrations de fond (background) attendues.

Les résultats d'analyse du laboratoire ALS ont également indiqué des augmentations dans les concentrations de bromure dans les puits TBH042 et TBH066, après l'injection du traceur le 5 février. Les concentrations dans le puits TBH042 ont atteint 2,5 mg/L le 10 février et celles du puits TBH066 ont atteint 0,4 mg/L le 9 février. Ces échantillons ont été respectivement prélevés 124 heures et 93 heures après l'injection du traceur le 5 février. Les concentrations dans les deux puits ont semblé revenir à des niveaux correspondant aux concentrations de fond après le passage du traceur.

Toutes les analyses des échantillons des stations d'échantillonnage d'eau de surface ont indiqué des concentrations en deçà de la limite de détection de 0,1 mg/L, à l'exception d'un seul échantillon du point TT-SW-7, prélevé à 23h20 le 6 février, et qui présentait une concentration de 0,2 mg/L.

L'annexe B présente un tableau des résultats du spectrophotomètre utilisé sur le terrain et les résultats du laboratoire ALS. Les graphiques de l'annexe B montrent les concentrations de bromure à travers le temps pour tous les points d'échantillonnage.

5.0 DISCUSSION

5.1 Évaluation de la conductivité hydraulique des zones de failles

Les résultats des essais de traceur ont fourni des données à partir desquelles la conductivité hydraulique des structures perméables a pu être estimée. Pour produire ces estimations, on a supposé que le traceur suivait une ligne droite, entre les points géographiques de l'injection du traceur et les stations d'échantillonnage et que le milieu (roche fracturée) au travers duquel il s'écoulait, avait une porosité de 0,05 (5%). Le tableau suivant résume les paramètres et les observations concernant la conductivité hydraulique des zones de faille.

Tableau 5: Valeurs interprétées de la conductivité hydraulique des zones de faille

Paramètre estimé	Piézomètre			
	TBH032 (saison des pluies)	TBH042 (saison sèche)	TBH042 (saison des pluies)	TBH066 (saison des pluies)
Gradient hydraulique, i:	0,025	0,070	0,032	0,014
Temps de parcours, t (sec):	529 200	73 800	446 400	334 800
Distance, x (mètres):	900	288	885	675
Porosité supposée, n:	0,05	0,05	0,05	0,05
Conductivité hydraulique estimée, K (m/s):	3×10^{-3}	3×10^{-3}	3×10^{-3}	7×10^{-3}

En se basant sur l'équation suivante (Todd, 1980):

$$K = \frac{x \cdot n}{t \cdot i} \quad \text{où } K, x, n, t, \text{ et } i \text{ sont tels que décrits dans le tableau.}$$

Une fourchette de valeurs de la conductivité hydraulique entre 3×10^{-3} m/s et 7×10^{-3} m/s a été estimée à partir des données présentées dans le tableau ci-dessus.

Cette fourchette est comprise dans la fourchette des valeurs anticipées pour une zone de faille dans la zone de contact péridotite/saprolite.

5.2 Évaluation de la dilution du traceur

5.2.1 Injection du traceur le 14 décembre

Un calcul théorique a été réalisé pour évaluer la dilution possible du traceur dans l'écoulement souterrain (faisant suite à la première injection du traceur pendant la saison sèche) à partir du puits TBH042 (en supposant que le traceur s'est propagé au delà de ce point dans les zones de grande perméabilité), et l'effet que cela aurait sur les concentrations du traceur à d'autres emplacements d'échantillonnage. En se basant sur l'équation analytique applicable à une libération instantanée d'un soluté conservatif, et sur la dispersion tri-dimensionnelle du soluté dans l'écoulement souterrain (Freeze et Cherry, 1979), on estime que la dilution en aval du traceur entre le puits TBH042 et les stations d'échantillonnage TT-SW1, TT-SW2, TT-SW3 ou TT-SW4 serait telle que les concentrations à ces stations d'échantillonnage équivaldraient approximativement à la limite de détection de 0,1 mg/L.

D'un autre côté, la dilution aux points d'échantillonnage TT-SW5 et TT-SW6 pourrait être le résultat de la dilution par l'écoulement de l'eau de surface (les ruisseaux où ces stations d'échantillonnage étaient installées avaient des débits importants).

5.2.2 Injection du traceur le 5 février

En ce qui concerne la seconde injection du traceur, la dilution dans l'écoulement souterrain le long de la vallée de la Kwé Est était apparemment moindre par rapport à celle observée dans la vallée de l'aire de stockage est des morts-terrains, comme les données du piézomètre TBH032 le montrent. Cependant, la dilution jusqu'en deçà de la limite de détection de 0,1 mg/L aux stations d'échantillonnage TT-SW8, TT-SW9 ou TT-SW10 est également considérée possible, comme pour les stations d'échantillonnage TT-SW1, TT-SW2, TT-SW3 ou TT-SW4 durant l'étude de la première injection du traceur.

La dilution à la station d'échantillonnage TT-SW7 pourrait être le résultat de la dilution par l'écoulement de l'eau de surface (le ruisseau où cette station d'échantillonnage était installée avait un débit important).

5.3 Explications des résultats d'analyse

5.3.1 Injection de traceur de décembre 2001 (saison sèche)

Les concentrations détectées dans les échantillons de TBH042 sont beaucoup plus élevées que la limite de détection, et ont été obtenues pour une série d'échantillons provenant de ce puits. Les concentrations sont, par conséquent, considérées comme étant liées à l'injection du traceur.

Les données apportent une preuve tangible que le traceur s'est propagé vers l'aval à partir du point d'injection jusqu'au puits TBH042.

Les concentrations de 0,2 mg/L détectées dans les échantillons provenant de TT-SW1, TT-SW2 et TT-SW4 sont seulement supérieures de 0,1 mg/L à la limite de détection. En se basant sur l'information du laboratoire d'analyses, une concentration de bromure de 0,2 mg/L est considérée comme étant réelle, et non attribuée à une interférence d'analyse. Parce que les concentrations de fond de bromure dans l'eau sur le site ne sont pas sensées être élevées, on considère que les concentrations détectées pourraient correspondre à une présence réelle de bromure dans les échantillons, résultant de la dilution du traceur injecté.

Par conséquent, on ne peut pas écarter le fait que les concentrations détectées de 0,2 mg/L soient liées à l'injection du traceur (le traceur se serait donc propagé à travers les limites du bassin versant jusqu'à ces points d'échantillonnage). Cependant, ces données ne sont pas concluantes d'un point de vue hydrogéologique, car ces faibles concentrations ne se sont pas répétées pendant deux jours consécutifs ou plus (un seul échantillon à chaque station d'échantillonnage a présenté des concentrations de 0,2 mg/L).

Si le bromure détecté aux stations d'échantillonnage TT-SW1, TT-SW2 et TT-SW4 ne provient pas du traceur (et provient des concentrations de fond naturelles), alors aucun traceur n'a été détecté, et quatre explications peuvent être apportées :

1. Le traceur a été « manqué » (c'est-à-dire que le traceur a émergé à la station d'échantillonnage entre deux échantillons): étant donné les intervalles d'échantillonnage, cela ne semble pas probable pour la station TT-SW1 mais est possible pour les stations TT-SW2 à TT-SW6 où nous n'avons pas d'échantillons pour la période de mi-décembre à mi-janvier;
2. Le traceur a émergé à un endroit non échantillonné dans le cadre de l'étude: étant donné le nombre limité de sources et de ruisseaux contenant de l'eau identifiés, ce cas semble très improbable dans la zone étudiée pendant la période de la saison sèche;

3. Si un écoulement rapide de type « conduit ouvert » ne s'est pas produit, le traceur n'avait pas atteint les points d'échantillonnage avant que le dernier échantillon ne soit prélevé. C'est une explication probable pour un écoulement dans la matrice (roche-mère non-fracturée et non-altérée), mais c'est très improbable pour l'écoulement rapide de type « conduit ouvert », étant donné la grande vitesse de l'écoulement dans ce cas; et,
4. Le traceur a émergé aux points d'échantillonnage pendant la période de suivi, mais était trop dilué pour être détecté lorsqu'il a atteint les points d'échantillonnage.

5.3.2 Injection de traceur de février 2002 (saison des pluies)

Les concentrations détectées dans les échantillons des piézomètres TBH032, TBH042 et TBH066 sont beaucoup plus élevées que la limite de détection.

Malgré la présence de concentrations résiduelles de bromure dans le piézomètre TBH042 datant de l'essai de traceur de décembre, les concentrations détectées suite à l'injection de traceur de février sont considérées beaucoup plus élevées que ces concentrations résiduelles, et on déduit, par conséquent, que la concentration maximale de 2,4 mg/L observée après l'injection de février est liée à l'injection de traceur de février (voir le graphique de l'annexe B).

La concentration de bromure maximale de 36,3 mg/L détectée dans le piézomètre TBH032 a été précédée d'une concentration de 1,9 mg/L le jour précédent, et a été suivie par une concentration faible de 0,1 mg/L les jours d'après. Ces concentrations sont considérées comme étant liées à l'émission du traceur de février. Ceci est interprété comme un écoulement rapide (de type « conduit ouvert ») dans la partie supérieure du socle rocheux (c'est-à-dire le système aquifère profond) où la crépine de ce puits est située (26,5 m).

Les concentrations détectées dans le piézomètre TBH066 sont plus faibles que celles détectées au point TBH032, avec une concentration maximale de 0,4 mg/L précédée de concentrations de 0,1 à 0,2 mg/L trois jours avant la concentration maximale. On en déduit que ces concentrations sont également liées à l'émission du traceur de février, mais qu'une plus grande dilution s'est produite dans l'eau souterraine, étant donné la profondeur plus grande de la crépine (49,8 m).

Les données apportent la preuve tangible que le traceur s'est écoulé vers l'aval, à partir du point d'injection jusqu'aux piézomètres TBH032 (et TBH066), et suggèrent également que le traceur s'est déplacé depuis le bassin versant de l'aire de stockage est des résidus épaissis jusque dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains (au piézomètre TBH042).

La concentration de 0,2 mg/L détectée dans un échantillon de TT-SW77 est seulement de 0,1 mg/L au dessus de la limite de détection. Bien que cette concentration soit faible par

rapport à la limite de détection, on considère qu'elle pourrait correspondre à une présence réelle de bromure dans l'échantillon résultant de la dilution du traceur injecté, car les concentrations de fond de bromure dans l'eau sur le site ne sont pas sensées être élevées. Comme mentionné auparavant, les concentrations de bromure de 0,2 mg/L détectées sont considérées comme étant réelles et ne sont pas attribuées à des interférences d'analyse.

Par conséquent, de même que pour les cas identifiés durant l'essai fait pendant la saison sèche, on ne peut pas exclure que la concentration de 0,2 mg/L détectée à la station d'échantillonnage TT-SW7 soit liée à l'injection du traceur. Cependant, ces données ne sont pas concluantes d'un point de vue hydrogéologique, car ces concentrations ne se sont pas répétées pendant deux jours consécutifs ou plus (c'est-à-dire qu'un seul échantillon à TT-SW77 a montré des concentrations de 0,2 mg/L)

Si le bromure détecté à la station d'échantillonnage TT-SW7 ne provient pas du traceur (mais provient plutôt des concentrations naturelles de fond), alors aucun traceur n'a été détecté, et les raisons expliquant cette concentration détectée et qui ont été décrites dans le paragraphe 5.3.1 peuvent être considérées pour expliquer les résultats à cette station.

6.0 CONCLUSIONS

Un programme comprenant un relevé hydrogéologique, un essai au traceur (avec utilisation de bromure de potassium comme traceur), et des relevés additionnels de niveau de l'eau ont été menés sur durant la période de décembre 2001 à février 2002 inclus.

La cartographie hydrogéologique des bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'aire de stockage est des résidus épaissis, ainsi que de quatre bassins versants adjacents a été réalisée pour la saison sèche et la saison des pluies de décembre 2001 à janvier-février 2002. Les données recueillies ont été utilisées pour accroître la compréhension des débits d'écoulement des cours d'eau, de l'eau de l'aquifère peu profond et de l'aquifère profond (sources), ainsi que leur contribution à l'écoulement des cours d'eau dans ces bassins versants.

Le traceur de bromure de potassium a été injecté à deux points différents, à deux dates différentes :

- un point dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains le 14 décembre 2001; et
- un point dans le bassin versant de l'aire de stockage est des résidus épaissis le 5 février 2002.

Cartographie hydrogéologique

En se basant sur la cartographie hydrogéologique, il est déduit qu'il existe une connexion de l'écoulement souterrain par la roche-mère fracturée entre le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains et le bassin versant de l'ancienne mine. Toutefois, il n'y a pas d'évidence, selon la cartographie hydrogéologique, pour une telle connexion entre le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains et les autres bassins versants, y compris la Wajana.

La cartographie a indiqué l'existence de bassins versants topographiquement fermés, et au préalable inconnus, dont le drainage est contrôlé par l'infiltration de l'eau dans les dolines. Par exemple, un nouveau bassin versant fermé est maintenant répertorié dans l'emprise de l'aire de stockage est des résidus épaissis (dans la partie supérieure du bassin versant de la Kwé Est). Les résultats de l'essai de traceur (injection de traceur du 5 février) indiquent une connexion entre ces dolines et la partie aval de la rivière Kwé Est. D'autres bassins versants fermés pourraient exister au sein de la zone du projet.

Essais au traceur

Les résultats de l'essai de traceur ont fourni des données intéressantes à partir desquelles une estimation de la conductivité hydraulique des systèmes de fractures situées à grande profondeur peut être réalisée. L'interprétation indique une très grande conductivité hydraulique (supérieure à 10^{-3} m/s) dans le système de fractures situées à grande profondeur au sein des bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'aire de stockage est des résidus épaissis.

Les concentrations de traceur détectées dans les puits situés dans les vallées et en aval des points d'injection du traceur (injection de traceur les 14 décembre et 5 février), aussi bien dans le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains que dans celui de l'aire de stockage est des résidus épaissis, ont confirmé un écoulement rapide de type « conduit ouvert » le long de l'axe formé par ces vallées, où des failles dans l'aquifère profond sont interprétées.

En ce qui concerne l'aire de stockage est des mort-terrains, les résultats de l'essai de traceur ne démontrent pas de façon concluante une connexion souterraine par les fractures entre le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains et les bassins-versants adjacents, mais ne l'excluent pas non plus. S'il existe une connexion, la dilution du traceur à des concentrations inférieures à la limite de détection peut être responsable de ce résultat.

En ce qui concerne l'aire de stockage est des résidus épaissis, les résultats de l'essai de traceur suggèrent qu'il existe une connexion souterraine par les fractures entre l'aire de stockage est des résidus épaissis et le bassin versant de l'aire de stockage est des morts-terrains. Les résultats de l'essai au traceur ne démontrent pas de façon concluante une connexion

souterraine par les fractures avec d'autres bassins versants adjacents, mais ne les excluent pas non plus. Cependant, la dilution du traceur à des concentrations inférieures à la limite de détection peut être responsable de ce résultat. Pris dans leur ensemble, les résultats de l'essai de traceur indiquent que :

- un écoulement souterrain rapide entre les bassins versants topographiquement fermés peut se produire là où des connexions existent; cependant,
- une dilution se produira le long du parcours de l'écoulement souterrain et pourra réduire l'effet en aval.

Il convient de noter, toutefois, que dans le cadre des conditions d'opération (c-à-d lorsque les résidus épaissis et les morts-terrains seront stockés au sein des bassins versants étudiés), la dilution au niveau de l'écoulement souterrain sera réduite, suite à la réduction de l'infiltration vers l'aquifère profond provoquée par la mise en place des résidus ou des mort-terrains.

En conséquence, à partir des résultats de la cartographie et de l'essai au traceur, on conclut qu'il existe un système de fractures reliant les bassins versants de l'aire de stockage est des morts-terrains et de l'ancienne mine. On conclut également qu'un système de fractures joint l'aire de stockage est des morts-terrains et l'aire de stockage est des résidus épaissis.

Pour les conditions hydrogéologiques du site existant pendant les deux périodes d'étude sur le terrain, des connexions souterraines par réseaux de fractures entre bassins versants n'ont pas pu être démontrées, ni exclues par les tests par traceur pour les bassins versants autres que ceux mentionnés au paragraphe ci-haut. La dilution était apparemment importante et pourrait avoir été la raison principale pour la non-détection du traceur dans ces autres bassins versants.

La méthode du traceur pour rechercher des connexions éventuelles entre les bassins versants ne devrait pas être sous-estimée. Afin d'approfondir la recherche de l'existence de ces connexions, un autre essai au traceur pourrait être justifiée. Un nouvel essai par traceur, avec des quantités plus importantes de traceur et/ou un traceur avec une limite de détection plus basse, pourrait probablement avoir plus de chance d'être détecté plus loin par rapport au point d'injection que lors des essais réalisés jusqu'à ce jour. Les essais récents étaient soumis à des contraintes de temps ainsi qu'à d'autres considérations logistiques; cependant, les futurs essais ne devraient pas être soumis à des contraintes de cette nature.

RÉFÉRENCES

American Public Health Association, 1995. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 4500-Br- B. Phenol Red Colorimetric Method”. 19e édition.

BRGM, 1971. Carte géologique de Prony, coupure SF-58-XVII-2d (35). Échelle 1:50 000.

Freeze, Allan R. and John A. Cherry, 1979. “Groundwater”. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Golder Associates, 2001a. “Étude hydrogéologique des secteurs de l’aire de stockage des résidus épaissis et du site industriel”. Projet no. 011-1827 (5710), Document #B-192, décembre 2001.

Golder Associates, 2001b. “Background Geology” Projet no. 011-1827 (4110), Document #B-205, décembre 2001.

Golder Associates, 2002a. “Background Hydrology”. Projet no. 011-1827 (4010), Document #B-227, janvier 2002.

Golder Associates, 2002b. “Void Types at Plant Site – Risk to Foundation Performance”. Projet no. 011-1827 (6040), Document #B-268, janvier 2002.

Gutteridge Haskins & Davey Pty Ltd (GHD), 1988. “Queensland Nickel Development Plan, Imported Ore Project, Goro Ore Body - Feasibility Report, Geotechnical & Hydrogeological Investigations”. Rapport no. 0750g/SBH, octobre 1988.

Inco, 2002. (sans titre) Relevés piézométriques – Novembre 2001 à février 2002. Rapport interne de Inco, février 2002.

Inco, 2001a. (sans titre) Relevés piézométriques, données pluviométriques et données d’évaporation – Janvier 2001 à novembre 2001. Rapport interne de Inco, novembre 2001.

Inco, 2001b. (sans titre) Journaux de sondage et schémas d’installation de piézomètres. Rapport interne de Inco, novembre 2001.

Inco, 2000a. «Hydrogéologie du gisement Goro – Année 1999». Rapport interne de Inco, juillet 2000.

Inco, 2000b. «Rapport d’installation des piézomètres sur le site de l’usine pilote - Goro nickel». Rapport interne de Inco, mars 2000.

Inco, 1998a. «Water Level Readings on Goro Center and Goro South – 1993 to 1997 ». Rapport interne de Inco, février 1998.

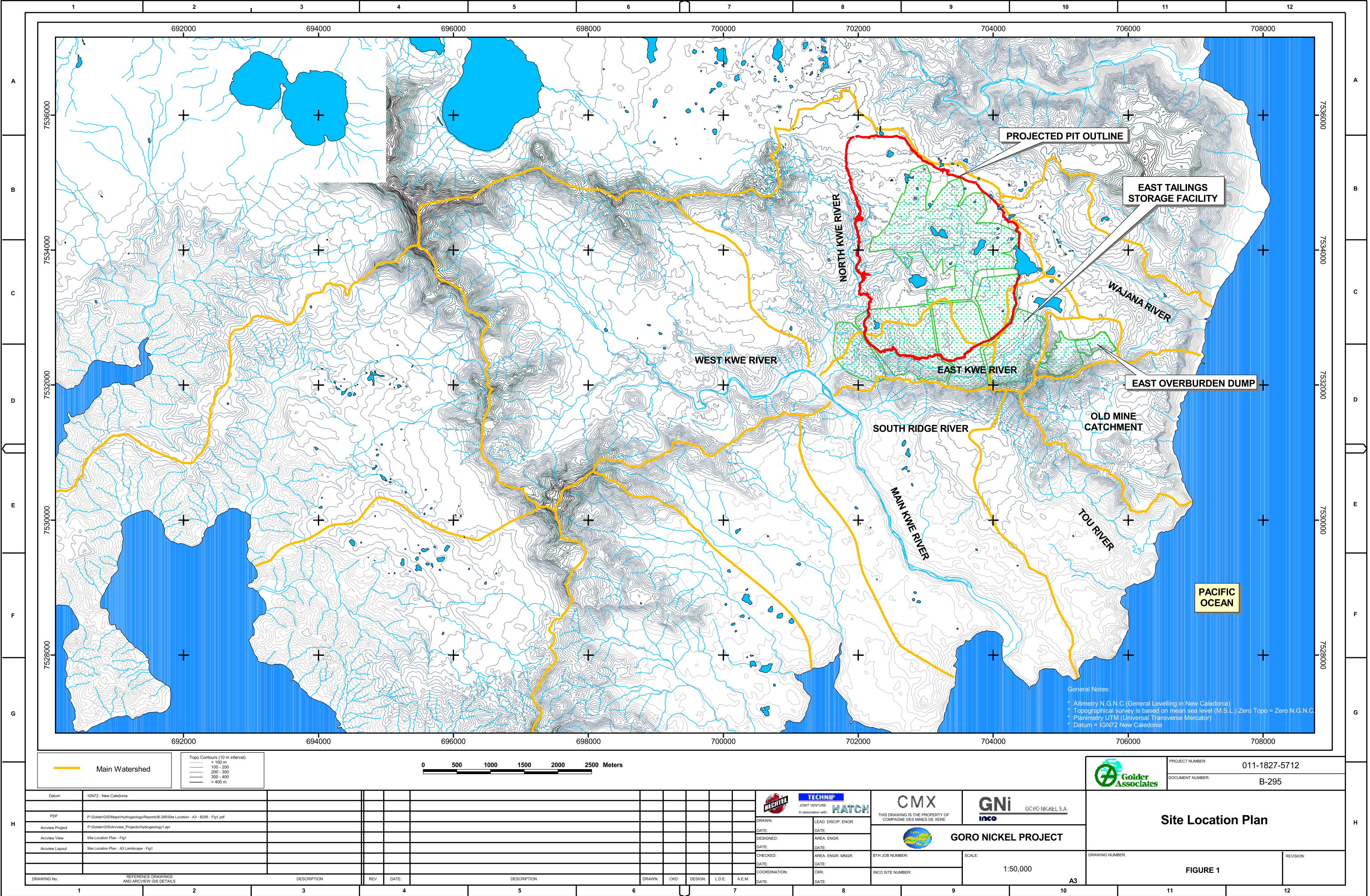
Météo France, 2001. Données météorologiques de Nouméa, site internet de Météo France.

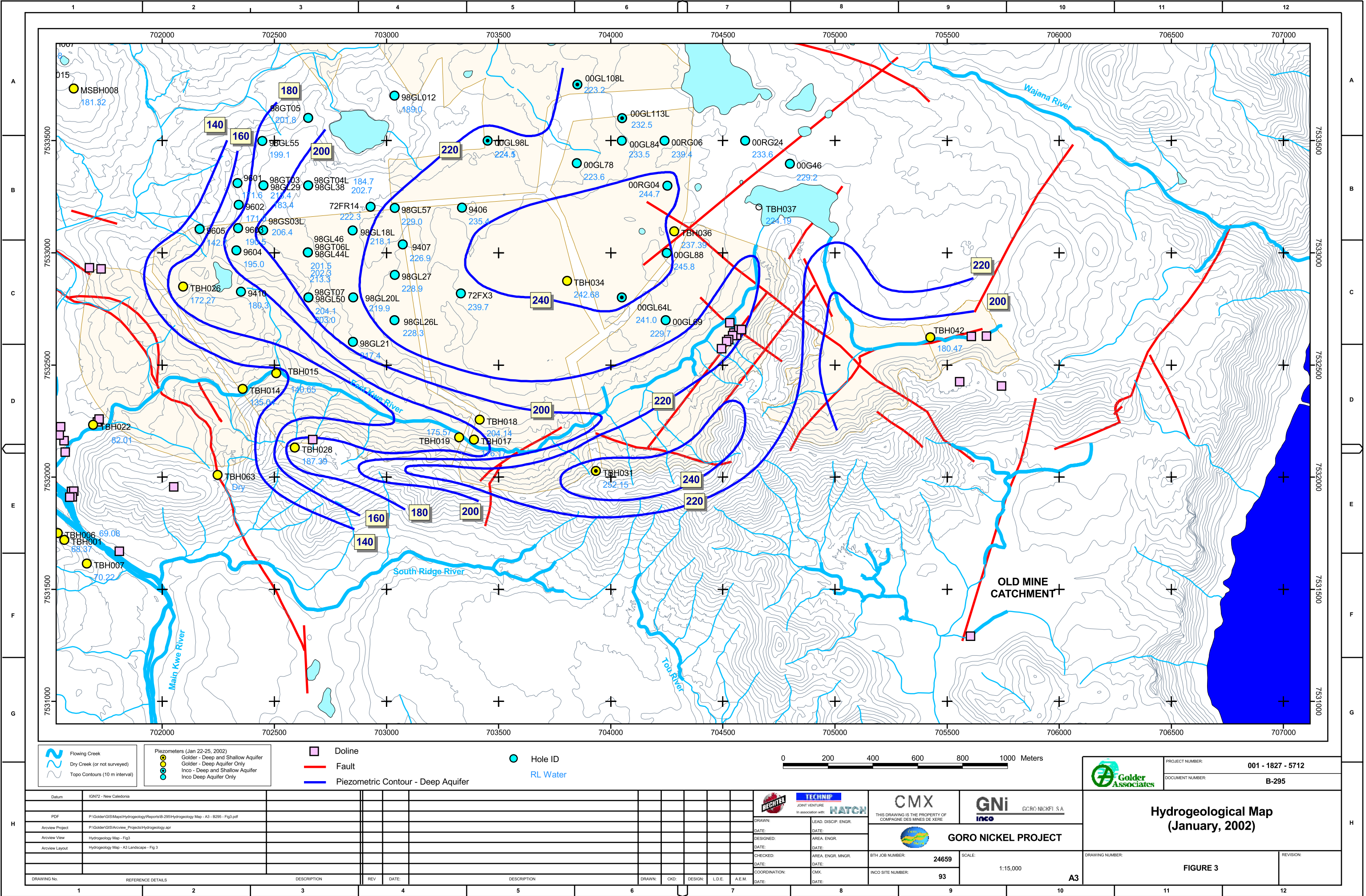
SNC-Lavalin Inc., 1997. « Goro Nickel Project – Bankable Feasibility Study Report ». Avril 1997.

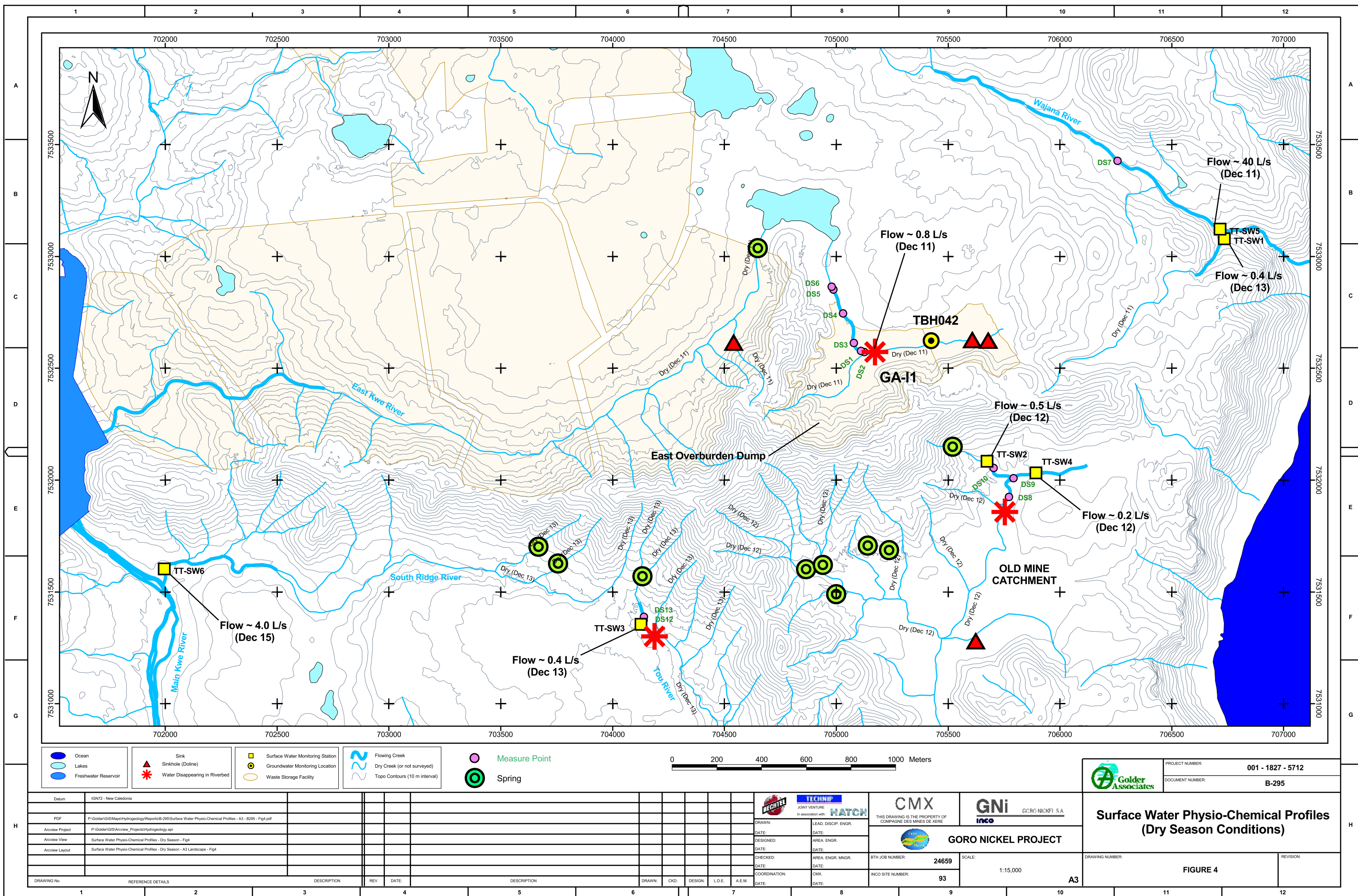
SNC-Lavalin Inc., 1996. «Goro Nickel Project Feasability Study – Water Well Testing ». Rapport no. M-6118 (011132), août 1996.

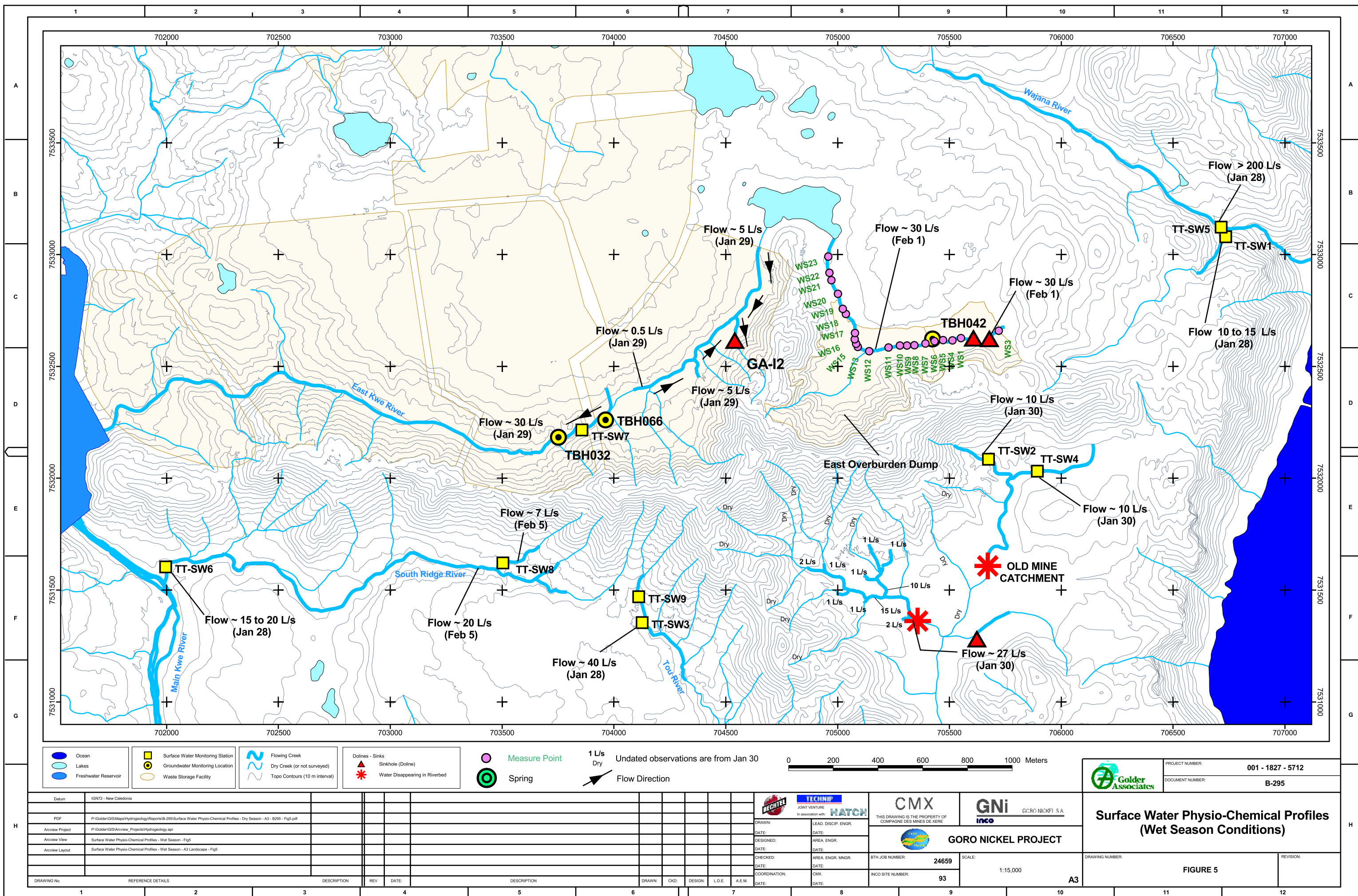
Todd, David Keith, 1980. «Groundwater Hydrology». John Wiley & Sons Inc., New York.

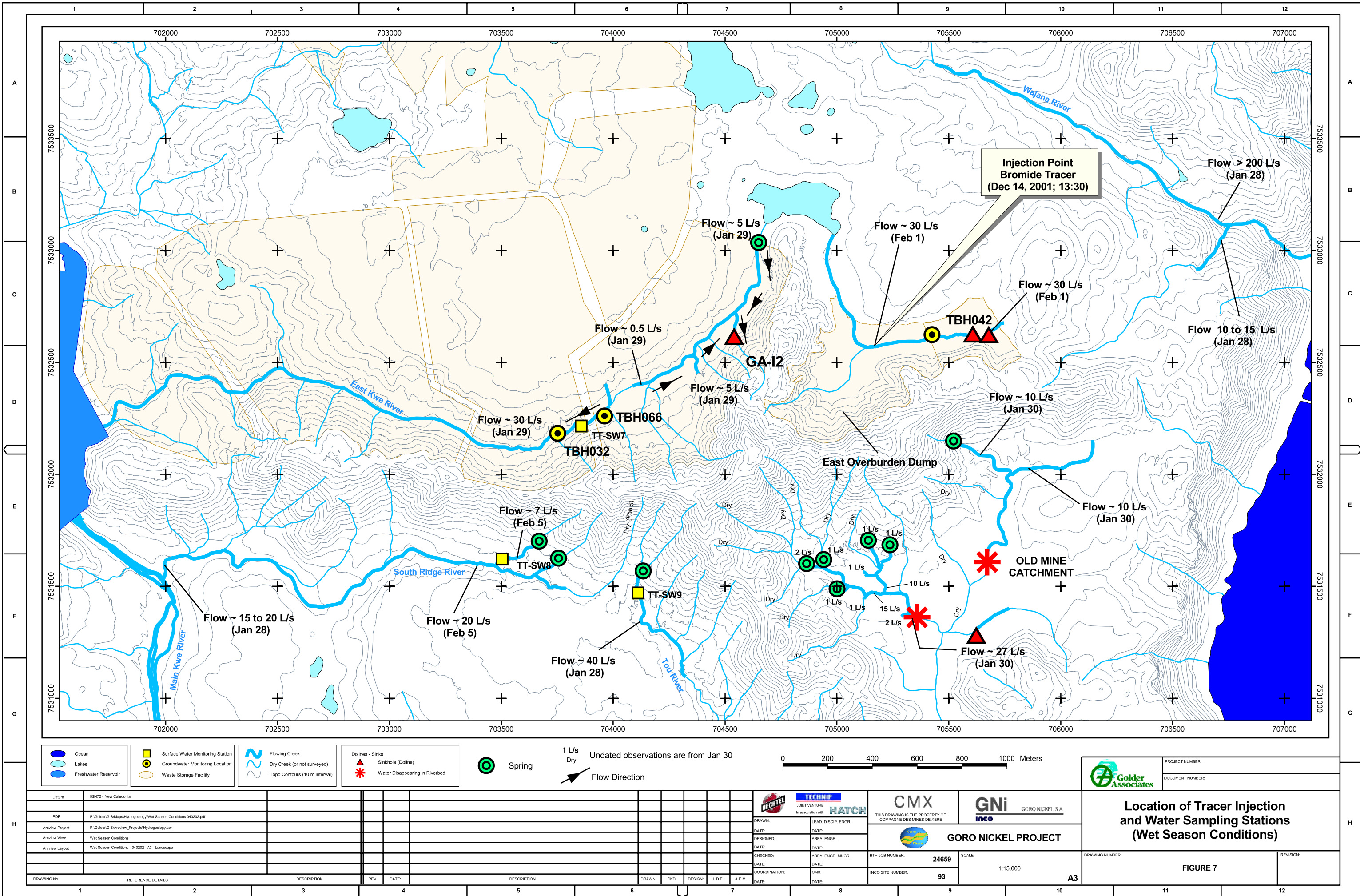
FIGURES







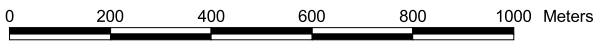




	Ocean
	Lakes
	Freshwater Reservoir
	Surface Water Monitoring Station
	Groundwater Monitoring Location
	Waste Storage Facility
	Flowing Creek
	Dry Creek (or not surveyed)
	Topo Contours (10 m interval)
	Dolines - Sinks
	Sinkhole (Doline)
	Water Disappearing in Riverbed

	Spring
	Flow Direction

1 L/s
Dry
Undated observations are from Jan 30



PROJECT NUMBER:
DOCUMENT NUMBER:

Datum	IGN72 - New Caledonia
PDF	P:\Golder\GIS\Maps\Hydrogeology\Wet Season Conditions 040202.pdf
Arview Project	P:\Golder\GIS\Arview_Project\Hydrogeology.apr
Arview View	Wet Season Conditions
Arview Layout	Wet Season Conditions - 040202 - A3 - Landscape
DRAWING No.	1
REFERENCE DETAILS	2
DESCRIPTION	3
REV	4
DATE	5
DESCRIPTION	6
DRAWN	7
CKD	8
DESIGN	9
L.D.E	10
A.E.M	11

JOINT VENTURE In association with:		GRCO NICKEL S.A.	
DRAWN:		LEAD, DISCIP. ENGR.	
DATE:		DATE:	
DESIGNED:		AREA, ENGR.	
DATE:		DATE:	
CHECKED:		AREA, ENGR. MNGR.	
DATE:		DATE:	
COORDINATION:		CMX:	
DATE:		DATE:	
BTH JOB NUMBER:		SCALE:	
24659		1:15,000	
INCO SITE NUMBER:		A3	
93			

Location of Tracer Injection and Water Sampling Stations (Wet Season Conditions)	
DRAWING NUMBER:	REVISION:
FIGURE 7	

ANNEXE A

PHOTOS DES ESSAIS AU TRACEUR



Photo 1: Echantillonneur automatique : afficheur, clavier, pile et carrousel de bouteilles



Photo 2: Réactifs et solutions de calibration utilisés pour les analyses du bromure sur le terrain



Photo 3 : Spectrophotomètre utilisé sur le terrain pour les analyses du bromure

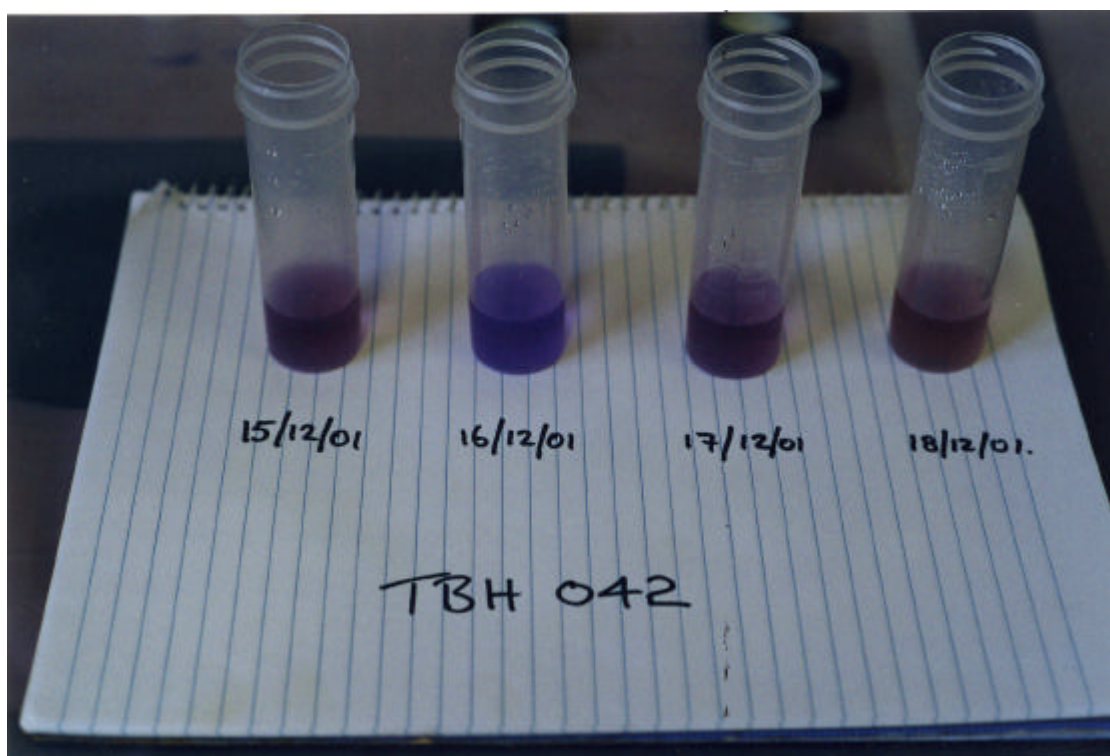


Photo 4: Echantillons de TBH 042 préparés pour les analyses sur le site du bromure



Photo 5 : Petite doline située environ 100 mètres à l'est d'une grosse doline dans l'aire de stockage est des morts-terrains



Photo 6: Doline de l'aire de stockage est des résidus (déc. 2001)



Photo 7: Vue vers le bas d'une crevasse située environ 100 mètres à l'est de TBH028 au sommet de la Crête Sud (déc. 2001)

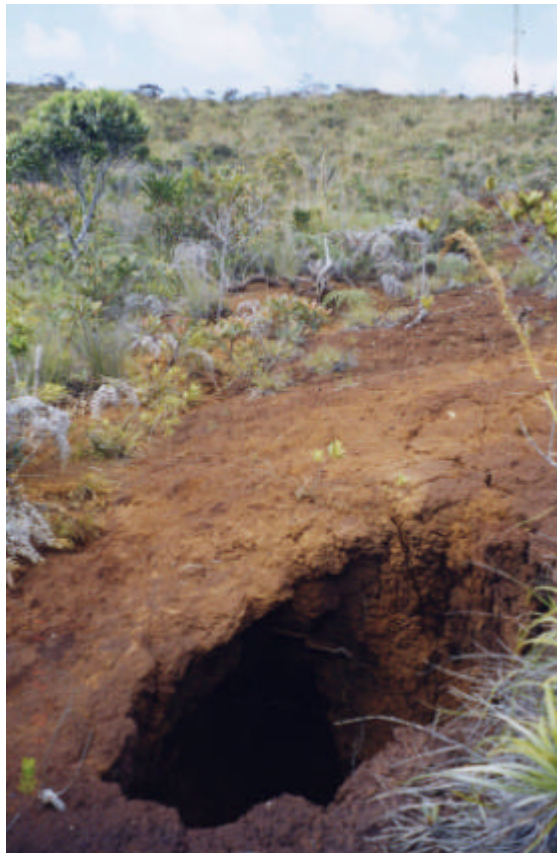


Photo 8 : Doline située environ 100 mètres à l'est de TBH028 au sommet de la Crête Sud (déc.2001)



Photo 9: Vue d'une cavité dans le roc suggérant une résurgence saisonnière possible sur le flanc sud-ouest de la Crête Sud (déc.2001)



Photo 10: Mesure des paramètres physico-chimiques dans le ruisseau de l'aire de stockage est des morts-terrains durant la saison sèche (déc.2001)



Photo 11: Ruisseau de l'aire de stockage est des morts-terrains s'écoulant sur la cuirasse de fer durant la saison sèche (déc. 2001)



Photo 12: Vue de la station d'échantillonnage TT-SW1 et de la rivière Wajana. Noter l'échantillonneur automatique dans le ruisseau au centre de la photo (déc. 2001).



Photo 13: Echantillonneur automatique installé sur un ruisseau s'écoulant vers la rivière Wajana (station d'échantillonnage TT-SW1) (déc.2001)



Photo 14: Vue du tube de l'échantillonneur automatique installé à la station TT-SW2 (déc. 2001)



Photo 15: Montage du tube de l'échantillonneur à la station TT-SW2
(l'échantillonneur automatique apparaît au coin supérieur gauche de la photo)
(déc.2001)

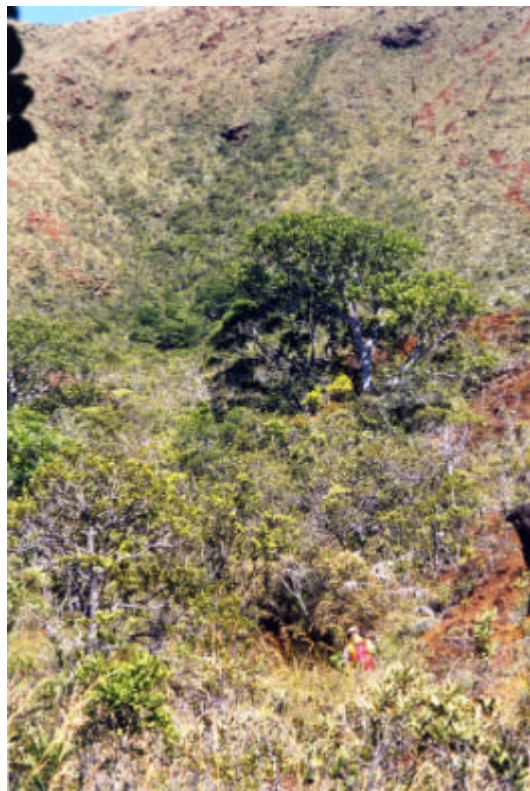


Photo 16: Vue de la station d'échantillonnage TT-SW2 (noter la végétation dense
autour de la source) (déc. 2001)



Photo 17: Résurgence à la station TT-SW3
(déc. 2001)

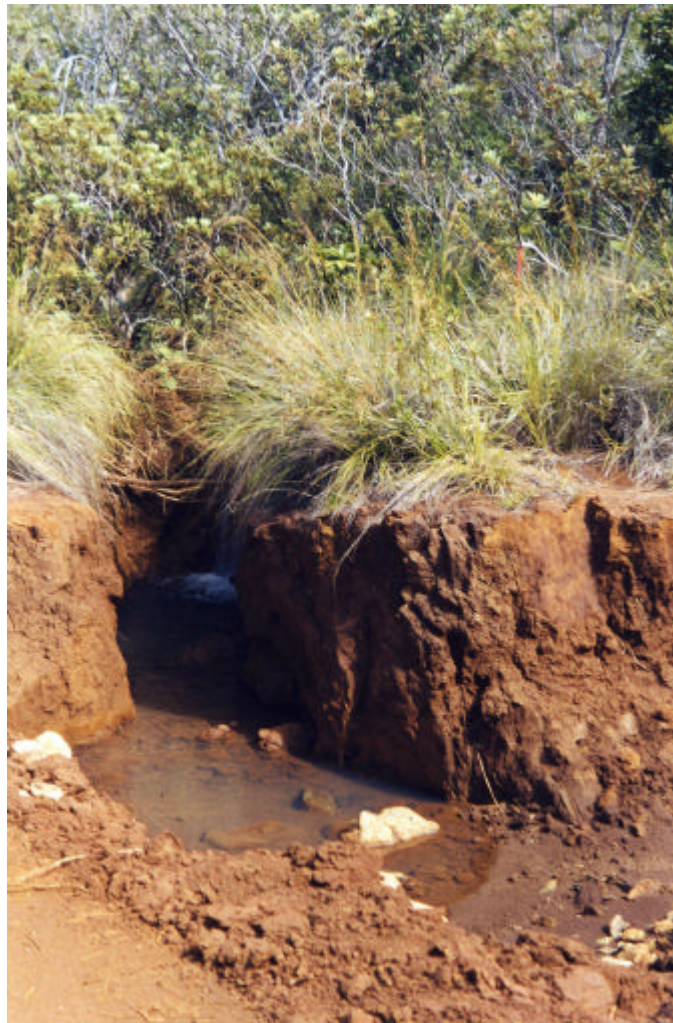


Photo 18: Station d'échantillonnage TT-SW6 durant la saison sèche (déc. 2001)



Photo 19: Préparation du sel de bromure de potassium avant mélange (pulvérisation)
(déc.2001)



Photo 20: Mélange de la solution de bromure de potassium
(déc.2001)



Photo 21: Injection du traceur dans le lit du ruisseau
(14 déc. 2001)



Photo 22: Doline de l'aire de stockage est des résidus remplie d'eau
(janv. 2002)



Photo 23: Débit de 40 L/s pénétrant dans la doline de l'aire de stockage est des morts-terrains (janv. 2002)



Photo 24: Résurgence d'eau souterraine sous pression à travers la limonite en amont de la station TT-SW9 (fév.2002)



Photo 25: Résurgence d'eau souterraine à travers la limonite en amont de la station TT-SW9 (fév. 2002)



Photo 26: Large fracture ouverte près de la doline du bassin versant de l'ancienne mine (fév. 2002)

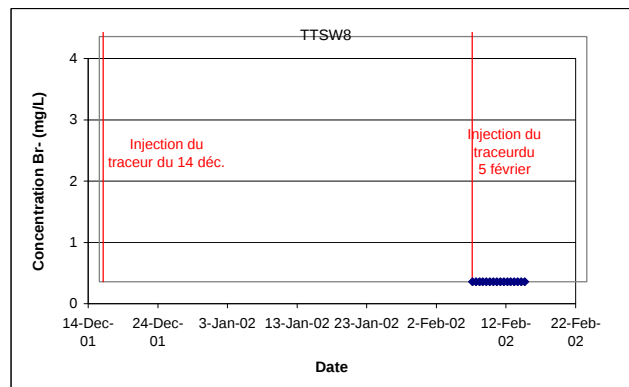
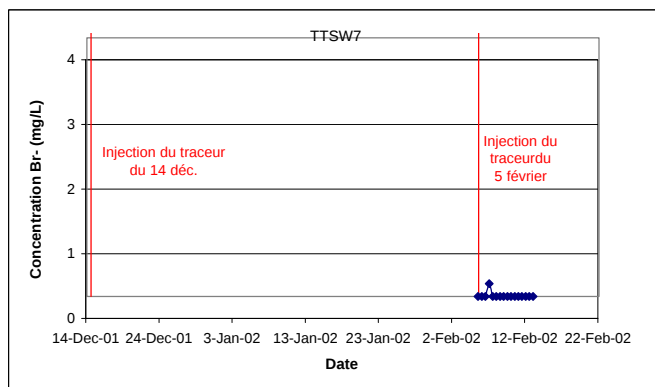
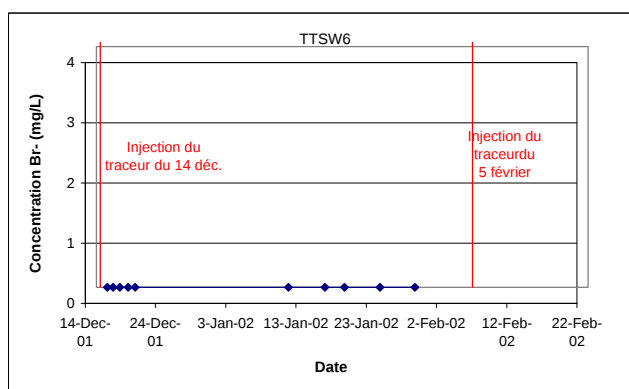
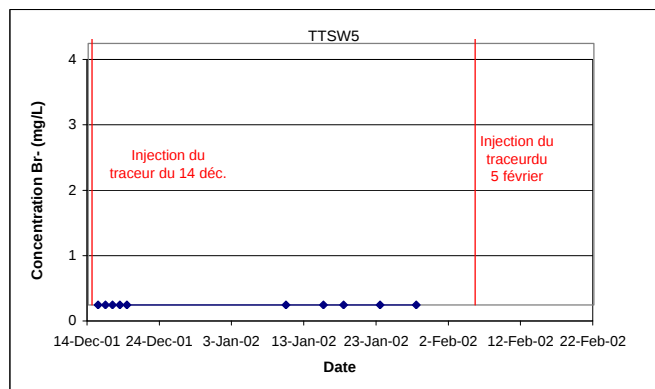
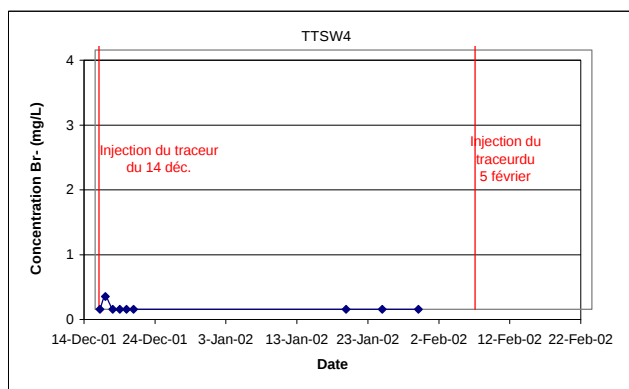
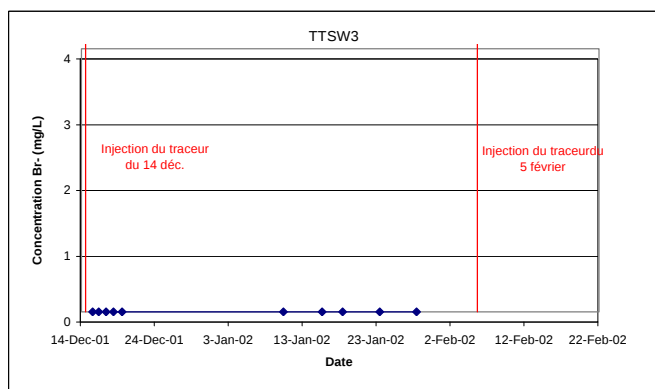
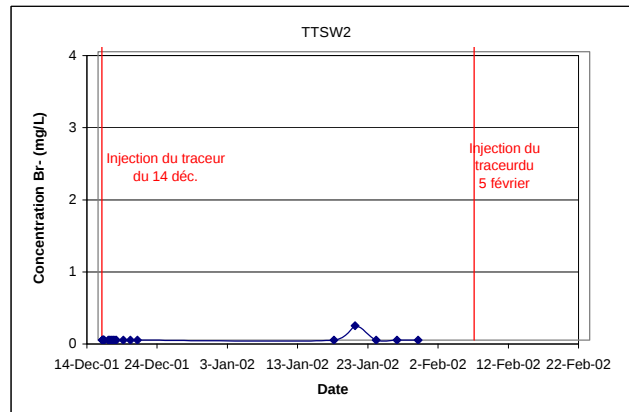
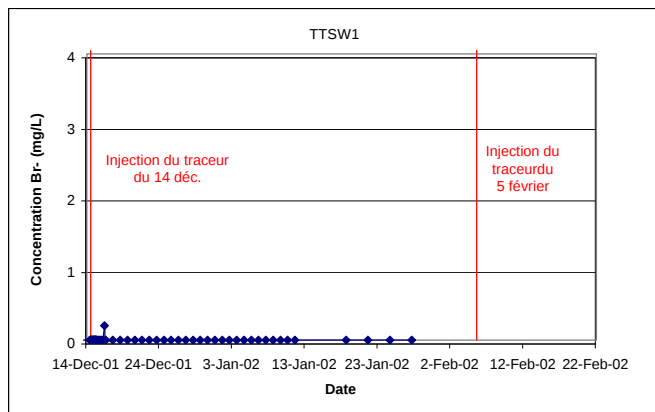


Photo 27: Doline principale du bassin versant de l'ancienne mine
(fév. 2002)

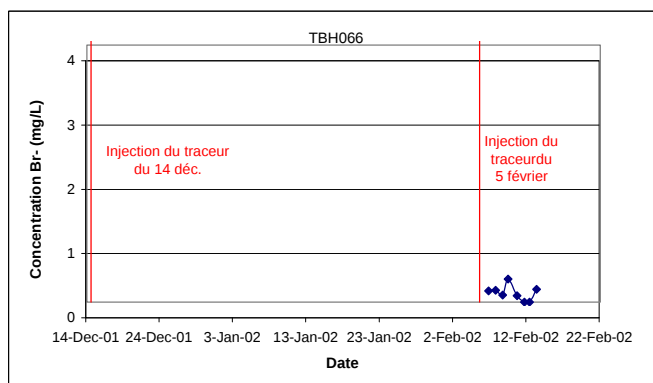
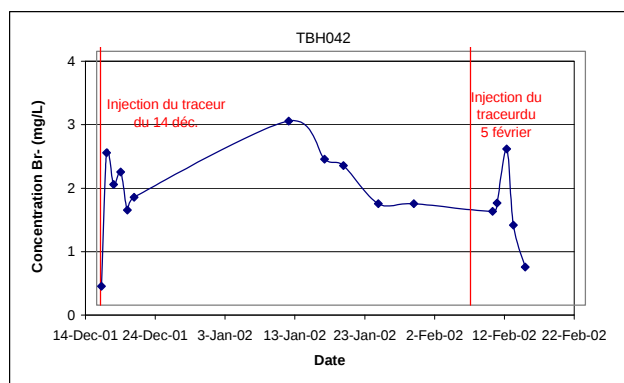
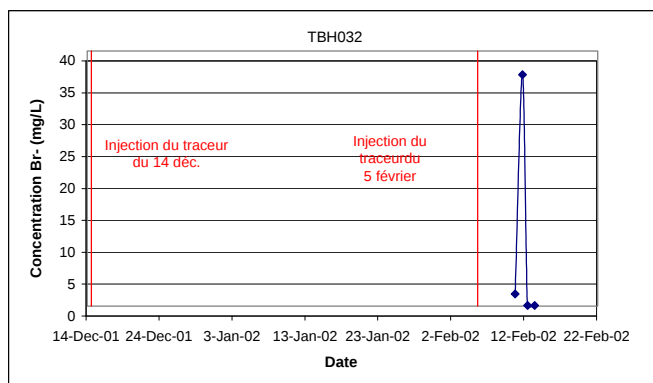
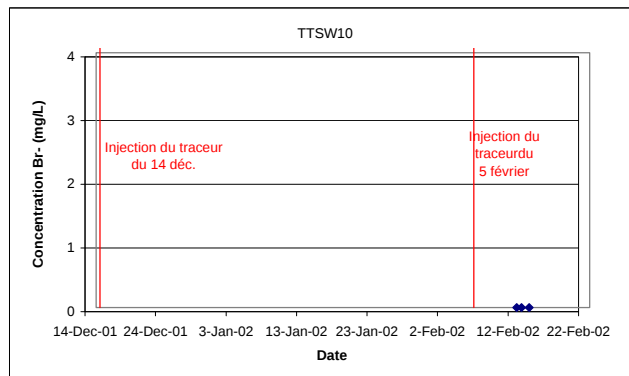
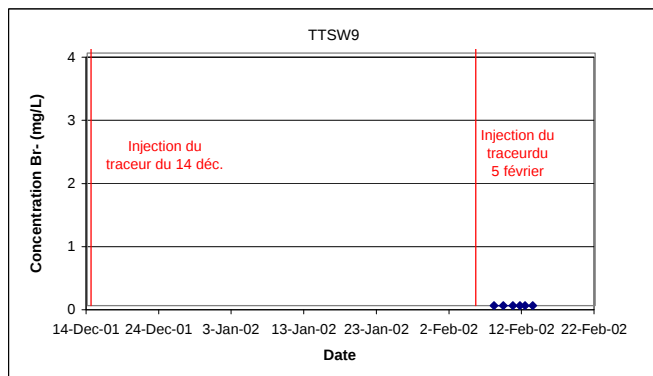
ANNEXE B

RÉSULTATS D'ANALYSE DU BROMURE - SPECTROPHOTOMÈTRE SUR LE TERRAIN ET RÉSULTATS DU LABORATOIRE ALS

**CONCENTRATION DE TRACEUR EN FONCTION DU TEMPS AUX STATIONS TT-SW1
A TT-SW10 ET AUX PIEZOMETRE TBH-032, TBH042 ET TBH066**



**CONCENTRATION DE TRACEUR EN FONCTION DU TEMPS AUX STATIONS TT-SW1
A TT-SW10 ET AUX PIEZOMETRE TBH-032, TBH042 ET TBH066**



ANNEXE B.1: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
SPECTROPHOTOMETRE DE TERRAIN

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date/heure	Analyse de terrain		Coordonnées	
				Absorbance	Concentration interprétée (mg/L)	Est (m)	Nord (m)
TBH042	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00		0.20	705423	7532612
TBH042	15-Dec-01	10:00	15/12/2001 10:00		0.90		
TBH042	16-Dec-01	10:40	16/12/2001 10:40		1.84		
TBH042	17-Dec-01	10:00	17/12/2001 10:00		0.96		
TBH042	18-Dec-01	9:10	18/12/2001 9:10		<0.02		
TBH042	19-Dec-01	9:00	19/12/2001 9:00		1.41		
TBH042	10-Jan-02	12:00	10/01/2002 12:00	0.489			
TBH042	15-Jan-02	15:00	15/01/2002 15:00	0.573			
TBH042	18-Jan-02	8:25	18/01/2002 8:25	0.668			
TBH042	23-Jan-02	10:00	23/01/2002 10:00	0.743			
TBH042	28-Jan-02	10:15	28/01/2002 10:15	0.53			
TTSW1	12-Dec-01	12:00	12/12/2001 12:00		0.37	706739	7533085
TTSW1	14-Dec-01	14:00	14/12/2001 14:00	0.308			
TTSW1	14-Dec-01	15:00	14/12/2001 15:00	0.048			
TTSW1	14-Dec-01	16:00	14/12/2001 16:00	0.38			
TTSW1	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00	0.347			
TTSW1	14-Dec-01	18:00	14/12/2001 18:00	0.028			
TTSW1	14-Dec-01	19:00	14/12/2001 19:00	0.505			
TTSW1	14-Dec-01	20:00	14/12/2001 20:00	0.522			
TTSW1	14-Dec-01	21:00	14/12/2001 21:00	0.345			
TTSW1	14-Dec-01	22:00	14/12/2001 22:00	0.307			
TTSW1	14-Dec-01	23:00	14/12/2001 23:00	0.239			
TTSW1	14-Dec-01	24:00:00	15/12/2001 0:00	0.234			
TTSW1	15-Dec-01	1:00	15/12/2001 1:00	0.183			
TTSW1	15-Dec-01	2:00	15/12/2001 2:00	0.268			
TTSW1	15-Dec-01	3:00	15/12/2001 3:00	0.229			
TTSW1	15-Dec-01	4:00	15/12/2001 4:00	0.23			
TTSW1	15-Dec-01	5:00	15/12/2001 5:00	0.303			
TTSW1	15-Dec-01	6:00	15/12/2001 6:00	0.295			
TTSW1	15-Dec-01	7:00	15/12/2001 7:00	0.285			
TTSW1	15-Dec-01	8:00	15/12/2001 8:00	0.328			
TTSW1	15-Dec-01	9:00	15/12/2001 9:00	0.306			
TTSW1	15-Dec-01	10:00	15/12/2001 10:00	0.313			
TTSW1	15-Dec-01	14:00	15/12/2001 14:00	0.357			
TTSW1	15-Dec-01	18:00	15/12/2001 18:00	0.396			
TTSW1	15-Dec-01	22:00	15/12/2001 22:00	0.424			
TTSW1	16-Dec-01	2:00	16/12/2001 2:00	0.302			
TTSW1	16-Dec-01	6:00	16/12/2001 6:00	0.28			
TTSW1	16-Dec-01	10:00	16/12/2001 10:00	0.239			
TTSW1	16-Dec-01	14:00	16/12/2001 14:00	0.204			
TTSW1	17-Dec-01	14:00	17/12/2001 14:00	0.168			
TTSW1	18-Dec-01	14:00	18/12/2001 14:00	0.194			
TTSW1	19-Dec-01	14:00	19/12/2001 14:00	0.176			
TTSW1	20-Dec-01	14:00	20/12/2001 14:00	0.343			
TTSW1	21-Dec-01	14:00	21/12/2001 14:00	NR			
TTSW1	22-Dec-01	14:00	22/12/2001 14:00	NR			
TTSW1	23-Dec-01	14:00	23/12/2001 14:00	0.375			
TTSW1	24-Dec-01	14:00	24/12/2001 14:00	0.268			
TTSW1	25-Dec-01	14:00	25/12/2001 14:00	0.38			
TTSW1	26-Dec-01	14:00	26/12/2001 14:00	0.47			
TTSW1	27-Dec-01	14:00	27/12/2001 14:00	0.416			
TTSW1	28-Dec-01	14:00	28/12/2001 14:00	0.431			
TTSW1	29-Dec-01	14:00	29/12/2001 14:00	0.45			
TTSW1	30-Dec-01	14:00	30/12/2001 14:00	0.626			
TTSW1	31-Dec-01	14:00	31/12/2001 14:00	0.637			
TTSW1	1-Jan-02	14:00	1/01/2002 14:00	0.664			
TTSW1	2-Jan-02	14:00	2/01/2002 14:00	0.681			
TTSW1	3-Jan-02	14:00	3/01/2002 14:00	0.627			
TTSW1	4-Jan-02	14:00	4/01/2002 14:00	0.672			
TTSW1	5-Jan-02	14:00	5/01/2002 14:00	0.638			
TTSW1	6-Jan-02	14:00	6/01/2002 14:00	0.691			
TTSW1	7-Jan-02	14:00	7/01/2002 14:00	0.536			
TTSW1	8-Jan-02	14:00	8/01/2002 14:00	0.511			
TTSW1	9-Jan-02	14:00	9/01/2002 14:00	0.568			
TTSW1	10-Jan-02	14:00	10/01/2002 14:00	0.541			
TTSW1	11-Jan-02	14:00	11/01/2002 14:00	0.556			
TTSW1	18-Jan-02	14:00	18/01/2002 14:00	0.578			
TTSW1	21-Jan-02	14:00	21/01/2002 14:00	0.584			
TTSW1	24-Jan-02	14:00	24/01/2002 14:00	0.599			
TTSW1	27-Jan-02	14:00	27/01/2002 14:00	0.593			
TTSW2	14-Dec-01	14:00	14/12/2001 14:00	0.666		705711	7532034
TTSW2	14-Dec-01	15:00	14/12/2001 15:00	0.651			
TTSW2	14-Dec-01	16:00	14/12/2001 16:00	0.661			
TTSW2	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00	0.67			

ANNEXE B.1: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
SPECTROPHOTOMETRE DE TERRAIN

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date/heure	Analyse de terrain		Coordonnées	
				Absorbance	Concentration interprétée (mg/L)	Est (m)	Nord (m)
TTSW2	14-Dec-01	18:00	14/12/2001 18:00	0.673			
TTSW2	14-Dec-01	19:00	14/12/2001 19:00	0.673			
TTSW2	14-Dec-01	20:00	14/12/2001 20:00	0.662			
TTSW2	15-Dec-01	11:00	15/12/2001 11:00		0.39		
TTSW2	15-Dec-01	14:00	15/12/2001 14:00		<0.02		
TTSW2	15-Dec-01	18:00	15/12/2001 18:00		0.30		
TTSW2	15-Dec-01	22:00	15/12/2001 22:00		0.18		
TTSW2	16-Dec-01	2:00	16/12/2001 2:00		0.19		
TTSW2	16-Dec-01	6:00	16/12/2001 6:00		<0.02		
TTSW2	16-Dec-01	10:00	16/12/2001 10:00		0.07		
TTSW2	16-Dec-01	14:00	16/12/2001 14:00		<0.02		
TTSW2	17-Dec-01	14:00	17/12/2001 14:00		0.03		
TTSW2	18-Dec-01	14:00	18/12/2001 14:00		0.23		
TTSW2	16-Jan-02	14:00	16/01/2002 14:00	0.386			
TTSW2	22-Jan-02	14:00	22/01/2002 14:00	0.528			
TTSW2	25-Jan-02	14:00	25/01/2002 14:00	0.607			
TTSW2	28-Jan-02	14:00	28/01/2002 14:00	0.563			
TTSW3	14-Dec-01	16:00	14/12/2001 16:00		0.18	704150	7531409
TTSW3	15-Dec-01	12:30	15/12/2001 12:30		0.52		
TTSW3	16-Dec-01	8:30	16/12/2001 8:30		0.32		
TTSW3	17-Dec-01	8:00	17/12/2001 8:00		0.56		
TTSW3	18-Dec-01	8:00	18/12/2001 8:00		0.52		
TTSW3	19-Dec-01	12:00	19/12/2001 12:00		<0.02		
TTSW4	15-Dec-01	11:00	15/12/2001 11:00		<0.02	705819	7532028
TTSW4	16-Dec-01	11:30	16/12/2001 11:30		0.24		
TTSW4	17-Dec-01	11:15	17/12/2001 11:15		0.19		
TTSW4	18-Dec-01	9:50	18/12/2001 9:50		0.22		
TTSW4	19-Dec-01	9:45	19/12/2001 9:45		<0.02		
TTSW6	15-Dec-01	13:00	15/12/2001 13:00		0.28	701994	7531623
TTSW6	16-Dec-01	8:20	16/12/2001 8:20		0.29		
TTSW6	17-Dec-01	8:15	17/12/2001 8:15		0.27		
TTSW6	18-Dec-01	11:50	18/12/2001 11:50		0.22		
TTSW6	19-Dec-01	12:15	19/12/2001 12:15		0.06		

ANNEXE B.2: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
LABORATOIRE ALS

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date et heure	Concentration de bromure(mg/L)	Coordonnées	
					Est (m)	Nord (m)
TBH032	10-Feb-02	16:20	10/02/2002 16:20	1.9	703756	7532184
TBH032	11-Feb-02	16:30	11/02/2002 16:30	36.3		
TBH032	12-Feb-02	9:20	12/02/2002 9:20	0.1		
TBH032	13-Feb-02	8:30	13/02/2002 8:30	0.1		
TBH042	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00	0.3	705423	7532612
TBH042	15-Dec-01	10:00	15/12/2001 10:00	2.4		
TBH042	16-Dec-01	10:40	16/12/2001 10:40	1.9		
TBH042	17-Dec-01	10:00	17/12/2001 10:00	2.1		
TBH042	18-Dec-01	9:10	18/12/2001 9:10	1.5		
TBH042	19-Dec-01	9:00	19/12/2001 9:00	1.7		
TBH042	10-Jan-02	12:00	10/01/2002 12:00	2.9		
TBH042	15-Jan-02	15:00	15/01/2002 15:00	2.3		
TBH042	18-Jan-02	8:25	18/01/2002 8:25	2.2		
TBH042	23-Jan-02	10:00	23/01/2002 10:00	1.6		
TBH042	28-Jan-02	10:15	28/01/2002 10:15	1.6		
TBH042	8-Feb-02	17:10	8/02/2002 17:10	1.5		
TBH042	9-Feb-02	8:50	9/02/2002 8:50	1.6		
TBH042	10-Feb-02	17:00	10/02/2002 17:00	2.5		
TBH042	11-Feb-02	17:00	11/02/2002 17:00	1.3		
TBH042	13-Feb-02	9:30	13/02/2002 9:30	0.6		
TBH066	6-Feb-02	18:30	6/02/2002 18:30	0.2	703961	7532261
TBH066	7-Feb-02	18:00	7/02/2002 18:00	0.2		
TBH066	8-Feb-02	16:20	8/02/2002 16:20	0.1		
TBH066	9-Feb-02	9:50	9/02/2002 9:50	0.4		
TBH066	10-Feb-02	16:00	10/02/2002 16:00	0.1		
TBH066	11-Feb-02	16:10	11/02/2002 16:10	<0.1		
TBH066	12-Feb-02	9:00	12/02/2002 9:00	<0.1		
TBH066	13-Feb-02	7:50	13/02/2002 7:50	0.2		
TTSW1	14-Dec-01	14:00	14/12/2001 14:00	<0.1	706739	7533085
TTSW1	14-Dec-01	15:00	14/12/2001 15:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	16:00	14/12/2001 16:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	18:00	14/12/2001 18:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	19:00	14/12/2001 19:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	20:00	14/12/2001 20:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	21:00	14/12/2001 21:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	22:00	14/12/2001 22:00	<0.1		
TTSW1	14-Dec-01	23:00	14/12/2001 23:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	0:00	15/12/2001 0:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	1:00	15/12/2001 1:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	2:00	15/12/2001 2:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	3:00	15/12/2001 3:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	4:00	15/12/2001 4:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	5:00	15/12/2001 5:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	6:00	15/12/2001 6:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	7:00	15/12/2001 7:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	8:00	15/12/2001 8:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	10:00	15/12/2001 10:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	14:00	15/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	18:00	15/12/2001 18:00	<0.1		
TTSW1	15-Dec-01	22:00	15/12/2001 22:00	<0.1		

ANNEXE B.2: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
LABORATOIRE ALS

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date et heure	Concentration de bromure(mg/L)	Coordonnées	
					Est (m)	Nord (m)
TTSW1	16-Dec-01	2:00	16/12/2001 2:00	<0.1		
TTSW1	16-Dec-01	6:00	16/12/2001 6:00	<0.1		
TTSW1	16-Dec-01	10:00	16/12/2001 10:00	0.2		
TTSW1	16-Dec-01	14:00	16/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	17-Dec-01	14:00	17/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	18-Dec-01	14:00	18/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	19-Dec-01	14:00	19/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	20-Dec-01	14:00	20/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	21-Dec-01	14:00	21/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	22-Dec-01	14:00	22/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	23-Dec-01	14:00	23/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	24-Dec-01	14:00	24/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	25-Dec-01	14:00	25/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	26-Dec-01	14:00	26/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	27-Dec-01	14:00	27/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	28-Dec-01	14:00	28/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	29-Dec-01	14:00	29/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	30-Dec-01	14:00	30/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	31-Dec-01	14:00	31/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW1	1-Jan-02	14:00	1/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	2-Jan-02	14:00	2/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	3-Jan-02	14:00	3/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	4-Jan-02	14:00	4/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	5-Jan-02	14:00	5/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	6-Jan-02	14:00	6/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	7-Jan-02	14:00	7/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	8-Jan-02	14:00	8/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	9-Jan-02	14:00	9/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	10-Jan-02	14:00	10/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	11-Jan-02	14:00	11/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW1	18-Jan-02	15:00	18/01/2002 15:00	<0.1		
TTSW1	21-Jan-02	15:00	21/01/2002 15:00	<0.1		
TTSW1	24-Jan-02	15:00	24/01/2002 15:00	<0.1		
TTSW1	27-Jan-02	15:00	27/01/2002 15:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	14:00	14/12/2001 14:00	<0.1	705711	7532034
TTSW2	14-Dec-01	15:00	14/12/2001 15:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	17:00	14/12/2001 17:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	18:00	14/12/2001 18:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	19:00	14/12/2001 19:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	20:00	14/12/2001 20:00	<0.1		
TTSW2	14-Dec-01	21:00	14/12/2001 21:00	<0.1		
TTSW2	15-Dec-01	11:00	15/12/2001 11:00	<0.1		
TTSW2	15-Dec-01	14:00	15/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW2	15-Dec-01	18:00	15/12/2001 18:00	<0.1		
TTSW2	15-Dec-01	22:00	15/12/2001 22:00	<0.1		
TTSW2	16-Dec-01	2:00	16/12/2001 2:00	<0.1		
TTSW2	16-Dec-01	6:00	16/12/2001 6:00	<0.1		
TTSW2	16-Dec-01	10:00	16/12/2001 10:00	<0.1		
TTSW2	16-Dec-01	14:00	16/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW2	17-Dec-01	14:00	17/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW2	18-Dec-01	14:00	18/12/2001 14:00	<0.1		

ANNEXE B.2: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
LABORATOIRE ALS

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date et heure	Concentration de bromure(mg/L)	Coordonnées	
					Est (m)	Nord (m)
TTSW2	19-Dec-01	14:00	19/12/2001 14:00	<0.1		
TTSW2	16-Jan-02	14:00	16/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW2	19-Jan-02	14:00	19/01/2002 14:00	0.2		
TTSW2	22-Jan-02	14:00	22/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW2	25-Jan-02	14:00	25/01/2002 14:00	<0.1		
TTSW2	28-Jan-02	13:50	28/01/2002 13:50	<0.1		
TTSW3	15-Dec-01	12:30	15/12/2001 12:30	<0.1	704150	7531409
TTSW3	16-Dec-01	8:30	16/12/2001 8:30	<0.1		
TTSW3	17-Dec-01	8:00	17/12/2001 8:00	<0.1		
TTSW3	18-Dec-01	8:00	18/12/2001 8:00	<0.1		
TTSW3	19-Dec-01	12:00	19/12/2001 12:00	<0.1		
TTSW3	10-Jan-02	8:00	10/01/2002 8:00	<0.1		
TTSW3	15-Jan-02	13:00	15/01/2002 13:00	<0.1		
TTSW3	18-Jan-02	7:30	18/01/2002 7:30	<0.1		
TTSW3	23-Jan-02	8:30	23/01/2002 8:30	<0.1		
TTSW3	28-Jan-02	8:10	28/01/2002 8:10	<0.1		
TTSW4	14-Dec-01	16:00	14/12/2001 16:00	<0.1	705819	7532028
TTSW4	15-Dec-01	11:00	15/12/2001 11:00	0.2		
TTSW4	16-Dec-01	11:30	16/12/2001 11:30	<0.1		
TTSW4	17-Dec-01	11:15	17/12/2001 11:15	<0.1		
TTSW4	18-Dec-01	9:50	18/12/2001 9:50	<0.1		
TTSW4	19-Dec-01	9:45	19/12/2001 9:45	<0.1		
TTSW4	18-Jan-02	9:00	18/01/2002 9:00	<0.1		
TTSW4	23-Jan-02	11:15	23/01/2002 11:15	<0.1		
TTSW4	28-Jan-02	13:20	28/01/2002 13:20	<0.1		
TTSW5	15-Dec-01	9:00	15/12/2001 9:00	<0.1	706 710	7 533 130
TTSW5	16-Dec-01	9:30	16/12/2001 9:30	<0.1		
TTSW5	17-Dec-01	9:20	17/12/2001 9:20	<0.1		
TTSW5	18-Dec-01	8:45	18/12/2001 8:45	<0.1		
TTSW5	19-Dec-01	8:50	19/12/2001 8:50	<0.1		
TTSW5	10-Jan-02	9:00	10/01/2002 9:00	<0.1		
TTSW5	15-Jan-02	13:35	15/01/2002 13:35	<0.1		
TTSW5	18-Jan-02	8:05	18/01/2002 8:05	<0.1		
TTSW5	23-Jan-02	9:20	23/01/2002 9:20	<0.1		
TTSW5	28-Jan-02	9:35	28/01/2002 9:35	<0.1		
TTSW6	15-Dec-01	13:00	15/12/2001 13:00	<0.1	701994	7531623
TTSW6	16-Dec-01	8:20	16/12/2001 8:20	<0.1		
TTSW6	17-Dec-01	8:15	17/12/2001 8:15	<0.1		
TTSW6	18-Dec-01	11:50	18/12/2001 11:50	<0.1		
TTSW6	19-Dec-01	12:15	19/12/2001 12:15	<0.1		
TTSW6	10-Jan-02	8:15	10/01/2002 8:15	<0.1		
TTSW6	15-Jan-02	13:10	15/01/2002 13:10	<0.1		
TTSW6	18-Jan-02	7:40	18/01/2002 7:40	<0.1		
TTSW6	23-Jan-02	8:40	23/01/2002 8:40	<0.1		
TTSW6	28-Jan-02	8:35	28/01/2002 8:35	<0.1		
TTSW07	5-Feb-02	11:20	5/02/2002 11:20	<0.1	703871	7532221
TTSW07	5-Feb-02	23:20	5/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	6-Feb-02	11:20	6/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	6-Feb-02	23:20	6/02/2002 23:20	0.2		

ANNEXE B.2: RESULTATS ANALYTIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES
LABORATOIRE ALS

Station d'échantillonnage	Date	Heure	Date et heure	Concentration de bromure(mg/L)	Coordonnées	
					Est (m)	Nord (m)
TTSW07	7-Feb-02	11:20	7/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	7-Feb-02	23:20	7/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	8-Feb-02	11:20	8/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	8-Feb-02	23:20	8/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	9-Feb-02	11:20	9/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	9-Feb-02	23:20	9/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	10-Feb-02	11:20	10/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	10-Feb-02	23:20	10/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	11-Feb-02	11:20	11/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	11-Feb-02	23:20	11/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW07	12-Feb-02	11:20	12/02/2002 11:20	<0.1		
TTSW07	12-Feb-02	23:20	12/02/2002 23:20	<0.1		
TTSW08	5-Feb-02	14:00	5/02/2002 14:00	<0.1	703500	7531628
TTSW08	6-Feb-02	2:00	6/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	6-Feb-02	14:00	6/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	7-Feb-02	2:00	7/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	7-Feb-02	14:00	7/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	8-Feb-02	2:00	8/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	8-Feb-02	14:00	8/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	9-Feb-02	2:00	9/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	9-Feb-02	14:00	9/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	10-Feb-02	2:00	10/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	10-Feb-02	14:00	10/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	11-Feb-02	2:00	11/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	11-Feb-02	14:00	11/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	12-Feb-02	2:00	12/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW08	12-Feb-02	14:00	12/02/2002 14:00	<0.1		
TTSW08	13-Feb-02	2:00	13/02/2002 2:00	<0.1		
TTSW09	8-Feb-02	1:45	8/02/2002 1:45	<0.1	704105	7531495
TTSW09	9-Feb-02	7:45	9/02/2002 7:45	<0.1		
TTSW09	10-Feb-02	15:30	10/02/2002 15:30	<0.1		
TTSW09	11-Feb-02	15:15	11/02/2002 15:15	<0.1		
TTSW09	12-Feb-02	7:40	12/02/2002 7:40	<0.1		
TTSW09	13-Feb-02	10:05	13/02/2002 10:05	<0.1		
TTSW10	11-Feb-02	15:30	11/02/2002 15:30	<0.1	704110	7531468
TTSW10	12-Feb-02	7:50	12/02/2002 7:50	<0.1		
TTSW10	13-Feb-02	10:10	13/02/2002 10:10	<0.1		

Les annexes suivantes du présent document peuvent être consultées à la Direction de l'Environnement de Goro Nickel SA – 5 rue Paul Doumer – Nouméa – Nouvelle-Calédonie:

Annexe C Fiche signalétique du Bromure de Potassium

Annexe D Cartificats d'analyse – Laboratoire ALS

ANNEXE E

SCHÉMAS D'INSTALLATION DES PIÉZOMÈTRES ***(PIEZOMÈTRES TBH032, TBH042 ET TBH066)***



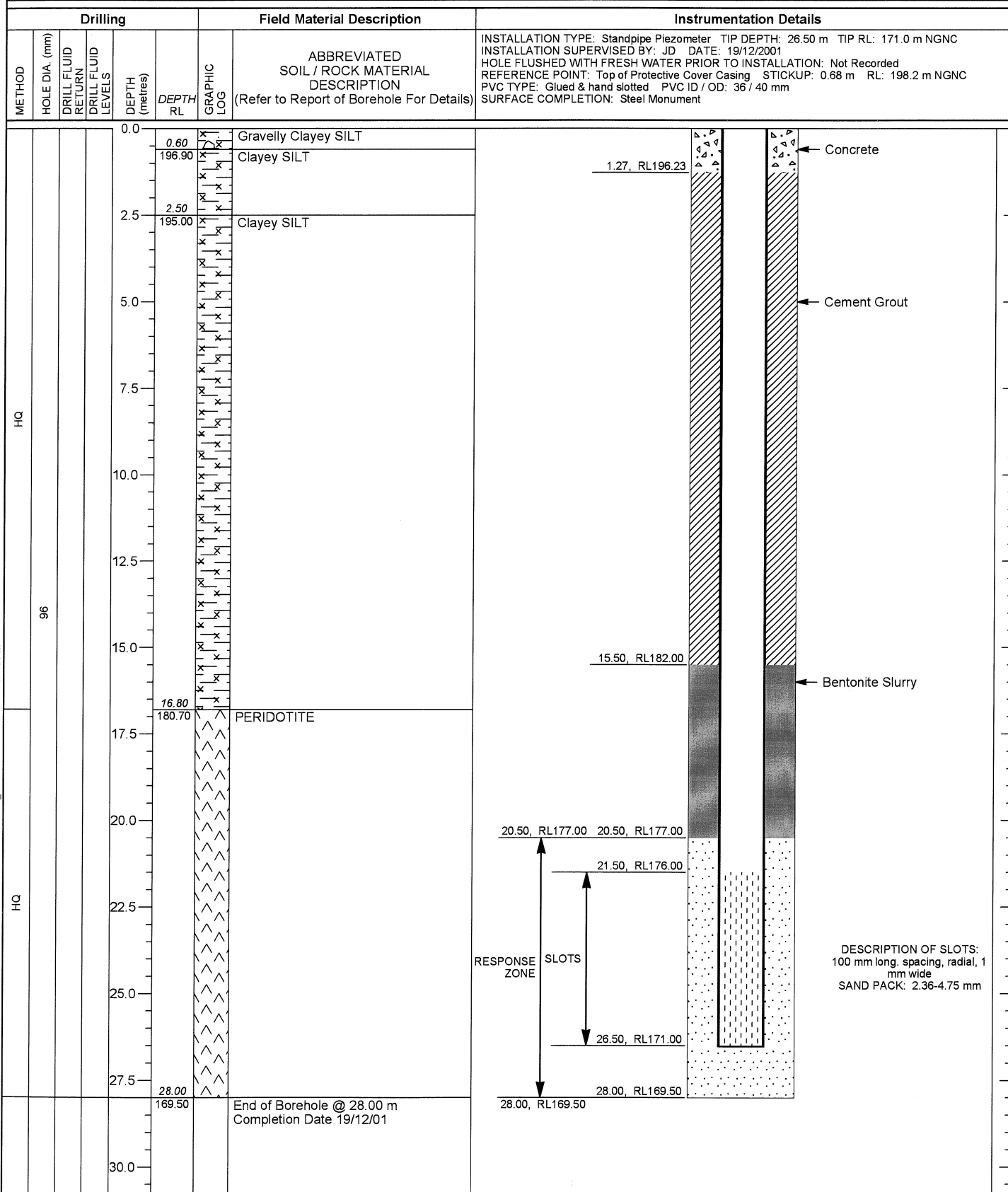
REPORT OF BOREHOLE INSTALLATION: TBH032 PRELIMINARY Rev. 2.1

SHEET: 1 OF 1

CLIENT: BTH
PROJECT: Goro Nickel Project
LOCATION: East Kwe Tailings Area
JOB NO: 01639018

COORDS: 703756.2 m E 7532184.4 m N 58 IGN72
SURFACE RL: 197.5 m DATUM: NGNC
INCLINATION: -90°
HOLE DEPTH: 28.00 m

DRILL RIG: Hydra Core 28
DRILLER: Forapac
LOGGED: JD DATE: 17/12/01
CHECKED: DATE:



This report of borehole installation must be read in conjunction with accompanying notes and abbreviations. It has been prepared for geotechnical purposes only, without attempt to assess possible contamination. Any references to potential contamination are for information only and do not necessarily indicate the presence or absence of soil or groundwater contamination.

GAP gINT FN. F17
RL0



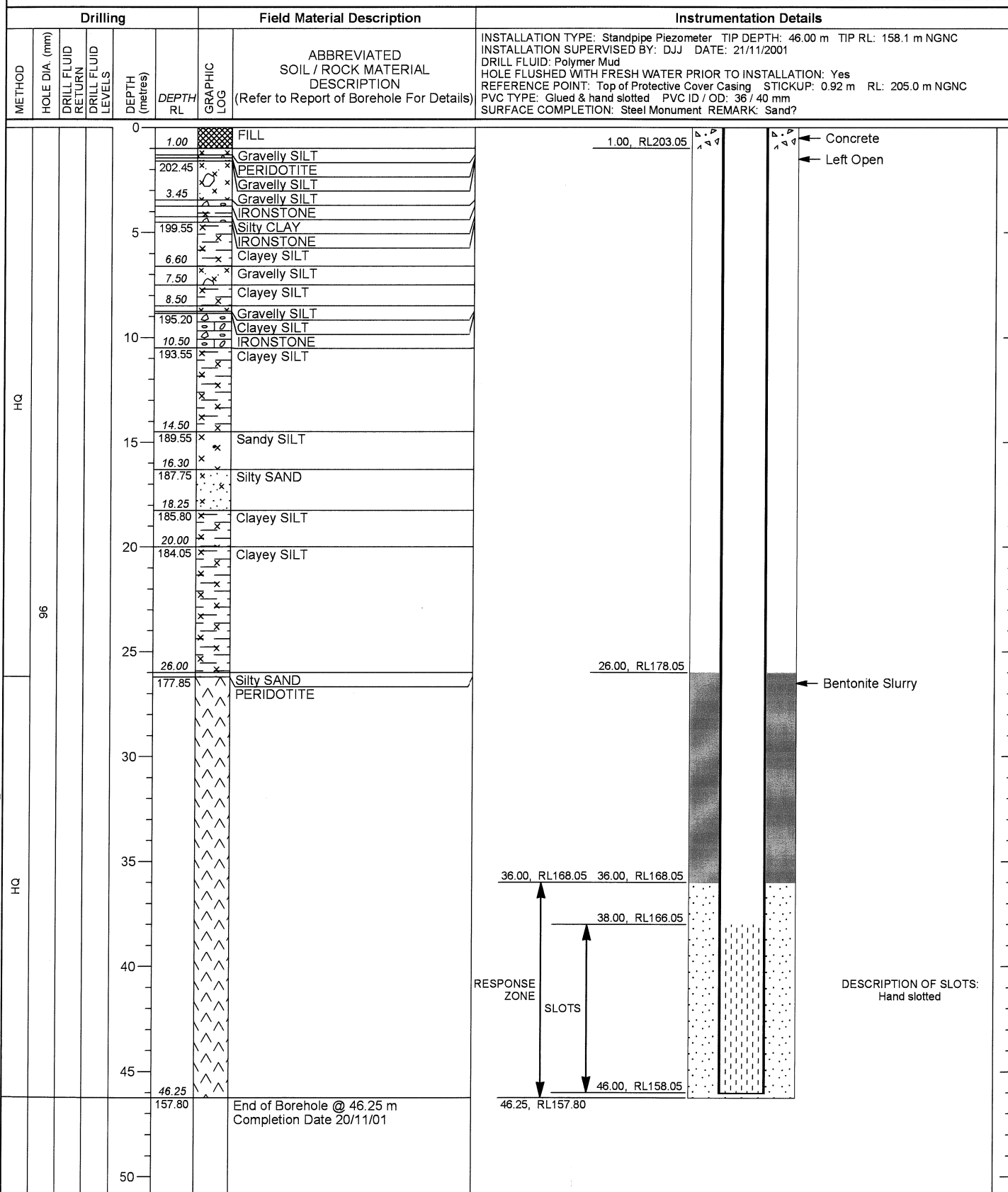
REPORT OF BOREHOLE INSTALLATION: TBH042 PRELIMINARY Rev. 2.1

SHEET: 1 OF 1

CLIENT: BTH
PROJECT: Goro Nickel Project
LOCATION: East Overburden Dump
JOB NO: 01639018

COORDS: 705423.8 m E 7532622.3 m N 58 IGN72
SURFACE RL: 204.1 m DATUM: NGNC
INCLINATION: -90°
HOLE DEPTH: 46.25 m

DRILL RIG: Fox Mobile B40
DRILLER: Forapac
LOGGED: GM/ALF/DW DATE: 12/11/01
CHECKED: DATE:



This report of borehole installation must be read in conjunction with accompanying notes and abbreviations. It has been prepared for geotechnical purposes only, without attempt to assess possible contamination. Any references to potential contamination are for information only and do not necessarily indicate the presence or absence of soil or groundwater contamination.



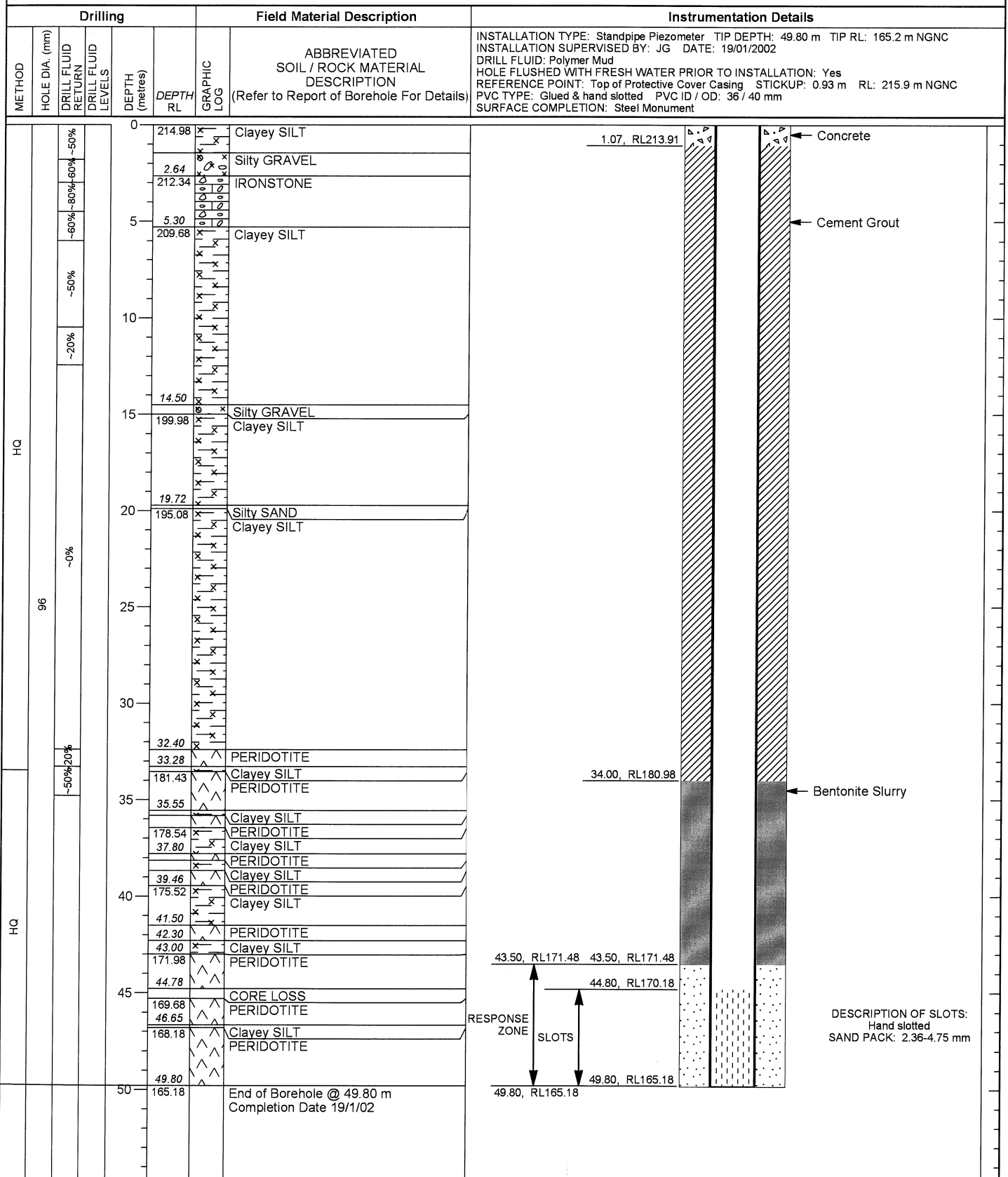
REPORT OF BOREHOLE INSTALLATION: TBH066 PRELIMINARY Rev. 2.1

SHEET: 1 OF 1

CLIENT: BTH
PROJECT: Goro Nickel Project
LOCATION: East Kwe Tailings Area
JOB NO: 01639018

COORDS: 703961.0 m E 7532260.5 m N 58 IGN72
SURFACE RL: 215.0 m DATUM: NGNC
INCLINATION: -90°
HOLE DEPTH: 49.80 m

DRILL RIG: Reska R30 CDS
DRILLER: Forapac
LOGGED: JG DATE: 15/1/02
CHECKED: DATE:



This report of borehole installation must be read in conjunction with accompanying notes and abbreviations. It has been prepared for geotechnical purposes only, without attempt to assess possible contamination. Any references to potential contamination are for information only and do not necessarily indicate the presence or absence of soil or groundwater contamination.

GAP gINT FN. F17
RLO