

DDAE de la carrière de la Ravine du Trou

Etude hydrogéologique

Janvier 2016

83012 /A



SCPR

Boulevard de la Marine – B.P. n°57
97822 Le Port Cedex
Tél. : 0262 43 58 58

Présenté par

Antea Group Réunion

Métier Eau

55, rue Jules Auber

97400 Saint-Denis

Tél. : 0262 20 95 88

Fax : 0262 20 95 87

Sommaire

	Pages
1. CONTEXTE	4
2. SOURCES DOCUMENTAIRES	4
3. HYDROLOGIE.....	6
3.1. CONTEXTE GENERAL.....	6
3.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE LOCAL.....	6
3.2.1. <i>Aspects quantitatifs</i>	7
3.2.2. <i>Hydromorphologie</i>	8
3.2.3. <i>Qualité des eaux superficielles</i>	11
4. CONTEXTE GEOLOGIQUE	12
4.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL	12
4.2. RECONNAISSANCES DU SITE	15
5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	17
5.1. MASSE D’EAU « FORMATIONS VOLCANIQUES ET SEDIMENTAIRES DU LITTORAL DE LA PLANEZE OUEST » 17	
5.2. L’AQUIFERE VOLCANIQUE DE SAINT-LEU A ETANG SALE.....	22
5.2.1. <i>Géologie des forages</i>	24
5.2.2. <i>Comportement hydrogéologique de la nappe de base</i>	25
5.3. HYDROGEOLOGIE DU SITE.....	28
5.3.1. <i>Investigations complémentaires et données au droit du site</i>	28
5.3.2. <i>Evolutions piézométriques au droit du site</i>	33
5.3.3. <i>Relations avec le milieu marin</i>	36
5.3.4. <i>Qualité des eaux souterraines au droit du site</i>	40
5.3.5. <i>Inventaires des captages AEP, des points d’eau et usages de l’eau au voisinage du site</i> 42	
5.4. CONCLUSIONS	43
6. VULNERABILITE DE LA NAPPE.....	45
6.1. VULNERABILITE INTRINSEQUE.....	45
6.2. VULNERABILITE DE LA RESSOURCE EN L’ETAT ACTUEL	45
7. ETUDE D’INCIDENCE DES TIRS DE MINE DU PROJET SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE	47
7.1. RAPPEL DES PRINCIPES DU PROJET	47
7.2. CAMPAGNE D’ECHANTILLONNAGE DE MATERIAUX ISSUS D’UNE CARRIERE UTILISANT LE « NITRATE FUEL » (CARRIERE ETPC, KOUNGOU, MAYOTTE).....	47
7.2.1. <i>Objectif</i>	47
7.2.2. <i>Mode opératoire</i>	48
7.2.3. <i>Observations</i>	51
7.2.4. <i>Programme analytique</i>	52
7.3. RESULTATS D’ANALYSES	52
7.3.1. <i>Valeur de référence</i>	52
7.3.2. <i>Présentation des résultats</i>	55
7.3.3. <i>Interprétation des résultats</i>	55

7.4.	INCIDENCE DE L'UTILISATION D'EXPLOSIFS SUR LA RESSOURCE SOUTERRAINE.....	56
8.	AUTRES INCIDENCES SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE	57
8.1.	57
8.2.	INCIDENCE EN MATIERE DE PRELEVEMENTS	57
8.3.	INCIDENCE SUR L'ALIMENTATION DE LA NAPPE.....	57
8.4.	INCIDENCE SUR LA PIEZOMETRIE	57
8.5.	INCIDENCE QUALITATIVE DU PROJET SUR LA NAPPE	57
8.5.1.	<i>Pollutions accidentelles.....</i>	<i>57</i>
8.5.2.	<i>Pollutions chroniques.....</i>	<i>59</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Présentation des Bassins versants des deux principales ravines non pérennes à proximité du site.....	7
Figure 2 :	PDRE – Études géophysiques par sondages électriques sur le littoral et les hauteurs de Saint-Leu (BRGM – 85 DT 015 GPH) - extraits	14
Figure 3 :	Fiches masses d'eau	21
Figure 4:	Situation des points d'eau de Saint-Leu à Etang Salé	23
Figure 5 :	Evolutions piézométriques comparées des ouvrages du secteur	25
Figure 6 :	Evolutions piézométriques comparées des ouvrages de l'aquifère volcanique côtier ...	26
Figure 7 :	Piézométrie de la nappe de base au niveau du piézomètre P9 Fond Jardin (données OLE).	27
Figure 8 :	BSS - données hydrogéologiques disponibles proches du site	28
Figure 9 :	localisation des piézomètres du site (source rapport Chantier N° 15-23 FORINTECH, sans échelle)	29
Figure 10 :	Localisation du piézomètre du site	30
Figure 11 :	Coupe lithologique et technique du piézomètre du site	31
Figure 12 :	relevé géométriques des piézomètres.....	32
Figure 13 :	exemple d'analyse comparée mesures ponctuelles, mesures en continu	34
Figure 14 :	Evolution comparée piézomètre F8 Portail et Pz1.....	35
Figure 15 :	Evolutions piézométriques en continu au Pz1/RVT1 et Pz2/RVT2.....	36
Figure 16 :	log de conductivité sur le Pz2	37
Figure 17 :	localisation des anomalies thermiques.....	39
Figure 18 :	cartographie de synthèse des émergences localisées par thermographie Infra Rouge	40
Figure 19 :	Localisation des sites d'échantillonnage (source GoogleMap)	48
Figure 20 :	Echantillonnage sur FFT1 et FFT2	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Caractéristiques des bassins versants	8
Tableau 2 :	Calcul des débits de crues d'occurrence décennale et centennale.....	8
Tableau 3 :	Photos de la ravine des Avirons	9
Tableau 4 :	Photos de la ravine du Trou	10
Tableau 5 :	seuils de qualité des masses d'eau souterraines spécifiques à la Réunion.....	19
Tableau 6 :	Etat des masses d'eau souterraine	19
Tableau 7:	Points d'eau de l'aquifère volcanique (Saint-Leu, Etang-Salé)	22
Tableau 8 :	mesures piézométriques ponctuelles sur Pz1 (source EMC2)	34
Tableau 9 :	Synthèse des résultats d'analyses	42
Tableau 10 :	Echantillons prélevés lors de la campagne du 14 décembre 2015	49
Tableau 11 :	Echantillons prélevés lors de la campagne du 14 décembre 2015	49
Tableau 11 :	Programme analytique.....	52
Tableau 14 :	Statistiques élémentaires pour les 8 éléments (exprimés en mg.kg ⁻¹) sur les 70 échantillons de sols de l'île de La Réunion (source: tableau 7, du rapport BRGM RP-56576-FR)	53

Tableau 15 : Seuils d'acceptation de terres en Installation de Stockage de Déchets Inertes..... 53
Tableau 11 : Synthèse des résultats des prélèvements de sols 54

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1. Fiche d'échantillonnage des eaux
- Annexe 2. Fiche d'échantillonnage des sols
- Annexe 3 – Résultats d'analyses des eaux
- Annexe 4 – Résultats d'analyses des sols

1. Contexte

La SCPR a déposé un dossier de demande d'autorisation d'exploiter une carrière dénommée Ravine du Trou, située sur la commune de Saint-Leu au lieu-dit Bois Blanc.

Lors de l'enquête publique, des remarques ont été apportées à divers titre sur le projet et en partie sur les incertitudes du volet hydrogéologique du dossier.

Dans ce cadre, la SCPR a revu certaines dispositions de son projet technique et a engagé des reconnaissances hydrogéologiques complémentaires.

2. Sources documentaires

La description des contextes géologique, hydrogéologique et hydrologique donnée dans ce document s'appuie sur :

- des reconnaissances de terrain du site et de ses alentours (reconnaisances géologiques et hydrogéologiques, recherche d'émergence, ...)
- une analyse bibliographique,
- notre connaissance du contexte local.

Les documents consultés ont été les suivants :

- Dossier de demande d'autorisation d'exploiter une carrière Ravine du Trou – Etat initial volet hydrogéologie ;
- Forintech réalisation d'un piézomètre Pz1 chantier 14-17 (mai 2014)
- Forintech réalisation d'un piézomètre Pz2 chantier 15-23 (décembre 2015)
- BRGM, Etudes géophysiques par sondages électriques sur le littoral et les hauteurs de Saint-Leu (île de La Réunion) – 85 DT 015 GPH, 1985 ;
- Office de l'eau Réunion, base de données ;
- Comité de bassin de la Réunion, SDAGE de La Réunion, 2001 ;
- Commission locale de L'eau (DAF – Délégation Sud), SAGE SUD, 2004 ;
- ANTEA, Etude hydrogéologique – Route des Tamarins (27155/A), 2002 ;
- ANTEA, Incidences hydrogéologiques des aménagements hydrauliques – Route des Tamarins (29719/A), 2003 ;
- SCETAUROUTE, Etude d'impact de la route des Tamarins
- Guide d'estimation des débits de crue à La Réunion, 1992 ;
- SOGREA, Plan de prévention des risques d'inondation (PPRi) - Commune de Saint Leu (N° 4700133), 2011 ;
- BSS (site : <http://infoterre.brgm.fr/>)
- Office de l'eau (site : <http://www.eaureunion.fr/>)
- BD carthage

- BRGM, carte géologique de la réunion au 1/50 000^{ème}.
- Télédétection des émergences d'eau douce en mer sur le littoral ouest et sud de l'île par thermographie infrarouge, 1986, J.M. Clerc, P. Mairine, R. Burkhalter, J. Coudray

3. Hydrologie

3.1. Contexte général

Pour des études hydrogéologiques, il est important d'aborder en premier lieu le contexte hydrologique, en raison des liens étroits entre eaux souterraines et eaux de surface. Les ravines contribuent à l'alimentation des aquifères par infiltration des eaux ruisselées, ou à leur vidange par drainage.

De manière générale, « le réseau hydrographique de l'île de La Réunion est composé de nombreuses ravines sèches, de 13 rivières pérennes, de 3 étangs littoraux ainsi que de plusieurs petits plans d'eau intérieurs.

Le régime hydrologique des cours d'eau réunionnais est de type pluvial, leur débit étant principalement contrôlé par la pluviométrie. Il se caractérise par une variabilité interannuelle importante des débits avec des crues extrêmes pendant la saison des pluies (décembre à avril) et des basses eaux pendant l'hiver austral.

A La Réunion, les bassins versants ont la particularité de présenter une faible superficie et une forme généralement allongée. Les temps de concentration des précipitations sont courts, ce qui génère des crues de fortes amplitudes et l'eau s'évacue rapidement vers l'océan. Pendant la saison sèche, le débit des cours d'eau est soutenu par les eaux souterraines. De nombreuses sources ressortent dans les têtes de bassins versants à la faveur des remparts qui entaillent les reliefs de l'île. »¹

3.2. Contexte hydrologique local

Au droit du secteur d'étude, le réseau hydrographique est globalement orienté nord-est sud-ouest. Il est composé de nombreuses ravines sèches.

Deux grandes ravines bordent le site : la ravine du Trou au nord-ouest et la ravine des Avirons au sud-est. Ces deux ravines appartiennent au domaine public fluvial de l'Etat à la Réunion (Arrêté n°06-4709/SG/DRCTCV du 26/12/2006).

Quelques ravines secondaires sont observées entre ces deux grandes ravines ; il s'agit de thalwegs peu marqués.

¹ OLE - Etat de la ressource et des usages de l'eau à la réunion – synthèse 2010 » ;

3.2.1. Aspects quantitatifs

3.2.1.1. Généralités

La ravine du Trou et la ravine des Avironns ainsi que les ravines du réseau secondaire, observées au droit du site, sont toutes des ravines non pérennes. Des écoulements peuvent être observés uniquement pendant la saison des pluies.

Aucune donnée quantitative n'est disponible pour les ravines du secteur du projet (il n'existe aucun suivi par l'OLE en dehors des rivières pérennes).

3.2.1.2. Débits estimatifs

Cette partie présente les débits estimatifs, en cas de pluies d'occurrence décennale et centennale, pour la ravine du Trou et la ravine des Avironns au droit du site (source PPR inondation de la commune de Saint Leu).

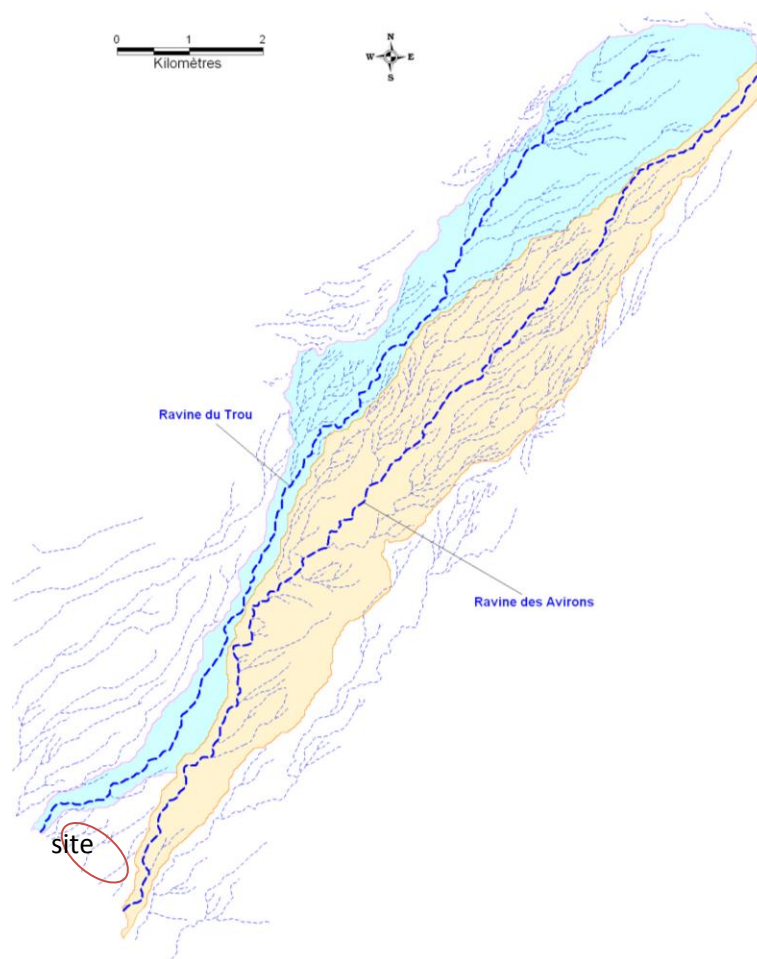


Figure 1 : Présentation des Bassins versants des deux principales ravines non pérennes à proximité du site

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants

	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur (km)	Pente (%)	Altitude médiane (m)	Tc (min)
Ravine du Trou	10,90	32,0	15,2	16,1	1 200	142
Ravine des Avirons	16,14	30,4	16,0	15,9	1 200	135

Tableau 2 : Calcul des débits de crues d'occurrence décennale et centennale



	Données pluviométriques		Débits de crue		Débits spécifiques	
	I ₁₀ (t _c) (mm/h)	I ₁₀₀ (t _c) (mm/h)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₁₀ spé (m ³ /s/km ²)	Q ₁₀₀ spé (m ³ /s/km ²)
Ravine du Trou	67	112	140	425	12,9	39,0
Ravine des Avirons	66	110	204	618	12,6	38,3

3.2.2. Hydromorphologie

La ravine du Trou et la ravine des Avirons sont deux grandes ravines sèches. Les tronçons entre l'océan et l'amont du site du projet ont fait l'objet d'une reconnaissance de terrain afin d'identifier des éventuelles émergences. Aucun écoulement ni émergence au niveau des parois bordant les ravines n'ont été observés.

Les ravines sont fortement encaissées sur la majeure partie de leur linéaire. Pour les deux ravines, le lit est entaillé jusqu'à environ 50 m de profondeur par rapport au flanc de la planèze. Au niveau de l'exutoire, l'encaissement n'est plus que de quelques mètres (5 m au maximum juste en amont de la route littorale).

Tableau 3 : Photos de la ravine des Avirons

	<p>Photo1 : La ravine des Avirons au niveau de la route littorale (exutoire)</p>
	<p>Photo2 : La ravine des Avirons à l'aval de la route des Tamarins (photo prise de sous le pont)</p>

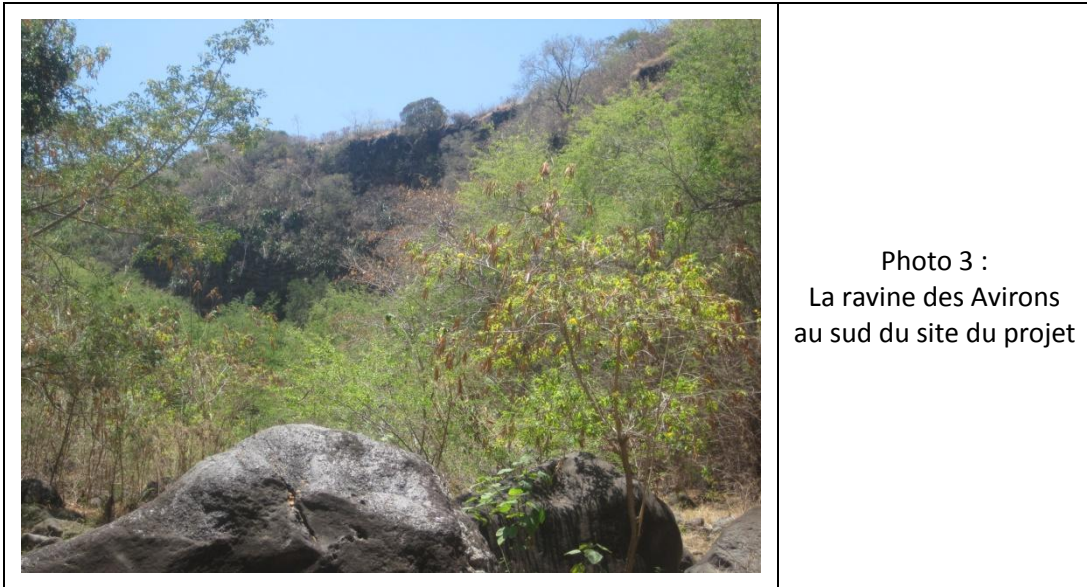


Tableau 4 : Photos de la ravine du Trou

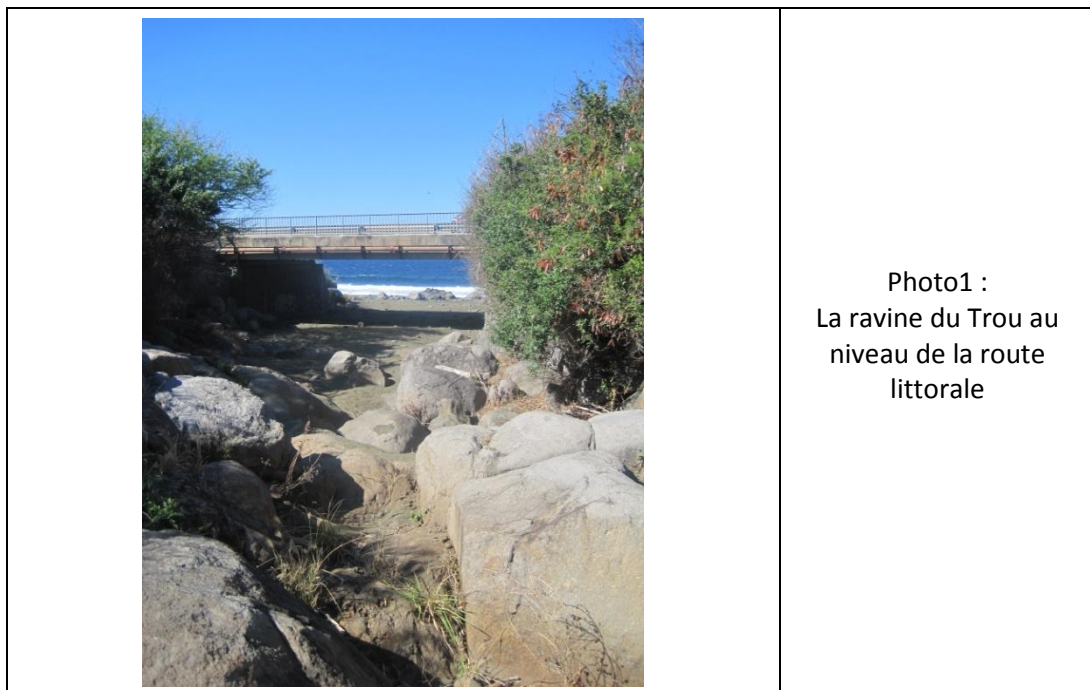




Photo2 :
La ravine du Trou à
l'aval de la route des
Tamarins
(photo prise de sous le
pont)



Photo 3 :
La ravine du Trou au
niveau du site du projet

3.2.3. Qualité des eaux superficielles

Les ravines du secteur étant non pérennes, il n'y a pas de suivi de qualité de l'eau ; les ravines ne sont pas prises en compte dans le SDAGE de la Réunion (pas d'objectif de qualité).

4. Contexte géologique

4.1. Contexte géologique général

Le site du projet est sur la partie Sud-ouest de l'île de la Réunion, situé sur une plaine littorale au pied de la planèze du Grand Bénare. La planèze du Grand Bénare s'étend entre la Rivière des Galets au Nord et la Rivière St Etienne au sud. Le sommet culmine à 2 896 m et la pente générale est le plus souvent comprise entre 10 et 15 %.

La zone d'étude constitue la partie terminale de cette planèze appartenant au massif du Piton des Neiges. Elle est constituée d'un empilement de coulées massives de lave basaltique et/ou andésitique (hawaïte, mugéarite) récentes.

Une étude géophysique réalisée par le BRGM² dans le secteur de Saint-Leu donne, du contexte géologique local, la description suivante :

« Le secteur est principalement recouvert par des laves de la phase IV et, plus localement, de la phase III, notamment au sud de la pointe du portail et dans le fond de certaines ravines. Ces terrains de la phase III reposent sur la phase II.

La phase II est surtout constituée d'une alternance de bancs de laves et de scories, la base de la formation II est assez zéotilisée. Du point de vue pédologique, en surface, cette phase II se distingue souvent par une altération latéritique notable, les coulées, et surtout les scories, sont décomposées en argile rouge sur plusieurs mètres d'épaisseur.

La phase III se présente généralement sous forme d'empilements de bancs compacts de lave d'épaisseur métrique à décimétrique, alternés avec des passages scoriacés d'épaisseur métrique.

Concernant la phase IV, les dernières laves émises présentent souvent un faciès agglomératique. Les coulées pyroclastiques de la région (Les Avirons, Saint Leu, Trois Bassins) sont constituées par des éléments rocheux divers (ponce, trachite, basalte à olivine, etc.), fortement cimentés par des produits cendreaux.

Les formations détritiques de type coulées de solifluxion (« coulées boueuses ») se rencontrent généralement sur les pentes dans les cirques ou dans les rivières. On en retrouve également de nombreux témoins interstratifiés dans les formations volcaniques. Elles ont une très forte cohésion, sont remarquablement imperméables et constituent de ce fait un niveau sur lequel circulent et / ou se trouvent piégées les eaux d'infiltration.

² Etude géophysique par sondages électriques sur le littoral et les hauteurs de Saint-Leu ; rapport BRGM 85 DT 015 GPH ; aout 1985

Les différentes coulées basaltiques (phases II, III et IV) énumérées ci-dessus sont généralement perméables. Lorsque ces formations sont altérées et/ou scoriacées, la circulation de l'eau se fait principalement dans ces niveaux ainsi que dans les zones fissurées des formations saines et compactes. Par ailleurs, la présence de niveaux argileux au sein de ces formations empêche la migration des eaux infiltrées et donne naissance sur les pentes ou dans les ravines à de petites nappes perchées, bien localisées mais généralement de faible débit. »

Les deux coupes géophysiques du secteur sud de Saint-Leu sont comparables et témoignent de la « monotonie » des formations.

D'après la carte géologique de la Réunion (BRGM, 1974), le site du projet est situé sur des coulées basaltiques et andésitiques de la phase IV du massif du Piton des Neiges.

Des formations basaltiques plus anciennes (phase d'activité II ou III du massif du Piton des Neiges) constituent le substratum en profondeur et affleurent dans les ravines de part et d'autre du site.

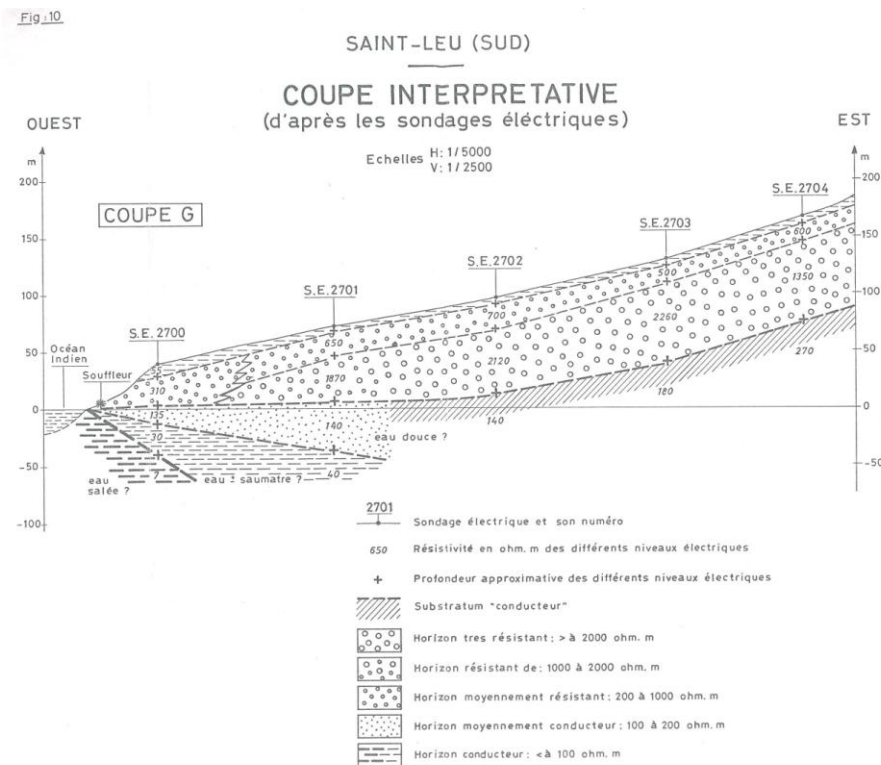
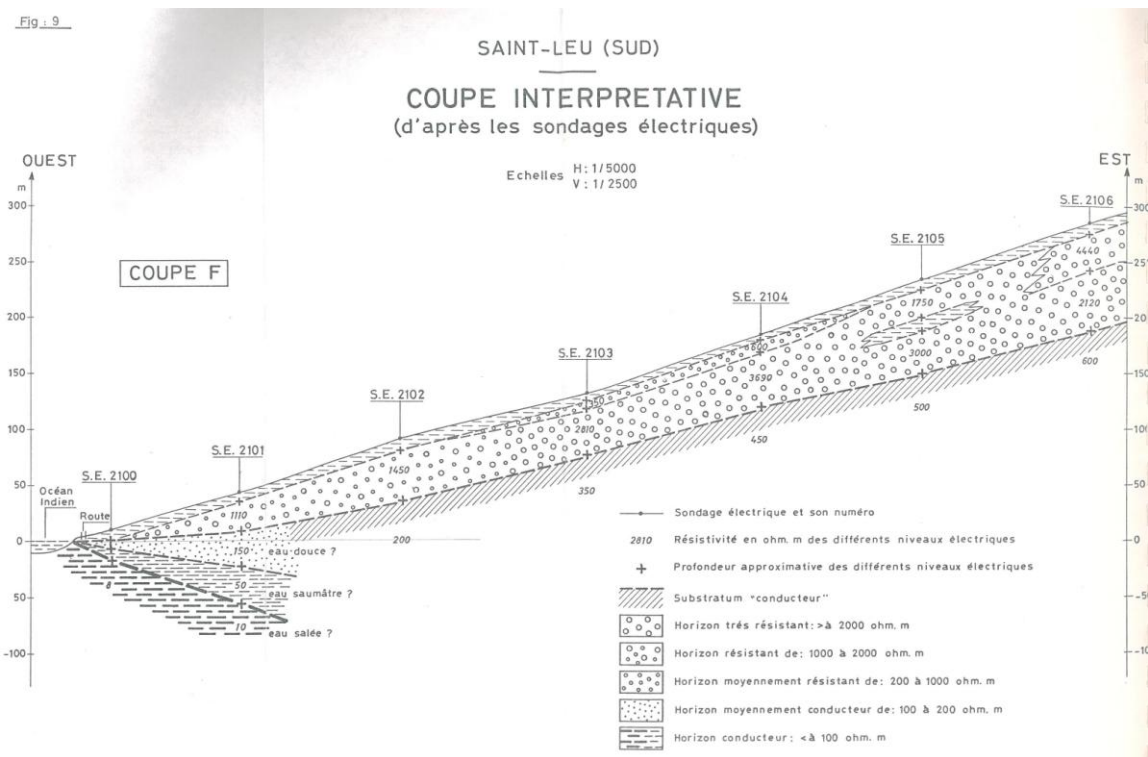


Figure 2 : PDRE – Études géophysiques par sondages électriques sur le littoral et les hauteurs de Saint-Leu (BRGM – 85 DT 015 GPH) - extraits

4.2. Reconnaissances du site

Les visites du site ont permis d'observer la géologie, via les coupes observables de la route des Tamarins (cf Photo)



Talus observés de la route des Tamarins et sur le site

Ces observations ont mis en évidence une alternance de basalte sain, fracturé et scoriacé. Sur le site, en surface, sont observés de nombreux andains de blocs de basalte. La présence de ces andains semble directement liée à l'activité agricole ancienne qui a pu avoir lieu sur le site.



Andains de blocs de basalte au droit du site

Les visites de site n'ont pas permis d'identifier de trace de réseau hydrographique au droit de la zone. Hormis le relief, il n'y a pas de végétation remarquable ou autre trace indiquant le ruissellement d'eau lors de forts événements pluvieux.

Ces reconnaissances ont mis en évidence une succession de terrains meubles (niveaux altérés et/ou scoriacés) et de niveau rocheux (coulées basaltiques). Sur l'ensemble de la zone existe une couche de surface constituée de colluvions avec des blocs de basalte aphyrique gris de petite taille (centimétrique), dont l'épaisseur varie entre 0,10 et 2,00 m.

Les formations basaltiques observées sont de différentes natures :

- 1) basalte aphyrique, gris, plus ou moins altéré ;
- 2) basalte altéré scoriacé, couleur lie de vin et plus ou moins altéré avec gratons, observé en partie basse du site dans la ravine centrale ;
- 3) basalte à feldspaths plus ou moins altéré, observé dans la partie sud est de la zone (phase III du Piton des Neiges).

D'un point de vue pédologique, on observe principalement des sols bruns ferruginisés sur couche colluviale et des sols bruns vertiques.

Les observations confirment le cadre général géologique.

5. Contexte hydrogéologique

5.1. Masse d'eau « Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planète Ouest »

Le Comité de Bassin, en séance plénière du 4 novembre 2015, a adopté le SDAGE et donné un avis favorable au Programme de Mesures 2016-2021.

L'arrêté du 07 décembre 2007 portant approbation du SDAGE a été abrogé et le projet de SDAGE 2016-2021 a été approuvé par arrêté préfectoral n°2015/SG/DRCTCV du 8 décembre 2015.

Les documents sont entrés en vigueur le 20 décembre 2015 lors de la publication des arrêtés d'adoption des SDAGE au JORF des 12 bassins de France.

La Directive Cadre sur l'Eau a créé la notion de masse d'eau comme étant une unité élémentaire pour laquelle sont définis :

- Un état du milieu :
- Un objectif à atteindre, avec des dérogations éventuelles.

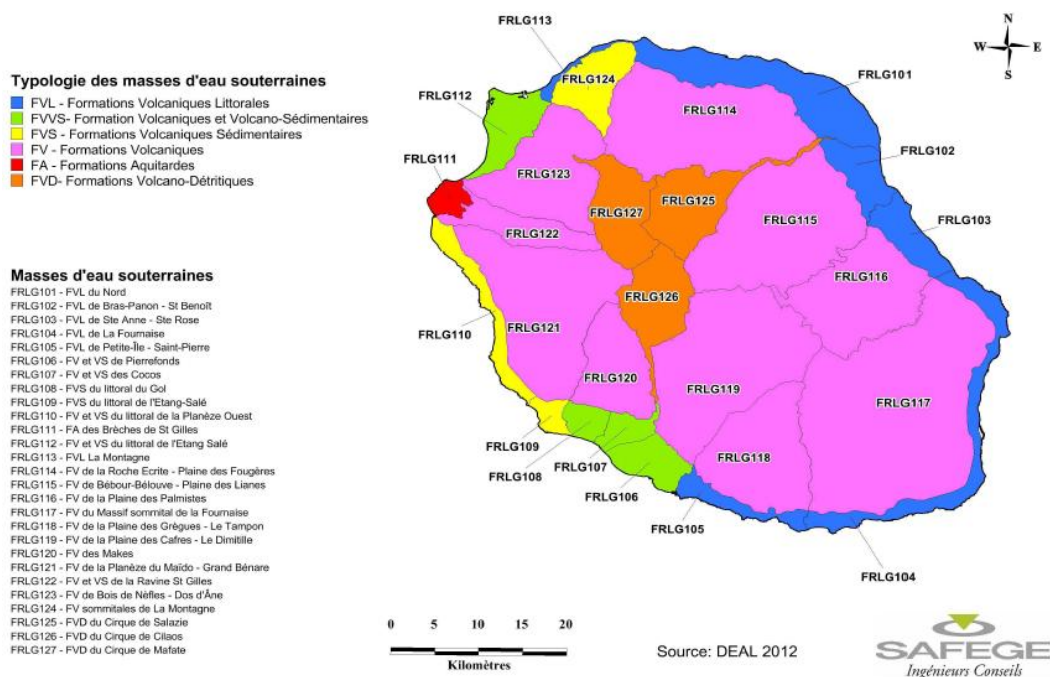
L'article 2 de la Directive Cadre définit une masse d'eau souterraine comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères » et un aquifère comme « une ou plusieurs couches souterraines ou autres couches géologiques d'une porosité et perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine ».

Le SDAGE 2010-2015, identifiait 16 masses d'eau souterraine sur l'île de La Réunion, principalement exploitées sur la bordure littorale, en dessous de 300 m NGR, en raison de leur faible gradient. La délimitation des masses d'eau souterraines s'est appuyée sur un découpage réalisé lors de l'état des lieux en 2005.

Compte-tenu des éléments disponibles plus aboutis sur la connaissance hydrogéologique de La Réunion qu'en 2005, et notamment la mise à jour du référentiel hydrogéologique, 27 masses d'eau souterraines ont été identifiées, et codifiées de FRLG101 à FRLG127.

SCPR
DDAE de la carrière de la Ravine du Trou – Etude hydrogéologique

83012 /A



Carte 1: Découpage des masses d'eau souterraine – État des lieux 2013

La masse d'eau souterraine initialement identifiée par le SDAGE de 2005 « aquifère Saint-Leu – Les Avirons » est désormais FRLG110 « Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest » en continuité avec « FRLG109 Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé ». A l'amont de celle-ci est identifiée la masse d'eau « FRLG121 Formations volcaniques de la Planèze du Maïdo – Grand Bénare ».

La fiche caractérisation des masses d'eau souterraine aborde de manière commune ces trois masses d'eau et les présente de la manière suivante :

« Ce système aquifère se décompose en 3 masses d'eau : FRLG109, FRLG110 et FRLG121.

- La masse d'eau FRLG109 est située en frange côtière. Elle correspond aux formations volcaniques et volcan sédimentaires du littoral de l'Etang Sale. A l'Ouest, sa limite correspond a la limite géologique entre la zone dedépôts littoraux et marins et les coulées basaltiques du massif des Pitons des Neiges.
- La masse d'eau FRLG110 est également située en frange côtière. Elle correspond aux formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de La Planèze Ouest.
- La masse d'eau FRLG121 localisée en amont de FRLG109 Et FRLG110, correspond à une unité sommitale au-dessus de la cote altimétrique 200 m NGR. Elle correspond aux versants externes ou l'eau s'écoule par infiltration et a travers les discontinuités (fissures, fractures, vides de laves). »

Nous rappelons ici, les principaux traits d'identification des masses d'eau dans le SDAGE 2016-2021. « Pour les masses d'eau FRLG109 et FRLG110 la nappe littorale est en équilibre hydrodynamique avec le biseau sale. L'exutoire principal des masses d'eau

FRLG109 et FRLG110 est la mer. Sur ces masses d'eau, la nappe est particulièrement sensible au phénomène de salinisation où une minéralisation des eaux souterraines est en augmentation depuis quelques années. »

Sur le secteur d'étude, il n'y a pas de « Zones de prélèvements pour l'alimentation en eau potable supérieures à 10 m³/j ou desservant plus de 50 personnes ». Les forages sont localisés de la partie sud de la commune de Saint Paul, jusqu'au Nord de Saint Leu puis ensuite sur la commune d'Etang Salé.

L'évaluation de ces masses d'eau a été effectuée conformément à la circulaire ministérielle du 23 octobre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation de l'état des eaux souterraines.

Les normes de qualité et les valeurs seuils pour l'état chimique d'une eau souterraine sont celles définies à l'annexe II de cette circulaire, excepté pour : conductivité à 25°C, sulfates et chlorures.

Paramètre concerné	Valeur seuil spécifique
Conductivité à 25°C	500 µS/cm
Sulfates	60 mg/l
Chlorures	100 mg/l

Tableau 5 : seuils de qualité des masses d'eau souterraines spécifiques à la Réunion

L'évaluation a conduit aux résultats suivants :

Masse d'eau	Dépassement constaté	Captages concernés		Paramètres concernés	Proposition
		Nom	BSS		
FRLG109	oui	Forage Pacifique 1	12283X0058	Chlorures -Conductivité	Enquête appropriée (étape 2)
		Forage du Brûlé	12283X0060	Chlorures -Turbidité	
FRLG110	oui	Forage Montée Panon	12266X0056	Chlorures -Conductivité	Enquête appropriée (étape 2)
		Forage de la Petite Ravine	12266X0053		
		Forage Fond Petit Louis	12266X0078		
		Puits de la Grande Ravine 2	12266X0070	Conductivité	
		Forage FRH9	12265X0055		
		Forage FRH5	12266X0124	Chlorures	
		Puits de la Grande Ravine 1	12266X0036		
FRLG121	non	Pas de point de surveillance disponible			Bon état (en comparaison avec des masses d'eau soumises à des pressions équivalentes)

Tableau 6 : Etat des masses d'eau souterraine

Sur FRLG110, sur la Planèze Ouest, la conductivité est élevée et elle présente une tendance à la hausse due aux pompages. Ce phénomène est visible sur l'évolution de la conductivité du piézomètre Ravine Fond Jardin (n° BSS 12266X0081/P9). Des relations entre augmentation des pompages et augmentation de la conductivité ont aussi été montrées.

La masse d'eau est classée en MAUVAIS ETAT CHIMIQUE pour ce test.

En effet, une étude menée en 2012 a permis de fixer des valeurs seuils spécifiques pour ces paramètres à La Réunion, pour tenir compte du contexte hydrogéologique de l'île.

En ce qui concerne l'état quantitatif, pour FRLG109 et FRLG110, la pression anthropique liée aux prélèvements et l'augmentation de la conductivité conduit à classer ces masses d'eau en ETAT QUANTITATIF MEDIOCRE.

Pour ce qui est relatif aux prélèvements, sur l'ensemble du système aquifère, les prélèvements ont été estimés à 1,2 Mm³ sur FRLG109 et à 2,5 Mm³ sur FRLG110.

Comme vu auparavant, ces zones de prélèvements ne concernent pas le secteur d'étude et le potentiel exploitable à l'échelle des masses d'eau est identifié comme limité ; « Concernant les masses d'eau FRLG109 et FRLG110, les risques d'intrusions salines sont préoccupants sur cette zone. Une surveillance accrue de la pénétration du biseau salé devrait être menée ainsi qu'une exploitation raisonnée de la ressource ».

Les informations suivantes présentent les fiches de synthèse de ces masses d'eau.

SCPR

DDAE de la carrière de la Ravine du Trou – Etude hydrogéologique

83012 /A

FRLG109 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'Etang Salé
 FRLG110 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest
 FRLG121 : Formations volcaniques de La Planèze du Maïdo - Grand Bénare

Fiche de synthèse – FRLG 109

	État	Paramètre en cause
État chimique	Mauvais	Chlorures - conductivité
État Quantitatif	Médiocre	Intrusion saline

FRLG109 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'Etang Salé
 FRLG110 : Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest
 FRLG121 : Formations volcaniques de La Planèze du Maïdo - Grand Bénare

Fiche de synthèse – FRLG 110

	État	Paramètre en cause
État chimique	Mauvais	Chlorures - conductivité
État Quantitatif	Médiocre	Intrusion saline

Pressions	Sources de pressions	Évaluation des impacts sur la masse d'eau		Scénario tendanciel des pressions 2021	
		Impact	Scénario	Commentaires	
Ponctuelles significatives (GWPI3)	Fuites de Sites contaminés	Pas de pression identifiée			
	Fuites de décharges	Pas de pression identifiée	-		
	Fuites des infrastructures pétrochimiques	Pas de pression identifiée			
	Fuites depuis des puits et puisards contenant des eaux contaminées	Pas de pression identifiée			
	Autres sources ponctuelles significatives	Pression forte – Impact non évalué			Rejet de station d'épuration mis aux normes
Diffuses significatives (GWPI4)	Population non raccordée au réseau d'eaux usées	Non significatif	-		Mise en place de SPANC, extension des réseaux collectifs
	Eaux de ruissellement urbain	Inconnu	↗		Densification de l'urbanisation
	Activités agricoles	Non significatif	↘		Mise en œuvre du plan Ecophyto
Prélèvements significatifs (GWPI5)	Agriculture	Significatif	-		Mise en place de nouveaux forages, accompagnée d'études d'impact pour s'assurer de préserver l'état des masses d'eau
	Production d'eau potable		↗		
	Activité industrielle		-		
	Carrières				
	Autres prélèvements significatifs				
Intrusions salines significatives (GWPI6)	Intrusions salines	Significatif	-		-

Pressions cause de risque	Pression de prélèvement
---------------------------	-------------------------

Risque de non atteinte des objectifs environnementaux		Oui/Non
RNAOE	RNAOE État chimique	Non
	RNAOE État quantitatif	Oui
	RNAOE global	Oui

Pressions	Sources de pressions	Évaluation des impacts sur la masse d'eau		Scénario tendanciel des pressions 2021	
		Impact	Scénario	Commentaires	
Ponctuelles significatives (GWPI3)	Fuites de Sites contaminés	Pas de pression identifiée	-		
	Fuites de décharges	Pas de pression identifiée	-		
	Fuites des infrastructures pétrochimiques	Pas de pression identifiée	-		
	Fuites depuis des puits et puisards contenant des eaux contaminées	Pas de pression identifiée	-		
	Autres sources ponctuelles significatives	Pression forte – Impact non évalué			Rejet de station d'épuration mis aux normes
Diffuses significatives (GWPI4)	Population non raccordée au réseau d'eaux usées	Non significatif	↘		Mise en place de SPANC, extension des réseaux collectifs
	Eaux de ruissellement urbain	Inconnu	↗		Densification de l'urbanisation
	Activités agricoles	Non significatif	↘		Mise en œuvre du plan Ecophyto
Prélèvements significatifs (GWPI5)	Agriculture	Significatif	-		Mise en œuvre d'un plan de gestion partagée de la ressource. Attente des conclusions d'une étude BRGM .
	Production d'eau potable		-		
	Activité industrielle		-		
	Carrières		-		
Intrusions salines significatives (GWPI6)	Autres prélèvements significatifs		-		
	Intrusions salines	Significatif	-		-

Pressions cause de risque	Pression de prélèvement
	Pressions dues aux intrusions salines

Risque de non atteinte des objectifs environnementaux		Oui/Non
RNAOE	RNAOE État chimique	Oui
	RNAOE État quantitatif	Oui
	RNAOE global	Oui

Figure 3 : Fiches masses d'eau

5.2. L'aquifère volcanique de Saint-Leu à Etang Salé

Si la définition des masses d'eau dans le nouveau SDAGE en vigueur, a apporté un degré de définition supérieur, elle n'en demeure pas moins, un cadre qui peut être largement affiné.

Nous développons ainsi dans cette partie, une analyse hydrogéologique fine.

D'un point de vue hydrogéologique, les masses d'eau aquifère de la zone, s'inscrivent plus globalement dans l'aquifère côtier volcanique de Saint-Leu à l'Etang Salé. Sa présence est attestée par de nombreux forages réalisés de la Grande Ravine jusqu'à l'Etang Salé, pour lesquels des données géologiques et piézométriques sont disponibles.

Ces ouvrages sont intéressants dans le cadre de cette étude car certains d'entre eux sont implantés à des altitudes d'environ 150 m NGR, entre 500 m et 1 km de la côte et ont fait l'objet de suivis piézométriques.

N° BSS	Désignation
1226-6X-0041	Piézomètre Petite Ravine amont Les Colimaçons
1226-6X-0078	Forage Fond Petit Louis
1226-6X-0079	Forage Fond Jardin Grande Ravine
1226-6X-0081	Piézomètre P9 Fond Jardin
1228-2X-0005	Puits Stella
1228-2X-0037	Sondage Ravine la Veuve
1228-2X-0038	Sondage Ravine des Poux
1228-2X-0039	Piézomètre cité des Pêcheurs
1228-2X-0041	Puits des Colimaçons
1228-2X-0045	Forage Stella Le Portail
1228-2X-0046	Piézomètre Petite Ravine (aval)
1228-2X-0047	Piézomètre P2 Chemin Surprise
1228-3X-0066	Piézomètre P3 Pont Neuf Forêt Domaniale

Tableau 7: Points d'eau de l'aquifère volcanique (Saint-Leu, Etang-Salé)

Les formations aquifères, sièges de la nappe de base, sont des formations volcaniques et sont recouvertes par une alternance d'horizons de basaltes plus ou moins fissurés-fracturés et de niveaux de scories. Elles sont en contact direct avec l'océan.

Cet aquifère présente de bonnes capacités théoriques et concrètes de production. Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère ($T=0,26 \text{ m}^2/\text{s}$ et $S=0,015$), déterminés au niveau du forage Fond Petit Louis au nord, exploité pour l'alimentation en eau potable, indiquent que l'aquifère est fortement transmissif, avec une circulation d'eau très aisée dans les fissures des formations basaltiques. La valeur du coefficient d'emmagasinement est caractéristique d'un aquifère libre à semi captif.

Toutefois, à la faveur de la différence de densité entre l'eau douce et l'eau salée, la nappe de base vient en équilibre hydrostatique avec l'océan et le biseau salé s'inscrit en

profondeur dans les terres et ces conditions, associées à une pluviométrie modeste dans le secteur, rendent l'aquifère capté très vulnérable aux intrusions salines, sous l'effet des pompages comme le souligne le SDAGE mais également en condition naturelle.

L'écoulement de la nappe s'effectue vers le sud ouest en direction de la mer avec un gradient faible compte tenu de la proximité de la mer, proche de 0,5 ‰.

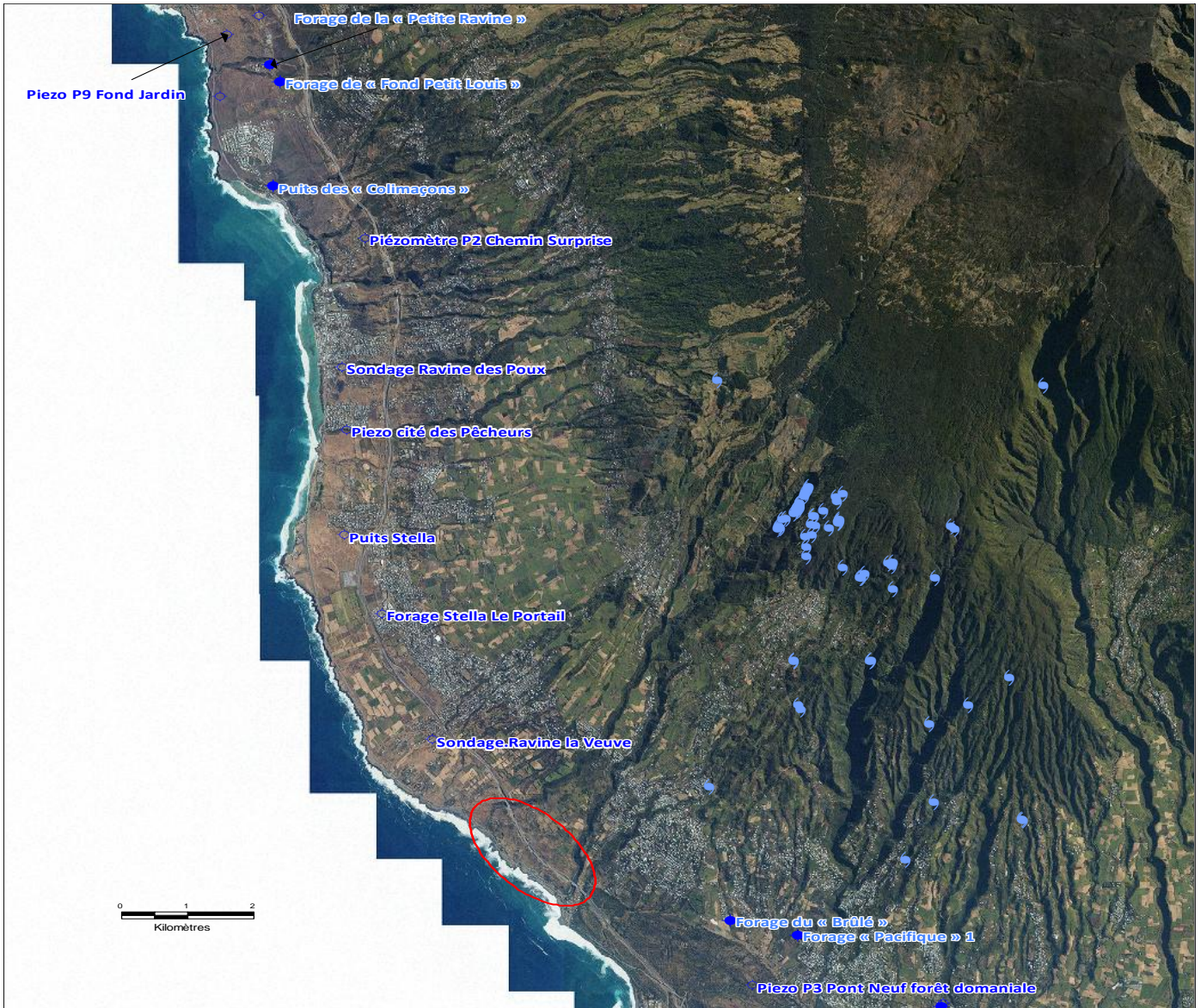


Figure 4: Situation des points d'eau de Saint-Leu à Etang Salé

La figure précédente illustre l'absence de forages anciens dans le secteur d'étude.

5.2.1. Géologie des forages

En surface, les formations géologiques correspondent à des phases IV et III du Piton des Neiges.

Au forage Fond Jardin (forage non exploité), profond de 190 m, la géologie rencontrée correspond aux seules formations volcaniques, basaltes et scories. Il est mentionné certains passages à basaltes oxydés pouvant correspondre à des paléosols entre les différentes phases du Piton des Neiges. Aucune venue d'eau intermédiaire n'est mentionnée. La nappe est située, a priori, dans des formations de phase II, basalte et scories, présence d'olivines. A la réalisation, le compte rendu de forage mentionnait un niveau d'eau à 173,4 m de profondeur, soit 1,15 m NGR. Les suivis de l'ORE donnent toutefois des niveaux plus conformes aux valeurs piézométriques des nappes de la côte Ouest soit entre 0.50 et 0.80 m NGR.

Ces caractéristiques se retrouvent également sur le forage Petite Ravine amont.

Plus proche de la côte, le forage Petite Ravine aval a atteint –60 m NGR avec des pertes totales en fond pouvant témoigner de fortes perméabilités. Le niveau piézométrique y est faible : de 0,20 à 0,40 m NGR.

Toujours en bordure de côte, plus au sud, le puits des Colimaçons est profond d'une vingtaine de mètres et traverse des formations de phase III (basaltes à phénocristaux de feldspath). Les perméabilités sont élevées d'après les essais de pompage du puits : 0,27 m de rabattement pour 180 m³/h pendant 10 h. Cet ouvrage présente une forte sensibilité aux intrusions marines.

Au sud de Saint-Leu, le sondage de la ravine des Poux a atteint –25 m NGR dans des formations de phase III. Le niveau piézométrique y varie entre 0,30 et 0,50 m NGR. Les caractéristiques sont similaires sur le forage de la Cité des Pêcheurs, sur le forage du Brûlé aux Avirons et sur le P3 Pont Neuf à l'Etang Salé. Ce dernier sort toutefois du contexte aquifère côtier car, à l'aval, des alluvions freinent l'écoulement des eaux souterraines vers l'océan par leurs moins bonnes perméabilités et augmentent la charge hydraulique à l'amont.

De manière générale, on trouve la succession des phases de volcanisme du Piton des Neiges avec une nappe qui siège dans les formations de phase II ou III.

5.2.2. Comportement hydrogéologique de la nappe de base

Le comportement de la nappe de base identifiée au niveau des points d'eau du secteur, peut être étudié à partir des suivis piézométriques réalisés par l'Office de l'Eau sur certains de ces points d'eau. Notamment, le Forage Stella le portail (code OLE 32045), suivi depuis 1988, et le piézomètre P9 Fond Jardin, suivi depuis 1989 et qui, depuis 2009, fait l'objet d'un suivi en continu permettant d'enregistrer les niveaux maximum atteints et disposant d'une chronique étendue.

Ce dernier ouvrage, bien que situé au nord, est représentatif des évolutions piézométriques du secteur.

Le graphique suivant présente les évolutions piézométriques comparées sur l'ensemble des ouvrages disposant d'informations piézométriques instantanées et continues.

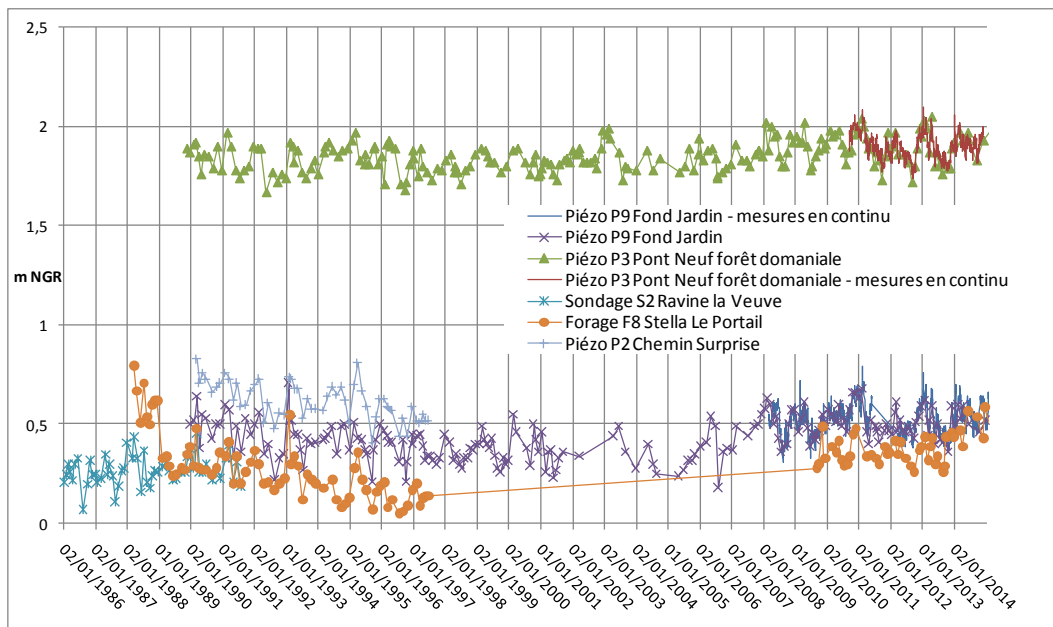


Figure 5 : Evolutions piézométriques comparées des ouvrages du secteur

Si l'on excepte le piézomètre P3 Pont neuf forêt domaniale situé au sud du secteur et qui ne fait plus partie de l'aquifère côtier (les eaux souterraines du complexe volcaniques sont bloquées par la présence de formations alluvionnaire qui mettent les eaux amont en charge du fait des contrastes de perméabilité), toutes les évolutions piézométriques sont comparables et inférieures à 1 m NGR.

Le graphique suivant précise cette évolution.

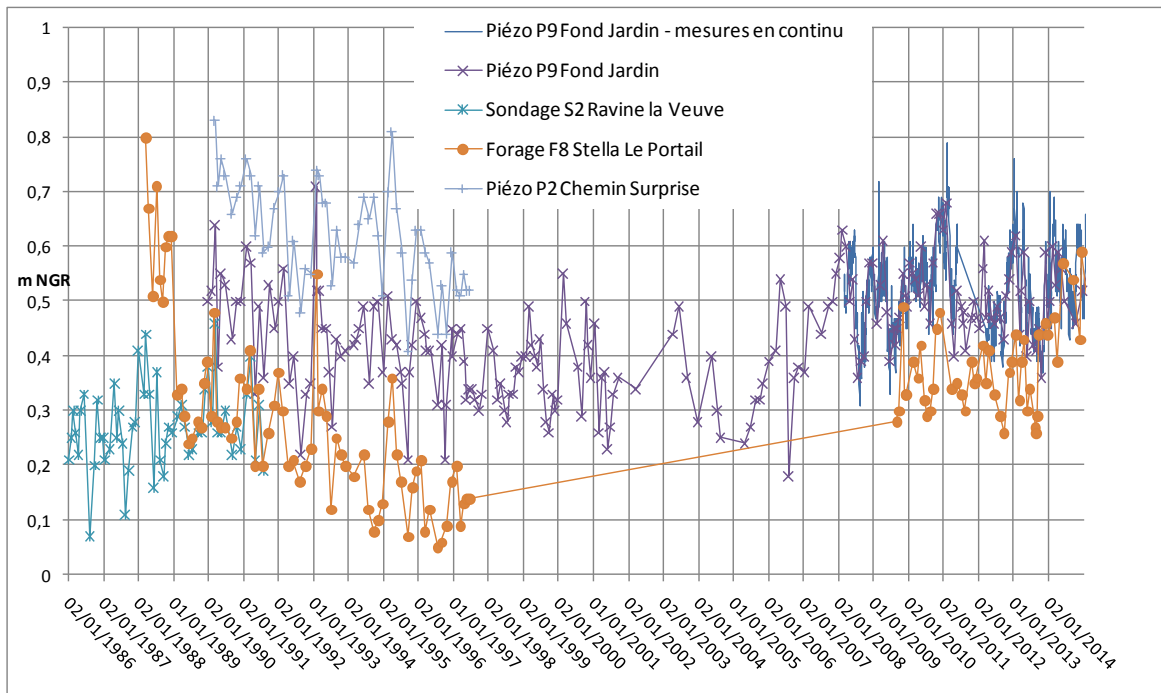


Figure 6 : Evolutions piézométriques comparées des ouvrages de l’aquifère volcanique côtier

Les mesures piézométriques effectuées en continu sur l’ouvrage P9 Fond Jardin sont représentatives de cette évolution. Elles traduisent les pics fugaces d’alimentation liées à la période de fortes précipitations de début d’année, suivi de la période de tarissement, masquée par les grandes variations de l’océan. L’absence de freins à la circulation des eaux souterraines dans les fissures des basaltes et l’importance des perméabilités, induisent un rôle aval important du niveau de l’océan.

Ceci est attesté par la faiblesse des gradients et une salinisation des eaux, généralisée sur tout le secteur. L’océan contrôle majoritairement les évolutions piézométriques.

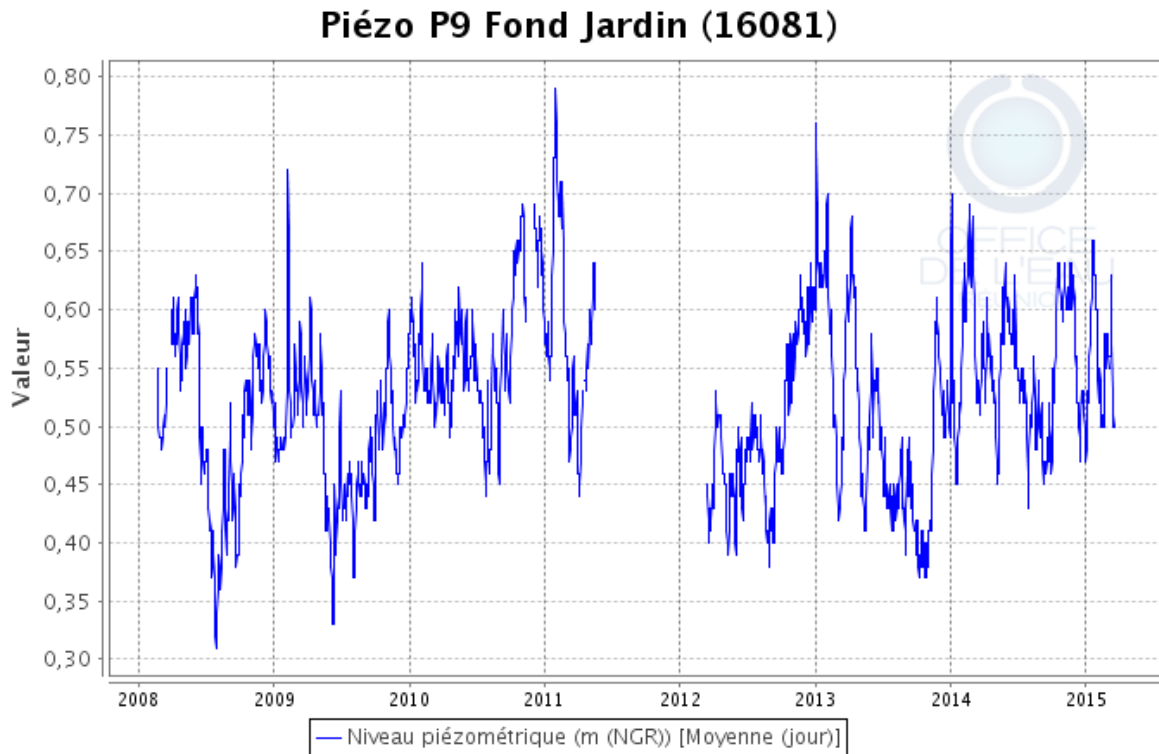


Figure 7 : Piézométrie de la nappe de base au niveau du piézomètre P9 Fond Jardin (données OLE).

L'analyse des données piézométriques disponibles sur la zone, révèle donc le même comportement pour quasiment tous les ouvrages. La piézométrie (entre +0,30 et +0,80 m NGR) et les gradients (de l'ordre de 0,5 ‰) sont faibles, les variations sont limitées à quelques décimètres annuels. Le maximum atteint sur le P9 Fond Jardin est de 0,79 m NGR depuis 1989.

5.3. Hydrogéologie du site

5.3.1. Investigations complémentaires et données au droit du site

La recherche auprès de la Banque des Données du Sous Sol des ouvrages proches disposant de certaines données hydrogéologiques, a permis de recenser :

- deux forages profonds à l’amont du site, 1226 2X 0040 et 1226 2X 0043 réalisés en 1978,
- des puits côtiers en bord d’océan au nord est et au sud ouest du site (données de 1963 et 1965).

Les autres ouvrages sont des sondages géotechniques ne disposant pas de données géologiques ou n’ayant pas rencontré la nappe. Nombreux d’entre eux ont été réalisés pour la route des Tamarins.



Figure 8 : BSS - données hydrogéologiques disponibles proches du site

Un nouveau piézomètre a été réalisé dans le cadre du projet, par la société ForInTech en date du 12 et 13 mai 2014 en partie aval du site.

Un second ouvrage est venu compléter les informations, réalisé également par la société ForInTech en date du 4 au 14 Décembre 2015 en partie aval du site. L’implantation et les prescriptions de ce nouvel ouvrage ont été définies par Antea Group en vue d’obtenir des informations hydrogéologiques de référence au droit du site.



Figure 9 : localisation des piézomètres du site (source rapport Chantier N° 15-23 FORINTECH, sans échelle)

Les résultats de ces ouvrages sont indiqués dans la suite.

Le premier ouvrage, dénommé Pz1/RVT1 est profond de 15 m et a traversé des limons de surface sur environ 4 m puis des basaltes altérés et fracturés surmontant 4 m de limon marrons rougeâtres (paléosol ?) et à nouveau du basalte altéré.

Cette coupe est en conformité avec les données géologiques du secteur. L'eau a été rencontrée à 12,20 m de profondeur soit une cote NGR de 0,26 m NGR.

Nota : la planche de rapport d'intervention initiale de ForInTech présente une cote Z erronée. Un nouveau nivellement a été effectué par un géomètre qui a précisé une cote de béton d'ouvrage de 12,46 m NGR, une incertitude d'une dizaine de centimètres subsiste cependant pour le niveau d'eau à la réalisation de l'ouvrage, le repère de la mesure n'étant pas précisé (béton ou tête).



Figure 10 : Localisation du piézomètre du site

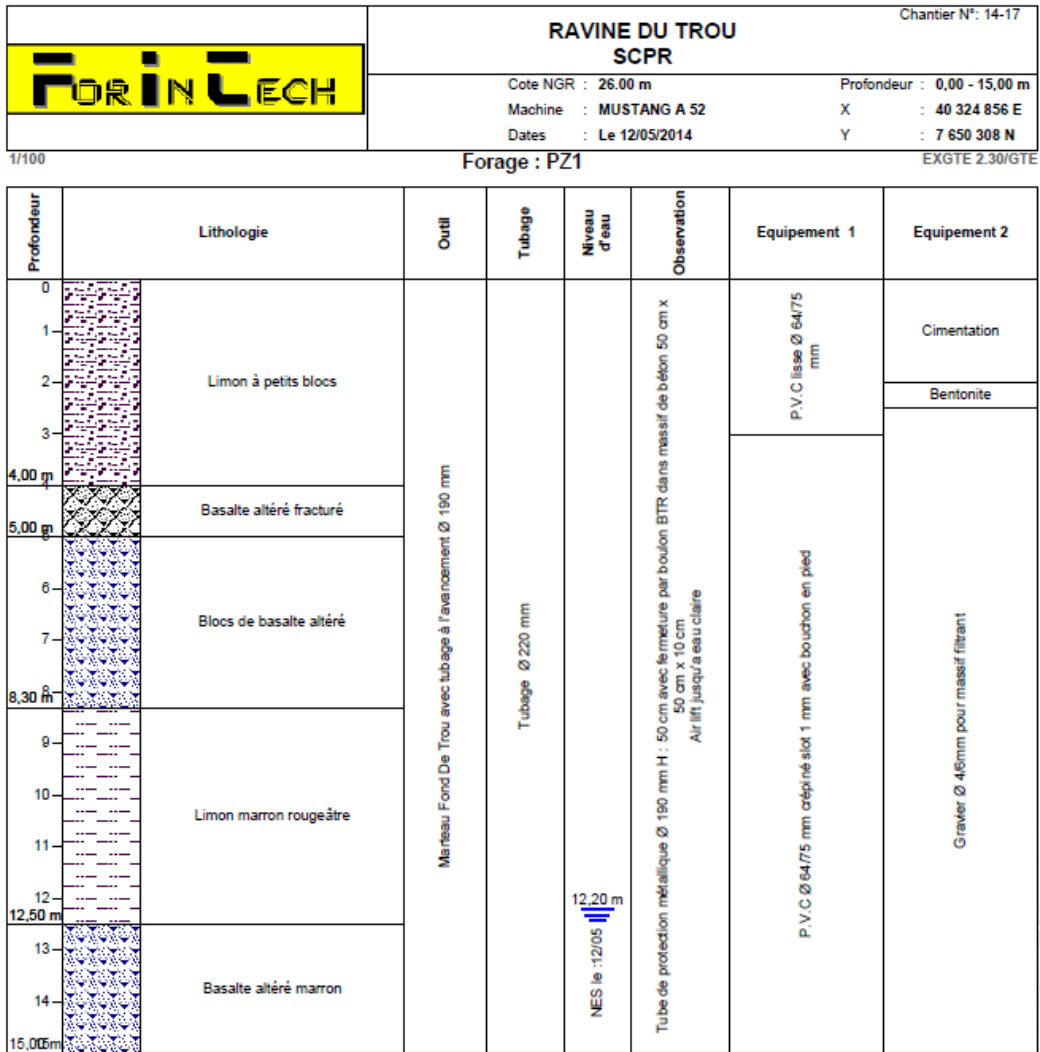


Figure 11 : Coupe lithologique et technique du piézomètre du site

Il se pourrait, à la lumière de la coupe géologique de l'ouvrage, que la nappe soit semi captive sous les limons, matériaux généralement de plus faible perméabilité que les basaltes. La notion de limon est toutefois vague car la méthode de foration « broie » les formations scoriacées qui peuvent être remontées en cutting très fins.

Le second ouvrage, Pz2/RVT2, a été implanté pour compléter les premières informations disponibles, un peu plus en altitude et d'une profondeur un peu plus importante, avec pour objectif d'atteindre -20 m NGR, cote supposée recouper l'invasion saline naturelle.

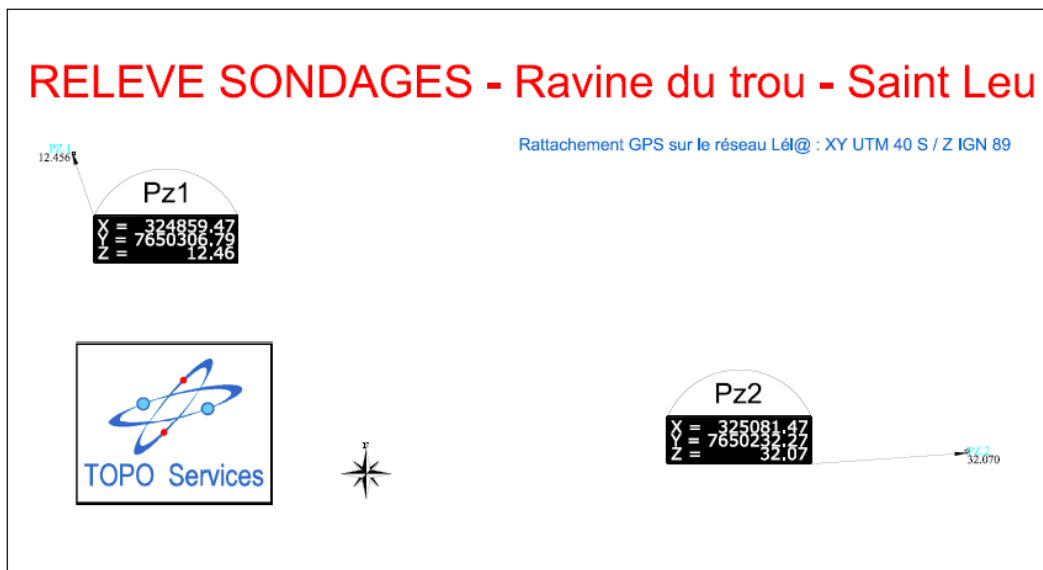


Figure 12 : relevé géométriques des piézomètres

Le Pz2/RVT2 est profond de 50 m et a traversé des limons de surface sur environ 9 m puis des basaltes en blocs, fracturés surmontant 3 m de scories rougeâtres, à nouveau du basalte fracturé sur 5 m, 26 m de basalte altérés, puis du basalte massif fracturé.

L'eau a été rencontrée à 31,60 m de profondeur soit une cote NGR de 0,47 m NGR. Des mesures de conductivité des eaux d'exhaure ont été menées à l'avancement de la foration puis lors de l'opération d'air lift indiquant une eau saumâtre avec 4000 µS/cm.

Les deux coupes géologiques sont comparables et l'on retrouve les mêmes successions de formations.

L'eau est également située à la même profondeur, validant l'hypothèse de gradients très faible sur le secteur et les eaux sont contaminées par l'invasion saline naturelle, en l'absence de tout prélèvement d'eau souterraine sur le secteur.

Pour les données historiques, à l'amont en 1976 et 1977, deux forages profonds 1226 2X 0040 3.2.F3 (forage test) et 1226 2X 0043 3.2.F7 (forage d'exploitation Entre deux) ont été réalisés dans le cadre d'un programme de recherche en eau pour l'alimentation en eau potable.

Ces ouvrages profonds respectivement de 272.50 m (altitude sol 252,46 m NGR) pour le F3 et 260 m (altitude sol 251,48 m NGR) pour le F7 ont fait l'objet d'essais de pompage et mesures hydrochimiques.

A la réalisation, l'eau a été rencontrée à 248,15 m de profondeur/sol (248,60 en janvier 1978/ tête de tubage) soit une cote de 4,31 m NGR sur le F3 et à 250,10 m soit une cote NGR de 1,38 m NGR sur le F7.

Sur le premier forage, en 1976, un essai de pompage a été effectué avec un débit variant de 18 à 25 m³/h sans observation de rabattement. La conductivité est passée de

1 428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en pompage.

La plus grande prudence est à accorder à ces informations piézométriques anciennes pour des ouvrages séparés de moins de 50 m qui captent, a priori, la nappe de base, vu la profondeur des ouvrages.

Il est possible, toutefois, que le F3, plus profond de quelques mètres, ait traversé les basaltes phase III pour rencontrer ceux de phase II, alors que le F7, d'après la coupe géologique succincte, ne capte que les basaltes de phases III. Le F3 capterait alors également des eaux captives circulant sous les scories rougeâtres signalées sur la coupe (paléosol), le F7 ayant été arrêté au dessus de ces formations. Cette hypothèse pourrait être corroborée avec les données de conductivité en pompage qui montrent des eaux de conductivités plus élevées sur le F3 que sur le F7 (voir dessous). Les conductivités de 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en pompage sur le mélange des eaux du F3 traduiraient l'influence marine forte à l'intérieur des terres.

L'exploitation du forage Entre Deux a été stoppée dans les années 90.

Il est intéressant également de remarquer qu'aucune indication de venues d'eau intermédiaires n'est signalée et que le forage a nécessité l'apport d'eau, mais là encore, l'exhaustivité des informations n'est pas garantie.

Un essai de pompage a été effectué sur le forage d'exploitation F7 pour un débit de 55 m^3/h avec 17 cm de rabattement. La conductivité est passée de 222 à 384 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en pompage.

En ce qui concerne les données sur les puits côtiers, deux ouvrages encadrent le site :

- 12228 2X 0001 puits de M. Zingasoulou,
- 1228 2X 0003 Puits du ruisseau des sables).

Ce sont des ouvrages situés en bord d'océan, où les cotes piézométriques sont respectivement de l'ordre de 0.2 et 0.5 m NGR (données estimées). Les variations journalières sont de l'ordre de quelques centimètres et environ 50 cm annuels.

La conductivité mesurée sur le puits de M. Zingasoulou en 1963 au sud du site, est de l'ordre de 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soit des eaux saumâtres avec des teneurs en chlorures de l'ordre de 480 mg/l. Pour le puits de la ravine du ruisseau des sables, au nord du site, la conductivité mesurée sur le puits entre 1963 et 1965, présente des teneurs en chlorures comprises entre 300 et 700 mg/l.

5.3.2. Evolutions piézométriques au droit du site

Les piézomètres Pz1/RVT1 et Pz2/RVT2 implantés en partie basse du site mais éloignés différemment de la cote, de manière à pouvoir apprécier le gradient, font l'objet depuis la fin décembre 2015, d'enregistrements en continu des variations piézométriques par Antea Group.

Des mesures ponctuelles ont également été réalisées sur le Pz1 par le cabinet EMC2 entre avril et juin 2015. Ces données précisent l’horaire du relevé.

Heure et Date de relevé	Hauteur relevée par rapport au haut du tube
24/04/2015 - 11h45	12,30 m
02/05/2015 - 17h28	12,35 m
06/05/2015 - 10h38	12,40 m
07/05/2015 - 17h30	12,29 m
13/05/2015 - 10h20	12,30 m
04/06/2015 - 18h00	12,35 m
11/06/2015 - 12h45	12,41 m
17/06/2015 - 11h35	12,38 m

Tableau 8 : mesures piézométriques ponctuelles sur Pz1 (source EMC2)

Nota : incertitude sur les mesures ponctuelles pour des ouvrages proches de l’océan. La réalisation de mesures ponctuelles sur des ouvrages proches de l’océan peut conduire à des interprétations faussées, en raison des fluctuations induites par la marée dont l’amplitude est de l’ordre des variations piézométriques. L’exemple suivant, sur deux ouvrages séparés de 100m, proche de l’océan, suivis en continu et par mesures ponctuelles par Antea Group, montre que l’analyse de mesures ponctuelles peut faire apparaître des baisses ou des augmentations de piézométrie et des décalages de comportements sans rapport avec l’évolution réelle de la ressource mais uniquement fonction de l’horaire de la mesure.

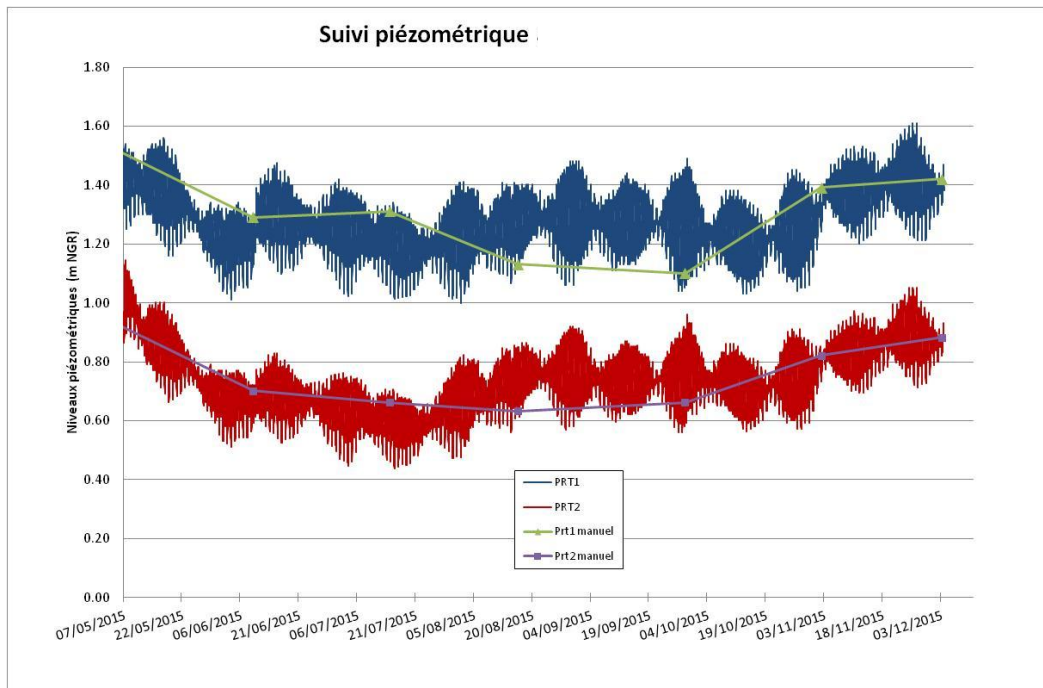


Figure 13 : exemple d’analyse comparée mesures ponctuelles, mesures en continu

Les données recueillies confirment que le niveau piézométrique est très faible, au droit du site, que le gradient est faible et la nappe subit les variations des marées.

Afin de confirmer que la nappe au droit du site s’inscrit dans le contexte régional de

l’aquifère côtier entre Saint Leu et Etang Salé, nous avons comparé en première approche les mesures piézométriques ponctuelles effectuées sur le Pz1 (avec indication de l’horaire de mesure) avec les données du piézomètre F8 le portail qui est équipé d’une sonde de suivi en continu par L’Office de l’Eau et dont les données sont disponibles au pas de temps de 12 mn.

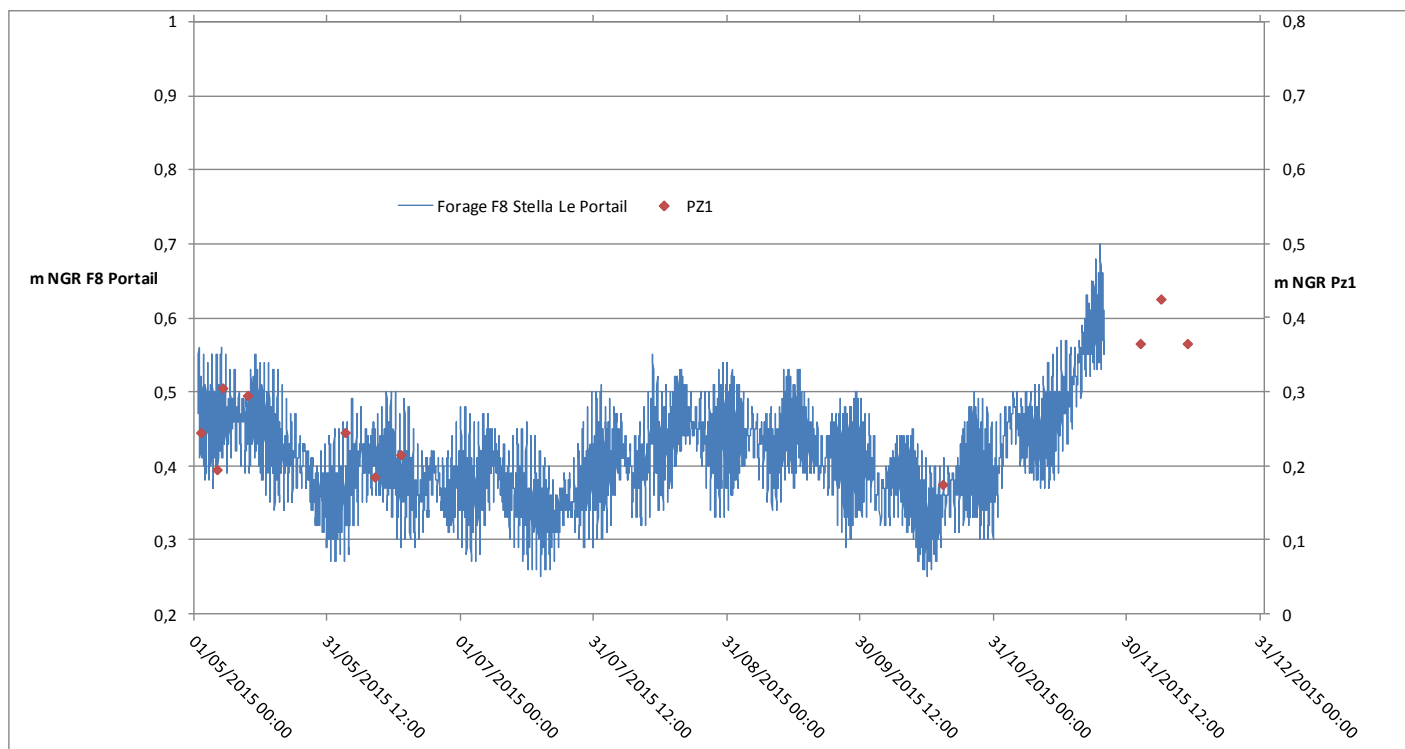


Figure 14 : Evolution comparée piézomètre F8 Portail et Pz1

Le graphique ci-dessus présente les évolutions piézométriques comparées au Piézomètre F8 Le portail et au Pz1 au droit du site. Un décalage d’axe de 20 cm a été effectué pour superposer les mesures mais l’amplitude est la même. On peut constater la très bonne correspondance entre les deux ouvrages, séparés pourtant de plusieurs kilomètres, mais qui appartiennent au même système aquifère et confirme les hypothèses émises.

Les données hydrogéologiques comportementales de la nappe au droit du site peuvent donc être mises en rapport avec les chroniques plus étendues des autres ouvrages du secteur.

Les suivis en continu effectués depuis mi décembre 2015 jusqu’à ce début janvier 2016, permettent de compléter l’analyse du fonctionnement hydrogéologique du site. Ils prennent en compte notamment l’impact des précipitations du 31/12/2015 et 01/01/2016.

Ces dernières ont été localement importantes, 180 mm au Port et 900 mm au Baril en 24h le 31/12, mais sur le secteur sont restées plus modestes de l’ordre de 80 à 100 mm sur les deux jours. Selon les reconnaissances de terrain effectuées les jours suivants, les ravines proches ne semblent pas avoir présenté d’écoulements.

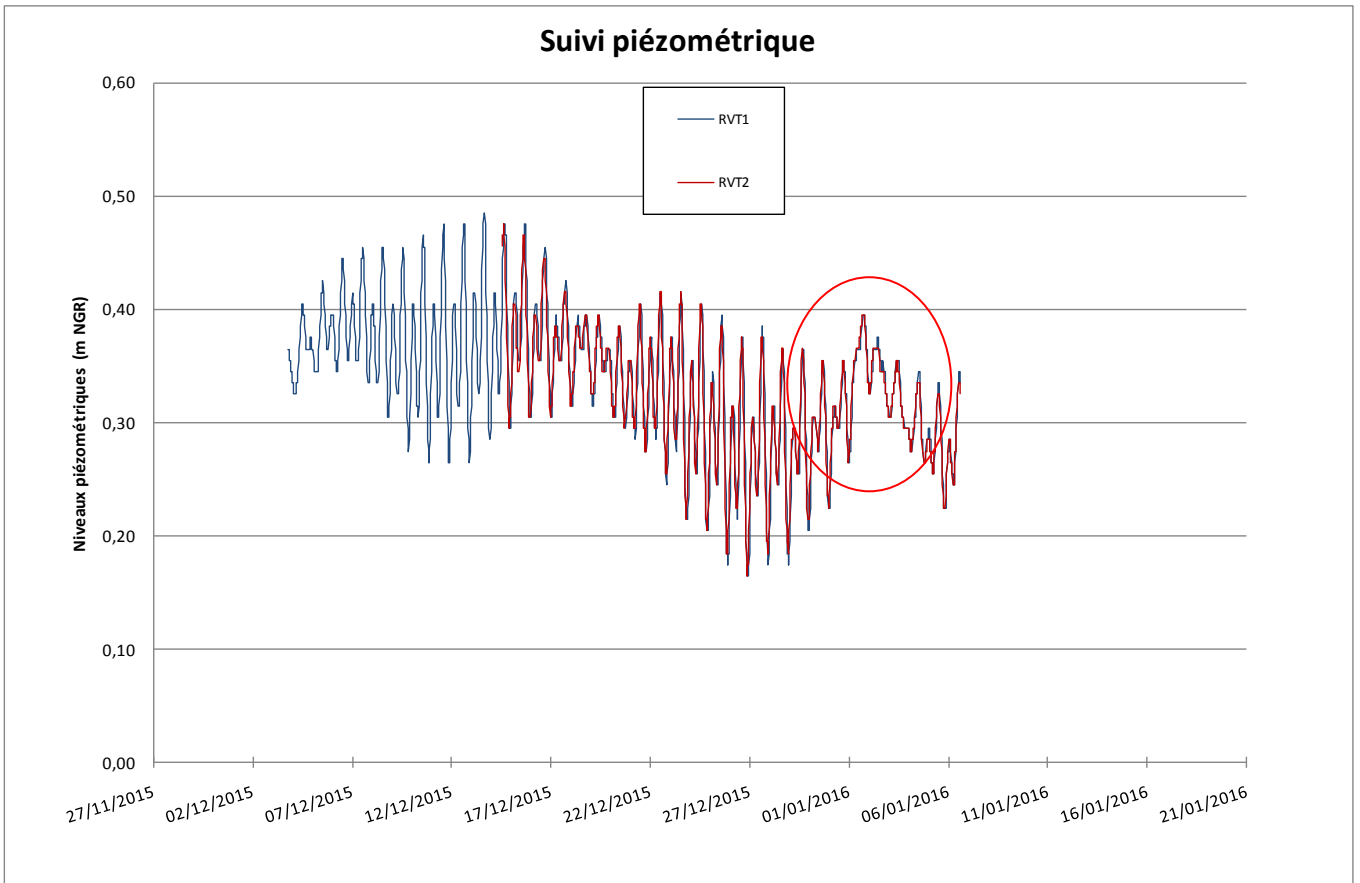


Figure 15 : Evolutions piézométriques en continu au Pz1/RVT1 et Pz2/RVT2

Bien que la chronique de mesure soit peu étendue, elle confirme les hypothèses émises, c'est-à-dire :

- gradient faible à nul,
- niveau piézométrique très faible,
- évolution identique sur les deux ouvrages tributaires de la marée.

Le zoom apporté sur la période du 31/12 et 01/01/2016, ne semble pas révéler un impact significatif des fortes pluies. L'impact de l'infiltration et du ruissellement des précipitations semble se traduire par une incidence très ponctuelle de 2 à 3 jours (durée des précipitations) et la quasi absence d'impact sur le niveau piézométrique. Ceci est en accord avec les hypothèses de très fortes transmissivités du milieu aquifère.

5.3.3. Relations des eaux souterraines avec le milieu marin

De manière générale sur le secteur, l'aquifère est en équilibre sur l'eau de mer avec un biseau salé à faible profondeur ; de quelques mètres sous le 0 NGR à la verticale du littoral, l'interface s'enfonce vers l'Est pour atteindre généralement -20 à -25 mètres NGR en pied de planèze.

Le flux souterrain qui alimente la nappe s'écoulant dans les niveaux volcaniques n'est pas connu et correspond aux précipitations efficaces sur un bassin versant d'extension non définie de la planèze du Grand Bénard.

Une modélisation de la nappe entre Saint-Gilles et La Saline a permis de proposer un débit d'alimentation en amont de l'aquifère basaltique de 3,2 l/s pour un front de 100 m (JL Join, 1991).

Dans le détail, la relation entre le milieu souterrain et l'océan peut s'effectuer de manière régulière et diffuse (perméabilité en grand) ou par le biais de voies de circulation préférentielles qui peuvent donner des émergences d'eau douce en mer.

Dans tous les cas, les eaux souterraines s'évacuent vers l'océan.

Afin d'évaluer les relations au sein de l'aquifère entre les eaux douces et l'océan, des mesures de conductivités représentatives de la salinité des eaux, ont été effectuées sur les deux piézomètres du site.

Les données de conductivités n'ont pas été relevées à la réalisation du Pz1 mais l'ont été sur le Pz2. A la foration, en phase de développement de l'ouvrage à l'air lift, la conductivité s'est établie à 4000 µS/cm et est restée constante durant les deux heures de l'opération, témoignant d'eau saumâtre.

L'ouvrage ayant été conçu pour permettre une caractérisation de la colonne d'eau, un log de conductivité a été effectué après la réalisation de l'ouvrage en état stabilisé, le 14/12/2015 puis le 06/01/2016.

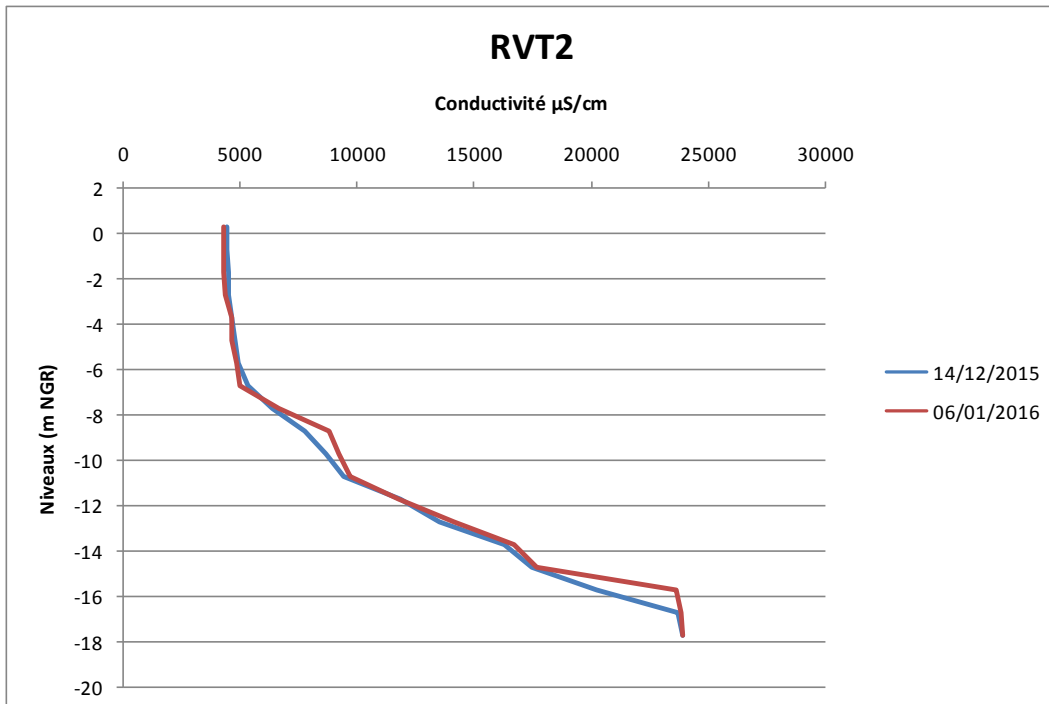
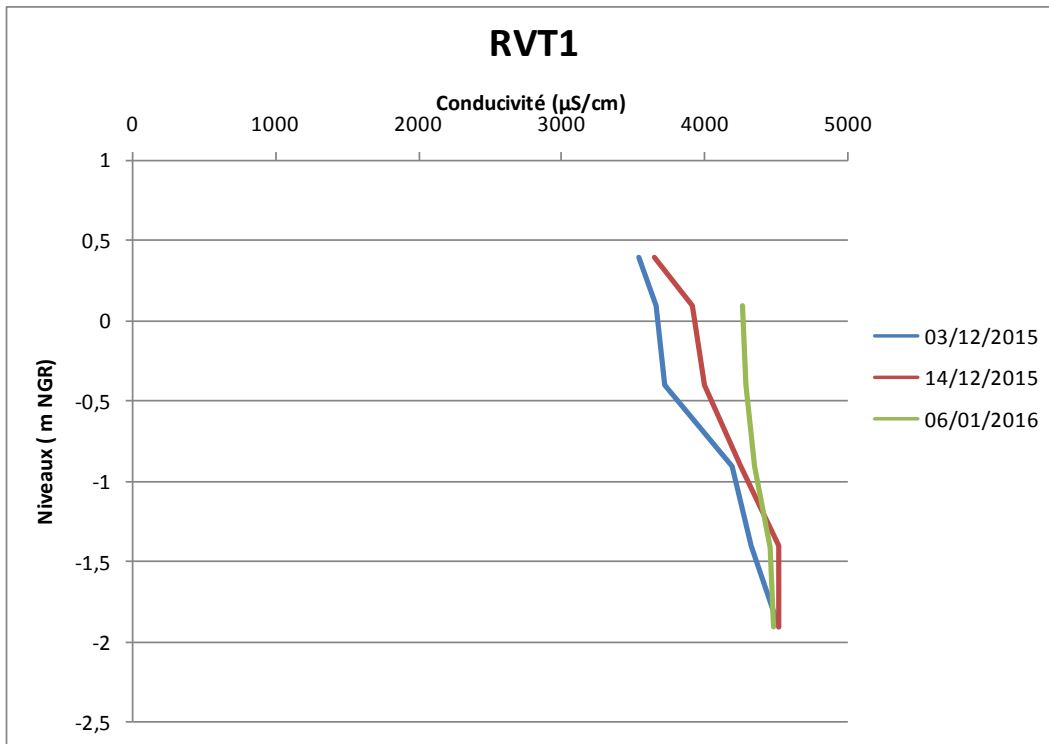


Figure 16 : log de conductivité sur le Pz2

Les mesures révèlent la présence généralisée de l'influence saline de l'océan sur la colonne d'eau sur les deux périodes. En surface, les conductivités sont de l'ordre de 4500µS/cm jusqu'à 6m de profondeur témoignant du caractère saumâtre des eaux, et augmentent progressivement pour atteindre 24000 µS/cm à 18m de profondeur. La transition est régulière. Aucun impact de l'apport d'eau douce par les précipitations n'est décelable.

Sur le Pz1, moins profond et plus proche de l'océan, trois logs ont été réalisés.



La conductivité était légèrement moins élevée en surface (3600µS/cm), mais à deux mètres de profondeur, on retrouve les valeurs relevées sur le Pz2. Sur la période de mesure d'intervalle, le profil montre une salinisation progressive en surface. Aucun impact des précipitations du 31/12 et 01/01/2016 n'est perceptible.

Ces données de sondages ont été confrontées à des informations anciennes d'étude d'émergences en mer par thermographie infrarouge. Faisant suite à des reconnaissances aéroportées en 1985 avec prises de photographies, un traitement des images obtenues avait permis de tracer une cartographie des émergences en mer du littoral ouest et sud. Par la suite, entre 1990 et 1992, ces types de travaux avaient été poursuivis sur le littoral de la Fournaise uniquement.

La thermographie aéroportée permet l'analyse des températures des objets survolés. En domaine côtier, elle permet de visualiser la répartition spatiale des masses d'eau présentant des différences d'origine. Le contraste de température entre les eaux de l'océan et les émergences d'eau douce est ainsi particulièrement visible en raison de l'écart de température existant entre ces eaux. Un survol ayant été réalisé sur l'ensemble du littoral sud, le secteur compris entre la ravine du Trou et la ravine des

Avirons avait fait l'objet de clichés et d'un traitement de données.

Deux anomalies thermiques avaient été identifiées, une à environ 350m en rive gauche de la ravine du Trou (à l'aval du site), l'autre au droit de la ravine des Avirons. La première avait été assimilée à une masse d'eau tellurique « froide » sans forme exprimée, l'autre à une masse thermiquement inhomogène au débouché de la ravine des Avirons.

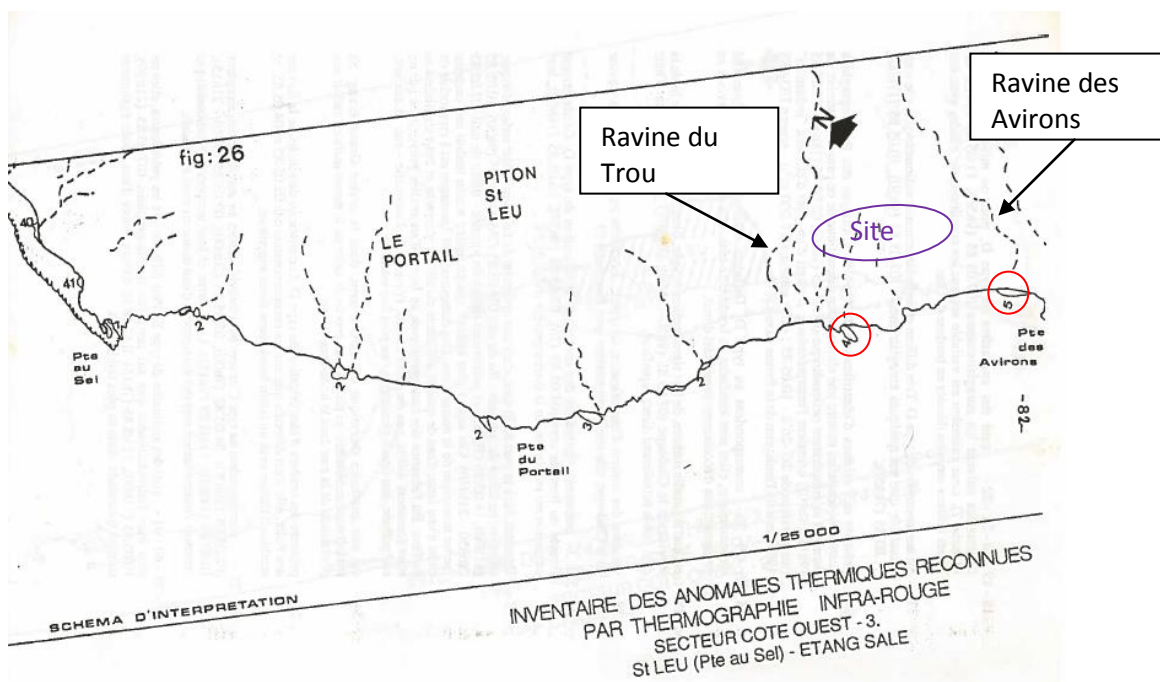


Figure 17 : localisation des anomalies thermiques

Les conclusions du rapport indiquent que :

- l'anomalie à l'aval du site correspondrait à un promontoire rocheux où l'eau serait piégée dans les fractures et diaclases et restituée à marée basse. Cette anomalie n'est pas retenue dans la cartographie finale de synthèse de l'étude ;
- l'anomalie au droit de la ravine des Avirons, correspondrait à un sous écoulement dans les alluvions au contact avec les formations basaltiques.

Les éléments issus de l'étude de thermographie infra rouge, complétés des données de sondages en matière de conductivité confirme la contamination saline généralisée au droit du site et jusqu'à l'amont (abandon du forage Entre deux), l'absence de circulations d'eau douce souterraines importantes et des émergences ponctuelles faibles :

- soit en relation avec des sous écoulements au sein des alluvions des ravines après infiltration des eaux de surface,
- soit par vidange à marée basse, de la faible épaisseur d'eau saumâtre à la faveur de zone de fissures.

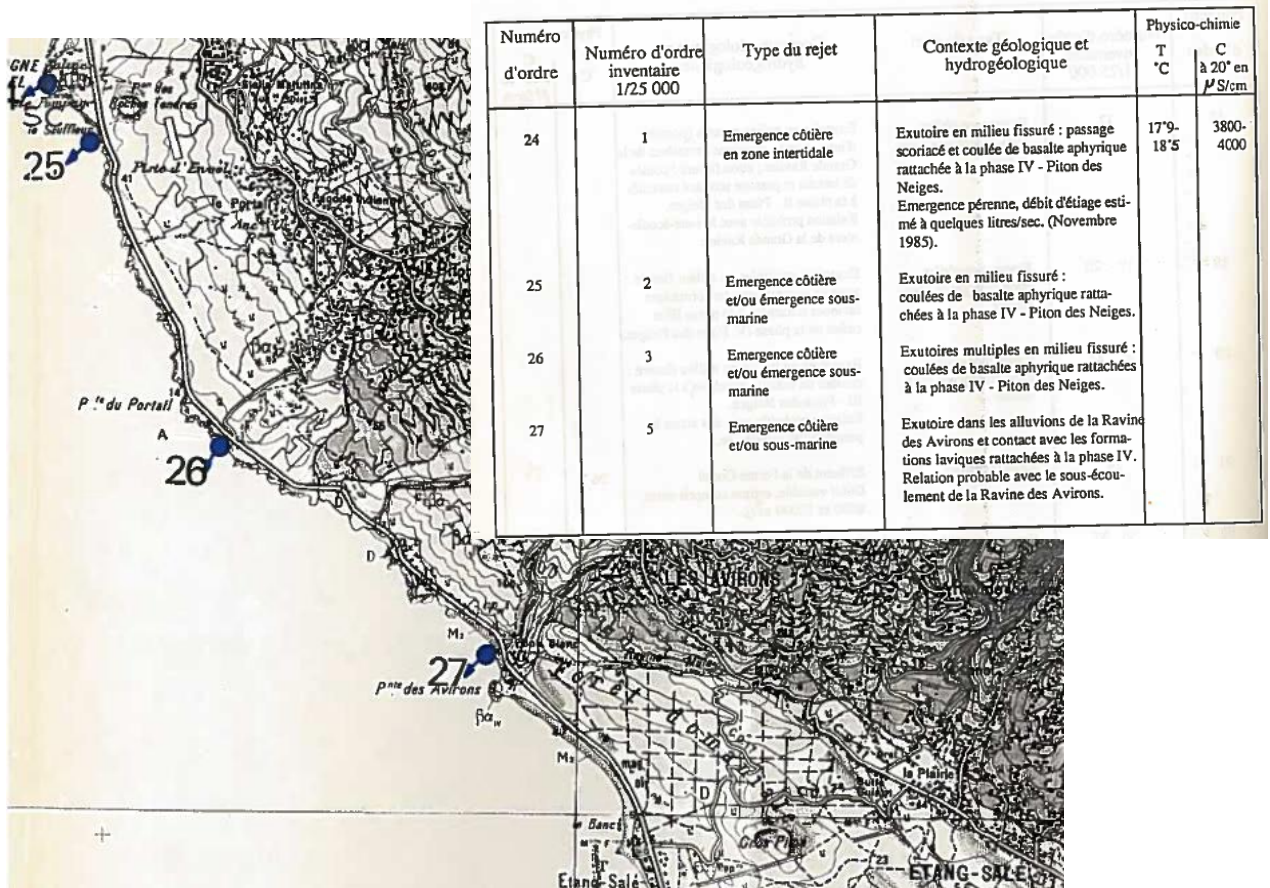


Figure 18 : cartographie de synthèse des émergences localisées par thermographie Infra Rouge

5.3.4. Qualité des eaux souterraines au droit du site

Plusieurs actions ont été entreprises pour qualifier la qualité des eaux souterraines au droit du site :

- Recueil des données de conductivité à la foration du Pz2/RVT2, et Log de conductivités sur le Pz1/RVT1 et le Pz2/RVT2 (voir chapitre précédent),
- Prélèvements d'échantillons pour analyses de certains paramètres de qualité d'eau sur le Pz1/RVT1 et Pz2/RVT2.

Pour caractériser l'état initial de la nappe, une campagne de prélèvements pour analyse des eaux sur les deux piézomètres a été réalisée. Ces mesures ont été effectuées par un ingénieur spécialisé « sites et sols pollués » d'Antea Group.

En matière d'eau souterraine, Antea Group applique les normes AFNOR, en particulier les documents d'orientation FD X 31-615 et FDT 90 – 523 - 3. Les investigations ont été réalisées en conformité avec ces procédures :

- Relevé du niveau piézométrique,
- Purge de 2 à 3 fois le volume de l'ouvrage,

- Prélèvement d'échantillons pour la réalisation d'analyses (doublons des flacons en verre pour analyses complémentaires en cas de bris pendant le transport).
- Flaconnage spécifique pour les produits analysés et conditionnement en glacière.

Chaque échantillon (eau) a été prélevé en double. Les échantillons ont été conditionnés au frais dans des glacières hermétiques. Un exemplaire a été envoyé pour analyses au laboratoire ALCONTROL accrédités par le COFRAC, l'autre exemplaire a été conservé dans les locaux d'Antea Group, au réfrigérateur, en cas de nécessité d'analyses complémentaires.

L'expédition au laboratoire s'est effectuée par Chronopost dans un conditionnement adapté.

Le programme d'analyses réalisé a été le suivant :

- pH
- conductivité
- Hydrocarbures dissouts
- Métaux totaux
- Nitrates
- Ammonium
- Azote total

Le pH et la conductivité ont fait l'objet de mesures in-situ. Les bordereaux d'analyses complets sont joints en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Une synthèse des résultats d'analyses de la campagne est présentée dans le Tableau 9.

Date de début		18-12-2015	18-12-2015
Type d'échantillon		Eau souterraine	Eau souterraine
Réf. échantillon		12224719-001	12224719-002
paramètre	Unité	RVT1/Pz1	RVT2/Pz2
pH		7,7	7,7
conductivité	µS/cm	4500	4500
température pour mes. pH	°C	18,8	18,7
METAUX			
filtration métaux	-	1	1
arsenic	µg/l	<5	<5
cadmium	µg/l	<0,20	<0,20
chrome	µg/l	2,1	2,2
cuivre	µg/l	<2,0	2,9
mercure	µg/l	<0,05	<0,05
plomb	µg/l	<2,0	<2,0
nickel	µg/l	<3	<3
zinc	µg/l	<10	13
COMPOSES INORGANIQUES			
ammonium	mg/l	<0,2	<0,2
ammonium	mgN/l	<0,15	<0,15

HYDROCARBURES TOTAUX			
fraction C10-C12	µg/l	<5	<5
fraction C12-C16	µg/l	<5	<5
fraction C16-C21	µg/l	<5	<5
fraction C21-C40	µg/l	<5	<5
hydrocarbures totaux C10-C40	µg/l	<20	<20
AUTRES ANALYSES CHIMIQUES			
chlorures	mg/l	1300	1300
nitrite	mg/l	<0,3	<0,3
nitrite	mgN/l	<0,1	<0,1
nitrate	mg/l	6,4	8,1
nitrate	mgN/l	1,4	1,8

Tableau 9 : Synthèse des résultats d'analyses

L'analyse de ces résultats met en évidence :

- des eaux au pH légèrement basique présentant une conductivité et des teneurs en chlorures élevées (eaux saumâtres),
- l'absence de concentrations supérieures aux limites de quantification du laboratoire, concernant les hydrocarbures,
- la présence de nitrates en quantité faible,
- l'absence de concentrations supérieures aux limites de quantification du laboratoire, concernant les métaux excepté le chrome sur le Pz1. La présence de cuivre et zinc légèrement supérieur aux limites de quantification du laboratoire sur le Pz2 est certainement liée à la présence de résidus de graisse de lubrification des trains de tiges de forage (graisse au cuivre), bien que celles-ci devaient en être théoriquement dépourvues.

Il s'agit d'eau naturelle saumâtre, non compatible avec un usage AEP compte tenu des teneurs en chlorures, 1300 mg/l, la limite de qualité pour les eaux brutes pour un usage eau potable étant de 200 mg/l.

La salinité de ces eaux est naturelle, en l'absence de tout prélèvement en amont ou dans le secteur.

5.3.5. Inventaires des captages AEP, des points d'eau et usages de l'eau au voisinage du site

La commune de Saint-Leu utilise, pour son alimentation en eau potable, les forages de la Petite Ravine, de Fond Petit Louis. Le forage de l'Entre Deux et le Puits des Colimaçons ne sont plus exploités.

La commune des Aviron utilise les eaux du forage du Brûlé et des sources situées sur la commune des Aviron et de Saint-Leu, en amont du site (nappe perchée).

L'inventaire des captages AEP et des points d'eau aux environs du site du projet a été

effectué à partir de la Banque de données du Sous-Sol (BSS, source infoterre), de l'ARS et de la SAPHIR (délégataire des réseaux pour l'irrigation).

Les captages AEP et points d'eau recensés ne constituent pas une cible pour le projet. En effet, ils sont situés ou bien en amont du site ou sur un bassin versant différent.

Dans le secteur du projet, la nappe de base ne constitue pas une ressource potentiellement exploitable étant donné les moyens techniques à mettre en œuvre et les coûts liés.

L'exploitation de la nappe en vue de production d'eau potable, étant donné la présence du biseau salé et les pentes des terrains côtiers, serait possible via un forage de 250 à 300 m de profondeur (coût > 750 000€, hors étude, hors équipement) pour des débits de l'ordre de **10 à 40 m³/h³**. De plus, le site est éloigné des zones de besoins.

En matière d'usage agricole, la ressource souterraine a été étudiée pour un éventuel usage par le Département de la Réunion. Du fait des contaminations salines et de la faiblesse des ressources d'eau douce identifiées, aucune mobilisation n'a été envisagée.

L'irrigation des terres agricoles du secteur est obtenue à partir des ouvrages du Bras de Cilaos qui captent les eaux de surface à la sortie du cirque de Cilaos et un maillage à partir du réseau Irrigation du Littoral Ouest.

A l'amont, dans les secteurs non desservis par ce réseau, il existe des retenues collinaires alimentées par les précipitations.

5.4. Conclusions

L'ensemble de ces informations confirme que l'aquifère présent au droit du site prévu pour la carrière présente toutes les caractéristiques de l'aquifère volcanique de Saint-Leu à l'Etang Salé. La nappe y est en relation avec l'océan à l'aval et est fortement soumise à l'influence marine.

L'introduction du biseau salé très visible à l'intérieur des terres limite fortement les hypothèses de mobilisation des ressources en eau pour un quelconque usage. L'arrêt de l'exploitation du forage Entre Deux, situé à 250 m d'altitude à l'amont du site, témoigne des difficultés de mobilisation des ressources en eaux souterraines (profondeur de l'ouvrage, faible débit, qualité des eaux).

Pour ce qui concerne la piézométrie de la nappe, les éléments habituels de cet aquifère, suivi sur de nombreux piézomètres, traduisent de faibles gradients piézométriques de 0.5‰ (valeur couramment admise et démontrée) à 2.5‰ (si l'on considère une cote validée de 4 m des données du forage Entre Deux). Même s'il existe une incertitude sur la cote maximale de la nappe à l'amont du site, elle ne peut dépasser 4 m NGR à plus de

³ Les objectifs de débit pour des forages captant l'aquifère volcanique à la Réunion sont de l'ordre de 150 à 200 m³/h

1 500 m de la côte et devrait être plutôt de l'ordre de 1,5 m NGR (ce qui a été mesuré sur le F7).

Au droit du site, la piézométrie maximum attendue ne dépassera pas :

- à l'aval 0,50 m NGR en période normale à 0,9 m NGR en période de hautes eaux ;
- à l'amont 2,5 m NGR à 3 m en période de hautes eaux (par analogie avec des forages existants et en ayant une marge de sécurité de 0,5 m à 1 m).

La nappe dans ce secteur est donc sans enjeu.

Enfin, compte tenu de la faiblesse de la charge hydraulique de cette nappe en relation directe avec l'océan, les émergences d'eau vers l'océan, saumâtres en saison sèche et probablement une faible tranche d'eau plus douce en saison des pluies, sont faibles et localisée à la faveur de fissures ponctuelles dans les basaltes. Ces eaux sont insignifiantes par rapport à la dynamique de l'océan.

6. Vulnérabilité de la nappe

6.1. Vulnérabilité intrinsèque

Selon les données du contexte hydrogéologique, la nappe de base dans le secteur du projet est libre à semi captive localement en bordure d'océan.

Selon la définition donnée par le BRGM : "Par « vulnérabilité », il faut entendre *la tendance à la dégradation de l'aquifère* en réponse aux dommages qui peuvent lui être causés, indépendamment des enjeux qui se jouent sur cet aquifère (on pourrait parler de « vulnérabilité intrinsèque », par comparaison avec les définitions qui prévalent dans les études de risque naturel, qui incluent les enjeux dans la vulnérabilité)".

Intrinsèquement, la vulnérabilité d'une nappe dépend de l'association des conditions hydrogéologiques naturelles présidant à son existence et des phénomènes hydrodynamiques qui s'y développent. En d'autres termes, elle dépend de son type (libre ou captive) et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables : les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique.

Cela dit, en général, plus les nappes sont profondes, plus le temps de transit dans la zone non saturée peut être important.

Les nappes captives sont, en revanche, mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger.

Dans le cas présent, selon les travaux précédents, on retiendra sur ce secteur par défaut, une vulnérabilité intrinsèque forte de la nappe vis-à-vis des pollutions d'origine superficielle, accidentelles ou diffuses, compte tenu de la nature des terrains de recouvrement dans le secteur au-dessus de la nappe de base, libre.

6.2. Vulnérabilité de la ressource en l'état actuel

La vulnérabilité de la ressource, par différence avec la vulnérabilité intrinsèque, intègre les enjeux associés à la ressource.

En matière d'enjeux, dans le cas présent, il n'existe aucun usage de la nappe dans le secteur d'étude et plusieurs kilomètres aux alentours. Les résultats d'analyses d'eau effectuées au droit des piézomètres du site, avec des valeurs élevées en chlorures, montrent une contamination salée d'origine naturelle en l'absence de tout prélèvement amont sur le secteur. Ces eaux ne permettent pas d'envisager en l'état un usage AEP,

car ne respectant pas les normes de qualité des eaux brutes.

Un usage à des fins d'irrigation n'est pas non plus envisageable en raison des trop fortes teneurs en chlorure et sodium. Le risque salin constitue une menace sur l'aptitude agronomique des sols irrigués et sur le rendement des cultures irriguées. L'ion sodium (Na⁺) et l'ion chlorure (Cl⁻) sont les deux sels dissous majeurs en solution dans les eaux contaminées par l'intrusion saline. L'ion sodium est très soluble en solution mais se fixe facilement aux particules du sol. L'ion chlorure est très soluble et très mobile, son faible pouvoir de volatilisation et de précipitation lui confère un caractère conservateur qui le met hors de portée des réactions chimiques et biologiques du sol. L'irrigation avec des eaux contaminées par des intrusions salines, induit un effet biologique des sels dans le sol. En effet, les communautés biologiques du sol réalisent la dégradation et la minéralisation de matière organique. Le risque salin provoque un stress osmotique qui influe sur la micro/macro faune/flore du sol. Des études ont montré que l'augmentation de la salinité d'un sol inhibait les associations de type symbiose entre les bactéries du sol et les végétaux.

La sensibilité de la nappe peut être évaluée à partir des autres paramètres de qualité des eaux. Les teneurs en nitrates ne témoignent pas de l'impact d'activités d'origine agricole ou anthropiques (assainissement autonome). Il n'y a pas de réelle activité industrielle ou anthropique proche, et l'activité agricole ayant lieu en amont est très limitée. La sensibilité de la nappe vis-à-vis des activités anthropiques ne peut être vraiment identifiée.

Enfin, vis-à-vis du ruissellement, bien que nous n'ayons pas à ce jour les valeurs précises de précipitations du début d'année 2016, l'ordre de grandeur de 60 à 100 mm cumulés sur deux jours peut être avancé et aucune influence manifeste n'a été décelée.

La nappe serait donc peu sensible aux infiltrations directes à partir de la surface dans la zone amont. Il est fort probable que ce type de contexte soit plus sensible à de l'infiltration par les écoulements des ravines en cas de très fortes pluies (ruissellement probable au-delà d'environ 80mm/j). Les enregistrements permettront de préciser ce comportement lors de la saison cyclonique en cours.

Nous retiendrons que la ressource souterraine, en raison de sa salinité naturelle, ne représente pas d'enjeux et est donc peu vulnérable.

7. Etude d'incidence des tirs de mine du projet sur la ressource en eau souterraine

7.1. Rappel des principes du projet

Le projet de carrière prévoit une extraction à ciel ouvert avec un abattement du gisement à l'explosif, puis tri, stockage et transport hors site. Des risques de pollution ont été identifiés en raison de l'utilisation d'engins d'exploitation (ravitaillement en carburant) mais également relatif à l'usage d'explosifs fabriqués à pied d'œuvre. Les produits utilisés sont essentiellement à base d'une émulsion mère de nitrate d'ammonium mais des explosifs à base de « nitrate-fuel » pourront être également utilisés.

L'ensemble des produits mis en œuvre dans chaque trou de mines sont considérés brûlés lors des tirs. L'exploitation sera effectuée à raison d'une fréquence d'un tir par jour sur la zone haute et sur la zone basse, tir qui sera effectué sur le créneau entre 10h et 16h. L'ensemble des produits mis en œuvre pour l'usage des explosifs est stocké sur place. Les bâtiments sont fermés et les produits stockés sur dalle étanche avec capacité de rétention en fonctions des produits liquides stockés. Le tout est localisé sur la plateforme haute.

7.2. Campagne d'échantillonnage de matériaux issus d'une carrière utilisant le « nitrate fuel » (carrière ETPC, Koungou, Mayotte)

7.2.1. Objectif

Afin d'évaluer l'incidence des risques de pollution liés à l'usage d'explosifs, deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur le site de la carrière ETPC de Koungou à Mayotte. Pour se placer, dans des conditions défavorables, les tirs ont été réalisés avec des explosifs de type nitrate-fuel.

Le nitrate fuel est un agent explosif composé à plus de 90 % d'ammonitrate (nitrate d'ammonium) et de gazole. La détonation aboutie à du nitrate, du dioxyde de carbone et de l'eau. Théoriquement, il peut subsister des résidus non consommés à l'issue de l'utilisation.

La première campagne a été réalisée par ETPC à l'issue des tirs du 16 et 17 novembre 2015. La seconde s'est déroulée le 14 décembre 2015. Elle a été réalisée par Antea Group.

Elle a été réalisée de façon à pouvoir caractériser des matériaux ayant fait l'objet d'un tir récent et des matériaux ayant fait l'objet d'un tir plus ancien. Elle a eu pour but, de

vérifier la présence de résidus d’explosifs sur les matériaux issus de tirs avec utilisation de nitrate fuel ainsi que leur potentielle évolution dans le temps.

7.2.2. Mode opératoire

Les roches massives au droit de la zone de tir ne pouvant être échantillonnées, il a été procédé au prélèvement de la fraction fine des matériaux issus du tir directement sur la zone éboulée, aménagée au préalable par une pelle mécanique (réalisation d’une voie d’accès). La fraction fine des matériaux est plus susceptible de rester en place et de contaminer les milieux par remobilisation.



Figure 19 : Localisation des sites d’échantillonnage (source GoogleMap)

Campagne du 16 et du 17 novembre 2015

Les matériaux prélevés correspondent aux fines expulsées des sondages contenant l’explosif, au moment de l’explosion et qui se redéposent ensuite au sommet du front de taille.

Localisation	Echantillon	Emplacement
16/11	T1	Haut du front de taille
	T2	Haut du front de taille
	T3	Haut du front de taille
17/11	T1	Haut du front de taille
	T2	Haut du front de taille
	T3	Haut du front de taille

Tableau 10 : Echantillons prélevés lors de la campagne du 14 décembre 2015

Les échantillons prélevés sont présentés dans le tableau ci-dessus et la Figure 19:

Campagne du 14 décembre 2015

Il a été procédé au prélèvement de matériaux sur trois emplacements distincts à savoir :

- Tir du 14 décembre FFT1 : l'échantillonnage a été réalisé environ 1h après réalisation du tir
- Tir réalisé le 1^{er} octobre 2015 FFT2 : prise d'un échantillon sur un tir ayant été réalisé 2 mois auparavant,
- Hors zone d'exploitation : prise d'un échantillon témoin.

Les échantillons prélevés sont présentés dans le tableau ci-dessous et la Figure 19:

Localisation	Echantillon	Emplacement
FFT1	T1	En contre bas des éboulis issus du tir
	T2	A mi-hauteur des éboulis
	T3	Au plus près du front de taille (8 m)
FFT2	T4	Au plus près du front de taille (10 m)
	T5	Au plus près du front de taille (10 m)
Limite Est du site	Témoin	Hors partie active de la carrière

Tableau 11 : Echantillons prélevés lors de la campagne du 14 décembre 2015

Le choix des zones de prélèvement a été conditionné par la présence de matériaux fins dans les éboulis issus des tirs. Dans la mesure du possible, les prélèvements ont été réalisés à des distances différentes par rapport au front de taille.

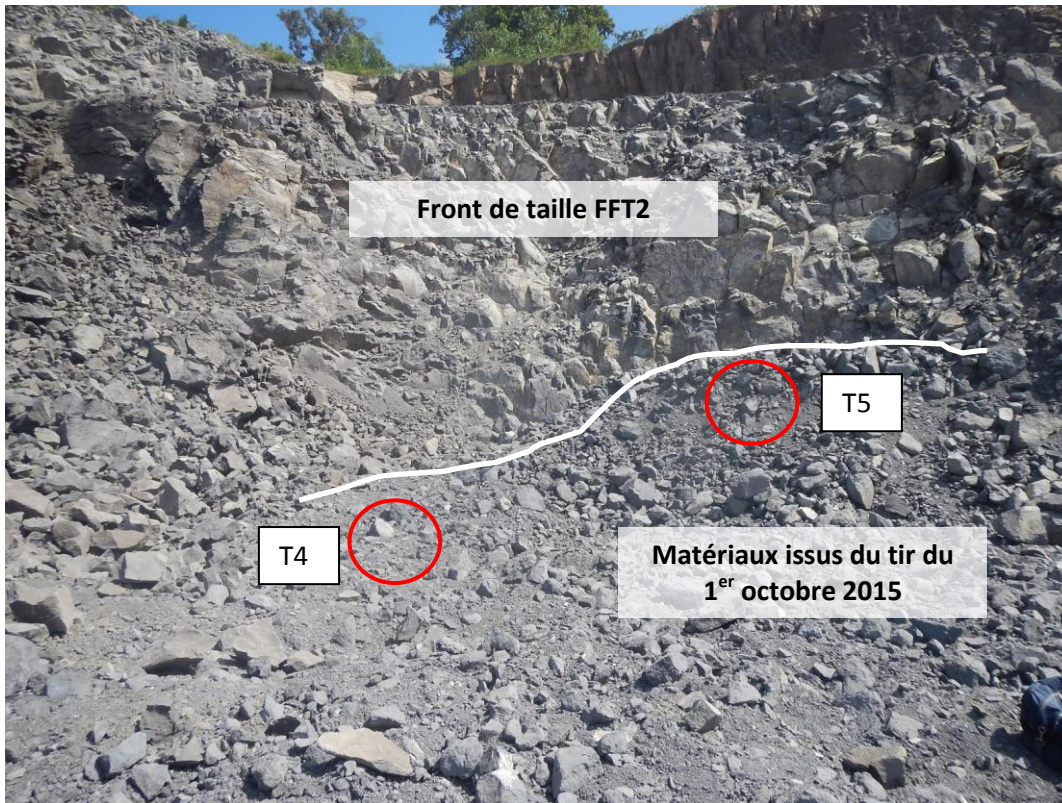
Les prélèvements sur FFT1 ont été réalisés en pied de talus le long de la voie d'accès aménagée dans l'éboulis (T1), à mi hauteur (T2) et au plus près du front de taille (T3). Les prélèvements sur FFT2 ont été réalisés sur un tas de matériaux issus du tir du 1^{er} octobre 2015 situés à trentaine de mètres au Sud-ouest de FFT1. Les échantillons ont été prélevés à une dizaine de mètres du front de taille sur 2 zones distinctes (T4 et T5) en pied et au sommet du tas de matériaux disponibles.



Site FFT1 - Aspect de la zone juste après le tir du 14 décembre



Site FFT1 – Localisation des prélèvements



Site FFT2 – Localisation des prélèvements

Figure 20 : Echantillonnage sur FFT1 et FFT2

L'ensemble de la partie active de la carrière ayant fait l'objet de tirs plus ou moins récents, le prélèvement de l'échantillon témoin a été réalisé sur un chemin d'accès situé le long de la bordure Est de la carrière. Cette zone se trouve sur les hauteurs de la carrière en contre bas d'un relief faisant écran entre la zone d'échantillonnage et les zones de tirs. Les matériaux échantillonnés dans cette zone correspondent aux terrains de couverture de la carrière.

Lors de la réalisation des prélèvements, un relevé des horizons lithologiques et des indices organoleptiques de pollution a été réalisé par un ingénieur d'Antea Group spécialisé en sites et sols pollués. L'échantillonnage des matériaux a été réalisé conformément à la norme AFNOR X31-100.

7.2.3. Observations

L'ensemble des observations réalisées lors des prélèvements sont présentées dans les fiche d'échantillonnage fournies en Annexe .

Les matériaux échantillonnés dans les zones de tir sont constitués de basalte à olivine sain. L'échantillon témoin est composé d'argiles limoneuses brunes qui constituent les terrains de couverture de la carrière.

Aucun indice organoleptique de contamination n'a été relevé lors des investigations.

7.2.4. Programme analytique

Le programme analytique réalisé pour chaque échantillon est présenté dans le Tableau 12 ci-dessous.

Paramètre analysés
Hydrocarbures Totaux C ₁₀ -C ₄₀ (HCT)
Métaux lourds (pack 8 métaux : Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb)
Nitrates NO ₃
Ammonium-N (NH ₄ ⁺)
Azote total

Tableau 12 : Programme analytique

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire ALCONTROL, accrédité équivalent COFRAC. Le programme d'analyses proposé a été défini en lien avec la nature de l'explosif utilisé.

Tous les échantillons prélevés ont fait l'objet d'analyses.

7.3. Résultats d'analyses

7.3.1. Valeur de référence

La méthodologie de gestion des sites et sols pollués, décrite dans la circulaire ministérielle du 08 février 2007 du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD), actuellement dénommé le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), invite à utiliser les valeurs de gestion réglementaire et les objectifs de qualité des milieux en vue d'interpréter l'état environnemental des milieux.

Les résultats d'analyses des échantillons de sols analysés sont comparés aux concentrations de référence suivantes :

- Pour les éléments traces métalliques, les valeurs sont comparées aux valeurs définies par le BRGM sur l'île de La Réunion dans le cadre de son étude « Cartographie des teneurs en Éléments Traces Métalliques (ETM) sur l'ensemble des sols de l'île de La Réunion – Rapport final – BRGM/RP-56576-Fr de novembre 2008 ». Cette valeur n'a pas de portée réglementaire. Par ailleurs, le contexte géologique s'il est volcanique à Mayotte, reste bien différent de ce qui est observé à la Réunion. Cette comparaison n'est purement qu'indicative en l'absence de fond géochimique de référence à Mayotte.

Elément	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg
Min	< LQ	< LQ	30	< LQ	< LQ	26	< LQ	< LQ
1 ^{er} quartile	24	0,3	241	45	89	119	10	0,08
Médiane	28	0,4	571	76	182	151	14	0,17
Moyenne	30	0,4	557	81	224	153	16	0,23
3 ^{ème} quartile	34	0,4	811	112	356	190	17	0,29
Max	54	0,8	1468	206	642	309	51	1,46

Tableau 13 : Statistiques élémentaires pour les 8 éléments (exprimés en mg.kg⁻¹) sur les 70 échantillons de sols de l'île de La Réunion (source: tableau 7, du rapport BRGM RP-56576-FR)

- L'arrêté ministériel du 12 décembre 2014 qui fixe la liste des types de déchets inertes admissibles dans les installations de stockage de déchets inertes et les conditions d'exploitation de ces installations. Rappelons que ces seuils n'ont de valeur qu'en cas d'évacuation des terres et n'ont pas de portée sanitaire.

Paramètres	Unités	Seuil d'acceptation déchets inertes
Hydrocarbures (HCT)	mg/kg MS	< 500

Tableau 14 : Seuils d'acceptation de terres en Installation de Stockage de Déchets Inertes

Pour tous les autres éléments, en l'absence de valeur de référence ou réglementaires, les résultats sont interprétés sur un constat de présence/absence.

Paramètres	Unité	Valeur limite de l'Arrêté du 12/12/2014 relatif aux critères d'acceptation des déchets inertes	Fond géochimique régional de la Réunion (3e quartile/max)	Tir du 16/11			Tir du 17/11			Tir du 14/12			Tir du 01/10		Témoin
				P1	P2	P3	P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	
matière sèche	% massique			99,4	97,8	98,8	97,9	98,9	97,4	94,9	94,5	94,5	97,5	96,9	74,1
METAUX															
arsenic	mg/kg MS		34 / 54	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
cadmium	mg/kg MS		0,4 / 0,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
chrome	mg/kg MS		811 / 1468	75	91	76	81	82	62	99	95	83	80	77	450
cuivre	mg/kg MS		112 / 206	59	61	51	53	56	51	63	56	54	57	56	91
mercure	mg/kg MS		0,29 / 1,46	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
plomb	mg/kg MS		17 / 51	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10	13
nickel	mg/kg MS		356 / 642	130	170	130	140	140	120	130	120	120	120	110	320
zinc	mg/kg MS		190 / 309	85	96	80	86	91	78	120	110	96	94	99	140
COMPOSES INORGANQUES															
ammonium	mg/kg MS			<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26
ammonium	mgN/kg MS			<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
HYDROCARBURES TOTAUX															
fraction C10-C12	mg/kg MS			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C12-C16	mg/kg MS			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C16-C21	mg/kg MS			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C21-C40	mg/kg MS			26	16	230	28	16	43	<5	13	9,1	<5	<5	<5
HCT C10-C40	mg/kg MS	500		25	<20	230	30	<20	45	<20	<20	<20	<20	<20	<20
AUTRES ANALYSES CHIMIQUES															
azote Kjeldahl	mgN/kg MS			72	72	119	88	92	112	58	39	32	38	66	525
nitrite	mgN/kg MS			<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61	<0,61
nitrite	mg/kg MS			<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
nitrate	mg/kg MS			5,1	19	<4	<4	10	13	<4	<4	7,2	<4	<4	<4
nitrate	mgN/kg MS			1,1	4,3	<0,9	<0,9	2,4	2,8	<0,9	<0,9	1,6	<0,9	<0,9	<0,9
calcul de l'azote total	mgN/kg MS			73	76	119	88	94	115	58	39	34	38	66	525

Tableau 15 : Synthèse des résultats des prélèvements de sols

7.3.2. Présentation des résultats

La synthèse des résultats d'analyses est présentée dans le Tableau. Les bordereaux analytiques du laboratoire sont fournis en Annexe.

Les résultats d'analyse mettent en évidence les informations suivantes :

- **Pour les métaux :** les résultats montrent une homogénéité des teneurs sur l'ensemble de échantillons des particules fines de roche massive après tirs et inférieures aux teneurs de l'échantillon témoin qui correspond, rappelons le à des terrains de couverture.
- **Pour les hydrocarbures :** les résultats sont inférieurs à la limite de quantification pour les éléments volatils (C₆-C₂₁). Pour les chaînes hydrocarbonées plus lourdes, les teneurs montrent ponctuellement des traces d'hydrocarbures notamment à proximité de la zone de tir (échantillons des 16/11 et 17/11) mais sont toutes inférieures au seuil ISDI (500 mg/kg MS) qui caractérise les déchets inertes admissibles dans les installations de stockage de déchets inertes (arrêté ministériel du 12 décembre 2014). La concentration maximale est recensée sur 16/11 - P3 avec une concentration de 230 mg/kg d'hydrocarbures totaux (intégralement C₂₁-C₄₀).
- **Pour l'ammonium :** les résultats sont inférieurs au seuil de caractérisation du laboratoire pour l'ensemble des échantillons.
- **Pour l'azote :** les résultats sont supérieurs au seuil de quantification du laboratoire pour l'azote Kjeldhal pour l'ensemble des échantillons. Elles sont comprises entre 72 et 119 mg/kg MS au droit des zones de tirs (Tirs 16/11 et 17/11) et entre 32 et 66 mg/kg MS dans les matériaux éboulés (Tirs 14/12 et 01/10). Ces concentrations restent inférieures à celle relevé dans le témoin correspondant aux terrains de couverture (525 mg/kg MS). Des traces de nitrates ont été relevées dans les échantillons 16/11P1, 16/11P2, 17/11P2, 17/11P3 et 14/11T3.

7.3.3. Interprétation des résultats

Les résultats ont permis d'identifier des traces de chaîne lourde d'hydrocarbures au niveau des prélèvements les plus proches des zones de tirs où ont été implantés les charges explosives de nitrate fuel. Aucune trace significative d'hydrocarbures n'a été identifiée à plus de 10 m de la zone de détonation.

Les concentrations mesurées en azote Kjeldhal semblent relativement plus élevées sur les zones de détonation que dans les matériaux éboulés. L'azote Kjeldahl mesure la quantité d'azote de différents composés azotés tels que l'ammonium. Hors, aucune concentration en ammonium n'a été mesurée au-dessus du seuil de quantification du laboratoire. Les teneurs en azote Kjeldahl sur les matériaux de carrière restent inférieures à la teneur mesurée dans les sols de couverture.

Les traces de nitrates ont également été identifiées au niveau des zones de détonation ou à proximité immédiate du front de taille uniquement, sans extension au-delà de quelques mètres du front de taille.

7.4. Incidence de l'utilisation d'explosifs sur la ressource souterraine

Il apparaît que l'usage du nitrate-fuel comme explosif ne laisse pas de résidu d'ammonium détectable au niveau de la zone de détonation ou sur les matériaux issus des tirs. Des traces d'hydrocarbures (fractions lourdes C₂₁-C₄₀) et des concentrations ponctuelles ne dépassant pas le seuil de caractérisation des déchets inertes peuvent être relevées au droit des zones de détonation sans extension significative au-delà de quelques mètres du front de taille. De légères traces de nitrates peuvent également être observées à proximité immédiate des zones de détonation.

Il est à noter que les matériaux fins identifiés comme la fraction la plus susceptible de rester sur les zones exploitées et donc d'être lessivée, ne représentent qu'une fraction infime des matériaux issus des tirs. Le reste des matériaux est ainsi évacué rapidement de la zone pour utilisation. Par ailleurs, les traces relevées et les surfaces restreintes sur lesquelles elles ont été identifiées ne sont pas de nature et d'importance à provoquer un impact significatif sur la ressource souterraine.

8. Autres incidences sur la ressource en eau souterraine

8.1. Incidence en matière de prélèvements

Le projet d'aménagement ne prévoit pas de forage ni de prélèvement d'eau souterraine.

Le projet n'a pas de conséquence directe ou indirecte quantitative sur les ressources.

8.2. Incidence sur l'alimentation de la nappe

Comme précisé dans le cadre du DDAE le projet de carrière prévoit d'**imperméabiliser une superficie de 27 200 m²**(voiries + 2 bases-vies).

Le projet en augmentant les surfaces imperméabilisées va réduire l'infiltration sur le site.

S'agissant de la nappe de base, l'aire d'alimentation de l'aquifère est constituée par la planèze jusqu'au rempart du Grand Bénare. Le projet ne représentant qu'une diminution à peine perceptible de la zone perméable, et ce d'autant en bordure d'océan où la nappe ne présente plus aucun enjeu.

8.3. Incidence sur la piézométrie

Aucun prélèvement n'est envisagé.

L'incidence quantitative du projet sur la piézométrie des eaux souterraines est nulle.

8.4. Incidence qualitative du projet sur la nappe

8.4.1. Pollutions accidentelles

Il s'agit de la pollution due à un déversement consécutif à un accident de la circulation qui implique un transport de matières dangereuses. La gravité des conséquences est variable : elle dépend de la nature et de la qualité du produit déversé, mais aussi de la ressource susceptible d'être contaminée.

Les hydrocarbures sont en cause dans la majorité des cas. Le danger vient ensuite des matières toxiques et des matières corrosives. Elles sont souvent solubles dans l'eau, ce qui les rend peu facilement récupérables. La toxicité dépend de la concentration dans le milieu.

La pollution accidentelle est un phénomène aléatoire. Elle peut être caractérisée par sa probabilité d'apparition. Sur une section autoroutière, on estime généralement que la fréquence d'accidents avec déversement de produits dangereux est de 1%/an/km, c'est à dire un accident tous les ans par tronçon de 100 km (SETRA - Service Technique des Routes et Autoroutes, 1980).

Sur le projet étudié ici, le risque de déversement accidentel pendant le transport est négligeable du fait de la faible vitesse des véhicules.

Pour ce qui est relatif à des opérations de chargement/déchargement de produits dangereux de quelque nature que ce soit les dispositions suivantes seront mises en œuvre :

En matière de produits d'hydrocarbures, le projet prévoit deux ateliers constitués de deux algécos et d'un conteneur carburant. Ces ateliers et la zone de ravitaillement sont établis sur une aire étanche reliée à un séparateur hydrocarbure.

Le conteneur carburant, de type station mobile, est doté d'une citerne double enveloppe de 40 m³.

Le ravitaillement des engins mobiles se fera directement sur l'aire de ravitaillement ; celui des engins non mobiles (pelles, foreuses) se fera directement sur les zones d'extraction au moyen d'un camion citerne homologué, équipé de pistolet à arrêt automatique.

L'ensemble des engins mobiles et non mobiles sera doté de kit antipollution et le personnel de la carrière sera régulièrement formé aux procédures d'intervention en cas de pollution accidentelle.

A noter également que l'ensemble des produits potentiellement polluants seront stockés sur cuvette de rétention d'une capacité équivalente à 50 % de la totalité des volumes stockés au 100 % du plus grand contenant.

Pour ce qui concerne les produits explosifs, tous les produits utilisés dans le cadre de la fabrication d'explosifs sont stockés séparément dans un bâtiment dédié, couvert et sur dalle étanche positionné sur la plateforme de tri haute.

La zone de stockage des nitrates d'ammonium, conditionné en big bag, est dotée d'un seuil surélevé par rapport au niveau du sol, permettant une séparation avec le milieu naturel.

La zone de préparation de l'émulsion mère est quant à elle, constituée comme une zone

de rétention capable de reprendre 100 % du volume d'émulsion.

Les voies de circulation et zones des parkings des bases vie sont reliées à un séparateur à hydrocarbures.

Des exercices d'intervention seront organisés de manière aléatoire afin de tester la bonne maîtrise de ces procédures.

En raison des dispositions prises, l'incidence qualitative du projet sur les eaux souterraines vis-à-vis d'une pollution accidentelle liée à un déversement accidentel est faible, d'autant que la nappe ne présente aucun enjeu sur le secteur.

8.4.2. *Pollutions chroniques*

En matière d'assainissement, le projet prévoit la collecte et le traitement des eaux usées par un système autonome sur les 2 bases vie où l'ensemble des locaux sera relié à un dispositif d'une capacité de 20 eq/hb, chacun constitué d'un filtre à sable vertical non drainé conforme au DTU64.1.

Les sources de pollutions chroniques liées à l'assainissement dans le cadre du projet sont prises en compte.

Il n'y a pas d'incidence négative du projet sur la nappe en matière d'assainissement.

Les autres sources de pollutions chroniques sont liées à la mise en place de voiries et circulation des engins et à la mise à nue des sols.

Dans ce scénario, les polluants déposés sur les voiries sont transportés par les eaux de ruissellement. Par expérience, le ruissellement des eaux dans les ravines se produit pour les épisodes de pluie supérieurs à un seuil compris entre 50 et 80 mm/j et plus particulièrement, à 80 mm/j sur ce secteur, attesté par les pluies de début d'année. Dans ces conditions, le scénario le plus pénalisant considère des événements de pluies inférieurs à ces seuils, pour lesquels un ruissellement sera observé sur les zones aménagées et non dans le milieu naturel.

Il n'y a alors aucune capacité de dilution dans le milieu naturel.

Les EP (eaux pluviales) du Bassin Versant de la zone des travaux sont reprises par des fossés vers deux bassins créés dès le démarrage de l'exploitation et dimensionnés pour assurer la rétention totale d'une pluie décennale pendant 1h, conformément au guide de gestion des EP à la Réunion.

A noter toutefois que le nombre de bassins mis en place est deux fois supérieur au volume nécessaire pour stocker la pluie décennale pendant 1h.

Le rejet des eaux de trop plein vers le milieu naturel ne devrait pas survenir en raison des seuils de dimensionnements retenus sauf événement exceptionnel de type

cyclonique. La surverse de ces bassins en cas de tel évènement, se fera en direction des talwegs existants. En phase d'extraction, ces bassins deviendront surdimensionnés car leur bassin versant sera intercepté par les fosses d'extraction. Les bassins sont dimensionnés également pour assurer une sédimentation des MES et ainsi en cas de rejet avoir un abattement de la pollution MES dans le bassin.

En dehors des MES, la nature des éventuelles pollutions chroniques est liée à la circulation des véhicules et à leur stationnement sur les espaces de parking revêtue :

- résidus de la combustion des carburants : hydrocarbures, ...
- résidus issus de l'usure de pneumatiques,
- résidus métalliques issus de la corrosion des véhicules,
- huiles et graisses minérales,
- résidus issus de l'usure de la chaussée.

Les ouvrages de traitement prévus (séparateur à hydrocarbures positionnés au niveau des 2 bases vie) sont adaptés à traiter ces éventuelles sources de pollution.

Vis-à-vis des eaux souterraines, il est fort probable que les ravines, qui encadrent le site et qui sont le lieu d'infiltration préférentielle à l'aval des cassés en cas d'écoulement de surface, aient potentiellement un impact important sur la qualité des eaux de la nappe dans ce secteur aval. En saison des pluies, la qualité de la nappe pourra être affectée en fonction de la qualité des eaux de surface des ravines des Avirons et de la Ravine du Trou qui drainent un important bassin versant.

En période sèche, aucun composé hydrocarbures totaux n'a toutefois été identifié dans les eaux souterraines analysées au droit des piézomètres.

En cas de fortes pluies, l'incidence du projet de rejet des eaux pluviales traitées sur les eaux souterraine ne peut être quantifiée. Elle est très faible comparée à la situation actuelle du bassin versant en matière d'eau de surface et la nappe ne présente aucun enjeu.

En ce qui concerne les périodes de pluie où aucun ruissellement n'est constaté dans les ravines, les dispositifs de traitement des eaux pluviales entraîne un confinement du premier flot et un éventuel rejet d'eau traité mais sans aucune dilution dans le milieu récepteur. Il est fort probable que ces écoulements s'infiltreront totalement au droit des talwegs. Là encore, l'impact sur les eaux souterraines ne peut être quantifié compte tenu des faibles débits engendrés, de la part d'évaporation et de l'épaisseur de la zone non saturée.

La encore la nappe ne présente aucun enjeu.

En cas de précipitations engendrant un ruissellement sur les parties imperméabilisées et non imperméabilisées du projet mais sans incidence sur le débit des ravines, les dispositifs de traitement envisagés sont dimensionnés de manière conforme à la réglementation.


Observations sur l'utilisation du rapport


Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par ANTEA GROUP ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe 1. Fiche d'échantillonnage des eaux


(2 pages)


		FICHE DE PRELEVEMENT D'EAU			Pz1/RVT1			
					Piézo Eau			
N° du projet : REUP150039 Intitulé : Ravine du Trou Commune : Saint-Leu Responsable de projet : E. ANTEMI		Prélevé le : 14/12/2015						
Opérateur(s) ANTEA :		Entreprise de pompage : Antea Group						
Niveau piézométrique : (m / repère) 12,23 influencé non influencé		Profondeur de l'ouvrage : (m / repère) 14,92						
Nature du repère : Rebord tubage PVC		Diamètre int. de l'ouvrage (mm) : 64						
Hauteur du repère / sol :		Volume de l'ouvrage : 8,65 L						
Cote du repère : relative absolue		Volume minimal à purger : 25,95 L						
Outil de prélèvement : Pompe PP36		Outil de purge : Pompe PP36						
Position de l'aspiration : (m / repère) 13 m		Refoulement : 1 pouce						
Conditions météorologiques : Beau temps Environnement du point de prélèvement : Friche								
Paramètres physico-chimiques mesurés in situ								
N° échantillon : RVT1								
Temps de pompage (mn)	Niveau dynamique (m / repère)	Débit de pompage (l/mn)	Volume purgé (en litres)	Potentiel rédox (ORP)	Aspect de l'eau	T °C	pH	Conduct. µS/cm.
3	12,23	6,894	21	9,9	turbide	21,70	7,07	4 776
10	12,23	7,056	71	66,4	claire	21,3	7,16	4 833
15	12,23	6,97	105	70,8	claire	21,39	7,18	4840
Flottants : Eau claire, absence de flottants								
Echantillons délivrés au laboratoire :		Alcontrol laboratoires			le : 15/12/2015			
Type de flaconnage : Flaconnage laboratoire verre ou PET selon paramètres analysés								
Conditionnement des échantillons d'eau brute :								
Observations ou justification du non respect du mode opératoire :								

 FICHE DE PRELEVEMENT D'EAU		Pz2/RVT2						
		Piézo Eau						
N° du projet : REUP150039 Intitulé : Ravine du Trou Commune : Saint-Leu Responsable de projet : E. ANTEMI Prélevé le : 14/12/2015								
Opérateur(s) ANTEA :		Entreprise de pompage : Antea Group						
Niveau piézométrique : (m / repère) 31,9 influencé non influencé		Profondeur de l'ouvrage : (m / repère) 50,69						
Nature du repère : Rebord tubage PVC		Diamètre int. de l'ouvrage (mm) : 112						
Hauteur du repère / sol :		Volume de l'ouvrage : 185,03 L						
Cote du repère : relative absolue		Volume minimal à purger : 555,08 L						
Outil de prélèvement : Préleveur manuel		Outil de purge : Préleveur manuel						
Position de l'aspiration : (m / repère)		Refoulement :						
Conditions météorologiques : Beau temps								
Environnement du point de prélèvement : Friche								
Paramètres physico-chimiques mesurés in situ								
N° échantillon : RVT2								
Temps de pompage (mn)	Niveau dynamique (m / repère)	Débit de pompage (l/mn)	Volume purgé (en litres)	Potentiel rédox (ORP)	Aspect de l'eau	T °C	pH	Conduct. µS/cm.
	31,90		5	4,5	claire	22,60	10,23	4 890
	31,90		10	60,0	claire	22,7	9,73	4 876
	31,90		15	34,3	claire	21,8	9,97	4895
<i>Flottants : Eau claire, absence de flottants</i>								
Echantillons délivrés au laboratoire :				Alcontrol laboratoires		le : 15/12/2015		
Type de flaconnage : Flaconnage laboratoire verre ou PET selon paramètres analysés								
Conditionnement des échantillons d'eau brute :								
Observations ou justification du non respect du mode opératoire :								

Annexe 2. Fiche d'échantillonnage des sols


(12 pages)




		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T1
Agence : Réunion		Projet n° : REUP150039		
Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis		Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte		
Tél : 02 62 20 95 88		Commune : Koungou, Mayotte		
Fax : 02 62 20 95 87		Resp. projet : Eric ANTEMI		
		Début de campagne : 14/12/2015		
		Fin de campagne : 14/12/2015		
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>		
X <input type="text" value="522 355"/>		Y <input type="text" value="8 591 173"/>		
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT1"/>				
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>		
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)	
-	Basalte à olivines broyé	-	T1 en bordure du chemin d'accès	
Observations : Aucun indice organoleptique				


		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T1
Agence :	Réunion	Projet n° :	REUP150039	
Adresse :	55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis	Intitulé :	DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte	
Tél :	02 62 20 95 88	Commune :	Koungou, Mayotte	
Fax :	02 62 20 95 87	Resp. projet :	Eric ANTEMI	
		Début de campagne :	14/12/2015	
		Fin de campagne :	14/12/2015	
Opérateur (s)	<input type="text" value="CS"/>	Outil	<input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>	
X	<input type="text" value="522 355"/>	Y	<input type="text" value="8 591 173"/>	
Localisation	<input type="text" value="Front de taille FT1"/>			
Date/Heure	<input type="text" value="14/12/2015"/>	Profondeur	<input type="text" value="Surface"/>	



PHOTOGRAPHIES





		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T2
Agence : Réunion Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis Tél : 02 62 20 95 88 Fax : 02 62 20 95 87		Projet n° : REUP150039 Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte Commune : Koungou, Mayotte Resp. projet : Eric ANTEMI Début de campagne : 14/12/2015 Fin de campagne : 14/12/2015		
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>		
X <input type="text" value="522 355"/>		Y <input type="text" value="8 591 173"/>		
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT1"/>				
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>		
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)	
-	Basalte à olivines broyé	-	T2 à mi-hauteur de l'éboulis	
Observations : Aucun indice organoleptique				

		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T2	
Agence : Réunion		Projet n° : REUP150039			
Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis		Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte			
Tél : 02 62 20 95 88		Commune : Koungou, Mayotte			
Fax : 02 62 20 95 87		Resp. projet : Eric ANTEMI			
		Début de campagne : 14/12/2015		Fin de campagne : 14/12/2015	
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>			
X <input type="text" value="522 355"/>		Y <input type="text" value="8 591 173"/>			
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT1"/>					
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>			
PHOTOGRAPHIES					
 					


		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T3
Agence : Réunion Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis Tél : 02 62 20 95 88 Fax : 02 62 20 95 87		Projet n° : REUP150039 Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte Commune : Koungou, Mayotte Resp. projet : Eric ANTEMI Début de campagne : 14/12/2015 Fin de campagne : 14/12/2015		
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>		
X <input type="text" value="522 355"/>		Y <input type="text" value="8 591 173"/>		
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT1"/>				
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>		
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)	
-	Basalte à olivines broyé	-	T3 partie haute de l'éboulis	
Observations : Aucun indice organoleptique				


		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T3
Agence : Réunion Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis Tél : 02 62 20 95 88 Fax : 02 62 20 95 87		Projet n° : REUP150039 Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte Commune : Koungou, Mayotte Resp. projet : Eric ANTEMI Début de campagne : 14/12/2015 Fin de campagne : 14/12/2015		
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>		
X <input type="text" value="522 355"/>		Y <input type="text" value="8 591 173"/>		
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT1"/>				
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>		
PHOTOGRAPHIES				
				

		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T4
Agence : Réunion Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis Tél : 02 62 20 95 88 Fax : 02 62 20 95 87		Projet n° : REUP150039 Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte Commune : Koungou, Mayotte Resp. projet : Eric ANTEMI Début de campagne : 14/12/2015 Fin de campagne : 14/12/2015		
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>		
X <input type="text" value="522 323"/>		Y <input type="text" value="8 591 145"/>		
Localisation <input type="text" value="Front de taille FT2"/>				
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>		
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)	
-	Basalte à olivines broyé	-	T4	
Observations : Aucun indice organoleptique				


		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T4
Agence :	Réunion	Projet n° :	REUP150039	
Adresse :	55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis	Intitulé :	DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte	
Tél :	02 62 20 95 88	Commune :	Koungou, Mayotte	
Fax :	02 62 20 95 87	Resp. projet :	Eric ANTEMI	
		Début de campagne :	14/12/2015	
		Fin de campagne :	14/12/2015	
Opérateur (s)	<input type="text" value="CS"/>	Outil	<input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>	
X	<input type="text" value="522 323"/>	Y	<input type="text" value="8 591 145"/>	
Localisation	<input type="text" value="Front de taille FT2"/>			
Date/Heure	<input type="text" value="14/12/2015"/>	Profondeur	<input type="text" value="Surface"/>	
PHOTOGRAPHIES				



 Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T5	
Agence : Réunion Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis Tél : 02 62 20 95 88 Fax : 02 62 20 95 87		Projet n° : REUP150039 Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte Commune : Koungou, Mayotte Resp. projet : Eric ANTEMI Début de campagne : 14/12/2015 Fin de campagne : 14/12/2015	
Opérateur (s)	<input type="text" value="CS"/>	Outil	<input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>
X	<input type="text" value="522 323"/>	Y	<input type="text" value="8 591 145"/>
Localisation	<input type="text" value="Front de taille FT2"/>		
Date/Heure	<input type="text" value="14/12/2015"/>	Profondeur	<input type="text" value="Surface"/>
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)
-	Basalte à olivines broyé	-	T5
Observations : Aucun indice organoleptique			

		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		T5
Agence :	Réunion	Projet n° :	REUP150039	
Adresse :	55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis	Intitulé :	DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte	
Tél :	02 62 20 95 88	Commune :	Koungou, Mayotte	
Fax :	02 62 20 95 87	Resp. projet :	Eric ANTEMI	
		Début de campagne :	14/12/2015	
		Fin de campagne :	14/12/2015	
Opérateur (s)	<input type="text" value="CS"/>	Outil	<input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>	
X	<input type="text" value="522 323"/>	Y	<input type="text" value="8 591 145"/>	
Localisation	<input type="text" value="Front de taille FT2"/>			
Date/Heure	<input type="text" value="14/12/2015"/>	Profondeur	<input type="text" value="Surface"/>	
PHOTOGRAPHIES				



		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		Témoin	
Agence : Réunion		Projet n° : REUP150039			
Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis		Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte			
Tél : 02 62 20 95 88		Commune : Koungou, Mayotte			
Fax : 02 62 20 95 87		Resp. projet : Eric ANTEMI			
		Début de campagne : 14/12/2015		Fin de campagne : 14/12/2015	
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>			
X <input type="text" value="325 974"/>		Y <input type="text" value="7 681 430"/>			
Localisation <input type="text" value="Chemin bordure Est du site"/>					
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>			
Profondeur (m)	Description	PID (ppm)	Profondeur échantillonnée (m)		
30-40 cm	Argile limoneuse brune	-	TEMOIN (40 cm)		
Observations : Aucun indice organoleptique					

		Fiche de prélèvement de sol Echantillonnage		Témoïn	
Agence : Réunion		Projet n° : REUP150039			
Adresse : 55 rue Jules Auber 97400 Saint-Denis		Intitulé : DDAE de la carrière de la Ravine du Trou - Echantillonnage carrière de Koungou, Mayotte			
Tél : 02 62 20 95 88		Commune : Koungou, Mayotte			
Fax : 02 62 20 95 87		Resp. projet : Eric ANTEMI			
		Début de campagne : 14/12/2015		Fin de campagne : 14/12/2015	
Opérateur (s) <input type="text" value="CS"/>		Outil <input type="text" value="Pelle mécanique / truelle"/>			
X <input type="text" value="325 974"/>		Y <input type="text" value="7 681 430"/>			
Localisation <input type="text" value="Chemin bordure Est du site"/>					
Date/Heure <input type="text" value="14/12/2015"/>		Profondeur <input type="text" value="Surface"/>			
PHOTOGRAPHIES					
					

Annexe 3 – Résultats d’analyses des eaux

(4 pages)

Annexe 4 – Résultats d’analyses des sols

(23 pages)

Fiche signalétique

Rapport

Titre : Ravine du Trou – Etude Hydrogéologique

Numéro et indice de version : 83012 /A

Date d'envoi : Janvier 2016

Nombre de pages : 61

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. Client

1 ex. Agence

Nombre d'annexes dans le texte : 4

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

1 ex. Auteur

Client

Coordonnées complètes :

SCPR

Boulevard de la Marine – B.P. n°57

97822 Le Port Cedex

Téléphone : 0262 43 58 58

Nom et fonction des interlocuteurs : Thierry SCHANTZ, Responsable QSE

Antea Group

Unité réalisatrice : EREU

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial : Eric ANTEMI

Responsable de projet : Eric ANTEMI

Expert technique : Eric ANTEMI

Secrétariat : Cynthia CLAIN

Qualité

Contrôlé par : F. JACQUIN

Date : Janvier 2016 - Version A

N° du projet : REUP150039

Références et date de la commande :

Mots clés : hydrogéologique, géologique, hydrologique, Saint-Leu, Avirons, forage