



Ville de Saint Paul



Rapport Extension du cimetière de Bois de Nèfles

Etude hydrogéologique préalable



Rapport n°130335/A– 24 mai 2024

Projet suivi par Florent JACQUIN – 02.62.20.95.88 – florent.jacquin@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Extension du cimetière de Bois de Nèfles Etude hydrogéologique préalable

CLIENT

Ville de Saint Paul

Place du Général. de Gaulle,
Saint-Paul 97460

SITE

Bois de Nèfles

Fabrice MAH-CHAK

Chargé d'opérations

Service Construction et Conduite d'Opérations

Direction Superstructures

Tel : 0262 34.58.86

GSM : 0693 94.83.54

Jeanfabrice.mahchak@mairie-saintpaul.fr

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet

Florent JACQUIN

Interlocuteur commercial

Implantation de La Réunion

Implantation chargée du suivi du projet

02.62.20.95.88

reunion @anteagroup.fr

Rapport n°

130335

Version n°



A

Votre commande et date

BDC n° C3240012 en date du 05/04/2024

Projet n°

REUP240021

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Raphaël La Néelle	Ingénieur d'études	Mai 2024	
Approbation	Eric ANTEMI	Responsable Antea Group Réunion	Mai 2024	
Relecture qualité	Magali GALMICHE	Secrétariat	Mai 2024	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	29/05/2024	26	1	Version initiale

Sommaire

1. Contexte et objectifs	6
2. Sources documentaires	8
3. Présentation du site – localisation	9
3.1. Contexte climatique	10
3.2. Contexte hydrologique	11
3.3. Contexte géologique	12
3.4. Contexte hydrogéologique	13
3.4.1. Les aquifères identifiés	13
3.4.2. Coupes de forages disponibles	15
3.4.3. Données de piézométrie sur le secteur	16
3.4.4. Périmètre de protection des ouvrages du secteur	17
3.5. Masse d'eau au sens du SDAGE	19
4. Vulnérabilité de la ressource	22
4.1. Vulnérabilité intrinsèque de la nappe	22
4.2. Vulnérabilité liée au projet d'extension du cimetière communal de Bois de Nèfles Saint Paul	
25	
4.2.1. Investigations de terrain	25
4.2.2. Gestion des eaux pluviales	26
4.2.3. Usages de la nappe à l'aval du cimetière et vulnérabilité de la ressource	26
4.2.4. Risque inondation et mouvement de terrain	27
4.2.5. Hygiène publique	27
5. Conclusions	29

Table des figures

Figure 1 : Localisation du cimetière du Bois de Nèfles (Source : geoportail.gouv.fr)	9
Figure 2 : Localisation de l'extension du Cimetière du Bois de Nèfles (Source : Ville de St Paul)	10
Figure 3 : Cumul en mm des précipitations sur l'année 2022 (Source : Météo France)	11
Figure 4 : Carte hydrologique du secteur d'étude (Source : Carmen)	12
Figure 5 : Carte géologique (Source : extrait carte de la Réunion au 1/100 000 ^{ème} du BRGM)	13
Figure 6 : Modèle hydrogéologique de la zone (Source : Antea Group)	14
Figure 7 : Coupe topogéologique DD' (Source : Cabinet Guy Billard)	16
Figure 8 : Suivi piézométrique sur P13 Cambaie, SP1 Tour des Roches et P18 Omega aux alentours	
des forages Trois Chemins (Source : OLE 1989-2022)	17
Figure 9 Localisation des périmètres de protection des forages et zones de surveillance renforcée	
(Source : ARS)	18
Figure 10 : détail de la localisation des zones de surveillance renforcée	19

Figure 11 : Délimitation des masses d'eau souterraine (Source : Etat des lieux 2019 – Comité de Bassin de La Réunion).....	20
Figure 12 : Evaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine, 2019 (Source : SDAGE 2022-2027).....	21
Figure 13 : Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine, 2019 (Source : SDAGE 2022-2027).....	21
Figure 14 : Définition de la zone non saturée (Source : http://geology.er.usgs.gov/eespteam/brass/ground/groundintro.htm)	22
Figure 15 : Carte de l'IDPR pondéré (Source : Rapport Bac BRGM)	22
Figure 16 : Extrait de la carte du calcul IDPR 2016 à La Réunion (Source : Aunay et al., 2011).....	23
Figure 17 : Evolution des teneurs en nitrates sur les forages AEP du Tour des Roches (Source : D'après données de l'ARS).....	24
Figure 18 : Photos de reconnaissance du site du projet d'extension du cimetière	25
Figure 19 : Aléas Inondation et Mouvement de terrain au niveau du cimetière du Bois de Nèfles (Source : Données cartographiques issues du PPR de Saint-Paul).....	27

1. Contexte et objectifs

La commune de Saint Paul envisage de procéder à l'extension du cimetière de Bois de Nèfles situé au niveau du Chemin Safer.

Dans ce cadre, la commune souhaite réaliser une étude hydrogéologique et environnementale préalable permettant de vérifier la faisabilité technique, réglementaire et environnementale de son projet d'extension de cimetière.

Le projet n'est pas implanté dans un périmètre de protection de ressources en eau mais se situe en amont immédiat de la zone de surveillance renforcée des forages F5 3 chemins, FRH15, FRH16 et FRH13.

Les caractéristiques géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques des terrains, ainsi que le risque de pollution des eaux superficielles et souterraines doivent entrer en ligne de compte dans la vérification de la faisabilité de ce projet d'extension.

La faisabilité des travaux d'extension peut être soumise à l'avis d'un hydrogéologue agréé en cas d'usage d'eau potable à l'aval et de périmètres de protection.

L'article 2223-2 du Code Général des Collectivités Territoriales (article 40 du code général des collectivités territoriales, modifié par le décret n° 2111-121 du 28 janvier 2011) mentionne que pour l'implantation des cimetières, « les terrains les plus élevés et exposés au nord (nota : pour l'hémisphère nord) sont choisis de préférence. Ceux-ci doivent être choisis sur la base d'un rapport établi par l'hydrogéologue. Ce rapport se prononce sur le risque que le niveau des plus hautes eaux de la nappe libre superficielle puisse se situer à moins d'un mètre du fond des sépultures ».

L'agrandissement du cimetière implique l'obligation de clôturer la nouvelle extension. L'article 2223-2 du Code Général des Collectivités Territoriales (article 40 du code général des collectivités territoriales, modifié par le décret n° 2111-121 du 28 janvier 2011) mentionne que : « Ils [les nouveaux terrains utilisés pour l'extension] sont entourés d'une clôture ayant au moins 1,50 mètre de haut. »

D'un point de vue sanitaire, une enquête doit être menée notamment en matière d'usage des eaux souterraines. En effet, en cas de risque sanitaire, « les puits peuvent, après visite contradictoire d'experts, être comblés par décision du représentant de l'Etat dans le département » (article 2223-5 du CGCT).

L'étude hydrogéologique et environnementale doit permettre ainsi de vérifier la faisabilité technique, réglementaire et environnementale du projet.

- Faisabilité technique : aptitude des sols au creusement et vérification des contraintes géologiques, hydrogéologiques à prendre en compte lors de la réalisation des aménagements ;
- Faisabilité réglementaire : répondre aux exigences réglementaires sur les risques de présence d'une nappe d'eau souterraine à faible profondeur dans le secteur (nappe perchée, ruissèlement hypodermique) ;
- Environnementale : vérifier le cadre environnemental du site et de ses abords, ainsi que les incidences du projet en matière d'hygiène publique et réglementaire. Vérification de la compatibilité du projet avec les aspects géologiques, hydrogéologiques, hydrologiques,

ressources en eau souterraine et leur protection, la gestion des eaux pluviales, le contexte anthropique, les risques naturels.

C'est dans ce cadre que la ville de Saint Paul a confié à Antea Group l'étude hydrogéologique permettant d'évaluer les incidences sanitaires et environnementales du projet d'extension du cimetière de Bois Nèfles Saint Paul.

2. Sources documentaires

Les principales sources et références documentaires consultées pour la rédaction de ce document, et citées en source de données, sont listées ci-dessous :

- Banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM, coupes géologiques et informations historiques des forages du secteur : F5 et P13 <http://www.infoterre.brgm.fr/> - 1979 et 1992
- Données de suivi piézométriques des piézomètres P13, SP1 et Oméga, OLE – 2023
- Extension du cimetière de Bois de Nèfles à Saint-Paul, dossier n° 22187, Lacq Groupe Géotec
- Forages F5 et F5 bis – 3 Chemins : Pré diagnostic des ouvrages, rapport n°A124630, Antea Group – juillet 2023
- Dossier de demande d'autorisation des forages FRH15, FRH16, FRH3
- Schéma Directeur D'Aménagement et de Gestion des Eaux, SDAGE 2022 – 2027 – Comité de l'Eau et de la Biodiversité.

3. Présentation du site – localisation

Le cimetière est situé dans le quartier du Bois de Nèfles de la commune de Saint-Paul, le long du Chemin Safer entre la Ravine Précipice et la Ravine Lolotte, à 200 m de la route départementale D4 (Figure 1)

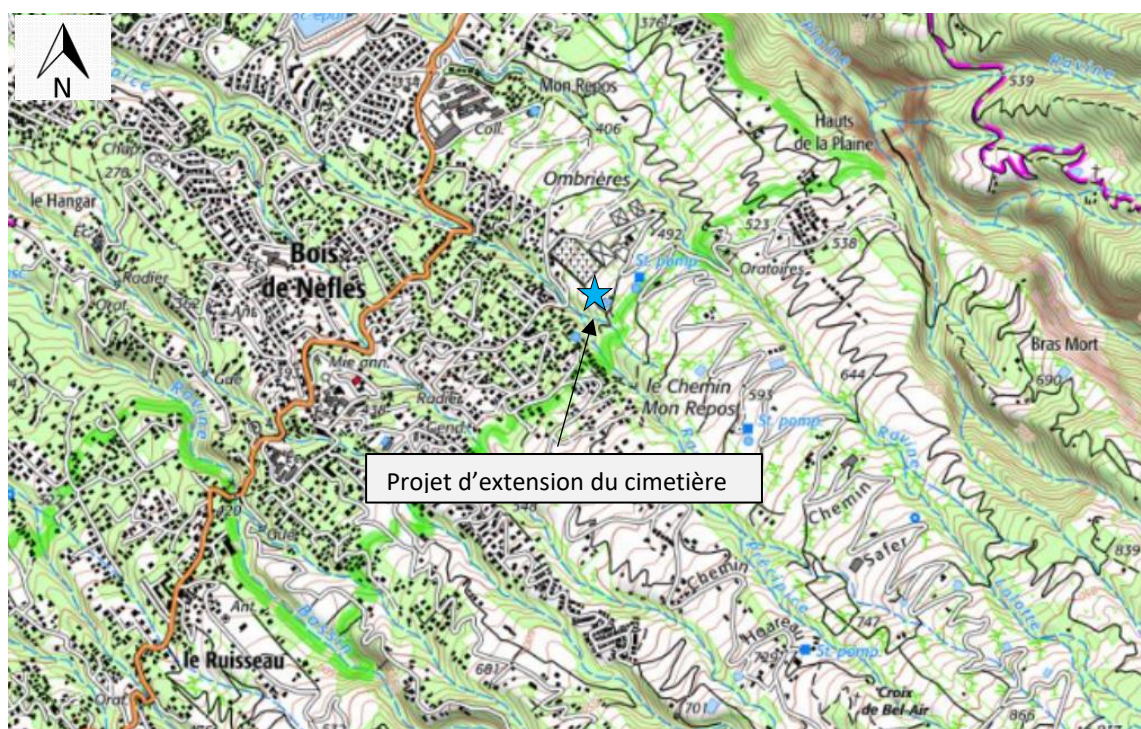


Figure 1 : Localisation du cimetière du Bois de Nèfles
 (Source : geoportail.gouv.fr)

Le cimetière actuel est situé sur les parcelles n° 142 et n° 143 section AV et n° 524, 526, 529, 1342 section AS de la commune de Saint-Paul (Figure 2).

Le projet d'extension concerne les parcelles n° 1169, 1170, 1172 et 1175 section AS.

03/03/2022

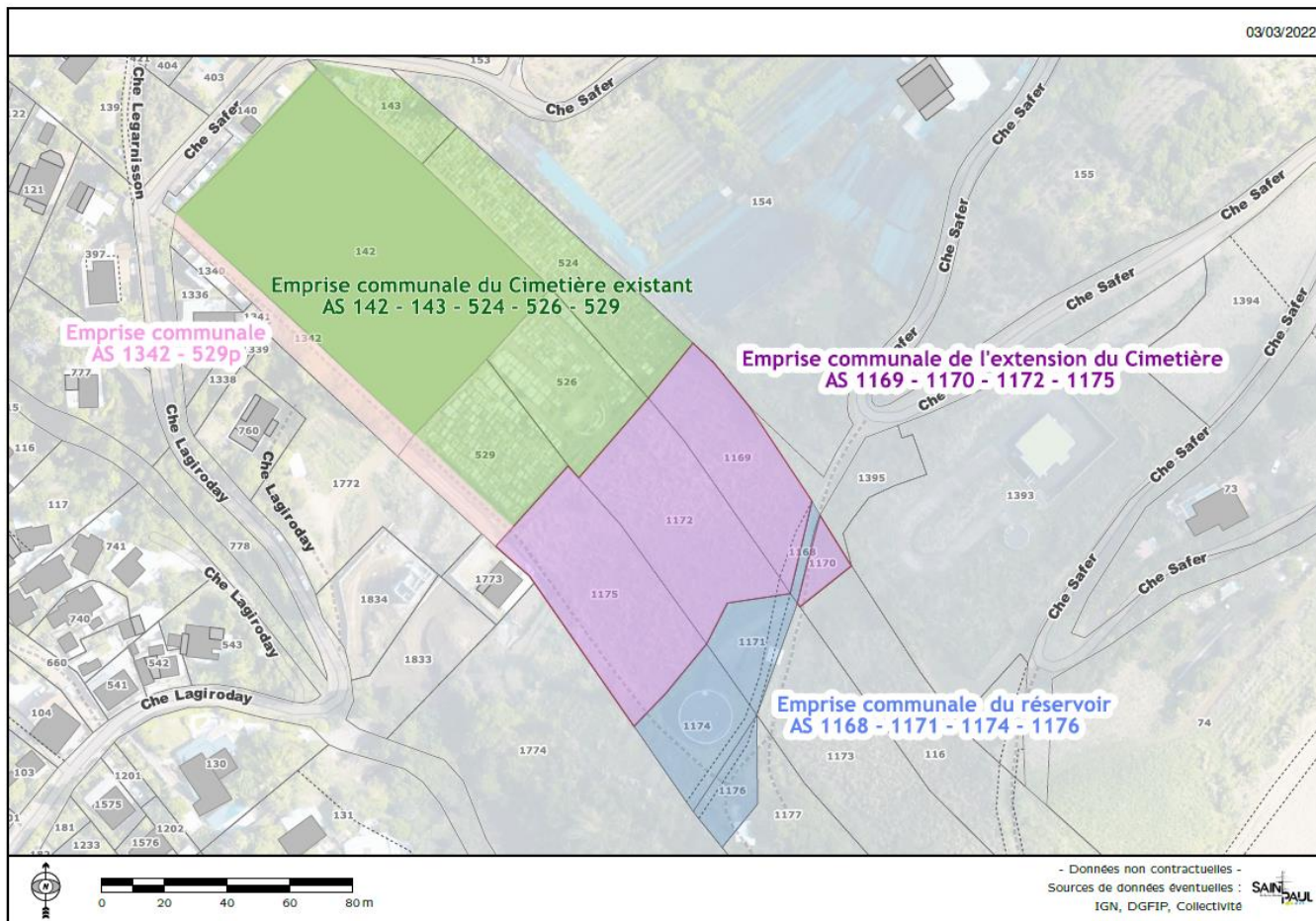


Figure 2 : Localisation de l'extension du Cimetière du Bois de Nèfles (Source : Ville de St Paul)

Ces parcelles présentent une pente de l'ordre de 20% et sont orientées au Nord-Ouest. L'environnement de l'extension, similaire au site actuel, est principalement marqué par l'urbanisme (zone périurbaine). L'altitude est comprise entre 460 m NGR et 490 m NGR.

3.1. Contexte climatique

Situé sur la côte « sous le vent », le secteur d'étude est soumis à un régime climatique avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1 000 à 1 250 mm (Figure 3), pour un nombre de jours de précipitations d'environ 50. Le régime estival de saison des pluies concentre la majorité des précipitations avec des intensités importantes. Sur la période hivernale et début estival (juin à novembre), les cumuls journaliers sont bien moins importants voire des cumuls mensuels inférieurs à 20 mm.

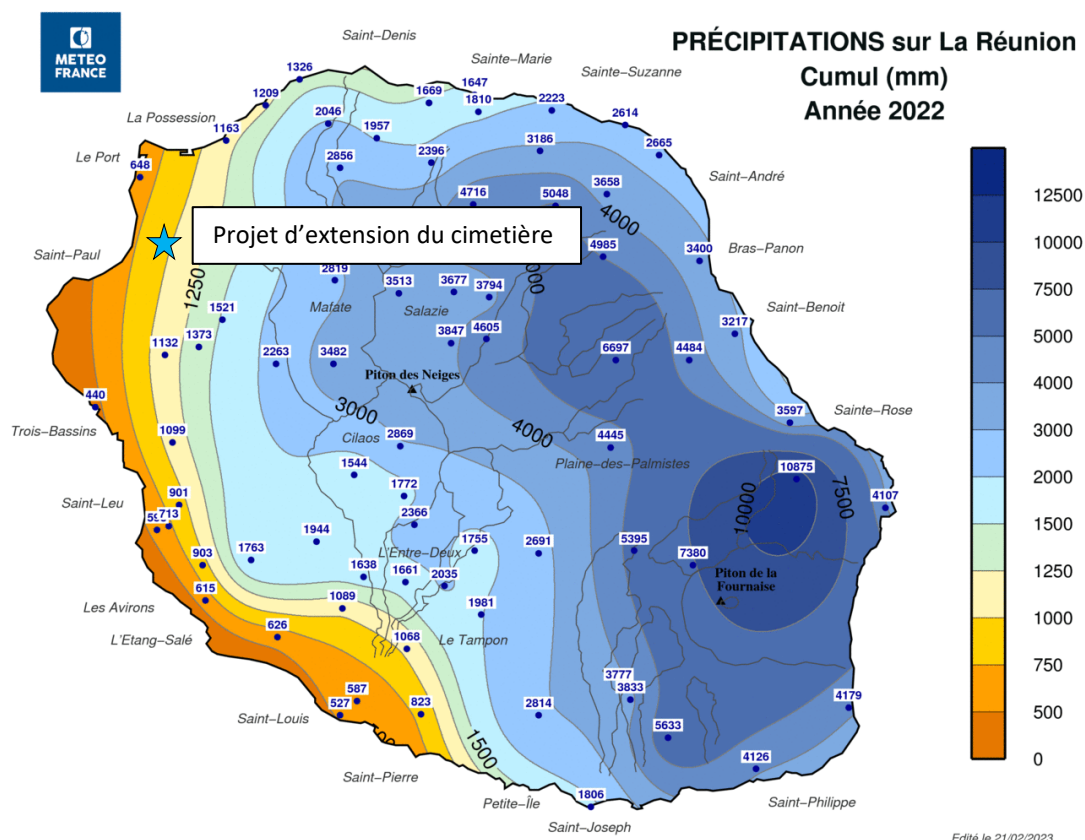


Figure 3 : Cumul en mm des précipitations sur l'année 2022 (Source : Météo France)

3.2. Contexte hydrologique

Le quartier du Bois de Nèfles est situé entre la Ravine la Plaine et la Ravine Bassin (Figure 4). Le réseau hydrographique est globalement orienté sud-est nord-ouest. Il est constitué de différentes ravines qui sont, du nord au sud, la Ravine la Plaine, la Ravine Lolotte, la Ravine Précipice et la Ravine Bassin visibles sur la carte ci-dessous.

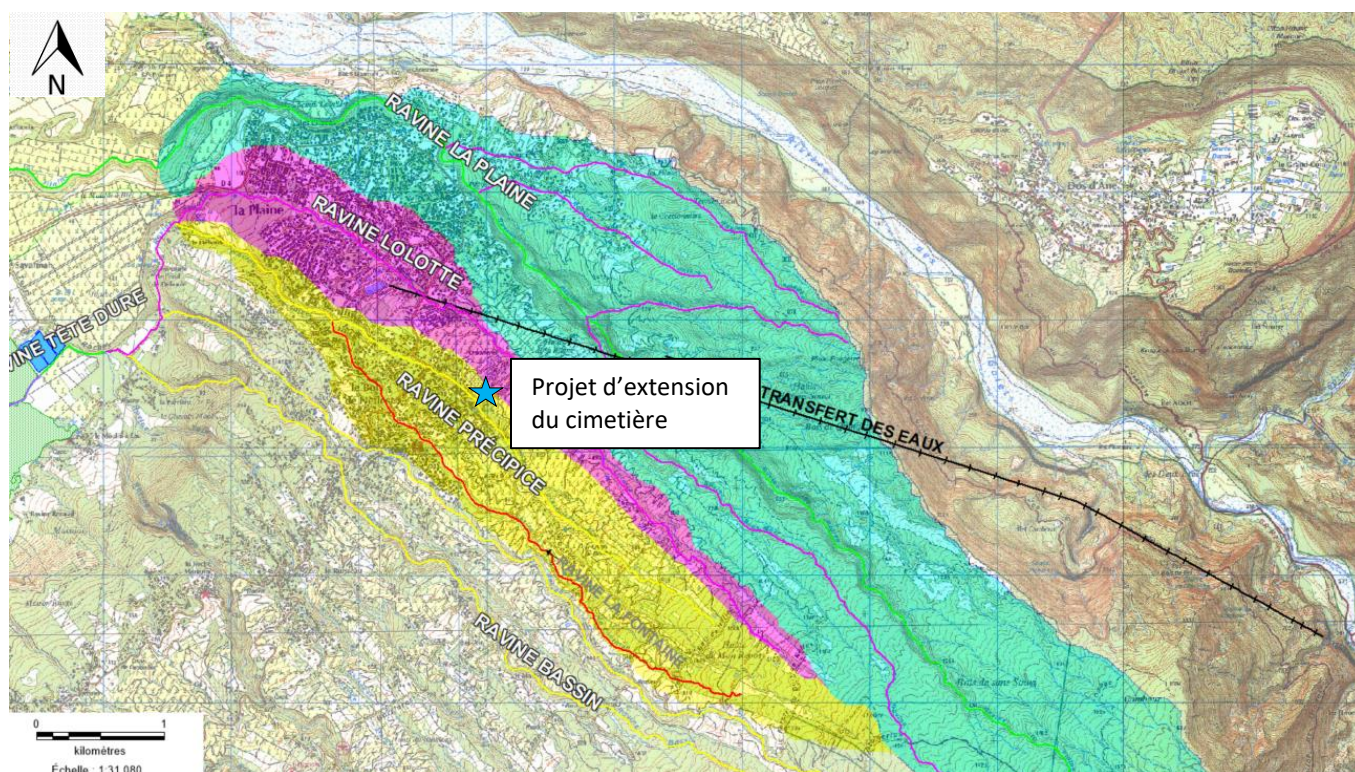


Figure 4 : Carte hydrologique du secteur d'étude (Source : Carmen)

Exceptée la Rivière des Galets, aucune ravine du secteur n'est pérenne. Le réseau hydrographique du secteur est constitué de ravines sèches qui ne coulent que lors de fortes pluies avec des crues brutales et fugaces (cyclones).

Le cimetière actuel est situé sur le bassin versant de la Ravine Précipice, à environ 80 m du cours d'eau. La Ravine Lolotte est située à 300 m au nord. A noter que la Ravine Lolotte est le lieu de décharge des eaux des bassins ILO (irrigation du littoral Ouest) et peu donc présenter un écoulement ponctuel au droit de la Plaine Saint Paul en aval.

En termes d'hydrologie, peu de données sont disponibles sur les écoulements de crue des ravines.

Seule la Rivière des Galets dispose de données en différents points de son cours. Les autres ravines, non pérennes ne disposent donc pas de données.

3.3. Contexte géologique

Les informations disponibles sur la carte géologique (Figure 5) indiquent que, les formations géologiques rencontrées dans ce secteur appartiennent au massif du Piton des Neiges. Elles comprennent :

- Des coulées basaltiques appartenant à la phase d'activité II. Elles constituent l'ossature des reliefs. En amont du chemin du tour des Roches, ces basaltes anciens constituaient une falaise littorale ; Quelques affleurements sont présents principalement aux altitudes comprises entre 50 et 350 m NGR.

- Des coulées basaltiques appartenant aux phases d'activité III et IV. Elles recouvrent largement les reliefs édifiés pendant la phase d'activité II et ont en partie submergé l'ancienne falaise littorale ;
- Des formations pyroclastiques (tufs). Il s'agit généralement de matériaux terreux bréchiques résultant d'éruptions explosives qui se sont produites entre les phases d'activité III et IV. On les rencontre sur les pentes dominantes de Saint-Paul jusqu'aux crêtes de la planèze du Maïdo, sous forme d'épandages d'épaisseur métrique à décamétrique. Ces tufs reposent sur les coulées plus anciennes de basaltes à olivines issues de la phase II.

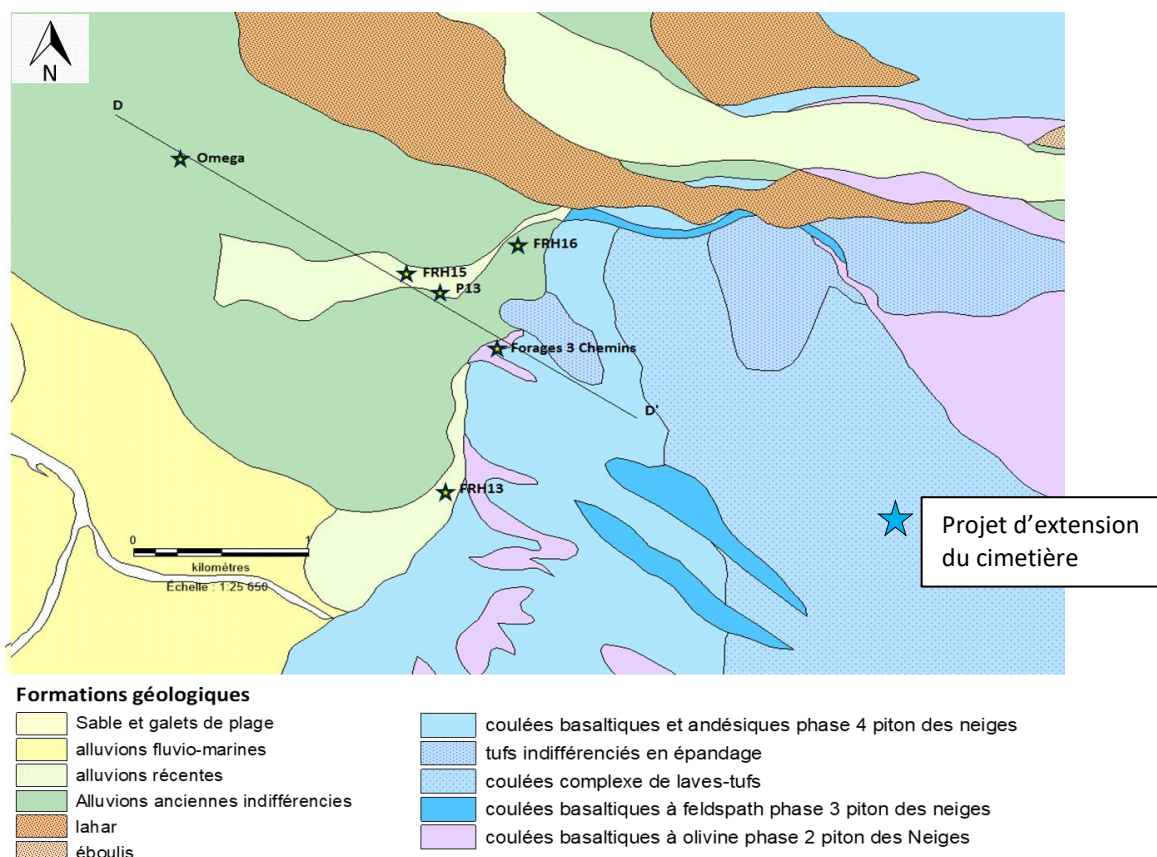


Figure 5 : Carte géologique (Source : extrait carte de la Réunion au 1/100 000^{ème} du BRGM)

Le secteur d'étude est implanté au droit des formations basaltiques récentes de phase IV, constituées de coulées de lave et de tufs.

On note à l'aval des formations alluvionnaires anciennes et récentes issues du cône de déjection de la Rivière des Galets. Ces formations reposent sur les coulées basaltiques plus anciennes.

3.4. Contexte hydrogéologique

3.4.1. Les aquifères identifiés

Le projet est situé au sein de la masse d'eau « FRLG123 Formations Volcaniques de Bois de Nèfles à Dos d'Âne » à une altitude d'environ 470 m NGR. Les principales ressources en eau souterraine du

secteur Nord de Saint-Paul sont contenues dans la nappe de base. La nappe peut être libre ou captive sous un paléosol / sous les tufs ou sous les alluvions de l'étang Saint Paul.

Selon l'étude hydrogéologique de référence du secteur (Cabinet Guy Billard, 2001)

« Des eaux météoriques s'infiltrent sur des reliefs, souvent au niveau des zones fracturées et peuvent ensuite circuler au toit de formations peu perméables : couches d'altération pédologique de coulées basaltiques II et III, tufs, alluvions fossiles. »

Par ailleurs, les eaux souterraines empruntent fréquemment des réseaux hydrographiques fossiles, actuellement masqués par des terrains récents.

Ces eaux s'infiltrent vers la nappe de base localisées dans les basaltes scoriacés et complexes de laves-tufs issus de la phase IV.

Au sein de ces formations de phase IV, et à l'interface des paléosols séparant la phase III de la phase IV, il peut exister des niveaux faiblement perméables qui peuvent soutenir des petites nappes perchées d'épaisseur et d'extension faibles. Ces écoulements horizontaux peuvent émerger à la faveur d'accidents topographiques (bassin vital en aval sur la Ravine Bassin) ou vers l'altitude 100 m NGR dans la ravine Lolotte mais restent très faibles et s'infiltrent à nouveau rapidement. Majoritairement ces eaux s'infiltrent donc progressivement dans la zone non saturée pour atteindre des niveaux plus profonds qui participent à l'alimentation de la nappe de base (zone saturée) en équilibre avec l'océan (Figure 6).

La proximité de l'océan induit ensuite la présence d'un biseau salé. La zone de transition eau-douce eau salée semble épaisse d'une dizaine de mètres reconnue notamment au droit du P18 Oméga et certains ouvrages amont de l'étang Saint Paul.



Figure 6 : Modèle hydrogéologique de la zone (Source : Antea Group)

L'épaisseur de zone non saturée augmente de la zone littorale vers l'amont. Le gradient de la nappe est de quelques pour mille alors que les pentes de la planèze sont de 20%. Au droit du projet, la zone non saturée est estimée à plusieurs centaines de mètres et aucun forage n'a permis d'identifier la profondeur exacte de la nappe au droit du site. Elle est, en revanche, connue plus à l'aval au niveau

des forages d'exploitation AEP (F53 chemins et forages FRH) où elle atteint une profondeur de l'ordre de 70 mètres.

Pour les ouvrages les plus à l'aval, l'épaisseur de la zone non saturée (constituée des alluvions) est moins épaisse, de l'ordre de dizaines de mètres

Ces ouvrages AEP sont les forages des Trois Chemins, FRH13, FRH15 et FRH16 (implantés à des altitudes comprises entre 10 et 75 m NGR, voir Tableau 1) au niveau de la zone de transition géologique entre la planèze basaltique et le système alluviale mixte de la plaine Saint-Paul formé par les alluvions du cône de déjection (Contexte géologique). Les coordonnées géographiques de ces ouvrages sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Nom du forage		Indice national	Coordonnées (rapport travaux ou BSS)
Forages Trois Chemins	Forage F5	1226-2X-0068	X : 324783 m Y : 7678758 m Z : 75.08 m précision NGR
	Forage F5 bis	1226-2X-0089	X : 324742 m Y : 7678807 m Z : 75.01 m précision NGR
	Forage F5 ter	1226-2X-0166	X : 324732 m Y : 7678773 m Z : 65 m précision NGR
FRH13		1226-2X-0271	X : 324444 m Y : 7677690 m Z : 17 m
FRH15		1226-2X-0272	X : 324285 m Y : 7679146 m Z : 55 m
FRH16		1226-2X-0269	X : 325031 m Y : 7679650 m Z : 74 m précision EPD
P13		1226-2X-0170	X : 324317 m Y : 7678976 m Z : 68,91 m précision GPS
SP1 Tour des Roches		1226-2X-0176	X : 322537 m Y : 7676033 m Z : 9,48 m précision GPS
P18 OMEGA	P18 OMEGA 1	1226-2X-0338	X : 323062 m Y : 7679895 m Z : 25,96 m précision NGR
	P18 OMEGA 2	1226-2X-0186	X : 323060 m Y : 7679896 m Z : 27,04 m précision GPS

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des ouvrages utilisés pour l'étude (Source : BRGM)

3.4.2. Coupes de forages disponibles

L'inventaire des forages (à proximité du secteur d'étude) référencés dans la banque de données du sous-sol (BBS) est présenté sur la carte précédente (Figure 5).

L'analyse des coupes géologiques disponibles met en évidence que l'ensemble de ces ouvrages captent la nappe de base, localisée sous une couverture ou non d'alluvions, dans des alternances de formations de basaltes massifs et de scories. La limite des alluvions et des formations basaltiques est bien identifiée au droit de la confluence des ravines Lolotte, Précipice et Jardin. Les ravines entaillant la planèze ont une orientation Sud est Nord-Ouest jusqu'à ce qu'elles rencontrent et buttent contre les formations alluvionnaires et prennent alors une orientation Nord Est sud-ouest en direction de l'Etang Saint Paul.

La nappe de base exploitée dans le secteur est considérée comme une nappe libre compte tenu de la nature des formations superficielles. La coupe topogéologique DD' (Figure 7) interprétative du Cabinet Guy Billard même ancienne est représentative du schéma hydrogéologique de la zone

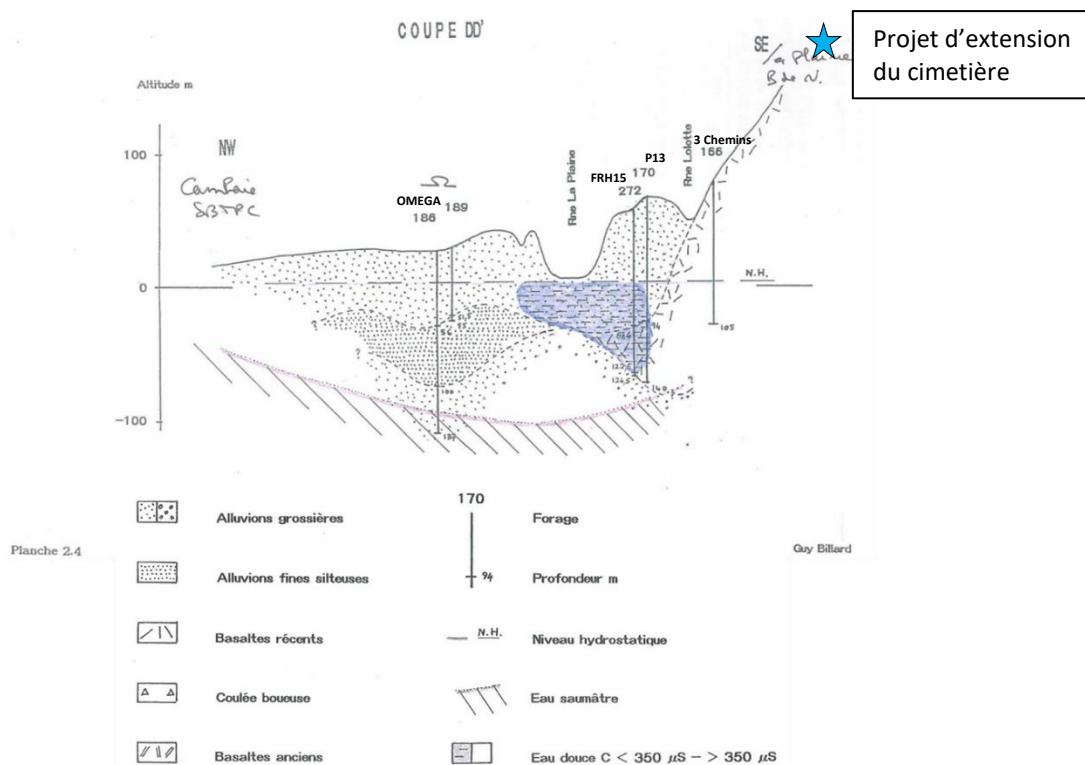


Figure 7 : Coupe topogéologique DD' (Source : Cabinet Guy Billard)

3.4.3. Données de piézométrie sur le secteur

Les ouvrages les plus proches, les forages F5, F5 bis et F5 ter ne font pas l'objet depuis leur création de suivi en continu de leurs niveaux piézométriques. Le forage FRH13 non plus. De manière générale les ouvrages exploités pour l'alimentation en eau potable ne font pas l'objet de suivis piézométriques.

Les piézomètres P13, SP1 Tour des Roches et Omega (Tableau 1) font, eux, l'objet d'un suivi automatique du niveau d'eau qui renseigne sur le niveau en m NGR de la nappe en aval du secteur de l'étude. Ce niveau se situe aux alentours de **2,5 m NGR** en moyenne sur une période allant de 1989 à 2022 (Figure 8).

Les variations piézométriques sont faibles à l'échelle annuelle, de l'ordre de quelques dizaines de centimètres, et sont rythmées par le régime des pluies et dépressions cycloniques. Il en est de même pour l'ensemble des ouvrages situés à l'amont des émergences des sources de l'Etang Saint Paul. On constate que les ouvrages P13, P18 Oméga 2 et SP1 fonctionnent de manière similaire, évolution représentative du comportement de la nappe de base. Le forage P18 Oméga 1 est représentatif de la nappe supérieure rencontrée au-dessus de la nappe de base. Cette nappe a une charge piézométrique inférieure à celle de la nappe de base.

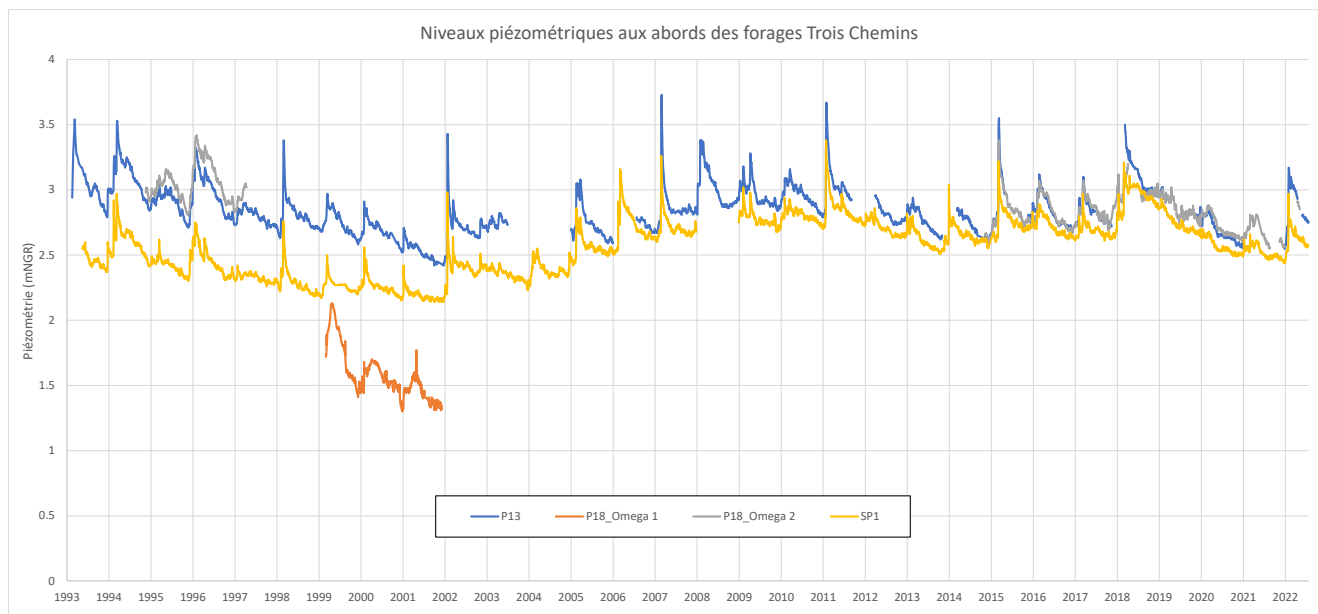


Figure 8 : Suivi piézométrique sur P13 Cambaie, SP1 Tour des Roches et P18 Omega aux alentours des forages Trois Chemins (Source : OLE 1989-2022)

Les quelques données de mesures ponctuelles de niveau disponibles sur les forages de 3 Chemins indiquent un niveau d'eau localisé vers 72 m/sol, soit environ **3 m NGR**. Ces données sont cohérentes avec les données disponibles sur les ouvrages du secteur.

En considérant un gradient hydraulique de la nappe de base de 1 pour 1000, la position de la nappe de base au droit du projet située à 2 km en amont des forages AEP situés en pied de planèze, serait d'environ **4 à 5 m NGR**.

Pour mémoire le projet est situé à une altitude comprise entre 460 m NGR et 490 m NGR, l'épaisseur de la zone non saturée serait donc de l'ordre de plusieurs centaines de mètres.

3.4.4. Périmètre de protection des ouvrages du secteur

L'inventaire auprès de l'ARS des ouvrages de captages exploités et de leur périmètre de protection présents dans le secteur est présenté sur la figure suivante (Figure 9).

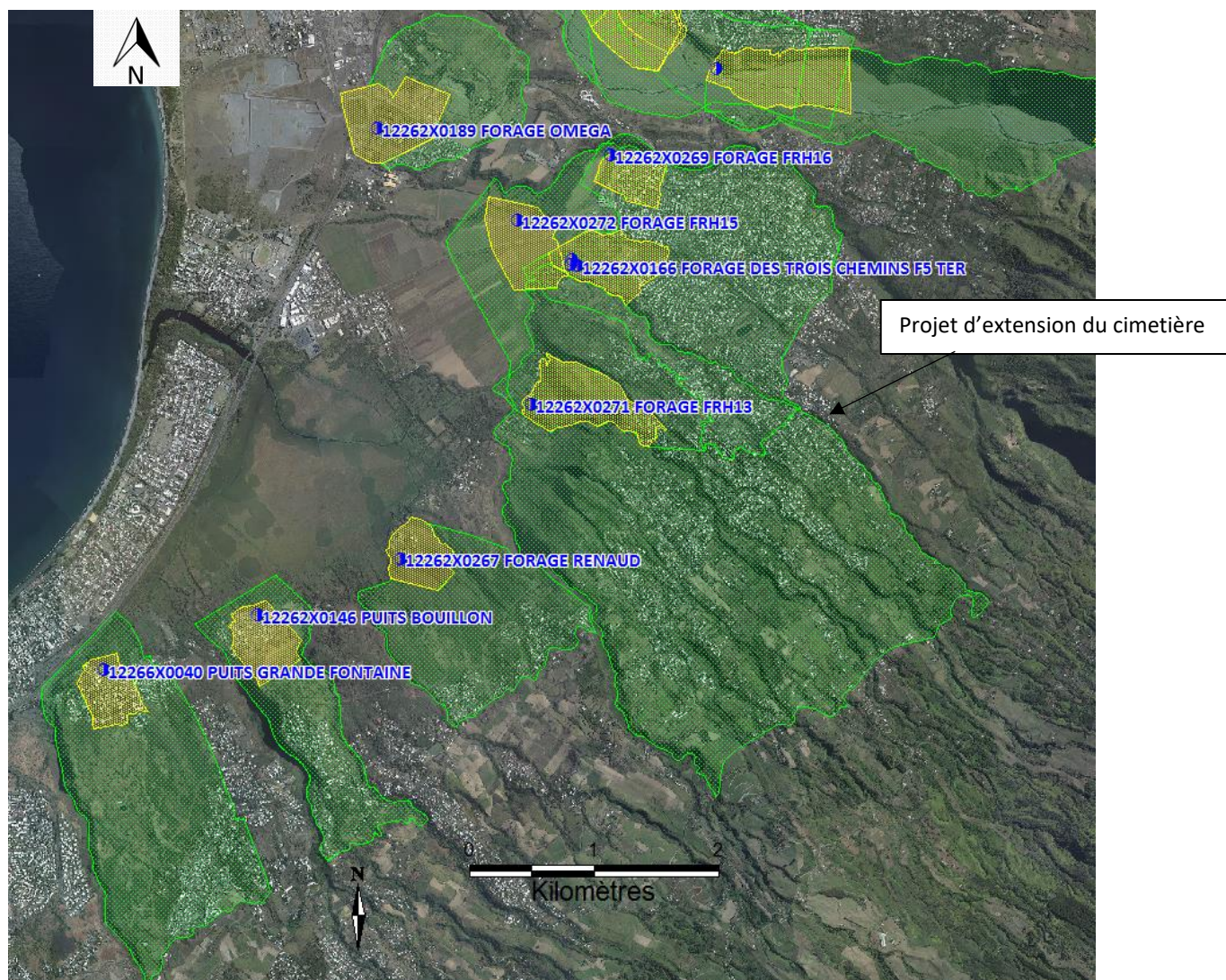


Figure 9 Localisation des périmètres de protection des forages et zones de surveillance renforcée (Source : ARS)

Le projet d'extension du cimetière se trouve en dehors de tout périmètre de protection de forages et en amont des captages AEP les plus proches à environ plus de 3km et en dehors des zones de surveillance renforcée mais ces limites sont très proches. On note ainsi à moins de 100m, en rive gauche de la ravine Précipice, la zone de surveillance renforcée du forage FRH13 et à moins de 400 m en aval la zone de surveillance renforcée des forages FRH15 et FRH16.

Au-delà de ces limites « administratives », on retiendra que les forages les plus proches à l'aval sont les forages F5, F5 bis et F5 ter et si leur zone de surveillance renforcée n'interfère pas avec la zone du cimetière actuel, c'est que leurs périmètres de protection sont plus anciens et moins contraignants que les forages FRH plus récents.

Il s'agit donc de considérer les enjeux de ces ouvrages d'eau potable nombreux à l'aval du site du projet.



Figure 10 : détail de la localisation des zones de surveillance renforcée

On note également à proximité du projet d'extension deux réserves d'eau et une station de pompage (Figure 17).

3.5. Masse d'eau au sens du SDAGE

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 2022-2027, identifie 27 masses d'eau (identiques au SDAGE 2016-2021) 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.

Le cimetière de Bois de Nèfles est inclus dans la masse d'eau délimitée au SDAGE, « FRLG123 Formations Volcaniques de Bois de Nèfles à Dos d'Âne » (Figure 11).

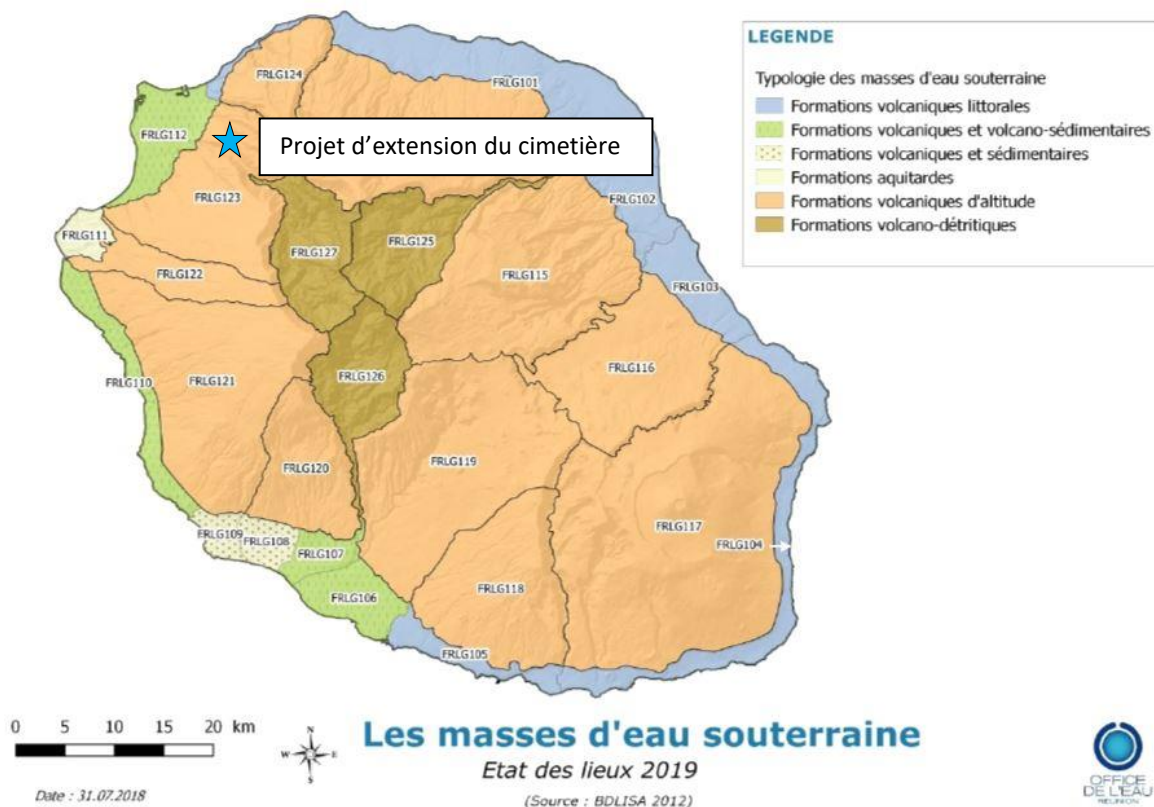


Figure 11 : Délimitation des masses d'eau souterraine (Source : Etat des lieux 2019 – Comité de Bassin de La Réunion)

La masse d'eau FRLG123 correspond aux hauts de Saint-Paul jusqu'aux crêtes de la planèze du Maïdo. L'étendue de la masse d'eau globalise les écoulements souterrains du secteur et de fait, masque les grandes hétérogénéités qui existent de part et d'autre de l'aquifère volcanique.

Selon l'état des lieux conduit en 2019 dans le cadre du SDAGE 2022-2027, la masse d'eau FRLG123 était en bon état chimique et quantitatif (Figure 12 & Figure 13).

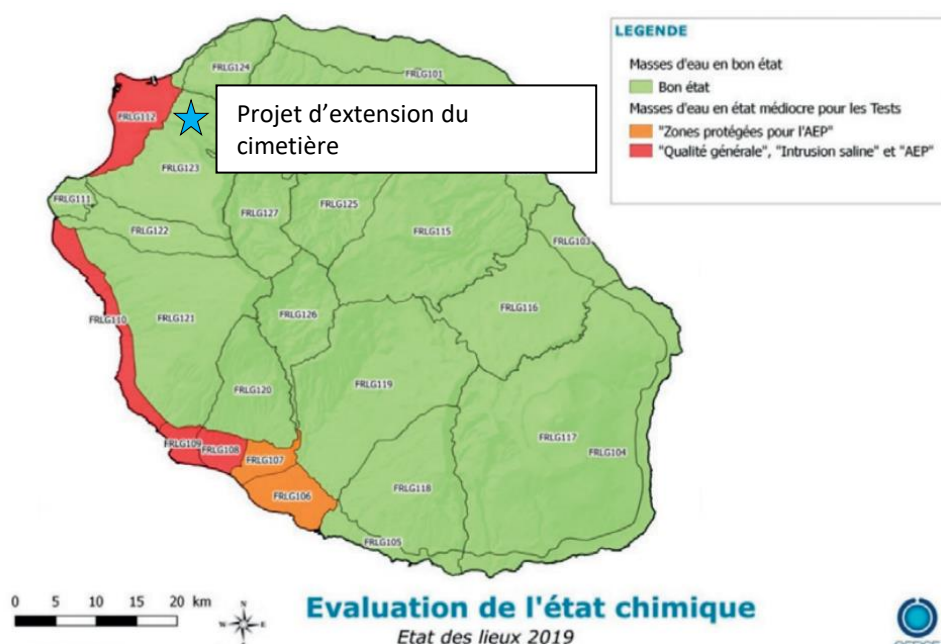


Figure 12 : Evaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine, 2019 (Source : SDAGE 2022-2027)

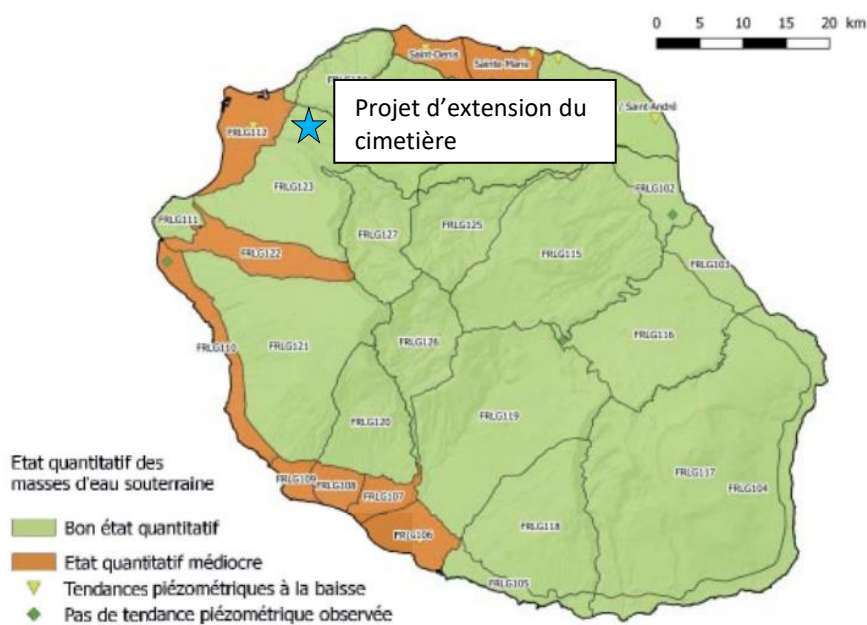


Figure 13 : Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine, 2019 (Source : SDAGE 2022-2027)

Dans l'ensemble, les données de cette masse d'eau ne sont pas adaptées à l'échelle du projet d'extension du cimetière car la notion de masse d'eau globalise les différentes nappes et les hétérogénéités hydrogéologiques.

4. Vulnérabilité de la ressource

4.1. Vulnérabilité intrinsèque de la nappe

Dans le domaine de la qualité de l'eau, la vulnérabilité d'une ressource peut être définie, comme sa plus ou moins grande capacité de défense « naturelle » face à un processus de contamination ; cette notion étant à relier avec le degré d'exposition de la ressource.

La vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines du secteur a été définie de manière générale dans l'étude Bassin d'Alimentation de Captages (BAC) du BRGM (rapport n° RP-59057-FR) en utilisant une combinaison de deux critères, l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) et l'épaisseur de Zone Non Saturée (Figure 14).

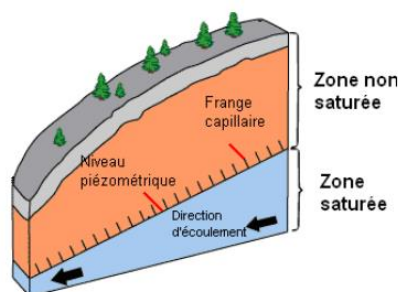


Figure 14 : Définition de la zone non saturée (Source :
<http://geology.er.usgs.gov/eespteam/brass/ground/groundintro.htm>)

L'IDPR est calculé en fonction du type de nappe (libre, semi-captif, captif), de l'épaisseur de la zone non saturée, de la pente et de la rugosité. La carte de l'IDPR (Figure 15) ainsi obtenue :

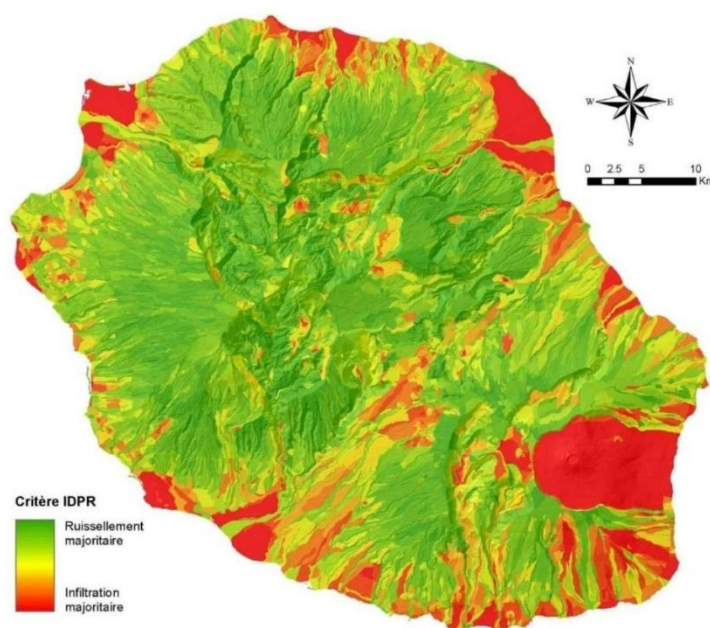


Figure 15 : Carte de l'IDPR pondéré (Source : Rapport Bac BRGM)

La carte représentant l'IDPR par unité fonctionnelle (Figure 16) montre que ce dernier a une valeur comprise entre 925 et 970 ce qui permet de considérer que le projet d'extension du cimetière du Bois de Nèfles est dans une zone présentant un taux d'infiltration mineur.

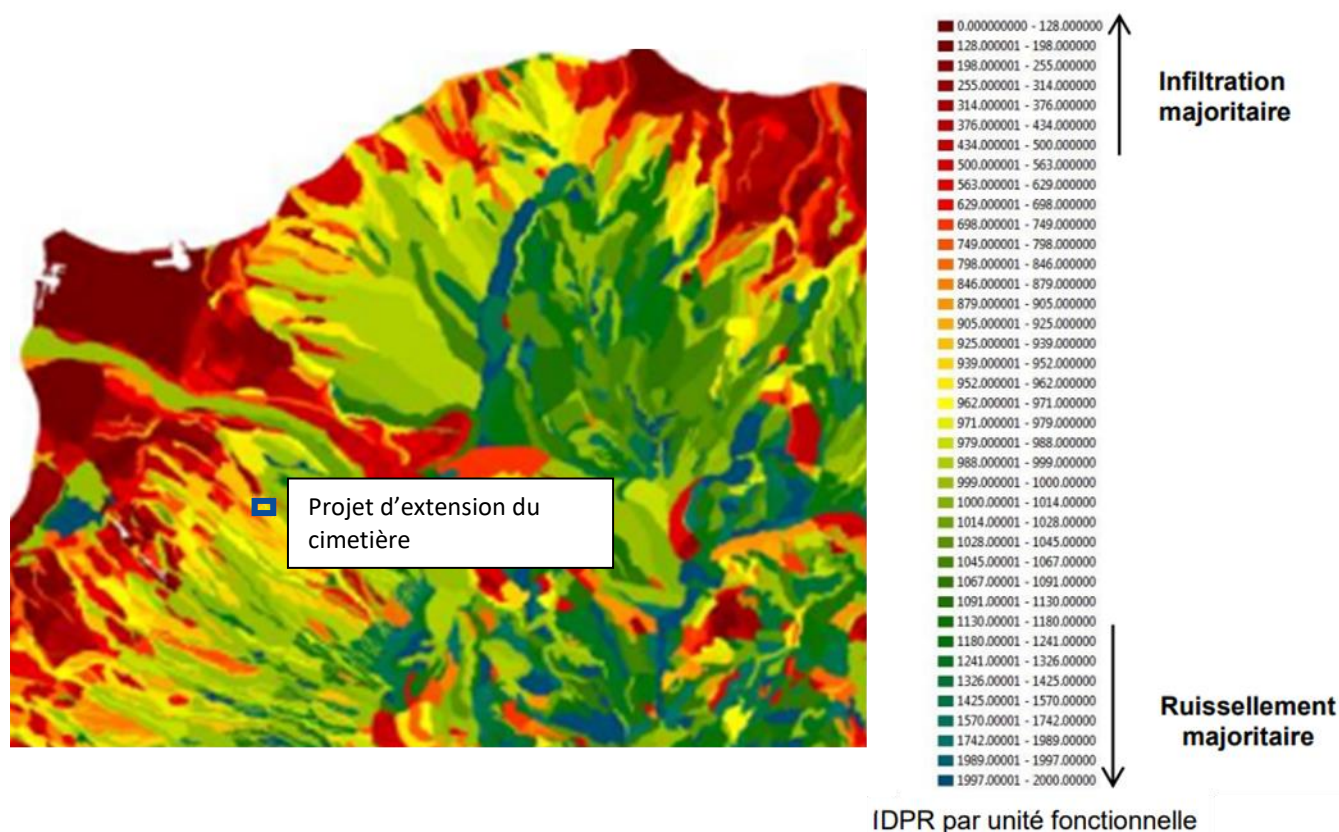


Figure 16 : Extrait de la carte du calcul IDPR 2016 à La Réunion (Source : Aunay et al., 2011)

Par cette démarche méthodologique, le secteur d'étude est dans une zone à tendance d'infiltration mineure, où le ruissellement est considéré comme majoritaire.

Dans le cas présent, si l'on s'en réfère aux coupes des forages profonds de la zone et au gradient hydraulique, l'épaisseur de la zone non saturée est probablement supérieure à 400 m. Elle est composée de complexes laves-tufs dont la perméabilité est très faible, la vulnérabilité est donc faible.

Nous retiendrons toutefois une approche complémentaire qui est de considérer que si effectivement, en grand, l'infiltration est mineure par rapport au ruissellement (importance du réseau hydrographique des ravines), la tendance à l'infiltration est forte au droit des ravines en cas de ruissellement, attesté par les évolutions piézométriques rapides des ouvrages souterrains du secteur.

Selon ces approches, la vulnérabilité de la masse d'eau vis-à-vis des pollutions de surface est considérée comme faible au regard des conditions géologiques et topographiques rencontrées au droit du site et de l'épaisseur de la zone non saturée.

En cas d'épisode de ruissellement important (pluies cycloniques), la vulnérabilité de la masse d'eau vis-à-vis des pollutions des eaux de ruissellement est considérée comme moyenne à forte.

Dans la réalité hydrogéologique, nous considérons que la vulnérabilité de la nappe est grande vis-à-vis des contaminations chroniques.

En effet, les suivis analytiques effectués par l'ARS sur les ouvrages AEP, montrent globalement des eaux de bonne qualité. Cependant la présence de nitrates témoigne de l'impact significatif soit d'activités agricoles, soit de l'assainissement autonome des zones urbaines à l'amont des forages.

La quasi absence de teneurs en phyto sanitaires dans les eaux, écarte vraisemblablement l'origine agricole. Sur le secteur nord de Saint Paul, la présence de nitrates liés aux pratiques de l'assainissement est déjà largement mise en évidence.

Dans le détail, les analyses physico-chimiques sur les forages F5 3 Chemins (au nord de l'étang Saint Paul) montrent la présence de nitrates dans des concentrations supérieures à 30 mg/l, pour une limite fixée à 50 mg/l (zone urbaine amont la plus dense de La Plaine, Bois de Nèfles, Hangar).

Pour les ouvrages, au FRH13, puis vers le sud le forage Renaud, et le puits Bouillon, les valeurs sont plus faibles mais montrent toujours l'impact de ces activités en fonction de la densité urbaine présente en amont. Le forage FRH 13 n'est situé qu'en aval de la partie terminale de Bois de Nèfles, le puits Bouillon est situé en dessous de Bellemène chemin Pavé Loughnon. La densité de population est bien plus élevée sur Bois de Nèfles et se traduit par des teneurs de l'ordre de 20 à 25 mg/l de Nitrates, contre 5 à 10 mg/l sur le puits Bouillon. Le forage Renaud situé uniquement en aval d'une faible zone urbanisée de chemin Macabit est le moins impacté.

Le graphique suivant (Figure 17) illustre ce constat :

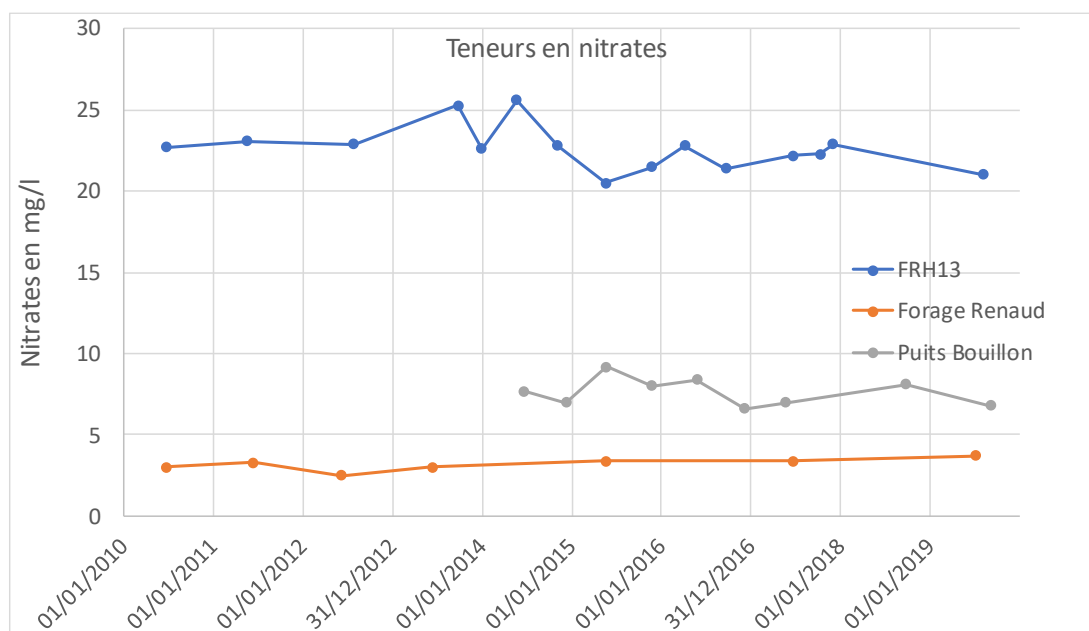


Figure 17 : Evolution des teneurs en nitrates sur les forages AEP du Tour des Roches (Source : D'après données de l'ARS)

Sur ce forage Renaud, les teneurs sont inférieures à 5mg/l. Il s'agit donc d'une ressource peu impactée par des activités d'assainissement alors que les autres ouvrages du secteur le sont. **Il y a donc une forte vulnérabilité vis à vis des infiltrations de l'assainissement autonome.**

4.2. Vulnérabilité liée au projet d'extension du cimetière communal de Bois de Nèfles Saint Paul

4.2.1. Investigations de terrain

Le bureau d'études Lacq Groupe Geotech, a mené dans le cadre de son étude (dossier n° 22187) des sondages afin d'étudier les horizons pédologiques au droit du site. Ces sondages révèlent en tête un horizon biopédologique constitué de terre végétale & de limons sableux foisonnés. Cet ensemble mesure environ 30 cm d'épaisseur (au niveau des zones de sondages). Ensuite, sur plus de 3 m d'épaisseur sont constatés des limons sableux plus ou moins graveleux bruns clairs localement caillouteux à blocs ($D_{max} = 450 \text{ mm}$), interprétés comme des limons d'altération. Des essais de perméabilité ont été effectués sur ces horizons, les perméabilités mesurées sont faibles à moyennes. On rappelle que ces horizons de l'ordre de 3 à 4 m d'épaisseur reposent sur des complexes de coulées de laves et de tufs à perméabilité faible.

Une reconnaissance terrain a été réalisée le 15 mai 2024 (Figure 18). Cette reconnaissance a permis d'identifier une habitation située à proximité de la zone (en friche) du projet d'extension du cimetière. Les points d'eaux mentionnés précédemment ont aussi été relevés.

Aucune émergence d'eau n'a été mise en évidence sur le site. Les ravines sont végétalisées et non praticables mais les constats aux radiers témoignent de l'absence d'écoulements.



Figure 18 : Photos de reconnaissance du site du projet d'extension du cimetière

Nota : selon l'article L2223-1 du Code Général des Collectivités territoriales, « dans les communes urbaines et à l'intérieur des périmètres d'agglomération, la création, l'agrandissement et la translation

d'un cimetière à moins de 35 mètres des habitations sont autorisés par arrêté du représentant de l'Etat dans le département, pris après une enquête publique réalisée conformément au chapitre III du titre II du livre 1er du code de l'environnement et avis de la commission départementale compétente en matière d'environnement, de risques sanitaires et technologiques. » . Une habitation est identifiée à proximité du site de l'extension du cimetière.

Les points d'eau constatés sont des réservoirs sans contact des eaux avec le sol. **Le contexte de l'extension du cimetière est le même que celui du cimetière actuel.**

4.2.2. Gestion des eaux pluviales

L'extension du cimetière se situe sur une pente forte de l'ordre de 20% à moins de 100 m de la Ravine Précipice. Les eaux météoriques sont principalement évacuées vers cette ravine en suivant la pente du terrain. Le taux d'infiltration étant faible au droit du site en raison des conditions géologiques et topographiques, les eaux pluviales du projet d'extension suivront le même cheminement que les eaux de ruissellement actuelles. Ces ruissèlements sont peu importants excepté en période de fortes pluies. Dans ces conditions les apports en provenance du cimetière sont largement noyés au sein des apports du bassin versant amont de la ravine.

4.2.3. Usages de la nappe à l'aval du cimetière et vulnérabilité de la ressource

D'après les informations issues de l'ARS, le secteur d'étude est en dehors de tout périmètre de protection de forage, source et captage destiné à l'alimentation en eau potable (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) mais nous retiendrons de fait la proximité de cette limite des zones de surveillance renforcée et la présence forte de forages destinés à l'alimentation en eau potable.

Les ouvrages les plus proches exploités pour l'alimentation en eau potable de la commune de Saint-Paul à l'aval du secteur d'étude sont donc les forages F5, F5bis, F5 ter et le forage FRH13 puis les forages FRH15 et FRH16.

En phase d'exploitation, la production de résidus dus à la décomposition des corps inhumés peut être attendu comme polluant éventuel des sols puis de la nappe. Les principaux contaminants concernés sont les nitrates/nitrites provenant des composés azotés présents dans le corps humain, les microorganismes pathogènes ainsi que le formaldéhyde issu du processus d'embaumement. Toutefois, les procédés d'embaumement sont peu utilisés voire pas du tout utilisés à la Réunion.

La nappe exploitée par les forages F5, F5 bis et F5 ter est impactée par les nitrates. Au droit du forage FRH13 c'est-à-dire à environ 1km des forages F5, les teneurs en nitrates sont plus faibles du fait de la moindre densité du tissu urbain.

L'incidence de l'urbanisation est forte sur les teneurs en composés azotés. L'extension du cimetière peut impacter les sols et à terme la nappe mais contrairement à des assainissements autonomes qui infiltrent des effluents liquides de manière continue, la dégradation des corps ne génère que de faibles sources de contamination, d'une part car les corps ne sont pas en relation avec de l'eau et d'autre part car les inhumations sont limitées. Nous retiendrons que si le cimetière constitue une source de contamination par des composés azotés, cette source est très faible en regard des sources anthropiques de la zone. Il est par ailleurs préférable de concentrer en un même lieu cette source potentielle de contamination, c'est-à-dire à coté du cimetière existant, que d'en créer une autre dans un secteur proche.

Nous concluons sur cet aspect que, l'extension du cimetière est une source de contamination des sols. Cette source d'apport est faible (même si elle n'est que peu quantifiable) en comparaison avec les sources en provenance des activités anthropiques et notamment l'assainissement autonome de cette zone peu raccordée à l'assainissement collectif.

L'épaisseur de la zone non saturée est très importante, supérieure à 400 m et constitue un facteur favorable à la protection de la nappe, le cimetière étant situé le plus en amont de la zone urbaine.

4.2.4. Risque inondation et mouvement de terrain

Le site est classé en aléa nul inondation et faible à modéré concernant les mouvements de terrain. Les extraits des plans de prévention des risques (PPR) au niveau du secteur d'étude sont présentés ci-dessous (Figure 19) :

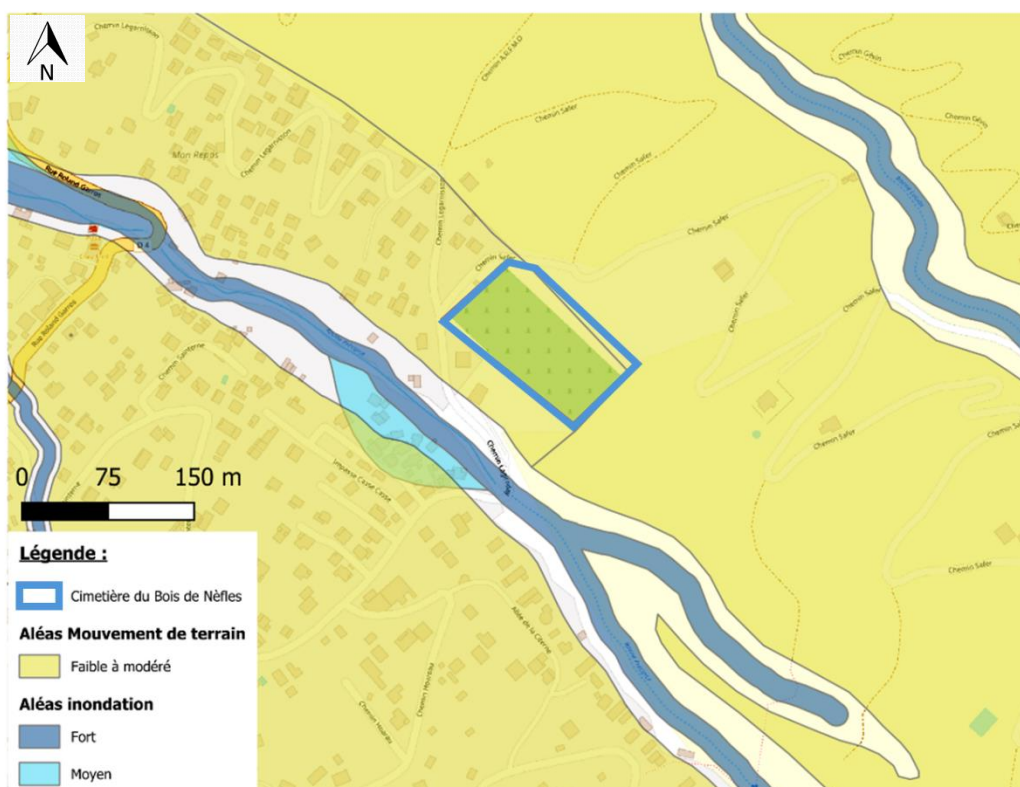


Figure 19 : Aléas Inondation et Mouvement de terrain au niveau du cimetière du Bois de Nèfles (Source : Données cartographiques issues du PPR de Saint-Paul)

4.2.5. Hygiène publique

Dans le cadre de la protection des captages d'eau potable « l'article L.2232-1 du Code général des collectivités territoriales régit la création d'un cimetière à moins de 35 mètres des habitations. L'article L. 2233-5 du Code général des collectivités territoriales interdit le creusement d'un puits à moins de 100 mètres des nouveaux cimetières (...). En l'état actuel des connaissances, la distance minimale de 35 mètres peut être considérée, pour des captages limités à un usage purement familial, comme une marge de sécurité acceptable dans de nombreux cas. Elle peut, par contre, se révéler insuffisante en cas de contexte hydrogéologique défavorable ou de prélèvement important d'eau souterraine (captage public). »

Il n'y a aucun usage de la nappe à proximité du projet, rappelons-le, la nappe étant située à plus de 400 m de profondeur dans un complexe coulées de laves-tufs à contraste de perméabilités fortes à faibles.

Nous notons la présence d'une habitation en proximité du site de l'extension à moins de 35 m.

A titre de complément, le pouvoir épurateur de la couverture d'après la classification de Rehse (1977) est calculé ci-dessous.

N.B : L'auteur a défini les épaisseurs de sols nécessaires, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées (pollution bactériologique).

Selon Rehse, l'épaisseur de la couche non-saturée en présence de roches ayant des propriétés de rétention comme le cas des complexes « coulées de laves-tufs » doit être minimum égale à 3 mètres pour assurer un pouvoir épurateur. L'épaisseur de la zone non saturée au droit de l'extension du cimetière du Bois de Nèfles étant estimée à plus de 400 m, l'action du « pouvoir épurateur » du sol est assurée au droit du site.

5. Conclusions

Au regard des éléments de connaissance hydrogéologique, des usages de l'eau recensés, de la reconnaissance de terrain, le projet d'extension du cimetière du Bois de Nèfles ne se situe pas dans une enveloppe réglementaire de protection des ressources en eau. En revanche de nombreux forages sont exploités pour l'alimentation en eau potable à l'aval du secteur.

La nappe serait théoriquement peu vulnérable selon les classifications habituellement retenues et établies par le BRGM mais nous constatons une vulnérabilité moyenne à forte à l'impact des activités anthropiques et notamment les impacts des assainissements autonomes. Ces impacts sont significatifs en matière de nitrates. Si l'extension du cimetière n'est pas susceptible d'engendrer des impacts sanitaires du fait de l'épaisseur conséquente de la zone non saturée (>400m) au-dessus de la nappe, il est clair qu'une charge supplémentaire en matière de composés azotés issus de la dégradation des corps impactera le sol. Cet impact sera très limité du fait du nombre d'inhumations et de leur temporalité mais surtout, par rapport aux impacts liés à de l'assainissement autonome, cette source de pollution n'est pas accompagnée d'effluents favorisant l'infiltration. Leur propagation sera donc très faible.

En conséquence, cette étude montre que le projet d'extension du cimetière du Bois de Nèfles est compatible avec le contexte géologique et hydrogéologique mais qu'il existe un fort enjeu en matière d'exploitation des eaux potables à l'aval. Ce projet est une source de contamination des sols mais qui ne devrait pas avoir d'incidence sur la qualité des eaux de la nappe exploitée.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



Antea Group est certifié :

