



**Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source pour les  
prélèvements d'eau souterraine n° X0010830-1 (P-1) et  
X0010830-2 (PE-1)**

**Secteur Saint-Jérôme**



Ville de Baie-Saint-Paul  
15, rue Forget  
Baie-Saint-Paul (Québec)  
G3Z 3G1

1<sup>er</sup> février 2021

À l'attention de  
M. Jean Daniel  
Ville de Baie-Saint-Paul  
15, rue Forget  
Baie-Saint-Paul (Québec)  
G3Z 3G1



**OBJET :** RAPPORT D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA SOURCE POUR LES PRÉLÈVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE N° X0010830-1 (P-1) ET X0010830-2 (PE-1)

Il nous fait plaisir de vous faire parvenir l'analyse de vulnérabilité des points de prélèvement d'eau mentionné en objet tel qu'exigé par l'article 68 du *règlement sur le prélèvement des eaux et leurs protections* (Q-2, r.35.2). Le document est présenté en deux sections :

SECTION 1 : Renseignements mentionnés aux paragraphes 1, 2 et 3 de l'article 68 réalisé par OGÉO enr.

SECTION 2 : Renseignements mentionnés aux paragraphes 4, 5 et 6 de l'article 68 réalisé par l'ORGANISME DE BASSIN VERSANT CHARLEVOIX-MOMONTRENCY.

Le Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec mentionne les obligations de transmission et de diffusion des renseignements contenus dans les rapports d'analyse de vulnérabilité. Le tableau suivant, tiré du guide, résume ces obligations.

*Tableau : Résumé des obligations de diffusion*

Parties du rapport	Obligation de transmission ou de diffusion des renseignements ou du rapport
<b>Renseignements ayant un caractère public</b> (Renseignements mentionnés aux paragraphes 1, 2 et 3 des articles 68 et 75 du RPEP)	Les rendre accessibles au <b>public</b> .
	Les transmettre aux <b>organismes de bassin versant</b> dont le territoire recoupe les aires de protection du prélèvement <sup>6</sup> .
<b>Rapport complet</b> (Renseignements mentionnés aux paragraphes 1 à 6 de l'article 68 du RPEP pour les prélèvements d'eau souterraine et aux paragraphes 1 à 7 de l'article 75 du RPEP pour les prélèvements d'eau de surface)	Le transmettre à la Direction générale des politiques de l'eau du <b>Ministère</b> .
	Le transmettre aux <b>municipalités régionales de comté</b> dont le territoire recoupe les aires de protection du prélèvement.
	Les transmettre aux <b>municipalités</b> dont le territoire recoupe : <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'aire de protection éloignée pour les prélèvements d'eau souterraine;</li> <li>• L'aire de protection intermédiaire pour les prélèvements d'eau de surface.</li> </ul>

# SECTION 1

Renseignement mentionné aux paragraphes 1, 2 et 3 de l'article 68  
réalisé par OGÉO enr.



RAPPORT D'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ  
DE LA SOURCE POUR LES PRÉLÈVEMENTS  
D'EAU SOUTERRAINE N° X0010830-1 (P-1) ET  
X0010830-2 (PE-1)  
SECTEUR SAINT-JÉRÔME



Ville de Baie-Saint-Paul  
15 rue Forget  
Baie-Saint-Paul QC  
G3Z 3G1  
Projet : P-1901

# Table des matières

<b>0</b>	<b>MISE EN SITUATION</b> .....	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>CARACTÉRISTIQUE DU PRÉLÈVEMENT D'EAU</b> .....	<b>1</b>
1.1	DESCRIPTION DES INSTALLATIONS ET DES INFRASTRUCTURES D'EAU POTABLE .....	1
1.1.1	<i>Description du site de prélèvement</i> .....	2
1.1.2	<i>Description de l'installation de production d'eau potable</i> .....	5
1.2	PLAN DE LOCALISATION DES AIRES DE PROTECTION DU SITE DE PRÉLÈVEMENT .....	6
1.2.1	<i>Recherche d'information existante</i> .....	6
1.2.2	<i>Enjeux de protection du prélèvement</i> .....	7
1.2.3	<i>Système hydrogéologique et modèle conceptuel</i> .....	10
1.2.4	<i>Choix des méthodes de détermination des aires de protection</i> .....	12
1.2.5	<i>Acquisition et traitement de données</i> .....	13
1.2.6	<i>Détermination des aires de protection</i> .....	16
1.3	NIVEAU DE VULNÉRABILITÉ .....	23
1.4	DISCUSSION SUR LA QUALITÉ ET LA PÉRENNITÉ DES RÉSULTATS .....	25

## Liste des figures

Figure 1	: Localisation générale .....	2		
Figure 2	: Bâtiment du point de prélèvement d'eau P-1 .....	3		
Figure 3	: Consommation d'eau mensuelle au puits P-1 .....	4		
Figure 4	: Consommation d'eau annuelle des puits P-1 et P-2 .....	4		
Figure 5	: Schéma du réseau d'eau potable (plan directeur d'eau potable de la ville de Baie-Saint-Paul).....	5		
Figure 6	: Aire de protection antérieure 1996 et 2006.....	7		
Figure 7	: Cheminement décisionnel pour le choix de la méthode de détermination des aires de protection	8		
Figure 8	: Localisation des activités anthropique .....	9		
Figure 9	: Limite de bassin versant	Figure 10	: Topographie (LIDAR).....	10
Figure 11	: Géologie des dépôts meubles	Figure 12	: Géologie du socle rocheux.....	12
Figure 13	: Localisation des piézomètres .....	13		
Figure 14	: Suivi piézométrique .....	14		
Figure 15	: Limite du modèle.....	17		
Figure 16	: Conditions aux limites.....	18		
Figure 17	: Répartition des unités hydrostratigraphique de la couche 1 .....	19		
Figure 18	: Coupe transversale.....	20		
Figure 19	: Recharge de l'aquifère .....	21		
Figure 20	: Résultats de la calibration du modèle.....	22		
Figure 21	: Illustration de l'indice DRASTIC.....	23		
Figure 22	: Localisation des champs agricoles et leurs superficies (m <sup>2</sup> ).....	25		

## Liste des tableaux

Tableau 1	: Identification et numéros du site de et des installations d'eau potable .....	1
-----------	---------------------------------------------------------------------------------	---

Tableau 2 : Volume d'eau consommé et recommandé par puits.....	8
Tableau 3 : Comparatif des niveaux d'eau .....	15
Tableau 4 : Élévation d'eau utilisée pour la détermination des aires de protection.....	15
Tableau 5 : Répartition des unités hydrostratigraphique.....	19
Tableau 6 : Élévation de l'eau mesurée et calculée .....	21
Tableau 7 : Calcul de l'indice DRASTIC.....	24

## Liste des annexes

Annexe 1 : Coupes géologiques des puits
Annexe 2 : Documentations consultées
Annexe 3 : Localisation et descriptions des puits SIH
Annexe 4 : Calcul de la recharge
Annexe 5 : Localisation des aires de protection
Annexe 6 : Carte de la vulnérabilité (DRASTIC)
Annexe 7 : Analyse de sensibilité

## Liste des acronymes

MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRC	Municipalité régionale de comté
OBV	Organisme de bassin versant
OBVCM	Organisme de Bassin Versant de Charlevoix et Montmorency
RCES	Règlement sur le captage des eaux souterraines
RPEP	Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection
RQEP	Règlement sur la qualité de l'eau potable
Guide	Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable du Québec
Guide technique	Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC

## 0 MISE EN SITUATION

Le *ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques* (MELCC) a adopté en avril 2015 le *règlement sur le prélèvement des eaux et leurs protections* (RPEP) qui demande de réaliser une étude de vulnérabilité sur tous les puits municipaux qui alimente plus de 500 personnes (catégorie 1). Plusieurs documents et informations ont été produits par le MELCC incluant les deux guides suivants qui ont orienté la rédaction du présent rapport.

- *Guide technique – Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC* (ci-après : « Guide technique »)
- *Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable du Québec* (ci-après : « Guide »)

Le rapport est produit en collaboration entre l'entreprise Ogéo enr. de Sainte-Brigitte-de-Laval et l'*Organisme de Bassin Versant de Charlevoix et Montmorency* (OBVCM). Ogéo réalise la description des installations, des aires de protection et de la vulnérabilité alors que l'OBVCM réalise l'inventaire des activités, des événements potentiels et des affectations du territoire ainsi que l'identification des problèmes avérés. La structure et nomenclature du présent rapport proviennent de l'annexe 2 du « Guide » qui indique précisément la marche à suivre pour réaliser l'étude de vulnérabilité d'un point de prélèvement d'eau souterraine.

## 1 CARACTÉRISTIQUE DU PRÉLÈVEMENT D'EAU

### 1.1 Description des installations et des infrastructures d'eau potable

La ville de Baie-Saint-Paul est alimentée en eau potable par le biais de 5 points de prélèvement d'eau souterraine. Le tableau suivant montre l'identification des installations de production d'eau potable et des sites de prélèvement de la ville.

*Tableau 1 : Identification et numéros du site de et des installations d'eau potable*

NUMÉROS DE L'INSTALLATION DE PRODUCTION D'EAU POTABLE	NUMÉROS DU SITE DE PRÉLÈVEMENT	NOM DU SITE DE PRÉLÈVEMENT
X2114159	X2114159-1	Installation de production d'eau potable Aqueduc Domaine de la Montagne
X2129308	X2129308-1 (P-2) X2129308-2 (P-3)	Installation de production d'eau potable Baie St-Paul (puits P-2 et P-3)
X0010830	X0010830-1 (P-1) X0010830-2 (PE-1)	Installation de production d'eau potable Baie-Saint-Paul

Les puits P-1 et PE-1 ainsi que les puits P-2 et P-3 sont situés à quelques mètres l'un de l'autre. Dans les faits, les puits PE-1 et P-3 sont utilisés comme appui à leurs puits voisins. Nous pouvons donc résumer que le réseau d'aqueduc de la ville utilise trois sites de prélèvement d'eau. Le réseau d'aqueduc du domaine de la Montagne est complètement indépendant des autres puits et alimente moins de 500 personnes, ce qui signifie qu'une analyse de vulnérabilité n'est pas exigée. Comme 2 points de prélèvements d'eau souterraine alimentent le réseau d'aqueduc principal la ville de Baie-Saint-Paul, 2 rapports distincts seront faits pour chacun d'eux. Le présent rapport présente l'analyse de vulnérabilité des puits P-1 et PE-1. La figure suivante montre les 2 sites de prélèvement.

Figure 1 : Localisation générale



### 1.1.1 Description du site de prélèvement

Les points de prélèvement d'eau souterraine à l'étude (P-1 et PE-1) sont situés dans la ville à 5 km au nord du périmètre urbain sur le lot 3 623 312 appartenant à la ville de Baie-Saint-Paul. Les points de prélèvement sont situés aux coordonnées géographiques suivantes (degrés décimaux, GRS1980 NAD83) :

- P-1 x : -70,5385 y : 47,4798
- PE-1 x : -70,5317 y : 47,4832

Comme le puits PE-1 est considéré comme un puits d'appoint et qu'aucun volume d'eau n'a été prélevé dans ce puits depuis 2017, seul le puits P-1 sera considéré dans cette étude. De plus, les 2 puits sont situés à 2,2 m l'un de l'autre et ils captent le même aquifère, la vulnérabilité des deux puits peut être considérée là même. Pour faciliter la lecture du rapport, il sera principalement question du puits P-1.

Le puits P-1 est un puits de type tubulaire qui capte l'aquifère contenu dans les dépôts meubles. Il est muni d'un tubage d'acier de 406 mm de diamètre d'une longueur de 31,4 m. Une crépine en acier inoxydable de 8,0 m de longueur a été installée à la base du tubage entre 30,3 et 38,3 m de profondeur. Cette dernière possède des ouvertures de 3,81 mm (0,350 pouce) et est entourée d'un massif filtrant. Le scellement du puits a été fait sur une profondeur de 8,7 m à partir de la surface sur un diamètre variant de 914 et 762 mm. Le puits P-1 capte donc l'aquifère contenu dans les dépôts meuble entre 30,3 et 38,3 m de profondeur.

Le puits PE-1 est un puits tubulaire de 305 mm de diamètre d'une profondeur de 38,8 m. Une crépine télescopique en acier inoxydable de 7,8 m de longueur a été installée entre 31 et 38,8 m de profondeur. Aucun massif filtrant n'a été mis en place contrairement à P-1. Le puits a également été scellé sur 6,1 m de profondeur. Les coupes géologique et technique des puits sont insérées à l'annexe 1.

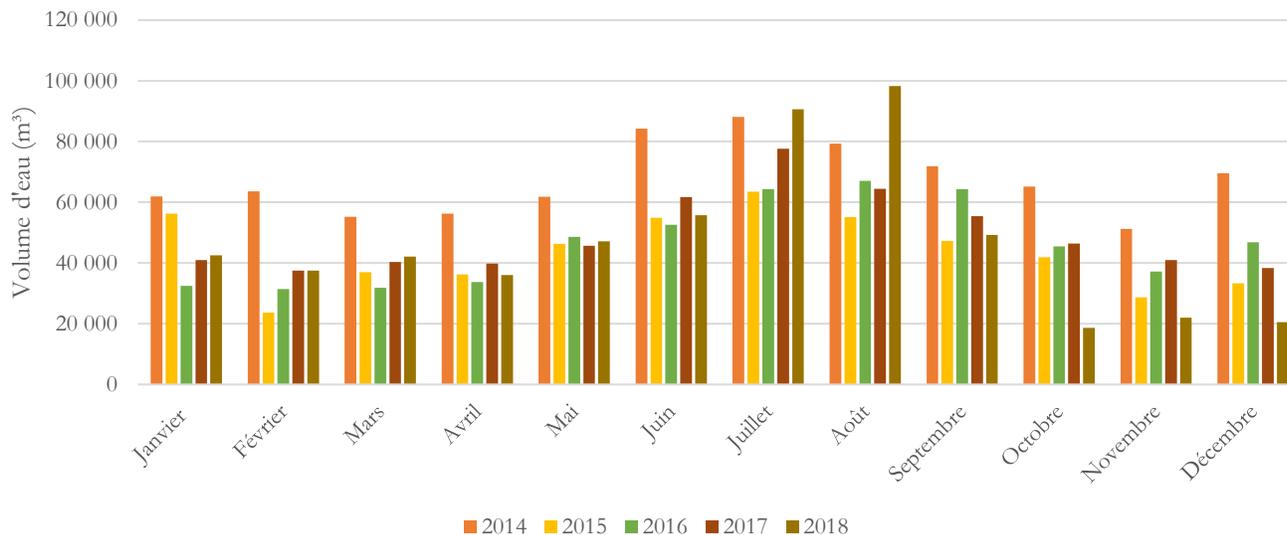
Une visite de terrain effectué le 17 mai 2019 a permis de vérifier que l'état de l'installation de prélèvement est excellent. Le puits est situé à l'intérieur d'un bâtiment bien entretenu qui est entouré d'une clôture. Le bâtiment est situé sur plateau légèrement surélevé ( $\pm 5$  m) par rapport à la rivière des Mares situé à 30 m à l'ouest de P-1.

*Figure 2 : Bâtiment du point de prélèvement d'eau P-1*



D'après la déclaration de prélèvement d'eau envoyée au MELCC entre 2014 et 2018, le puits alimente environ 50% du système de distribution d'eau potable de la ville (X0010829). D'après la déclaration des prélèvements d'eau envoyée au MELCC un volume d'eau mensuel moyen de 50 636 m<sup>3</sup> a été soutiré entre 2014 et 2018 (1 665 m<sup>3</sup>/jour). Les rapports antérieurs (HGE 1996) recommandaient un débit de pompage maximal de 5 457 m<sup>3</sup>/jour. Le graphique suivant montre les volumes d'eau consommés mensuellement entre 2014 et 2018.

Figure 3 : Consommation d'eau mensuelle au puits P-1



La figure permet d'observer une augmentation de la consommation en général entre juin et septembre. On remarque également qu'en 2014 le puits semblait être exploité de façon plus soutenue. Comme deux sites de prélèvement alimentent le réseau cette hausse de consommation peut s'expliquer par une baisse du volume d'eau fournie par les puits P-2 et P-3 comme le montre la figure suivante qui illustre le volume d'eau annuel prélevé sur chacun des deux sites.

Figure 4 : Consommation d'eau annuelle des puits P-1 et P-2

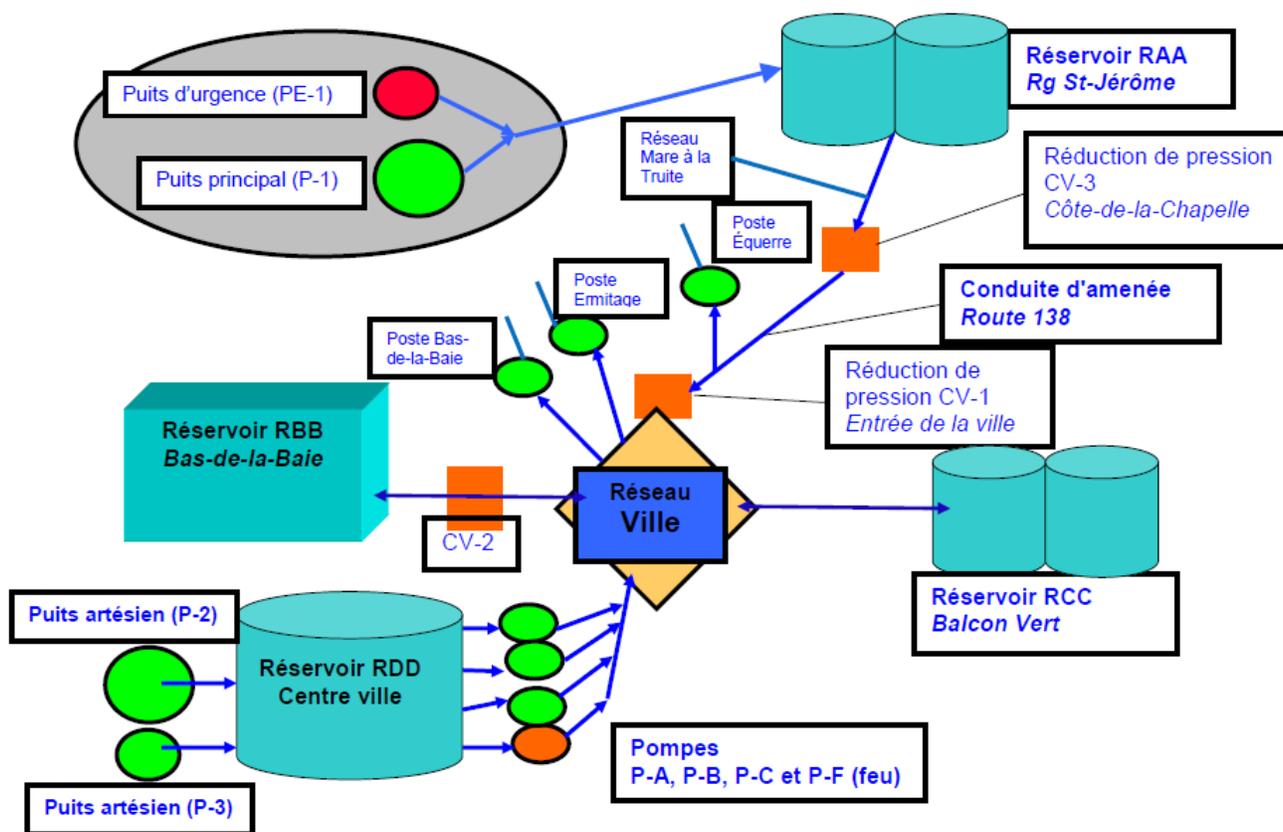


La figure précédente permet d'observer un changement d'utilisation des puits entre 2014 et 2015. Depuis 2015 le puits P-1 alimente 47% du volume total.

### 1.1.2 Description de l'installation de production d'eau potable

L'eau extraite du puits P-1 est cheminée directement au réservoir du rang Saint-Jérôme (RAA) qui alimentent le réseau de la ville par gravité. Une chloration de l'eau est effectuée seulement à la sortie du réservoir, aucun autre système de traitement n'est mis en place. Un volume de 1 039 litres de solution d'hypochlorite de sodium est utilisé au réservoir RAA. Lorsque le niveau du réservoir atteint la sonde de bas niveau, le puits est mis en marche jusqu'à ce que le niveau du réservoir atteigne la sonde de haut niveau. La figure suivante montre le schéma du réseau d'eau potable provenant du plan directeur d'eau potable de la ville de Baie-Saint-Paul<sup>1</sup>.

Figure 5 : Schéma du réseau d'eau potable (plan directeur d'eau potable de la ville de Baie-Saint-Paul)



<sup>1</sup> Bouchard S., Fillion G., Plan directeur d'eau potable, Ville de Baie-Saint-Paul, 2016

## 1.2 Plan de localisation des aires de protection du site de prélèvement

Des aires de protection ont été établies dans le passé pour le puits P-1. Comme les exigences du MELCC ont été modifiées, de nouvelles aires de protection peuvent être exigées en fonction de certains critères. Ces critères sont établis selon le « Guide technique » (voir liste acronyme). La structure et nomenclature des sous-chapitres suivants proviennent de l'annexe 2 du « Guide » et de l'annexe 2 du « Guide technique » qui indiquent précisément la marche à suivre pour déterminer si les aires de protection établie correspondent aux nouvelles exigences. Principalement, **les enjeux de protection** et le type de **système hydrogéologique** doivent être vérifiés pour connaître la méthode de détermination des aires de protection.

### 1.2.1 Recherche d'information existante

En premier lieu, une recherche d'information doit être effectuée pour connaître le contexte hydrogéologique du secteur. Une recherche a tout d'abord été effectuée en consultant plusieurs informations numériques disponibles et plusieurs documents ont été envoyés par monsieur Jean Daniel ing. directeur du service du génie de la ville de Baie-Saint-Paul. Toutes ces informations sont listées à l'annexe 3.

Le MELCC a entrepris, depuis 2009, un projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (ci-après : PACES) dans certains secteurs. Ce projet permet de dresser plusieurs cartes à l'échelle régionale et de mieux connaître le contexte hydrogéologique du secteur. Le rapport scientifique<sup>2</sup> ainsi que les données numériques ont été consultés et seront essentiels pour vérifier la complexité du système hydrogéologique. La topographie du socle rocheux, l'épaisseur des dépôts meubles et la piézométrie seront particulièrement utiles pour l'évaluation du système hydrogéologique.

Les données provenant du système d'information hydrogéologique<sup>3</sup> (SIH) ont également été consultées en détail. Les puits où la localisation semblait douteuse ont été écartés. Toutes les données disponibles ont été géoréférencées et intégrées dans le logiciel libre QGIS 3.10.5. Il nous a été possible par la suite de préciser l'épaisseur des dépôts meubles, le type de dépôts et les niveaux d'eau observés lors des forages en plus des informations mentionnées par le PACES. Malgré l'imprécision des données des puits SIH, leurs quantités nous permettent tout de même d'observer certaines tendances. L'annexe 4 montre la localisation des puits SIH et leurs descriptions.

Les documents fournis par la ville nous indiquent le détail des calculs pour déterminer les aires de protection établies dans le passé dans le cadre de la directive 001 du ministère de l'Environnement et de la Faune (HGE 1997) et dans le cadre du RCES (HGE 2006). Ces aires de protection ont été établies à l'aide d'équation analytique. Les sous-chapitres suivants permettront de vérifier la validité de ces aires en lien avec les nouvelles

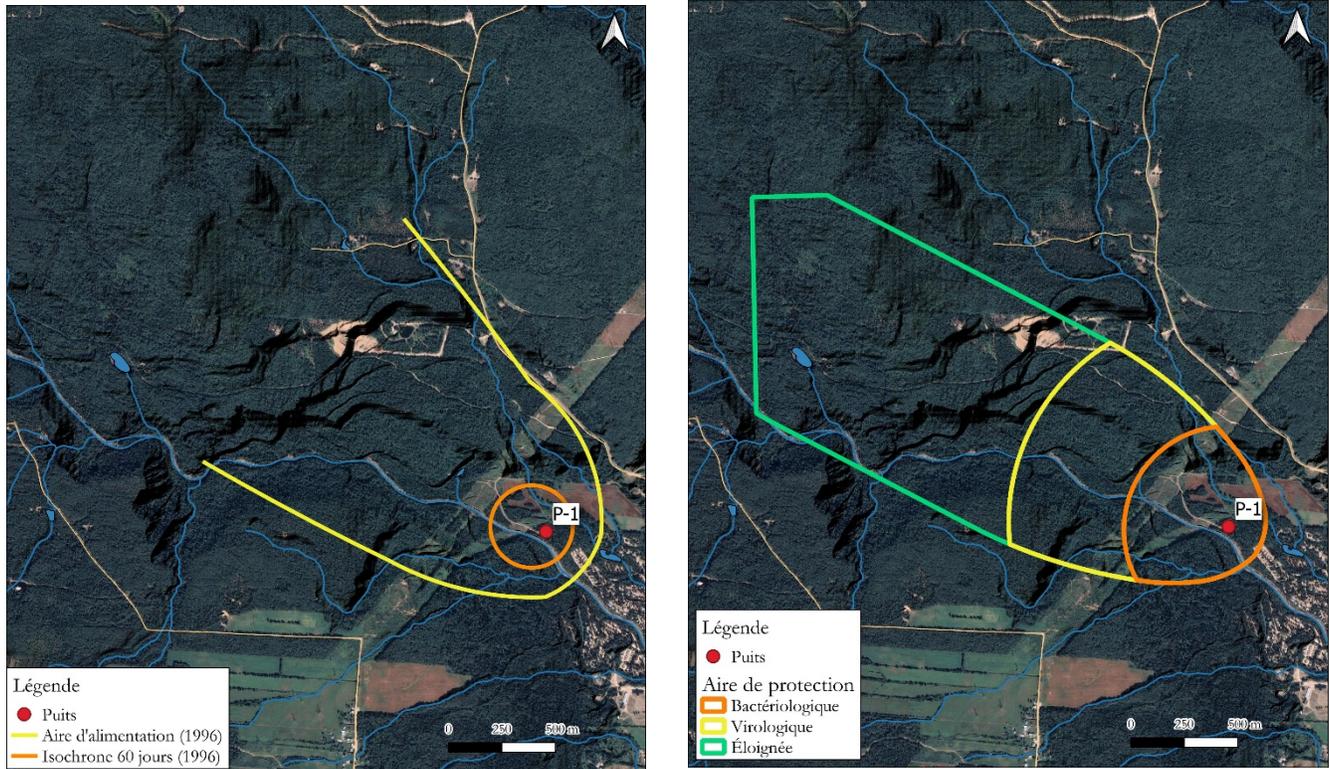
---

<sup>2</sup> CERM-PACES, 2015. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte nord. Centre d'étude sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 294 p.

<sup>3</sup> Gouvernement du Québec, Système d'information hydrogéologique (SIH), <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm>

exigences et les résultats obtenus seront comparés. Les figures suivantes montrent quelques informations mentionnées précédemment.

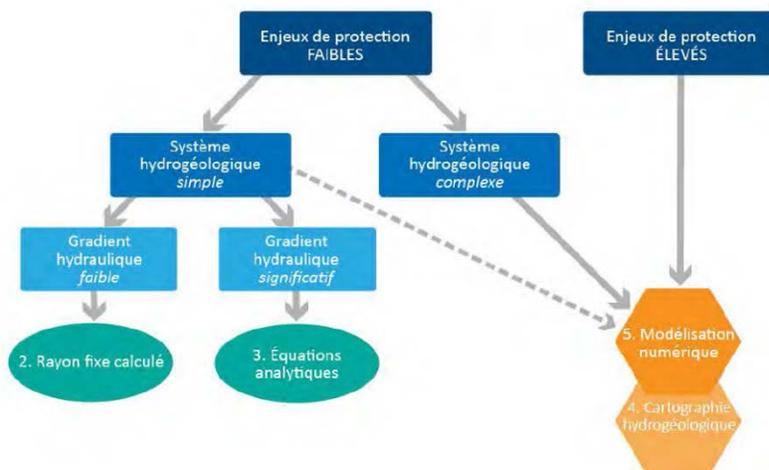
Figure 6 : Aire de protection antérieure 1996 et 2006



### 1.2.2 Enjeux de protection du prélèvement

Le choix de la méthode pour la détermination des aires de protection est établi par le « Guide technique ». En premier lieu, les enjeux de protection doivent être établis entre faibles et élevés tels qu'illustrés à la figure 12 du « guide technique » dont une copie est présentée ici-bas.

Figure 7 : Cheminement décisionnel pour le choix de la méthode de détermination des aires de protection



Le « Guide technique » mentionne trois facteurs principaux qui doivent être considérés pour déterminer les enjeux de protection :

- L'importance du prélèvement pour la communauté;
- La présence d'activité sujette à des prescriptions réglementaires visant la protection du prélèvement
- L'ampleur des problématiques de contamination potentielle.

L'importance du prélèvement pour la communauté s'évalue principalement par le volume d'eau fournie par le puits en comparaison aux besoins. Le tableau suivant montre les volumes d'eau exploités selon la déclaration de prélèvement d'eau entre 2014 et 2018 ainsi que le débit de pompage recommandé dans les rapports antérieur.

Tableau 2 : Volume d'eau consommé et recommandé par puits

	Volume d'eau prélevé (m <sup>3</sup> /jour)			Débit de pompage recommandé (m <sup>3</sup> /jour)
	Maximum	Minimum	Moyenne	
<b>P-1</b>	3 221	610	1 660	5 458
<b>P-2 et P-3</b>	2 408	562	1 545	3 270 (sans pompage)
<b>Total</b>	4 280	2 489	3 205	8 728

Le puits P-1 fournit environ 50% du volume d'eau total consommé par jour. Advenant un bris mécanique du puits P-1, le puits PE-1 pourrait venir en renfort. La seconde source disponible est les points de prélèvement d'eau souterraine du centre-ville (P-2 et P-3) qui sont en mesure de fournir 3 270 m<sup>3</sup>/jour (HGE 2016) sans utilisation de pompe (condition artésienne) et serait donc en mesure de fournir le volume d'eau total moyen de la ville en période normale. Mais en période de consommation élevée, principalement durant l'été, les puits P-2 et P-3 ne pourraient répondre à la demande sans l'installation de pompe dans les puits.

Il est fort possible que le camping Génévrier situé en aval hydrique du puits s'alimente également par cet aquifère. Une surexploitation du puits P-1 pourrait provoquer une baisse de quantité d'eau pour le camping. D'après ces observations, nous sommes d'avis que le puits P-1 est important pour la communauté.

Les activités sujettes à des prescriptions réglementaires concernent principalement certains champs agricoles situés en amont topographique et piézométrique du puits. D'après les aires de protection établie antérieurement, un champ agricole serait situé à l'intérieur de l'aire de protection à 120 m en amont topographique du puits P-1. On observe également la présence d'une sablière à 1,2 km au nord-ouest du puits P-1. La réglementation en lien avec la présence de sablière et de puits d'alimentation d'eau potable est régie par le *règlement sur les carrières et sablière* (Q-2, r.7.1). L'article 14 de ce règlement mentionne qu'une carrière ou sablière ne doit pas être située dans les aires de protection de puits de catégorie 1. Ce même article indique que cette exigence ne s'applique pas à une sablière déjà située dans les aires de protection à partir du 1<sup>er</sup> avril 2021. Aucune exigence réglementaire ne sera donc appliquée à ces sablières s'il se retrouve dans l'aire d'alimentation. La figure suivante montre la localisation des activités sujettes à des prescriptions réglementaires.

Figure 8 : Localisation des activités anthropique



L'ampleur des problématiques de contamination potentielle est jugée faible pour le puits P-1. À l'exception des activités mentionnées précédemment, aucune autre activité susceptible de libérer un contaminant n'est observée dans le bassin versant de la rivière des Mares. Un secteur boisé est principalement observé.

La présence d'activité (champ agricole) sujette à des prescriptions réglementaires visant la protection du prélèvement à proximité du puits nous oriente donc vers un **enjeu de protection élevé**. L'arbre décisionnel de la figure 7 nous dirige vers la méthode de modélisation numérique pour la détermination des aires de protection. L'évaluation du système hydrogéologique a tout de même été effectuée.

### 1.2.3 Système hydrogéologique et modèle conceptuel

Pour évaluer si un système hydrogéologique est simple ou complexe, le « Guide technique » mentionne certains critères de validité. Avant de vérifier ces critères de validité, un modèle conceptuel doit être établi.

La topographie du secteur montre un abaissement général en direction sud-est vers la rivière du Gouffre. Les données LIDARS permettent de voir la présence de plusieurs terrasses dans le secteur probablement provoqué par le passage d'une forte quantité d'eau provoqué par la fonte d'un glacier il y a des milliers d'années<sup>4</sup>. Aux niveaux hydriques le puits est situé dans le bassin versant de la rivière des Mares qui s'étend sur 100 km<sup>2</sup>. Les figures suivantes montrent la topographie du secteur et les limites de bassin versant.

Figure 9 : Limite de bassin versant

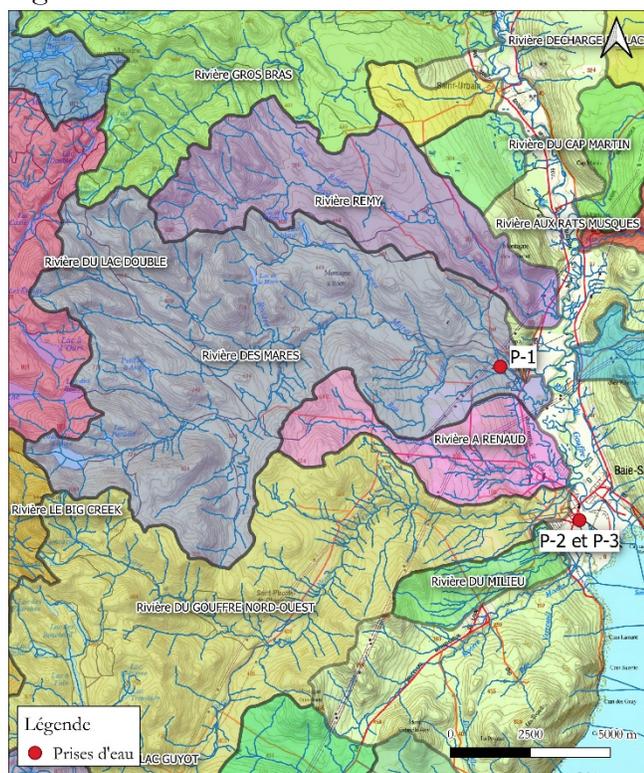
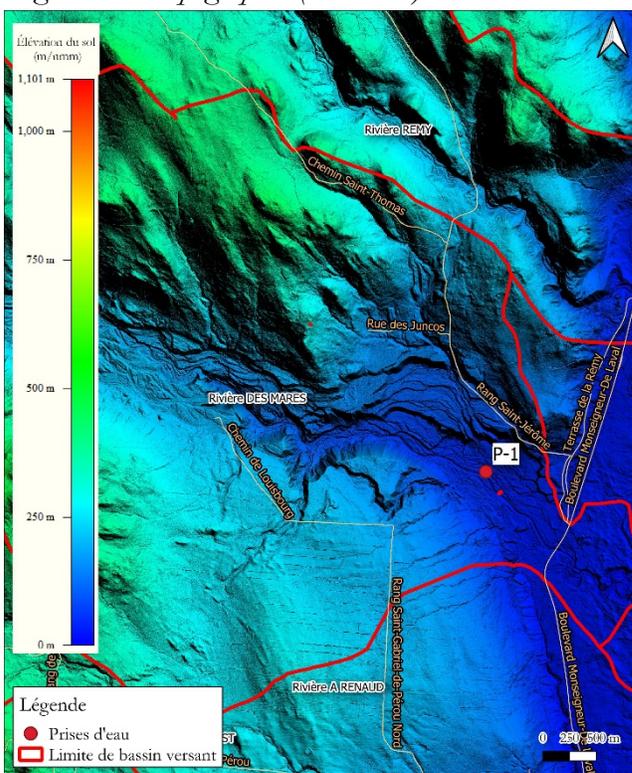


Figure 10 : Topographie (LIDAR)



<sup>4</sup> MB-2014-02, Cousineau et al., Rapport final sur les travaux de cartographie des formations superficielles réalisé dans les territoires municipalisés de la Haute-Côte-Nord et de Charlevoix (Québec) entre 2012 et 2014, Université du Québec, Université Laval, Ministère des Ressources naturelles

Au niveau géologique<sup>5</sup>, le site à l'étude est situé à la limite de la province du Grenville et des Basses-Terres du Saint-Laurent, soit deux provinces géologiques bien différentes de par leurs âges et leurs compositions. Les roches de la province du Grenville datent de milliard d'années et sont composées principalement de Gneiss tandis que ceux des Basses-Terres d'environ 400 millions d'années et sont composés de roche sédimentaire (calcaire, grès). Cette rencontre géologique peut avoir créé un réseau de fracture complexe dans ce secteur. Comme de l'eau souterraine circule dans le réseau de fracture, la compréhension de la circulation de l'eau souterraine dans le socle rocheux peut être très complexe. À noter également, l'astroblème de Charlevoix, survenue il y a environ 360 millions d'années<sup>6</sup> qui a peut-être modifié ce réseau de fracture à nouveau.

Pour ce qui est des dépôts meubles<sup>7</sup>, le puits est situé sur des alluvions des terrasses fluviales (Ax) constituées de sable, silt sableux et graviers contenant des traces de matière organique. La description de sol rencontrée lors du forage indique la présence de 1,5 m de sable et gravier suivi de 10,7 m d'argile et d'une alternance de sable et gravier sur les 27,3 derniers mètres avant d'atteindre le socle rocheux. La carte géologique montre également la présence de sédiments glaciomarins (MG) sur les flancs de la vallée de la rivière des Mares. Ces sédiments ont été laissés en place lors de la fonte des glaciers associée à l'Épisode de la mer de Goldthwait. Ils sont principalement constitués de sable et gravier stratifié (MGb) et plus localement on peut y observer des sédiments silto-sableux. Tel que mentionné précédemment le puits P-1 capte l'aquifère situé dans les sables et graviers. Les figures suivantes montrent la répartition des dépôts meubles et du socle rocheux.

---

<sup>5</sup> ©Gouvernement du Québec, Système d'information géomorphologique du Québec (SIGÉOM), 21M07-200-0202 – Baie-Saint-Paul, 1999

<sup>6</sup> ET 97-07, Jehan Rondot, Les Brèches d'impact Météoritique de Charlevoix, Gouvernement du Québec, 1998

<sup>7</sup> MB-2014-02, Cousineau et al., Rapport final sur les travaux de cartographie des formations superficielles réalisés dans les territoires municipalisés de la Haute-Côte-Nord et de Charlevoix (Québec) entre 2012 et 2014, Université du Québec, Université Laval, Ministère des Ressources naturelles

Figure 11 : Géologie des dépôts meubles

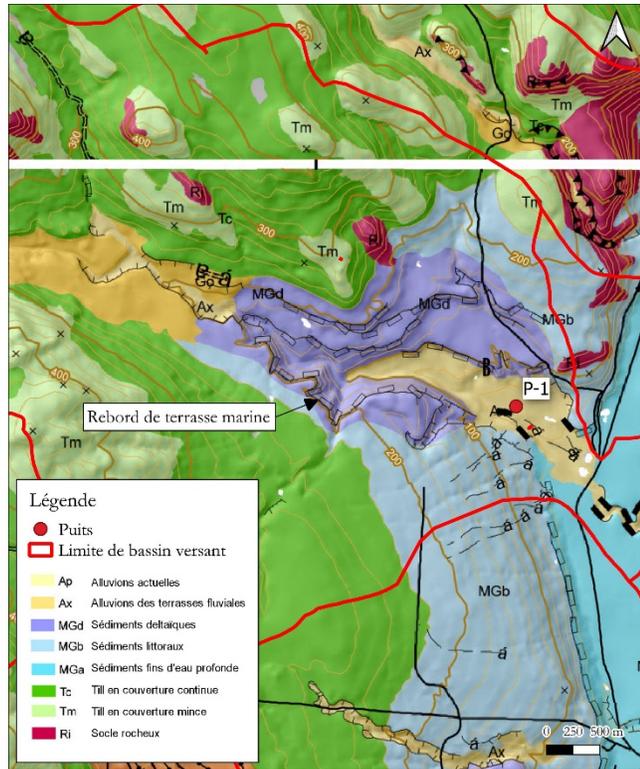
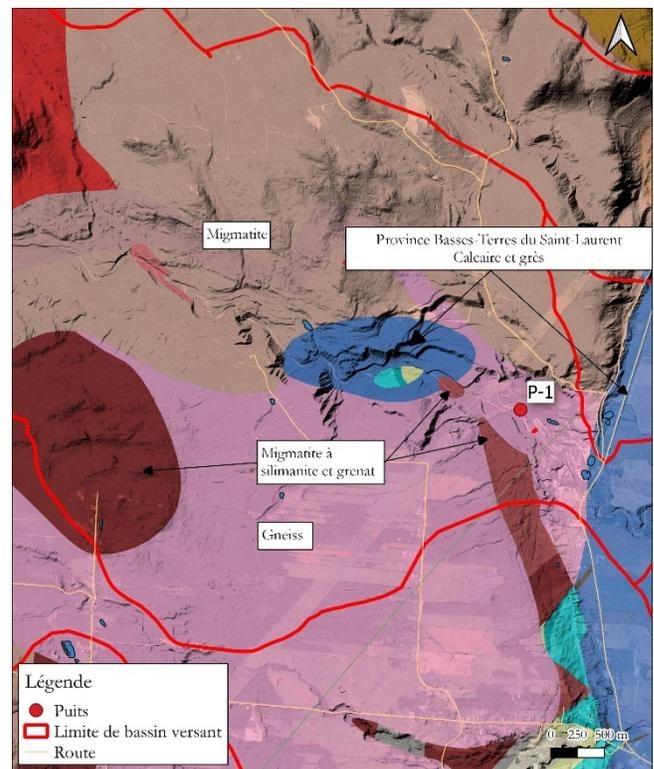


Figure 12 : Géologie du socle rocheux



En lien avec les critères de validité des hypothèses de milieux poreux équivalents mentionnés à l'annexe III du « guide technique », voici nos observations pour le secteur à l'étude. Les courbes de rabattements observés lors de l'essai de pompage montrent un cône de dépression non circulaire ou elliptique et les courbes de rabattements sont disproportionnelles. La surface piézométrique du secteur montre un gradient variable. La conductivité hydraulique des sols est très variable horizontalement et verticalement (horizon stratifier). Compte tenu de ces observations, nous sommes d'avis que l'aquifère capté ne représente pas un milieu homogène et isotrope et peut donc être considéré comme un **système hydrogéologique complexe**.

### 1.2.4 Choix des méthodes de détermination des aires de protection

Comme mentionné précédemment, les enjeux de protection sont jugés élevés et le système hydrogéologique complexe. L'aire de protection sera donc déterminée par modélisation numérique (figure 7) telle qu'exigée par le « guide technique ». Les aires de protection établies antérieurement ne répondent donc pas aux nouvelles exigences réglementaires (RPEP) telles qu'énumérées dans le « Guide technique ».

## 1.2.5 Acquisition et traitement de données

Comme beaucoup d'informations sont disponibles (annexe 3), ces derniers ont été la principale source d'information pour déterminer les aires de protection. Seul un suivi piézométrique a été effectué dans le cadre de cette étude. Ce suivi avait comme but de vérifier si l'aquifère semble avoir conservé son état initial. Si tel est le cas, les niveaux d'eau antérieurs pourront être utilisés pour déterminer les aires de protection. Des sondes d'enregistrements automatiques de niveau d'eau ont été mises en place dans 4 piézomètres situés dans le secteur. Les sondes ont été réglées pour prendre des lectures aux 30 minutes et sont restées en place du 17 mai au 19 juin 2019. Malheureusement les données de niveau d'eau et du débit de pompage au puits n'ont pu être récupérés. Les figures suivantes montrent le comportement des niveaux durant cette période et la localisation des piézomètres. L'annexe 1 contient les coupes géologiques de chacun des piézomètres.

Figure 13 : Localisation des piézomètres

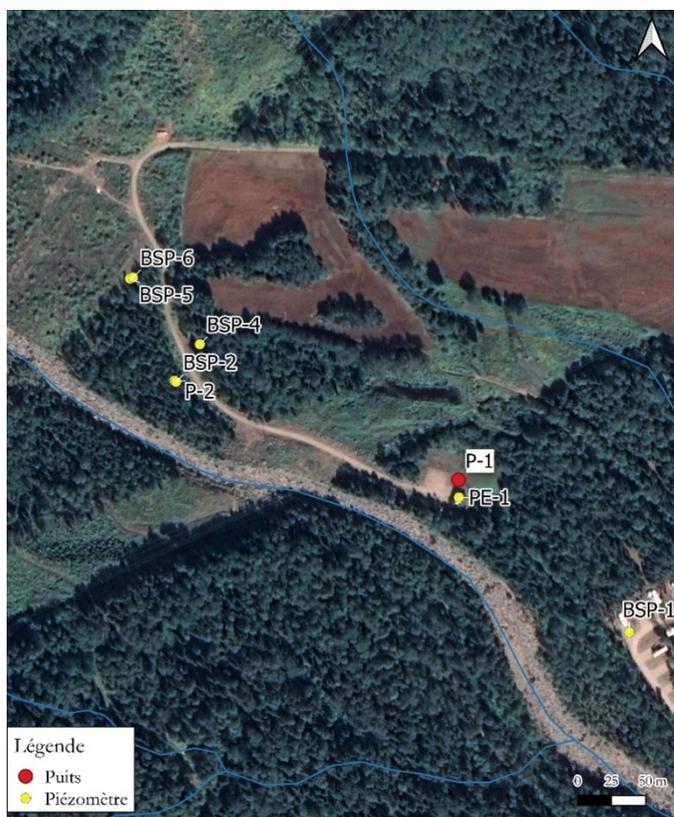
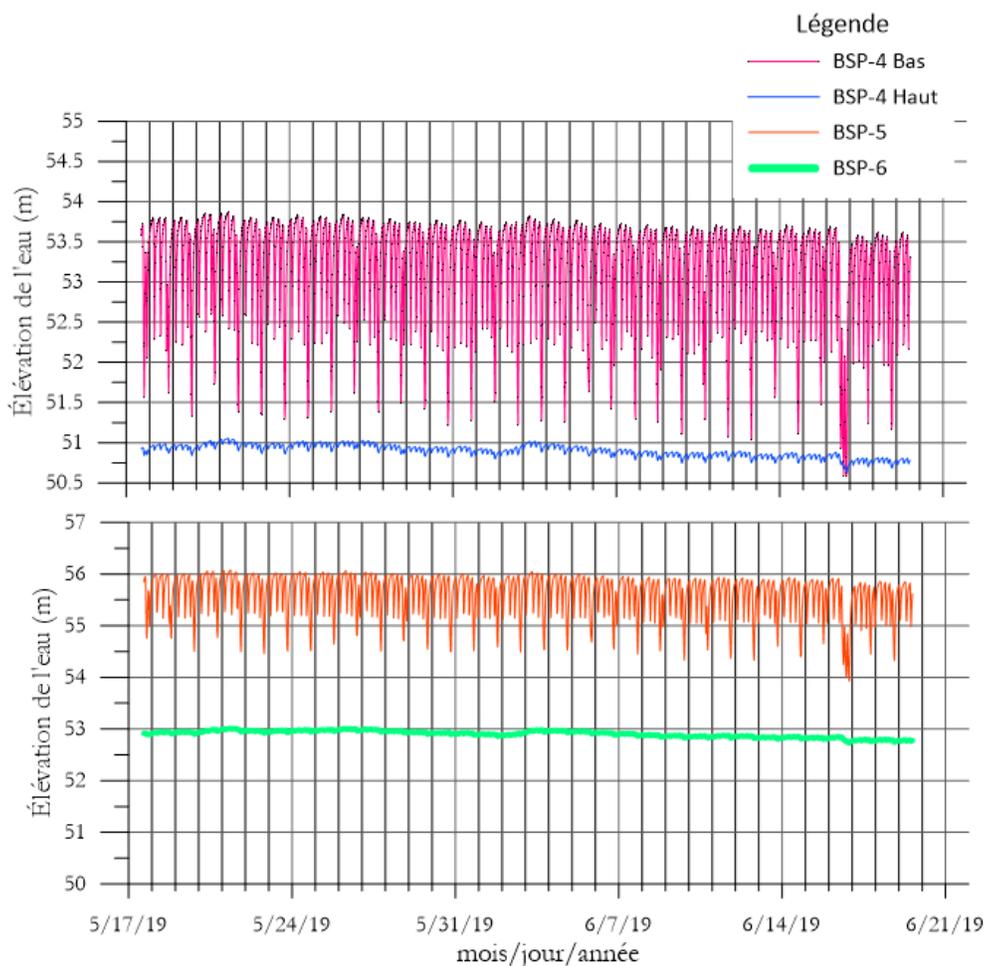


Figure 14 : Suivi piézométrique



En premier lieu, il est intéressant d'observer que les puits qui captent l'aquifère en profondeur sont plus influencés par le pompage de P-1. Les piézomètres BSP-4 haut et bas mesurent le niveau d'eau de l'aquifère situé à 18 et 40 m d'élévation respectivement alors que BSP-6 mesure l'aquifère situé à 36 m d'élévation. Les détails de construction du puits BSP-5 ne sont pas connus, mais une profondeur de 33,5 m (élévation de 56,3m) a été mesurée. Il est donc probable que le puits BSP-5 capte un aquifère plus profond que BSP-6. Cette hypothèse est appuyée par le comportement du niveau d'eau observé.

Cette observation nous indique que l'aquifère capté au puits P-1 est en condition semi-captive. Pour BSP-4 bas des fluctuations d'environ 2,5 m sont observées alors que BSP-4 haut enregistre des fluctuations d'environ 0,25 m. Le niveau d'eau de BSP-5 fluctue d'environ 1,4 m et celui de BSP-6 de 0,02 m. Cette semi-captivité de l'aquifère peut-être expliquée par la présence d'horizon plus argileux tel qu'observé lors du forage de BSP-4 et P-1. On observe également un gradient vertical relativement élevé (0,06) alors que les élévations d'eau des aquifères inférieurs sont plus élevées que ceux de l'aquifère supérieur. L'eau souterraine a donc tendance à faire résurgence à la surface dans ce secteur. Ce qui peut expliquer la présence de plusieurs étendues d'eau dans les alentours.

Somme toute, le but premier de ce suivi était de vérifier si le niveau d'eau était demeuré similaire depuis la construction du puits. Le tableau suivant montre les niveaux d'eau statique mesurés durant le suivi et ceux mesurés lors des travaux antérieurs. Malheureusement le niveau d'eau du BSP-5 n'a pas été retracé dans les documents consultés.

*Tableau 3 : Comparatif des niveaux d'eau*

Puits	Niveau d'eau statique		
	14 février 1997	8 août 2008	mai-juin 2019
<b>BSP-4 Bas</b>	1,42	-	1,16
<b>BSP-4 Haut</b>	3,52	-	3,52
<b>BSP-6</b>	-	4,26	4,14

Ces observations permettent de confirmer que l'élévation des niveaux d'eau secteur sont demeuré similaire depuis 1997. Les données d'élévation d'eau mesurée antérieurement pourront donc être utilisées pour la détermination des aires de protection. Le tableau suivant montre les élévations d'eau retenue pour le calcul des aires de protection.

*Tableau 4 : Élévation d'eau utilisée pour la détermination des aires de protection*

Puits	Coordonnée (MTM, 7)		Élévation d'eau (m/nmm)
	x	y	
<b>BSP-4 bas</b>	301 707	5 260 177	52,97
<b>P-2</b>	301 688	5 260 150	52,69
<b>PE-1</b>	301 896	5 260 064	47,81
<b>PP-1</b>	301 898	5 260 064	47,91
<b>P-1</b>	301 897	5 260 062	47,75
<b>BSP-5</b>	301 655	5 260 224	55,23

Le débit de pompage à retenir pour la détermination des aires de protection doit correspond au débit moyen journalier en tenant compte des besoins en eau sur une période de 30 ans. Une analyse sommaire basée sur l'historique des débits prélevés déclarés en vertu du *Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau* et sur les prévisions démographiques tirées des données statistiques disponibles a été utilisée. Le volume d'eau annuel prélevé entre 2014 et 2018 varie entre 524 049 m<sup>3</sup>/an (2015) et 808 499 m<sup>3</sup>/an (2014) pour une moyenne de 607 631 m<sup>3</sup>/an. Les quatre dernières années, le volume d'eau mensuel est demeuré stable à 557 414 m<sup>3</sup>/an. D'après les données statistiques<sup>8</sup>, on prévoit une hausse de population de 11,8% entre 2016 et 2041 pour la région administrative du Capital national. Comme la consommation d'eau au puits P-1 est demeurée stable durant les 4 dernières années et qu'on prévoit une hausse de population de 11,8%, le débit moyen annuel des quatre dernières années 557 414 m<sup>3</sup> a été haussé de 11,8% pour un total de 623 188 m<sup>3</sup>/an. Le débit de pompage utilisé pour la détermination des aires de protection sera donc de 1 707 m<sup>3</sup>/jour.

<sup>8</sup> INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (2019). Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2016-2066. Édition 2019, [En ligne], Québec, L'Institut, 85 p. [www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2016-2066.pdf].

Plusieurs lectures de niveau d'eau ont été mesurées dans les piézomètres lors des essais de pompage et la transmissivité de l'aquifère a été calculé avec l'aide la méthode Theis et Jacob (HGE 1997). La conductivité hydraulique a été calculée dans le cadre de la présente étude avec l'aide de la formule  $T=kb$  où  $T$  est la transmissivité,  $k$  la conductivité hydraulique et  $b$  l'épaisseur saturée. Les résultats indiquent une transmissivité 2,07 m/jour, une épaisseur saturée de 11,8 m et une conductivité hydraulique de 24,5 m/jour. Les résultats indiquent également un coefficient d'emmagasinement  $1,9 \times 10^{-4}$  ce qui est typique d'un aquifère semi-confiné tel que confirmé avec le suivi piézométrique.

La recharge de l'aquifère par les précipitations atmosphériques est une donnée essentielle pour construire le modèle d'écoulement. La recharge a été calculée en soustrayant les précipitations moyennes annuelles entre 1981 et 2010 de la station de Baie-Saint-Paul d'Environnement Canada avec l'évapotranspiration et le ruissellement. L'évaporation a été calculée avec l'aide d'un logiciel fourni par l'Institut d'études géologiques des États-Unis<sup>9</sup> et le ruissellement avec l'aide du Manuel de conception des ponceaux<sup>10</sup>. Les réserves d'eau disponibles dans les sols ont été jugées négligeables. Les résultats montrent des précipitations moyenne annuelles de 995 mm/an avec une évapotranspiration de 476 mm/an, alors que ruissellement varie de 40 à 667 mm/an. La recharge varie donc de 0 à 480 mm/an. Le détail de ces calculs est inséré à l'annexe 5. La répartition de la recharge sera établie lors de la construction du modèle numérique dont il sera question dans les prochains chapitres.

## 1.2.6 Détermination des aires de protection

Le logiciel retenu pour la modélisation numérique est Feflow 7.1<sup>11</sup> qui permet de simuler l'écoulement de l'eau souterraine par des éléments finis. Ces éléments finis sont représentés par des nœuds et reliés entre eux par des lignes pour former des mailles de différente dimension. Des mailles plus fines sont localisées près des endroits d'intérêt et plus larges en s'éloignant. Chaque maille possède des caractéristiques propres (conductivité hydraulique, coefficient d'emmagasinement, porosité, etc.). L'ensemble de ces mailles forment le modèle numérique. Les limites du modèle peuvent être délimitées par des lignes de bassin versant ou de manière arbitraire. Après avoir construit le modèle numérique, de l'eau est ajoutée par recharge de l'aquifère à partir de la surface et par l'imposition d'élévations de l'eau aux limites du modèle. Des conditions aux limites peuvent aussi être ajoutées pour représenter les cours d'eau par exemple.

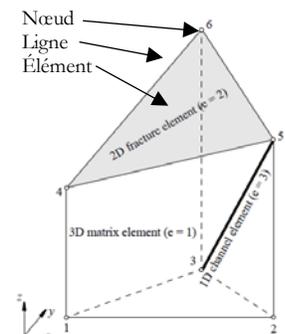


Figure 15 : Représentation schématique des éléments

Après avoir ajouté les éléments mentionnés précédemment, le logiciel tente de solutionner un écoulement de l'eau souterraine qui respecte les conditions imposées. Dans le cas présent, la méthode du gradient conjugué en régime permanent (steady state) a été retenue pour représenter le déplacement de l'eau souterraine. Par la suite, une étape de calibration doit être effectuée, la comparaison des niveaux d'eau mesurés réellement sur le terrain et ceux calculés par le logiciel sont comparés. Si de fortes différences sont

<sup>9</sup> USGS, A Monthly Water-Balance Model Driven By a Graphical User Interface, Open-File Report 2007-1088

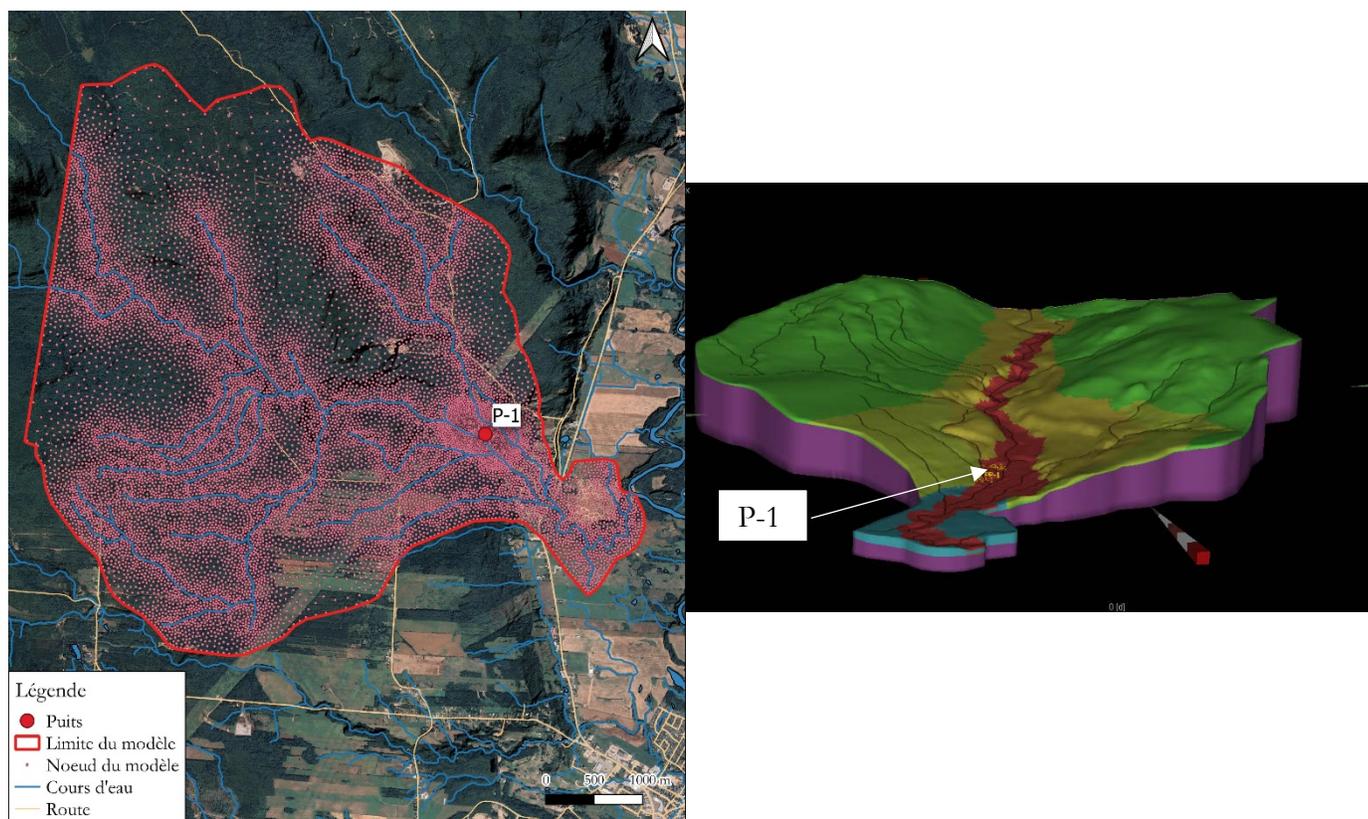
<sup>10</sup> Ministère des transports, Manuel de conception des ponceaux. s.l. : Gouvernement du Québec, Mai 2017. ISBN : 978-2-551-26092-8 (PDF) 2017

<sup>11</sup> Feflow, GmbH, DHI WASY, version 7.1

observées, les paramètres (conductivité hydraulique, recharge, géométrie des mailles, etc.) sont modifiés de manière à bien représenter les niveaux d'eau. Les résultats sont vérifiés sous forme de graphique montrant l'élévation de l'eau calculée par rapport à ceux observés sur le terrain. Une racine de la moyenne carrée normalisée de la différence des niveaux d'eau (NRMS) est calculée et une valeur inférieure à 10% doit être obtenue. Une analyse de sensibilité doit également être effectuée afin de quantifier le degré d'incertitude relié à certains paramètres. Cette analyse consiste à faire varier certains paramètres et de vérifier le comportement du modèle. Le résultat de chaque variation (NRMS) ainsi que les résultats des simulations sont comparés dans le but de cibler le meilleur résultat.

Le modèle couvre un territoire de 24,3 km<sup>2</sup> soit un polygone d'environ 6 km est-ouest et 5 km nord-sud. Le modèle contient 198 484 nœuds et 357 130 éléments répartie sur 11 couches différentes. Les limites du modèle sont définies en partie par la limite de bassin versant de la rivière Mares et de manière arbitraire. La figure suivante montre les limites du modèle et la répartition des nœuds du modèle. La dimension du modèle est établie de manière à trouver un équilibre entre la représentation des résultats rechercher et les limites du logiciel. Un trop grand nombre d'éléments peut empêcher le logiciel de calculer efficacement et provoquer un problème informatique.

Figure 16 : Limite du modèle



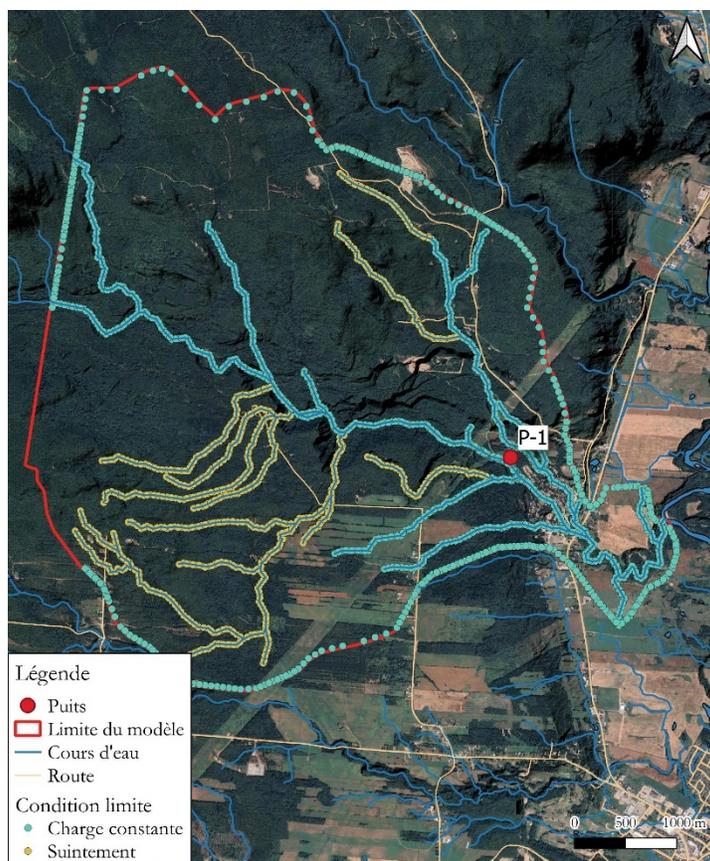
### 1.2.6.1 Condition aux limites

Dans Feflow, il existe 3 types de conditions aux limites principales :

- Condition limite à charge hydraulique constante
- Condition limite de transfert de fluide
- Condition limite de suintement « seepage »

De manière simplifier, la condition limite à charge constante impose une élévation d'eau continue dans le modèle, le transfert de fluide permet un transfert de l'eau entre les nœuds alors que le suintement permet seulement d'extraire l'eau du modèle. Les conditions à charge hydraulique constante et de suintement ont été utilisées dans le cadre de la présente étude. Une condition de charge hydraulique constante a été appliquée à certaines parties du périmètre du modèle et certains cours d'eau qui sont possiblement en lien avec l'aquifère. Des conditions de type suintement ont été imposées à certains cours d'eau du territoire. La figure suivante montre la localisation des conditions aux limites imposées par le modèle.

Figure 17 : Conditions aux limites



### 1.2.6.2 Propriété hydrogéologique

Un total de 6 unités hydrostratigraphique ont été réparties sur le territoire. Ces unités géologiques ont été distribuées en fonction des informations mentionnées précédemment. Chaque unité hydrostratigraphique possède une valeur de conductivité hydraulique et de porosité. Le tableau suivant montre les unités hydrostratigraphique ainsi que leurs caractéristiques alors que la figure 17 montre leurs répartitions générales.

Tableau 5 : Répartition des unités hydrostratigraphique

Unité hydrostratigraphique	Couche dans Feflow	Carte de dépôts meubles	Kx=Ky (m/jour)	Kz (m/jour)	Porosité	Source
Sable et gravier (aquifère P-1)	1, 3, 4, 5	Ax	25	2.5	0,3	HGE
Sable silt	2	Mgb	3	0,3	0,2	Littérature et Calibration
Sable gravier silt	1 à 5	MGd	5	0,5	0,3	Littérature et Calibration
Argile	1 à 5	Mga	0,1	0,01	0,05	Littérature et Calibration
Till	1 à 5	Tin	1	0,1	0,1	Littérature et Calibration
Roc	6 à 11	R	0,0030	0,0030	0,05	Littérature et Calibration

Figure 18 : Répartition des unités hydrostratigraphique de la couche 1

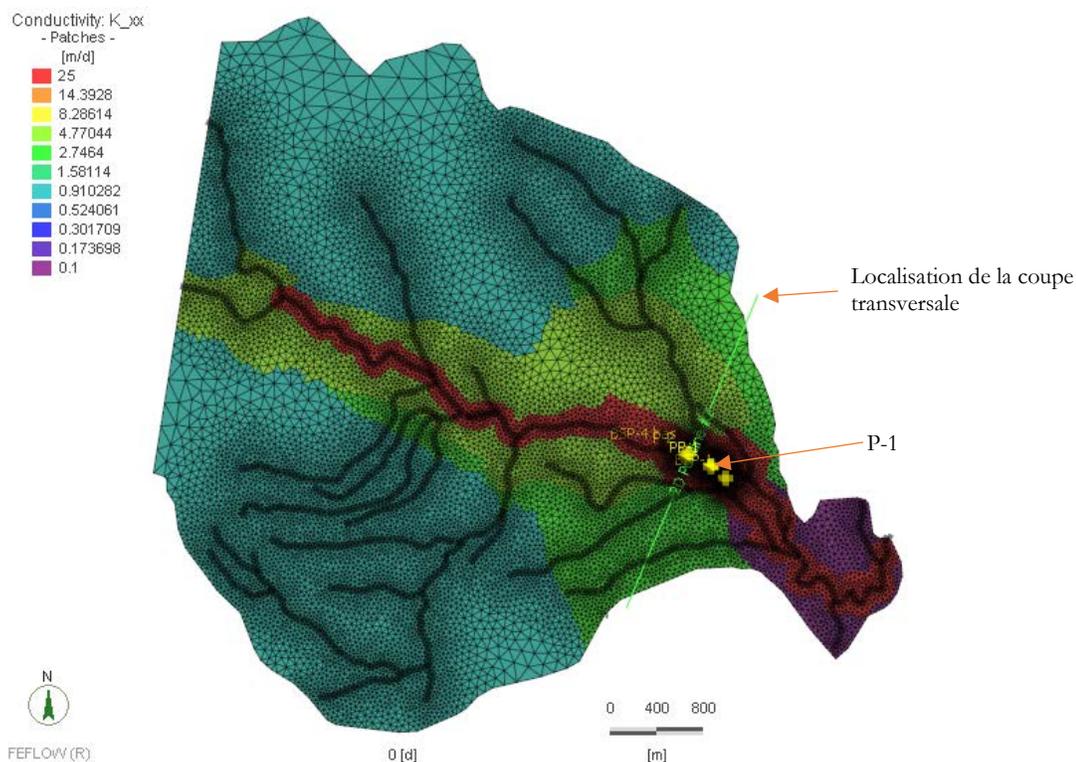
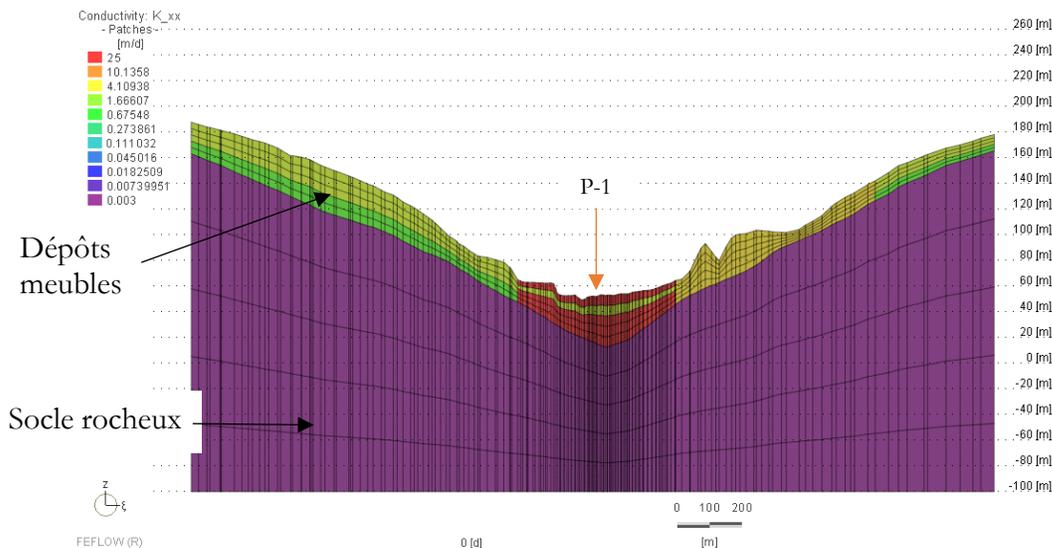


Figure 19 : Coupe transversale

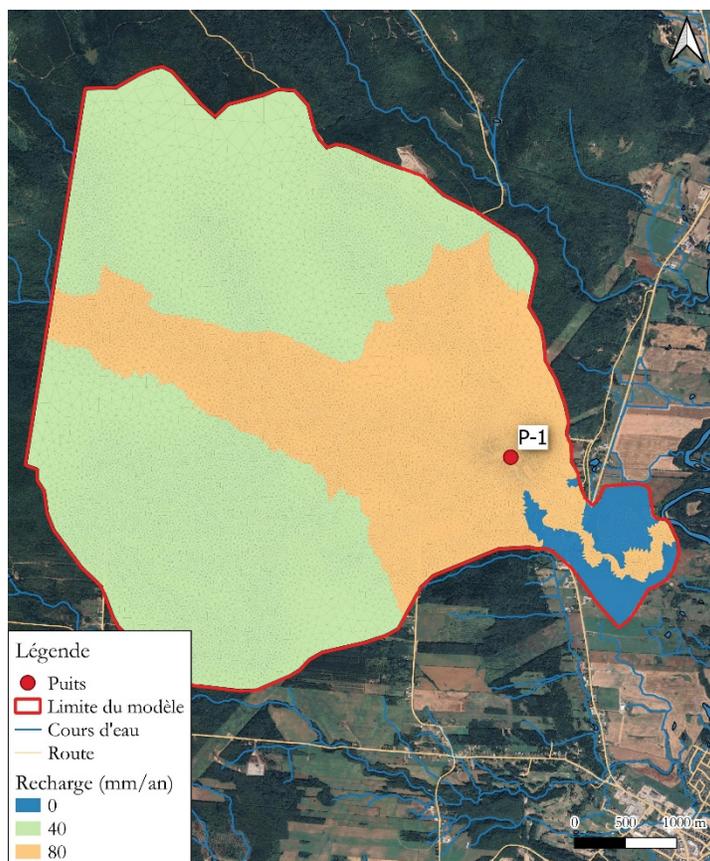


La conductivité hydraulique verticale ( $K_z$ ) a été estimée à 10% de la conductivité hydraulique horizontale ( $K_x$  et  $K_y$ ) de manière à représenter l'hétérogénéité verticale des unités 1 à 6. La conductivité hydraulique du socle rocheux (unité 6) est la même dans toutes les directions ( $K_x=K_y=K_z$ ) de manière à représenter l'écoulement dans un milieu fracturé qui est très hétérogène et imprévisible.

Comme aucun essai de pompage ou de perméabilité n'a été effectué pour évaluer la conductivité hydraulique des unités 2 à 5, des valeurs provenant de la littérature ont été utilisées. Ils ont par la suite été ajustés lors de la calibration du modèle.

La figure suivante montre la répartition de la recharge utilisée pour la détermination des aires de protection. La recharge a été modifiée lors de la calibration du modèle et en fonction du ruissellement estimé précédemment.

Figure 20 : Recharge de l'aquifère



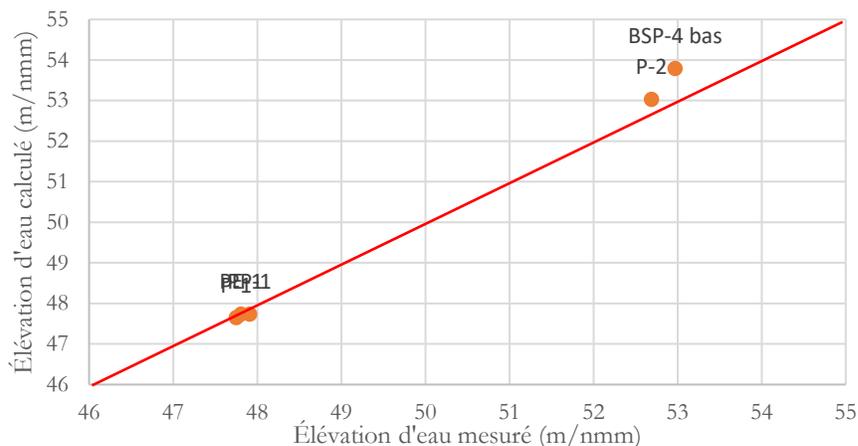
### 1.2.6.3 Calibration du modèle

Tel que mentionné précédemment, la calibration du modèle a été effectuée en comparant les données de niveau d'eau mesuré et ceux simulés. Le tableau suivant montre les points d'observation utilisés pour le calibrage incluant l'élévation de l'eau mesurée, calculé ainsi que la valeur résiduelle. La figure 20 montre la corrélation entre l'élévation de l'eau calculée et mesurée.

Tableau 6 : Élévation de l'eau mesurée et calculée

Point d'observation	Coordonnées (MTM Zone 8)		Élévation de l'eau (m)		
	X	Y	Mesuré	Calculé	Résiduel
BSP-4 bas	301 707	5 260 177	52,97	53,78	0,82
P-2	301 688	5 260 150	52,69	53,03	0,34
PE-1	301 896	5 260 064	47,81	47,73	-0,07
PP-1	301 898	5 260 064	47,91	47,73	-0,18
P-1	301 897	5 260 062	47,75	47,64	-0,10
BSP-5	301 655	5 260 224	55,23	55,91	0,68

Figure 21 : Résultats de la calibration du modèle



RMS	0,46
RMS normalisé	6,2 %
Nombre de points	6
Écart maximal	0,82
Écart minimal	-0,18
Variation du niveau d'eau mesuré	7,48

Un RMS normalisé inférieur à 10% est recommandé alors qu'une valeur de 6,2 % a été obtenue. La figure précédente montre que les points sont relativement bien répartis de part et d'autre par rapport à la ligne rouge qui montre une corrélation parfaite. D'après ces résultats, nous sommes d'avis que le modèle peut être considéré comme calibré.

#### 1.2.6.4 Simulation et détermination des aires de protection

Après avoir bien calibré le modèle, la simulation du pompage peut être effectuée. Le débit de pompage a été appliqué sur un seul nœud situé au centre du puits à la hauteur de la crépine. Après avoir simulé l'écoulement, le logiciel permet de faire le traçage de particule. Cette option vise à déterminer la provenance d'une goutte d'eau captée par un puits de pompage. Des particules sont relâchées autour du puits et le traçage des particules se fait en sens inverse de l'écoulement.

Les articles 51 à 66 du RPEP indiquent les aires de protection applicables en fonction de la catégorie du point de prélèvement et les restrictions à considérer. Trois aires de protection principales doivent être évaluées.

Les limites de l'aire de protection immédiate sont fixées à 30 m autour du puits de catégorie 1. Toute activité présentant un risque de contamination de l'eau est interdite dans ce périmètre. Dans le cas présent, l'aire de protection immédiate du puits P-1 englobe un terrain clôturé où aucune activité ne s'y déroule à l'exception

de l'exploitation du puits. Les activités relatives à l'opération, à l'entretien, à la réparation ou au remplacement du puits ou de ces équipements sont permises dans cette aire.

Les aires de protection intermédiaire correspondent au temps de migration de l'eau souterraine sur une période de 200 et 550 jours pour assurer sa projection bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours). Certaines restrictions en lien avec les activités agricoles peut être mise en place selon la vulnérabilité de l'aquifère tel que mentionné aux articles 57 à 64 du RPEP.

L'aire de protection éloignée représente la superficie du terrain au sein duquel les eaux souterraines y circulant vont éventuellement être captées par le prélèvement. Dans le cas présent, la simulation indique que le temps de parcours le plus long est de 5 683 jours et correspond donc à l'aire de protection éloignée.

L'annexe 6 montre les aires de protection obtenue et les fichiers numériques vous seront acheminés par courriel.

### 1.3 Niveau de vulnérabilité

La vulnérabilité est évaluée avec l'aide de la méthode DRASTIC qui provient de l'acronyme tel qu'illustré par la figure suivante.

$$\text{Indice DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$



- D = Profondeur (Depth)
- R = Recharge
- A = Aquifère
- S = Sol
- T = Topographie
- I = Impact zone vadose
- C = Conductivité hydraulique

L'indice "P" correspond au poids associé à chaque paramètre et l'indice "C" correspond à la cote paramétrique.



Source: Richard Franklin and Robert Turner, GSC, 2009

Figure 22 : Illustration de l'indice DRASTIC

Les résultats donnent un chiffre qui varie entre 23 et 226 selon le degré de la vulnérabilité. L'article 53 du RPEP classe la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines selon trois niveaux : faible ( $\leq 100$ ), moyen (101 à 179) et élevé ( $\geq 180$ ).

Le niveau de vulnérabilité oblige certaines restrictions en lien avec les activités agricoles dans les aires de protection intermédiaires. Pour bien représenter la vulnérabilité du secteur, 178 points ont été répartis sur le

territoire et un indice a été calculé sur chacun de ces points. Par la suite un krigeage a permis de créer les cartes illustrées à l'annexe 7. Le tableau suivant montre le calcul des valeurs maximum et minimum obtenues.

Tableau 7 : Calcul de l'indice DRASTIC

	Paramètres	Poids	Remarque	Cote		Cote pondérée	
				minimum	maximum	minimum	maximum
D	Profondeur de la nappe (m)	5	Niveau d'eau statique	1	10	5	50
R	Recharge annuelle (cm/an)	4	Calcul annexe 5	1	3	4	12
A	Milieu aquifère	3	Sable et gravier/Till	4	6	12	18
S	Type de sol	2	Carte pédologique	4	6	8	12
T	Topographie (%)	1	Carte topographique	1	10	1	10
I	Incidence de la zone vadose	5	Sable et gravier avec silt et argile	6	6	30	30
C	Conductivité hydraulique (m/jour)	3	Couche 1 du modèle	1	4	3	12
<b>Valeur de l'indice DRASTIC</b>						<b>63</b>	<b>144</b>
<b>Vulnérabilité</b>						<b>Faible</b>	<b>Moyen</b>

Les **profondeurs de la nappe**, la **recharge** et la **conductivité hydraulique** proviennent du modèle numérique. Le puits capte un **milieu d'aquifère** contenu dans le sable et gravier (cote de 6). Lorsque la carte des dépôts meubles indique la présence de till une cote de 4 a été retenue. Le **type de sol** correspond au premier mètre de sol et, d'après les cartes pédologiques<sup>12</sup>, ce dernier est principalement composé de loam sableux près du puits et un loam plus au nord. La **topographie** du secteur montre une pente entre 0 et 37 %. L'**impact de la zone vadose** est considéré comme un sable et gravier sur l'ensemble du territoire. Finalement, un indice DRASTIC entre 63 et 144 est obtenu au droit des aires de protection, ce qui correspond à une vulnérabilité faible à moyenne. Le *guide d'application du règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* mentionne que lorsqu'il y a plusieurs niveaux de vulnérabilité dans une même aire de protection, la valeur la plus élevée doit être appliquée à l'ensemble de cette aire. Pour cette raison, une vulnérabilité moyenne sera attribuée sur l'ensemble des aires de protection (immédiate, intermédiaire, éloignée).

Donc d'après ces résultats, des restrictions agricoles devront être appliquées au champ agricole situé dans l'aire de protection intermédiaire bactériologique. La figure suivante montre les champs agricoles touchés.

<sup>12</sup> IRDA, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Carte pédologique, 21M07-0202, 2009

Figure 23 : Localisation des champs agricoles et leurs superficies (m<sup>2</sup>)



La présence de cette activité sera traitée plus en détail dans les chapitres suivants.

## 1.4 Discussion sur la qualité et la pérennité des résultats

La qualité des résultats du modèle réside principalement sur la présence des études antérieures et les études régionales. Ces données ont été essentielles pour évaluer les aires de protection du puits.

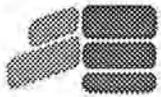
Une façon de bien évaluer la qualité de la modélisation est l'analyse de la sensibilité. Une analyse de sensibilité a été réalisée selon la norme ASTM D5611-94. La conductivité hydraulique des dépôts meubles et de la recharge a été modifiée selon 4 facteurs différents suivis d'une simulation. Les niveaux calculés ont par la suite été comparés avec les niveaux d'eau réellement mesurés sur le terrain. Les facteurs utilisés sont 0,2-0,5-2 et 3, en d'autres mots, si la conductivité hydraulique retenue est de 10 m/jour, cette dernière a été fixée à 2, 5, 20 et 30 m/jour lors de l'analyse de sensibilité. Les résultats montrent que les valeurs de conductivité et de recharge utilisées sont les plus représentatives de la réalité et que le modèle est légèrement sensible aux variations de conductivité. L'élévation de l'eau a également été mesurée et varie de moins de 10 cm durant les analyses de sensibilité, ce qui est très faible.

D'après ces observations, le changement des valeurs de conductivité hydraulique et de recharge apporte de légers changements sur les niveaux d'eau calculés et sur les résultats. D'après la norme ASTM D5611-94, la sensibilité du modèle serait de type 2. Le détail des calculs est illustré à l'annexe 8.

Pour conclure, il serait pertinent de réaliser quelques forages additionnels en amont topographique pour peaufiner le modèle numérique et délimiter plus précisément les aires de protection. Un suivi piézométrique et de la qualité de l'eau en continu permettraient de mieux suivre l'aquifère et ajuster le débit de pompage de manière à ne pas surexploiter l'aquifère. Ce suivi devient de plus en plus pertinent avec les changements climatiques actuels.

# ANNEXE 1

## Coupes géologiques des puits



**Consultants**  
**H.G.E. INC.**

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE ST-PAUL

PUIITS: P-1

DATE: FEV. 1997

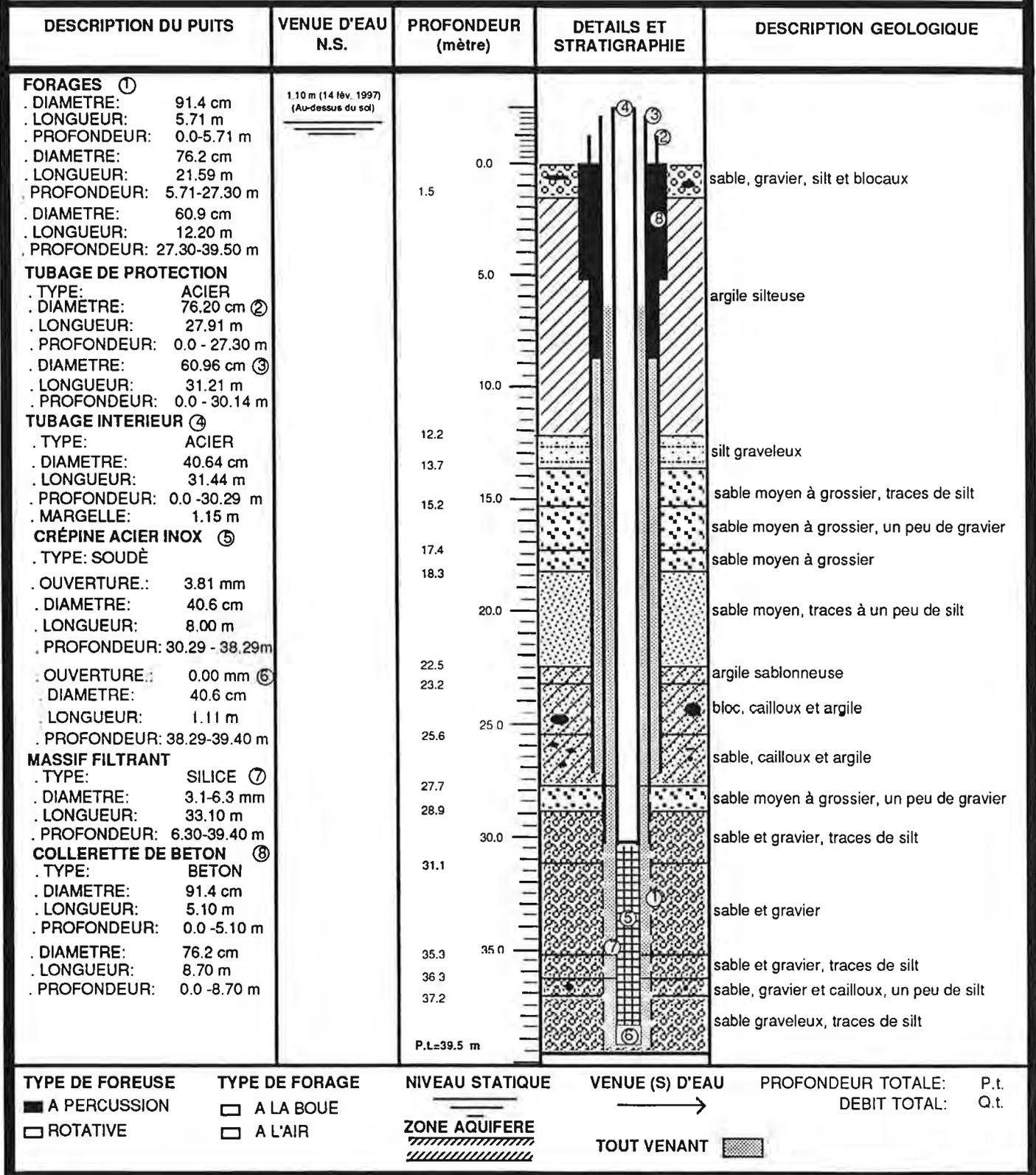
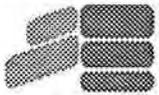


FIGURE 4.1.2



Consultants  
H.G.E. INC.

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE ST-PAUL

PUIITS: PE-1

DATE: OCTOBRE  
1995

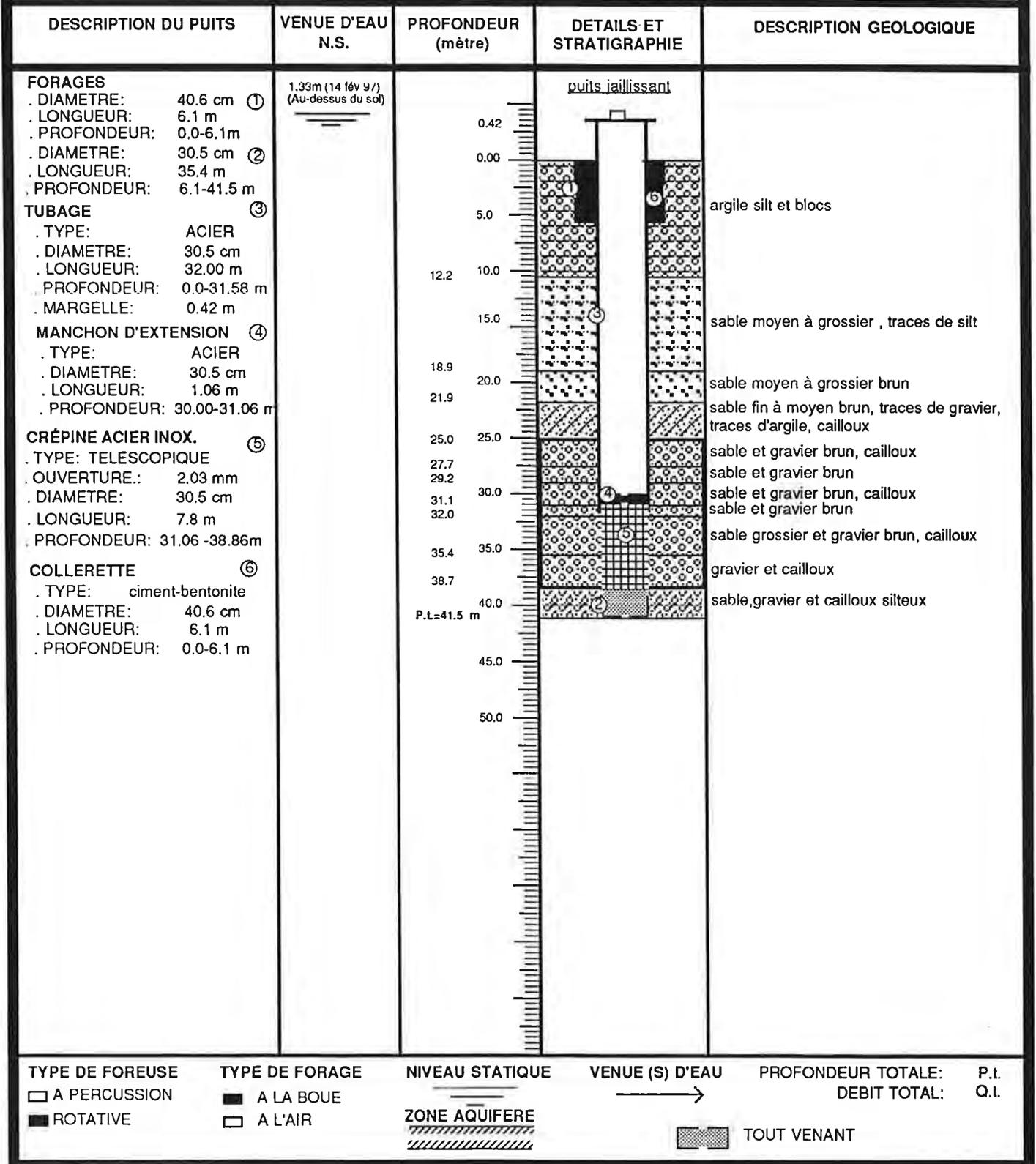
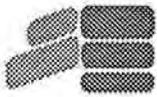


FIGURE 4.3.1



Consultants  
H.G.E. INC.

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE-ST-PAUL

PUIITS: BSP-1

DATE: MAI 1994

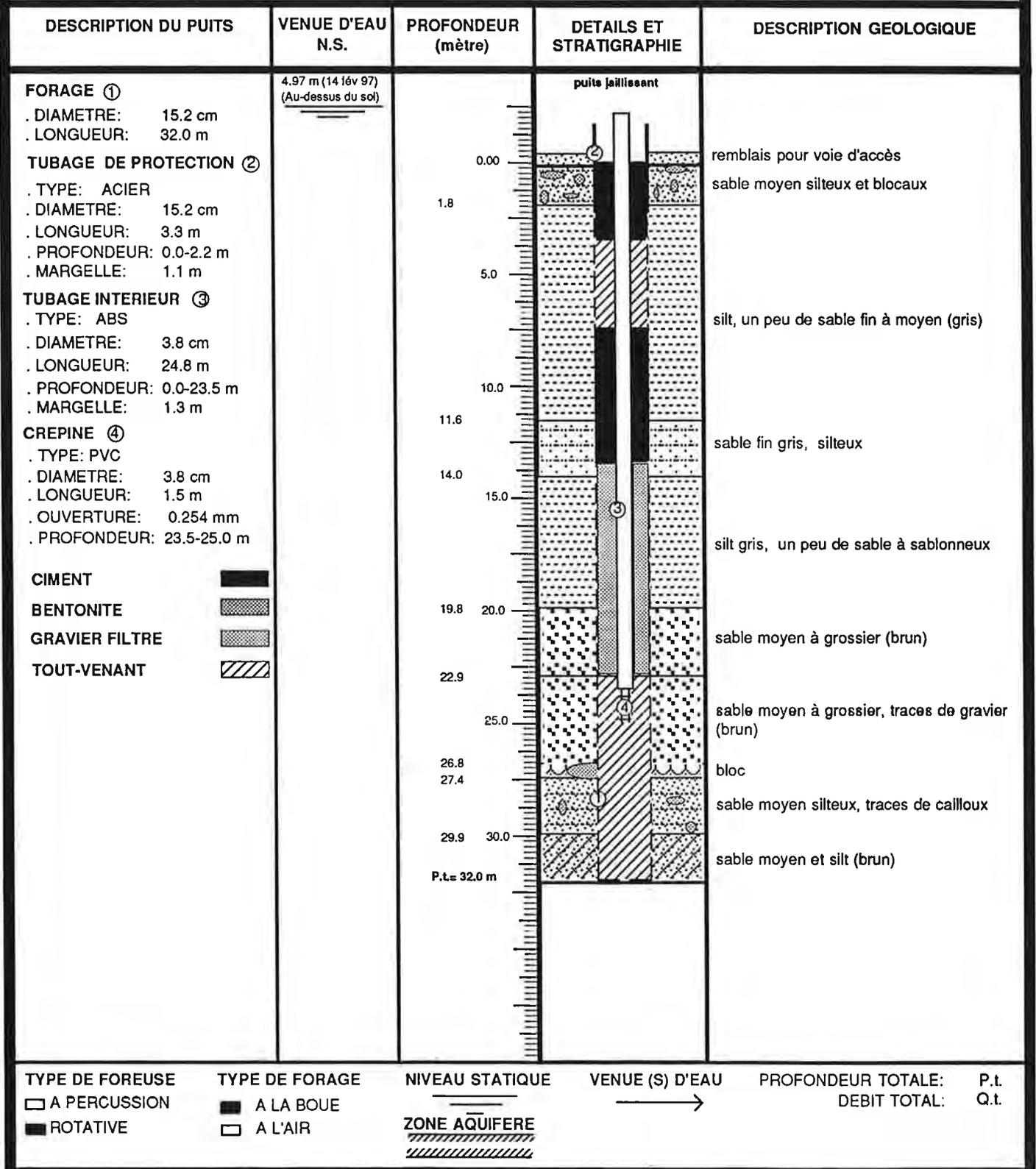
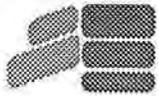


FIGURE 4.3.2



Consultants  
H.G.E. INC.

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE ST-PAUL

PUIITS: BSP-2

DATE: AVRIL 1995

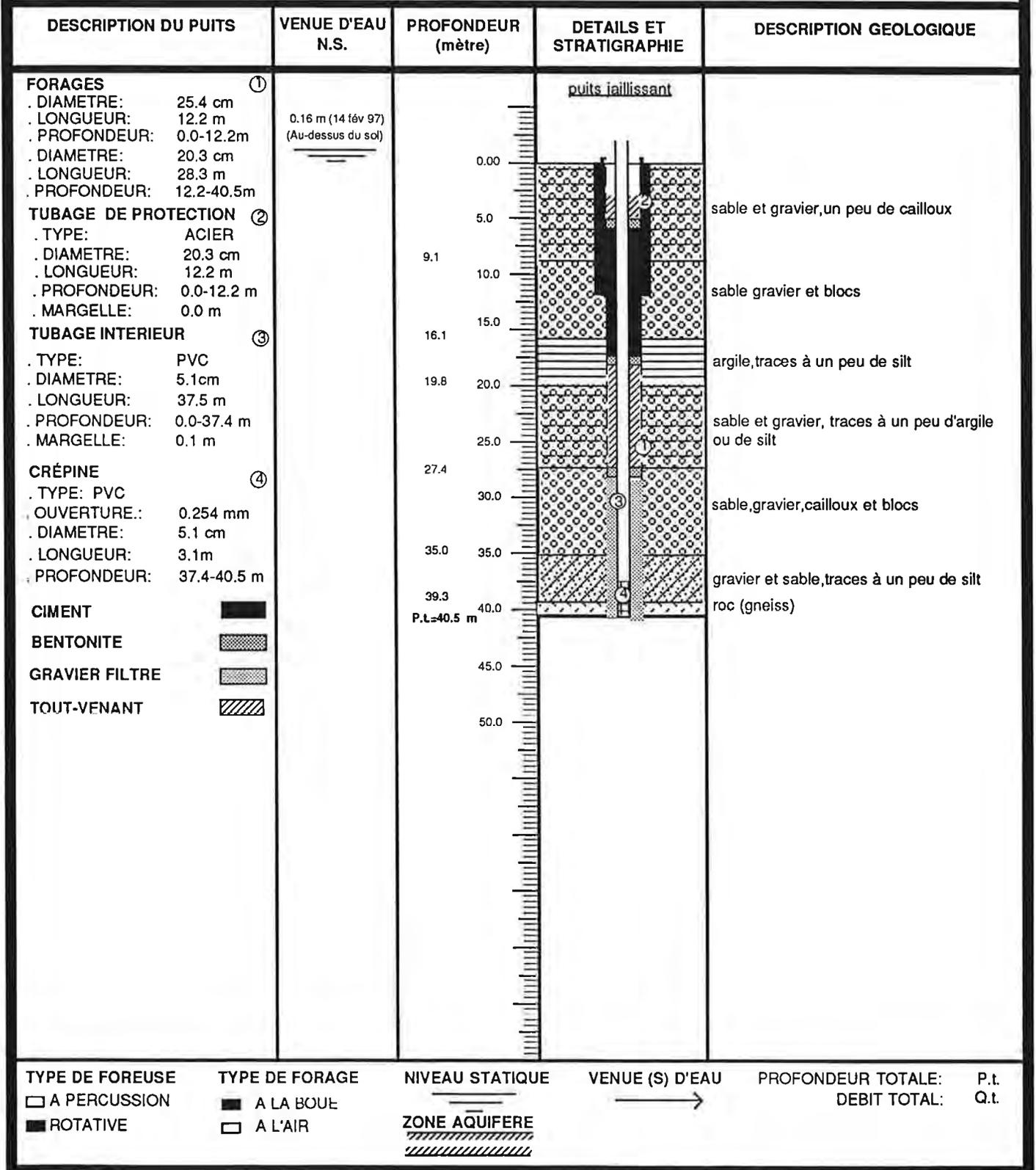


FIGURE 4.3.3



**Consultants**  
**H.G.E. INC.**

# SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE ST-PAUL

PUIITS: BSP-3

DATE: AVRIL 1995

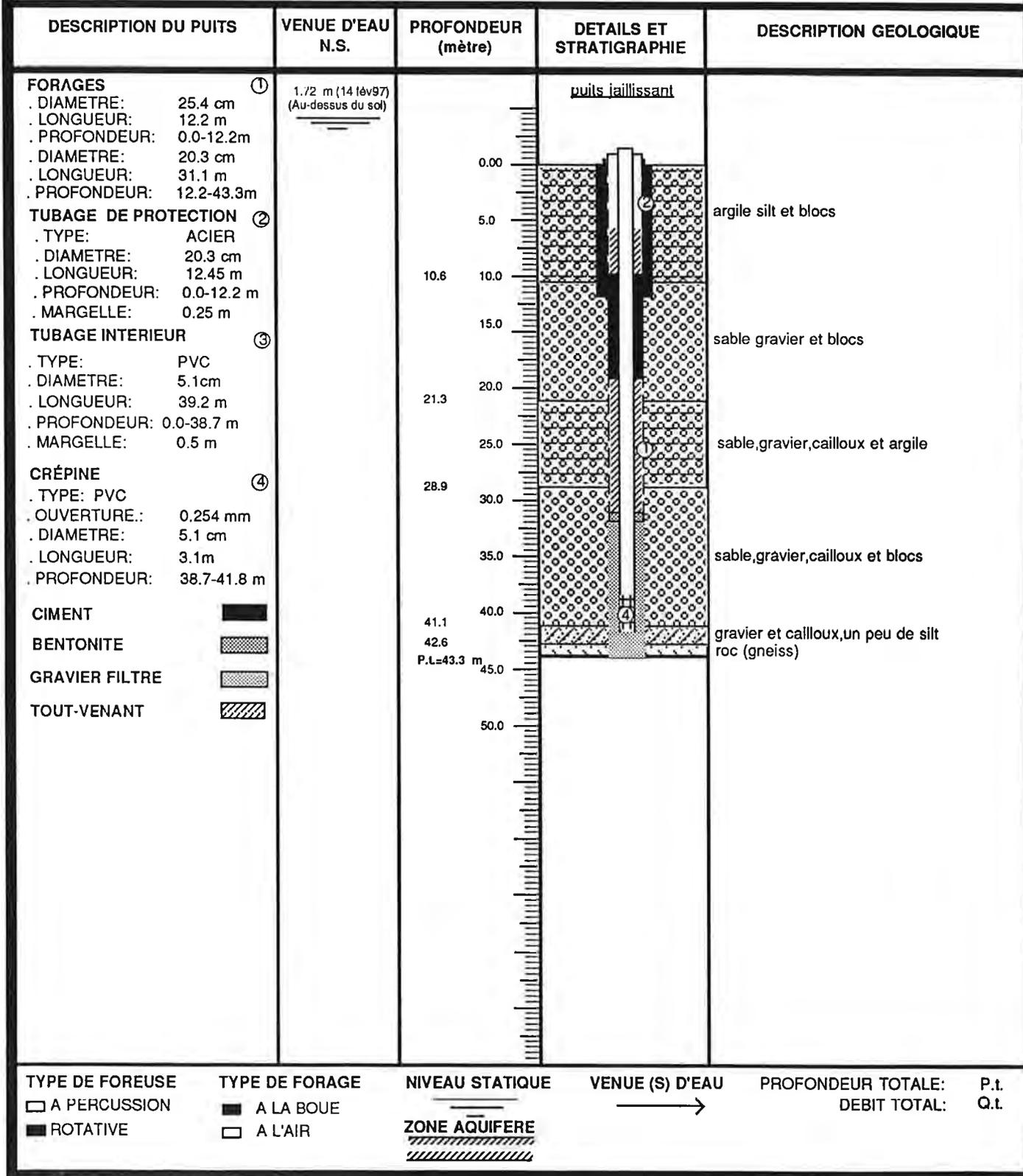
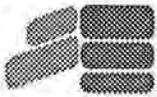


FIGURE 4.3.4



**Consultants**  
**H.G.E. INC.**

# SCHEMA D'INSTALLATION DE PIEZOMETRE

PROJET: Baie St-Paul

PIEZOMETRE: BSP-4

DATE: AOÛT 96

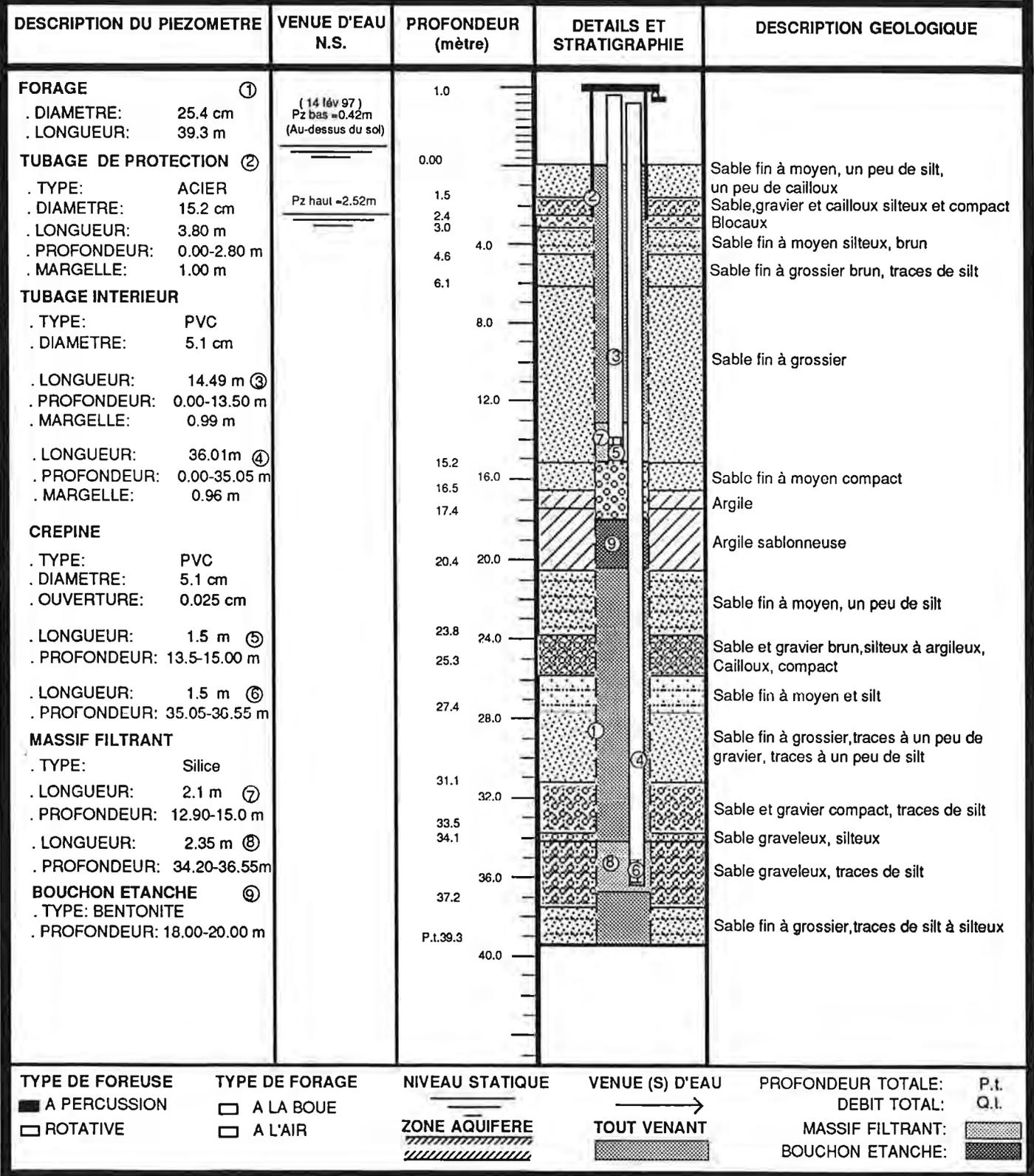


FIGURE 4.3.5



**Consultants**  
**H.G.E. INC.**

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PIEZOMETRE

PROJET: Baie St-Paul

PIEZOMETRE: PP-1

DATE: Juillet 96

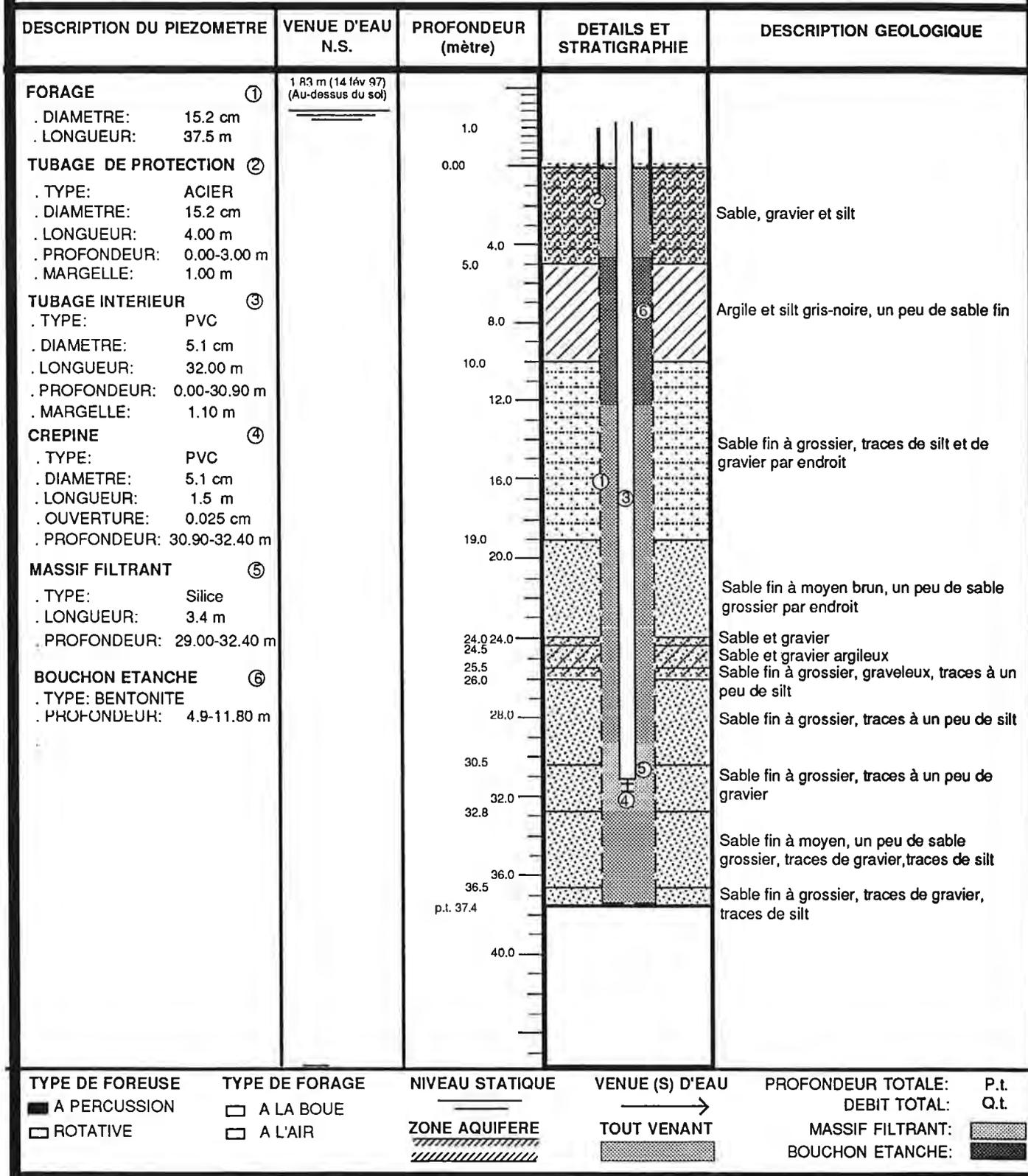
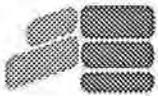


FIGURE 4.3.6



Consultants  
H.G.E. INC.

## SCHEMA D'INSTALLATION DE PUIITS

PROJET: BAIE ST-PAUL

PUIITS: P-2

DATE: AOÛT 1996

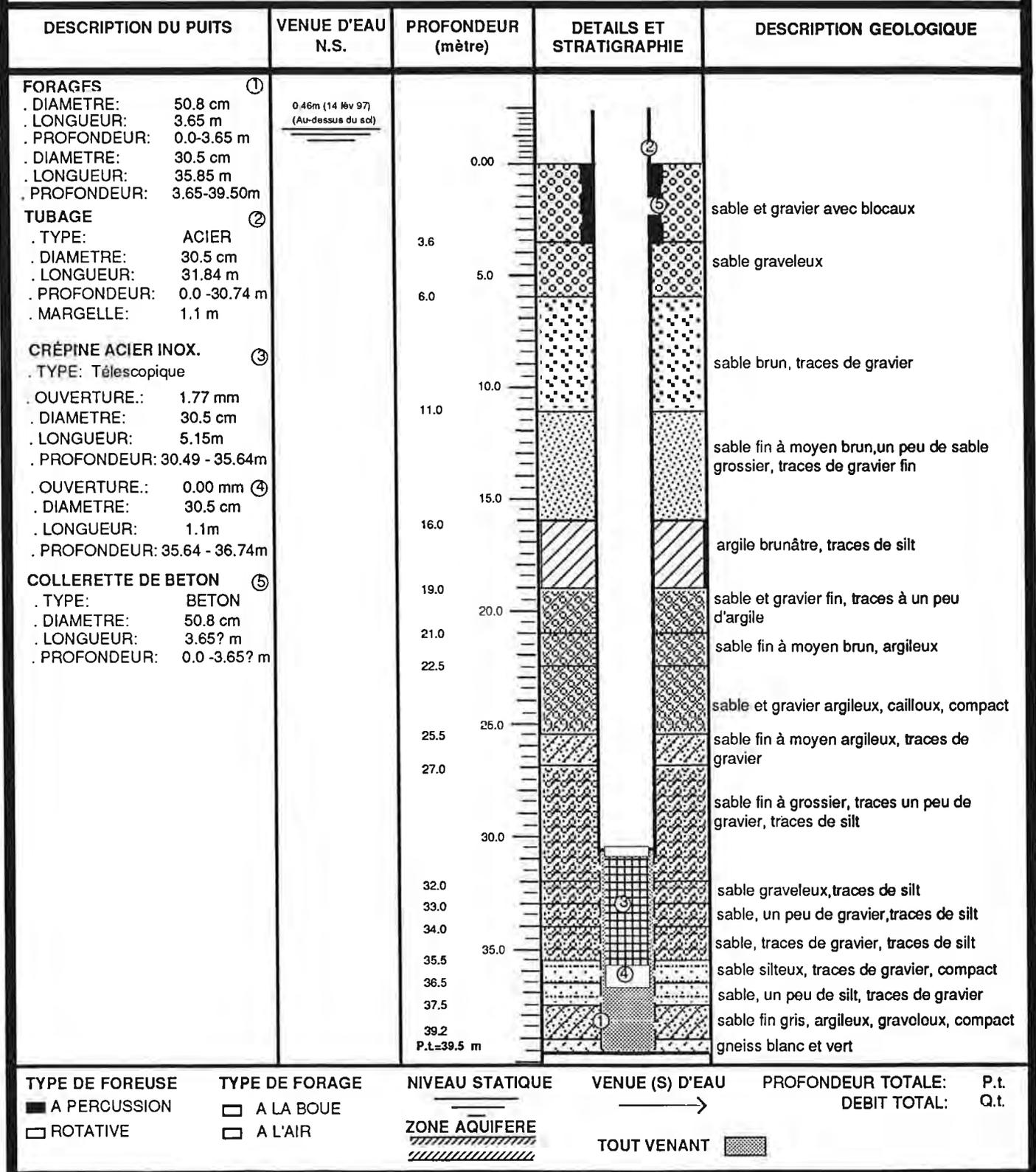


FIGURE 4.2.2

# ANNEXE 2

## Documentations consultées

## Document consulté

Titre	Date
Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H. et al. A standardized method System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. s.l. : National Water Well Association, Ohio, 1987. EPA-600/2-87-035.	1987
CERM-PACES, 2015. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte nord. Centre d'étude sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 294 p.	2015
DP-058, Jehan Rondot, Géologie de la Rivière du Gouffre, Gouvernement du Québec	1971
ET 97-07, Jehan Rondot, <i>Les Brèches d'impact Météoritique de Charlevoix</i> , Gouvernement du Québec	1998
Freeze R. Allan, Cherré John A., <i>Groundwater</i> , Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632	1979
IRDA, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Carte pédologique, 21M07-0202	2009
MB-2014-02, Cousineau et al., <i>Rapport final sur les travaux de cartographie des formations superficielles réalisés dans les territoires municipalisés de la Haute-Côte-Nord et de Charlevoix (Québec) entre 2012 et 2014</i> , Université du Québec, Université Laval, Ministère des Ressources naturelles	2014
McCabe, G.J. and Marlstrom, S.L. A Monthly Water-Balance Model Driven By a Graphical User Interface. s.l. : U.S. Geological Survey, 2007. Open-File Report 2007-1088.	2007
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <i>Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC – Guide technique</i> , 2019. 86 pages. [En ligne]. <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/drastic/guide.pdf">www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/drastic/guide.pdf</a> Dépôt légal – 2019	2019
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Guide d'application du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection : Chapitre VI, 2020. 95 pages. [En ligne]. <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/guide-applic-rpep-chapvi.pdf">http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/guide-applic-rpep-chapvi.pdf</a>	2020
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec. 2018. 189 pages. [En ligne]. <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-analyse-vulnerabilite-des-sources.pdf">http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-analyse-vulnerabilite-des-sources.pdf</a>	2018
Ministère des transports. Manuel de conception des ponceaux. s.l. : Gouvernement du Québec, Mai 2017. ISBN : 978-2-551-26092-8 (PDF).	2017
©Gouvernement du Québec, Système d'information géomineière du Québec (SIGÉOM), 21M07-200-0202 – Baie-Saint-Paul	1999
MELCC, Installation municipales de distribution d'eau potable, <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/resultats.asp">http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/resultats.asp</a>	2020
Olivier Banton et Lumony M.Bangoy, Hydrogéologie, multiscience environnementale des eaux souterraines, Les presses de l'Université du Québec/AUPELF, ISBN 2-7605-0926-5	1997
RP-605, Jehan Rondot, Géologie de la Rivière du Gouffre, Gouvernement du Québec	1972

## Principaux Logiciel utilisé

Titre	Version
QGIS (incluant, SAGA et GRASS)	3.10.5
Feflow, GmbH, DHI WASY	7.1

Suite Micorsoft	Office 365
Surfer (Golden software)	17.1.288
Grapher (Golden Software)	12.7.855
USGS, A Monthly Water-Balance Model Driven By a Graphical User Interface, Open-File Report 2007-1088	-

### Information numérique utilisé

Titre	Type de fichier
Gouvernement du Canada, Extraction de données géospatial, géogratis, CanVec, <a href="https://cartes.canada.ca/czs/index-fr.html">https://cartes.canada.ca/czs/index-fr.html</a>	tif, shp, xyz
Gouvernement du Canada, Rapport de données moyenne entre 1981 et 2010 – Station Baie-Saint-Paul, [En ligne] <a href="http://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html">http://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html</a>	.xlsx
Gouvernement du Québec, Système d'information hydrogéologique (SIH), <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm">http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm</a>	csv
Banque de données topographique du Québec, BDTQ, <a href="https://servicesmatriciels.mern.gouv.qc.ca/erdas-iws/ogc/wms/Cartes_Images?">https://servicesmatriciels.mern.gouv.qc.ca/erdas-iws/ogc/wms/Cartes_Images?</a>	Wms*
Données topographique du Canada, CanVec, <a href="https://maps.geogratis.gc.ca/wms/canvec_fr?version=1.3.0&amp;legend_format=image/png&amp;feature_info_type=text/html&amp;layers=canvec">https://maps.geogratis.gc.ca/wms/canvec_fr?version=1.3.0&amp;legend_format=image/png&amp;feature_info_type=text/html&amp;layers=canvec</a>	wms
Service Web cartographique écoforestier, IGO, <a href="https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/ws/mffpecofor.fcgi?">https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/ws/mffpecofor.fcgi?</a>	wms
Couche d'information du Réseau d'information sur les eaux souterraines, RIES, <a href="http://gin.gw-info.net/service/gin/wms/mediator/gin_fr?version=1.3.0&amp;LAYERS=gw_recharge&amp;legend_format=image/png&amp;feature_info_type=text/html">http://gin.gw-info.net/service/gin/wms/mediator/gin_fr?version=1.3.0&amp;LAYERS=gw_recharge&amp;legend_format=image/png&amp;feature_info_type=text/html</a>	wms
Système d'information géominière du Québec, SIGÉOM, <a href="https://servicesvectoriels.atlas.gouv.qc.ca/IDS_SGM_WMS/service.svc/get?">https://servicesvectoriels.atlas.gouv.qc.ca/IDS_SGM_WMS/service.svc/get?</a>	Wms, shp
Canadian digital elevation model, édition 1.1, 2016-10-21, gouvernement du canada	tiff
Centre d'expertise hydrique, Limite de bassin versant du québec, <a href="https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/index.htm">https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/index.htm</a>	shp
Mnistère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Sytème d'information hydrogéologique, <a href="http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm">http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm</a>	csv

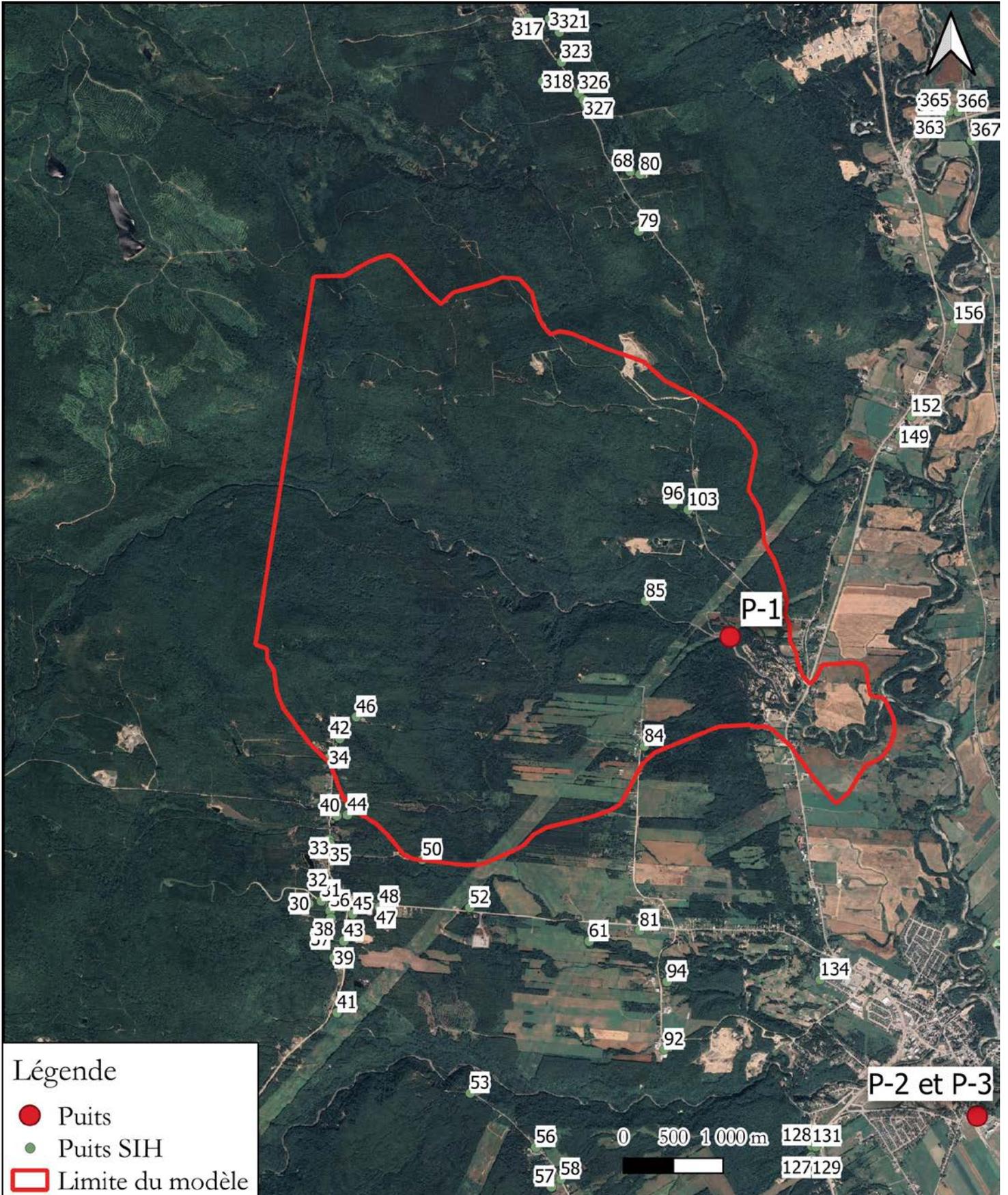
\*WMS = web mapping services interrogé avec le logiciel QGis 3.6.0

### Document fournis par la ville

Titre	Date
Les Consultants H.G.E. inc, <i>Aménagement de deux puits permanents</i> , N/D : HGE-96-1218	Mars 1997
Mission HGE, Aire de protection autour du puits existant P-1, N/Réf. : 06255-101	2006
Déclaration des prélèvements d'eau	2014 à 2018
Niveau d'eau piézométrique du puits P-1 et PE-1	mars à mai 2019
Bouchard S., Fillion G., Pan directeur d'eau potable, Ville de Baie-Saint-Paul,	2016
Mission HGE inc., Construction des puits P-2 et P-3 – Rapport Technique, N/Réf. : 09101-101	2016

# ANNEXE 3

## Localisation et descriptions des puits SIH



#	COORDONNÉE	COORDONNÉE	DIAMÈTRE (cm)	PROFONDEUR	LONGUEUR TUBAGE (m)	NIVEAU D'EAU (M)	SÉQUENCE_S	ÉPAISSEUR	DESCRIPTIO	SEQUENCE_1	EPAISSEU_1	DESCRIPT_1	SEQUENCE_2	EPAISSEU_2	DESCRIPT_2	SEQUENCE_3	EPAISSEU_3
333	-70.5536	47.5753	15	104	73.2	-7.62	1	72	SABL/ARG	2	0.6	GRAV/FIN	3	31.4	ROCH		
327	-70.558	47.5283	15	91.4	6.1	-15.24	1	2.7	TERR	2	88.7	ROCH					
367	-70.5065	47.5247	15	97.6	39.6	inconnu	1	24	ARGL	2	4.9	SABL_AVEC_GRAV	3	5.8	ARGL	4	3
358	-70.5283	47.5613	15	51.8	51.8	-15.24	1	3	TERR	2	48.8	SABLÉ/FIN					
275	-70.4374	47.4469	15	85.4	12.2	-6.1	1	1.8	TERR	2	8.5	DEPO	3	75	GRGN		
17	-70.6247	47.4085	15	53.4	53.4	-4.57	1	52	GRAV/BLO	2	1.5	SABLÉ/FIN					
5	-70.6531	47.385	15	25.3	25	-3.05	1	25	SABL_AVEC_GRAV								
165	-70.5007	47.5158	15	43.3	43.3	-15.24	1	43	SABL_AVEC_GRAV								
297	-70.4017	47.6542	15	67.1	11	inconnu	1	9.1	SABL/BLO	2	57.9	ROCH					
330	-70.5563	47.5724	15	91.5	37.8	-10.67	1	35	TILL	2	56.1	ROCH					
279	-70.4357	47.4475	15	104	12.2	-6.1	1	0.9	TERR	2	10.1	DEPO	3	92.7	GRGN		
201	-70.4671	47.4402	15	48.8	7.3	-6.1	1	6.1	GRAV	2	42.7	ROCH					
339	-70.5502	47.5807	15	76.2	42.7	-12.19	1	41	SABL/GRA	2	35.4	GRGN					
215	-70.4615	47.4503	15	54.9	6.1	-7.62	1	4	GRAV/GROS	2	50.9	ROCH					
346	-70.5432	47.5585	15	79.3	69.2	-9.15	1	11	ARGL/BLO	2	10.7	ARGL/SIL	3	9.1	SABLE/SIL	4	4.6
315	-70.5669	47.5433	15	91.5	6.1	-7.62	1	2.4	GRAV	2	89	ROCH					
230	-70.4581	47.5133	15	48.8	21.6	-6.1	1	20	GRAV/GROS	2	29	ROCH					
99	-70.5449	47.4116	15	85.4	9.1	-5.49	1	6.7	GRAV_AVEC_SABL	2	78.7	GRGN					
340	-70.5497	47.568	15	68.3	68.3	-27.44	1	60	GRAV	2	7.6	ARGL	3	1.2	ROCH		
96	-70.5461	47.4919	15	91.5	21.3	-10.67	1	20	GRAV/FIN	2	71.6	ROCH					
3	-70.6549	47.3808	15	24.4	11.3	-3.05	1	24	GRAV								
222	-70.4601	47.451	15	54.9	8.5	-3.05	1	7.3	GRAV/MOY	2	47.6	ROCH					
240	-70.4556	47.4387	15	43.6	6.1	-3.66	1	3.7	GRAV/BLO	2	39.9	GRGN					
225	-70.4594	47.4519	15	74.7	25	inconnu	1	0.6	ARGL	2	74.1	CALC					
299	-70.3823	47.6924	15	30.5	10.7	-0.03	1	11	GRAV	2	19.8	ROCH					
280	-70.4351	47.4478	15	73.2	9.1	-6.1	1	1.8	TERR	2	6.4	DEPO	3	64.9	GRGN		
223	-70.46	47.453	15	42.7	12.2	-7.62	1	11	GROVE/SAB	2	31.7	ROCH					
232	-70.458	47.4531	15	42.7	15.5	-7.62	1	14	GRAV/ARG	2	28.7	ROCH					
7	-70.6528	47.3829	15	27.4	25.3	-3.05	1	27	GRAV_AVEC_SHLE								
221	-70.4602	47.4515	15	42.7	7.9	-0.92	1	0.6	TERR	2	5.2	SABLE/SIL	3	36.9	ROCH		
191	-70.4695	47.4349	15	104	6.1	inconnu	1	0.6	TERR	2	104	GRGN					
200	-70.4673	47.434	15	79.3	12.2	-6.71	1	9.8	TERR	2	69.5	GRGN					
152	-70.5144	47.4998	15	89.6	88.4	inconnu	1	6.1	ARGL	2	21.3	TILL	3	7.3	SABL		
149	-70.516	47.498	15	84.1	83.5	0.61	1	3.7	SABL	2	60.4	ARGL/SIL	3	13.7	SABL/MOY	4	6.4
156	-70.5088	47.5082	15	23.2	21.7	-11.28	1	3	SABL	2	6.1	ARGL	3	7.9	GRAV/ARG	4	5.5
198	-70.4674	47.4343	15	141	6.1	inconnu	1	0.6	TERR	2	141	GRGN					
323	-70.561	47.5318	15	79.3	12.2	-15.24	1	1.2	TERR	2	78	ROCH					
178	-70.4833	47.4397	15	79.3	12.2	-9.15	1	9.1	SABL/GRA	2	70.1	ROCH					
218	-70.4607	47.506	15	67.1	18.3	-12.19	1	17	GRAV/GROS	2	50.3	ROCH					
9	-70.6506	47.3884	15	25	25	0.31	1	6.1	SABL_AVEC_GRAV	2	12.2	ARGL	3	6.7	SABL_AVEC_GRAV		
322	-70.5613	47.5827	15	67.1	36.9	-24.39	1	18	SABL/BLO	2	17.1	SABL	3	31.7	ROCH		
260	-70.4516	47.4327	15	76.2	18	inconnu	1	15	GRAV	2	61	ROCH					
226	-70.4594	47.4655	15	34.8	32.3	inconnu	1	30	GRAV	2	4.6	ROCH					
72	-70.5514	47.4206	15	61	18.3	-12.19	1	17	GRAV_AVEC_TERR	2	44.5	ROCH					
219	-70.4606	47.4662	15	107	30.5	inconnu	1	27	GRAV	2	79.6	ROCH					
11	-70.6348	47.4023	15	22.9	15.2	0.03	1	15	SABL_AVEC_GRAV	2	7.6	SHLE					
290	-70.4118	47.6625	15	85.4	inconnu	-9.15	1	6.1	GRAV	2	79.3	ROCH					
92	-70.5473	47.4427	15	110	33.5	inconnu	1	9.1	SABL	2	9.1	SABLE/SIL	3	6.1	SABLÉ/FIN	4	4
8	-70.651	47.3916	15	21	21	-4.57	1	20	GROVE/BLO	2	1.2	GROVE/SAB					
79	-70.5507	47.5165	15	85.4	7.9	-10.67	1	7.6	SABL_AVEC_GRAV	2	77.7	ROCH					
180	-70.4798	47.4378	15	54.9	6.1	-3.05	1	1.8	REMB	2	53	ROCH					
264	-70.4508	47.4718	15	104	13.7	-8.54	1	11	TERR	2	92.7	GRGN					
263	-70.4512	47.4724	15	42.7	5.9	-12.19	1	0.6	TERR	2	0.9	SABLE/SIL	3	2.1	TILL	4	39
115	-70.5364	47.399	15	79.3	9.1	-0.92	1	6.7	TERR	2	72.6	ROCH					
63	-70.555	47.4234	15	80.2	9.1	inconnu	1	7.3	DEPO	2	72.9	GRGN					
182	-70.4768	47.4366	15	79.3	24.4	-9.15	1	4.6	GRAV	2	74.7	ROCH					
321	-70.5613	47.5344	15	36.6	8.5	-3.05	1	7.3	SABL/GRA	2	29.3	ROCH					
300	-70.3822	47.6977	15	91.5	9.5	-7.62	1	7.6	GROVE/SAB	2	83.8	ROCH					
214	-70.4615	47.4979	15	61	12.5	-6.1	1	11	SABL/GRA	2	50.3	GRAN					
94	-70.5469	47.4488	15	122	22.3	-9.15	1	20	GRAV/BLO	2	102	ROCH					
220	-70.4605	47.4976	15	79.3	15.4	-15.24	1	8.4	SABL/GRA	2	0.8	BLOC	3	4.6	SABL/GRA	4	65.5
196	-70.468	47.4349	15	141	6.1	inconnu	1	0.9	TERR	2	140	GRGN					
369	-70.4929	47.535	15	36.6	20.7	-6.1	1	18	GROVE/SAB	2	18.3	ROCH					
4	-70.6535	47.3842	15	25	25	-1.52	1	25	SABL_AVEC_GRAV								
97	-70.5456	47.4123	15	61	12.2	-9.15	1	9.1	SILT_AVEC_SABL	2	51.8	ROCH					
80	-70.5505	47.5216	15	122	6.1	-0.31	1	4.3	SABL/GRA	2	0.9	GRAV/SIL	3	117	GRGN		



#	COORDONNÉE	COORDONNÉE	DIAMÈTRE (cm)	PROFONDEUR	LONGUEUR TUBAGE (m)	NIVEAU D'EAU (M)	SÉQUENCE_S	ÉPAISSEUR	DESCRIPTION	SÉQUENCE_1	ÉPAISSEU_1	DESCRIPTION_1	SÉQUENCE_2	ÉPAISSEU_2	DESCRIPTION_2	SÉQUENCE_3	ÉPAISSEU_3
59	-70.5595	47.4254	15	137	6.1	inconnu	1	1.5	TERR_AVEC_GRAV	2	136	ROCH					
68	-70.5519	47.5219	15	48.8	12.2	-1.52	1	5.8	GRAV	2	43	ROCH					
62	-70.5565	47.4287	15	97.6	6.1	0.46	1	5.2	TERR	2	92.4	ROCH					
10	-70.6349	47.403	15	13.7	13.7	-3.05	1	14	SABL_AVEC_GRAV	2							
249	-70.4534	47.4579	15	128	11.3	-9.15	1	2.4	SABL	2	7.6	ARGL	3	118	ROCH		
371	-70.4865	47.6139	15	73.2	7.3	-6.1	1	4	GRAV/FIN	2	69.2	ROCH					
372	-70.4839	47.6122	15	79.3	10.4	-7.62	1	9.1	GRAV/GROS	2	70.1	ROCH					
171	-70.4967	47.4117	15	61	6.1	-6.1	1	3.7	GROVE/SAB	2	57.3	ROCH					
12	-70.6322	47.4037	15	39.6	39.6	-7.62	1	38	GRAV/GROS	2	1.8	GRAV					
13	-70.6304	47.4043	15	48.8	42.7	-4.57	1	12	SABL_AVEC_GRAV	2	24.4	TILL	3	12.2	SILT_AVEC_SABL		
81	-70.5505	47.4534	15	80.2	12.2	inconnu	1	10	GRAV	2	69.8	GRGN					
169	-70.4971	47.4073	15	122	12.2	-9.15	1	11	GRAV/ARG	2	111	ROCH					
319	-70.5626	47.5356	15	91.5	9.1	-9.15	1	7.6	SABL/GRA	2	83.8	ROCH					
301	-70.381	47.6969	15	42.7	7	-6.1	1	6.1	GRAV	2	36.6	ROCH					
16	-70.6283	47.4054	15	27.4	27.4	-6.1	1	24	GROVE/SAB	2	3	GRAV/GROS					
174	-70.4956	47.4105	15	54.9	6.1	-3.05	1	3	GRAV	2	51.8	ROCH					
57	-70.5622	47.4303	15	54.9	6.7	inconnu	1	4.3	GRAV	2	50.6	GRGN					
239	-70.4562	47.4402	15	68.6	15.9	inconnu	1	15	GRAV	2	53.4	ROCH					
173	-70.496	47.4084	15	104	6.1	-7.32	1	3	GRAV	2	101	ROCH					
58	-70.561	47.431	15	104	7.6	inconnu	1	4.9	GRAV	2	98.8	ROCH					
256	-70.4528	47.4475	15	97.6	12.2	-7.62	1	9.1	SABL_AVEC_GRAV	2	88.4	GRGN					
56	-70.5643	47.4339	15	122	10.4	-3.35	1	7.9	GRAV	2	114	GRGN					
259	-70.4518	47.4495	15	54.9	12.8	-7.62	1	11	GRAV/MOY	2	43.6	ROCH					
318	-70.5635	47.53	15	36.6	7.6	-8.23	1	4	TERR	2	32.6	ROCH					
167	-70.4987	47.4091	15	107	6.1	-2.44	1	0.3	TERR	2	106	GRGN					
253	-70.4529	47.4706	15	30.5	7.7	0.91	1	5.5	SABL_GRA_AVEC_BLOC	2	25	GRGN					
326	-70.5587	47.5289	15	79.3	8.5	-9.15	1	6.1	TERR_AVEC_BLOC	2	73.2	ROCH					
278	-70.4364	47.4453	15	73.1	6.1	-0.92	1	3.4	TERR	2	69.8	GRGN					
195	-70.4681	47.4321	15	92.1	6.1	-9.76	1	1.2	TERR	2	90.9	GRGN					
269	-70.4445	47.4479	15	79.3	11.6	-13.72	1	10	GRAV	2	68.9	GRAN					
210	-70.4639	47.4341	15	65.9	6.1	inconnu	1	2.7	TERR	2	63.1	GRGN					
18	-70.6226	47.4133	15	48.8	45.4	-3.66	1	49	GRAV	2							
19	-70.6222	47.4137	15	35.4	35.1	-9.15	1	24	SABL/BLO	2	6.1	SABLE/FIN	3	4.9	SABL/GRA		
53	-70.573	47.4388	15	122	13.1	-15.24	1	11	GRAV_AVEC_ARG	2	111	ROCH					
305	-70.3757	47.665	15	57.9	25.9	inconnu	1	25	TERR_AVEC_SABL	2	32.6	ROCH					
281	-70.4325	47.4433	15	130	6.1	-103.66	1	0.6	TERR	2	129	ROCH					
1	-70.6565	47.381	15	29.9	30.5	-9.15	1	6.1	TERR	2	23.8	SABL/GRA					
274	-70.438	47.4555	15	86.9	6.1	inconnu	1	1.5	TERR_AVEC_GRAV	2	85.4	ROCH					
202	-70.467	47.4448	15	116	7.3	-9.15	1	5.5	GRAV/ARG	2	110	ROCH					
23	-70.6142	47.4214	15	31.1	31.1	-6.1	1	31	SABL_AVEC_GRAV	2							
84	-70.5499	47.4701	15	30.5	19.3	-3.05	1	17	SABLE/SIL	2	13.4	ROCH					
370	-70.4914	47.5417	15	41.5	17.4	-9.15	1	1.5	SABL	2	1.5	TILL	3	12.2	SABLE/SIL	4	26.2
24	-70.6125	47.4228	15	36.6	36.2	-6.1	1	35	TILL	2	1.5	SABL/GRA					
276	-70.4372	47.4463	15	79.3	12.2	-1.52	1	1.8	TERR	2	9.1	GRAV/GROS	3	68.3	GRGN		
100	-70.5449	47.4076	15	71.6	29.3	inconnu	1	27	TILL	2	44.2	ROCH					
179	-70.48	47.449	15	46.6	46.6	-5.49	1	7.6	SABL	2	18.3	ARGL	3	15.2	SILT	4	5.5
26	-70.6097	47.4282	15	30.5	25.3	-9.15	1	23	GRAV/GROS	2	7.6	ROCH					
27	-70.6085	47.426	15	47.6	47.7	-28.96	1	8.5	SABL/BLO	2	0.9	BLOC	3	38.1	SABL/GRA_AVEC_BLOC		
199	-70.4673	47.4457	15	67.1	6.7	-5.18	1	5.2	TERR	2	61.9	ROCH					
295	-70.4041	47.6832	15	30.5	10.7	-6.1	1	11	SABL_AVEC_GRAV	2	19.8	ROCH					
328	-70.5573	47.5751	15	35.7	35.5	-15.24	1	15	SABL/GRA	2	0.9	BLOC	3	18	SABLE/SIL	4	2.1
190	-70.4695	47.4433	15	110	18.3	-6.1	1	17	ARGL	2	93	GRGN					
52	-70.5731	47.4555	15	85.4	12.2	-9.15	1	11	GRAV	2	74.4	ROCH					
335	-70.5531	47.576	15	48	47.9	-18.29	1	3	BLOC	2	3	SABL	3	21.3	SABLÉ/FIN	4	9.1
145	-70.5227	47.4059	15	97.6	18.3	-4.57	1	18	SABL_AVEC_GRAV	2	79.3	ROCH					
29	-70.6069	47.4336	15	122	30.5	-12.19	1	23	SABLÉ/GROS	2	6.7	ANGEL/SAB	3	92.4	ROCH		
36	-70.5917	47.4552	15	73.2	6.7	-7.62	1	3.7	GRAV/MOY	2	69.5	ROCH					
270	-70.4432	47.4507	15	122	6.1	-10.67	1	0.3	TILL	2	122	ROCH					
250	-70.4534	47.4289	15	122	6.1	-10.67	1	3	GROVE/SAB	2	119	ROCH					
351	-70.5333	47.55	15	30.5	29.9	-5.49	1	30	SABL	2	0.6	GRAV					
364	-70.5098	47.5272	15	71.6	69.8	inconnu	1	9.1	SABLE/SIL	2	3	SABL_AVEC_GRAV	3	54.9	SABLE/SIL	4	4.6
338	-70.5503	47.5661	15	79.3	34.5	-6.1	1	6.1	ARGL	2	26.8	TILL	3	46.3	ROCH		
277	-70.4372	47.4473	15	91.5	12.2	-6.1	1	1.5	TERR	2	8.5	DEPO	3	81.4	GRGN		
224	-70.4595	47.52	15	54.9	12.2	-10.06	1	1.2	TERR	2	4.9	GRAV	3	48.8	ROCH		
317	-70.5655	47.5357	15	42.7	8.5	inconnu	1	6.7	GRAV	2	36	ROCH					
229	-70.4582	47.4573	15	83.8	26.2	-12.19	1	7.6	GRAV	2	16.8	GRAV_AVEC_ARGL	3	51.8	ROCH	4	7.6



#	COORDONNÉE	COORDONNÉE	DIAMÈTRE (cm)	PROFONDEUR	LONGUEUR TUBAGE (m)	NIVEAU D'EAU (M)	SÉQUENCE_S	ÉPAISSEUR	DESCRIPTIO	SEQUENCE_1	EPAISSEU_1	DESCRIPT_1	SEQUENCE_2	EPAISSEU_2	DESCRIPT_2	SEQUENCE_3	EPAISSEU_3
41	-70.5907	47.446	15	91.5	18.3	-9.15	1	17	GRAV/GROS	2	74.7	ROCH					
231	-70.4581	47.4291	15	116	6.1	-21.34	1	2.1	REMB	2	114	GRGN					
245	-70.4539	47.4552	15	134	6.4	-6.1	1	0.6	TERR	2	134	ROCH					
342	-70.5496	47.5777	15	34.8	35.4	-3.05	1	6.1	BLOC	2	15.2	SABL	3	9.1	SABL/BLO	4	4.3
43	-70.5898	47.4525	15	91.5	7.3	-7.62	1	3.7	GRAV	2	87.8	ROCH					
39	-70.5911	47.4509	15	42.7	9.9	-9.15	1	7.6	BLOC	2	35.1	ROCH					
37	-70.5916	47.4534	15	57.9	9.1	-9.15	1	7.3	SABL/GRA	2	50.6	ROCH					
38	-70.5916	47.4545	15	105	6.1	-3.05	1	2.7	GRAV	2	102	GRGN					
48	-70.5851	47.4555	15	122	12.2	inconnu	1	11	TERR	2	111	GRGN					
247	-70.4538	47.4315	15	83.8	25.9	inconnu	1	24	GRAV	2	59.8	GRGN					
45	-70.5887	47.4549	15	122	15.9	-10.67	1	15	GROVE/SAB	2	107	ROCH					
47	-70.5852	47.4555	15	122	9.1	-9.15	1	7	GRAV	2	115	GRGN					
255	-70.4528	47.4328	15	104	24.4	-7.62	1	23	SABL/GRA	2	80.8	ROCH					
234	-70.4576	47.5199	15	42.7	18.3	-3.05	1	15	GRAV	2	27.4	ROCH					
31	-70.5928	47.4561	15	79.3	6.4	-7.62	1	4.3	GRAV/FIN	2	75	ROCH					
235	-70.4573	47.5202	15	33.5	14.3	inconnu	1	12	GRAV	2	21.3	ROCH					
287	-70.4165	47.6901	15	91.5	18.3	-9.15	1	17	ARGL/GRA	2	74.7	ROCH					
334	-70.5533	47.5786	15	35.1	30.5	-4.88	1	3	BLOC	2	7.6	SABL/BLO	3	16.8	SABL/GRA	4	7.6
208	-70.4648	47.4335	15	122	9.1	-18.29	1	6.4	SABL_AVEC_GRAV	2	116	ROCH					
337	-70.552	47.5648	15	54.9	7.9	inconnu	1	6.4	SABL	2	48.5	GRGN					
33	-70.5918	47.4616	15	122	15.2	-10.98	1	12	GRAV	2	110	GRGN					
50	-70.5794	47.4598	15	122	24.4	-9.15	1	23	GRAV/MOY	2	99.1	ROCH					
35	-70.5917	47.4612	15	134	20.7	inconnu	1	18	GRAV	2	116	GRGN					
40	-70.5908	47.4637	15	122	18.6	-9.15	1	17	GRAV/ARG	2	105	ROCH					
258	-70.4521	47.4312	15	61.9	12.2	inconnu	1	9.8	GRAV	2	52.1	GRGN					
216	-70.4612	47.4313	15	91.5	6.1	-12.19	1	4	TERR	2	87.5	GRGN					
110	-70.5408	47.4077	15	110	6.1	0.31	1	3	GRAV	2	107	GRGN					
203	-70.466	47.4395	15	54.9	6.1	-3.05	1	0.6	TERR	2	54.3	ROCH					
286	-70.4207	47.6922	15	91.5	10.1	-9.15	1	7.6	GRAV/MOY	2	83.8	ROCH					
42	-70.5904	47.4707	15	122	6.1	-9.15	1	3	GROVE/SAB	2	119	ROCH					
32	-70.5923	47.457	15	104	6.1	-6.1	1	3.7	TERR	2	100	GRGN					
284	-70.454	47.6292	15	122	6.1	-6.1	1	3	TERR	2	119	ROCH					
34	-70.5918	47.469	15	67.1	6.7	-6.1	1	4.6	GRAV	2	62.5	GRAN					
134	-70.5266	47.449	15	85.4	10.1	-68.6	1	10	SABL	2	75.3	ROCH					
103	-70.5441	47.4914	15	122	24.4	-24.39	1	9.1	SABLE/SIL	2	3	SABL/ARG	3	9.1	GRAV/BLO	4	101
46	-70.5882	47.4727	15	122	6.1	-9.15	1	4.3	GRAV/FIN	2	118	ROCH					
365	-70.5094	47.5274	15	57.9	55.2	0.61	1	12	SABLE/SIL	2	18.3	ARGL	3	24.4	SABLE/SIL	4	1.5
166	-70.4992	47.515	15	34.8	34.8	-6.1	1	9.1	GRAV/BLO	2	21.3	ARGL	3	4.3	GRAV/MOY		
273	-70.4381	47.4464	15	79.3	9.5	-3.05	1	0.9	TERR	2	6.4	DEPO	3	72	GRGN		
211	-70.4634	47.4472	15	49.7	6.1	inconnu	1	1.8	TERR	2	47.9	GRGN					
204	-70.466	47.442	15	61	6.1	-7.62	1	3.7	GRAV	2	57.3	ROCH					
314	-70.5676	47.5377	15	54.9	9.1	-7.62	1	7.6	SABL/MOY	2	47.3	GRGN					
123	-70.5308	47.4232	15	137	12.2	-18.29	1	9.5	GRAV/SIL	2	128	CALC					
30	-70.5945	47.4558	15	54.9	6.1	-7.62	1	3	GROVE/SAB	2	51.8	ROCH					
348	-70.5403	47.5877	15	79.3	38.1	-9.15	1	2.4	SABL/ARG	2	34.8	SABLE/SIL	3	42.1	ROCH		
262	-70.4513	47.4808	15	73.2	6.1	inconnu	1	2.4	TERR	2	70.7	ROCH					
336	-70.5523	47.566	15	79.3	19.8	-6.1	1	3	SABL	2	6.1	SABLE/SIL	3	9.1	GRAV/SIL	4	61
212	-70.4631	47.4478	15	79.3	6.1	-15.24	1	1.5	TERR	2	77.7	ROCH					
131	-70.5271	47.434	15	85.4	6.7	inconnu	1	1.2	TERR	2	84.1	ROCH					
127	-70.5277	47.4331	15	39.6	6.4	inconnu	1	1.5	SABLÉ/FIN	2	38.1	ROCH					
129	-70.5276	47.4328	15	86.3	6.1	-5.49	1	2.1	TERR	2	84.1	GRGN					
128	-70.5277	47.434	15	61	6.1	-3.05	1	1.8	TERR	2	59.1	ROCH					
252	-70.453	47.4547	15	91.5	7.9	-7.62	1	6.4	GRAV	2	85.1	ROCH					
353	-70.5307	47.58	15	91.5	6.1	-9.15	1	5.2	TERR	2	86.3	ROCH					
363	-70.5101	47.5268	15	108	106.4	0.76	1	9.1	ARGL	2	4.6	TILL	3	32	ARGL	4	59.5
366	-70.5082	47.5273	15	39.6	36.9	inconnu	1	12	SABLE/SIL	2	12.2	ARGL	3	12.2	SABL_AVEC_GRAV/SIL	4	1.5
350	-70.5347	47.593	15	56.1	55.2	-2.74	1	5.6	SABL_AVEC_GRAV								
98	-70.5452	47.4098	15	122	12.2	-1.83	1	10	SABL/BLO	2	112	GRGN					
2	-70.655	47.3792	15	25.9	25.6	-1.83	1	2.6	GRAV_AVEC_GRAV								
85	-70.5498	47.4832	15	41.2	3	0	1	1.8	GRAV/BLO	2	8.8	ARGL	3	30.5	SABL/GRA		
197	-70.4679	47.4384	15	42.7	8.8	inconnu	1	6.7	DEPO	2	36	GRGN					
257	-70.4525	47.4334	15	55.5	8.5	-6.71	1	7.3	GRAV	2	48.2	GRGN					
238	-70.4563	47.4381	15	123	6.1	-6.71	1	1.8	TERR	2	121	GRGN					
206	-70.4657	47.4378	15	86.3	6.1	-2.44	1	1.2	TERR	2	85.1	GRGN					
325	-70.5592	47.6048	15	61	42.1	-0.92	1	40	TILL_AVEC_BLOC	2	20.7	ROCH					
172	-70.4962	47.4075	15	122	12.2	inconnu	1	2.7	SABL/ARG	2	1.2	SABL_AVEC_GRAV	3	6.7	ROCH	4	111



#	COORDONNÉE	COORDONNÉE	DIAMÈTRE (cm)	PROFONDEUR	LONGUEUR TUBAGE (m)	NIVEAU D'EAU (M)	SÉQUENCE_S	ÉPAISSEUR	DESCRIPTIO	SEQUENCE_1	EPAISSEU_1	DESCRIPT_1	SEQUENCE_2	EPAISSEU_2	DESCRIPT_2	SEQUENCE_3	EPAISSEU_3
332	-70.5538	47.5761	15	27.1	25.9	inconnu	1	27	SABL_AVEC_GRAV								
329	-70.5566	47.5811	15	79.3	18.3	-4.57	1	6.1	BLOC	2	9.1	SABL	3	1.2	TILL	4	62.8
25	-70.6122	47.4214	15	36.6	36.6	-6.1	1	34	GRAV/MOY	2	3	GRAV/GROS					
227	-70.4591	47.4519	15	61	20.7	-4.57	1	20	GRAV/ARG	2	41.2	ROCH					
194	-70.4682	47.445	15	67	6.1	-2.44	1	3.4	GRAV/BLO	2	63.7	GRGN					
282	-70.457	47.645	15	85.4	10.7	-10.37	1	10	SABL	2	75.3	ROCH					
244	-70.454	47.4693	15	70.1	12.3	-9.15	1	7	SABL_AVEC_GRAV	2	63.1	ROCH					
320	-70.5625	47.6042	15	79.3	30.5	-9.15	1	27	TILL	2	51.8	ROCH					
324	-70.5596	47.6041	15	104	48.8	-3.05	1	27	SABL	2	1.5	BLOC	3	15.2	TILL	4	59.5
331	-70.556	47.5726	15	97.6	45.9	-15.24	1	5.5	ARGL	2	2.1	GRAV/BLO	3	36.6	SABLE/SIL	4	53.4
343	-70.5479	47.5786	15	41.8	41.8	-15.24	1	4.6	SABL	2	3	ARGL	3	3	SABLE/SIL	4	19.8
44	-70.5894	47.4638	15	42.7	19.8	-6.1	1	20	SABL_AVEC_GRAV	2	22.9	ROCH					
61	-70.5572	47.4525	15	91.5	8.2	-9.76	1	8.2	SABL_AVEC_GRAV	2	83.2	ROCH					
193	-70.4685	47.4342	15	123	6.1	-8.23	1	2.1	GRAV	2	121	GRGN					
187	-70.4724	47.436	15	141	7	-9.15	1	5.5	GRAV_AVEC_BLO	2	136	GRGN					
213	-70.4623	47.4323	15	130	6.1	inconnu	1	1.8	GRAV	2	128	GRGN					
51	-70.574	47.3945	15	27.4	28	0.76	1	1.8	TERR	2	13.4	BLOC	3	12.2	SABL_AVEC_GRAV		
298	-70.395	47.6534	15	18.3	7	inconnu	1	3	SABL	2	2.1	SABL/GRA	3	13.1	ROCH		
205	-70.4657	47.4375	15	80.2	24.4	-7.01	1	23	TERR_AVEC_BLOC	2	57.6	GRGN					



# ANNEXE 4

## Calcul de la recharge

# CALCUL DE LA RECHARGE

## Évapotranspiration calculé avec l'aide du logiciel de l'USGS

"Thornthwaite Monthly water balance model"

[https://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW\\_MoWS/Thornthwaite.html](https://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/Thornthwaite.html)

Température et précipitation moyenne de 1981 à 2010 de la station Baie-Saint-Paul situé à 7 km au sud du site

[http://climat.meteo.gc.ca/historical\\_data/search\\_historic\\_data\\_f.html](http://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html)

	Température moyenne (°C)	Précipitation (mm)	Évapotranspiration calculée (mm)
Janvier	-12.4	74	6
Février	-10	64.8	7.8
Mars	-4.5	80.8	15.5
Avril	3.1	93.5	30.3
Mai	10.1	98.1	57.6
Juin	15.5	93.8	85
Juillet	18.3	87.4	100.3
Août	17.3	83.4	81
Septembre	12.5	79.5	46.7
Octobre	6.4	79.1	25.8
Novembre	-0.4	85.7	12.9
Décembre	-7.6	75.3	7.5
<b>TOTAL</b>	<b>4.0</b>	<b>995.4</b>	<b>476.4</b>

**USGS** Thornthwaite Monthly Water Balance **MMS**  
science for a changing world Bringing Modeling to the People

**Input Parameters**

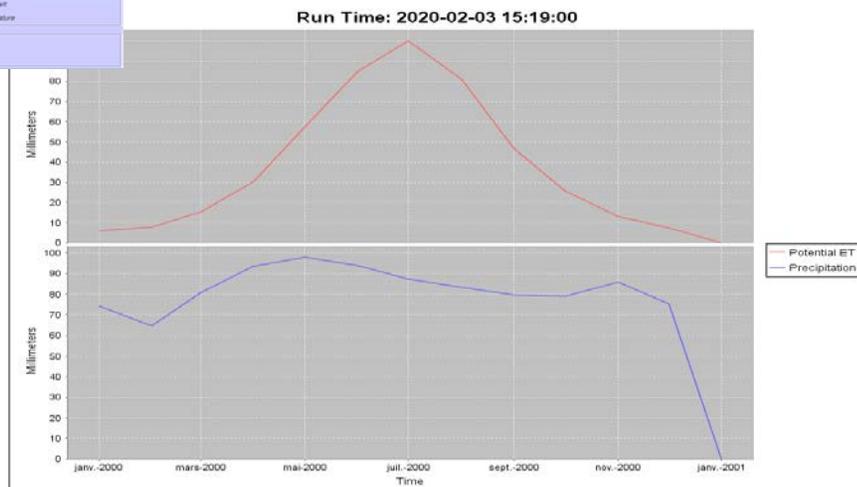
- Runoff Factor: 50 %
- Direct Runoff Factor: 5 %
- Soil Moisture Storage Capacity: 200 Millimeters
- Latitude of Location: 42 Degrees of Latitude
- Rain Temperature Threshold: 6.0 Degree Celsius
- Snow Temperature Threshold: 6.0 Degree Celsius
- Maximum Infiltration Rate: 50 %

**Input File**  
E:\WORK\IN\T\_OGEOZ\_Projet en cours\SP-1901 - USV - Baie-Saint-Paul\Recharge\thorn1.1\table1\SP2.txt

**Output Plots**

- Actual ET
- Potential ET - Actual ET
- Runoff
- Soil Moisture Storage
- Direct Runoff
- Precipitation
- Snow Storage
- Surplus
- Potential ET
- Precip - Plus ET
- Snow Melt
- Temperature

**Run**  
Run Thornthwaite Model



# CALCUL DE LA RECHARGE

## Ruissellement (*Manuel de conception des ponceaux*, Mai 2017)

Couche hydrostratigraphique		Végétation	Pente moyenne (%)	Classification hydrologique	Coefficient	Ruissellement (mm/an)
Alluvion aquifère P-1	max	Boisé	< 3	B	0.19	189.1
	min	Boisé	3 à 8	A	0.04	39.8
Sable de surface	max	Culture	> 8	B	0.51	507.7
	min	Boisé	< 3	A	0.04	39.8
Argile	max	Culture	< 3	C	0.67	666.9
	min	Boisé	< 3	BC	0.21	209.0
Till	max	Culture	> 8	B	0.51	507.7
	min	Boisé	< 3	A	0.04	39.8

COEFFICIENTS DE RUISSÈLEMENT « C <sub>p</sub> »							
ZONE RURALE							
VÉGÉTATION	PENTE S <sub>b</sub>	CLASSIFICATION HYDROLOGIQUE					
		A	AB	B	BC	C	CD
<b>CULTURE</b>							
PLAT	< 3%	0.22	0.30	0.36	0.41	0.47	0.51
VALLONNÉ	3 à 8%	0.25	0.34	0.43	0.51	0.59	0.67
MONTAGNEUX	> 8%	0.32	0.43	0.51	0.61	0.67	0.73
<b>PÂTURAGE</b>							
PLAT	< 3%	0.08	0.12	0.17	0.25	0.34	0.43
VALLONNÉ	3 à 8%	0.10	0.17	0.25	0.33	0.43	0.51
MONTAGNEUX	> 8%	0.20	0.29	0.39	0.47	0.56	0.64
<b>BOISÉ</b>							
PLAT	< 3%	0.04	0.09	0.15	0.21	0.29	0.37
VALLONNÉ	3 à 8%	0.07	0.12	0.19	0.26	0.34	0.43
MONTAGNEUX	> 8%	0.11	0.18	0.26	0.34	0.43	0.51
<b>LAC ET MARÉCAGE</b>				0.05			

### CLASSIFICATION HYDROLOGIQUE DES SOLS SELON LES CARTES DE DÉPÔTS DE SURFACE

#### 1.0 Dépôts glaciaires

1A	Dépôt glaciaire : till indifférencié	B
1AR	Dépôt glaciaire : till indifférencié, épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	B
1AA	Dépôt glaciaire : till à matrice argileuse	BC
1AAR	Dépôt glaciaire : till à matrice argileuse, épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	BC
1AB	Dépôt glaciaire : champs de blocs glaciaires	A
1P	Dépôt glaciaire : moraine de décrépitude	A
1BP	Dépôt glaciaire : moraine de décrépitude	A
1BF	Dépôt glaciaire : moraine frontale	BC
1BI	Dépôt glaciaire : moraine inter-lobaire	AB

#### 2.0 Dépôts fluvio-glaciaires

2	Dépôt fluvio-glaciaire	A
2A	Dépôt fluvio-glaciaire : juxta-glaciaire	A
2AR	Dépôt fluvio-glaciaire : juxta-glaciaire, épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	A
2AE	Dépôt fluvio-glaciaire : juxta-glaciaire, esker	A
2AK	Dépôt fluvio-glaciaire : juxta-glaciaire, kame	A
2AT	Dépôt fluvio-glaciaire : juxta-glaciaire, terrasse de kame	A
2B	Dépôt fluvio-glaciaire : pro-glaciaire	B
2BE	Dépôt fluvio-glaciaire : pro-glaciaire, épandage	B
2BD	Dépôt fluvio-glaciaire : pro-glaciaire, delta fluvio-glaciaire	B

#### 3.0 Dépôts fluviaux

3	Dépôt fluvial	BC
3D	Dépôt fluvial : deltaïque	BC

#### 4.0 Dépôts lacustres

4	Dépôt lacustre	C
4GA	Dépôt lacustre : glacio-lacustre (faciès d'eau profonde)	C
4GAR	Dépôt lacustre : glacio-lacustre (faciès d'eau profonde), épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	C
4GS	Dépôt lacustre : glacio-lacustre (faciès d'eau peu profonde)	BC
4GSR	Dépôt lacustre : glacio-lacustre (faciès d'eau peu profonde), épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	BC
4P	Dépôt lacustre : plage	B

#### 5.0 Dépôts marins

5A	Dépôt marin : marin (faciès d'eau profonde)	C
5AR	Dépôt marin : marin (faciès d'eau profonde), épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	C
5L	Dépôt marin : marin (faciès d'eau profonde), à matrice limoneuse	C
5S	Dépôt marin : marin (faciès d'eau peu profonde)	BC
5SR	Dépôt marin : marin (faciès d'eau peu profonde), épaisseur moyenne de 250 à 1000 mm	BC
5G	Dépôt marin : glacio-marin	C

## CALCUL DE LA RECHARGE

<b>Recharge = Précipitation - Évapotranspiration - Ruissellement</b>					
		Précipitation (mm/an)	Évapotranspiration (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	<b>Recharge (mm/an)</b>
<b>Alluvion aquifère P-1</b>	Min	995.4	476.4	189.1	<b>330</b>
	Max	995.4	476.4	39.8	<b>479</b>
<b>Sable de surface</b>	Min	995.4	476.4	507.7	<b>11</b>
	Max	995.4	476.4	39.8	<b>479</b>
<b>Argile</b>	Min	995.4	476.4	666.9	<b>-148</b>
	Max	995.4	476.4	209.0	<b>310</b>
<b>Till</b>	Min	995.4	476.4	507.7	<b>11</b>
	Max	995.4	476.4	39.8	<b>479</b>

# ANNEXE 5

## Localisation des aires de protection

**Titre :** Aire de protection

**Projet :** Analyse de vulnérabilité du point de prélèvement d'eau souterraine P-1 de Baie-Saint-Paul

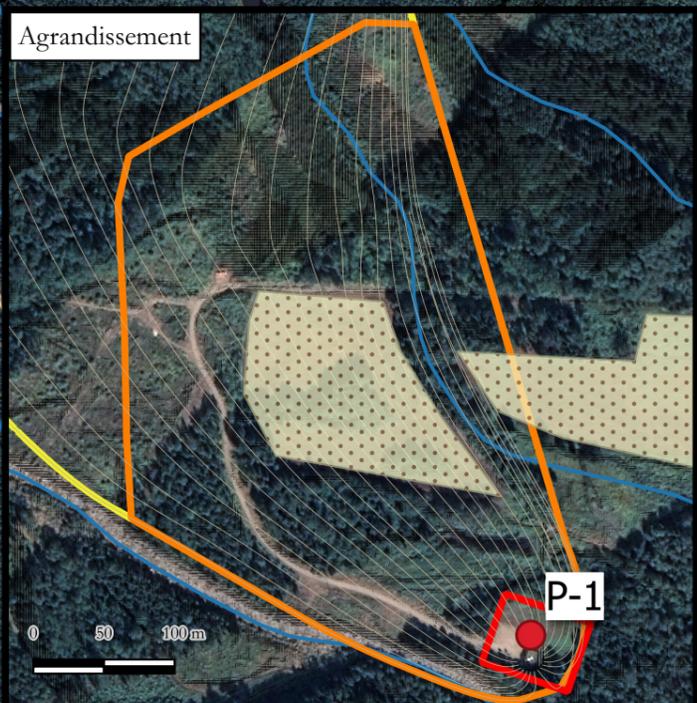
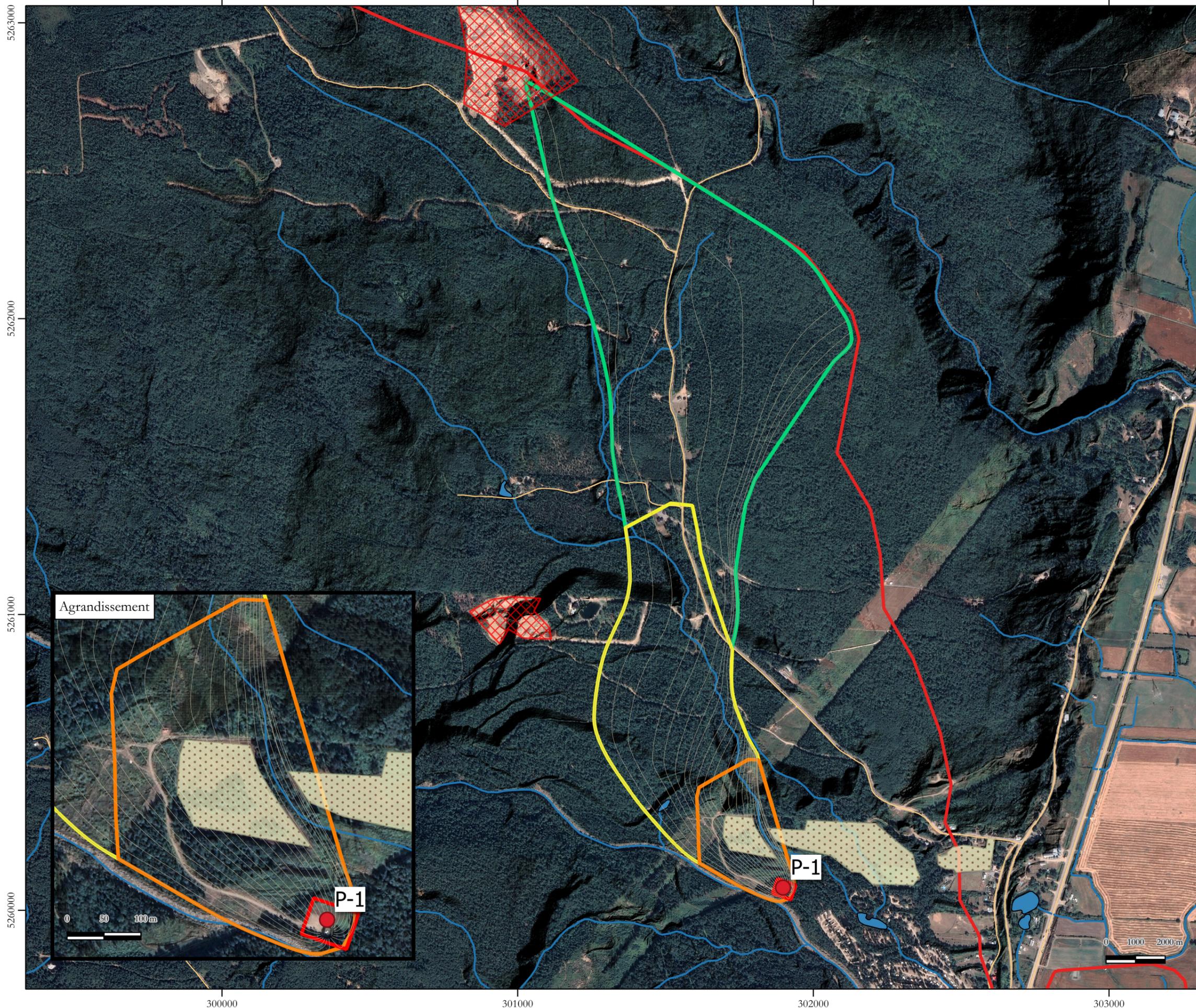
### Légende

- Puits
- Traçage d'écoulement de l'eau
- Cours d'eau
- Route
- Limite de bassin versant
- Aire de protection**
- Immédiate
- Intermédiaire bactériologique
- Intermédiaire virologique
- Éloignée
- Activités anthropique**
- Champ agricole
- Sablière

**Client :**



**Date :** 29 décembre 2020    **# Projet :** P-1901-01  
**Préparé par :** Simon Huard géo. hydrogéologue    **Échelle :** 1:12 500  
**Source :** Google Earth    **Coordonnée :** NAD 83 / MTM 7



# ANNEXE 6

Carte de la vulnérabilité (DRASTIC)

**Titre :** Indice DRASTIC et cotes utilisées pour chacun des paramètres

**Projet :** Analyse de vulnérabilité du point de prélèvement d'eau souterraine P-1 de Baie-Saint-Paul

### Légende

- Puits
- Cours d'eau
- Route
- Limite de bassin versant

#### Aire de protection

- Immédiate
- Intermédiaire bactériologique
- Intermédiaire virologique
- Éloignée

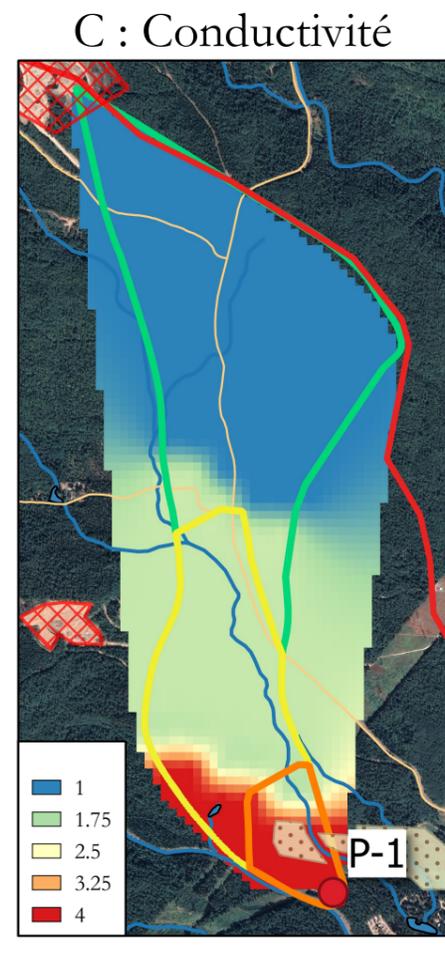
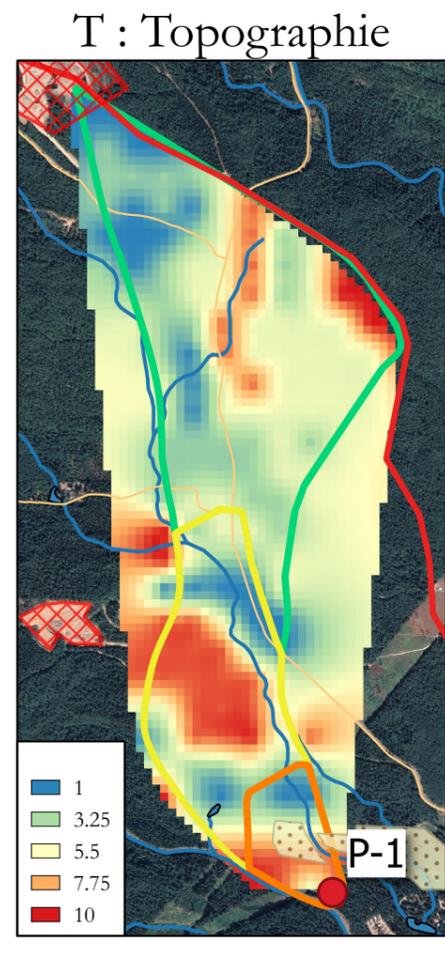
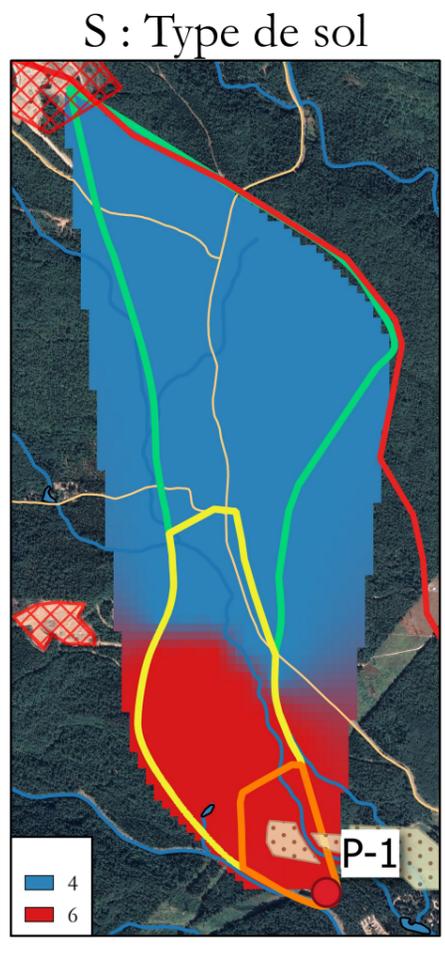
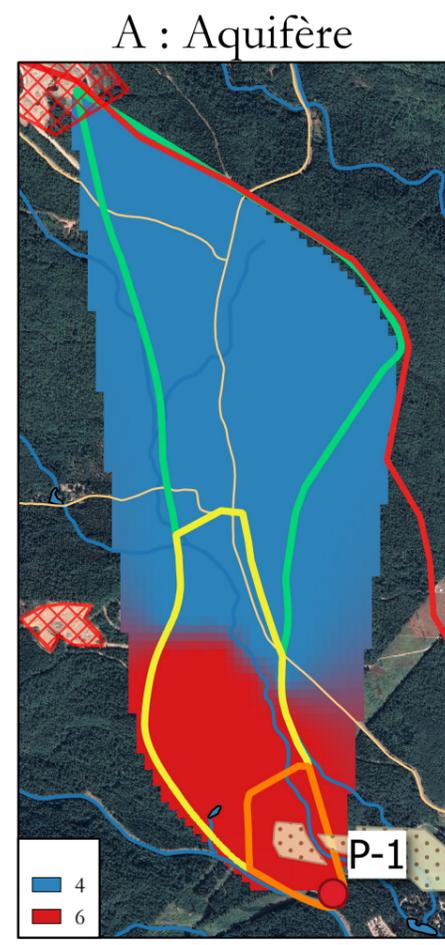
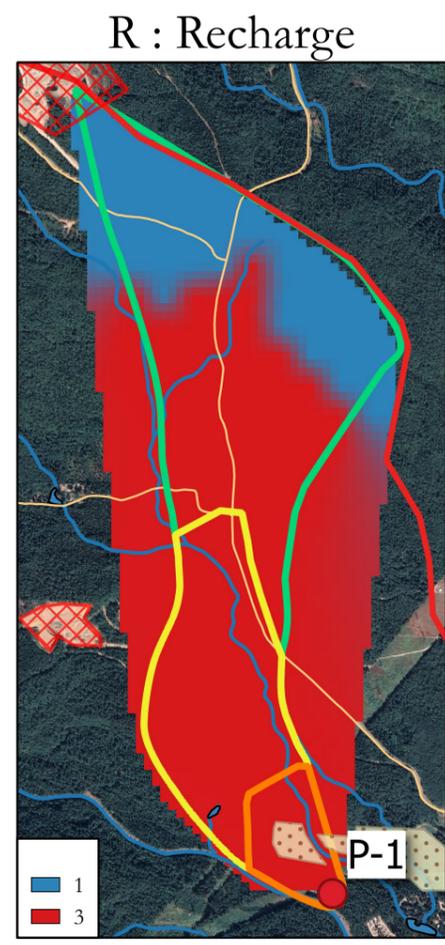
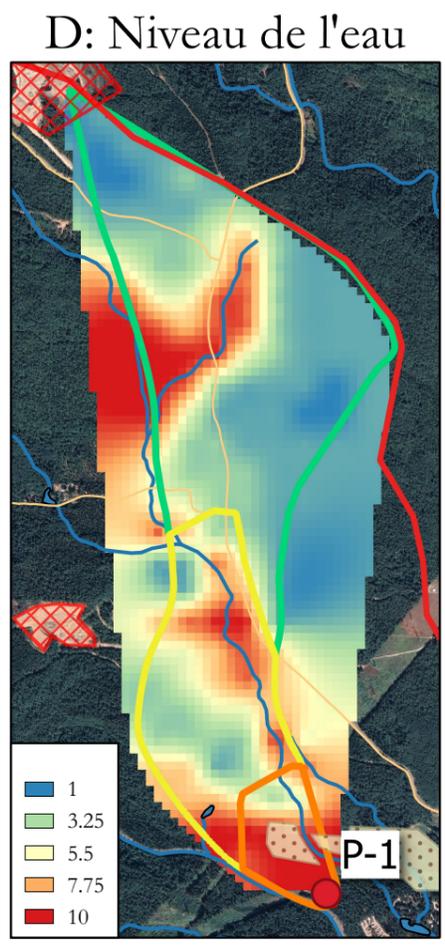
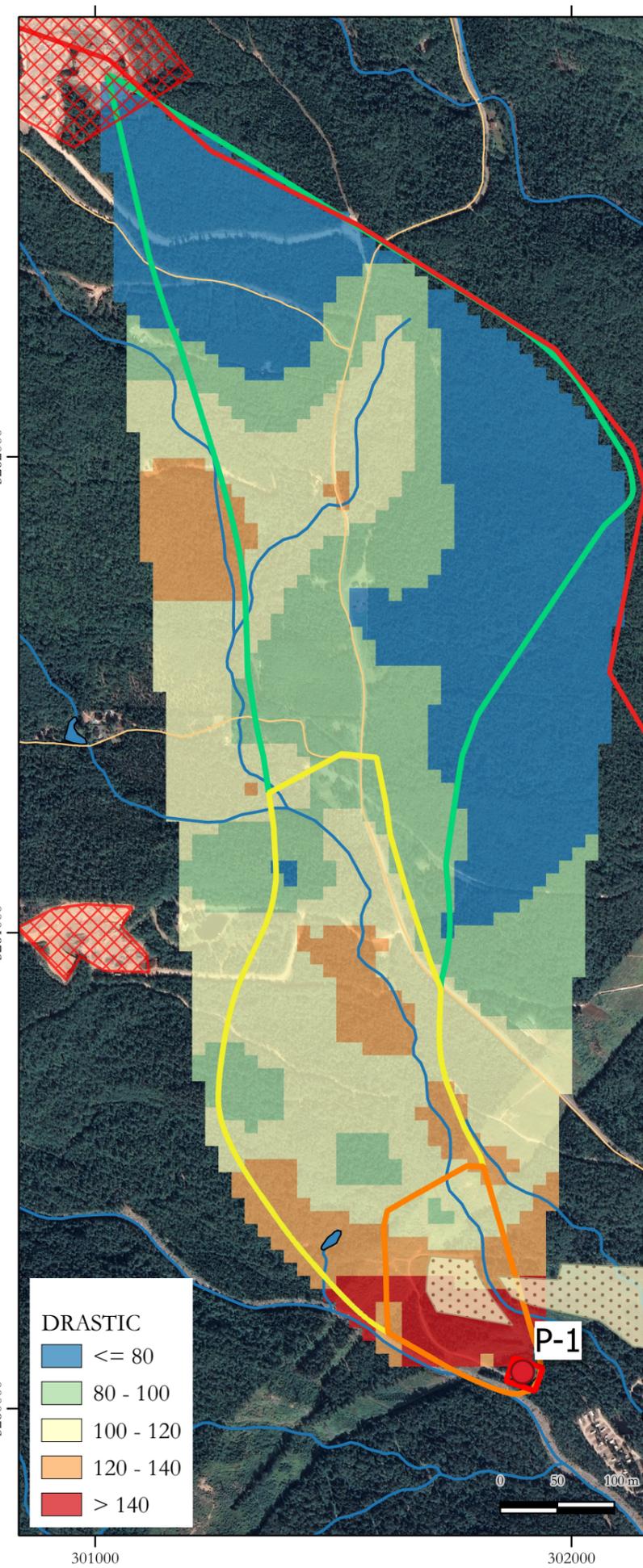
#### Activités anthropique

- Champ agricole
- Sablière

\* Pour le paramètre "nature de la zone vadose (I)" une cote de 6 a été appliquée à l'ensemble du territoire

**Client :**

**Date :** 30 décembre 2020    **# Projet :** P-1901-01  
**Préparé par :** Simon Huard géo. hydrogéologue    **Échelle :** 1:12 000 et 1:24 000  
**Source :** Google Earth    **Coordonnée :** NAD 83 MTM 7



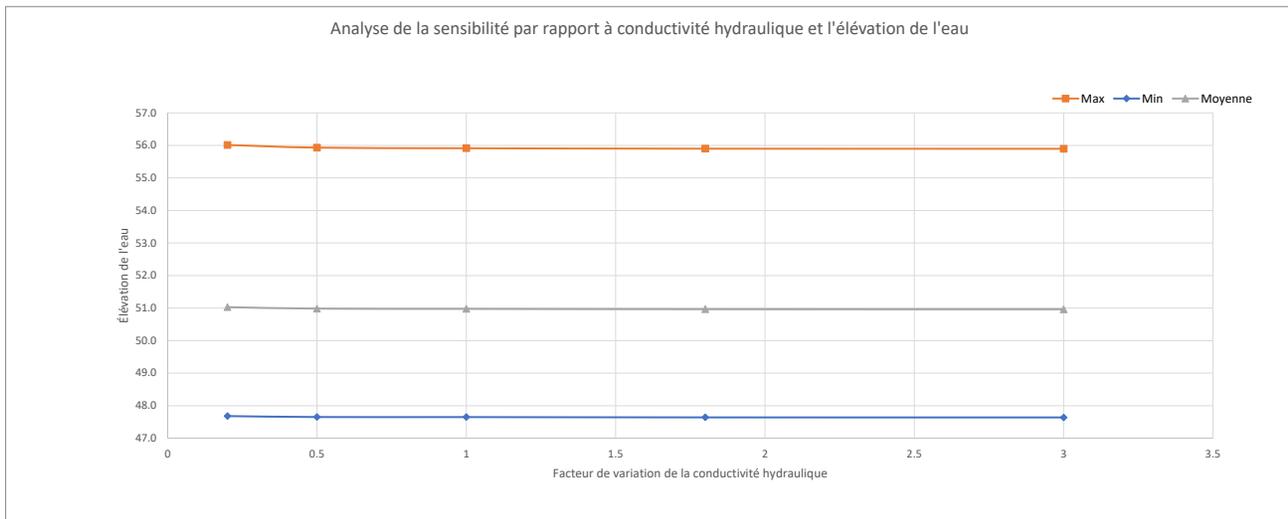
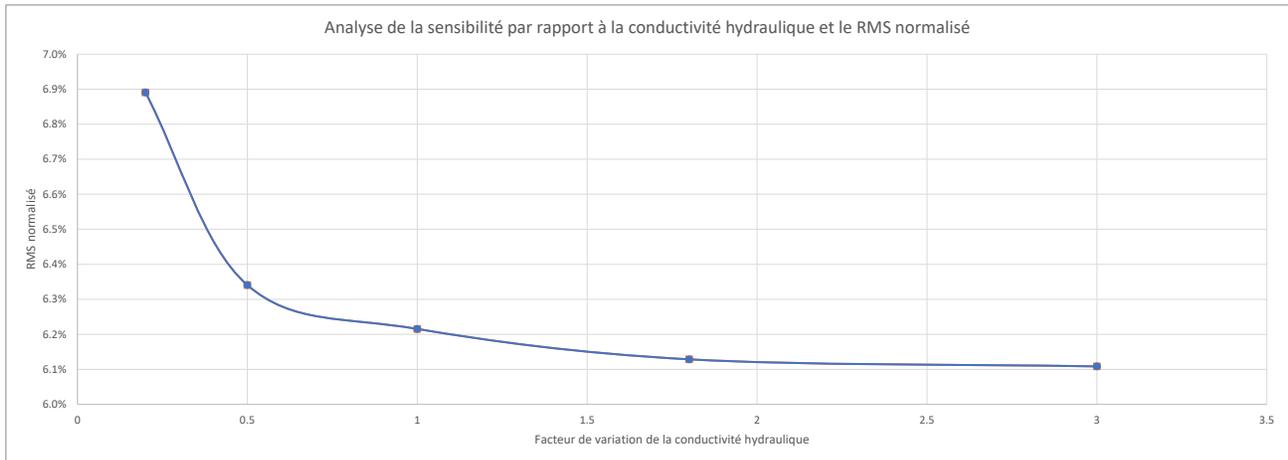
# Annexe 7

## Analyse de sensibilité

# Analyse de sensibilité avec la conductivité hydraulique

Analyse de sensibilité				facteur	paramètre	facteur	paramètre	facteur	paramètre	facteur	paramètre
				0.2	Kxyz	0.5	Kxyz	1.8	Kxyz	3	Kxyz
	Mesuré	Calcul 1	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel
puits											
BSP-4 bas	52.97	53.79	0.82	53.86	0.89	53.80	0.83	53.78	0.81	53.77	0.80
P-2	52.69	53.03	-0.34	53.09	0.40	53.04	0.35	53.02	0.33	53.02	0.33
PE-1	47.81	47.74	-0.07	47.77	-0.04	47.74	-0.07	47.73	-0.08	47.72	-0.09
PP-1	47.91	47.73	-0.18	47.77	-0.14	47.74	-0.17	47.73	-0.18	47.72	-0.19
P-1	47.75	47.65	-0.10	47.68	-0.07	47.65	-0.10	47.64	-0.11	47.64	-0.11
BSP-5	55.23	55.91	0.68	56.01	0.78	55.93	0.70	55.90	0.67	55.90	0.67
RMS		0.46		0.52		0.47		0.46		0.46	
Variation NE		7.48		7.48		7.48		7.48		7.48	
RMS normalisé		6.2%		6.9%		6.3%		6.1%		6.1%	
maximum		55.9		56.0		55.9		55.9		55.9	
Minimum		47.6		47.7		47.7		47.6		47.6	
moyenne		51.0		51.0		51.0		51.0		51.0	
Écart		8.3		8.3		8.3		8.3		8.3	

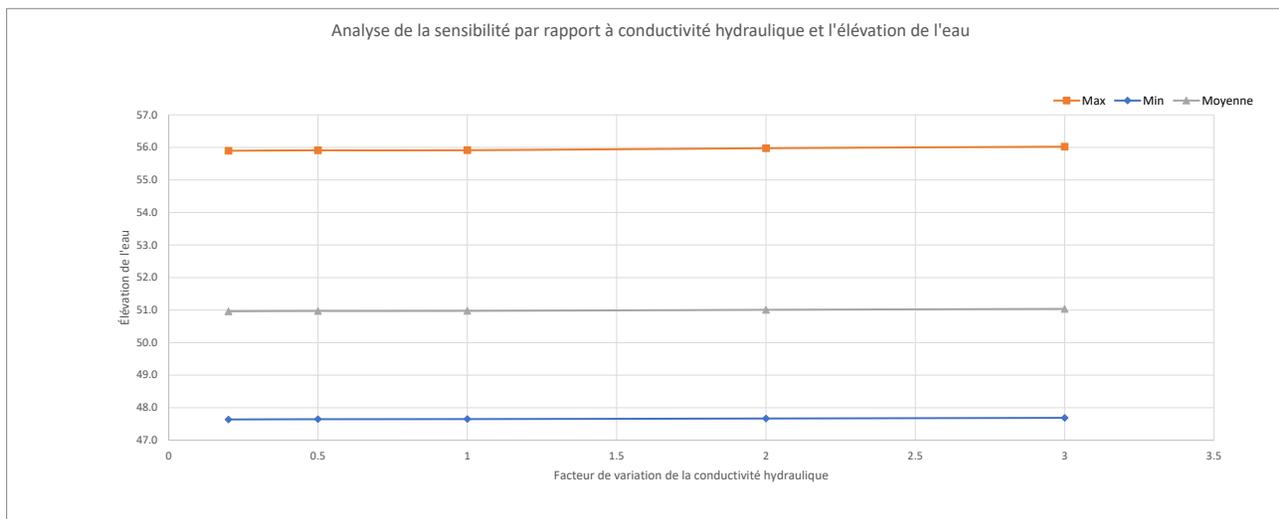
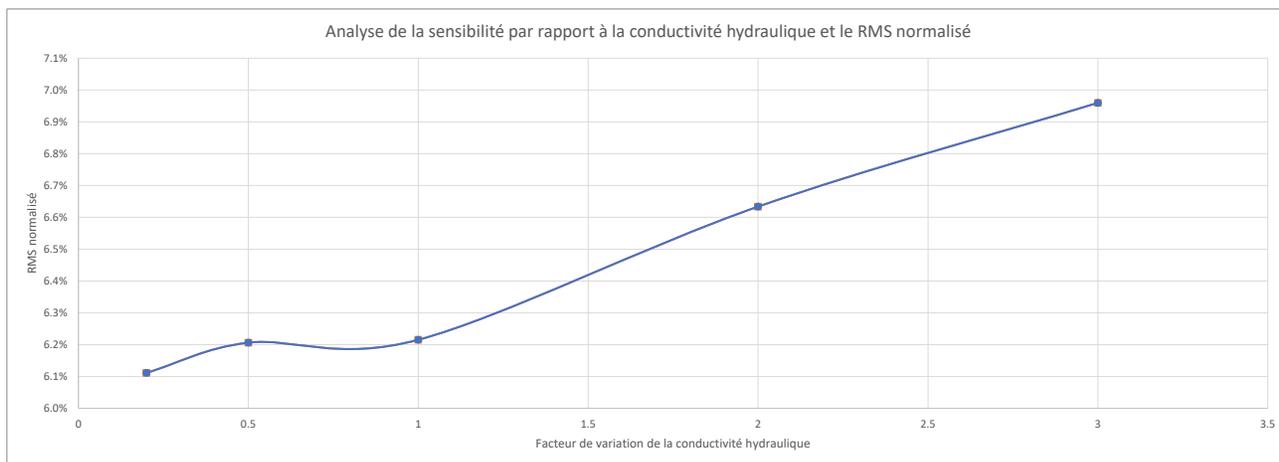
facteur	RMSN	Max	Min	Moyenne
0.2	6.9%	56.0	47.7	51.0
0.5	6.3%	55.9	47.7	51.0
1	6.2%	55.9	47.6	51.0
1.8	6.1%	55.9	47.6	51.0
3	6.1%	55.9	47.6	51.0



# Analyse de sensibilité avec la recharge

Analyse de sensibilité	facteur			paramètre			facteur			paramètre		
	actuel	0.2	Recharge	0.5	Recharge	2	Recharge	3	Recharge			
puits	Mesuré	Calcul 1	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel	Calculé	Résiduel	
BSP-4 bas	52.97	53.79	0.82	53.77	0.80	53.79	0.82	53.83	0.86	53.87	0.90	
P-2	52.69	53.03	0.34	53.02	0.33	53.03	0.34	53.07	0.38	53.10	0.41	
PE-1	47.81	47.74	-0.07	47.72	-0.09	47.73	-0.08	47.75	-0.06	47.77	-0.04	
PP-1	47.91	47.73	-0.18	47.72	-0.19	47.73	-0.18	47.75	-0.16	47.77	-0.14	
P-1	47.75	47.65	-0.10	47.64	-0.11	47.65	-0.10	47.67	-0.08	47.69	-0.06	
BSP-5	55.23	55.91	0.68	55.90	0.67	55.91	0.68	55.98	0.75	56.02	0.79	
RMS		0.46		0.46		0.46		0.50		0.52		
Variation NE		7.48		7.48		7.48		7.48		7.48		
RMS normalisé		6.2%		6.1%		6.2%		6.6%		7.0%		
maximum		55.9		55.9		55.9		56.0		56.0		
Minimum		47.6		47.6		47.6		47.7		47.7		
moyenne		51.0		51.0		51.0		51.0		51.0		
Écart		8.3		8.3		8.3		8.3		8.3		

facteur	RMSN	Max	Min	Moyenne
0.2	6.1%	55.9	47.6	51.0
0.5	6.2%	55.9	47.6	51.0
1	6.2%	55.9	47.6	51.0
2	6.6%	56.0	47.7	51.0
3	7.0%	56.0	47.7	51.0



# SECTION 2

Renseignement mentionné aux paragraphes 4, 5 et 6 de l'article 68  
réalisé par l'ORGANISME DE BASSIN VERSANT CHARLEVOIX-  
MOMONTRENCY.

# **RAPPORT D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA SOURCE POUR LES PRÉLÈVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE N° X0010830-1 ET X0010830-2**

PRÉSENTÉ À LA VILLE DE BAIE-SAINT-PAUL

1ER FEVRIER 2020

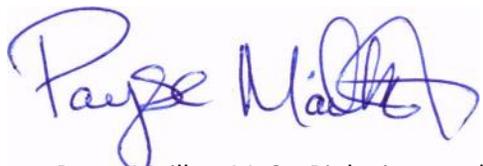


## RÉDACTION

- Jeanne Piette, M. Sc. Biologie, membre ABQ #4589  
Chargée de projets en environnement
- Yannick Desmeules, tech. Bioécologie  
Technicien en environnement
- Amélia Fortier, tech. Bioécologie  
Stagiaire

## RÉVISION

Ce rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source d'eau potable a fait l'objet d'une vérification rigoureuse. Il a été effectué selon les exigences du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) et selon la démarche présentée dans le guide de réalisation élaboré par la Direction de l'eau potable et des eaux souterraines du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. La validité des renseignements présentés dans le rapport a également fait l'objet d'une révision minutieuse.

A handwritten signature in blue ink, reading "Payse Mailhot". The signature is fluid and cursive, with the first name "Payse" and the last name "Mailhot" clearly legible.

- Payse Mailhot M. Sc. Biologie, membre ABQ #4386  
Coordonnatrice de projets

## CITATION SUGGÉRÉE

OBV Charlevoix-Montmorency. 2021. Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source pour les prélèvements d'eau souterraine N° X0010830-1 et X0010830-2. Présenté à la Ville de Baie-Saint-Paul. 19 pages.

# TABLE DES MATIÈRES

1. Mise en contexte.....	4
2. Résultats de l’inventaire des activités anthropiques et de l’évaluation des menaces qu’elles représentent.....	4
2.1 Station de pompage .....	4
2.2 Agriculture .....	4
2.3 Foresterie.....	5
2.4 Réseau routier .....	5
2.5 Transport d’électricité à haute tension .....	6
2.6 Installations d’évacuation des eaux usées .....	6
2.7 Prélèvement d’eau .....	6
2.8 Entreposage de propane .....	8
2.9 Site d’extraction.....	8
2.10 Terrains contaminés .....	8
2.11 Tableau synthèse des activités anthropiques et des menaces associées .....	8
3. Résultats de l’inventaire des évènements potentiels et de l’évaluation des menaces qu’ils représentent.....	9
3.1 Bris d’infrastructures industrielles .....	9
3.2 Accident routier .....	9
3.3 Inondation .....	9
3.4 Tableau synthèse des évènements potentiels et des menaces associées.....	10
4. Résultats de l’inventaire des affectations du territoire.....	11
4.1 Agricole viable .....	11
4.2 Forestière.....	11
4.3 Commerciale récréotouristique .....	12
5. Identification des problèmes avérés et de leurs causes probables.....	14
6. Information manquante.....	14
Références.....	15
Annexe 1.....	17

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Activités répertoriées dans les aires de protection du puits à l'étude (Gouvernement du Québec, 2010 et 2020; MRC de Charlevoix, 2020; OBV-CM, 2021; Bing, 2021).....	7
Figure 2. Affectations du territoire dans les aires de protection du puits à l'étude (MRC de Charlevoix, 2020; Bing, 2021).....	13

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Activités anthropiques et potentiel de risque associé dans les aires de protection du puits à l'étude.....	8
Tableau 2. Évènements potentiels et potentiel de risque associé dans les aires de protection du puits à l'étude.....	10

# 1. MISE EN CONTEXTE

Le présent document constitue la deuxième section du rapport de l'analyse de vulnérabilité de la source pour les prélèvements d'eau souterraine n° X0010830-1 et X0010830-2. La première section du rapport a été produite par l'entreprise Ogéo enr. de Sainte-Brigitte-de-Laval. Ogéo avait comme mandat de réaliser la description des installations, des aires de protection et de la vulnérabilité.

Cette seconde section, produite par l'Organisme de bassins versants Charlevoix-Montmorency, contient l'inventaire des activités, des événements potentiels et des affectations du territoire, l'évaluation des menaces qui y sont associées ainsi que l'identification des causes probables des problèmes avérés. La structure et nomenclature du présent rapport proviennent du guide de réalisation élaboré par la Direction de l'eau potable et des eaux souterraines du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques qui indique précisément la marche à suivre pour réaliser l'étude de vulnérabilité d'un point de prélèvement d'eau souterraine.

## 2. RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES ET DE L'ÉVALUATION DES MENACES QU'ELLES REPRÉSENTENT

L'OBV-CM a réalisé un inventaire non exhaustif des activités anthropiques à risque dans les aires de protection de la prise d'eau potable de la Ville de Baie-Saint-Paul. Il s'est basé sur l'analyse de photos aériennes ainsi que sur des communications avec les responsables municipaux concernés ainsi qu'avec les propriétaires des entreprises dont la liste est présentée en annexe 1. Il n'a cependant pas été possible de rejoindre certains propriétaires. Il est donc important de noter que certains renseignements peuvent manquer à l'inventaire, dont les principaux sont identifiés à la section 6 de ce document.

### 2.1 STATION DE POMPAGE

La station de pompage associée au puits à l'étude est située dans l'aire de protection immédiate. Cette infrastructure comprend un réservoir d'huile servant à faire fonctionner la pompe. On retrouve à cet endroit un réservoir d'huile d'une capacité inconnue. Des mesures de rétention dont les détails ne sont pas connus sont mises en place. Étant donné que ce réservoir est entretenu par le gestionnaire du puits à l'étude et sujet à des normes d'entretien strictes, il est peu probable que sa présence ait un impact sur la qualité de l'eau prélevée par la Ville.

### 2.2 AGRICULTURE

Une portion des terres de la ferme La Rémy S.E.N.C. est située dans les aires de protection intermédiaires du puits à l'étude (figure 1). Cette portion, d'une superficie cultivée de 0,058 km<sup>2</sup>, est vouée aux grandes

cultures sous régie biologique. Dans les dernières années, on y a entre autres cultivé du chanvre et des céréales. On y épand du fumier solide et du fumier liquide.

Les activités agricoles comportent plusieurs sources possibles de contamination. L'épandage de fumier dans les champs de l'aire de protection intermédiaire peut engendrer une contamination bactériologique et virologiques et des apports en nutriments, dont les nitrites et nitrates, qui sont toxiques pour les humains s'ils se trouvent en trop grande concentration dans l'eau de consommation (Gouvernement du Québec, 2016).

Même si une terre agricole est cultivée sous régie biologique, un producteur est susceptible d'y épandre des substances toxiques pour la santé humaine (Scientifique en chef du Québec, 2019). En effet, la culture biologique interdit seulement l'usage des pesticides synthétiques. Un agriculteur dont la ferme est certifiée biologique peut toutefois avoir recours aux pesticides naturels et doit suivre des cahiers de charge afin de réduire les risques de leurs activités sur la santé et l'environnement. Plusieurs pesticides naturels peuvent être toxiques pour le consommateur s'ils sont présents en trop grande quantité.

## 2.3 FORESTERIE

On ne retrouve aucun secteur voué à l'exploitation forestière dans les aires de protection du puits à l'étude (MRC de Charlevoix, 2020). Cependant, il est possible que quelques propriétaires, entre autres des producteurs agricoles, prélèvent des volumes de bois en-deçà du minimum requérant l'obtention d'un permis. Un tel volume d'exploitation forestière n'a vraisemblablement pas d'impact notable sur le fonctionnement de la prise d'eau potable de la Ville.

## 2.4 RÉSEAU ROUTIER

Des petites routes municipales et des chemins privés où les véhicules circulent à faible vitesse sont présents dans les aires de protection intermédiaires et dans l'air de protection éloignée (figure 1). On en compte environ 0,57 km dans l'aire de protection intermédiaire bactériologique, 1,60 km dans l'aire de protection intermédiaire virologique et 2,68 km dans l'aire de protection éloignée. La présence de ces routes pourrait avoir un impact sur la qualité de l'eau prélevée par la Ville, entre autres en raison de l'épandage de sels de déglacage.

L'épandage de sel et la circulation de camions de marchandises et autres poids lourds sur ces routes principales pourrait avoir des impacts importants pour la qualité de l'eau souterraine. Les ministères responsables de l'environnement et des affaires municipales (Gouvernement du Québec, 2014) ont répertorié les contaminants et les impacts des eaux pluviales et de la neige usée en lien avec le réseau routier. Selon Environnement Canada (2012), ce serait l'entretien routier lié au déglacage en période hivernale qui aurait le plus d'impact sur l'eau potable et le milieu hydrique. En effet, le chlore et le sodium contenu dans le sel de déglacage contribueraient à dégrader la qualité de l'eau potable. Toujours selon Environnement Canada, des études ont démontré que jusqu'à 50% du sel de déglacage appliqué sur les routes se retrouve dans l'eau souterraine. En outre, l'épandage de sels de déglacage serait responsable

de la contamination de plusieurs aquifères (Charbonneau, 2006) et de 20% des puits situés à proximité des routes (Environnement Canada, 2012).

Afin de protéger le milieu naturel et l'eau potable, la réduction de l'usage du sel de déglacage dans les zones sensibles est souhaitable. Pour ce faire, l'ajout d'abrasif comme le sable est une option intéressante. En effet, l'utilisation d'abrasif permet de réduire les impacts du sel sur l'environnement (Lacasse *et al.*, 2014). Toutefois, l'usage excessif d'abrasif peut avoir un impact sur le taux de matières en suspension dans les cours d'eau (Robitaille, 2011), nuire à la fraie de l'omble de fontaine et au traitement de l'eau potable prélevée dans les eaux de surface. Il est intéressant de mentionner que la végétation de bords de route contribue grandement à réduire les effets négatifs de l'épandage de sels de déglacage et que sa capacité de mitiger les effets du sel est proportionnelle à son intégrité (Siegel, 2007).

## 2.5 TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ À HAUTE TENSION

Les aires de protection intermédiaires bactériologique et virologique du puits à l'étude sont traversées par des lignes de transport électrique à haute tension d'Hydro-Québec sur une longueur d'environ 600 m (figure 1). Afin d'assurer leur bon fonctionnement et d'assurer la sécurité publique, Hydro-Québec a développé un système de gestion intégrée de la végétation dans les emprises électriques (Hydro-Québec, 2013). Ce système comprend entre autres la plantation d'arbustes, la fauche et l'utilisation de phytocides. Ces phytocides sont administrés par injection, par application basale ou par pulvérisation. La méthode de pulvérisation à fort débit sur le feuillage et les tiges et particulièrement utilisée. L'utilisation de phytocides sous les lignes électriques peut apporter des substances organiques et chimiques dans l'eau souterraine et affecter la qualité de l'eau prélevée par la Ville de Baie-Saint-Paul (Safewater, 2021). Les méthodes de contrôle de la végétation utilisées dans le secteur spécifique visé par la présente étude ne sont cependant pas connues.

## 2.6 INSTALLATIONS D'ÉVACUATION DES EAUX USÉES

Aucun site d'évacuation des eaux usées appartenant à une organisation municipale ou privée n'est présent dans les aires de protection du puits à l'étude. Il est cependant possible que des installations septiques desservent les résidences privées qui ne sont pas desservies par les égouts de la Municipalité. Leur nombre et leur état ne sont pas connus.

## 2.7 PRÉLÈVEMENT D'EAU

Aucun site de prélèvement d'eau appartenant à une organisation municipale ou privée n'est présent dans les aires de protection du puits à l'étude. Il est cependant possible qu'un nombre inconnu de puits privés alimentent les résidences qui ne sont pas desservies par l'aqueduc de la Municipalité.

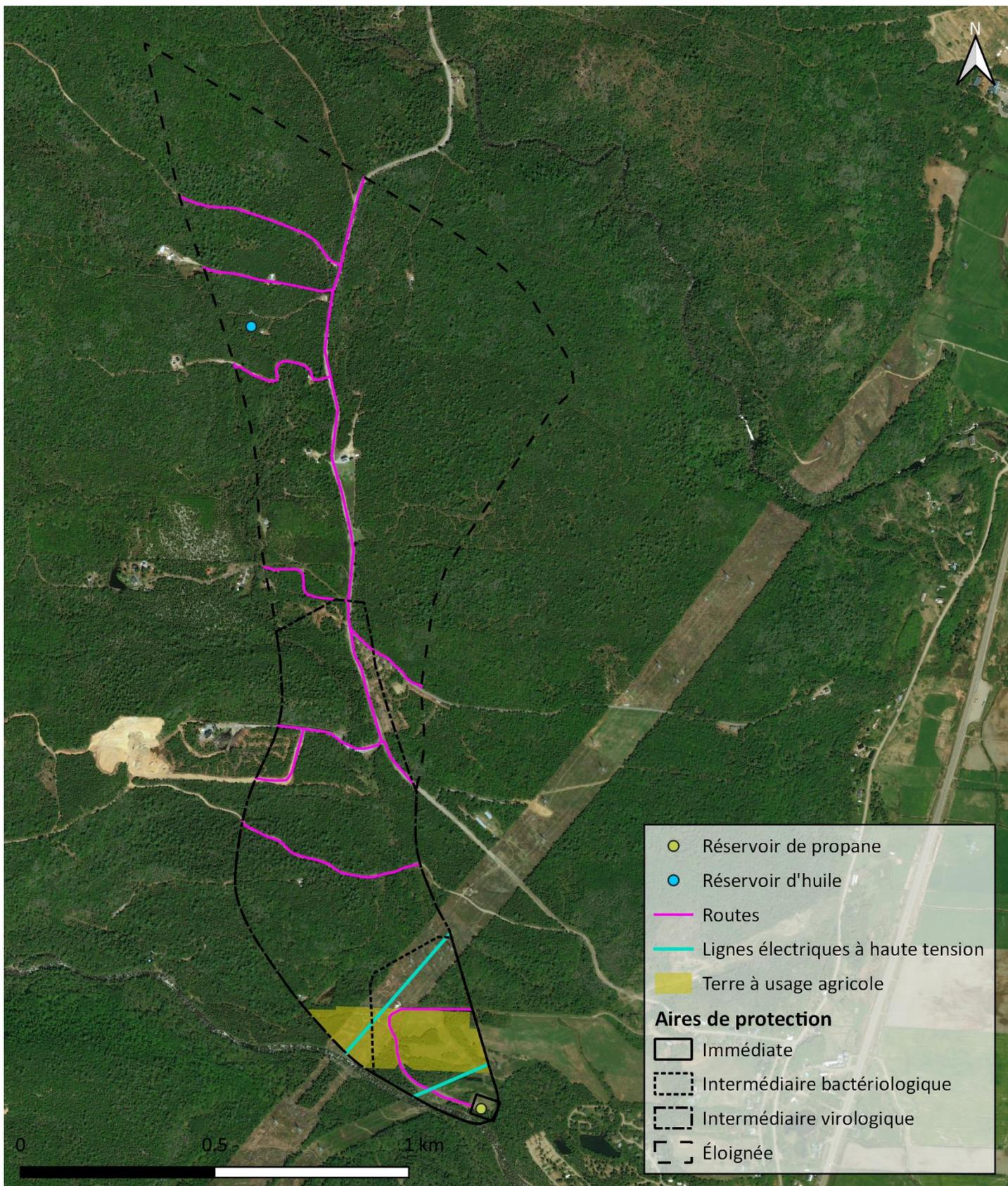


Figure 1. Activités répertoriées dans les aires de protection du puits à l'étude (Gouvernement du Québec, 2010 et 2020; MRC de Charlevoix, 2020; OBV-CM, 2021; Bing, 2021).

## 2.8 ENTREPOSAGE DE PROPANE

Une propriétaire de résidence privée située dans l'aire de protection éloignée, Danielle Gauthier, dispose d'un réservoir de 100 lbs de propane. Aucune mesure de rétention n'est en place. Cela dit, les déversements de propane ont peu d'impact sur l'environnement. En effet, lors d'une fuite, le propane se transforme en vapeur et se dissipe facilement dans l'atmosphère (Association canadienne du propane, 2012). Il ne coule donc pas sur le sol comme le ferait un liquide. Le réservoir ne risque ainsi pas d'avoir un impact sur la qualité de l'eau prélevée par la Ville de Baie-Saint-Paul, particulièrement considérant son faible volume et la distance le séparant du puits.

## 2.9 SITE D'EXTRACTION

Les chemins d'accès menant une sablière et une carrière appartenant à la compagnie Construction MP sont situés dans l'aire de protection intermédiaire virologique de la prise d'eau à l'étude. Les sites d'extraction comme tels sont cependant situés à l'extérieur des aires de protection et ne posent donc pas de risques pour la qualité de l'eau prélevée par la Ville.

## 2.10 TERRAINS CONTAMINÉS

Aucun terrain contaminé n'est présent dans les aires de protection du puits à l'étude.

## 2.11 TABLEAU SYNTHÈSE DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES ET DES MENACES ASSOCIÉES

Le tableau 1 présente une synthèse des activités anthropiques inventoriées dans les aires de protection du puits à l'étude et du potentiel de risque qui y est associé. Il est à noter que l'aire de protection indiquée correspond à celle dans laquelle chaque activité anthropique a l'impact le plus important. Toutes les activités analysées ont été incluses dans ce tableau, même qui, après évaluation, ne présentent pas de risque pour le puits. Ces dernières sont accompagnées de la mention « N/A ».

**Tableau 1. Activités anthropiques et potentiel de risque associé dans les aires de protection du puits à l'étude.**

Activité anthropique	Aire de protection	Contaminant ou groupe de contaminants considéré	Potentiel de risque obtenu
Station de pompage	Immédiate	Hydrocarbures	Très faible
Agriculture	Intermédiaire bactériologique	Microorganismes, substances organiques	Très faible
Foresterie	Intermédiaire bactériologique	N/A	N/A
Réseau routier	Intermédiaire bactériologique	N/A	N/A

Transport d'électricité à haute tension	Intermédiaire bactériologique	Hydrocarbures, phytocides	Très faible
Installations d'évacuation des eaux usées	Intermédiaire virologique, éloignée	Microorganismes	Très faible
Prélèvement d'eau	Intermédiaire virologique, éloignée	N/A	N/A
Entreposage de propane	Éloignée	N/A	N/A
Site d'extraction	Éloignée	N/A	N/A
Terrains contaminés	N/A	N/A	N/A

### 3. RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DES ÉVÈNEMENTS POTENTIELS ET DE L'ÉVALUATION DES MENACES QU'ILS REPRÉSENTENT

#### 3.1 BRIS D'INFRASTRUCTURES INDUSTRIELLES

Le seul réservoir d'hydrocarbures situé dans les aires de protection immédiate ou intermédiaire est le réservoir d'huile nécessaire au fonctionnement de la prise d'eau potable à l'étude. Ce dernier est doté d'un système adéquat pour prévenir les déversements et confiner les fuites. De plus, la quasi-totalité d'entre eux sont entreposés dans l'aire de protection éloignée. Les risques éventuels de contamination du puits sont donc très faibles. Il demeure cependant opportun d'effectuer une vérification régulière de l'état du réservoir.

#### 3.2 ACCIDENT ROUTIER

Certaines routes municipales et privées traversent les aires de protection immédiate et intermédiaire. Un accident qui surviendrait à proximité du puits pourrait engendrer un déversement d'hydrocarbures difficilement récupérables et pourrait poser un risque de contamination des eaux souterraines s'il n'est pas contenu. Un véhicule pourrait également déverser toute substance dangereuse qu'il transporte. Les routes traversant les aires de protection du puits à l'étude ont des limites de vitesse relativement basses et sont peu fréquentées. On y retrouve cependant des camions qui circulent vers la carrière et la sablière appartenant à la compagnie Construction MP. Cette compagnie possède un réservoir d'hydrocarbures dont le transport se fait en passant par une route comprise dans l'aire de protection intermédiaire virologique.

#### 3.3 INONDATION

Bien que la prise d'eau soit située près de la rivière des Mares, il n'y a pas de risque d'inondation connu dans ce secteur.

### 3.4 TABLEAU SYNTHÈSE DES ÉVÈNEMENTS POTENTIELS ET DES MENACES ASSOCIÉES

Le tableau 2 présente une synthèse des évènements potentiels inventoriés ainsi que du potentiel de risque qui y est associé. Il est à noter que l'aire de protection indiquée correspond à celle dans laquelle chaque évènement potentiel a l'impact le plus important.

**Tableau 2. Évènements potentiels et potentiel de risque associé dans les aires de protection du puits à l'étude.**

Évènement potentiel	Aire de protection	Contaminant ou groupe de contaminants considéré	Potentiel de risque obtenu
Bris d'infrastructures industrielles	Immédiate	Hydrocarbures	Très faible
Accident routier	Immédiate	Hydrocarbures, microorganismes, substances organiques, substances inorganiques	Très faible

## 4. RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DES AFFECTATIONS DU TERRITOIRE

Les affectations du territoire, les activités qui y sont compatibles et les risques qui y sont associés ont été inventoriées pour les quatre aires de protection du puits à l'étude (figure 2). Toutes les aires de protection sont situées dans la ville de Baie-Saint-Paul, dans la MRC de Charlevoix. L'information sur la compatibilité des activités est donc tirée du plan d'urbanisme et du schéma d'aménagement en vigueur au moment d'élaborer ce document (MRC de Charlevoix, 2012; Baie-Saint-Paul, 2020).

Trois affectations sont présentes dans les aires de protection immédiate et intermédiaire : « Agricole viable », « Forestière » et « Commerciale récréotouristique ». Les deux premières sont également présentes dans l'aire de protection éloignée.

### 4.1 AGRICOLE VIABLE

L'affectation « Agricole viable » regroupe des unités territoriales de grandes superficies dont les sols comportent certaines limitations aux pratiques agricoles. En général, ces secteurs sont majoritairement sous couvert forestier ou en friche, ce qui signifie qu'une partie de ces secteurs a pu avoir été exploitée à des fins agricoles dans le passé. On y retrouve encore aujourd'hui des parcelles sous culture, dont la portion de champ appartenant à la ferme La Rémy S.E.N.C. qui est exploitée dans l'aire de protection intermédiaire bactériologique.

Cette affectation est principalement compatible avec l'exploitation primaire, qui comprend entre autres l'agriculture et la foresterie. Le principal risque associé à cette affectation est la contamination par les hydrocarbures, microorganismes, nitrites et nitrates, substances organiques et autres produits chimiques utilisés comme fertilisants ou comme pesticides dans le cadre de production agricole ou forestière. L'usage résidentiel peut également être considéré compatible. Il ne présente pas de risque significatif pour la prise d'eau potable à l'étude.

### 4.2 FORESTIÈRE

L'affectation « Forestière » correspond à une grande partie du territoire localisée à l'extérieur du périmètre d'urbanisation et regroupe entre autres les terres privées vouées principalement à l'exploitation forestière. Dans les aires de protection du puits à l'étude, on y retrouve de la forêt inexploitée, des camps de chasse et des résidences.

Cette affectation est principalement compatible avec les usages forestiers. La foresterie présente peu de risques pour la qualité de l'eau prélevée par la Ville de Baie-Saint-Paul. L'affectation « Forestière » est également compatible avec l'agriculture et les activités d'extraction. L'agriculture peut être associée à la contamination par les hydrocarbures, microorganismes, nitrites et nitrates, substances organiques et autres produits chimiques utilisés comme fertilisants ou comme pesticides. L'extraction peut rendre les sols plus perméables et faciliter la transmission d'éventuels contaminants vers l'eau souterraine.

## 4.3 COMMERCIALE RÉCRÉOTOURISTIQUE

L'affectation « Commerciale récréotouristique » correspond à des secteurs de loisirs commerciaux, incluant le camping Le Génévrier, dont une fine bande de terre fait partie de l'aire de protection intermédiaire bactériologique du puits à l'étude.

Cette affectation est principalement compatible avec les usages de services et communautaires. Elle peut également être compatible avec les usages d'habitation, de commerce et de conservation. Le principal risque de ces usages est la présence de réservoirs d'hydrocarbures qui pourraient contaminer le puits en cas de fuite ou de bris. Ce type d'usage peut également parfois être associé avec le prélèvement d'eau potable, qui peut réduire la quantité d'eau disponible pour la prise d'eau de la Ville de Baie-Saint-Paul. Cela dit, la très faible superficie dédiée à cette affectation dans les aires de protection du puits à l'étude fait en sorte que le risque qui y est associé est très faible.

L'affectation « Commerciale récréotouristique » peut également être compatible avec les usages d'habitation, de commerce (services professionnels, d'affaire et domestiques) et de conservation. Les deux premiers ne présentent pas de risque tangible pour le puits de la Ville de Baie-Saint-Paul. L'usage de conservation peut pour sa part contribuer à la protection de la source, puisqu'il est associé avec des activités ayant un impact limité sur l'environnement.

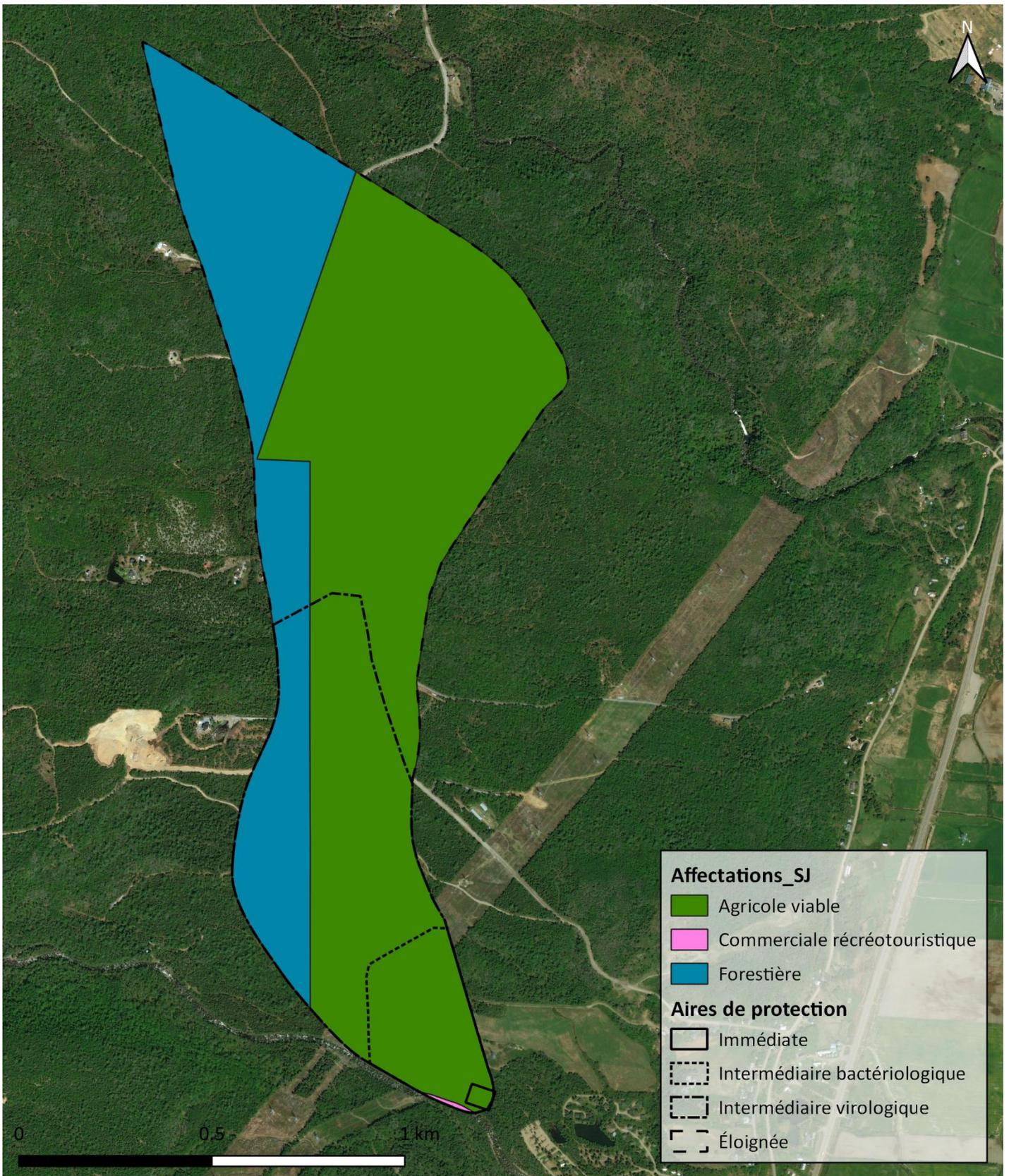


Figure 2. Affectations du territoire dans les aires de protection du puits à l'étude (MRC de Charlevoix, 2020; Bing, 2021).

## **5. IDENTIFICATION DES PROBLÈMES AVÉRÉS ET DE LEURS CAUSES PROBABLES**

Aucun problème avéré n'a été identifié pour le puits à l'étude.

## **6. INFORMATION MANQUANTE**

L'OBV-CM n'a pas été en mesure de rejoindre tous les propriétaires de terrain étant potentiellement liés à une activité anthropique présentant un risque pour le puits à l'étude. L'OBV-CM aurait souhaité savoir si ces propriétaires possèdent des réservoirs d'hydrocarbures. Cela dit, aucun propriétaire avec lequel l'OBV-CM est parvenu à communiquer n'a refusé de répondre à ses questions.

En plus de ces propriétaires, le responsable du site de prélèvement ne disposait pas des détails au sujet du volume du réservoir d'huile et des mesures de rétention mises en place à la station de pompage. L'OBV-CM n'est de plus pas parvenue à obtenir de l'information au sujet du nombre de chargements se rendant à la carrière et à la sablière chaque semaine.

# RÉFÉRENCES

- Association canadienne du propane. 2021. À propos du propane. [En ligne] <https://propane.ca/fr/avantages-environnementaux/> Consulté le 27 janvier 2021.
- Baie-Saint-Paul. 2020. Règlement du plan d'urbanisme durable. 122 pages. [En ligne] [http://www.baiesaintpaul.com/public\\_upload/files/citoyen/r629-2015-planurbanisme-mars2020.pdf?v=33400](http://www.baiesaintpaul.com/public_upload/files/citoyen/r629-2015-planurbanisme-mars2020.pdf?v=33400) Consulté le 27 janvier 2021.
- Bing. 2021. Couche géomatique d'orthophotos « Aerial ». [En ligne]. Consultée en janvier 2021.
- Environnement Canada. 2012. Five-year Review of Progress: Code of Practice for the Environmental Management of Road Salts. Environnement Canada. 84 pages. [En ligne] [https://www.ec.gc.ca/sels-salts/45D464B1-96CC-4A27-8B96-42224F3C3CD5/COM1481\\_five\\_year\\_Code\\_E-\\_v3.pdf](https://www.ec.gc.ca/sels-salts/45D464B1-96CC-4A27-8B96-42224F3C3CD5/COM1481_five_year_Code_E-_v3.pdf) Consulté en mars 2020.
- Gouvernement du Québec. 2020. Données géomatiques au sujet des lignes électriques à haute tension.
- Hydro-Québec. 2013. Maîtrise intégrée de la végétation dans les emprises. [En ligne] [https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/19\\_MaitriseIntegreeVegetation.pdf](https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/19_MaitriseIntegreeVegetation.pdf) Consulté le 31 janvier 2021.
- Lacasse, C., A. Chaussadent, F.A. D. Tarte, et V. Leroy. 2014. Étude d'impact des épandages de produits de voirie sur les milieux naturels et stratégie d'intervention durable pour la municipalité de Sainte-Anne-Des-Lacs. Université de Sherbrooke. 160 pages. [En ligne] [https://www.sadl.qc.ca/wp-content/uploads/2016/01/Rapport\\_final\\_SADL.pdf](https://www.sadl.qc.ca/wp-content/uploads/2016/01/Rapport_final_SADL.pdf) Consulté en mars 2020.
- MRC de Charlevoix. 2012. Schéma d'aménagement et de développement. [En ligne] <http://www.mrccharlevoix.ca/mrc/amenagement-du-territoire-et-urbanisme/schema-damenagement/> Consulté en janvier 2021.
- MRC de Charlevoix. 2020. Partage de documents géomatiques internes au sujet des affectations du territoire et usages du sol.
- OBV Charlevoix-Montmorency. 2020. Données géomatiques internes au sujet des routes.
- Robitaille, J-P. 2011. Les sels de voirie au Québec : Proposition d'une démarche de gestion environnementale spécifique aux zones vulnérables. Sherbrooke. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement. Université de Sherbrooke. 115 pages. [En ligne] [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2011/Robitaille\\_JP\\_\\_12-07-2011\\_.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2011/Robitaille_JP__12-07-2011_.pdf) Consulté en mars 2020.
- Safewater. 2021. Pesticides and Water Pollution. [En ligne] <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/pesticides#:~:text=Many%20pesticides%20bind%20strongly%20to%20soil%20and%20are%2C%20therefore%2C%20immobile.&text=If%20the%20pesticide%20is%20not,ground%20water%20is%20relatively%20high> Consulté le 26 janvier 2021.

Scientifique en chef du Québec. 2019. Pesticides dans l'agriculture bio : ce qu'il faut savoir. [En ligne] [http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/ddr\\_pesticides-dans-agriculture-ce-quil-faut-savoir/](http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/ddr_pesticides-dans-agriculture-ce-quil-faut-savoir/) Consulté le 31 janvier 2021.

Siegel, L. 2007. Hazard identification for human and ecological effects of sodium chloride road salt. State of New Hampshire Department of Environmental Services. Water Division, Watershed Management Bureau. 15 pages. [En ligne] <http://www.rebuildingi93.com/documents/environmental/Chloride-TMDL-Toxicological-Evaluation.pdf> Consulté en mars 2020.

# ANNEXE 1

Cette annexe présente la liste des propriétaires et des organisations avec lesquels l'OBV-CM a tenté de communiquer dans le cadre de l'inventaire des activités anthropiques dans les aires de protection du puits à l'étude. La mention « non rejoint » signifie que l'OBV-CM n'a pas été en mesure de parler avec le propriétaire ou l'organisation en quelconque, par exemple parce qu'il ne parvenait pas à trouver son numéro de téléphone ou parce que personne ne répondait au numéro désigné. Au moins trois essais ont été effectués pour chaque propriétaire ou organisation.

## **Agriculture**

- Ferme La Rémy S.E.N.C. (juin 2020)
- Sylvain Simard (juin 2020)
- Héritage Charlevoix inc. (juin 2020)

## **Foresterie et terres privées non exploitées**

- Alexandre Dufour (juillet 2020; non rejoint)
- Céline Mailloux (juillet 2020)
- Charles Ménard (juillet 2020)
- Construction MP (juillet 2020)
- Gabrielle Gravel (juillet 2020; non rejointe)
- Gaetane Fortin (juillet 2020)
- Héritage Charlevoix inc. (juin 2020)
- Investissement Chouinard inc. (juillet 2020)
- Jean-Roch Fortin (juillet 2020)
- Laiterie Charlevoix (juin 2020)
- Martial Tremblay (juillet 2020)
- Ville de Baie-Saint-Paul (juillet 2020)

## **Habitations, camps de chasse et camping**

- Alain Fortin (juillet 2020)
- Alain Simard (juillet 2020; non rejoint)
- André Groulx (juillet 2020; non rejoint)
- Antoine Simard (juillet 2020)
- Camping Le Genévrier (juillet 2020)
- Céline Gros-Louis (juillet 2020)
- Charles Ménard (juillet 2020)
- Construction MP (juillet 2020)
- Herman Gilbert (juillet 2020)
- Hubert Poinot (juillet 2020)
- Jacqueline Guay (juillet 2020; non rejointe)

- Joey Létourneau-Thivierge (juillet 2020)
- Justin Fortin (juillet 2020)
- Mario Gravel (juillet 2020; non rejoint)
- Michel Simard (juillet 2020)
- Normand Simard (juillet 2020; non rejoint)
- Pierre Alexandrovitch (juillet 2020)
- Stéphane Fortin (juillet 2020)

### **Station de pompage**

- Ville de Baie-Saint-Paul (juillet 2020)