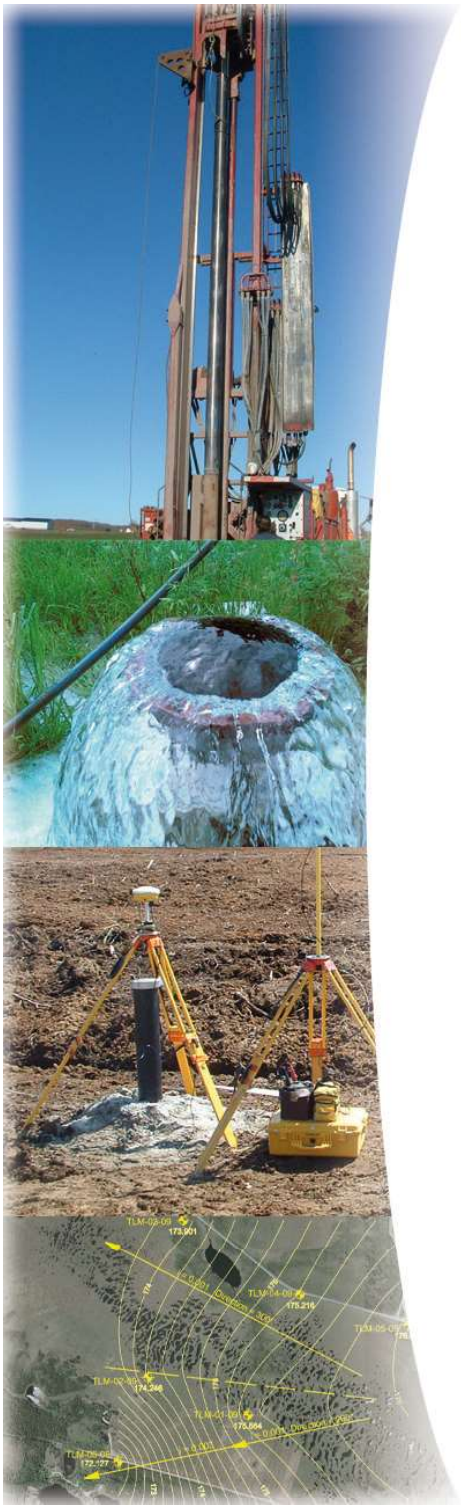


# Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source pour les points de prélèvement d'eau souterraine PE-1, PE-2, PE-3, PE-4, PE-5 et PE-6

À caractère public

Municipalité de Saint-Raphaël

*Saint-Raphaël*
*MRC de Bellechasse*

Envir'eau PUITS

*No projet: EP-2019-05*

*Décembre 2019*

# Table des matières

1 Caractérisation sommaire du secteur d'alimentation des sites de prélèvement d'eau .... 1

2 Caractérisation des sites de prélèvement d'eau .... 1

2.1 Description des sites de prélèvement .... 1

2.1.1 Description du site de prélèvement de P-1 (X00107044-004) .... 1

2.1.2 Description du site de prélèvement de P-2 (X00107044-002) .... 5

2.1.3 Description du site de prélèvement de P-3 (X00107044-005) .... 8

2.1.4 Description du site de prélèvement de P-4 (X00107044-008) .... 11

2.1.5 Description du site de prélèvement de P-5 (X2173754-001) .... 14

2.1.6 Description du site de prélèvement de P-6 (X2173754-002) .... 17

2.1.7 Description du site d'installation de production d'eau potable X00107044 .... 20

2.1.8 Description de l'installation de production d'eau potable identifiée X2173754 (330, boulevard Saint-Pierre) .... 20

2.2 Plan de localisation des aires de protection des sites de prélèvement .... 20

2.2.1 Site P-1 (X00107044-004) .... 20

2.2.2 Site P-2 (X00107044-002) .... 21

2.2.3 Site P-3 (X00107044-005) .... 21

2.2.4 Site P-4 (X00107044-008) .... 25

2.2.5 Site P-5 (X2173754-001) .... 25

2.2.6 Site P-6 (X2173754-002) .... 26

2.2.7 Modélisation des aires de protection des puits P-1 à P-6 .... 30

2.2.7.1 Conception du modèle numérique .... 31

2.2.7.2 Conditions limites .... 31

2.2.7.3 Propriétés hydrogéologiques .... 32

2.2.7.4 Recharge .... 32

2.2.7.5 Calibration du modèle numérique .... 33

2.2.7.6 Analyse de la sensibilité .... 34

2.2.7.7 Aires de protection .... 36

2.3 Niveaux de vulnérabilité des aires de protection .... 37

# 1 Caractérisation sommaire du secteur d'alimentation des sites de prélèvement d'eau

La municipalité de Saint-Raphaël utilise six sites de prélèvement d'eau souterraine tous aménagés dans une unité sablo-graveleuse couvrant une superficie d'environ 7,5 km$^2$ et apparaissant du côté ouest de la Rivière du Sud. Cette formation identifiée Mde et de forme arrondie sur la carte géologique des dépôts meubles apparaissant à l'annexe 1 fait référence à l'accumulation de dépôts essentiellement granulaires qui se sont déposés dans une dépression topographique au pied d'un cours d'eau provenant de la fonte d'un glacier lors de son retrait vers le sud.

Ces dépôts granulaires sont d'ailleurs exploités à deux sites localisés respectivement au nord-ouest (le plus importante) du périmètre urbain et à l'est de ce dernier couvrant une superficie d'exploitation totale de 0,75 km$^2$.

# 2 Caractérisation des sites de prélèvement d'eau

## 2.1 Description des sites de prélèvement

Les informations relatives à la description de chacun des sites de prélèvement proviennent des documents suivants :

- RDR Consultants, 2007, 2010
- Mission HGE Inc : 2004, 2012, 2013
- BPR Inc : 2016
- Groupe ROCHE : 2012

### 2.1.1 Description du site de prélèvement de P-1 (X00107044-004)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 1993 et est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

X : 286 556 Y : 5 184 864 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 200 mm de diamètre et de 11,9 m de profondeur p/r sol aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 1,8 m de longueur et de 1,0 mm d'ouverture installée entre 10,1 m et 11,9 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque Grundfos de 4 HP (modèle 40S50-12) de 100 mm de diamètre mise en place en 2009 à 8,73 m de profondeur p/r surface du sol et pouvant fournir 114 L/min à 60 psi. L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage (73, rang Sainte-Catherine) via une conduite d'amenée de 50 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant des autres ouvrages de captage P-2, P-3 et P-4 avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Ce point de prélèvement n'est muni d'aucune chambre de pompage

sous la crépine. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 1992, il était de 170 l/min (245 $m^3$/jour).

Ce puits a fait l'objet d'une réhabilitation en 2011.

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

**Figure 3-6 : Aménagement du puits PE-1**

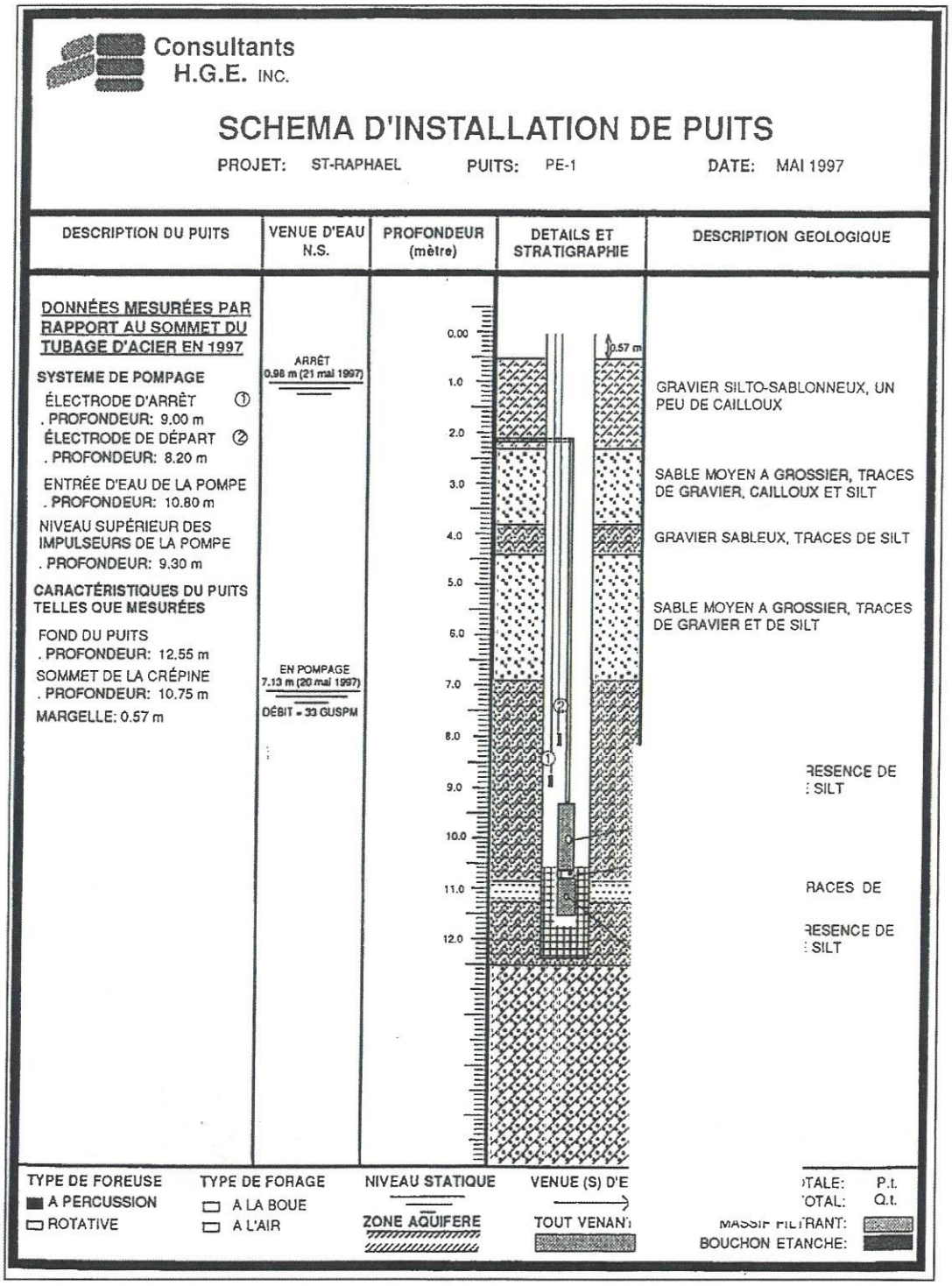



**Figure 3-9 : Schéma de construction du puits PE-1**

### 2.1.2 Description du site de prélèvement de P-2 (X00107044-002)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 1993 et est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

X : 286 576 Y : 5 184 881 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 200 mm de diamètre et de 10,15 m de profondeur p/r sol aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 0,76 mm d'ouverture installée entre 8,35 m et 10,15 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque Grundfos de 3 HP (modèle 40S30-9) de 100 mm de diamètre pouvant fournir 114 l/min à 60 psi. L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage via une conduite d'amenée de 50 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant des autres ouvrages de captage P-1, P-3 et P-4 avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Ce point de prélèvement n'est muni d'aucune chambre de pompage sous la crépine. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 1993, il était de 100 l/min (144 $m^3$/jour).

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

Ce puits a fait l'objet d'une réhabilitation en 2011.

**Figure 3-7 : Aménagement du puits PE-2**

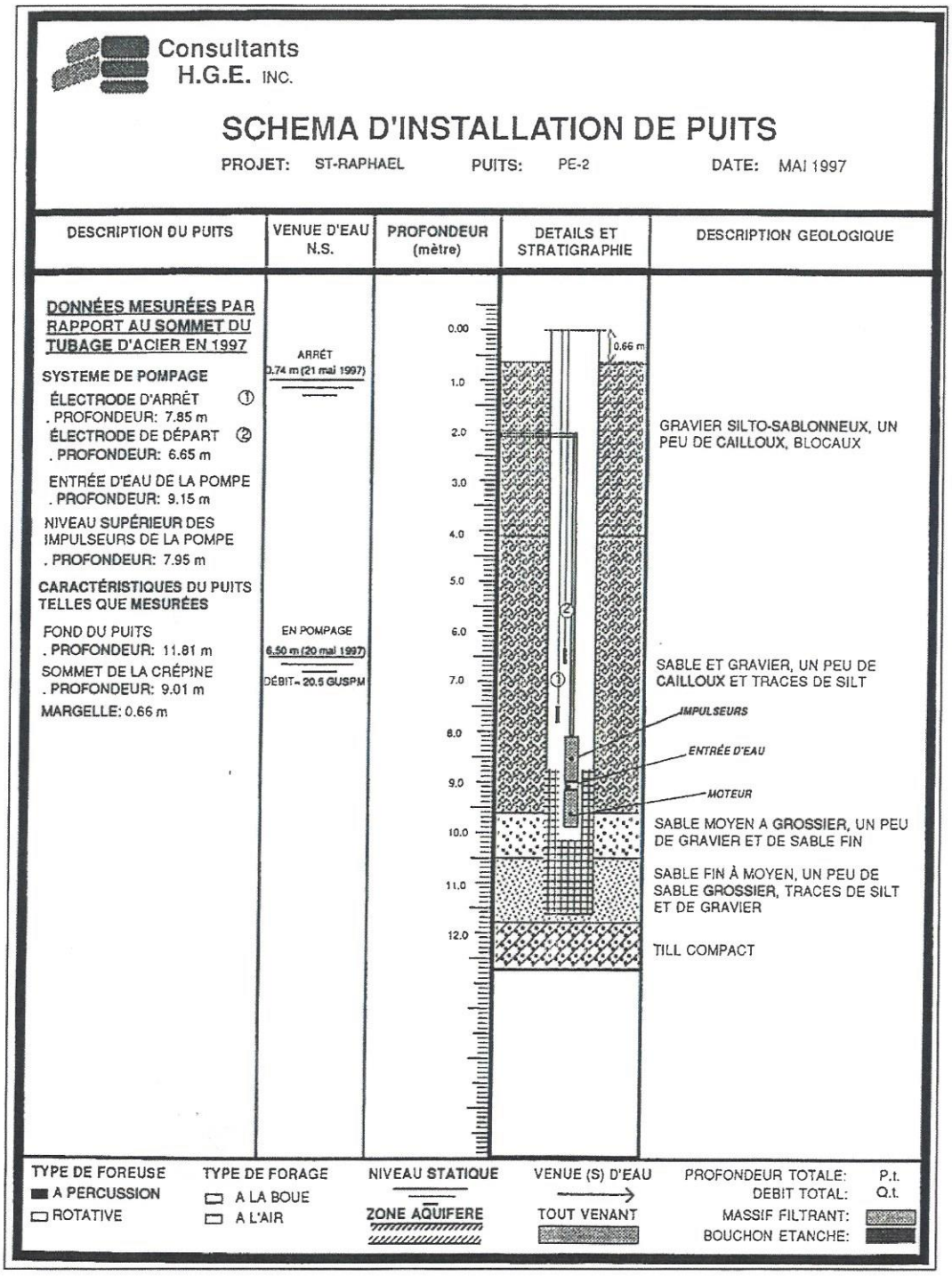



**Figure 3-10 : Schéma de construction du puits PE-2**

### 2.1.3 Description du site de prélèvement de P-3 (X00107044-005)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 1997 et est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

X : 286 546 Y : 5 184 899 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 200 mm de diamètre et de 14,15 m de profondeur p/r sol aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 1,5 m de longueur et de 0,76 mm d'ouverture installée entre 12,65 m et 14,15 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque GRUNDFOS de 5 HP (modèle SP-4). L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage via une conduite d'amenée de 50 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant des autres ouvrages de captage P-1, P-2 et P-4 avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Contrairement aux puits précédents, ce point de prélèvement est muni d'une chambre de pompage de 1,5 m de longueur sous la crépine et positionnée entre 14,15 et 15,67 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 1997, il était de 90 l/min (130 $m^3$/jour).

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

Ce puits a fait l'objet d'une réhabilitation en 2004 et en 2011.

**Figure 3-8 : Aménagement du puits PE-3**

Les figures 3-9 à 3-11 montrent les schémas de construction originaux des puits PE-1 à PE-3.

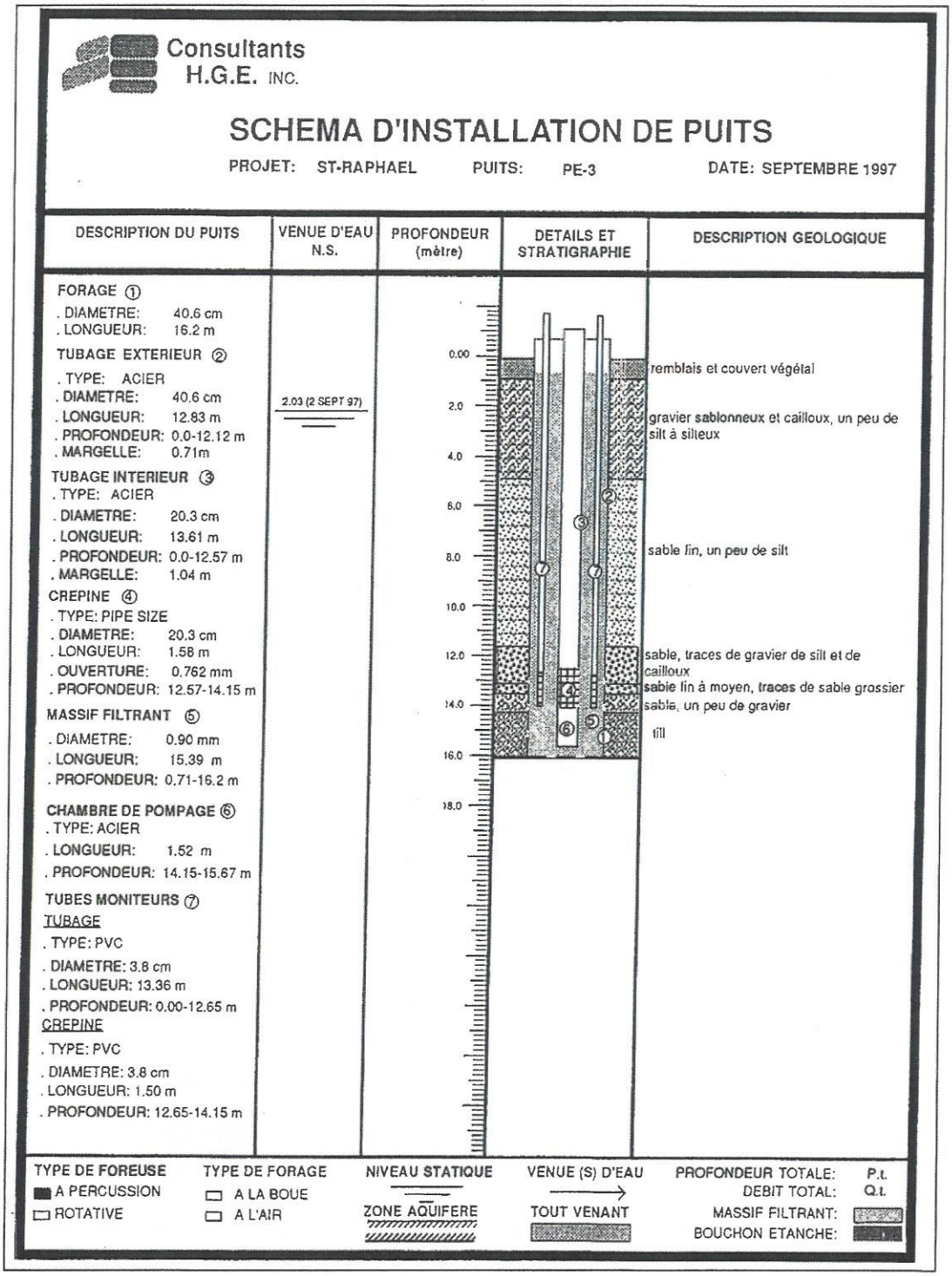



**Figure 3-11 : Schéma de construction du puits PE-3**

### 2.1.4 Description du site de prélèvement de P-4 (X00107044-008)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 2004 mais exploité depuis 2014 ; il est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

X : 286 081 Y : 5 184 331 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 200 mm de diamètre et de 11,8 m de profondeur aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 0,89 mm d'ouverture installée entre 8,7 m et 11,8 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque National Pump de 5 HP (modèle SP-4012) et de 100 mm de diamètre pouvant fournir 214 l/min. L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage via une conduite d'amenée de 100 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant des autres ouvrages de captage avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Comme pour le puits précédent, ce point de prélèvement est muni d'une chambre de pompage de 2,1 m de longueur sous la crépine et positionnée entre 11,7 et 13,8 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 2004, il était de 113 l/min (163 $m^3$/jour).

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

Ce puits a fait l'objet d'une réhabilitation en 2012.

**Figure 3-14 : Aménagement du puits PE-4**

Consultants HGE
L'eau, source de notre expertise

**RAPPORT DE FORAGE**
**PE-4**

No. DE PROJET 2133 CLIENT Municipalité de Saint-Raphaël-de-Bellechasse

ENTREPRENEUR Samson et Frères Inc. OPÉRATEUR André Samson TYPE DE MACHINERIE Percussion
SUPERVISION HGE Y. Bouffard VÉRIFICATION HGE R. Lamontagne TYPE D'AMÉNAGEMENT PUITS EXPÉRIMENTAL
COORDONNÉES GEODÉSIQUES X = 366 820. Y = 5 184 224. SYSTÈME DE COORDONNÉES UTM NAD83 ZONE 19
ÉLÉVATION DE SURFACE 100.00m ÉLÉVATION TUBAGE 100.91m RÉFÉRENCE ÉLÉVATION Arbitraire COUVERCLE CADENASSÉ: Non
DATE DÉBUT 2004-01-12 TECH. DE FORAGE SOL Percussion DIA. DE FORAGE SOL 50.8cm PROFONDEUR DU ROC N/A
DATE FIN TECH. DE FORAGE ROC DIA. DE FORAGE ROC N/A PROFONDEUR DE LA NAPPE 2.97m

**COUPE GÉOLOGIQUE**

| ÉLÉVATION (m) | PROFONDEUR (m) | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| 100.00 | 0 | SURFACE DU TERRAIN |
| | | 0.00 Remblai: sable, un peu de gravier, traces de silt, brun |
| 98.20 | 1.80 | 1.80 Sable moyen, traces de silt et gravier, brun |
| 97.00 | 3.00 | 3.00 Sable moyen à grossier, un peu de gravier, traces de silt, brun |
| 93.90 | 6.10 | 6.10 Sable fin à moyen, traces de silt, brun |
| 86.42 | 11.58 | 11.58 Sable fin, traces de silt, avec horizon silt, brun |
| 87.96 | 12.04 | 12.04 Sable silteux, traces de gravier, brun |
| 86.74 | 13.26 | 13.26 Sable silteux, brun, avec till, gris-rosé |
| 86.28 | 13.72 | 13.72 Till, gris-rosé |
| 85.83 | 14.17 | 14.17 Fin du forage |

NAPPE: 2.97m

**PUITS EXPÉRIMENTAL, SCHÉMA DE CONSTRUCTION**

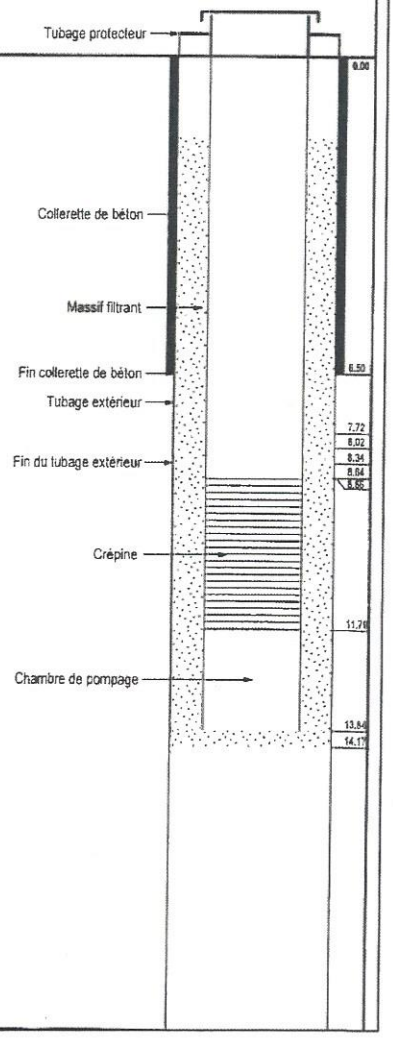
**TUBAGE PROTECTEUR**
Type: Acier
Dia. int.: 30.48cm
Longueur: 9.02m
Profondeur: 0.0 à 8.34m
Margelle: 0.68m

**TUBAGE INTÉRIEUR**
Type: Acier
Dia. int.: 20.32cm
Longueur: 9.57m
Profondeur: 0.0 à 8.66m
Margelle: 0.91m

**COLLERETTE**
Type: Ciment-bentonite
Dia. ext.: 50.8cm
Profondeur: 0 à 6.5m

**CRÉPINE**
Type: "Pipe-size"
Dia. int.: 20.32cm
Longueur: 3.13m
Profondeur: 8.66 à 11.79m
Ouverture: 35 mils (0.88mm)

**MASSIF FILTRANT**
Type: Sable de silice
Calibre: 0.90
Profondeur: 1.67 à 14.17m




RDE_HYDRO_1_2133_LOG_FORAGE.GPJ HGE-2.GDT 25-03-04

**Figure 3-16 : Schéma de construction du puits PE-4**

### 2.1.5 Description du site de prélèvement de P-5 (X2173754-001)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 2005 et est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

X : 284 401 Y : 5 185 061 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 250 mm de diamètre et de 19,86 m de profondeur aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 0,89 mm d'ouverture installée entre 15,6 m et 17,86 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque Grundfos de 15 HP (modèle 150S150-8) de 150 mm de diamètre installée en 2005. L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage (330, boulevard Saint-Pierre) via une conduite d'amenée de 50 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant de P-6 avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Comme pour P-3 et P-4, ce point de prélèvement est muni d'une chambre de pompage de 2 m de longueur sous la crépine et positionnée entre 17,8 et 19,8 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 2005, il était de 378 l/min (544 $m^3$/jour).

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

Ce puits a fait l'objet d'une réhabilitation en 2012 et en 2019.

**Figure 3-20 : Aménagement du puits PE-5**

**Figure 3-21 : Aménagement du puits PE-6**

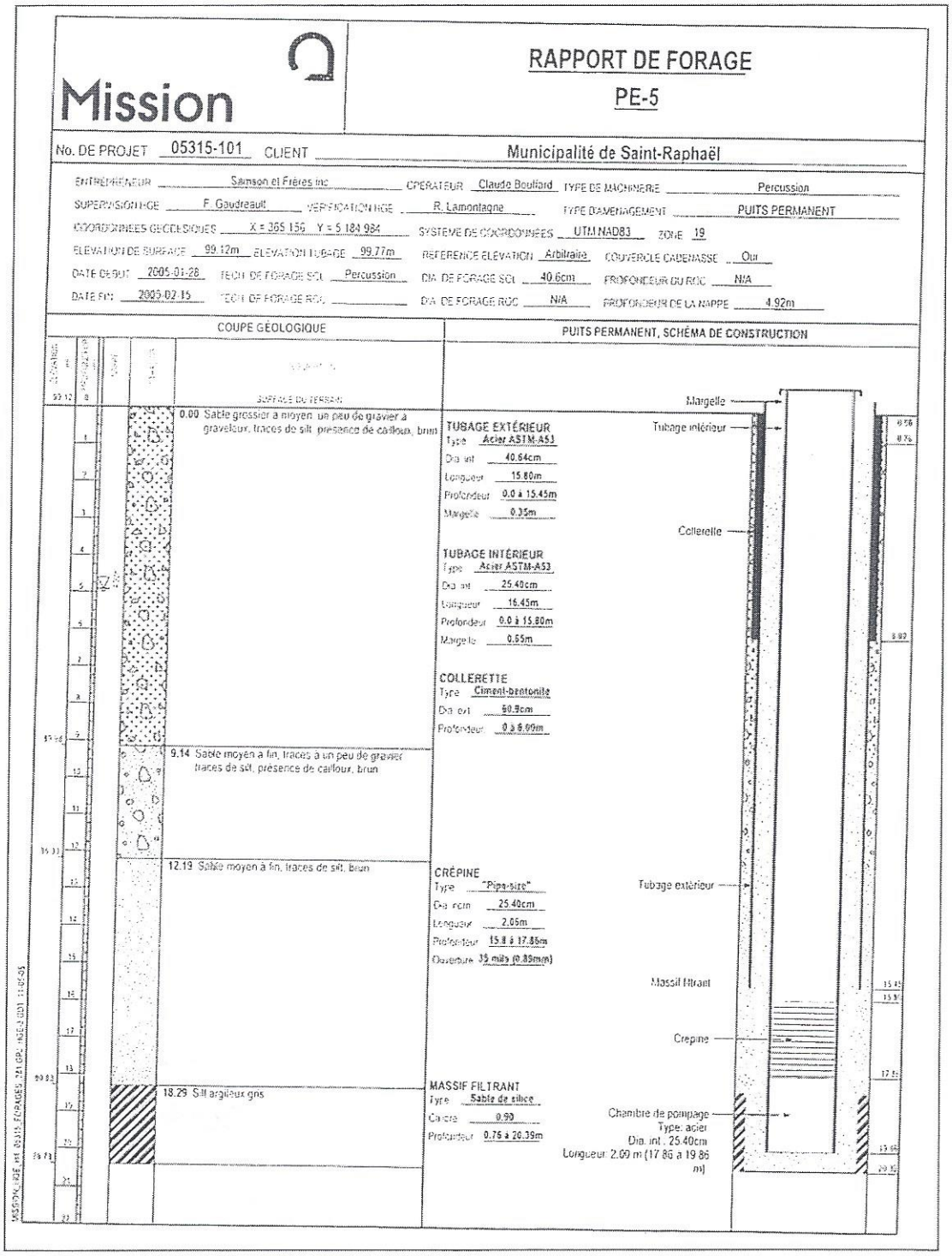



**Figure 3-22 : Schéma de construction du puits PE-5**

### 2.1.6 Description du site de prélèvement de P-6 (X2173754-002)

Cet ouvrage de captage a été aménagé en 2011 et est utilisé en permanence depuis ce temps. Sa localisation est la suivante :

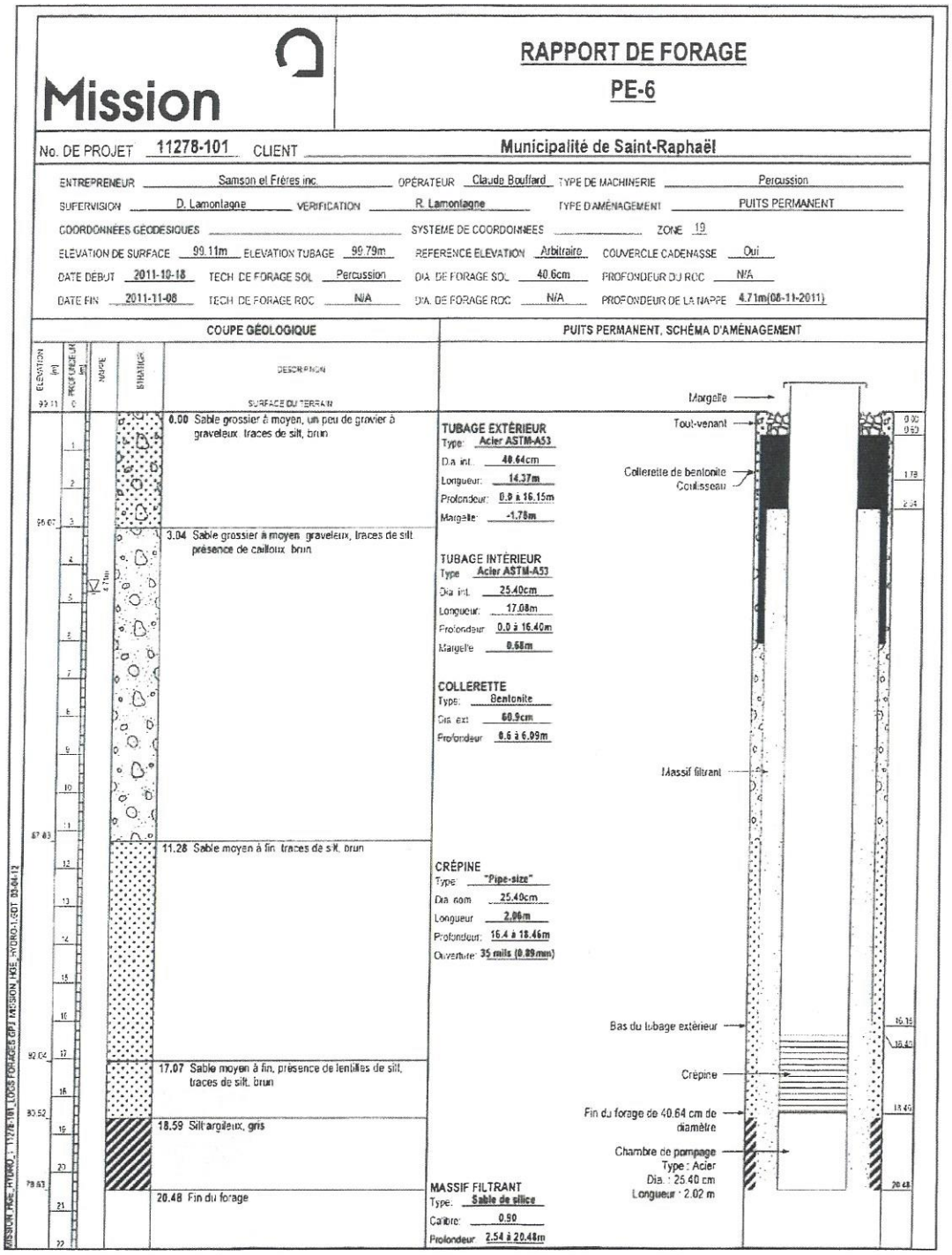
X : 284 405 Y : 5 185 065 Projection NAD 1983 MTM fuseau 7

Ce site de prélèvement d'eau souterraine est un puits tubulaire de 250 mm de diamètre et de 20,5 m de profondeur aménagé dans un horizon granulaire et muni d'une crépine de 0,89 mm d'ouverture installée entre 16,4 m et 18,4 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Présentement, cet ouvrage de captage est équipé d'une pompe de marque GRUNDFOS de 20 HP (modèle 150S200-9) de 150 mm de diamètre installée en 2012 et pouvant fournir 372 l/min à 60 psi. L'eau provenant de ce puits est dirigé vers le poste de pompage via une conduite d'amenée de 100 mm de diamètre où elle est mélangée avec l'eau provenant de P-5 avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc municipal. Comme pour P-3, P-4 et P-5, ce point de prélèvement est muni d'une chambre de pompage de 2 m de longueur sous la crépine et positionnée entre 18,4 et 20,4 m de profondeur par rapport à la surface du sol. Quant au débit recommandé à partir des résultats de l'essai de pompage en 2011, il était de 378 l/min (544 $m^3$/jour). Cependant, compte tenu de la proximité de ces deux puits, un débit combiné total de 378 l/min provenant de ces deux puits a été recommandé en 2016.

Les figures suivantes présentent l'environnement immédiat de cette installation de captage de même que sa coupe géologique et technique.

**Figure 3-20 : Aménagement du puits PE-5**

**Figure 3-21 : Aménagement du puits PE-6**



Mission

RAPPORT DE FORAGE

PE-6

No. DE PROJET 11278-101 CLIENT Municipalité de Saint-Raphaël

ENTREPRENEUR Samson et Frères inc. OPÉRATEUR Claude Bouffard TYPE DE MACHINERIE Percussion

SUPERVISION D. Lamontagne VERIFICATION R. Lamontagne TYPE D'AMÉNAGEMENT PUITS PERMANENT

COORDONNÉES GÉODÉSIQUES SYSTEME DE COORDONNÉES ZONE 19

ELEVATION DE SURFACE 99.11m ELEVATION TUBAGE 99.79m REFERENCE ELEVATION Arbitraire COUVERCLE CADENASSE Oui

DATE DÉBUT 2011-10-18 TECH. DE FORAGE SOL Percussion DIA. DE FORAGE SOL 40.6cm PROFONDEUR DU ROC N/A

DATE FIN 2011-11-08 TECH. DE FORAGE ROC N/A DIA. DE FORAGE ROC N/A PROFONDEUR DE LA NAPPE 4.71m(08-11-2011)

COUPE GÉOLOGIQUE

| ELEVATION (m) | PROF. CUMULATIVE (m) | NAPPE | STRATIGR. | DESCRIPTION |
|---|---|---|---|---|
| 99.11 | 0 | | | SURFACE DU TERRAIN |
| | | | | 0.00 Sable grossier à moyen, un peu de gravier à graveleux, traces de silt, brun |
| 96.07 | | 4.71m | | 3.04 Sable grossier à moyen, graveleux, traces de silt, présence de cailloux, brun |
| 87.83 | | | | 11.28 Sable moyen à fin, traces de silt, brun |
| 92.04 | | | | 17.07 Sable moyen à fin, présence de lentilles de silt, traces de silt, brun |
| 80.52 | | | | 18.59 Silt argileux, gris |
| 78.63 | | | | 20.48 Fin du forage |

PUITS PERMANENT, SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT

TUBAGE EXTÉRIEUR
Type: Acier ASTM-A53
Dia. int.: 40.64cm
Longueur: 14.37m
Profondeur: 0.0 à 16.15m
Margelle: -1.78m

TUBAGE INTÉRIEUR
Type: Acier ASTM-A53
Dia. int.: 25.40cm
Longueur: 17.08m
Profondeur: 0.0 à 16.40m
Margelle: 0.68m

COLLERETTE
Type: Bentonite
Dia. ext.: 60.9cm
Profondeur: 0.6 à 6.09m

CRÉPINE
Type: "Pipe-size"
Dia. nom.: 25.40cm
Longueur: 2.06m
Profondeur: 16.4 à 18.46m
Ouverture: 35 mils (0.89mm)

MASSIF FILTRANT
Type: Sable de silice
Calibre: 0.90
Profondeur: 2.54 à 20.48m



**Figure 3-23 : Schéma de construction du puits PE-6**

### 2.1.7 Description du site d'installation de production d'eau potable X00107044

Cette installation de production d'eau potable située au 73, Rang Sainte-Catherine reçoit l'eau de quatre sites de prélèvement (P-1, P-2, P-3 et P-4) et le seul traitement appliqué à l'eau provenant de ces puits est une désinfection à l'hypochlorite de sodium. Ainsi, l'eau pompée de chacun de ces puits est dirigée vers un réservoir pour y être traitée avant sa distribution.

### 2.1.8 Description de l'installation de production d'eau potable identifiée X2173754 (330, boulevard Saint-Pierre)

Cette installation de production d'eau potable située au 330 Boulevard Saint-Pierre reçoit l'eau de deux sites de prélèvement (P-5 et P-6) et le seul traitement appliqué à l'eau provenant de ces puits est une désinfection à l'hypochlorite de sodium. Ainsi, comme pour l'installation du Rang Sainte-Catherine, l'eau pompée de chacun de ces puits est dirigée vers un réservoir pour y être traitée avant sa distribution.

## 2.2 Plan de localisation des aires de protection des sites de prélèvement

Les aires de protection des sites de prélèvement ont été produites par le logiciel de numérisation ModelMuse 4.0 qui utilise le code de MODFLOW 6 et le débit considéré pour le calcul de ces aires correspond au débit de consommation moyen pour chacun de ces puits et ce, entre janvier 2013 et mars 2019. À noter que, par défaut, les aires de protection immédiate de chacun de ces sites de prélèvement correspondent à une distance de 30 m.

### 2.2.1 Site P-1 (X00107044-004)

L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 67 $m^3$/jour obtenue contrairement au débit de 187 $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par RDR Consultants en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Elle est orientée selon une direction NORD/SUD et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0272 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 2.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

- Largeur moyenne : 20 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 175 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours) : 540 m
- Aire de protection éloignée : 540 km

La figure 13 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

### 2.2.2 Site P-2 (X00107044-002)

L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 22 $m^3$/jour obtenue pour les 6 dernières années contrairement au débit de 144 (RDR) $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par RDR Consultants en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Elle est également orientée selon une direction NORD/SUD et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0267 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 2.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

- Largeur moyenne : 15 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 165 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours) : 516 m
- Aire de protection éloignée : 516 m

La figure 14 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

### 2.2.3 Site P-3 (X00107044-005)

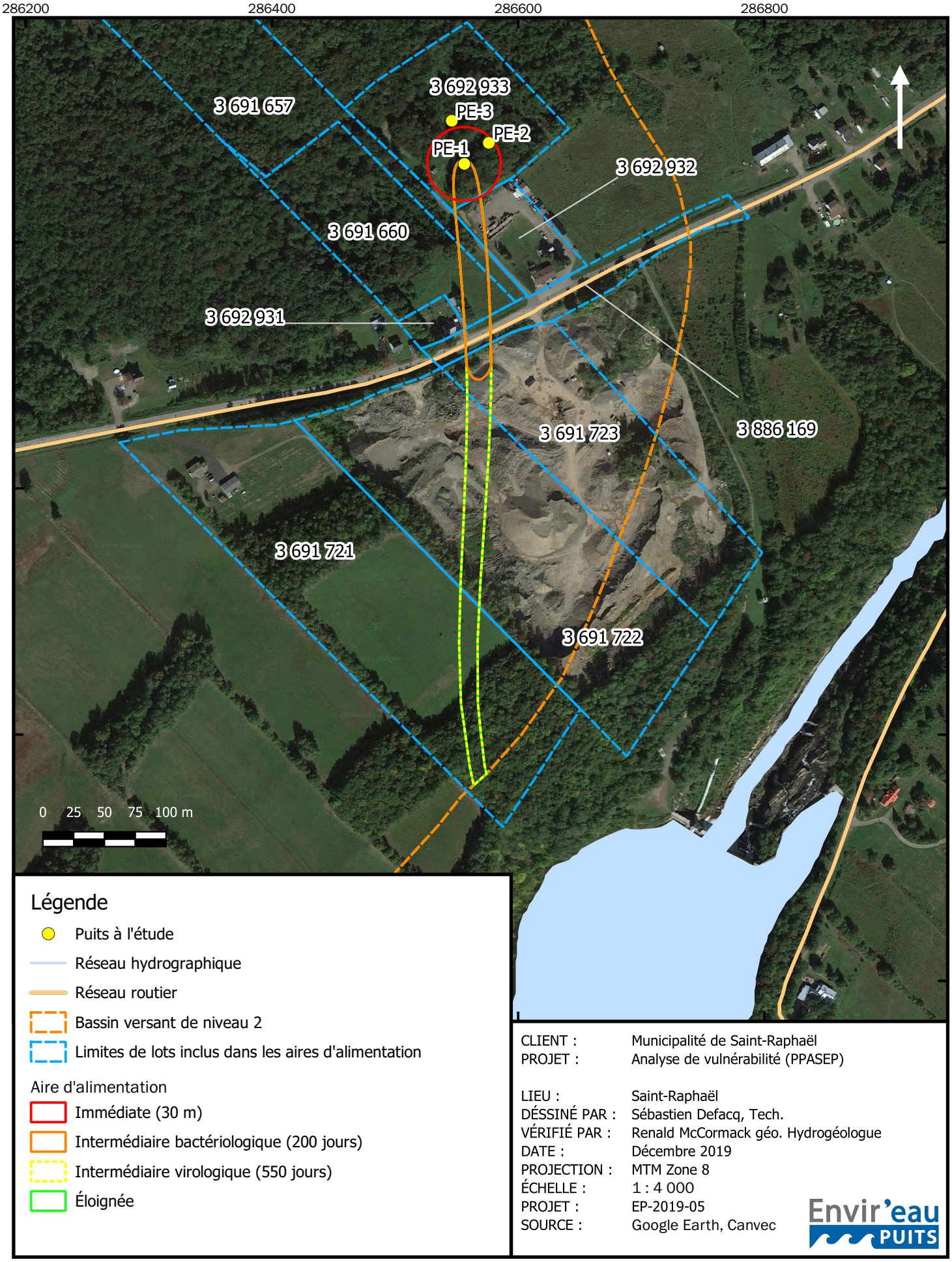
L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 40,3 $m^3$/jour obtenue pour les 6 dernières années contrairement au débit de 130 $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par RDR Consultants en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Comme pour les deux premiers, elle est également orientée selon une direction NORD/SUD et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0267 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 2.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

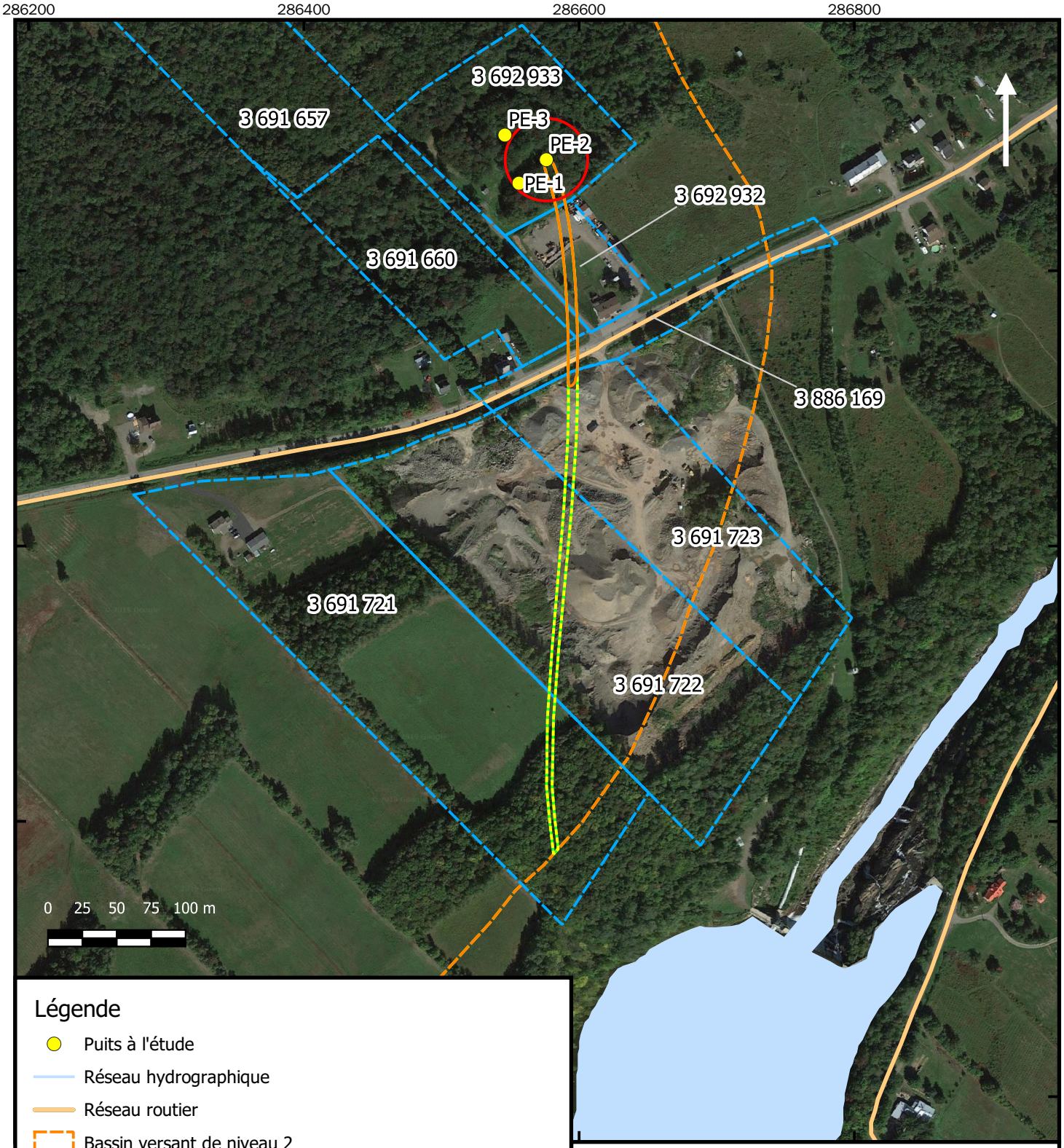
- Largeur moyenne : 35 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 167 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours) : 505 m
- Aire de protection éloignée : 540 m

La figure 15 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

# FIGURE 13 : Aires de protection du puits PE-1



# FIGURE 14 : Aires de protection du puits PE-2




## Légende

- Puits à l'étude
- Réseau hydrographique
- Réseau routier
- Bassin versant de niveau 2
- Limites de lots inclus dans les aires d'alimentation

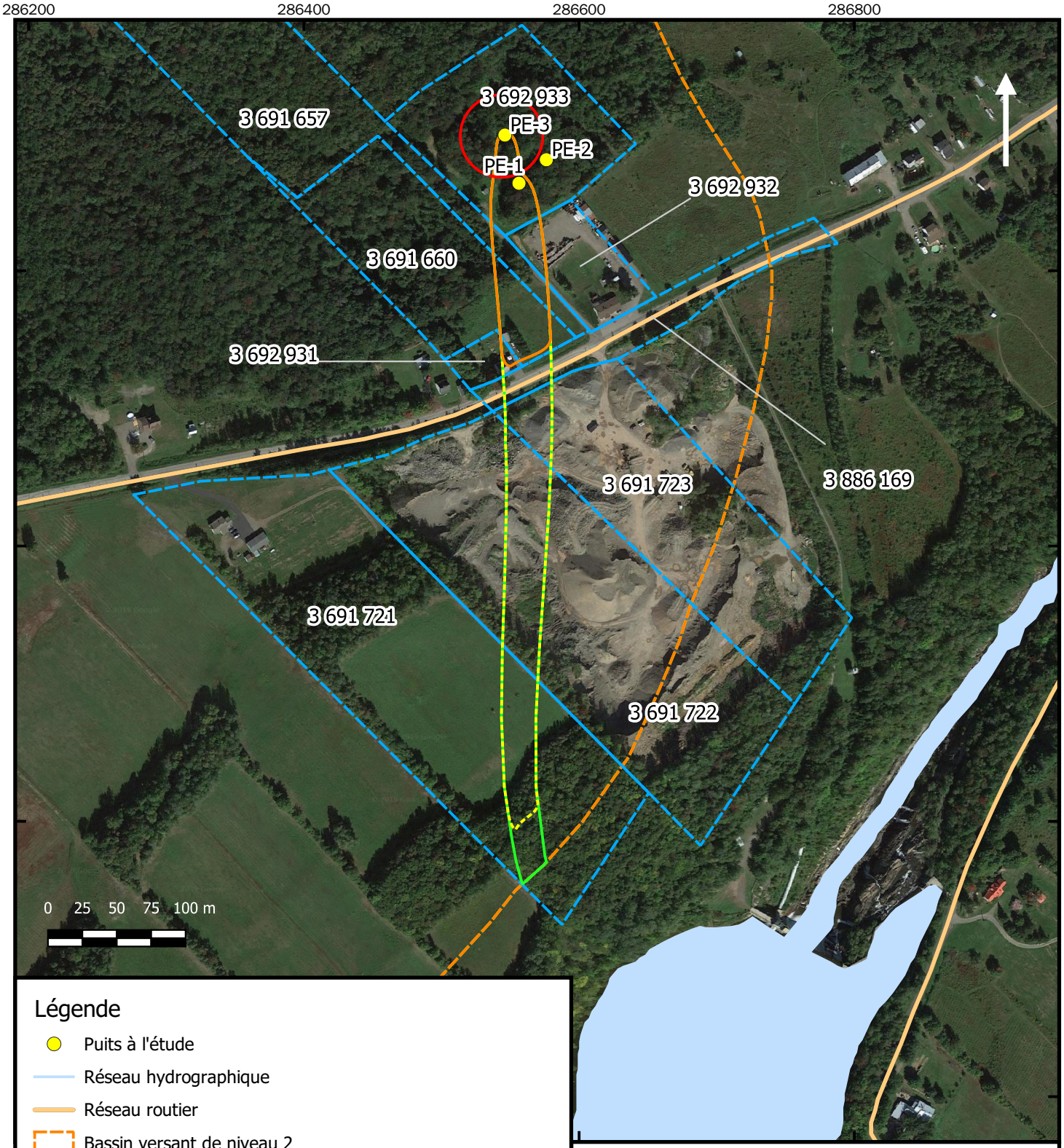
Aire d'alimentation

- Immédiate (30 m)
- Intermédiaire bactériologique (200 jours)
- Intermédiaire virologique (550 jours)
- Éloignée

| | |
|---|---|
| CLIENT : | Municipalité de Saint-Raphaël |
| PROJET : | Analyse de vulnérabilité (PPASEP) |
| LIEU : | Saint-Raphaël |
| DÉSSINÉ PAR : | Sébastien Defacq, Tech. |
| VÉRIFIÉ PAR : | Renald McCormack géo. Hydrogéologue |
| DATE : | Décembre 2019 |
| PROJECTION : | MTM Zone 8 |
| ÉCHELLE : | 1 : 4 000 |
| PROJET : | EP-2019-05 |
| SOURCE : | Google Earth, Canvec |

Envir'eau PUITS

# FIGURE 15 : Aires de protection du puits PE-3




## Légende

- Puits à l'étude
- Réseau hydrographique
- Réseau routier
- Bassin versant de niveau 2
- Limites de lots inclus dans les aires d'alimentation

Aire d'alimentation

- Immédiate (30 m)
- Intermédiaire bactériologique (200 jours)
- Intermédiaire virologique (550 jours)
- Éloignée

| | |
|---|---|
| CLIENT : | Municipalité de Saint-Raphaël |
| PROJET : | Analyse de vulnérabilité (PPASEP) |
| LIEU : | Saint-Raphaël |
| DÉSSINÉ PAR : | Sébastien Defacq, Tech. |
| VÉRIFIÉ PAR : | Renald McCormack géo. Hydrogéologue |
| DATE : | Décembre 2019 |
| PROJECTION : | MTM Zone 8 |
| ÉCHELLE : | 1 : 4 000 |
| PROJET : | EP-2019-05 |
| SOURCE : | Google Earth, Canvec |

Envir'eau PUITS

### 2.2.4 Site P-4 (X00107044-008)

L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 76,5 $m^3$/jour obtenue pour les 6 dernières années contrairement au débit de 163 $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par RDR Consultants en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Elle est orientée selon une direction SUD-EST/NORD-OUEST et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0185 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 3.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

- Largeur moyenne : 30 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 177 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours) : 387 m
- Aire de protection éloignée : 501 m

La figure 16 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

### 2.2.5 Site P-5 (X2173754-001)

L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 117 $m^3$/jour obtenue pour les 6 dernières années contrairement au débit de 544 $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par Mission HGE Inc. en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Elle est orientée selon une direction SUD-EST/NORD-OUEST et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0233 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 3.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

- Largeur moyenne : 20 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 328 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours) : 817 m
- Aire de protection éloignée : 859 m

La figure 17 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

### 2.2.6 Site P-6 (X2173754-002)

L'aire d'alimentation de ce site de prélèvement a été calculée sur la base d'une consommation moyenne de 127 $m^3$/jour obtenue pour les 6 dernières années contrairement au débit de 544 $m^3$/jour qui a été utilisé pour la détermination des aires d'alimentation en 2003 par Mission HGE Inc. en vertu de l'ancien Règlement sur le captage des eaux souterraines. Elle est orientée selon une direction SUD-EST/NORD-OUEST et sous un gradient hydraulique moyen de 0,0233 et s'étend jusqu'à une ligne de partage des eaux de niveau 3.

Ainsi, sur la base des caractéristiques hydrogéologiques de l'unité aquifère sollicitée et selon la consommation moyenne observée sur ce point de prélèvement, les dimensions suivantes ont été calculées :

- Largeur moyenne : 45 m
- Aire de protection intermédiaire bactériologique (200 jours) : 333 m
- Aire de protection intermédiaire virologique (550 jours): 819 m
- Aire de protection éloignée : 867 m

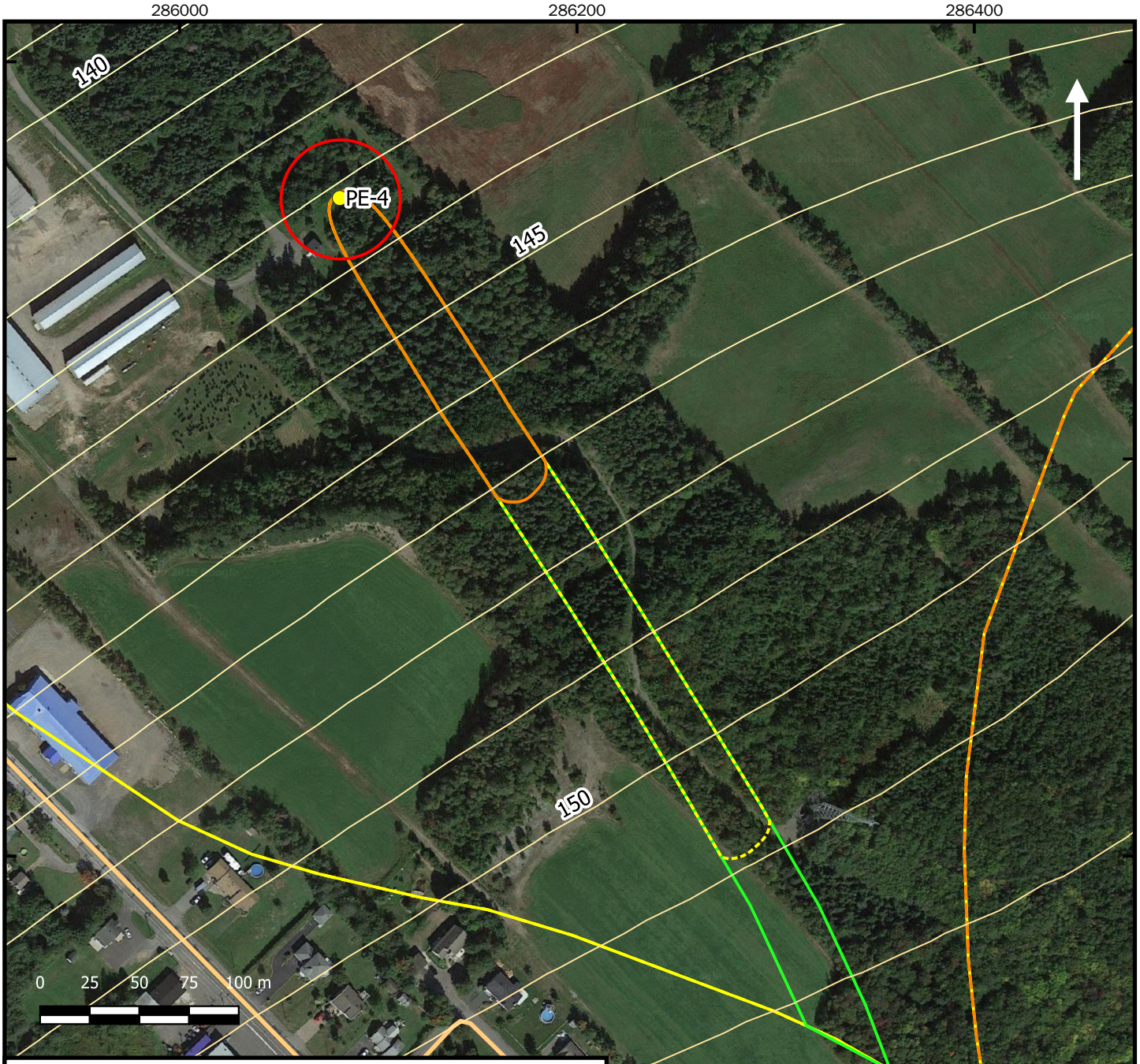
La figure 18 présente l'étendue de cette aire d'alimentation, des aires de protection intermédiaires bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours) de même que l'aire de protection éloignée.

Le tableau suivant résume les diverses informations reliées au calcul des aires d'alimentation de ces six puits

| **Site de prélèvement NO** | Gradient moyen | Débit moyen ($m^3$/j) 2013-2018 | Aire de protection bactériologique (m) | Aire de protection virologique (m) | Aire de protection éloignée (m) Longueur / largeur moyenne (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| P-1 (X00107044-004) | 0,0272 | 67 | 175 | 540 | 540 / 20 |
| P-2 (X00107044-002) | 0,0267 | 22 | 165 | 516 | 516 / 15 |
| P-3 (X00107044-005) | 0,0267 | 40,3 | 167 | 505 | 540 / 35 |
| P-4 (X00107044-008) | 0,0185 | 76,5 | 177 | 387 | 501 / 30 |
| P-5 (X2173754-001) | 0,0233 | 117 | 328 | 817 | 859 / 20 |
| P-6 (X2173754-002) | 0,0233 | 127 | 333 | 819 | 867 / 45 |

Tableau 1 : Caractéristiques des aires d'alimentation

# FIGURE X : Aires de protection du puits PE-4




## Légende

- Puits à l'étude
- Réseau hydrographique
- Réseau routier
- Bassin versant de niveau 2
- Bassin versant de niveau 3
- Limites de lots inclus dans les aires d'alimentation

Aire d'alimentation

- Immédiate (30 m)
- Intermédiaire bactériologique (200 jours)
- Intermédiaire virologique (550 jours)
- Éloignée

| | |
|---|---|
| CLIENT : | Municipalité de Saint-Raphaël |
| PROJET : | Analyse de vulnérabilité (PPASEP) |
| LIEU : | Saint-Raphaël |
| DÉSSINÉ PAR : | Sébastien Defacq, Tech. |
| VÉRIFIÉ PAR : | Renald McCormack géo. Hydrogéologue |
| DATE : | Décembre 2019 |
| PROJECTION : | MTM Zone 8 |
| ÉCHELLE : | 1 : 3 000 |
| PROJET : | EP-2019-05 |
| SOURCE : | Google Earth, Canvec |

Envir'eau PUITS

# FIGURE 17 : Aires de protection du puits PE-5

## Légende

- Puits à l'étude
- Réseau hydrographique
- Réseau routier
- Bassin versant de niveau 3
- Limites de lots inclus dans les aires d'alimentation

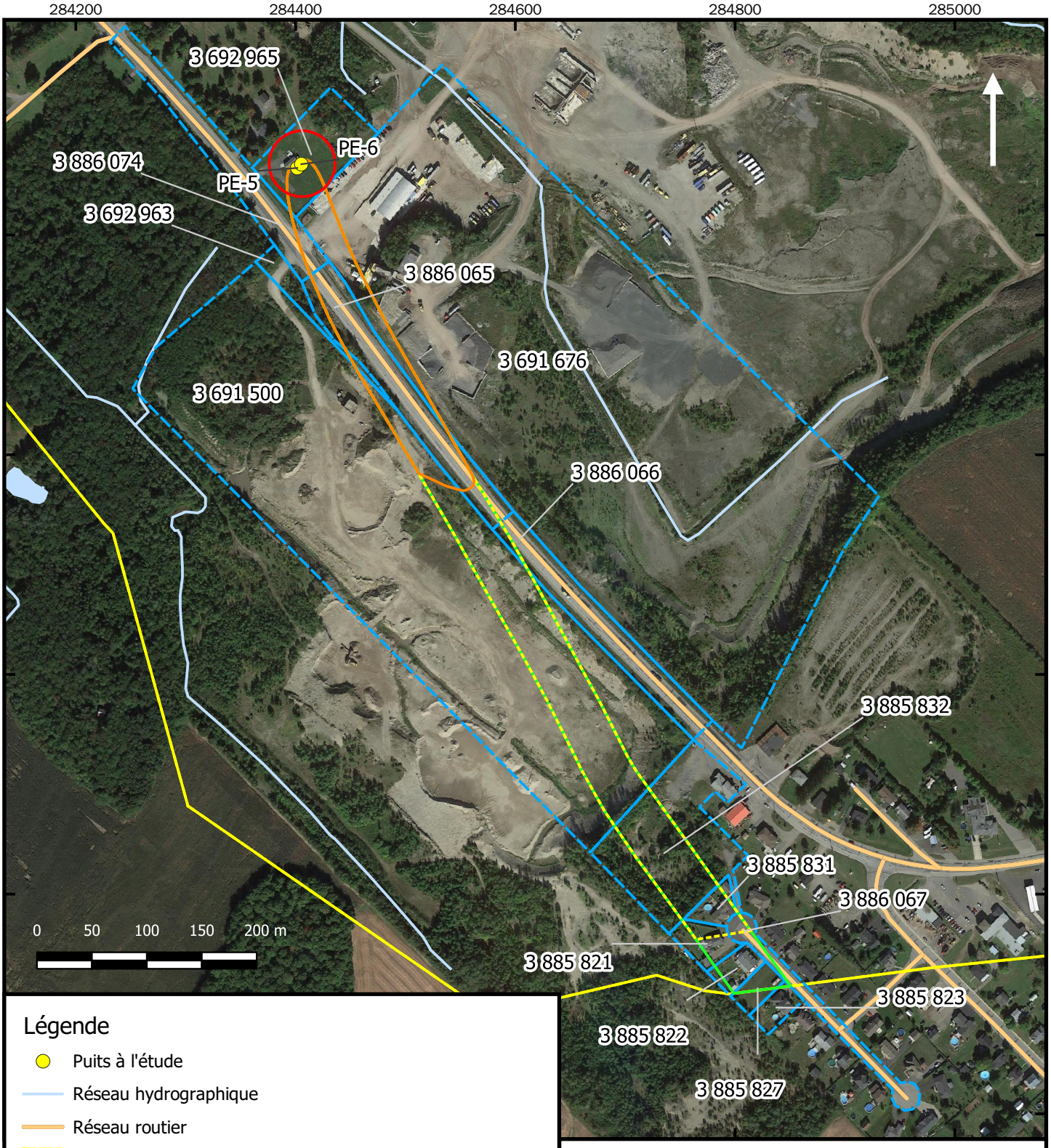
Aire d'alimentation

- Immédiate (30 m)
- Intermédiaire bactériologique (200 jours)
- Intermédiaire virologique (550 jours)
- Éloignée

| | |
|---|---|
| CLIENT : | Municipalité de Saint-Raphaël |
| PROJET : | Analyse de vulnérabilité (PPASEP) |
| LIEU : | Saint-Raphaël |
| DÉSSINÉ PAR : | Sébastien Defacq, Tech. |
| VÉRIFIÉ PAR : | Renald McCormack géo. Hydrogéologue |
| DATE : | Décembre 2019 |
| PROJECTION : | MTM Zone 8 |
| ÉCHELLE : | 1 : 5 000 |
| PROJET : | EP-2019-05 |
| SOURCE : | Google Earth, Canvec, Infolot (12/2019) |

Envir'eau PUITS

# FIGURE 18 : Aires de protection du puits PE-6




## Légende

- Puits à l'étude
- Réseau hydrographique
- Réseau routier
- Bassin versant de niveau 3
- Limites de lots inclus dans les aires d'alimentation

Aire d'alimentation

- Immédiate (30 m)
- Intermédiaire bactériologique (200 jours)
- Intermédiaire virologique (550 jours)
- Éloignée

| | |
|---|---|
| CLIENT : | Municipalité de Saint-Raphaël |
| PROJET : | Analyse de vulnérabilité (PPASEP) |
| LIEU : | Saint-Raphaël |
| DÉSSINÉ PAR : | Sébastien Defacq, Tech. |
| VÉRIFIÉ PAR : | Renald McCormack géo. Hydrogéologue |
| DATE : | Décembre 2019 |
| PROJECTION : | MTM Zone 8 |
| ÉCHELLE : | 1 : 5 000 |
| PROJET : | EP-2019-05 |
| SOURCE : | Google Earth, Canvec, Infolot (12/2019) |

Envir'eau PUITS

### 2.2.7 Modélisation des aires de protection des puits P-1 à P-6

Afin de déterminer l'écoulement des eaux souterraines, un modèle numérique a été élaboré avec le logiciel ModelMuse 4.0 qui utilise le code de MODFLOW 6. Ce logiciel permet de modéliser le milieu géologique du secteur à l'étude et de simuler l'écoulement des eaux souterraines ainsi que l'impact des puits à l'étude afin d'en déterminer les aires d'alimentation à l'aide d'un suivi des particules.

La méthodologie utilisée consiste à concevoir un modèle numérique de la zone à partir des données disponibles et de calibrer le modèle en faisant varier les paramètres hydrauliques tel que la recharge annuelle, la conductivité hydraulique et la géométrie du secteur à l'étude afin d'obtenir une piézométrie à l'état statique dans un régime permanant du modèle qui permet d'être comparé avec l'élévation des niveaux d'eau observés sur le terrain et ajustée en conséquence afin d'obtenir un modèle le plus représentatif possible. Par la suite, une analyse de sensibilité du modèle est réalisée afin d'en confirmer le comportement et de valider les résultats. Le modèle ainsi obtenu permet alors de simuler le comportement des eaux souterraines pendant le pompage des puits en régime transitoire et d'effectuer un suivi de particules pour déterminer les aires de protection. Le tableau suivant indique la provenance des données qui ont été utilisées.

| | Source |
|---|---|
| Topographie de la surface | - Données Lidar (fournies par le département de géomatique de la MRC de Bellechasse) |
| Topographie du roc | - Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines – Chaudière-Appalaches, Données matricielles, format ouvert. |
| Géologie | - Carte des dépôts meubles (DV 84-10, 21L15)<br>- Carte du socle rocheux (SIGEOM, Services WMS – Géologie régionale).<br>- Coupes stratigraphiques des Puits PE-1 à PE-6 (document opération usine_2014)<br>- Coupes stratigraphiques des forages STR-12 à STR-15 (Mission HGE)<br>- Coupes stratigraphiques des forages F09-X (RDR Consultants)<br>- Système d'information hydrogéologique du MELCC (SIH) |
| Réseau hydrographique | - Données topographiques du Canada – CanVec<br>- Limites de bassin versant, Centre d'expertise hydrique du Québec |
| Hydrogéologie | - Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines – Chaudière-Appalaches, Données matricielles, format ouvert.<br>- Système d'information hydrogéologique du MELCC (SIH)<br>- Suivi piézométrique des puits de production 2014-2019 (Akifer)<br>- Propriétés hydrauliques - Aqtesolv (Glenn M. Duffield, President, HydroSOLVE, Inc.) |

Tableau 2 : Provenance des informations utilisées

#### 2.2.7.1 Conception du modèle numérique

La zone à l'étude est représentée par un rectangle d'environ 5,4 x 4,2 km. Le modèle est découpé en cellules carrées de 50 mètres de côté et cette grille est raffinée à l'approche de cours d'eau et des puits pour atteindre des cellules de 1,6 mètres de côté pour un total de 53277 cellules ; quant à la géologie, elle est représentée par 3 couches différentes.

#### 2.2.7.2 Conditions limites

Les limites du modèle ne représentant pas les limites du bassin versant, une condition limite de charge constante est appliquée à l'ensemble du périmètre de la zone à l'étude avec une charge hydraulique à 2 mètres sous de la surface du sol.

La gestion des eaux de surface est réalisée à l'aide de deux types de conditions limites. D'une part, la rivière du Sud est représentée par une condition de « Rivière », ce qui permet un échange de charge hydraulique entre la rivière et l'aquifère et d'autre part, les cours d'eau secondaires sont représentés par une condition limite de « Drain » qui permet d'extraire l'eau de surface du modèle.

#### 2.2.7.3 Propriétés hydrogéologiques

Cinq types de dépôts meubles en surface sont représenté dans la zone à l'étude, avec une couche de matériel plus imperméable intercalée entre ces derniers et le socle rocheux, chaque type de dépôts est représenté par une conductivité hydraulique différente selon la répartition suivante :

| | Conductivité (m/jour) | Source |
|---|---|---|
| Msa | 8 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Mde | 8.5 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Mde – Secteur sablière | 20 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Tin | 5 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Fcg | 7 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Couche imperméable | 0.005 | Interprétation des données de pompage et calibration du modèle |
| Socle rocheux | 9e-6 | Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines – Chaudière-Appalaches |

Tableau 3 : Répartition de la conductivité hydraulique par unité géologique retenue

Afin de représenter l'hétérogénéité verticale des dépôts, la conductivité hydraulique verticale du modèle représente 10% de la conductivité horizontale.

#### 2.2.7.4 Recharge

Le PACES Chaudière-Appalaches présente une recharge au roc pour la zone à l'étude variant de 0 à 275 mm/an et une évapotranspiration moyenne de 543 mm/an. Afin de mieux représenter la zone à l'étude ainsi que les milieux humides présents, la recharge est appliquée à la surface du modèle numérique et varie en fonction du type de dépôts de surface. Elle ne tient pas compte de l'évapotranspiration qui est intégrée et calculée directement dans le modèle avec la valeur moyenne présente dans le PACES sur l'ensemble de la zone. Le tableau suivant présente la répartition de la recharge finale tenant compte de l'évapotranspiration :

| | Recharge (mm/an) |
|---|---|
| Msa | 255 |
| Mde | 274 |
| Tin | 183 |
| Fcg | 274 |

Tableau 4 : Répartition de la recharge par unité de dépôts meubles

#### 2.2.7.5 Calibration du modèle numérique

La calibration du modèle est effectuée en comparant l'élévation des niveaux d'eau calculés en état statique par rapport aux niveaux d'eau mesurés. Les points d'observation choisis correspondent aux puits PE-1 à PE-6 puisqu'ils représentent une bonne répartition dans la zone à l'étude. Le tableau suivant montre ces résultats et la figure suivante montre la corrélation entre les niveaux.

| Puits | Mesuré (m) | Modélisé (m) | Résiduel (m) |
|---|---|---|---|
| PE-1 | 133.2 | 133.61 | 0.41 |
| PE-2 | 133.3 | 133.30 | 0.00 |
| PE-3 | 132.6 | 133.86 | 0.26 |
| PE-4 | 143.7 | 143.19 | -0.51 |
| PE-5 | 99.2 | 101.46 | 2.26 |
| PE-6 | 99.1 | 101.38 | 2.28 |

Tableau 5 : Élévation de la nappe (résultats mesurés vs modélisés)

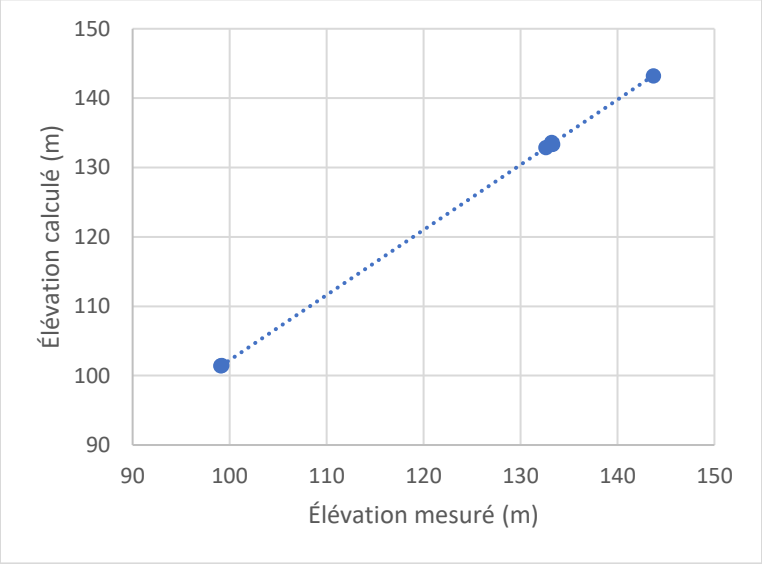



Figure 19 : Corrélation de l'élévation des niveaux d'eau

Avec ces résultats il est possible de calculer le pourcentage d'erreur RMS normalisé, qui doit être inférieur à 10%. Dans le cas présent, la calibration du modèle montre un RMS normalisé de 3.0 % ce qui indique une calibration adéquate du modèle.

#### 2.2.7.6 Analyse de la sensibilité

L'analyse de la sensibilité est réalisée selon la norme ASTM D5611-94. La conductivité hydraulique ainsi que la recharge sont modifiées un paramètre à la fois suivant un facteur de 50 à 150% de la valeur calibrée. Les résultats obtenus montrent l'évolution de l'erreur RMS normalisée ainsi que les erreurs résiduelles des niveaux d'eau en mètres pour les différentes valeurs, ce qui permet de confirmer les valeurs de conductivité hydraulique et de recharge utilisées lors de la calibration. Les deux figures suivantes montrent les résultats de l'analyse de sensibilité.

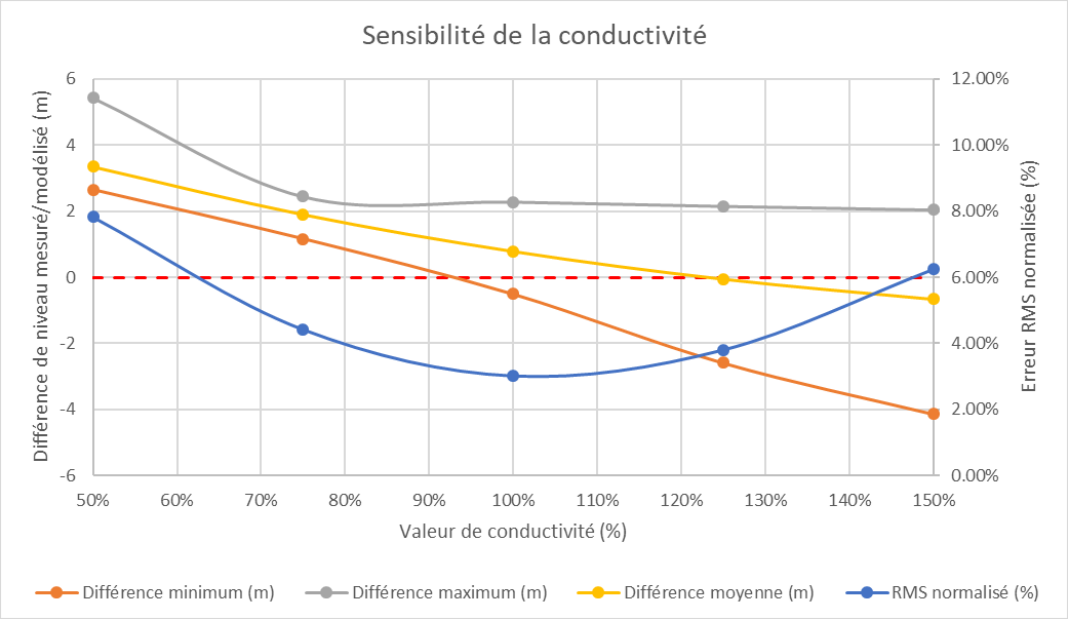



Figure 20 : Analyse de sensibilité - Conductivité

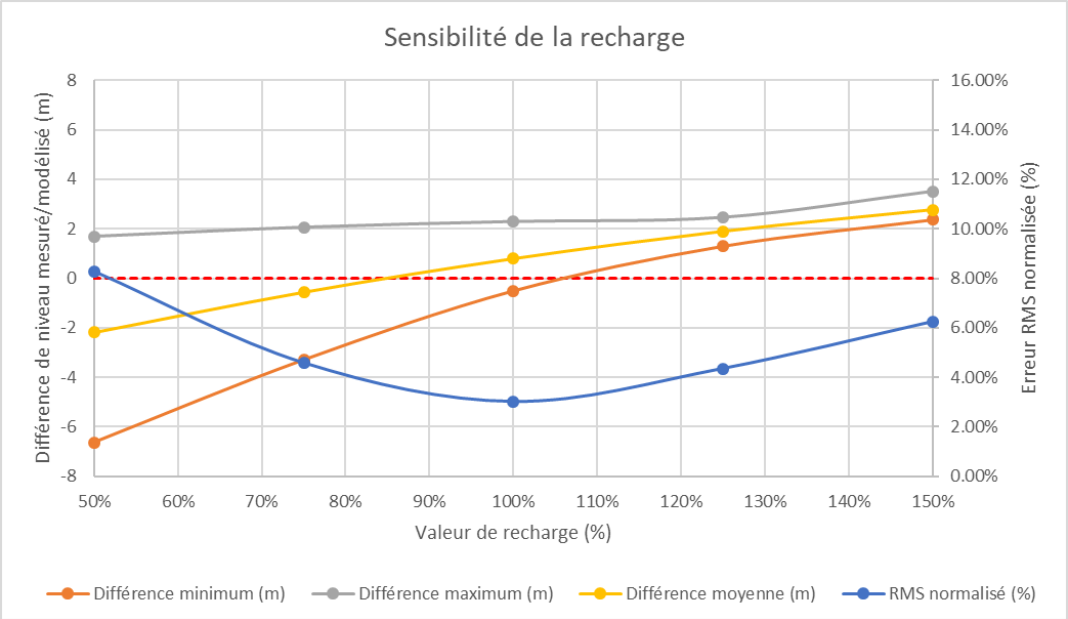



Figure 21 : Analyse de sensibilité - Recharge

D'après les résultats obtenus, les changements sur la calibration autant sur la conductivité hydraulique que sur la recharge montrent un impact significatif sur les résultats observés, d'autre part, les variations de calibration entraînent un changement du comportement de l'écoulement des eaux souterraines ce qui a un impact important sur les aires de protection et donc sur les conclusions de l'étude. D'après la norme ASTM D5611-94, le présent modèle

à une sensibilité de type 3, et malgré le fait que les résultats du modèle numérique changent par rapport à la calibration, les résultats erronés sont éliminés par le processus de calibration. Les résultats obtenus sont donc considérés comme réalistes.

#### 2.2.7.7 Aires de protection

À la suite des résultats de l'analyse de sensibilité qui viennent confirmer la calibration du modèle, un suivi de particule sur 200 et 550 jours a été effectué individuellement sur chacun des puits en prenant en considération leur impact réciproque pour déterminer les aires de protection bactériologique et virologique. Les aires de protection éloignées sont déterminées avec un suivi de particules sur une longue durée (> 2000 jours) et sont délimitées par les bassins versants présents dans la zone étudiée. Quant aux aires de protection immédiate, un rayon fixe de 30 mètres est utilisé. La figure suivante présente les aires de protection des puits P-1 à P-6.

Les fichiers Shapefile pour chacun de points de prélèvement sont disponibles à l'adresse suivante :

https://www.dropbox.com/sh/g8mfxow7q9xo4sn/AAChLm_TcF8pKR2okY8cYk-La?dl=0

Mot de passe : EP-2019-05

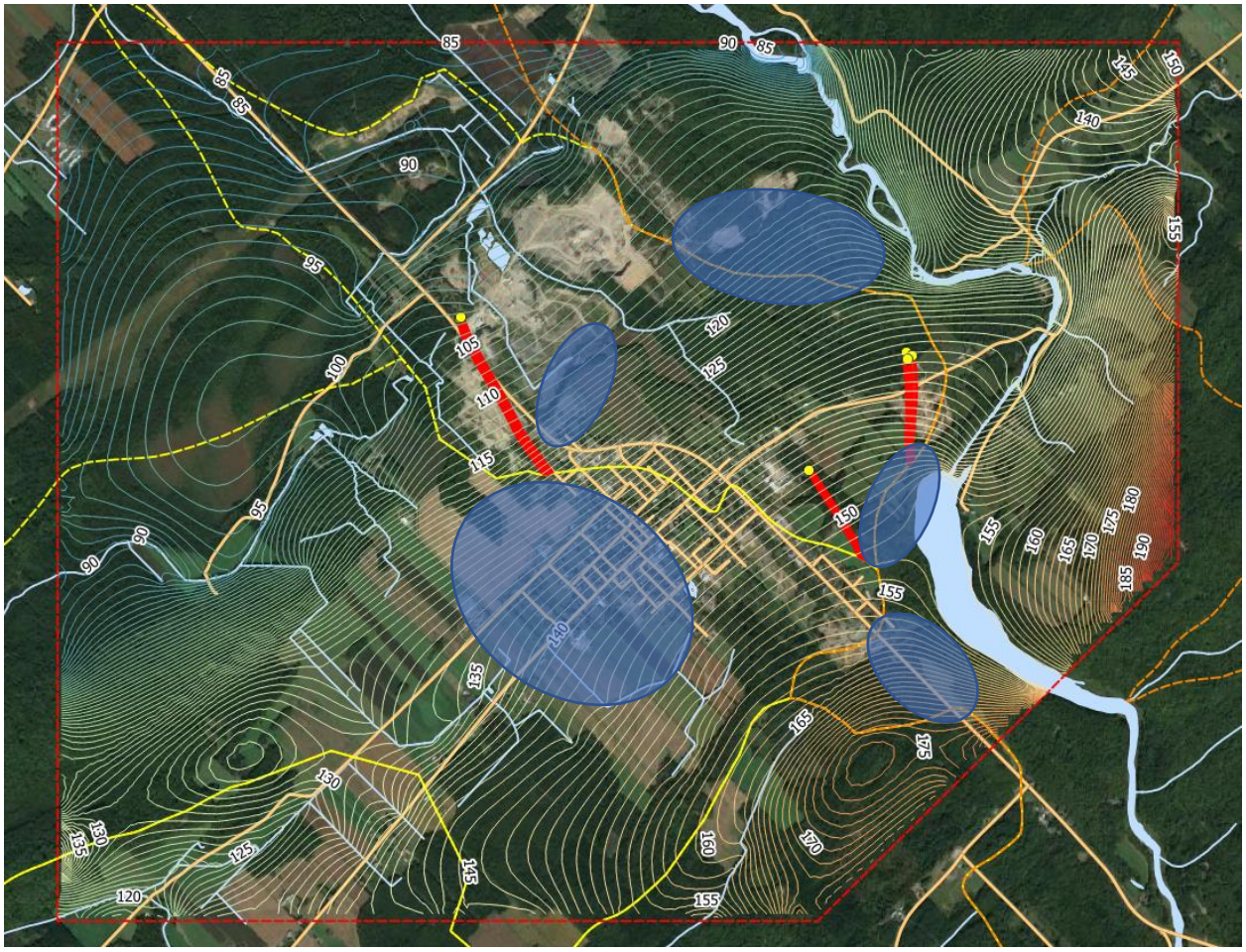


Figure 22 : Représentation numérique des aires d'alimentation des 6 puits

Les zones en bleu correspondent à des secteurs suggérés pour la mise en place de piézomètres au cours des prochaines années afin d'avoir plus de précisions dans la calibration de ce modèle sur une zone plus étendue

## 2.3 Niveaux de vulnérabilité des aires de protection

Tous les travaux qui ont été réalisés depuis 1993 et qui ont conduit à la mise en production des six points de prélèvement d'eau souterraine actuels ont révélé des indices DRASTIC qui ont varié entre 140 et 177. En vertu de l'article 53 du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection, ces valeurs correspondent à une catégorie de vulnérabilité qualifiée de « moyen ».

Tous ces ouvrages de captage sont aménagés dans une unité d'âge Quaternaire de forme deltaïque et composée de dépôts granulaires plus ou moins grossiers qui font l'objet d'exploitation à proximité de ces puits. Il y a donc cohabitation d'activités de sablière/gravière et de prélèvement d'eau souterraine dans cette même formation géologique de dépôts granulaires.

Le tableau A4-1 de l'annexe 3 présente le niveau de vulnérabilité pour l'ensemble des aires de protection alors que la figure suivante montre la répartition de la vulnérabilité estimée dans les aires de protection s'étendant entre 2 et 11 km des nouveaux puits municipaux.

Rédigé par :

Renald McCormack, géo., hydrogéologue

DÉCEMBRE 2019