



**HYDROGÉOLOGIE
ENVIRONNEMENT**

VILLE DE SUTTON

Étude hydrogéologique

Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire – Aquifère du secteur Village

projet n°

09-6050-5017

présenté par

LAFORST NOVA AQUA INC.

2425, avenue Watt, bureau 210

Québec (Québec) G1P 3X2

www.LNAqua.com

date préliminaire

2 juin 2023

date finale

31 juillet 2023

VILLE DE SUTTON

Étude hydrogéologique

Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire – Aquifère du secteur Village

soumis à

Monsieur Titouan Valentin Perriollat
Directeur du service des travaux publics
et des immobilisations

Ville de Sutton

11, rue Principale Sud
Sutton (Québec) J0E 2K0

projet n°

09-6050-5017

préparé par

vérifié par

Hubert Noël, ing., M. Ing.
Chargé de projet
N° OIQ : 146319

Julie Gauthier, ing., M. Sc. A., géo., hydrogéologue
Directrice de projet
N° OIQ : 129489 | N° OGQ : 2078



Karl Lechat, Ph. D.
Chargé de projet

LAForest NOVA AQUA INC.

2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999 | 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999
www.LNAqua.com

date préliminaire

2 juin 2023

date finale

31 juillet 2023

Confidentialité et utilisation du rapport

Le présent rapport a été préparé à la demande du ou des clients mentionnés à la page couverture, dans le contexte déterminé par les termes spécifiques du mandat accordé à Laforest Nova Aqua inc. et selon l'entente intervenue entre les deux parties. Aucune copie en tout ou en partie de ce rapport ne peut être divulguée par un tiers sans le consentement explicite de Laforest Nova Aqua inc. Le ou les clients conviennent et s'engagent à obtenir l'autorisation écrite et préalable de Laforest Nova Aqua inc. avant de transmettre ce rapport à un tiers. À défaut, le ou les clients s'engagent à tenir indemnes Laforest Nova Aqua inc. de tout dommage pouvant résulter d'une divulgation du rapport à un tiers.

Toute opinion concernant l'application ou la conformité aux lois et règlements apparaissant dans ce rapport est exprimée sous toute réserve et ne doit, en aucun temps, être considérée comme un avis juridique ou se substituer à un tel avis.

Liste de distribution

Client	
Monsieur Titouan Valentin Perriollat Directeur du service des travaux publics et des immobilisations Ville de Sutton dir.tp@sutton.ca	– Une version PDF

Équipe de projet

Julie Gauthier, ing., M. Sc. A., géo., hydrogéologue	Direction de projet et révision du rapport
Hubert Noël, ing, M. ing	Rédaction et travaux de terrain
Karl Lechat, Ph. D.	Modélisation numérique et rédaction
Daouda Meité, Ph. D.	Travaux de terrain et traitement des données
Gabrièle Lemieux, technicienne	Travaux de terrain
Patrick Napier, technicien en géomatique	Production des figures
Martin Gascon, dessinateur	Production des figures
Karine Bertrand, adjointe administrative	Mise en page et édition

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1. Mise en contexte.....	1
2. LOCALISATION ET DESCRIPTION DU SECTEUR	2
2.1. Localisation générale	2
2.2. Milieu physique.....	2
2.2.1. Topographie.....	2
2.2.2. Dépôts de surface.....	3
2.2.3. Géologie du socle.....	3
2.3. Milieu naturel et hydrique	4
3. DESCRIPTION DES PUIITS D'ESSAI ET DES POINTS DE MESURE PIÉZOMÉTRIQUE.....	5
3.1. Puit Academy	5
3.2. Puits d'essai 1/80	6
3.3. Puits SU/PE-1-15.....	6
3.4. Forage SU/FE-1-22	7
3.5. Piézomètre SU/FE-2-22	7
3.6. Piézomètre SU/FE-3-22	7
3.7. Piézomètre SU/FE-4-22	8
3.8. Piézomètre SU/FE-5-22	8
3.9. Piézomètre SU/FE-6-22	9
3.10. Piézomètre SU/FE-1-15	9
3.11. Piézomètre SU/FE-2-15	9
3.12. Pointe milieu humide	9
4. PIÉZOMÉTRIE ET INSTRUMENTATION DE L'AQUIFÈRE	10
4.1. Instrumentation	12
5. ESSAI DE POMPAGE.....	13
5.1. Chronologie du pompage et comportement de l'aquifère.....	14
5.2. Caractéristiques hydrogéologiques en pompage	15
5.3. Caractéristiques hydrogéologiques en remontée.....	17
5.4. Appréciation globale des résultats.....	17
6. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET ÉLABORATION DU MODÈLE CONCEPTUEL	19
6.1. Élaboration du modèle conceptuel	20
6.1.1. Délimitation de la zone d'étude modélisée.....	20
6.1.2. Inventaire des forages répertoriés dans le secteur à l'étude et topographie	20
6.1.3. Détermination de l'élévation du roc et de l'épaisseur des dépôts de surface.....	21
6.1.4. Modèle conceptuel.....	23
6.1.5. Paramètres hydrogéologiques.....	24

TABLE DES MATIÈRES (suite)

6.2. Élaboration et résultats du modèle numérique	26
6.2.1. Conditions initiales et conditions aux limites.....	26
6.2.2. Calibration en régime transitoire	27
6.2.2.1. Calibration en régime transitoire – Piézométrie	28
6.2.2.2. Calibration en régime transitoire – Pompage 2023.....	30
6.2.3. Validation du modèle et sensibilité des paramètres d'entrée	32
6.2.4. Bilan hydrologique de l'aquifère et quantité d'eau disponible maximum	35
6.2.5. Effet de l'exploitation des puits Academy et SU/PE-1-15 – Détermination du débit d'exploitation maximum.....	36
6.2.6. Rabattement de la nappe et effet sur la zone humide à proximité des puits	38
7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	40
8. RÉFÉRENCES	42

TABLEAUX

Tableau 1 : Mesures piézométriques en conditions statiques*	11
Tableau 2 : Caractéristiques des équipements.....	12
Tableau 3 : Chronologie et débits de pompage.....	14
Tableau 4 : Transmissivité et coefficient d'emmagasinement en pompage.....	16
Tableau 5 : Conductivité hydraulique de l'aquifère lors du pompage de l'aquifère	16
Tableau 6 : Transmissivité en remontée.....	17
Tableau 7 : Lien en entre les modèles et les dépôts de surface	21
Tableau 8 : Paramètres hydrogéologiques considérés pour la modélisation numérique.....	25
Tableau 9 : Débit journalier de prélèvement d'eau moyen au puits Academy.....	28
Tableau 10 : Paramètres calibrés dans le modèle numérique.....	29
Tableau 11 : Comparaison entre les rabattements mesurés et les rabattements simulés – Calibration	30
Tableau 12 : Effets sur la superficie de l'aire d'alimentation des principaux paramètres d'entrée utilisés pour la détermination des aires de protection	33
Tableau 13 : Bilan hydrologique sur l'ensemble de l'aire d'alimentation des puits Academy et SU/PE-1-15.....	35
Tableau 14 : Bilan de l'eau entrant et sortant dans le bassin versant des puits – Résultats des simulations numériques	37
Tableau 15 : Récapitulatif des débits simulés dans l'aquifère	40

ANNEXES

- Annexe A : Figure A-1 : Localisation générale du secteur à l'étude
Figure A-2 : Zone de pente issue du Lidar
Figure A-3 : Géologie des dépôts meubles
Figure A-4 : Géologie du socle rocheux
Figure A-5 : Hydrographie
Figure A-6 : Modèle hydrogéologique 3D – Délimitation du modèle et localisation des données utilisées
Figure A-7 : Modèle hydrogéologique 3D – Coupes géologiques réalisées sur Feflow
Figure A-8 : Coupes géologiques réalisées sur Feflow
Figure A-9 : Modèle hydrogéologique 3D – Profondeur du roc interpolé et délimitation de la formation confinante ou peu perméable
Figure A-10 : Modèle conceptuel
Figure A-11 : Structure géologique et conditions aux limites dans le modèle numérique
Figure A-12 : Simulation des écoulements et piézométrie sans prélèvement
Figure A-13 : Direction des écoulements simulés (Feflow)
Figure A-14 : Modélisation numérique – Effet des cours d'eau
Figure A-15 : Simulation des écoulements créés par le prélèvement du puits Academy
Figure A-16 : Simulation des écoulements créés par le prélèvement du puits PE-1-15
Figure A-17 : Simulation des écoulements créés par les prélèvements des puits Academy et PE-1-15
- Annexe B Note explicative sur les rapports de sondage
Stratigraphie et aménagement du puits d'essai, des puits municipaux et des forages exploratoires
- Annexe C Essai de pompage par paliers
Graphiques C-1 à C-15
- Annexe D Tableau D-1 : Synthèse des paramètres de l'aquifère
- Annexe E Résultats de la calibration du modèle numérique
Graphiques E-1 à E-3

ABRÉVIATIONS

CMHPQ : Cartographie des milieux humides potentiels du Québec

DCE : Direction de la connaissance écologique

LiDAR : Light Detection and Ranging

LNA : Laforest Nova Aqua inc.

LQE : Loi sur la qualité de l'environnement

MELCCFP : Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

MRC : Municipalité régionale de comté

MRNF : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

MTRE : Montérégie-Est

PACES : Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines

RMS : Root mean square ou écart quadratique moyen

RPEP : Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection

SIGÉOM : Système d'information géominière du Québec

SIH : Système d'information hydrogéologique

UNITÉS DE MESURE

h : heure

km : kilomètre

L : litre

m : mètre

min : minute

mm : millimètre

pi : pied

po : pouce

s : seconde

² : au carré

³ : au cube

1. INTRODUCTION

1.1. Mise en contexte

La Ville de Sutton exploite deux réseaux d'aqueduc : l'aqueduc du secteur Village et l'aqueduc du secteur Montagne. L'aqueduc du secteur Village est alimenté à partir d'un unique puits exploitant un aquifère granulaire confiné : le puits Academy. En 2015, Laforest Nova Aqua inc. (LNA) a procédé à une étude hydrogéologique dans le but de construire un second puits dans le même aquifère afin d'assurer une redondance au niveau des infrastructures d'approvisionnement en eau souterraine. Le puits d'essai SU/PE-1-15 a été aménagé dans l'aquifère granulaire (aquifère Academy), mais n'a pas encore été raccordé au réseau d'aqueduc municipal du secteur Village. Dans une optique de gestion de la ressource « eau potable » sur l'ensemble de son territoire, la Ville souhaite maintenant déterminer l'étendue de la ressource en eau souterraine contenue dans l'aquifère granulaire situé sous le secteur Village et le débit d'exploitation sécuritaire maximal qu'il serait possible d'extraire de cette nappe de façon pérenne dans le cadre des trois scénarios d'alimentation en eau suivants :

- Exploitation du secteur du puits Academy existant;
- Exploitation simultanée du secteur du puits Academy et du puits SU/PE-1-15;
- Exploitation sécuritaire maximale de l'aquifère Academy à partir de multiples ouvrages de captage d'eau souterraine dont la répartition spatiale serait à définir.

Afin de déterminer ces débits d'exploitation sécuritaires, la Ville de Sutton a mandaté LNA le 6 avril 2022 afin de procéder à une étude hydrogéologique (résolution 2022-04-176). Les travaux, réalisés selon les termes de l'offre de service n° 5017 comprennent 3 principaux axes :

- La construction d'un modèle hydrogéologique numérique à l'aide du logiciel de modélisation FEFLOW;
- La supervision du forage de piézomètres dans l'aquifère Academy;
- La réalisation d'un essai de pompage de longue durée.

Le présent rapport hydrogéologique se veut une synthèse des travaux réalisés dans le cadre du projet et est assorti de recommandations pour une exploitation sécuritaire et pérenne de l'aquifère granulaire sous-jacent au secteur Village.

2. LOCALISATION ET DESCRIPTION DU SECTEUR

2.1. Localisation générale

Le secteur à l'étude est situé dans la ville de Sutton, plus précisément dans le quadrant nord-est du territoire de la ville où la présence d'un aquifère granulaire productif est connue depuis quelques décennies. Les limites précises de la superficie à l'étude ont évolué au cours des travaux et au fil de l'acquisition de nouvelles données hydrogéologiques concernant l'aquifère Academy. Les puits à l'essai dans le cadre de la présente étude sont situés sur le lot 4 848 689 du cadastre du Québec. Ce lot est accessible par la rue du Puits (pour l'accès au puits Academy et au puits d'essai 1/80) et par la route provinciale 215 pour le parc de la Source où est situé le puits d'essai SU/PE-1-15.

La figure A-1¹ présente la localisation générale du secteur à l'étude, des forages et des points de mesure utilisés.

2.2. Milieu physique

2.2.1. Topographie

L'aquifère Academy se trouve dans le creux de la vallée de Sutton orientée sud-sud-ouest, nord-nord-est et se prolonge vers le nord parallèlement à la route provinciale 215 jusqu'au lac Brome et vers le sud parallèlement à l'orientation de la route provinciale 139. Cette vallée structurale est typique des basses terres appalachiennes où l'on retrouve une succession de crêtes et de dépressions suivant cette orientation (Cloutier, 1982). À quelques centaines de mètres vers l'ouest, une crête culminant à un peu plus de 250 m d'altitude limite le bassin versant du secteur, alors que vers l'est, les basses terres appalachiennes rejoignent le flanc ouest des monts Sutton. Dans ce massif montagneux, le mont Gagnon et le sommet du Roundtop culminent à 855 m et 968 m respectivement, à environ 5 km à l'est du site de captage. À environ trois kilomètres au nord du site de captage, l'élévation du sol dans le creux de la vallée de Sutton atteint un sommet local. Au nord de cette remontée topographique, les eaux s'écoulent en direction de la rivière Yamaska alors qu'au sud, elles sont dirigées vers la rivière Missisquoi.

Selon les données Lidar (Light Detection and Ranging) de la cartographie interactive du Gouvernement du Québec (Forêt ouverte), la vallée de Sutton se trouve en zone de pentes comprises entre 0 et 8 %. Les flancs délimitant cette vallée comportent des pentes contenant des pentes comprises entre 16 et 50 %, les pentes étant généralement plus prononcées en direction est. On retrouve certaines zones où les pentes sont supérieures à 50 %. Ces zones se retrouvent principalement au droit des parois d'excavation d'anciennes zones d'exploitation du granulat ainsi que sur les flancs de la rivière Sutton et de quelques-uns de ses tributaires. Les zones de pentes issues du Lidar sont présentées à la figure A-2.

¹ Les figures, graphiques, tableaux et autres documents mentionnés dans ce rapport sont numérotés selon l'annexe à laquelle ils se rapportent.

2.2.2. Dépôts de surface

La synthèse cartographique des dépôts de surface est présentée à la figure A-3 et est également issue du système d'information géominière du Québec (SIGÉOM).

Le secteur à l'étude est recouvert d'un horizon de sédiments glaciolacustres littoraux et pré-littoraux. Cette unité géologique se poursuit jusqu'à l'extrémité nord de la vallée ainsi qu'au sud sur environ trois kilomètres, suite à quoi le fond de la vallée est couvert de sédiments glaciolacustres fins d'eau profonde (argile). À l'est de la formation de sédiments tapissant le creux de la vallée, on retrouve une formation de sédiments glaciolacustres deltaïques/prodeltaïques, alors qu'à l'ouest, elle est bordée par une formation de till remanié en couverture continue.

La carte de compilation de la géologie du Quaternaire 31 H/2 (Direction des levés et de la Cartographie du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, 1983), rapporte la présence de 3 deltas dans la zone à l'étude, information qui n'apparaît plus à la synthèse géologique du SIGÉOM. Un premier delta se trouve sous le village de Sutton, un deuxième se trouve à l'emplacement de l'intersection entre le chemin Poissant et la rue Maple et un troisième se trouve au droit des sites de prélèvements des puits à l'essai. La direction du paléocourant associé aux deux premiers deltas est de l'ouest vers l'est, ce qui est cohérent avec le plus récent épisode d'érosion glaciaire alors que le troisième indique un sens d'écoulement en direction nord-ouest vers le sud-est, cohérent avec le retrait du glacier lors d'un épisode intermédiaire de glaciation (Cloutier, 1982). Un chenal est également cartographié dans la vallée de Sutton, ce chenal aurait été rempli d'un till lors du plus ancien épisode de retrait glaciaire, lequel s'est effectué de l'est-nord-est vers l'ouest-sud-ouest (Cloutier, 1982).

La cartographie des dépôts de surface ne fait pas nécessairement état de toutes les couches de sol qui seront rencontrées jusqu'à l'atteinte du roc. Dans la vallée de Sutton, une succession de couches de dépôts d'origines géologiques différentes s'enchaîne avant que le socle ne soit atteint.

2.2.3. Géologie du socle

La figure A-4 présente les différentes formations rocheuses en place et leur distribution – selon les données issues du SIGÉOM. Le socle rocheux appartient à la province géologique des Appalaches, plus particulièrement à l'intérieur du complexe de Mansville, datant du cambrien. La figure A-4 indique que le socle dans le secteur à l'étude est essentiellement constitué d'un schiste à muscovite-quartz-albite-chlorite. À l'est du secteur à l'étude, on retrouve les schistes de Sutton, essentiellement constitués de schistes hétérogènes à muscovite, quartz, albite, graphite et phyllade noir. L'aquifère à l'étude circule dans les dépôts meubles (sable, gravier) sus-jacents au socle rocheux. La conductivité hydraulique du schiste est de l'ordre de 0,2 m/jour alors que celle des dépôts sablonneux varie entre 2,5 et 45 m/jour (Todd and Mays, 2005). Pour cette raison, le roc est considéré comme étant le plancher de l'aquifère. Sa topographie est donc plus significative que sa nature dans le cadre des présents travaux, car la topographie du socle rocheux gèrera l'écoulement de l'eau souterraine dans les dépôts.

2.3. Milieu naturel et hydrique

Les puits à l'essai se trouvent dans le sous-bassin-versant d'un tributaire septentrional de la rivière Sutton, ne portant pas de nom. Ce tributaire est présenté à la figure A-5 avec le bassin versant de surface qui lui est associé. La branche principale de la rivière Sutton dévale le flanc ouest des monts Sutton selon une orientation est-ouest avant de bifurquer vers le sud dans le secteur Village. Après cette bifurcation, la rivière circule en direction sud dans la vallée de Sutton, pour rejoindre la rivière Missisquoi à Abercorn. La Rivière Missisquoi fait partie du bassin versant du Richelieu et par le fait même, du fleuve du Saint-Laurent.

Dans le secteur à l'étude, plusieurs milieux humides potentiels sont cartographiés. Selon la cartographie des milieux humides potentiels du Québec (CMHPQ), diffusée par la Direction de la connaissance écologique (DCE, 2020), on retrouve à un milieu humide potentiel de type tourbière ouverte minérotrophe (fen) dans la vallée de Sutton, de part et d'autre du chemin de la Vallée, du côté nord du Village. Ces milieux humides potentiels ont une superficie cumulative de 0,18 km². La présence d'une tourbière minérotrophe est indicatrice d'un apport d'eau riche en minéraux provenant soit d'une eau de surface circulant dans un milieu minéral ou d'un apport d'eau souterraine. À l'est de ce milieu humide potentiel, on retrouve une tourbière boisée indifférenciée d'une superficie de 0,15 km². Vers l'est et le nord-est, quelques marécages de faible superficie sont présents, notamment à proximité du chemin Montembeault (0,03 km²), au nord de la rue Sweet (0,01 km²) et le long de la rivière Sutton. Dans la vallée de Sutton, à la limite entre le bassin versant de la rivière Missisquoi et celui de la rivière Yamaska, on retrouve un assemblage important de milieux humides potentiels comportant des marais, des marécages, des tourbières boisées indifférenciées et une tourbière ouverte minérotrophe du côté du bassin versant de la rivière Yamaska. Les milieux humides du secteur sont présentés sur la figure A-5.

Il faut noter que le parc de la Source où est situé le puits d'essai SU/PE-1-15, les piézomètres SU/FE-1-15 et SU/FE-2-15 ainsi que l'ancien puits municipal 1/64 est situé dans une zone inondable de récurrence 0-2 ans selon la cartographie des contraintes au développement de la municipalité régionale de comté (MRC) de Brome-Missisquoi. Selon l'article 15 du *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (RPEP), une installation de prélèvement d'eau souterraine ne peut être aménagée dans une zone inondable de grand courant, à moins qu'elle ne serve au remplacement d'une installation pour le même usage. La délimitation précise de la zone inondable au parc de la Source pourrait être revue, puisqu'il appert qu'elle ne concorde pas avec les courbes de niveau présentées sur la cartographie. La délimitation de la zone inondable semble faire abstraction de la surélévation du terrain au droit du parc de la Source.

3. DESCRIPTION DES PUIITS D'ESSAI ET DES POINTS DE MESURE PIÉZOMÉTRIQUE

La section 3 présente les points de mesure dans l'aquifère et les forages réalisés dans le cadre de l'étude. Les piézomètres/forages portant le suffixe -22 ont été réalisés spécifiquement pour la présente étude. Leur position a été choisie afin d'obtenir des informations dans les quatre axes cardinaux par rapport au site de pompage ainsi que pour obtenir des informations géologiques dans des secteurs ciblés. Des contraintes d'accès et de droits de passage ont également dû être prises en compte.

3.1. Puits Academy

Le puits Academy a été construit en 1983 par la Compagnie international des eaux afin de remplacer le puits 1/64 situé en bordure de la route 215, qui était sujet à ensablement (Foratek, 1983). Le puits Academy est depuis la seule source d'alimentation en eau potable pour le secteur Village de Sutton.

Le puits Academy exploite une nappe captive entre les profondeurs de 53 et 65 m. La couche confinante est une couche de till peu perméable, composée d'argile, de gravier, de sable fin et de blocs occasionnels. L'épaisseur de cette couche confinante est d'environ 40 m. L'horizon compris entre la surface et cette couche confinante est composée de sable fin et de gravier.

Le puits Academy a un diamètre nominal de 600 mm (24 po) et est équipé d'une crépine d'un diamètre nominal de 300 mm (12 po); il est de type multitubé. L'espace annulaire est rempli d'un gravier gradué, mais n'est plus accessible pour les opérations de maintenance, car il a été cimenté. Lors de la construction du puits Academy, le débit de production recommandé était de 300 gallons impériaux par minute (1364 L/min) et le puits était jaillissant. À ce débit d'exploitation, le rabattement était de l'ordre de 30 m. Aucune autorisation de prélèvement n'est disponible pour ce puits, celui-ci ayant été mis en fonction avant le régime d'autorisation actuel (TechnoRem, 2020).

Un court essai de pompage a été réalisé par LNA à l'été 2021 dans le but de déterminer la capacité actuelle du puits Academy (LNA, 2021). L'essai réalisé a permis de constater que le puits Academy avait perdu en efficacité depuis sa construction et qu'il ne pouvait plus être exploité sécuritairement au débit d'origine, non pas en raison d'une perte de la ressource en eau, mais plutôt parce que les ouvertures de la crépine et le massif filtrant étaient partiellement colmatés, ce qui a entraîné une perte de charge et un rabattement projeté non compatible avec la profondeur des équipements de pompage. Le colmatage des puits crépinés est un phénomène inévitable et des opérations de maintenance (réhabilitation) doivent être opérées dans le puits à des fréquences variant selon la conception du puits, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, la granulométrie des sols dans l'aquifère et le régime d'exploitation du puits. Depuis sa construction en 1983, le puits Academy n'a jamais été réhabilité.

3.2. Puits d'essai 1/80

Le puits d'essai 1/80 a été construit en 1980 à proximité de l'emplacement où le futur puits Academy allait être implanté 3 ans plus tard (Compagnie internationale des eaux, 1980). Il a servi à réaliser les essais de pompage qui ont permis de déterminer que l'emplacement était propice à l'implantation d'un puits de production. La stratigraphie rencontrée au puits d'essai 1/80 est sensiblement la même que celle qui est rapportée par Foratek (1983) pour le puits de production. Le puits d'essai est de type multitubé, mais seul le tubage intérieur d'un diamètre nominal de 250 mm (10 po) est visible en surface. Ce tubage est doté d'une crépine d'un diamètre nominal de 200 mm (8 po) entre les profondeurs de 56,1 m et 65,2 m. Cette crépine est ceinturée d'une lanterne de sable filtrant.

Le puits d'essai 1/80 n'a pas été construit pour une utilisation à long terme; par contre, il peut être utilisé en cas de situation d'urgence ou encore pour réaliser des essais sur l'aquifère. Une inspection caméra et un essai de pompage par palier ont été réalisés sur ce puits dans le cadre du projet, principalement pour valider la faisabilité d'y installer une pompe pour les essais de pompage près de 43 ans après sa construction.

Le schéma d'aménagement extrait de l'étude de la Compagnie internationale des eaux (1980) est présenté à l'annexe B.

3.3. Puits SU/PE-1-15

Le puits d'essai SU/PE-1-15 a été construit en 2015 au droit de l'actuel parc de la Source, afin de remplacer le puits 1/64 présent à cet emplacement, mais laissé à l'abandon. En raison de la présence de ce puits, le potentiel hydrogéologique du site était connu, ce qui a motivé la sélection de ce site pour l'implantation d'un nouveau puits destiné, au moment de sa construction, à constituer une source d'eau complémentaire et/ou alternative au puits Academy.

Le puits SU/PE-1-15 est un puits jaillissant. Le puits d'essai exploite un aquifère captif intercepté sous une argile imperméable. L'aquifère exploité est confiné sous une couche d'argile entre les profondeurs de 4,6 et 15,2 m. Le puits d'essai a un diamètre nominal de 250 mm (10 po) et il est équipé d'une crépine télescopique dont les ouvertures varient entre 1,5 et 2,3 mm entre les profondeurs de 20,2 m et 25,1 m. Une chambre de pompage d'une longueur de 4 m a été aménagée sous la crépine. Le puits d'essai SU/PE-1-15 a une capacité d'exploitation maximale recommandée de 1323 L/min.

Le rapport de forage extrait de l'étude hydrogéologique pour la demande d'autorisation de prélèvement au Ministère (LNA, 2016) est présenté à l'annexe B.

3.4. Forage SU/FE-1-22

Le forage SU/FE-1-22 a été réalisé le 6 juin 2022, par l'entrepreneur Forage FTE inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. Le forage a été réalisé par la méthode de rotation percussion avec une foreuse Foremost DR24. Les déblais de forages étaient acheminés puis canalisés à l'aide d'un cyclone vers un point de collecte où ils ont été recueillis pour description.

Le forage a recoupé un mètre de remblai et un mètre de sable silteux avant de rencontrer le roc, qui a été confirmé sur trois mètres pour une profondeur de forage totale de cinq mètres. Comme il n'y avait pas d'eau dans les horizons recoupés, le forage n'a pas été aménagé en piézomètre.

Le rapport de forage est présenté à l'annexe B.

3.5. Piézomètre SU/FE-2-22

Le piézomètre SU/FE-2-22 a été foré les 7 et 8 juin 2022, par l'entrepreneur Forage FTE inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. Le forage a été réalisé par la méthode de rotation percussion avec une foreuse Foremost DR24. Les déblais de forages étaient acheminés puis canalisés à l'aide d'un cyclone vers un point de collecte où ils ont été recueillis pour description.

Le forage a recoupé le remblai qui a été mis en place pour constituer la surface du parc avant de rencontrer le sol naturel à la profondeur de 2,0 m. De façon générale, les sols rencontrés sont assimilés à un till entre les profondeurs de 2,0 m et 6,0 m, en raison de la granulométrie variée rencontrée. Entre 6,0 et 8,0 m de profondeur, un horizon de gravier sablonneux saturé est rencontré. Le roc a été rencontré à la profondeur de 8 m et a été sondé jusqu'à la profondeur de 11,0 m pour s'assurer qu'il ne s'agissait pas d'un bloc. Une crépine télescopique a été installée entre 7,0 et 8,0 m de profondeur.

Il faut noter que le niveau de l'eau dans le piézomètre SU/FE-2-22 est supérieur au plancher de la couche de remblai.

Le rapport de forage produit suite aux travaux d'aménagement du piézomètre est présenté à l'annexe B.

3.6. Piézomètre SU/FE-3-22

Le piézomètre SU/FE-3-22 a été foré les 6 et 7 septembre 2022, par l'entrepreneur Forage FTE inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. Le forage a été réalisé par la méthode de rotation percussion avec une foreuse Foremost DR12. Les déblais de forages étaient acheminés puis canalisés à l'aide d'un cyclone vers un point de collecte où ils ont été recueillis pour description.

Le forage a recoupé un sol sableux avec proportions variables de gravier, de silt et d'argile. La granulométrie était plus fine en profondeur. Le roc a été rencontré à la profondeur de 18,0 m et confirmé sur 3 m. Une crépine télescopique a été installée entre 15 et 16 m de profondeur.

Le rapport de forage produit suite aux travaux d'aménagement du piézomètre est présenté à l'annexe B.

3.7. Piézomètre SU/FE-4-22

Le piézomètre SU/FE-4-22 a été foré du 19 au 27 octobre 2022, par l'entrepreneur Forage Liégeois inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. Le forage a été réalisé à la tarière avec une récupération des échantillons à la cuillère fendue tant que la nature des dépôts le permettait. Puis, la technique du carottage a été utilisée. Les travaux ont été réalisés à l'aide d'une foreuse sur chenille Scoot Maxi. Cet équipement relativement léger a été sélectionné en fonction des contraintes d'accès au site.

Le piézomètre SU/FE-4-22 a été construit principalement pour évaluer l'impact de l'exploitation de la nappe sur le milieu humide situé à proximité. Il a été positionné le plus près du milieu humide sans y pénétrer. Le SU/FE-4-22 et le SU/FE-6-22 sont situés côte à côte, afin de permettre de mesurer l'évolution du gradient hydraulique vertical au cours de l'essai. La taille de la machinerie n'a pas permis de rejoindre la couche aquifère exploitée par le puits Academy et par le puits d'essai 1/80. Après 30 m, la production et la qualité des échantillons recueillis n'étaient plus satisfaisantes et le forage a été interrompu à 36,6 m. Une crépine de PVC d'un diamètre nominal de 38 mm a été installée entre les profondeurs de 27,9 m et 34,0 m. L'espace annulaire a été comblé d'une lanterne de sable de silice, puis scellé avec de la bentonite. Lors du retrait du tube de forage, des remontées de sable dues à la pression hydrostatique souterraine ont empêché la mise en place de bentonite entre les profondeurs de 7,6 et 19,2 m. L'espace annulaire est scellé avec de la bentonite entre la surface et la profondeur de 7,6 m.

Les sols rencontrés sont stratifiés et de granulométrie variable. Ils peuvent être assimilés à un till et semblent présenter une stratification. Le rapport de forage produit suite aux travaux d'aménagement du piézomètre est présenté à l'annexe B.

3.8. Piézomètre SU/FE-5-22

Le piézomètre SU/FE-5-22 a été foré le 26 et le 26 octobre 2022, par l'entrepreneur Forage FTE inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. Le forage a été réalisé par la méthode de rotation percussion avec une foreuse Foremost DR-24. Les déblais de forages étaient acheminés puis canalisés à l'aide d'un cyclone vers un point de collecte où ils ont été recueillis pour description.

Le forage a recoupé un sol sableux entre la surface et la profondeur de 10,0 m. Entre 30 et 40 m de profondeur, les sols sont silteux, gris foncé, peu humides et relativement uniformes. À partir de 40 m, les sols deviennent plus grossiers et saturés. Un aquifère de sable et gravier est rencontré à partir de 44 m de profondeur. Le socle rocheux a été rencontré à la profondeur de 51 m et a été confirmé sur 1,2 m.

Une crépine a été installée entre 49,8 m et 50,9 m de profondeur. Quelques semaines après son aménagement, le piézomètre SU/FE-5-22 est jaillissant.

Le rapport de forage produit suite aux travaux d'aménagement du piézomètre est présenté à l'annexe B.

3.9. Piézomètre SU/FE-6-22

Le piézomètre SU/FE-6-22 a été foré du 19 au 27 octobre 2022, par l'entrepreneur Forage Liégeois inc. sous la supervision du personnel technique de LNA. La technique et les équipements utilisés étaient les mêmes que pour le piézomètre SU/FE-4-22, les contraintes de terrain étaient aussi les mêmes.

Le piézomètre SU/FE-6-22 a été aménagé dans les dépôts superficiels à proximité du milieu humide, dans la poursuite des objectifs énoncés au point 3.6. Une crépine de PVC d'un diamètre nominal de 38 mm a été installée entre les profondeurs de 1,5 m et 3 m. L'espace annulaire autour de la crépine a été comblé d'une lanterne de sable de silice et un scellement de bentonite a ensuite été installé.

Le rapport de forage produit suite aux travaux d'aménagement du piézomètre est présenté à l'annexe B.

3.10. Piézomètre SU/FE-1-15

Le piézomètre SU/FE-1-15 a été construit en octobre 2015 dans le cadre de l'étude hydrogéologique réalisée par LNA en 2016. Il a été foré à proximité de l'emplacement où le puits d'essai SU/PE-1-15 a par la suite été aménagé. C'est ce forage qui a permis de recueillir les échantillons qui ont servi à sélectionner la crépine du puits d'essai. La stratigraphie rencontrée est sensiblement la même que pour le puits d'essai SU/PE-1-15. Une crépine télescopique a été installée entre les profondeurs de 24,7 m et 25,8 m, le piézomètre est jaillissant.

Le rapport de forage extrait de l'étude hydrogéologique pour la demande d'autorisation de prélèvement au Ministère (LNA, 2016) est présenté à l'annexe B.

3.11. Piézomètre SU/FE-2-15

Le piézomètre SU/FE-2-15 a été construit en octobre 2015 dans le cadre de l'étude hydrogéologique réalisée par LNA en 2015. Le forage a été réalisé pour constituer un point de mesure du niveau de l'eau au cours de l'essai de pompage qui a été réalisé dans le cadre de cette étude. Le forage a intercepté un aquifère granulaire confiné par une couche d'argile sous la profondeur de 16,5 m. Une crépine télescopique a été installée entre les profondeurs de 24,4 m et 25,5 m, le piézomètre est jaillissant.

Le rapport de forage extrait de l'étude hydrogéologique pour la demande d'autorisation de prélèvement au Ministère (LNA, 2016) est présenté à l'annexe B.

3.12. Pointe milieu humide

Une pointe a été installée dans la portion eau libre de la tourbière ouverte. Une tige de fer a été battue au refus et une section crépinée de tubage de PVC d'un diamètre nominal de 50 mm y a été fixée afin de pouvoir accueillir une sonde d'enregistrement automatisée du niveau de l'eau. La partie inférieure de la section crépinée entrait dans le sédiment organique présent au fond de l'eau sur quelques centimètres.

4. PIÉZOMÉTRIE ET INSTRUMENTATION DE L'AQUIFÈRE

Comme l'aquifère est confiné, le pompage en un point donné peut générer un rabattement du niveau piézométrique sur plusieurs centaines de mètres (Chapuis, 1999). L'aquifère est en exploitation depuis les années 1960 et cette exploitation ne peut être interrompue plus de quelques heures, puisqu'il constitue l'unique source d'approvisionnement en eau potable de la ville. La mesure du niveau piézométrique statique (représentatif des écoulements naturels en l'absence de pompage) est donc problématique. Vu son caractère jaillissant, les études réalisées dans le passé sur l'aquifère n'ont d'ailleurs pas permis de déterminer la direction d'écoulement naturelle de l'eau souterraine. Des approximations basées sur la topographie ont dû être utilisées.

Néanmoins, dans le but de tenter de mesurer la piézométrie dans un état le plus statique possible, avant la réalisation de l'essai de pompage, le régime de pompage a été réduit au minimum en fonction de la consommation municipale et une première tournée de mesure des niveaux d'eau a été effectuée dans les points de mesure présentés à la section 3. Cette tournée s'est effectuée en fin de journée le 30 janvier 2023 pour se terminer le lendemain matin. À la toute fin de l'essai de pompage, toutes les pompes ont été mises à l'arrêt pour une durée d'environ 5 h et l'approvisionnement en eau de la ville a été assuré dans l'intérim par le réservoir d'eau potable municipal. Une seconde tournée de mesure des niveaux d'eau a été effectuée à cette date, soit le 6 avril 2023.

Dans les deux cas, le niveau ne peut réellement être qualifié de statique. Dans le premier cas, l'aquifère était en exploitation au puits Academy pour alimenter la ville et dans le second cas, le rabattement causé par l'essai de pompage n'a pas eu le temps de récupérer complètement.

Les niveaux d'eau ont été mesurés à l'aide d'une sonde électronique manuelle permettant de mesurer la distance verticale entre le niveau de la surface piézométrique et un point de repère connu (le dessus des tubages dans le cas présent). Ces points de repère connus ont été relevés par la firme d'arpentage Daniel Touchette arpenteur-géomètre inc. qui a fourni les coordonnées en x, y et z. L'élévation géodésique du niveau piézométrique a pu être calculée et est présentée dans le tableau 1 situé à la page suivante.

Tableau 1 : Mesures piézométriques en conditions statiques*

Point de mesure piézométrique	Puits Academy	Puits d'essai 1/80	Puits d'essai SU/PE-1-15	Piézomètre SU/FE-2-22	Piézomètre SU/FE-3-22	Piézomètre SU/FE-4-22	Piézomètre SU/FE-5-22	Piézomètre SU/FE-6-22	Piézomètre SU/FE-1-15	Piézomètre SU/FE-2-15	Piézomètre MH
Élévation du point de repère	181,22	181,43	177,68	178,11	222,32	180,30	181,25	180,24	177,37	177,44	178,61
Élévation du point de mesure (crépine)	≈ 116 à 128	≈ 116 à 125	151,50 à 156,40	168,11 à 169,11	205,33 à 206,33	145,21 à 151,39	130,35 à 131,35	176,15 à 177,65	150,39 à 151,47	150,77 à 151,85	≈ 177 à 177,5
Élévation de l'eau le 30 et 31 janvier 2023	166,12	174,73	178,31	175,85	219,24	179,04	181,30	178,79	178,32	178,31	177,46
Élévation de l'eau le 6 avril 2023	175,28	175,82	177,85	176,20	219,75	179,09	180,04	178,91	178,58	178,65	Gelé

* Le texte accompagnant le tableau démontre que les conditions pour que les niveaux piézométriques mesurés soient considérés comme « statiques » et donc représentatifs des conditions d'écoulement naturel n'étaient pas réunies. Ces conditions sont pratiquement impossibles à atteindre, en raison de l'impossibilité d'interrompre l'exploitation du puits Academy pour des périodes prolongées.

4.1. Instrumentation

Des sondes de mesure de pression automatisées de type Levelogger ont été installées dans les puits à l'étude avant le début de l'essai de pompage. Les sondes ont été programmées pour mesurer et enregistrer la pression à intervalle de 10 min pour la durée de l'essai. La pression mesurée par la sonde est une pression absolue. Une correction barométrique est effectuée pour transformer la donnée en hauteur d'eau. Une sonde d'enregistrement automatisée de la pression barométrique de type Barologger a été disposée à l'air libre sur le site pour obtenir les données nécessaires pour effectuer la correction. L'intervalle d'enregistrement des mesures de cette sonde était également de 10 min.

Les caractéristiques des équipements utilisés sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau 2 : Caractéristiques des équipements

Point de mesure	Marque	Modèle	Numéro de série
Puits Academy	Solinst	M100	62038719
Puits d'essai 1/80	Solinst	M100	2147289
SU/FE-2-22	Solinst	M100	2165076
SU/FE-3-22	Solinst	M100	2165709
SU/FE-4-22	Solinst	M100	2061922
SU/FE-5-22	Solinst	M100	2165077
SU/FE-6-22	Solinst	M100	2165072
SU/FE-1-15	Solinst	M100	2165070
SU/FE-2-15	Solinst	M100	2165067
Pointe milieu humide	Solinst	M10	1038677
Pression barométrique	Solinst	M 1,5	2164501

À l'exception de la sonde utilisée dans le puits Academy et celle utilisée dans la pointe du milieu humide, toutes les sondes utilisées étaient neuves. Les sondes utilisées ont une précision correspondant à 0,05 % de leur plage de lecture. Les modèles M100 ont une plage de 100 m et donc une précision de ± 5 cm alors que le modèle M10 a une plage de 10 m et une précision de ± 5 mm.

À noter que la sonde qui était dans le puits d'essai 1/80 a fait défaut durant l'essai de pompage. Les données manuelles devront être utilisées pour l'analyse du comportement de ce puits.

5. ESSAI DE POMPAGE

L'essai de pompage s'est déroulé du 30 janvier 2023 au 6 avril 2023. Le suivi quotidien des activités de pompage a été réalisé par le personnel de Sutton conformément aux termes de l'offre de service n° 5017.

Deux lieux de prélèvement ont été utilisés pour réaliser l'essai de pompage. Le secteur du puits Academy et le secteur du parc de la Source, en bordure de la route 215. Dans le premier secteur, le débit de pompage a été réparti entre le puits Academy existant (qui alimentait la ville durant les essais) et le puits d'essai 1/80 situé à environ 5 m du puits Academy. Le débit a été réparti entre ces deux puits pour éviter d'endommager le puits Academy en augmentant son régime de pompage. Ce puits a plus de 40 ans, n'a jamais été réhabilité et constitue la seule source d'alimentation en eau du secteur Village. Aucun risque technique supplémentaire ne pouvait être imposé à cet ouvrage.

Une pompe d'essai temporaire a été installée dans le puits d'essai 1/80 par un entrepreneur mandaté par la Ville. L'eau pompée était acheminée vers un cours d'eau sans nom situé à environ 40 m au nord du puits d'essai à l'aide d'une conduite flexible d'un diamètre nominal de 75 mm. Une valve de contrôle du débit était installée à la tête de puits pour contrôler le débit de pompage. Le débit de pompage a été mesuré au cours de l'essai à l'aide d'un tube de Pitot.

L'eau pompée dans le puits Academy était quant à elle acheminée vers le réservoir d'eau potable de la ville. Le débit de pompage était contrôlé par l'onduleur du moteur de la pompe et mesuré à l'aide du débitmètre existant sur la tuyauterie municipale. Le personnel technique de Sutton se chargeait de maintenir le débit de pompage le plus constant possible.

Dans le second secteur, le puits d'essai SU/PE-1-15 a été équipé d'une pompe d'essai temporaire par un entrepreneur mandaté par la Ville. L'eau pompée était acheminée vers un cours d'eau sans nom situé à environ 35 m au nord-ouest du puits d'essai SU/PE-1-15 à l'aide d'une conduite flexible d'un diamètre nominal de 75 mm. Une valve de contrôle du débit était installée à la tête de puits pour contrôler le débit de pompage. Le débit de pompage a été mesuré au cours de l'essai à l'aide d'un tube de Pitot.

L'eau pompée qui était acheminée vers des cours d'eau ne pouvait contribuer significativement à la recharge de l'aquifère durant l'essai pour les raisons qui suivent :

- Présence connue d'une couche imperméable entre la surface et l'aquifère testé et;
- La contribution du rejet d'eau pompé au débit total du cours d'eau est relativement négligeable par rapport à l'eau libre y circulant déjà.

5.1. Chronologie du pompage et comportement de l'aquifère

L'essai de pompage s'est déroulé selon la chronologie présentée au tableau qui suit :

Tableau 3 : Chronologie et débits de pompage

Date	Événement	Débit de pompage au puits Academy (m ³ /jour)	Débit de pompage au puits d'essai 1/80 (m ³ /jour)	Débit de pompage au puits d'essai SU/PE-1-15 (m ³ /jour)	Débit de pompage cumulatif dans l'aquifère du secteur Village (m ³ /jour)
30 janvier 2023	Début du pompage à débit constant au puits Academy.	511	0	0	511
8 février 2023	Atteinte d'une stabilité au puits Academy.	600	0	0	600
13 février 2023	Mise en marche du puits d'essai 1/80.	590	1080	0	1670
1er mars 2023	Atteinte d'une stabilité au couple de puits Academy et puits d'essai 1/80.	557	1080	0	1637
2 mars 2023	Mis en marche du puits d'essai SU/PE-1-15.	557	1080	1685	3322
8 mars 2023	Atteinte d'une stabilité au puits d'essai SU/PE-1-15.	554	1080	1685	3319
10 mars 2023	Arrêt du pompage au puits d'essai SU/PE-1-15.	536	1080	0	1616
23 mars 2023	Arrêt du pompage au puits d'essai 1/80.	536	0	0	536
6 avril 2023	Fin de l'essai de pompage.	0	0	0	0

Les graphiques de l'annexe C illustrent le comportement de l'aquifère au cours de l'essai de pompage de longue durée. De façon générale, l'examen du comportement de l'aquifère au cours de l'essai de pompage de longue durée permet de faire les constats suivants :

- Le pompage du couple puits Academy/Puits d'essai 1/80 a un impact le plus prononcé sur le puits SU/FE-5-22 qui est celui dont la stratigraphie est la plus similaire à celle qui est rencontrée au droit de ces 2 puits d'essai. Le pompage de ce couple de puits cause également un rabattement mesurable dans les puits SU/FE-2-22, SU/FE-4-22 et les puits du parc de la Source, bien que moins prononcé;
- Le pompage du puits d'essai SU/PE-1-15 au parc de la source a un impact plus prononcé sur les puits SU/FE-2-22, SU/FE-4-22 et les piézomètres SU/FE-1-15 et SU/FE-2-15. Un impact est également mesurable dans le puits Academy et le puits d'essai 1/80 ainsi que dans le piézomètre SU/FE-6-22;

- Le piézomètre SU/FE-6-22 implanté à 3 m de profondeur dans le sol à proximité du milieu humide a exhibé un rabattement de l'ordre de 3 cm lorsque le puits Academy et le puits d'essai 1/80 sont en pompage et de l'ordre de 11 cm additionnels lorsque le puits d'essai SU/PE-1-15 est mis en marche;
- Le piézomètre SU/FE-3-22 a exhibé une tendance moyenne à la baisse au cours de l'essai de pompage, mais lorsque les fluctuations piézométriques de ce puits sont observées sur une période de temps plus grand, il est possible de constater que le niveau y fluctue de façon naturelle. L'impact de l'essai de pompage n'y est pas perceptible;
- Avant l'essai de pompage, le gradient vertical au droit du couple de piézomètres SU/PE-4-22 et SU/PE-6-22 est du haut vers le bas. C'est-à-dire que l'aquifère confiné suinte vers la surface. Lorsque l'aquifère est exploité, ce gradient vertical est inversé, c'est-à-dire que l'eau suinte de la surface vers l'aquifère confiné. La différence d'élévation (Δh) entre les points de mesure (crépine) des piézomètres SU/FE-4-22 et SU/FE-6-22 est de 24,8 m. La différence de charge (Δz) est de +0,18 m lorsque tous les puits sont à l'arrêt le 6 avril 2023 alors qu'elle est de -4,5 m lorsque tous les puits sont en pompage. Le gradient vertical statique à cet emplacement est de +0,7 % alors qu'il est de -18 % lorsque les puits sont en pompage.

5.2. Caractéristiques hydrogéologiques en pompage

Dans le cas d'un aquifère captif, le calcul de la transmissivité (T) et du coefficient d'emmagasinement (S) peut être réalisé à partir du régime transitoire des courbes de pompage avec l'approximation de Cooper-Jacob. La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement ont donc été calculés selon les formules suivantes :

$$T = \frac{2,30 \cdot Q}{4\pi \cdot \Delta s} \text{ et } S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

où :

- T = transmissivité (m²/min)
- Q = débit constant pompé (m³/min)
- Δs = différence de rabattement sur un cycle logarithmique (m)
- S = coefficient d'emmagasinement (sans unité)
- t_0 = temps lorsque rabattement = 0 m (min)
- r = distance entre le puits pompé et le puits interprété (m)

La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement ont été calculés à partir de la courbe semi-logarithmique du pompage au puits d'essai 1/80, du puits d'essai SU/PE-1-15 et aux piézomètres ayant respectivement réagi au pompage de ces puits. Le coefficient d'emmagasinement n'a pas été calculé pour les puits pompés directement, car l'emmagasinement dans le tubage du puits particulièrement pour des puits de grands diamètres fausse le résultat (Chapuis, 2004). Les résultats sont présentés dans le tableau 4 qui suit et le détail des résultats des calculs est présenté au tableau récapitulatif des paramètres de l'aquifère présenté à l'annexe D.

Tableau 4 : Transmissivité et coefficient d'emménagement en pompage

Puits pompé / puits d'observation	Transmissivité T (m ² /min)	Coefficient d'emménagement S* (sans unités)
Puits d'essai 1/80 / Puits d'essai 1/80	5,64 x 10 ⁻²	-
Puits d'essai 1/80 / Puits Academy	6,17 x 10 ⁻²	1,6 x 10 ⁻⁴
Puits d'essai 1/80 / Piézomètre SU/FE-4-22	6,27 x 10 ⁻¹	3,59 x 10 ⁻³
Puits d'essai 1/80 / Piézomètre SU/FE-5-22	1,44 x 10 ⁻¹	4,09 x 10 ⁻⁴
SU/PE-1-15 / SU/PE-1-15	7,19 x 10 ⁻²	-
SU/PE-1-15 / SU/FE-1-15	8,47 x 10 ⁻²	6,66 x 10 ⁻¹
SU/PE-1-15 / SU/FE-2-15	8,28 x 10 ⁻²	2,55 x 10 ⁻³
SU/PE-1-15 / SU/FE-4-22	9,90 x 10 ⁻²	2,55 x 10 ⁻⁵

* Pour un aquifère à nappe captive, le coefficient d'emménagement est inférieur à 10⁻². La valeur calculée valide le fait que l'aquifère considéré est bien captif.

La valeur de conductivité hydraulique (K) est en fonction de la transmissivité, calculée à partir de l'essai de pompage, et de l'épaisseur saturée de la formation aquifère (b). Dans le cas présent, cette épaisseur saturée est considérée comme étant la distance entre le plancher de l'aquifère ou le fond du puits et le plancher de la couche imperméable confinante. Les conductivités hydrauliques calculées à partir de la relation ci-dessous, pour les puits et les piézomètres, sont présentées dans le tableau 5 ci-bas.

$$K = \frac{T}{b} \text{ où : } b = \text{épaisseur saturée de la formation aquifère (m)}$$

Tableau 5 : Conductivité hydraulique de l'aquifère lors du pompage de l'aquifère

Puits pompé / puits d'observation	Épaisseur de l'aquifère b (m)	Conductivité hydraulique K (m/jour)	Conductivité hydraulique K (m/s)
Puits d'essai 1/80 / Puits d'essai 1/80	9,1	8,9	1,03 x 10 ⁻⁴
Puits d'essai 1/80 / Puits Academy	12	7,4	8,57 x 10 ⁻⁵
Puits d'essai 1/80 / Piézomètre SU/FE-4-22	8,8	102,8	1,19 x 10 ⁻³
Puits d'essai 1/80 / Piézomètre SU/FE-5-22	11	18,8	2,18 x 10 ⁻⁴
SU/PE-1-15 / SU/PE-1-15	11,6	8,9	1,03 x 10 ⁻⁴
SU/PE-1-15 / SU/FE-1-15	10,6	11,5	1,33 x 10 ⁻⁴
SU/PE-1-15 / SU/FE-2-15	9,0	13,2	1,53 x 10 ⁻⁴
SU/PE-1-15 / SU/FE-4-22	8,8	16,2	1,88 x 10 ⁻⁴

5.3. Caractéristiques hydrogéologiques en remontée

La remontée au puits d'essai 1/80 ne peut être utilisée pour calculer les paramètres de l'aquifère, car le puits Academy à proximité a été remis en mode automatique trop rapidement après l'arrêt du pompage, ce qui a entraîné des variations piézométriques qui nuisent à l'analyse de la courbe de pompage. Au puits d'essai SU/PE-1-15, la remontée a été suivie suite à l'arrêt du pompage de façon manuelle et automatisée. Le graphique C-8 de l'annexe C présente le rabattement résiduel au puits SU/PE-1-15 en fonction du log de t/t' .

Les caractéristiques de l'aquifère ont été estimées à partir de la partie transitoire de la courbe de remontée au puits SU/PE-1-15. L'équation utilisée pour l'interprétation des données obtenues au cours de la remontée est celle de Theis avec l'approximation de Cooper-Jacob. L'équation s'écrit comme suit :

$$T = \frac{2,30 \cdot Q}{4\pi \cdot \Delta s'}$$

où :

- s' = niveau piézométrique statique (avant pompage) moins niveau piézométrique au temps t' pendant la remontée (m)
- t = temps depuis le début de l'essai de pompage (min)
- t' = temps depuis l'essai de remontée (min)

La transmissivité ainsi évaluée et la conductivité hydraulique, calculée à partir de la relation présentée au-dessus avec $K = T/b$ sont présentées dans le tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6 : Transmissivité en remontée

Puits d'essai	Transmissivité T (m ² /min)	Épaisseur de l'aquifère b (m)	Conductivité hydraulique K (m/jour)	Conductivité hydraulique K (m/sec)
SU/PE-1-15	4,63 x 10 ⁻²	11,6	345	3,99 x 10 ⁻³

5.4. Appréciation globale des résultats

De façon générale, les paramètres de l'aquifère témoignent de la présence à Sutton d'un aquifère qui est captif et qui est composé d'un dépôt de sable silteux si l'on se réfère aux valeurs types de la littérature (figure 3.2.2. du Todd, 2005)

Les paramètres de l'aquifère qui ont été calculés dans les sections précédentes l'ont été sur la base de théories mathématiques qui ont été élaborées sur la base d'aquifères que l'on suppose horizontale, homogène, isotrope, infinie et d'épaisseur constante (Chapuis, 2004). L'étude de la topographie, de la géologie et les résultats des forages réalisés ont démontré que ces hypothèses ne sont pas respectées à Sutton.

La modélisation numérique permet de prendre en compte les variations dans les caractéristiques et la géométrie des aquifères dans des calculs réalisés sur des éléments finis à l'aide d'ordinateurs. Cet outil a été proposé à la Ville afin de raffiner les calculs et préciser les patrons d'écoulement locaux. Les paramètres de l'aquifère qui ont été calculés plus haut serviront de valeurs de base pour lancer les calculs dans le modèle numérique, discuté plus en détail à la section 6.

6. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET ÉLABORATION DU MODÈLE CONCEPTUEL

L'objectif de l'étude est de pouvoir estimer la capacité de l'aquifère Academy. Une évaluation de ce type est complexe, car il faut combiner de nombreux paramètres en trois dimensions et des variables dans le temps tel que la recharge et le débit de pompage. L'utilisation d'un modèle numérique est indiquée pour ce genre d'étude. Il est donc indispensable de construire un modèle hydrogéologique 3D qui sera intégré dans un modèle numérique. Après avoir validé le modèle en procédant à une étape de calibration, il est alors possible d'effectuer des simulations prédictives dans le but de déterminer la capacité de l'aquifère à long terme.

Pour établir un modèle hydrogéologique le plus fidèle possible, il est nécessaire de recenser toutes les informations existantes. En général, une synthèse entre les cartes géologiques, les descriptions stratigraphiques des forages et les rapports disponibles est nécessaire. Dans le cadre de cette étude, les données provenant des rapports et des avis suivants ont été utilisées :

- Compagnie internationale des eaux (Québec) ltée. (1980). Municipalité de la ville de Sutton. Étude hydrogéologique pour localiser un site de construction d'un nouveau puits – Réf : 4-1-01-1923-20;
- FORATEK INTERNATIONAL (1983). Ville de Sutton. Puits rue Academy. Rapport n° 566. Projet n° FFGH83001;
- Technorem inc. (2013). Ville de Sutton. Conformité au règlement sur le captage des eaux souterraines de l'ouvrage de captage Academy alimentant la ville de Sutton Réf. : PR11-75;
- LNA (2010). Rapport inspection par géocaméra près de la route 215. Puits existant. N/Réf : 09-6050-1334.
- LNA (2015). Expertise hydrogéologique. Alimentation en eau potable. Puits municipal non exploité route 215. N/Réf. : 09-6050-3053;
- LNA (2016). Ville de Sutton. Alimentation en eau potable / Étude hydrogéologique. Construction du puits de production SU/PE-1-15. N/Réf. : 09-6050-3127;
- Les services EXP inc. (2018). Ville de Sutton. Étude géotechnique. Réfection d'infrastructures municipales dans le noyau villageois Rues Oak, Curley et Western, Sutton. Réf : SUTV-00246515-00-55-00;
- Technorem inc. (2020). Rapport d'analyse de la vulnérabilité du puits Academy alimentant en eau potable la ville de Sutton. Numéro du puits Academy : X2045510-2Rapport final. Réf. : PR19-78
- LNA (2021). Avis hydrogéologique – Puits Academy, Sutton. N/Réf. : 09-6050-4808;
- Poly-Géo inc. (2022). Approvisionnement en eau, Ville de Sutton. Photo-interprétation des matériaux de surface. Carte 2 Préliminaire.

De plus, les autres données disponibles dans le secteur comme celles extraites de la base de données du système d'information hydrogéologique (SIH), du SIGÉOM et celles tirées du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Montérégie Est (PACES MTRE). Les points suivants proposent une description synthétique de ce travail et des méthodes qui ont été utilisées pour évaluer les différents paramètres.

6.1. Élaboration du modèle conceptuel

6.1.1. Délimitation de la zone d'étude modélisée.

L'étape initiale pour la création du modèle conceptuel est la délimitation de la zone d'étude, puisqu'elle permet de limiter la recherche de données à cette zone et d'établir les conditions aux limites du modèle. En général, le périmètre du bassin versant est choisi comme limite du modèle. Ainsi, afin de favoriser une approche sécuritaire en délimitant une surface du modèle, l'exutoire du bassin versant a été fixé à environ 4,5 km au sud des puits municipaux, au niveau de la rivière Sutton. La délimitation du bassin versant est extraite de la base de données du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF).

La superficie du modèle est d'approximativement 45 200 000 m². Dans cette zone, de nombreux cours d'eau permanents (souvent sans nomination) ou intermittents sont présents et alimentent la rivière Sutton.

Les limites du modèle sont présentées à la figure A-6. Sur cette figure, on présente aussi la localisation des points de mesure utilisés pour la calibration du modèle numérique.

6.1.2. Inventaire des forages répertoriés dans le secteur à l'étude et topographie

Lors des différentes études qui ont eu lieu dans la vallée de la rivière Sutton pour la recherche en eau réalisée par la ville de Sutton, plusieurs forages ont été réalisés dans le but de connaître la stratigraphie, les propriétés des matériaux rencontrés et le potentiel de production d'eau de ceux-ci. Par ailleurs, l'inventaire des puits répertoriés dans le PACES a aussi été réalisé et les informations contenues dans cette base de données ont été prises en compte. L'ensemble de ces informations ainsi que les données cartographiques ont permis d'élaborer le modèle hydrogéologique 3D. La localisation des différents forages répertoriés est présentée à la figure A-6. Dans le cas présent, seuls les puits recensés dans les rapports hydrogéologiques et géotechniques remis à LNA présentent des descriptions stratigraphiques précises et ceux-ci sont localisés dans une zone restreinte à l'intérieur du modèle. En revanche, les données de forage extraites du PACES MTRE sont nombreuses et relativement bien réparties. Par contre, les descriptions stratigraphiques sont souvent sommaires et la distinction entre les différentes formations est imprécise, en particulier pour les formations granulaires. De plus, les forages ne sont pas toujours localisés adéquatement dans la base de données, car elles sont essentiellement issues du SIH.

Un modèle hydrostratigraphique 3D est proposé par le PACES et la profondeur des interfaces entre les différentes formations a été interpolée. Dans le secteur à l'étude, le modèle du PACES est composé de 4 couches qui sont présentées dans le tableau 7, situé à la page suivante, auquel nous avons associé les 7 formations que constitue notre modèle numérique.

Tableau 7 : Lien en entre les modèles et les dépôts de surface

Modèle hydrostratigraphique issu du PACES	Modèle hydrogéologique retenu
Dépôts au-dessus de l'argile	Sédiment glaciolacustre littoral et pré littoral (LGb) Sédiment glaciolacustre deltaïque et prodeltaïque (LGd)
Dépôts d'argile	Sédiment marin fin d'eau profonde (Ma) (et/ou Till continu (Tc))
Dépôts en dessous de l'argile	Sédiment juxtaglacière (Gx) Till remanié (Tr) Till mince (Tm) Till continu (Tc)
Roc	Roc

Selon les descriptions de forages présents dans les rapports consultés, on peut définir presque le même profil stratigraphique. Pour la création du modèle hydrogéologique, les informations du PACES pour l'épaisseur des formations, des données de forages présentées dans les rapports et de la carte des dépôts de surface (SIGEOM) ont été combinées. On notera que les formations alluvionnaires (Ap) et les formations des marécages et des marais (Om) ont été intégrées dans les formations encaissantes afin de simplifier le modèle. Le choix de ces simplifications a donc été réalisé en fonction des données disponibles et de l'état actuel de la compréhension du système hydrogéologique en place. La topographie sur l'ensemble de la zone d'étude est typique d'un paysage montagneux. Les hauts topographiques sont représentés par les sommets rocheux dont le point culminant est à plus de 950 m en bordure de modèle alors que les altitudes les plus basses sont localisées au niveau des cours d'eau pour atteindre un minimum de 148 m à l'exutoire de la rivière Sutton. Pour comprendre l'agencement des formations et faciliter leur visualisation, trois coupes verticales ont été réalisées. La localisation des coupes est présentée sur la figure A-7 et les coupes sont présentées sur la figure A-8.

6.1.3. Détermination de l'élévation du roc et de l'épaisseur des dépôts de surface

Dans un contexte de terrain accidenté comme Sutton, la géométrie de l'aquifère joue un rôle prépondérant dans l'écoulement de l'eau souterraine. Pour bien modéliser la zone aquifère, il est primordial de déterminer l'élévation de l'interface entre les différentes formations qui se superposent. Par leurs propriétés hydrogéologiques et leurs géométries, ils définissent le sens d'écoulement de l'eau souterraine et même de surface.

Le principe général est d'estimer l'épaisseur de chaque formation en place sur l'ensemble de la zone d'étude et de soustraire ces épaisseurs à l'élévation de la surface fournie par les données du LiDAR pour ainsi créer des couches matricielles de l'élévation de chacune des formations. Dans le cas présent, les couches matricielles correspondantes aux épaisseurs de chacune des formations issues du modèle hydrostratigraphique du PACES ont été utilisées. Ensuite, les épaisseurs des différentes formations ont été corrigées avec les informations présentes dans les rapports de forage (études hydrogéologiques, PACES) ainsi que les informations présentées sur la carte de Poly-Géo, surtout pour localiser les affleurements rocheux.

La méthodologie qui a été appliquée est la suivante dans le cas du roc :

- Importer les nœuds du maillage (Feflow) dans QGIS;
- Extraire l'élévation du sol (LiDAR) pour chacun des nœuds;
- Extraire les épaisseurs totales des dépôts (PACES) pour chacun des nœuds;
- Corriger, si applicable, les épaisseurs avec les données de forages et la carte de Poly-Géo;
- Soustraire l'épaisseur totale corrigée des dépôts de surface à l'élévation du sol (LiDAR) afin d'obtenir l'élévation du roc.

Cette méthodologie a été appliquée pour chacune des formations présentées dans le tableau 7.

La figure A-9 présente la topographie du roc interpolé et l'épaisseur des dépôts meubles interpolés sur l'ensemble du modèle.

Concernant la vallée de la rivière Sutton, très peu d'informations étaient disponibles mis à part la douzaine de forages décrits dans les études hydrogéologiques réalisées depuis les années 80. L'essentiel des puits recensés dans la base de données du PACES est localisé en dehors de la vallée, ce qui s'explique par le fait que le puits Academy alimente le secteur Village alors que les autres résidences sont alimentées par des puits privés. Les épaisseurs et la répartition des formations dans la vallée ont été interpolées en considérant les hypothèses suivantes :

- L'élévation du toit de la formation argileuse ou peu perméable (MGa ou Tc dans le tableau 7) a été fixée à 174 m d'élévation (moyenne des observations faites dans les rapports de forage). La répartition de cette formation est donc limitée à la zone où l'élévation du roc est inférieure à 174 m dans la vallée;
- L'épaisseur de la formation aquifère, considérée entre la formation argileuse et le roc, a été fixée en considérant les données des forages les plus proches, la topographie et la réalisation de l'écoulement de l'eau dans la vallée. Bien que peu de données soient disponibles pour estimer son épaisseur et sa répartition, celle-ci est très importante. En effet, les crépines des puits municipaux sont toutes installées dans cette formation.

L'étendue présumée de la formation confinante ou peu perméable est présentée à la figure A-9. Les limites de cette formation auraient avantage à être précisées, lors des futurs travaux de forage ou de géophysique comme le démontreront les sections qui suivent, la couche d'argile joue un rôle significatif dans le comportement de la nappe. La sismique réfraction pourrait être utilisée pour établir le profil en coupe de l'argile, mais également du socle rocheux dans le creux de la vallée de Sutton.

6.1.4. Modèle conceptuel

Le modèle conceptuel qui a été élaboré est synthétisé de la manière suivante :

- La zone d'étude est recouverte de dépôts de surface perméables, quand ils sont composés de sable et gravier, et moins perméables lorsque la granulométrie est fine ou très hétérogène, comme pour les tills composés d'un mélange d'argile, de silt, de sable, de gravier et parfois de blocs. L'épaisseur des dépôts est faible ou nulle sur les hauts topographiques et peut être importante (jusqu'à 60-70 m) à proximité de la rivière localisée au fond de la vallée principale (vallée de la rivière Sutton);
- Les dépôts de surface sont composés de dépôts d'origine glaciaire et de dépôts récents. Ces formations sont plus ou moins perméables en fonction de leur granulométrie. Dans ces formations, l'eau circule à travers les pores. Dans le modèle, on distingue les formations suivantes :
 - Les dépôts glaciolacustres perméables ont été mis en place dans des contextes littoraux, pré-littoraux, deltaïque et pré-deltaïque. Ces dépôts ont été déposés soit le long des rives ou dans les lacs proglaciaires, soit dans les deltas. Ils sont généralement composés de sable et de gravier souvent bien triés, mais peuvent contenir tout de même un peu silt;
 - Les dépôts glaciolacustres imperméables ont été mis en place dans des contextes en eau profonde. Ils sont composés de silt et d'argile et sont relativement peu perméables. Dans le modèle, c'est cette formation qui confine la formation aquifère qui est exploitée par le puits;
 - Les dépôts fluvioglaciaires (juxtaglaciaires) sont essentiellement composés de sable et gravier, et parfois de blocs ainsi que du till. Ils peuvent former plusieurs types de structures géologiques caractéristiques (ex. : eskers, kames, deltas-kames, crêtes morainiques). Dans le modèle, cette formation perméable est affleurante et repose sur le roc. Dans le modèle, cette formation est localisée dans les mini-vallées creusées par les cours d'eau qui alimentent la rivière Sutton. Ces dépôts constituent probablement le lieu où s'infiltre l'eau des précipitations qui s'écoule ensuite vers l'aquifère exploité;
 - Les tills sont composés de matériaux hétérogènes et la perméabilité peut varier de peu perméable à perméable. Ils sont généralement constitués de débris continentaux localisés à la surface ou dans le glacier. Ces débris hétérogènes se déposent lors du retrait du glacier. Ils s'emboîtent les uns dans les autres pour former une unité relativement compacte. Dans le modèle, cette formation recouvre l'ensemble du territoire sauf aux endroits où le roc affleure;
 - Les dépôts de till remanié constituent la formation dans laquelle les puits municipaux sont installés dans le modèle. Selon la stratigraphie recoupée lors des forages, elle est composée de sable et gravier et est donc perméable. Cependant, cette formation peut être aussi composée de matériaux hétérogènes ressemblant plus à du till conventionnel. Dans le modèle, cette formation peut être présente en surface, mais est surtout localisée sous les dépôts glaciolacustres peu perméables. Selon l'interprétation des essais de pompage, cette formation peut être subdivisée sous 2 formations distinctes : la première rassemble les dépôts plus perméables localisés dans le secteur du puits SU/PE-1-15 à l'ouest de vallée de la rivière Sutton.; la seconde formation correspond au secteur est de la vallée, où est installé le puits Academy qui est constitué de dépôts un peu moins perméables. Ces deux formations reposent directement sur le roc. L'eau y est acheminée essentiellement par infiltration à travers les dépôts en marge de la formation argileuse autour de la vallée, et par cette même formation présente en surface dont les épaisseurs sont variables;

- Le roc a été considéré homogène sur l'ensemble du modèle, bien qu'il soit composé de différentes formations de schiste. En effet, trop peu d'informations concernant les paramètres hydrogéologiques de ces différentes formations ont été recensées sur la zone d'étude pour les différencier. La formation est considérée comme semi-perméable à peu perméable. Dans le roc, l'eau circule à travers les fractures. Les orientations et les connexions du réseau de fractures ne sont pas bien connues, il a donc été considéré comme un milieu poreux équivalent afin de faciliter la modélisation des écoulements;
- Ainsi, le modèle proposé est composé de formations distinctes :
 - Dépôts glaciolacustres littoraux;
 - Dépôts glaciolacustres deltaïques;
 - Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde;
 - Dépôts juxtaglaciaires;
 - Till remanié (ouest);
 - Till remanié (est)
 - Till mince;
 - Till continu;
 - Roc.

Dans le modèle conceptuel, l'aquifère exploité par les puits peut être considéré comme captif, semi-captif ou libre en fonction de la nature et de l'épaisseur des formations sus-jacentes. Au droit des puits municipaux, il est captif alors qu'en marge de la formation peu perméable présente dans la vallée, la nappe est plutôt libre. Un point important à préciser est que le modèle a été considéré à saturation variable : lorsque le milieu est insaturé, le modèle de Van Genuchten est utilisé pour calculer la perméabilité relative du milieu. Donc, pour les calculs, les conditions de confinement du modèle s'ajustent automatiquement en fonction du contexte. Les valeurs attribuées pour ce modèle sont issues d'une étude réalisée par Sadeghi et al., en 2017.

Sur l'ensemble du secteur à l'étude, la recharge se fait principalement par les précipitations. Les écoulements sont dirigés vers les cours d'eau qui permettent de drainer l'eau. Localement, ils permettent aussi d'alimenter la nappe souterraine en fonction du contexte piézométrique.

La figure A-10 illustre schématiquement le modèle conceptuel établi.

6.1.5. Paramètres hydrogéologiques

Dans le cas présent, les valeurs initiales attribuées à chacun des paramètres hydrogéologiques sont présentées dans le tableau 8 situé à la page suivante. Elles correspondent aux valeurs mesurées, calculées ou issues de la littérature.

Tableau 8 : Paramètres hydrogéologiques considérés pour la modélisation numérique

Paramètre	Lithologie	Valeur initiale	Intervalle de calibration
Conductivité hydraulique (m/s)	Dépôts glaciolacustres littoraux	1×10^{-5}	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	1×10^{-5}	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	5×10^{-7}	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6}$
	Dépôts juxtaglaciaires	5×10^{-4}	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
	Till remanié (ouest)	2×10^{-4}	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
	Till remanié (est)	1×10^{-4}	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
	Till mince	1×10^{-6}	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
	Till continu	1×10^{-6}	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
	Roc	1×10^{-6}	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
Recharge (mm/an)	Dépôts glaciolacustres littoraux	200	100 - 300
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	200	100 - 300
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	50	1 - 100
	Dépôts juxtaglaciaires	300	150 - 500
	Till remanié (ouest)	250	150 - 400
	Till remanié (est)	250	150 - 400
	Till mince	150	50 - 250
	Till continu	150	50 - 250
	Roc	150	20 - 250
Porosité totale (-)	Dépôts glaciolacustres littoraux	0,41	-
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	0,41	-
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	0,38	-
	Dépôts juxtaglaciaires	0,43	-
	Till remanié (ouest)	0,43	-
	Till remanié (est)	0,43	-
	Till mince	0,39	-
	Till continu	0,39	-
	Roc	0,01	-
Paramètres de Van Genuchten Ss – Sr α (m-1) – n	Dépôts glaciolacustres littoraux	1 - 0,1 $1,24 \times 10^{-3} - 2,28$	-
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	1 - 0,1 $1,24 \times 10^{-3} - 2,28$	-
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	1 - 0,18 $8 \times 10^{-5} - 1,09$	-
	Dépôts juxtaglaciaires	1 - 0,1 $1,45 \times 10^{-3} - 2,68$	-
	Till remanié (ouest)	1 - 0,1 $1,45 \times 10^{-3} - 2,68$	-
	Till remanié (est)	1 - 0,1 $1,45 \times 10^{-3} - 2,68$	-
	Roc	1 - 0,1 $1,45 \times 10^{-3} - 2,68$	-

Paramètre	Lithologie	Valeur initiale	Intervalle de calibration
Paramètres de Van Genuchten Ss – Sr α (m-1) – n (suite)	Till mince	1 - 0,26 5,9 x 10 ⁻⁴ – 1,48	
	Till continu	1 - 0,26 5,9 x 10 ⁻⁴ – 1,48	-
	Roc	1 - 0,1 1,45 x 10 ⁻³ – 2,68	-
Coefficient d'emmagasinement spécifique (m-1)	Dépôts glaciolacustres littoraux	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻²
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻²
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻²
	Dépôts juxtaglaciaires	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻³
	Till remanié (ouest)	1 x 10 ⁻⁵	1 x10 ⁻⁶ - 1 x10 ⁻³
	Till remanié (est)	1 x 10 ⁻⁵	1 x10 ⁻⁶ - 1 x10 ⁻³
	Till mince	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻²
	Till continu	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁵ - 1 x10 ⁻²
	Roc	1 x 10 ⁻⁴	1 x10 ⁻⁶ - 1 x10 ⁻⁴

6.2. Élaboration et résultats du modèle numérique

Suite à l'élaboration du modèle conceptuel, le logiciel Feflow a été utilisé pour la modélisation numérique. Feflow est un logiciel qui permet de simuler les écoulements de l'eau souterraine en deux ou trois dimensions, dans un milieu (poreux ou fracturé) à saturation variable, en régime permanent ou transitoire. Feflow résout les équations d'écoulement à l'aide de la méthode des éléments finis. Dans le cas présent, le maillage en trois dimensions est composé de prismes triangulaires. Les paramètres hydrogéologiques sont précisés pour chaque cellule et des conditions aux limites sont attribuées sur les nœuds.

Le modèle numérique 3D a été réalisé pour répondre aux objectifs de la présente étude qui sont de déterminer le volume d'eau qui peut être prélevé dans l'aquifère. Le maillage est composé de 71 640 nœuds et de 115 905 éléments répartis en 5 couches. Les équations d'écoulement utilisées sont celles relatives à un milieu à saturation variable et les conditions de confinement ou non de la nappe dépendent du contexte imposé par les conditions aux limites et les propriétés du milieu.

6.2.1. Conditions initiales et conditions aux limites

Dans un modèle numérique, il est nécessaire de fixer des conditions initiales, telles que les paramètres hydrauliques de chaque lithologie ou encore le prélèvement d'eau pour un puits de pompage, ainsi que des conditions aux limites. On distingue trois types de conditions aux limites :

- Type 1 (Dirichlet) : potentiel imposé (charge fixe);
- Type 2 (Neumann) : flux imposé (gradient fixe);
- Type 3 (Cauchy) : combinaison entre le potentiel et le flux.

Dans le modèle de Sutton, les cours d'eau ont été considérés comme des conditions aux limites de type 1. Afin de définir une charge aux nœuds des rivières, des points de contrôle ont été établis à plusieurs endroits sur ces dernières. Ensuite, l'élévation de la surface topographique a été attribuée à ces points de contrôle pour fixer l'élévation de la nappe libre. Des interpolations linéaires entre les différents points de contrôle ont, par la suite, permis d'attribuer les élévations aux autres nœuds qui composent ces cours d'eau. Il est important de mentionner que les lacs, étangs et les cours d'eau (intermittents ou fossés) n'ont pas été pris en compte dans la modélisation. Aux limites du modèle (bordure), une condition de type 2 (flux nul) a été imposée puisqu'il s'agit d'une limite de bassin versant. La figure A-11 présente la structure géologique du modèle et les conditions aux limites du modèle réalisé sur Feflow.

On peut préciser que la couche à la surface a une épaisseur d'un mètre sur l'ensemble du modèle. Celle-ci a été créée afin de pouvoir définir une conductivité particulière au lit des cours d'eau.

6.2.2. Calibration en régime transitoire

Lors de la modélisation numérique, la calibration du modèle est une étape primordiale. C'est lors de la calibration que les paramètres hydrogéologiques sont ajustés afin de reproduire le plus précisément possible ce qui a été observé sur le terrain. Une fois calibré, donc si les données simulées sont suffisamment proches de ce qui a été observé (niveaux piézométriques, rabattements, etc.), le modèle conceptuel peut être validé et des simulations prédictives peuvent être réalisées. La calibration est faite en fonction des données d'observation disponibles. Dans le cas présent, elle a été divisée en deux étapes :

- Calibration en régime transitoire de la piézométrie;
- Calibration en régime transitoire des rabattements et ajustements manuels.

La calibration du modèle est complexe puisqu'il s'agit de modifier les valeurs des paramètres hydrogéologiques pour que les données simulées soient le plus proches de celles mesurées. Chacun des paramètres comme la conductivité hydraulique de chacune des formations ou la recharge a un effet sur la piézométrie de la nappe ou les rabattements créés lors des pompages. Il est donc possible de calibrer manuellement ou d'utiliser des approches mathématiques qui permettent de tester de multiples combinaisons de valeurs. La méthode manuelle est longue et fastidieuse, car elle permet la variation d'un seul paramètre à la fois alors que de multiples combinaisons de valeurs sont possibles. Par exemple, il est possible d'augmenter le niveau piézométrique en faisant varier le taux de recharge (augmentation) ou en modifiant la conductivité hydraulique d'une formation. Il faut aussi considérer que plusieurs formations avec des propriétés différentes sont présentes dans le modèle et que le changement des paramètres hydrogéologiques d'une seule formation peut entraîner un changement des paramètres des autres formations. Les possibilités sont donc nombreuses.

Le modèle PEST est une méthode mathématique qui permet d'ajuster les paramètres hydrogéologiques par calibration inverse en considérant l'effet de chaque paramètre en fonction des autres pour que les données simulées soient le plus proches de celles mesurées. Il est nécessaire ensuite que la solution proposée par le modèle PEST soit vérifiée et que les paramètres soient ajustés en fonction des valeurs mesurées sur le terrain comme la conductivité hydraulique estimée suite à un essai de pompage.

6.2.2.1. Calibration en régime transitoire – Piézométrie

De manière générale, la première étape de calibration est souvent réalisée en régime permanent pour simuler la piézométrie quand la nappe est à son niveau statique. Lors de la calibration en régime permanent, la piézométrie était anormalement haute par rapport à ce qui a été observé en 2023 dans les puits et les puits d'observations suivis pendant le pompage. Ainsi plusieurs modifications ont été nécessaires. Entre autres, la stratégie de calibration a été revue pour être réalisée directement en régime transitoire. Dans le cas de Sutton, la nappe est exploitée depuis 1964 (puits 1/64) et probablement en quasi-permanence par le puits Academy depuis 1983. À notre connaissance, aucune mesure de niveau d'eau n'a été prise lorsque le niveau de la nappe était statique puisque le temps de récupération du rabattement n'est jamais suffisant. Ceci explique pourquoi la piézométrie locale et les directions des écoulements n'ont pas été présentées dans ce rapport. Ainsi des débits de pompage ont été fixés au puits 1/64 et au puits Academy, en considérant un débit journalier probable :

- 600 m³/jour de 1964 à 1983 au puits 1/64;
- 600 m³/jour de 1963 à 2015 au puits Academy;

À partir de 2015 et jusqu'en 2022, les données collectées pour produire les déclarations de prélèvement (envoyées au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP)) ont été utilisées pour déterminer le débit journalier moyen annuel à appliquer au modèle jusqu'au 30 janvier 2023. Les données sont présentées dans le tableau 9 :

Tableau 9 : Débit journalier de prélèvement d'eau moyen au puits Academy

Année	Débit journalier moyen (m ³ /jour)
2015	748
2016	627
2017	682
2018	691
2019	629
2020	630
2021	599
2022	570

Cette étape de calibration permet d'ajuster le niveau de la nappe sur l'ensemble du modèle et de faciliter les calculs pour les étapes suivantes de calibration, en particulier pour essayer de reproduire les rabattements observés lors du pompage de 2023. Le paramètre utilisé pour comparer les niveaux piézométriques mesurés avec ceux simulés est la RMS (root mean square ou écart quadratique moyen). La RMS correspond à la racine carrée de la moyenne des carrés des écarts. Ainsi, une correspondance parfaite entre les niveaux piézométriques mesurés et simulés se traduit par une RMS nulle. Une RMS égale à 2 signifie que les données simulées ont un écart inférieur à 2 m par rapport aux données mesurées.

La simulation avec les paramètres initiaux a abouti à une RMS beaucoup trop élevée pour être jugée acceptable (>20). La calibration a alors été effectuée en faisant varier la recharge et la conductivité hydraulique des formations avec le module FePEST, qui est un module intégré dans Feflow permettant l'application du modèle PEST. La simulation avec les paramètres calibrés a abouti à une RMS, pour l'ensemble des données, de 3,26 m. Les résultats sont présentés dans le graphique E-1 et les paramètres calibrés puis ajustés sont présentés dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 10 : Paramètres calibrés dans le modèle numérique

Paramètre	Lithologie	Valeur initiale	Valeur calibrée et ajustée
Conductivité hydraulique (m/s)	Dépôts glaciolacustres littoraux	1 x10 ⁻⁵	3 x10 ⁻⁵
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	1 x10 ⁻⁵	3 x10 ⁻⁵
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	5 x10 ⁻⁷	1 x10 ⁻⁶ 5 x10 ⁻⁶ (partie sud)
	Dépôts juxtaglaciaires	5 x10 ⁻⁴	5 x10 ⁻⁴
	Till remanié (ouest)	2 x10 ⁻⁴	1,5 x10 ⁻⁴
	Till remanié (est)	1 x10 ⁻⁴	3 x10 ⁻⁵
	Till mince	1 x10 ⁻⁶	1 x10 ⁻⁶
	Till continu	1 x10 ⁻⁶	1 x10 ⁻⁶
	Roc	1 x10 ⁻⁶	1 x10 ⁻⁷
Recharge (mm/an)	Dépôts glaciolacustres littoraux	200	170
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	200	170
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	50	20
	Dépôts juxtaglaciaires	300	200
	Till remanié (ouest)	250	160
	Till remanié (est)	250	160
	Till mince	150	80
	Till continu	150	105
	Roc	150	20

Paramètre	Lithologie	Valeur initiale	Valeur calibrée et ajustée
Coefficient d'emmagasinement spécifique (m ⁻¹)	Dépôts glaciolacustres littoraux	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Dépôts glaciolacustres deltaïques;	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Dépôts juxtaglaciaires	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Till remanié (ouest)	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁴
	Till remanié (est)	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶
	Till mince	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Till continu	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
	Roc	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴

6.2.2.2. Calibration en régime transitoire – Pompage 2023

La seconde étape de calibration consistait à réaliser des simulations en régime transitoire afin de reproduire les données de rabattements mesurés lors de l'essai de pompage qui a été réalisé à partir du 12 février 2023 jusqu'au 6 avril 2023, effectué aux puits Academy, P-1/80 et PE-1-15 et puits PE-4.

La calibration a alors été effectuée en faisant varier la recharge, la conductivité hydraulique et le coefficient d'emmagasinement avec le module FePEST. Le tableau 11 ci-dessous présente les caractéristiques de chaque séquence de pompage ainsi que les données mesurées et simulées, alors que le graphique E-2 présente l'ensemble des niveaux d'eau observés et simulés.

Tableau 11 : Comparaison entre les rabattements mesurés et les rabattements simulés – Calibration

Séquence de pompage	Puits pompé	Q (m ³ /jour)	Puits observé	Rabattement mesuré (m)	Rabattement simulé (m)	Différence (m)
Séquence 1 30 janvier au 13 février 2023	P. Academy P. 1/80 PE-1-15	511 – 600 0 0	P. Academy	1,85	0,41	1,44
			FE-1-15	0,64	-0,01	0,65
			FE-2-15	0,78	-0,01	0,79
			FE-2-22	-0,08	-0,01	-0,07
			FE-3-22	0,06	0,00	0,06
			FE-4-22	0,20	-0,02	0,22
			FE-6-22	-0,04	0,00	-0,04
Séquence 2 13 février au 1 ^{er} mars 2023	P. Academy P. 1/80 PE-1-15)	590 1080 0	P. Academy	13,59	12,73	0,86
			P. 1/80	20,46	24,49	-4,03
			FE-1-15	0,77	0,97	-0,20
			FE-2-15	0,70	0,91	-0,21
			FE-2-22	0,04	0,28	-0,24
			FE-3-22	0,02	0,04	-0,02
			FE-4-22	0,86	3,35	-2,49
FE-5-22	2,35	0,13	2,22			
FE-6-22	-0,02	0,57	-0,59			

Séquence de pompage	Puits pompé	Q (m ³ /jour)	Puits observé	Rabatement mesuré (m)	Rabatement simulé (m)	Différence (m)
Séquence 3 1 ^{er} mars au 10 mars 2023	P. Academy P. 1/80 PE-1-15	557 -554 1080 1685	P. Academy	14,58	13,48	1,10
			P. 1/80	21,71	25,60	-3,89
			FE-1-15	8,17	8,85	-0,68
			FE-2-15	6,88	6,91	-0,03
			FE-2-22	2,03	1,85	0,18
			FE-3-22	0,18	0,07	0,11
			FE-4-22	4,86	4,02	0,84
			FE-5-22	3,59	0,72	2,87
FE-6-22	0,09	0,71	-0,62			
Séquence 4 10 au 23 mars 2023	P. Academy P. 1/80 PE-1-15	536 1080 0	P. Academy	8,99	12,73	-3,74
			P. 1/80	21,37	24,97	-3,60
			FE-1-15	0,63	1,74	-1,11
			FE-2-15	0,62	1,67	-1,05
			FE-2-22	-0,20	0,78	-0,98
			FE-3-22	0,15	0,08	0,07
			FE-4-22	0,96	3,99	-3,03
			FE-5-22	3,32	0,56	2,76
FE-6-22	-0,02	0,71	-0,73			
Séquence 5 23 mars au 6 avril 2023	P. Academy P. 1/80 PE-1-15	536 0 0	P. 1/80	-1,08	-1,42	0,34
			FE-1-15	-0,32	0,54	-0,86
			FE-2-15	-0,28	0,54	-0,82
			FE-3-22	-0,39	0,03	-0,42
			FE-4-22	0,55	0,68	-0,13
			FE-5-22	1,22	0,27	0,95
FE-6-22	-0,12	0,15	-0,27			

La calibration en régime transitoire des essais de pompage a permis d'affiner les valeurs attribuées à la conductivité hydraulique et au coefficient d'emmagasinement spécifique des formations. Pour cela, les courbes de rabattement simulées et mesurées ont été comparées. La simulation avec les paramètres calibrés a abouti à une RMS pour l'ensemble des données de 1,63 m pour les rabattements. De manière générale, le pompage simulé dans le logiciel Feflow reproduit les tendances observées sur le terrain.

Les rabattements simulés aux puits Academy, 1/80 et PE-1-15 sont proches ceux observés. Par contre, on peut remarquer que le niveau piézométrique simulé au puits Academy est plus élevé (6 à 10 m). D'une manière générale, l'ensemble des puits d'observations ont réagi en simulation. On peut observer que les puits proches du puits PE-1-15 présentent des rabattements simulés plus élevés que ce qui a été observé. De plus dans les simulations, on observe un rabattement simulé plus faible au puits d'observation FE-5-22 ainsi qu'une réaction plus importante lors du pompage du puits PE-1-15 que lors du pompage combiné des puits Academy et 1/80. En ce qui concerne les puits d'observation FE-4-22 et FE-6-22 localisés en bordure de la zone humide, les données simulées permettent de reproduire assez fidèlement le changement de gradient. On passe d'un gradient vertical environ +0,5 % avant le pompage du puits d'essai 1/80 à un gradient de -13 % lorsque les 3 puits pompent simultanément alors que les gradients observés étaient de +0,7 et 18 % respectivement.

Différentes raisons peuvent expliquer cette différence entre les niveaux piézométriques observés et simulés :

- Le modèle hydrogéologique 3D intégré dans Feflow est un modèle simplifié. Les simplifications du modèle telles que la géométrie, la répartition et l'agencement des dépôts ne reflètent pas tout à fait la réalité;
- L'hétérogénéité et l'anisotropie à l'intérieur de chaque formation ne sont pas prises en compte. Cependant, n'ayant aucune information sur la localisation de ces hétérogénéités et sur leur extension spatiale, il n'a pas été possible de les représenter dans le cadre de ce projet;
- L'eau et les écoulements de surface ne sont pas considérés;
- Le lien hydraulique entre les cours d'eau et l'aquifère n'est pas réellement connu;
- Les élévations du sol utilisées dans le modèle ont été extraites du LiDAR et peuvent légèrement différer de la valeur mesurée sur le terrain. L'interpolation de l'élévation effectuée dans Feflow peut engendrer des variations supplémentaires;
- Les changements saisonniers tels que les précipitations et la température n'ont pas été considérés dans les simulations. Il est pourtant certain que le niveau de la nappe varie au cours de l'année, à cause des variations annuelles de la recharge et de l'exploitation de l'aquifère par exemple;
- Certaines valeurs piézométriques simulées constituent une moyenne journalière, mensuelle ou annuelle, alors que certaines valeurs piézométriques observées ont été mesurées à un moment précis. À titre indicatif, le niveau piézométrique peut varier de plus de cinq mètres annuellement entre la période de nappe haute et de nappe basse, et de plusieurs dizaines de mètres dans la journée en fonction de l'activité du puits;

Compte tenu des résultats globaux simulés malgré les différentes approximations mentionnées ci-dessus, les résultats présentés dans les graphiques E-1 et E-2 ainsi qu'au tableau 11 de la page précédente sont considérés comme acceptables. La figure A-12 présente la piézométrie simulée lorsqu'il n'y a pas de prélèvement alors que la figure A-13 présente la piézométrie et les lignes d'écoulement de l'eau lorsque les puits Academy (750 m³/jour) et PE-1-15 (750 m³/jour) sont en pompage.

6.2.3. Validation du modèle et sensibilité des paramètres d'entrée

Pour valider le modèle, il a été décidé de simuler l'essai de pompage qui a été réalisé au puits PE-1-15 (en 2015) et de comparer les rabattements observés dans les puits d'observation qui avaient été suivis (PE-1-15, FE-1-15, FE-2-15 et 1/64). Le graphique E-3 permet de comparer les rabattements simulés et observés pendant l'essai de pompage de 72 h. Globalement les rabattements maximums observés à la fin du pompage sont bien reproduits. Cependant, on peut remarquer qu'en réalité les rabattements étaient stabilisés très rapidement alors que dans le modèle numérique il n'y a pas de stabilisation, mais plutôt une diminution progressive de l'augmentation du rabattement. On observe aussi ce phénomène sur le graphique figure E-2 avec le pompage réalisé en 2023. On notera aussi dans les 2 cas que la remontée des niveaux d'eau est plus rapide en réalité que ce qui est simulé. Les mêmes raisons que celles citées dans la section précédente peuvent expliquer ces différences (hétérogénéité, géométrie, simplification, rôle des cours d'eau, etc.). On peut tout de même estimer que le modèle est valide et qu'en réalité, l'aquifère exploité au droit de puits PE-1-15 est probablement plus performant que celui simulé.

Selon le *Guide de présentation des travaux de modélisation hydrogéologique* (publié en 2020). Une analyse de sensibilité est utilisée pour circonscrire les paramètres qui jouent les rôles les plus importants sur le comportement du système. Dans la présente étude, l'analyse de sensibilité permet de déterminer quels paramètres ont une influence décisive sur la provenance de l'eau, l'effet du prélèvement et la recharge. Une analyse de sensibilité complète est une étude complexe, qui doit être réalisée avec minutie, et qui demande pratiquement autant de temps que la modélisation en elle-même, puisqu'elle permet de vérifier les paramètres calibrés.

Dans le cas présent, une analyse de sensibilité a été réalisée sur les paramètres suivants : débit journalier, conductivité hydraulique, recharge et influence des cours d'eau, en faisant varier un seul paramètre à chaque fois. La stratégie adoptée a été d'augmenter ou de réduire la valeur du paramètre analysé pour l'ensemble des formations du modèle et de comparer la répartition des lignes d'écoulement de l'eau allant au puits, pour un pompage de 750 m³/jour du puits Academy, avec les résultats du modèle calibré. Dans le cas des rivières, les nœuds avec des conditions aux limites de type 1 qui représente les 2 cours d'eau tributaires à l'est des puits ont été retirés afin d'observer effets de ceux-ci.

Une analyse de sensibilité complète nécessiterait, en plus de cette variabilité d'un seul paramètre pour toutes les formations, d'analyser l'effet de la variation d'un paramètre d'une seule formation par rapport aux autres ou encore la variation d'un paramètre pour deux ou plusieurs formations simultanément. Ces opérations pourraient aussi être répétées en faisant varier différents paramètres en même temps. Les possibilités sont nombreuses et plus il y a de formation, plus le nombre de possibilités et le temps nécessaire augmentent de façon exponentielle.

Les résultats de l'analyse de sensibilité basique réalisée sont présentés dans le tableau 12 :

Tableau 12 : Effets sur la superficie de l'aire d'alimentation des principaux paramètres d'entrée utilisés pour la détermination des aires de protection

Paramètre	Modification de la valeur du paramètre	Effet sur la superficie couverte par les lignes d'écoulement
Débit journalier moyen d'exploitation (Q)	Diminution	Diminution
	Augmentation	Augmentation
Conductivité hydraulique (K)	Diminution	Diminution
	Augmentation	Augmentation
Recharge (R)	Diminution	Pas d'effet notable
	Augmentation	Pas d'effet notable
Rivière	Retrait	Augmentation

Il est important de mentionner que l'interprétation de ces observations est à relativiser. Bien que les lignes d'écoulement soient toujours observables, l'effet des modifications est parfois totalement différent de ce qui a été observé sur le terrain, en particulier d'un point de vue piézométrique ou de la direction des écoulements. L'effet sur la superficie de l'aire couverte par les lignes d'écoulement suite à la modification de chacun des paramètres doit donc être considéré avec précaution, de même que la recharge.

Selon ces observations, le débit d'exploitation, les conductivités hydrauliques (en particulier pour l'aquifère et la formation peu perméable sus-jacente), et la présence ou non des cours d'eau sont les paramètres les plus sensibles. Concernant les débits, les aires de protection devront être mises à jour si le débit moyen journalier est modifié. Pour la conductivité hydraulique, des essais de pompage ou de perméabilité dans les autres formations que l'aquifère pourrait permettre de réduire les incertitudes liées à ce paramètre. Pour améliorer le modèle, des travaux de géophysique ainsi que la réalisation de forages avec des descriptions stratigraphiques précises bien répartis spatialement sur le modèle aideraient à mieux considérer l'hétérogénéité des formations, la géométrie et leurs étendues, afin de mieux reproduire les écoulements souterrains.

Dans le modèle produit, le rôle des cours d'eau est prépondérant. On peut observer sur la figure A-14 que le retrait des cours d'eau entraîne une plus grande propagation des lignes d'écoulement ainsi qu'une plus grande superficie couverte par celle-ci. En effet, il faut bien comprendre que dans un bassin versant, les écoulements que ce soit en surface ou souterrains sont dirigés vers les points les plus bas, soit d'une manière générale vers les dépressions comme le fond des vallées, pouvant former des cours d'eau. Dans le modèle, les rivières permettent alors de retirer le surplus d'eau afin d'ajuster le niveau de la nappe à celui fixé (l'élévation fournie par le Lidar ici) ou dans ajouter.

Dans le cas présent, on a considéré que les cours d'eau permettaient de diriger les écoulements de l'ensemble de ces pseudo-bassins-versants vers le puits Academy. Même si les lignes d'écoulements ne sont pas réparties sur l'ensemble de la vallée comme illustré sur la figure A-14 avec le retrait des cours d'eau, il faut bien considérée que toute cette zone contribue à l'alimentation en eau de l'aquifère présent au fond la vallée de la rivière Sutton. Cette théorie pourrait être vérifiée en réalisant par exemple des essais de traçage. Le rôle des cours d'eau dans le modèle explique pourquoi les variations de la recharge n'ont pas vraiment d'effet sur les lignes d'écoulement. L'augmentation de la recharge dans cette partie du modèle ne change pas vraiment la propagation et la répartition des lignes d'écoulement allant vers l'est puisque l'apport supplémentaire en eau est retiré par la rivière (condition de type 1). Celle-ci draine l'ensemble de la zone à cause des fortes pentes causées par le relief et de la perméabilité élevée de la formation des dépôts juxtaglaciaires.

Dans ce contexte, la recharge telle qu'appliquée dans le modèle n'est pas vraiment représentative de la réalité et très sous-estimée. Pour une évaluation plus précise, la recharge pourrait être estimée en utilisant d'autres modèles d'interpolations plus spécifiques (comme HELP qui est utilisé dans les projets PACES par exemple). L'utilisation d'un modèle couplant les écoulements souterrains et les écoulements de surface serait probablement la meilleure option. Le suivi du débit de chacun des cours d'eau serait aussi pertinent et pourrait être considéré dans les modèles.

6.2.4. Bilan hydrologique de l'aquifère et quantité d'eau disponible maximum

Un bilan hydrologique du bassin versant des puits a été réalisé avec plusieurs méthodes. Les limites du bassin versant des puits sont présentées sur la figure A-12. L'aire du bassin est de 8 916 976 m², soit un peu moins de 20 % de la zone modélisée sur Feflow.

D'une manière très simple, il est possible d'estimer le volume des précipitations qui participent à la recharge de l'aquifère et ainsi de pouvoir proposer un débit d'exploitation. Dans cette étude, on peut considérer d'une manière conservatrice que seules les précipitations (solides et liquides) contribuent à l'apport en eau dans le bassin versant des puits. Par année, on peut considérer que les précipitations sont d'environ 1300 mm (selon Ouranos.ca). En général, on retire environ 45 % des précipitations pour le ruissellement, ce qui laisse 715 mm/an. Ensuite, on retire 70 % pour le phénomène d'évapotranspiration, donnant 215 mm/an qui correspondrait à la quantité disponible pour la recharge de l'aquifère. Ainsi, on peut estimer que les précipitations fournissent 31 403 m³/jour en moyenne et que 5182 m³/jour sont destinés à la recharge de l'aquifère pour le bassin versant amont des puits. Sur l'ensemble de la zone modélisée, le volume journalier apporté par les précipitations serait de 160 985 m³ et 26 962 m³ seraient destinés à la recharge de l'aquifère, soit 16,5 % du volume initial.

Le même exercice a été réalisé avec le modèle numérique calibré. Le tableau 13 présente le détail des superficies des différentes formations présentes dans le modèle et la recharge concernée; il est possible de constater que la recharge fournit la totalité du volume soutiré. Selon notre compréhension du système hydrogéologique, ce bilan hydrique est acceptable.

Tableau 13 : Bilan hydrologique sur l'ensemble de l'aire d'alimentation des puits Academy et SU/PE-1-15

Recharge (mm/an)	Superficie de l'aire d'alimentation concernée (m ²)	Débit (m ³ /jour)
20	810806	44
80	2197594	481
105	348661	100
160	261447	115
170	3997287	1862
200	1201179	658
Volume journalier entrant sur la totalité du bassin versant des puits		3260
Volume journalier recommandé = volume sortant		3260 maximum

Selon notre compréhension du système hydrogéologique, le volume d'eau entrant pouvant contribuer à la recharge de l'aquifère est sous-estimé, que ce soit dans le modèle ou dans le calcul théorique. En ce qui concerne le modèle numérique, les variations du paramètre de la recharge ne montraient pas d'effets notables à cause des conditions aux limites de type 1 fixées au niveau des cours d'eau notamment. Il était donc possible d'augmenter fortement la recharge afin d'obtenir un bilan plus conséquent, mais l'approche conservatrice a été choisie et des taux de recharge plutôt bas par rapport au type de formation ont été attribués.

On peut considérer que le volume de 5182 m³ est aussi probablement sous-estimé. Si on prend en compte le contexte géomorphologique et hydrogéologique, il est possible de proposer l'hypothèse suivante :

- Le bassin versant des puits présente un relief montagneux et les précipitations si elles ne sont pas infiltrées dans le sol sont dirigées vers les différents cours d'eau qui sillonnent à travers les montagnes. Ces cours d'eau sont des tributaires de la rivière Sutton et avant de se jeter dans la vallée, ils sont capables de fournir de l'eau et de recharger l'aquifère présent dans cette vallée. Ce processus est applicable seulement quand les dépôts sont relativement perméables, c'est-à-dire tant que la couche de dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde n'est pas encore présente pour limiter ou empêcher l'eau de s'écouler.

En extrapolant, on peut donc supposer que le ruissellement ne provoque de pertes en ce qui concerne la quantité d'eau apportée par les précipitations. La perte d'eau causée par le ruissellement est donc négligeable ou au moins en partie. Si seul le phénomène d'évaporation est considéré, alors le volume d'eau permettant de recharger l'aquifère serait de 9528 m³/jour.

On peut donc estimer que le volume d'eau journalier contribuant à la recharge de l'aquifère exploité par les puits Academy et SU/PE-1-15 est compris entre 3200 et 9500 m³ par jour.

6.2.5. Effet de l'exploitation des puits Academy et SU/PE-1-15 – Détermination du débit d'exploitation maximum

L'objectif du mandat étant de déterminer le débit d'exploitation maximal pouvant être extrait dans le secteur du puits Academy, dans le secteur du puits SU/PE-1-15 et l'ensemble des 2 secteurs, plusieurs simulations ont été réalisées avec le modèle numérique calibré.

Ainsi, une première simulation a été réalisée au puits Academy avec un débit imposé de 750 m³/jour en régime permanent, ce qui est relativement similaire au prélèvement actuel, voire légèrement supérieur. Une deuxième simulation a été réalisée à la capacité nominale du puits Academy, soit 1968 m³/jour. Enfin une troisième simulation a permis d'estimer le débit maximum que peut soutirer le puits Academy en fixant comme règle le fait de ne pas abaisser le niveau de la nappe en dessous du toit de l'aquifère, soit à l'interface entre la couche confinante et l'aquifère, à environ 161 m d'élévation. La figure A-15 présente les lignes d'écoulements des différents scénarios simulés ainsi que le rabattement de la nappe créée par ces prélèvements à long terme. Le tableau 14 présente les données correspondant au bilan hydraulique calculé par le logiciel à l'intérieur du bassin versant des puits.

Tableau 14 : Bilan de l'eau entrant et sortant dans le bassin versant des puits – Résultats des simulations numériques

Bilan	Débit journalier	Unité	Cours d'eau		Puits	Recharge	Transfert avec le reste du modèle	
			Entrant	Sortant	Sortant	Entrant	Entrant	Sortant
Simulation de référence	0	m ³ /jour	5510	8766	0	3208	8854	8806
Secteur Academy	750	m ³ /jour	5620	8213	750	3208	2891	2755
		Différence en %	2 %	-6 %	-	0 %	-67 %	-69 %
		Différence en m ³ /jour	110	-554	750	0	-5964	-6051
	1968	m ³ /jour	5819	7335	1968	3208	2917	2641
		Différence en %	6 %	-16 %	-	0 %	-67 %	-70 %
		Différence en m ³ /jour	309	-1431	1968	0	-5937	-6165
	Débit max. (él. eau = 146 m)	m ³ /jour	5794	7424	1838	3208	2914	2653
		Différence en %	5 %	-15 %	-	0 %	-67 %	-70 %
		Différence en m ³ /jour	284	-1342	1838	0	-5940	-6152
Secteur PE-1-15	750	m ³ /jour	5566	8291	750	3208	2909	2641
		Différence en %	1 %	-5 %	-	0 %	-67 %	-70 %
		Différence en m ³ /jour	56	-475	750	0	-5945	-6164
	1968	m ³ /jour	5670	7578	1905	3208	2996	2391
		Différence en %	3 %	-14 %	#DIV/0!	0 %	-66 %	-73 %
		Différence en m ³ /jour	160	-1188	1905	0	-5859	-6415
	Débit max. pour él. niv. eau = 161 m	m ³ /jour	5832	6991	2963	3208	3149	2235
		Différence en %	6 %	-20 %	-	0 %	-64 %	-75 %
		Différence en m ³ /jour	322	-1776	2963	0	-5705	-6570
Secteur Academy et Secteur PE-1-15 combinés	750 + 750	m ³ /jour	5679	7742	1500	3208	2927	2573
		Différence en %	3 %	-12 %	-	0 %	-67 %	-71 %
		Différence en m ³ /jour	170	-1025	1500	0	-5927	-6233
	Débit max. pour él. niv. eau = 146 m et 161 m	m ³ /jour	6178	6094	4301	3208	3212	2202
		Différence en %	12 %	-30 %	-	0 %	-64 %	-75 %
		Différence en m ³ /jour	668	-2672	4301	0	-5642	-6603

Le même exercice a été réalisé au puits PE-1-15. Dans ce cas, les débits simulés étaient de 750 et 1905 m³/jour (débit recommandé dans le rapport de LNA, 2016). Au droit du puits PE-1-15, le toit de l'aquifère sous la couche confinante a été fixé à 161 m, élévation retenue pour estimer le débit d'exploitation maximum.

En ce qui concerne les simulations du puits Academy, on peut voir que l'effet du pompage est relativement à l'est dans le cours d'eau tributaire de la rivière Sutton. En augmentant le débit, on peut voir que les lignes d'écoulements s'étendent aussi à l'ouest de la vallée.

Dans le cas des simulations du puits PE-1-11 (figure A-16), on observe davantage de changement dans le secteur est avec une plus grande étendue des lignes d'écoulement

Si on s'intéresse aux volumes d'eau entrants et sortants, on peut voir des variations par rapport à la simulation de référence (sans aucun prélèvement). La recharge étant fixée dans le modèle, ce sont les lignes d'écoulements d'eau qui sont modifiées et les différentes sources d'eau. On peut noter par exemple que l'eau fournie par les conditions de type 1 qui représentent les cours d'eau augmente alors que de moins en moins d'eau est retirée par les cours d'eau ou le drainage est alors moins intense à certains endroits. On peut remarquer aussi que le transfert réalisé avec le reste du modèle est de plus en plus inégal et déséquilibré, puisqu'il y a de moins en moins d'eau qui est transférée du bassin versant des puits pour alimenter le reste du bassin versant de la rivière Sutton. Par contre, on observe le phénomène inverse, soit que de l'eau puisse provenir d'autres secteurs en dehors du bassin versant des puits.

En ce qui concerne les débits maximums pouvant être extraits de l'aquifère, le modèle estime à 1838 m³/jour le débit journalier maximum prélevable dans le secteur du puits Academy et 2963 m³/jour dans le secteur du puits P-15. Il est important de comprendre que ces débits correspondent au volume d'eau prélevable dans chacun des secteurs et qu'il est possible que les ouvrages en place, comme le puits Academy, ne soient pas en mesure seuls de soutirer un tel débit.

Dans la mesure où les 2 secteurs seraient exploités en simultanément, une première simulation a été réalisée en supposant que chacun des secteurs prélève 750 m³/jour, soit 1500 m³/jour au total (figure A-17). En ce qui concerne le prélèvement maximum simultané, le débit estimé lors des simulations est de 1673 m³/jour au secteur Academy et 2628 m³/jour au puits PE-1-15, soit 4301 m³/jour.

Ces débits sont en adéquation avec le volume d'eau disponible dans le bassin versant des puits. Lors de l'essai de pompage réalisé en 2023, les rabattements observés étaient pratiquement stables avec un débit cumulé de 3319 m³/jour (554+1080+1685). Considérant l'ensemble de ces informations, **il est possible de confirmer que l'aquifère est capable de fournir 3300 m³/jour.**

6.2.6. Rabattement de la nappe et effet sur la zone humide à proximité des puits

Bien que le modèle ne soit pas créé afin de déterminer précisément ce qui se passerait dans les zones humides si le prélèvement du secteur était augmenté, les résultats de la simulation du pompage simultané des puits à 750 m³/jour chacun ont permis de ressortir les informations suivantes :

- La simulation du pompage combiné des 2 puits a un débit total de 1500 m³/jour a créé un rabattement moyen de 0,39 m sur l'ensemble de la zone humide présentée sur la figure A-5 dans le secteur des puits;

- Les rabattements sont compris en 0 et 1,82 m. Les plus importants seraient localisés dans le coin au sud-ouest de la zone humide.

En ce qui concerne les échanges de volumes entre les 2 aquifères (perché contenant le milieu humide et aquifère exploitable, il est difficile de se prononcer à cause des cours d'eau (présent dans le modèle en condition de type 1) qui parcourent le milieu humide en retriand et fournissant de l'eau en fonction du contexte. L'apport d'eau de surface est fort probablement plus significatif dans le maintien du milieu en condition saturé que les apports souterrains. Cette généralisation pourrait ne pas être valide en période d'étiage et doit être étudiée plus en détail.

7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Suite aux travaux réalisés dans le cadre de ce mandat et aux résultats et interprétations présentés dans ce rapport, il est possible de tirer les conclusions générales suivantes :

- C-1.** Le modèle numérique démontre que le secteur du puits Academy à lui seul ne devrait pas être exploité à plus de 1838 m³/jour et le secteur du puits SU/PE-1-15 ne devrait pas être exploité à lui seul à plus de 2963 m³/jour;
- C-2.** Le modèle numérique démontre que lors d'un pompage simultané à long terme, le débit de pompage dans le secteur Academy ne devrait pas dépasser 1673 m³/jour et celui du secteur du SU/PE-1-15 ne devrait pas dépasser 2628 m³/jour pour un débit de pompage cumulatif à terme de 4301 m³/jour.
- C-3.** L'essai de pompage réalisé confirme qu'un pompage de l'aquifère à un débit cumulatif de 3319 m³/jour est possible.
- C-4.** Le tableau qui suit synthétise les résultats de l'étude :

Tableau 15 : Récapitulatif des débits simulés dans l'aquifère

	Secteur Academy (m ³ /jour)	Secteur SU/PE-1-15 (m ³ /jour)	Cumulatif pour l'aquifère (m ³ /jour)
Prélèvement moyen actuel	≈ 600	-	600
Débit de pompage maximal de l'essai	1634	1685	3319
Débit maximal par secteur	1838	2963	-
Débit maximal (pompage des 2 secteurs en simultané)	1673	2628	4301
Débit maximal sécuritaire en prenant compte la recharge			3300

- C-5.** Les cours d'eau du secteur, particulièrement dans les secteurs où ils circulent dans les unités perméables sur les flancs de la vallée, contribuent de façon importante à la recharge de l'aquifère

Sur la base de ces conclusions, il est possible d'émettre les recommandations suivantes :

- R-1.** Le débit de prélèvement dans l'aquifère Academy ne devrait pas dépasser 3300 m³/jour afin de respecter la recharge établie avec les connaissances actuelles:
- R-2.** Par sa position en tête du bassin versant régional, le territoire situé en amont aux prélèvements d'eau de la Ville de Sutton pourrait de façon réaliste faire l'objet d'un bilan hydrique qu'il serait possible de tenir à jour pour suivre la disponibilité de la ressource. Un tel bilan pourrait minimalement comprendre :
 - Un inventaire des prélèvements et de leurs volumes de prélèvement annuels;
 - Un inventaire des points de rejet et des volumes rejetés annuellement dans le bassin versant;
 - La mise en place d'un pluviomètre dans le bassin versant pour suivre la hauteur de précipitation annuelle;

- La mise en place d'un seuil ou d'une autre méthode de mesure et d'enregistrement du volume d'eau sortant du bassin versant par la rivière Sutton;

Ce bilan pourrait permettre à la Ville de mieux quantifier la recharge disponible et l'impact des prélèvements sur le milieu humide ainsi qu' à perfectionner le modèle numérique;

- R-3.** Un suivi piézométrique et des débits de prélèvement devraient être mis en place dans l'aquifère exploité dans les plus brefs délais. Suite à l'étude, de nombreux points de mesure piézométriques sont disponibles pour concevoir un système de suivi qui ne serait pas limité au puits, mais à l'aquifère en instrumentant aussi les puits d'observations mis en place en 2022 avec de la télémétrie par exemple;
- R-4.** Un suivi de l'étendue de la zone humide devrait être mis en place afin d'une part d'établir sa dimension actuelle et d'autre part, les variations qui pourraient survenir dans le futur.
- R-5.** La capacité hydraulique des puits doit être respectée pour éviter un colmatage prématuré des crépines;
- R-6.** Sutton est dans une position de vulnérabilité avec un seul puits en opération, particulièrement considérant l'âge et la construction de ce puits. Le raccordement d'un second puits au réseau devrait être étudié;
- R-7.** Malgré le fait que le secteur Academy et le puits SU/PE-1-15 contiennent 5 fois plus d'eau que les besoins actuels, LNA recommande à la Ville de poursuivre ses démarches de mise à jour du potentiel en eau souterraine sur son territoire afin de les connaître et de les protéger. Durant le projet, il a été relevé que le secteur situé au sud du Village devrait être considéré comme un secteur à haut potentiel hydrogéologique. Selon les données recueillies pour la création du modèle et le contexte hydrogéologique, il y a des profondeurs de dépôt considérables dans ce secteur. Le fait de se déplacer vers le sud permettrait d'accéder à une plus grande surface de recharge. Une vérification de la qualité de l'eau serait aussi à faire pour ce secteur afin de vérifier s'il y a présence de manganèse. La concentration de manganèse varie dans l'aquifère de sable; donc, trouver un puits qui n'en possède pas amoindrirait les coûts de traitement d'eau pour Sutton.
- R-8.** Le tubage du piézomètre SU/FE-5-22, jaillissant à certains moments, devrait être prolongé pour contenir les écoulements à l'intérieur du tubage. Une longueur supplémentaire d'un mètre est recommandée.

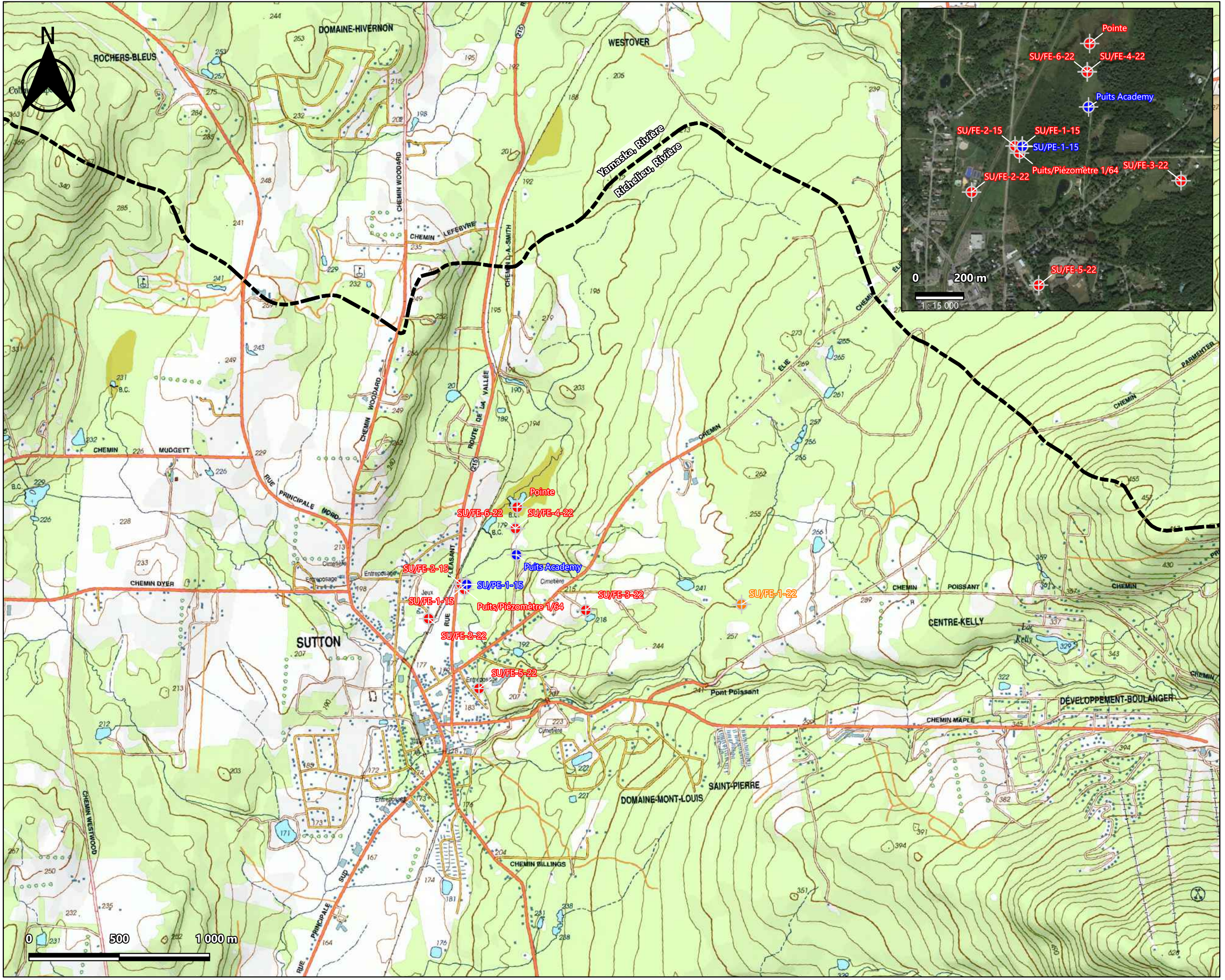
8. RÉFÉRENCES

- CANARDS ILLIMITÉS CANADA (2022). Carte interactive des milieux humides du Québec. [\[En ligne\]](#)
Consulté en avril 2023.
- CHAPUIS. R. (1999). *Guide des essais de pompage et leurs interprétations*.
- CLOUTIER. M. (1982). Géologie et géomorphologie quaternaire de la région de Cowansville-Knowlton-Sutton. UQAM. Montréal. Thèse de maîtrise. 143 p.
- COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC. Carte interactive en ligne du zonage agricole. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- COMPAGNIE INTERNATIONNALE DES EAUX (QUÉBEC) LTÉE (1980). Municipalité de la Ville de Sutton. Étude hydrogéologique pour localiser un site de construction d'un nouveau puits. Montréal. 79 p.
- DIRECTION DE LA CONNAISSANCE ÉCOLOGIQUE (2020). Cartographie des milieux humides potentiels du Québec. https://services-mddelcc.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=425faf9d70594a52ab1bda37cc905c0f&extent=-8136889.9892%2C5804709.1598%2C-7902075.4383%2C5909886.5107%2C102100&showLayers=Themes_publics_1173%3BThemes_publics_1173_41%3BThemes_publics_1173_20%3BThemes_publics_1173_25%3BThemes_publics_1173_99%3BThemes_publics_1173_74%3BThemes_publics_1173_75%3BThemes_publics_1173_2%3BThemes_publics_1173_37%3BThemes_publics_1173_4%3BThemes_publics_1173_12
Consulté en avril 2023.
- DIRECTION DES LEVÉES ET DE LA CARTOGRAPHIE DU MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES (1983). Compilation de la géologie du Quaternaire. Feuille 31 H/2. Composante du DV 84-10. Ottawa
- FORATEK INTERNATIONAL (1983). Ville de Sutton. Puits rue Academy. Étude hydrogéologique. Rapport no. 566. Projet FFGH 83001. Dorval. 35 p.
- FREEZE. R. A. et J.A. CHERRY (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall. 604p.
- LACHANCE. D. G. FORTIN ET G. DUFOUR TREMBLAY (2021). *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional* – version décembre 2021. Québec. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction adjointe de la conservation des milieux humides. 70 p. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- LÉGISQUÉBEC (2021). *Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE)*. Chapitre Q-2. r. 17.1. à jour au 1^{er} décembre 2022. [Québec] Éditeur officiel du Québec. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- LÉGISQUÉBEC (2021). *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)*. Chapitre Q-2. r. 35.2. à jour au 1^{er} décembre 2022. [Québec] Éditeur officiel du Québec. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- LÉGISQUÉBEC (2022). *Loi sur la qualité de l'environnement (LQE)*. Chapitre Q-2. À jour au 1^{er} avril 2023. [Québec] Éditeur officiel du Québec. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- LES SERVICES EXP INC. (2018). Ville de Sutton. Étude géotechnique. Réfection d'infrastructures municipales dans le noyau villageois Rues Oak, Curley et Western, Sutton.
Réf : SUTV-00246515-00-55-00;

- LNA (2010). Rapport inspection par géocaméra près de la route 215. Puits existant.
N/Réf : 09-6050-1334.
- LNA (2015). Expertise hydrogéologique. Alimentation en eau potable. Puits municipal non exploité route 215. N/Réf. : 09-6050-3053;
- LNA (2021). Avis hydrogéologique – Puits Academy. Sutton. N/Réf. : 09-6050-4808. 8 pages
- LNA (2016). Ville de Sutton. Alimentation en eau potable/étude hydrogéologique. Construction du puits de production SU/PE-1-15. 09-6050-4808. 149 pages
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. *Cartes de délimitation du bassin du fleuve Saint-Laurent*. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. *Guide de conception des installations de production d'eau potable*. [\[En ligne\]](#) Consulté en mai 2023.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. *Système d'information hydrogéologique (SIH)*. [\[En ligne\]](#) Consulté en avril 2023.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2018). *Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec*. 189 pages.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2019). *Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC – Guide technique*. 86 pages.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2020). *Guide de présentation des travaux de modélisation hydrogéologique*. 48 pages.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2022). *Guide d'interprétation du Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement*. Direction de l'eau potable et des eaux souterraines. 128 pages.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES. *Système d'information géominère du Québec (SIGEOM)*. [\[En ligne\]](#) Consulté en avril 2023.
- MRC DE BROME-MISSISQUOI. Contraintes naturelles au développement. Carte interactive. https://www.cartobm.com/gestion_db/cartes-interactives.php. Consulté en avril 2023.
- OURANOS – Site internet – Plateforme climatique – Estrie - <https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques>
- POLY-GEO Inc. (2022). Approvisionnement en eau, Ville de Sutton. Photo-interprétation des matériaux de surface. Carte 2 Préliminaire
- SADEGHI. M. TABATABAEENEJAD. A. TULLER. M. MOGHADDAM. M. & JONES. S. B. (2017). *Advancing NASA's AirMOSS P-band radar root zone soil moisture retrieval algorithm via incorporation of Richards' equation*. *Remote Sensing*, vol. 9. n° 1. 17 p
- TECHNOREM INC. (2013). Ville de Sutton. Conformité au règlement sur le captage des eaux souterraines de l'ouvrage de captage Academy alimentant la ville de Sutton Réf. : PR11-75;
- TECHNOREM INC. (2020). Rapport d'analyse de vulnérabilité du puits Academy alimentant en eau potable la Ville de Sutton. Référence PR19-78. 287p.
- TODD. D. K. MAYS. L W. (2005) *Groundwater Hydrology*. Third Edition. John Wiley & Sons inc. 636 p.

ANNEXE A

FIGURES A-1 À A-17



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Localisation générale du secteur à l'étude

LÉGENDE

- Puits à l'étude
- Piézomètre
- Forage exploratoire
- Limite de bassin versant entre le bassin versant de la rivière Yamaska et le bassin versant de la rivière Richelieu

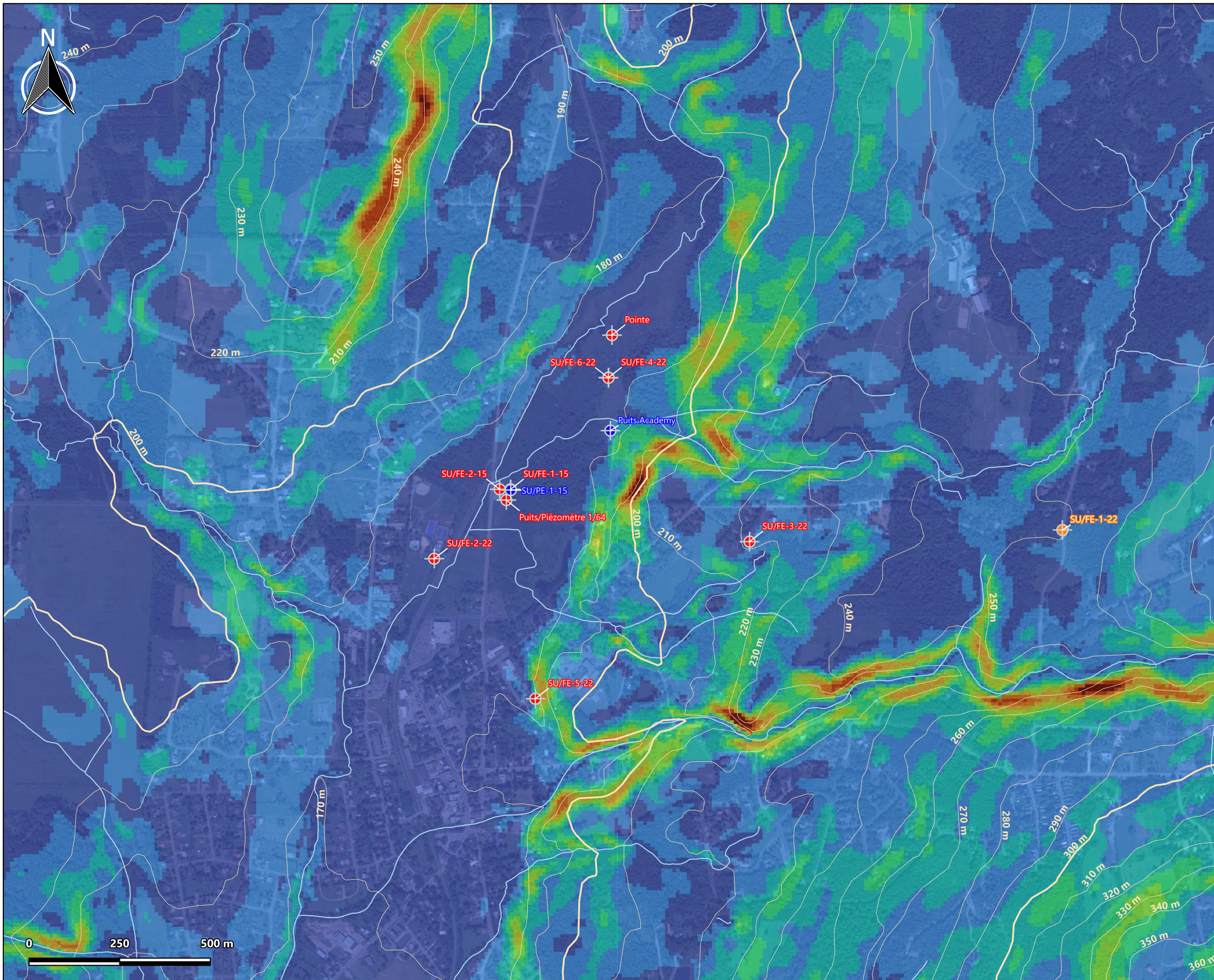
Nom du fichier : 09-6050-5017_figA1
 Fond cartographique : Carte topographique BDTQ / Google satellite
 Projection : NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 20 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-1	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



HYDROGÉOLOGIE ENVIRONNEMENT

2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Zone de pente issue du LiDAR

LÉGENDE

- Puits à l'étude
- Piézomètre
- Forage exploratoire
- Courbe de niveau (10 m)
- Cours d'eau

Pente issue de la donnée LiDAR (%) :

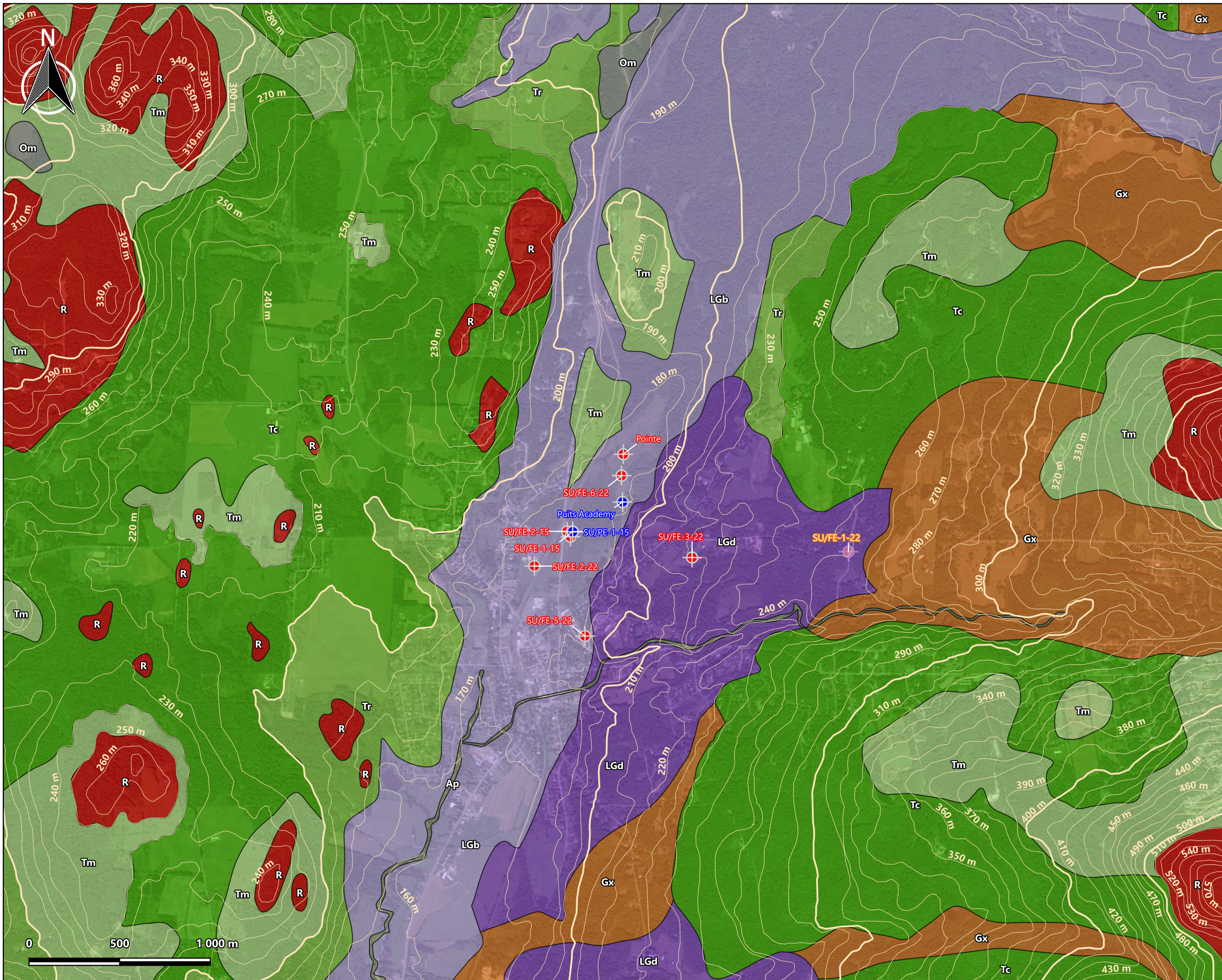
- <= 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 35
- 35 - 40
- 40 - 45
- > 50

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA2
Fond cartographique : Google satellite
Donnée LiDAR : Données Québec
Projection : NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 10 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-2	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Géologie des dépôts meubles

LÉGENDE

- Puits à l'étude
- Piézomètre
- Forage exploratoire
- Courbe de niveau (10 m)

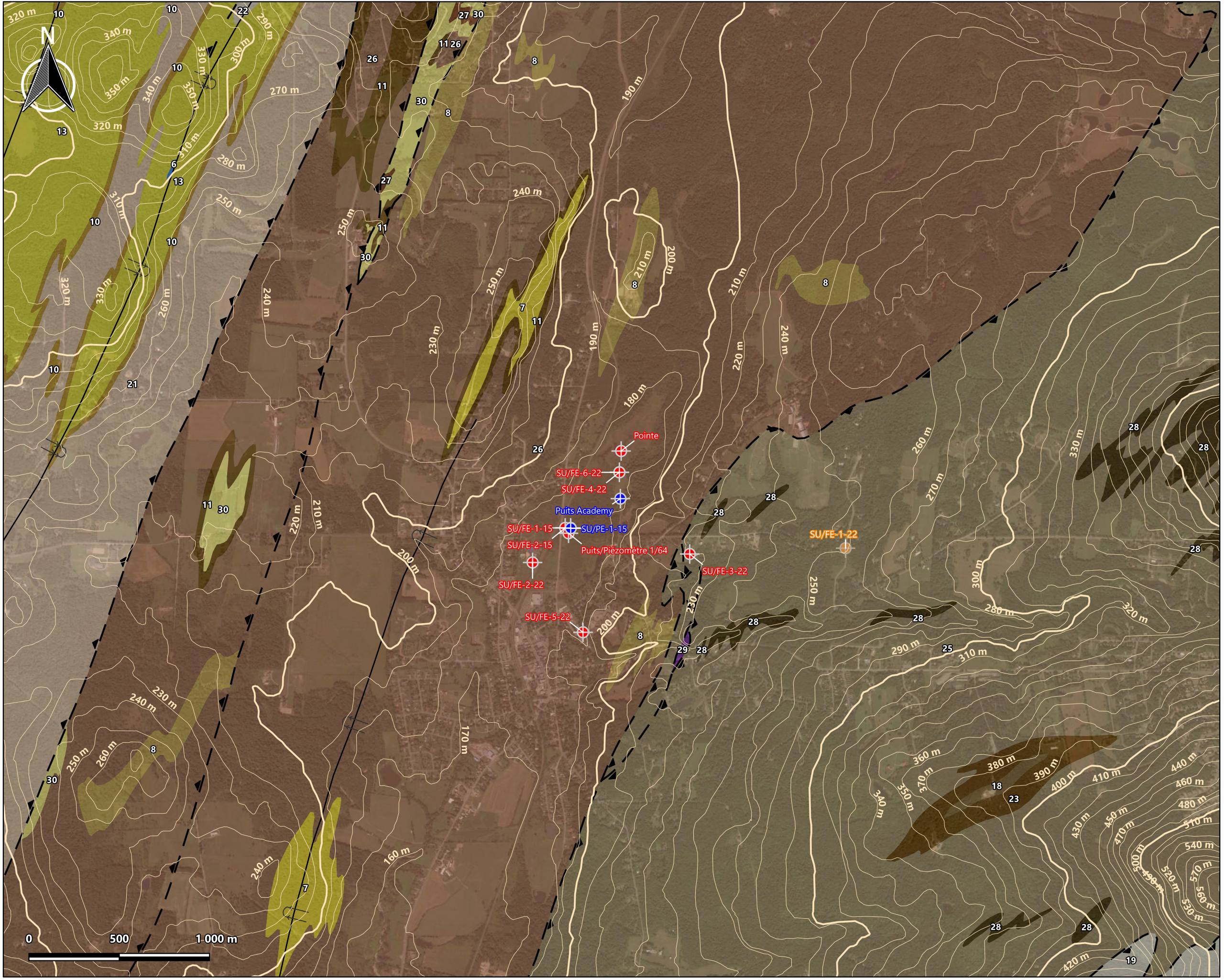
Dépôts de surface :

- Alluvion actuelle
- Roche en place non-différenciée
- Sédiment de marécage et de marais
- Sédiment glaciolacustre deltaïque et prodeltaïque
- Sédiment glaciolacustre fin d'eau profonde
- Sédiment glaciolacustre littoral et pré littoral
- Sédiment juxtaglaciaire
- Till en couverture généralement continue
- Till en couverture mince et discontinue
- Till remanié en couverture continue

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA3
Fond cartographique : Google satellite
Donnée LIDAR : Données Québec
Projection : NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 20 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-3	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		

2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Géologie du socle rocheux

- LÉGENDE**
- Puits à l'étude
 - Piézomètre
 - Forage exploratoire
 - Courbe de niveau (10 m)
- Plis régionale :
- Plis synforme indéterminé
 - Plis synforme synclinal
- Faïlle régionale :
- Faïlle certaine inverse
 - Faïlle probable inverse

*Pour la légende du socle rocheux, se référer à la figure A-4L

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA4
 Fond cartographique : Google satellite
 Fond géologique : SIGEOM
 Projection : NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 20 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-4	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



HYDROGÉOLOGIE ENVIRONNEMENT

2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999

- 6 Marbre dolomitique ou quartzo-dolomitique (M13(S8)-M13,QZ,DM)
- 7 Métawacke à quartz - feldspath - muscovite, schiste à muscovite, quartz +/- magnétite, chlorite, albite (S3[ME]QZ,FP,MV-M8,MV,QZ,MG,CL,AB)
- 8 Phyllade graphitique et pyriteux, brun à noir, marbre dolomitique (type Dunham), phyllade à muscovite - graphite ± calcite (type Sweetsburg) (M11,GP,PY-M13(S8)-M11,MV,GP,CC)
- 10 Phyllade gris, gris-mauve, gris-noir et parfois verdâtre (M11)
- 11 Phyllade grisâtre à verdâtre à muscovite - chlorite - albite (type West Sutton) (M11,MV,CL,AB)
- 18 Quartzite blanc, gris, ou verdâtre, schiste à quartz - muscovite - chlorite - plagioclase, microconglomérat (M12-M8,QZ,MV,CL,PG-S4)
- 18 Schiste à chlorite, épidote, hornblende, magnétite, localement porphyroblastique (M8[PQ]CL,EP,HB,MG)
- 19 Schiste à muscovite, chlorite, quartz +/- albite (M8,MV,CL,QZ,AB)
- 20 Schiste et phyllade vert à chlorite - épidote - albite - magnétite, avec des amas d'épidote et épidote - albite - quartz, basalte en coussins (M8-M11,CL,EP,AB,MG,QZ-V3B[CO])
- 22 Schiste et phyllade vert à quartz - muscovite - plagioclase - chlorite, grès gris fin (M8-M11,QZ,MV,PG,CL-S1)
- 23 Schiste gris porphyroblastique à albite, muscovite, quartz +/- chlorite; gneiss à albite - muscovite gris clair (M8[PQ]AB,MV,QZ,CL-M1,AB,MV)
- 25 Schiste hétérogène à muscovite, quartz, albite, graphite; phyllade noir (M8[HK]MV,QZ,AB,GP-M11)
- 26 Schiste laminé à muscovite - quartz - albite - chlorite, quartzite laminé gris clair ou blanchâtre (type Frelighsburg) (M8[LA]MV,QZ,AB,CL-M12[LA])
- 27 Schiste vert à chlorite - épidote - albite, parfois calcite (type Tibbit Hill) (M8,CL,EP,AB,CC)
- 28 Schiste vert clair laminé à muscovite - quartz - albite - chlorite (M8[LA]MV,QZ,AB,CL)
- 29 Serpentinite; amphibolite (M32-M16)
- 80 Wacke et schiste gris - vert à quartz - ilménite - chlorite, (type Pinnacle) et quelques niveaux de marbre dolomitique (type White Brook) (S3-M8,QZ,IM,CL-M13(S8))

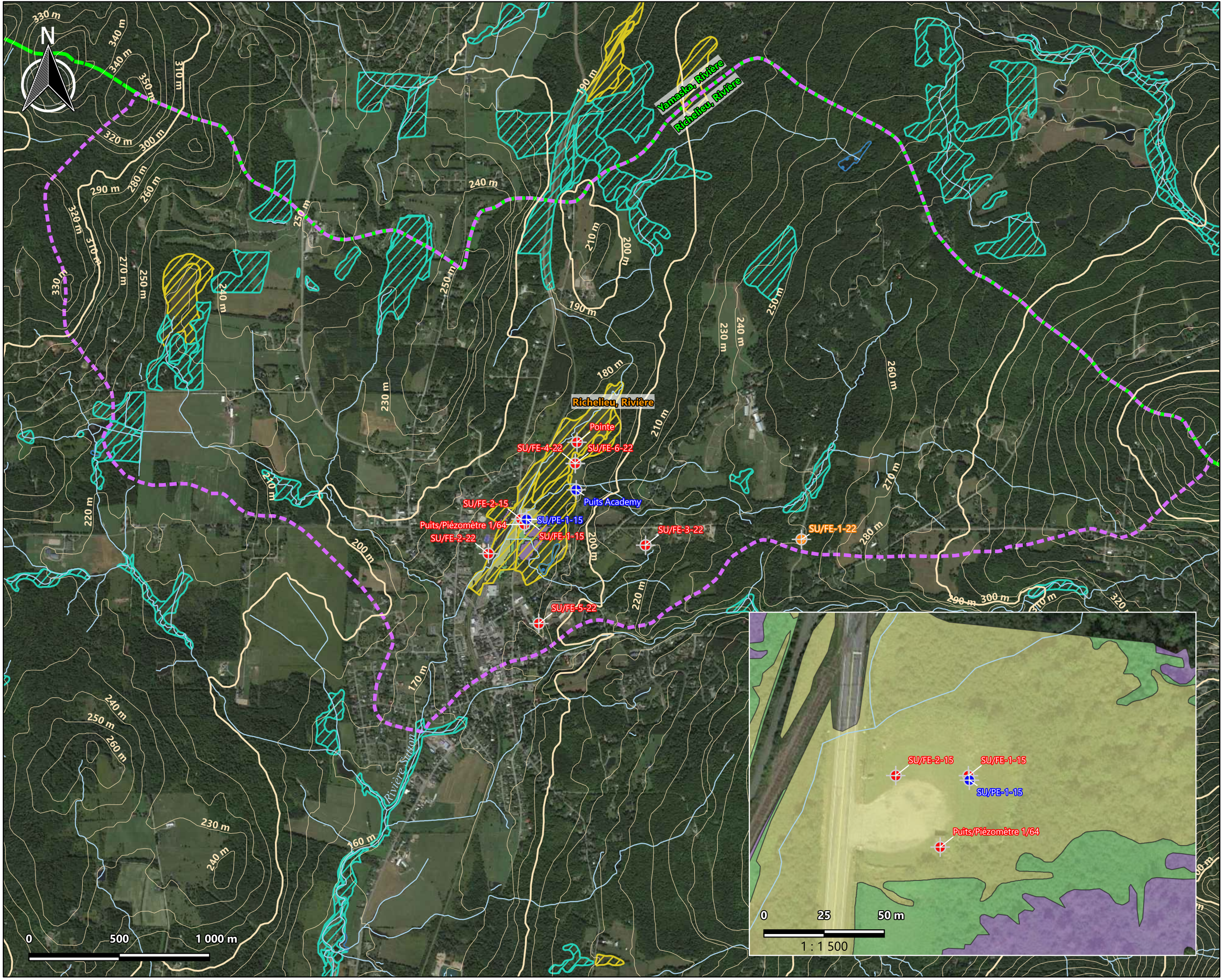
Date : 2023-06-02

Figure : A-4L

Dossier : 09-6050-5017



2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire Aquifère du secteur Village

Hydrographie

LÉGENDE

- Puits à l'étude
- Piézomètre
- Forage exploratoire
- Courbe de niveau (10 m)
- Limite de bassin versant entre le bassin versant de la rivière Yamaska et le bassin versant de la rivière Richelieu
- Limite de bassin versant (Niveau 4)

Milieu humide potentiel (CMHPQ, 2019) :

- Eau peu profonde
- Marais et marécage
- Tourbière

Zone inondable (Carte interactive, Municipalité de Sutton) :

- Zone inondable 0-2 ans
- Zone inondable 2-20 ans
- Zone inondable 20-100 ans

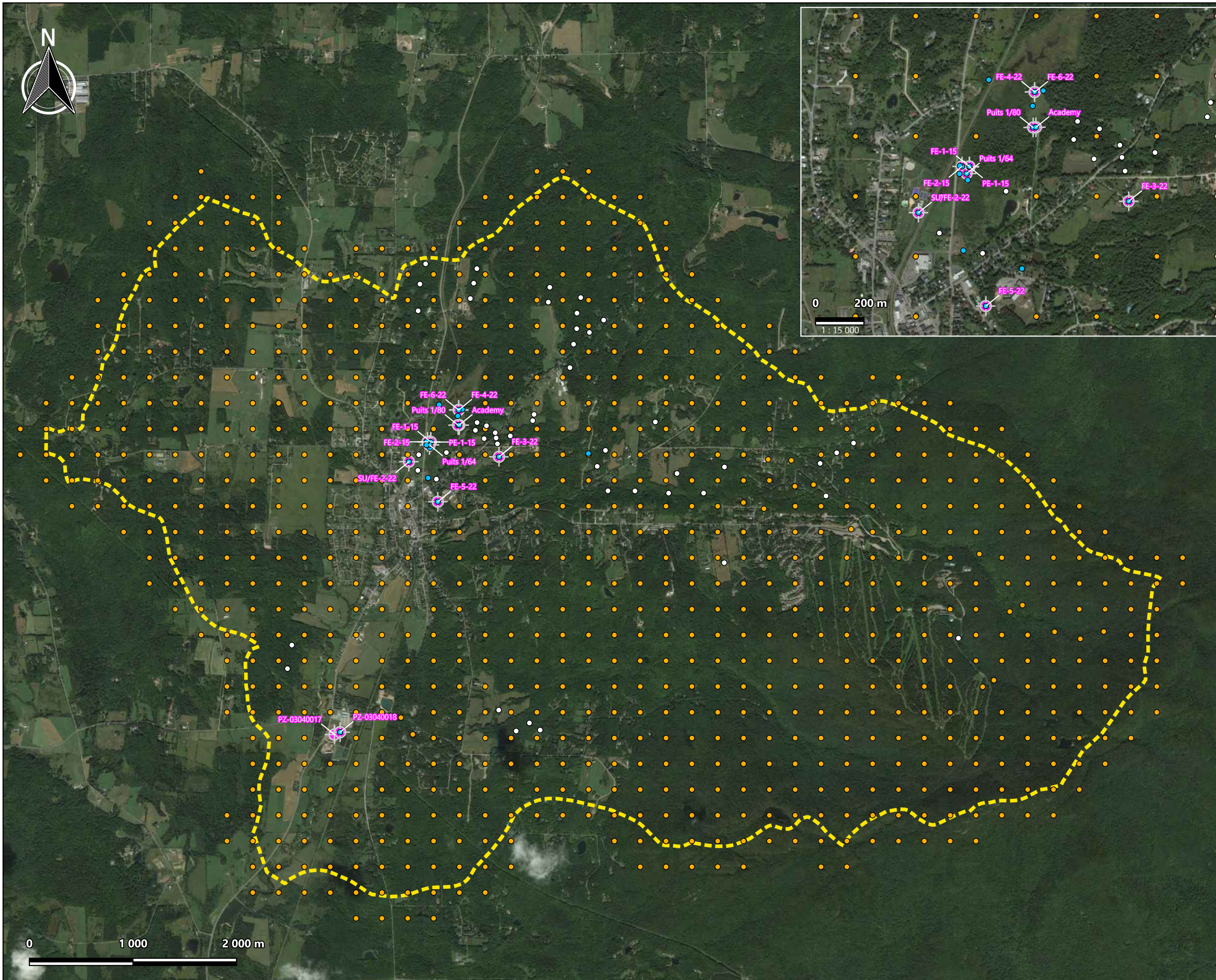
Nom du fichier : 09-6050-5017_figA5
Fond cartographique : Google satellite
Projection : NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 20 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-5	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		

LNA

HYDROGÉOLOGIE
ENVIRONNEMENT

2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999








Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Modèle hydrogéologique 3D
Délimitation du modèle et localisation des données
utilisées

LÉGENDE

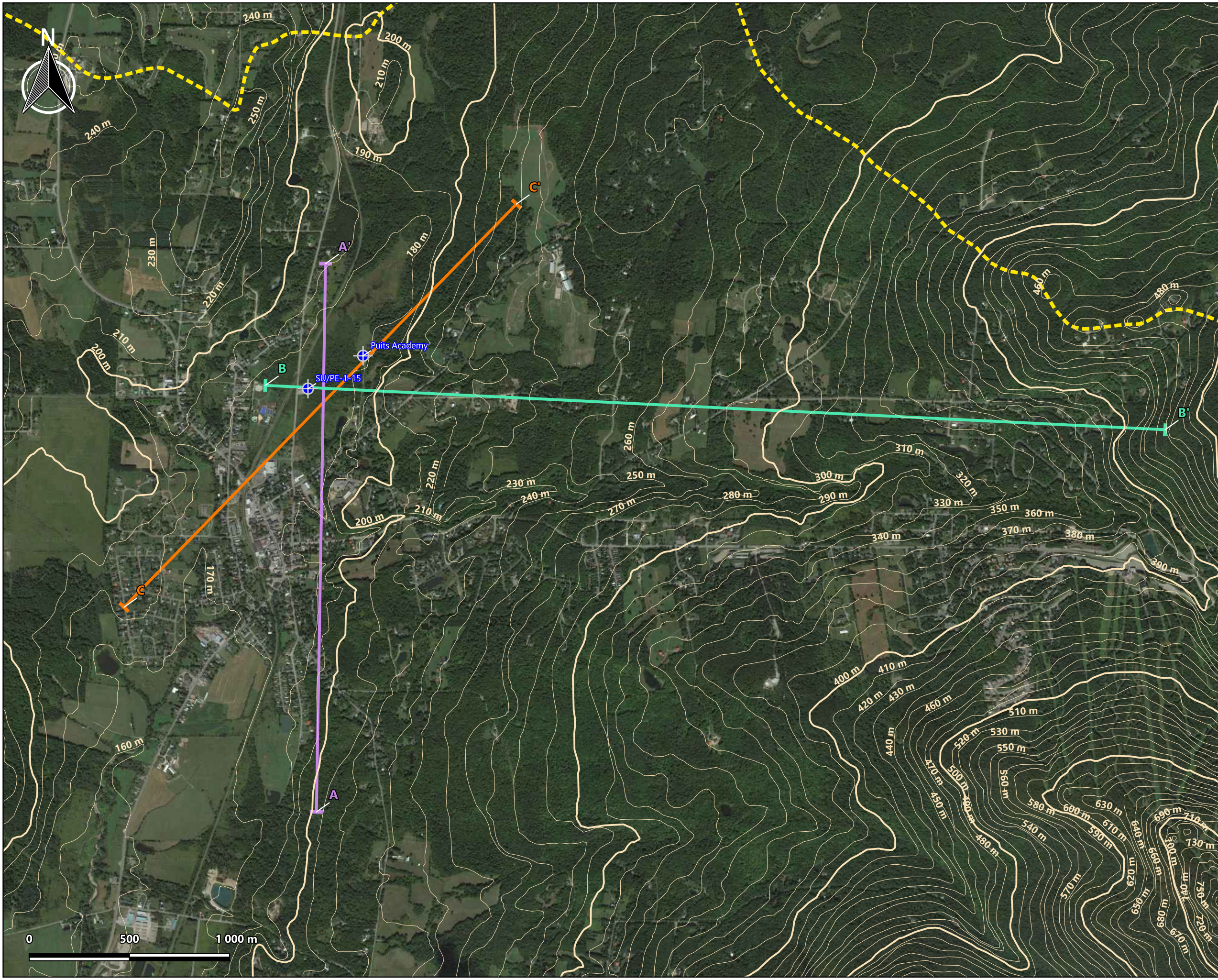
-  Puits d'observation
- Forage utilisé pour la création du modèle :
-  Forage fictif
-  Forage issus de rapport
-  Forage fictif issus des données du PACES
-  Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA6
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 35 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-6	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999









Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Modèle hydrogéologique 3D
Coupes géologiques réalisées sur Feflow

LÉGENDE

-  Puits à l'étude
-  Courbe de niveau (10 m)
-  Coupe stratigraphique A-A'
-  Coupe stratigraphique B-B'
-  Coupe stratigraphique C-C'
-  Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

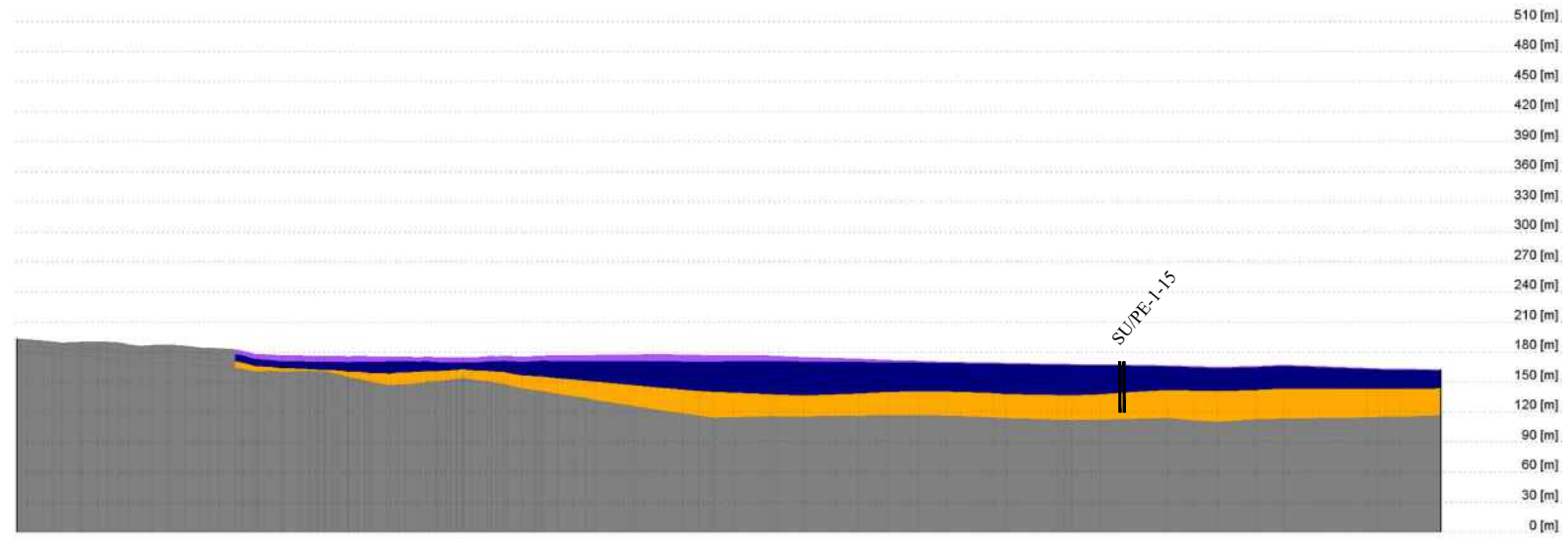
Nom du fichier : 09-6050-5017_figA7
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 18 000	Date :	2023-06-02
Figure :	A-7	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		

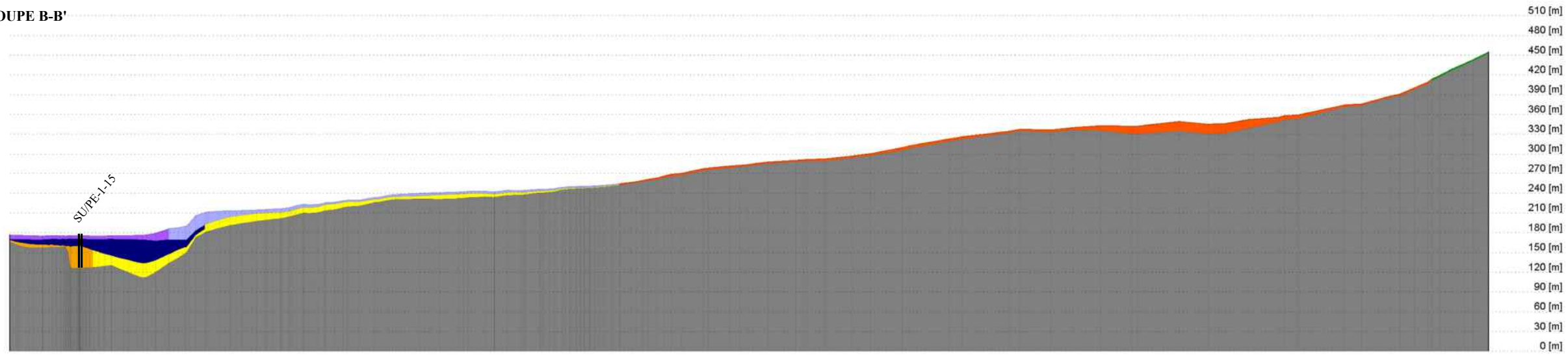


2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999

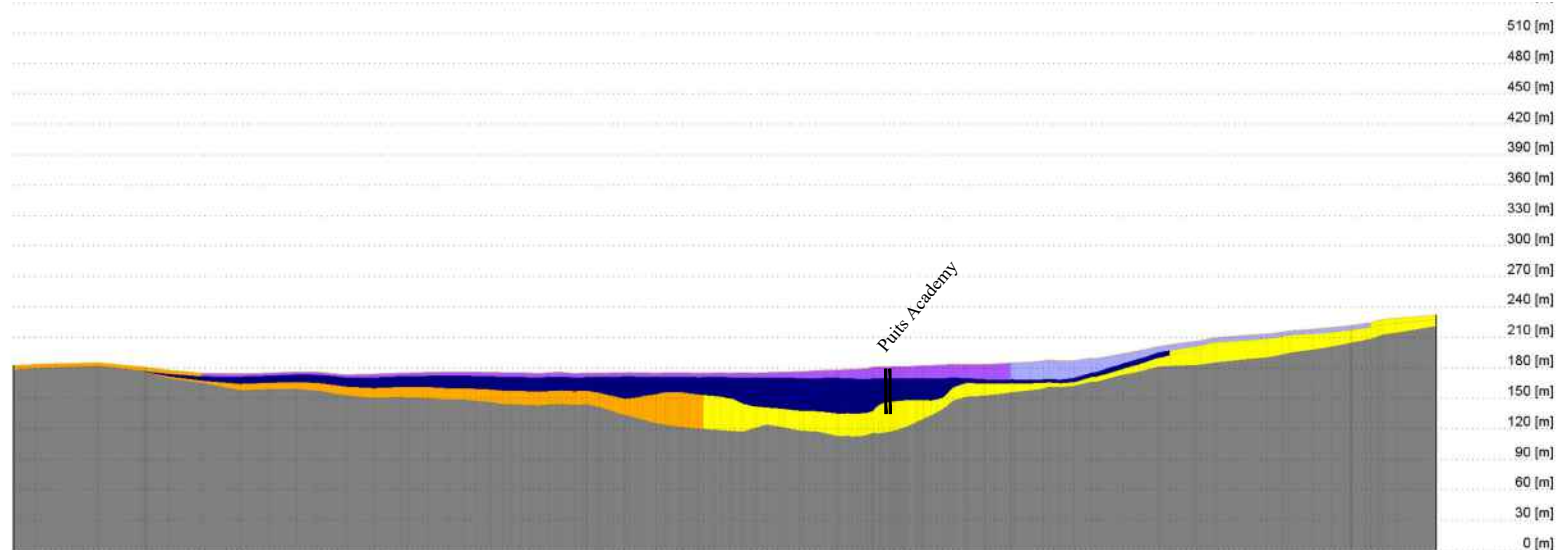
COUPE A-A'



COUPE B-B'



COUPE C-C'

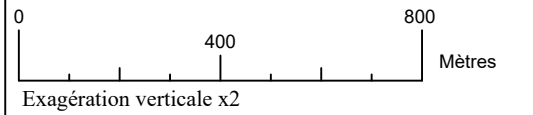


Légende

SU/PE-1-15
 | Puits projeté sur la coupe

Géologie

- Dépôts glaciolacustres littoraux
- Dépôts glaciolacustres deltaïques
- Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde
- Dépôts juxtaglaciaires
- Till remanié (est)
- Till remanié (ouest)
- Till mince
- Till continu
- Roc

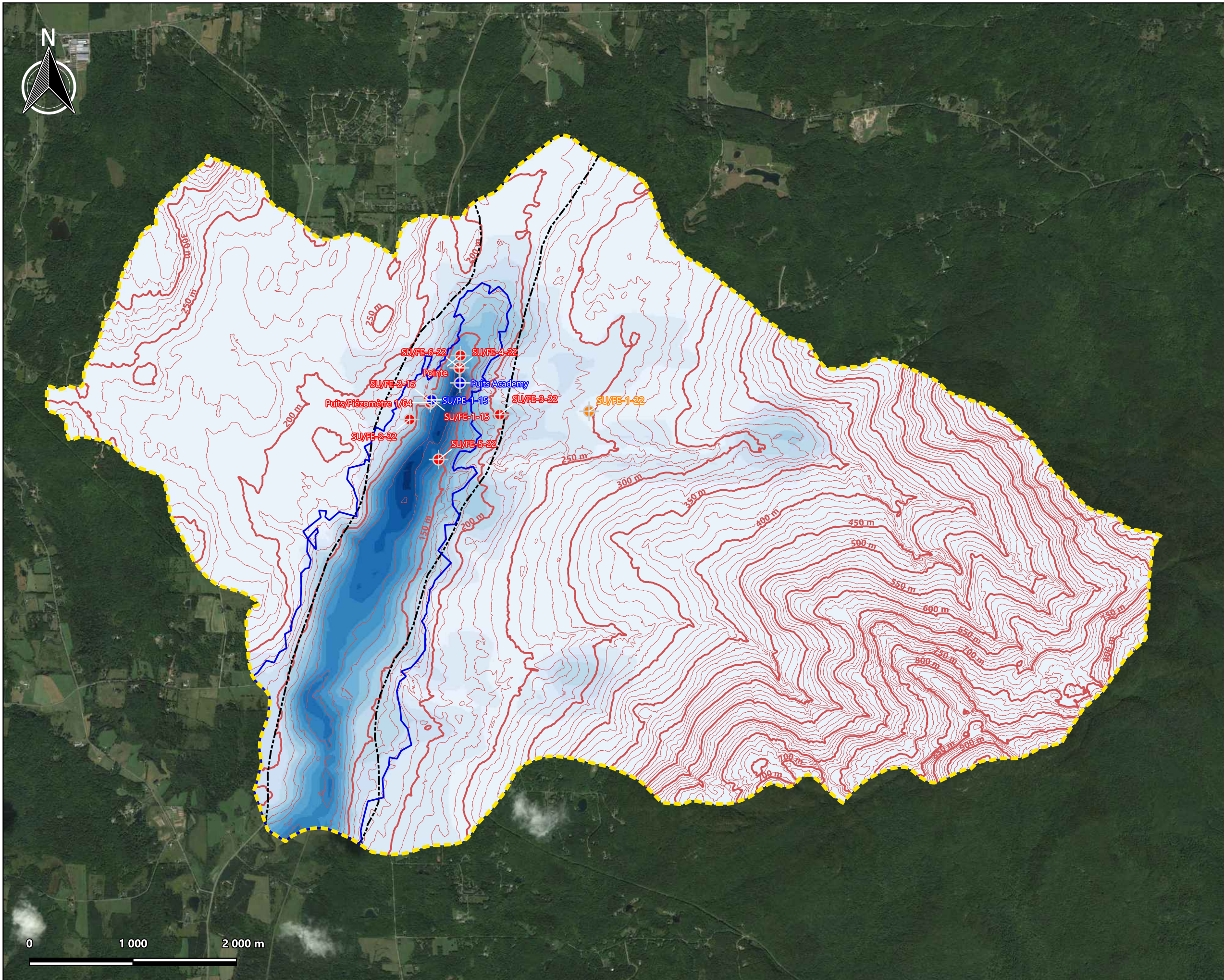


Client : **Ville de Sutton**
 Projet : **Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur village**
 Titre : Coupes géologiques réalisées sur Feflow

Échelle :	1 : 15 000	Sceau :	
Figure :	A-8		
Date :	28 juin 2023		
Dossier :	09-6050-5017		
Préparé par : Karl Lechat, Ph. D.			
Dessiné par : Martin Gascon			
Vérifié par : Hubert Noël, ing.			

LNA
 HYDROGÉOLOGIE
 ENVIRONNEMENT

2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999










Ville de Sutton















Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Modèle hydrogéologique 3D
Profondeur du roc interpolé et délimitation de la
formation confiante ou peu perméable

LÉGENDE

-  Puits à l'étude
-  Piézomètre
-  Forage exploratoire
-  Élévation du roc (10 m)
-  Zone sans affleurement rocheux (Carte Poly-Géo)
-  Délimitation de la couche d'argile (174 m)
-  Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Épaisseur des dépôts meubles (mètres) :

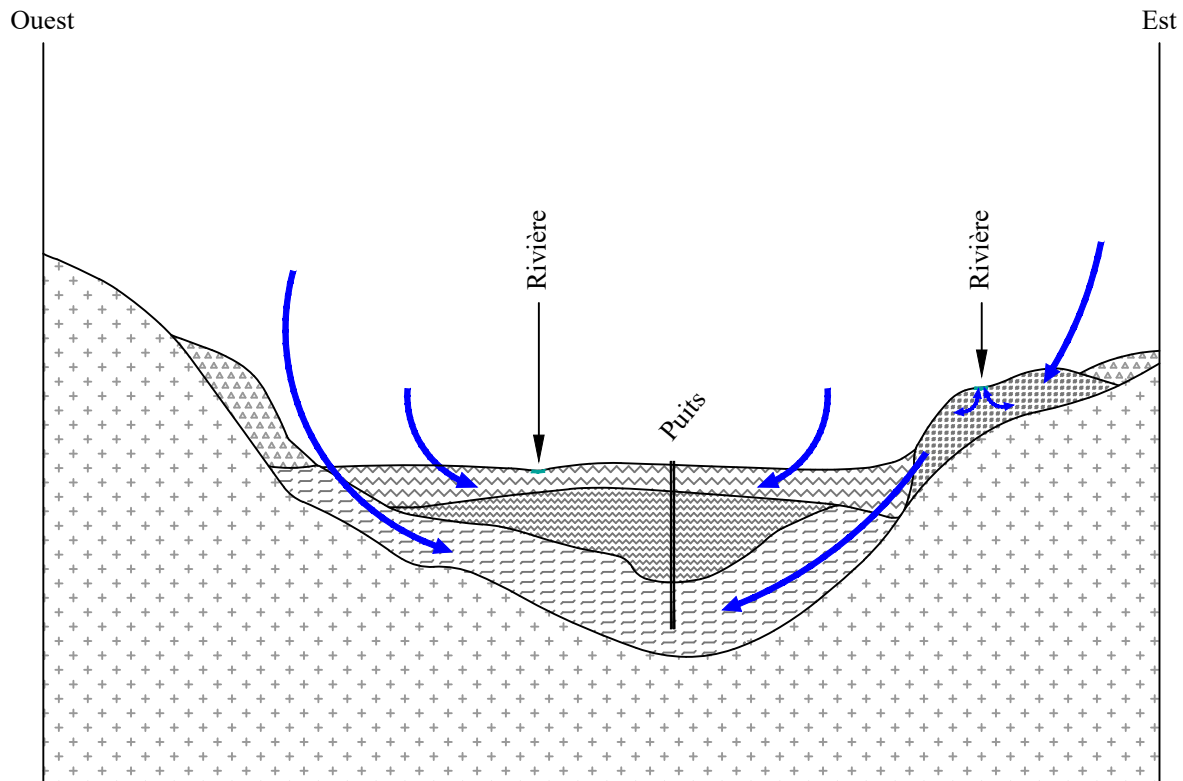
-  ≤ 5
-  5 - 10
-  10 - 15
-  15 - 20
-  20 - 25
-  25 - 30
-  30 - 35
-  35 - 40
-  40 - 45
-  45 - 50
-  50 - 55
-  55 - 60
-  60 - 65
-  65 - 70

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA9
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 35 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-9	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999









Client : **Ville de Sutton**

Projet : **Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur village**

Titre : **Modèle conceptuel**

Légende

-  Dépôts glaciolacustres perméables
-  Dépôts glaciolacustres imperméables (ou peu perméables)
-  Dépôts juxtaglaciaires perméables
-  Till remanié perméable
-  Till semi-perméable à peu perméable
-  Roc

 Recharge

Échelle : n/a Sceau :

Figure : A-10

Date : 28 juin 2023

Dossier : 09-6050-5017

Préparé par : Karl Lechat, Ph. D.

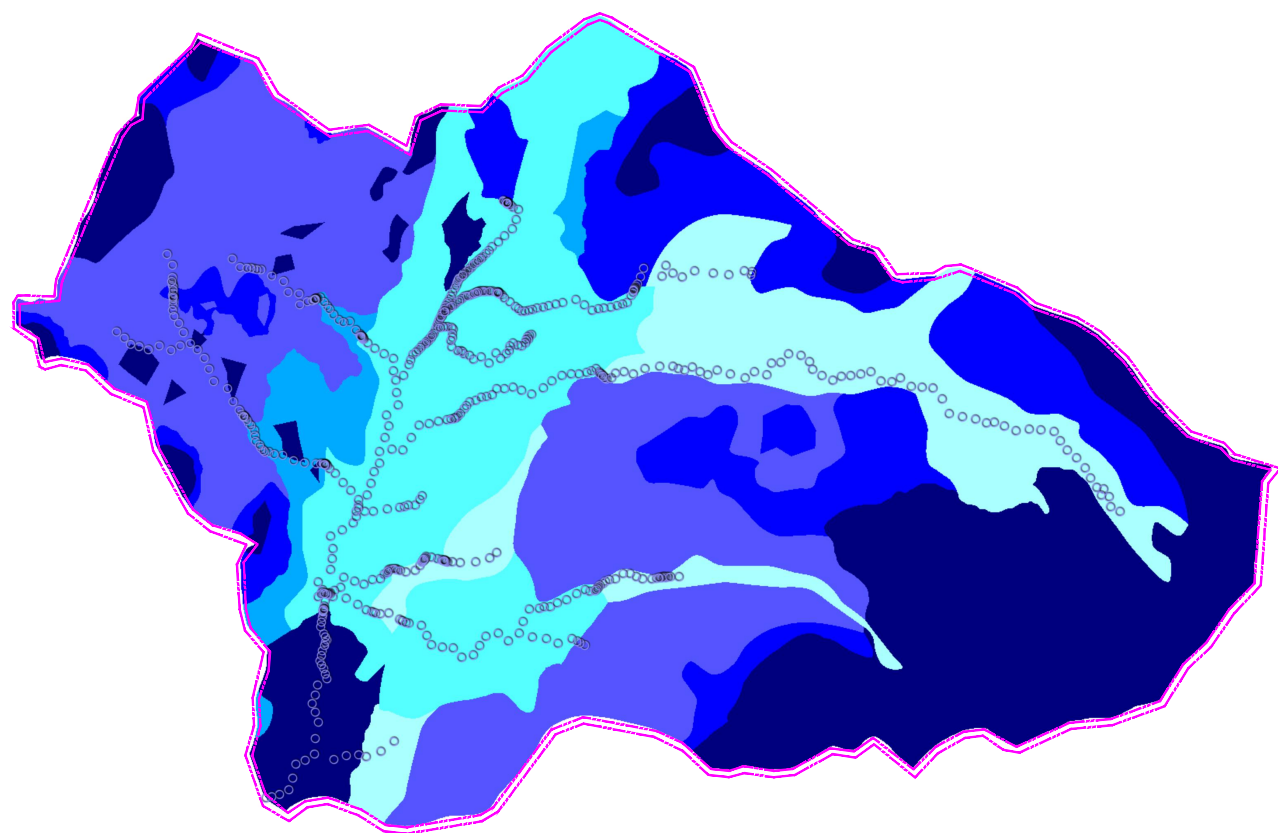
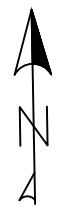
Dessiné par : Martin Gascon

Vérifié par : Hubert Noël, ing.

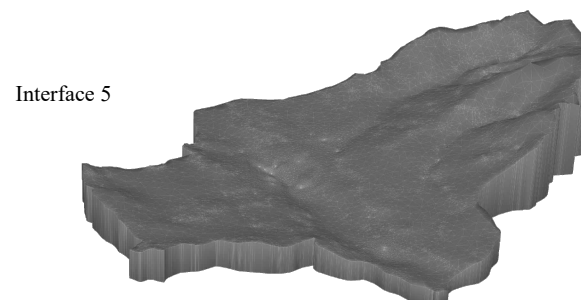
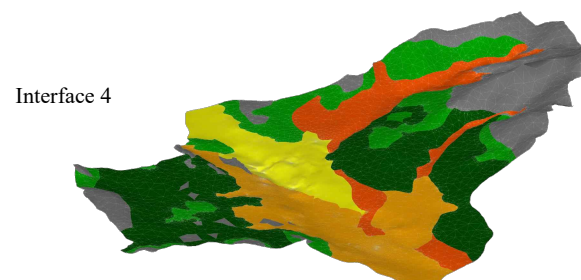
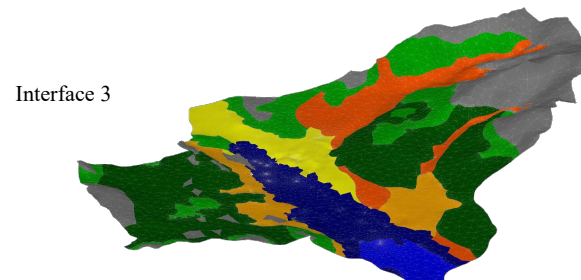
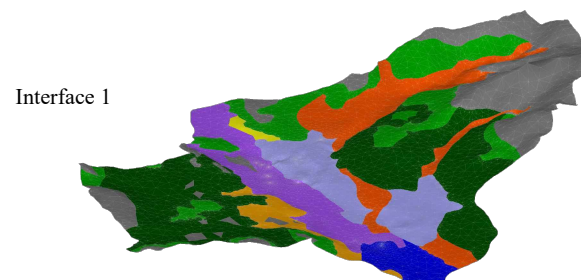
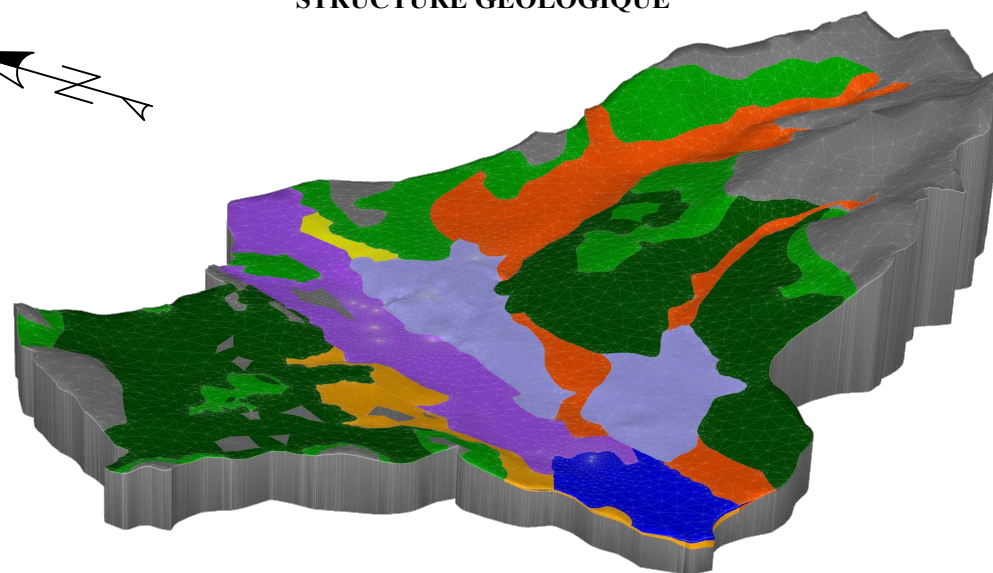


2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999

CONDITIONS AUX LIMITES ET RECHARGE



STRUCTURE GÉOLOGIQUE



Exagération verticale x2

Légende

Conditions limites

- Type 1 (Dirichlet)
- Type 2 (Neumann)

Recharge (mm / an)

- 20
- 80
- 105
- 160
- 170
- 200

Géologie

- Dépôts glaciolacustres littoraux
- Dépôts glaciolacustres deltaïques
- Dépôts glaciolacustres fins d'eau profonde
- Dépôts juxtaglaciaires
- Till remanié (est)
- Till remanié (ouest)
- Till mince
- Till continu
- Roc

Client : Ville de Sutton

Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur village

Titre : Structure géologique et conditions aux limites dans le modèle numérique

Échelle :	Indiquée	Sceau :
Figure :	A-11	
Date :	28 juin 2023	
Dossier :	09-6050-5017	

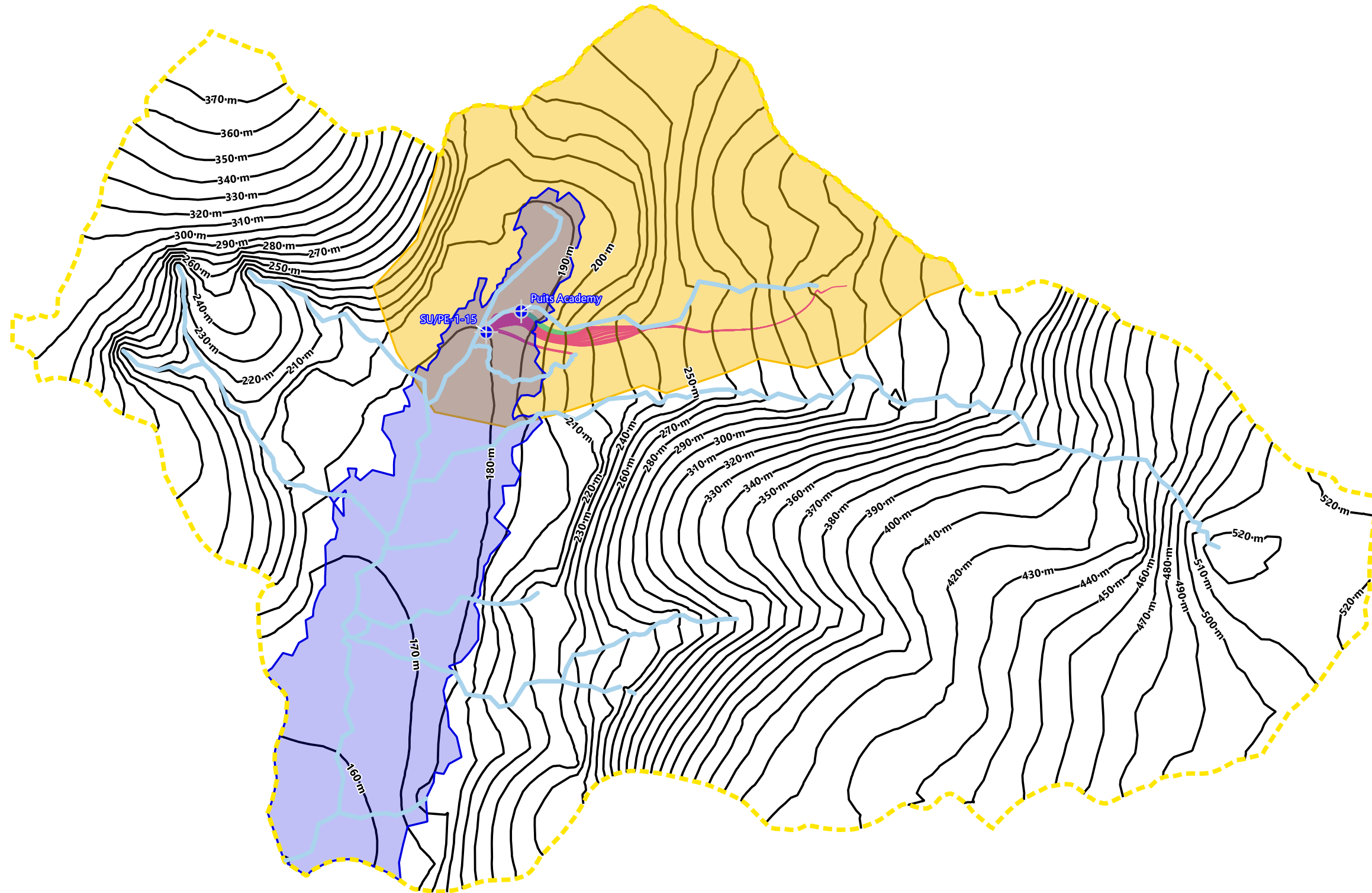
Préparé par : Karl Lechat, Ph. D.

Dessiné par : Martin Gascon

Vérifié par : Hubert Noël, ing.



2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Simulation des écoulements et piézométrie sans
prélèvement

LÉGENDE

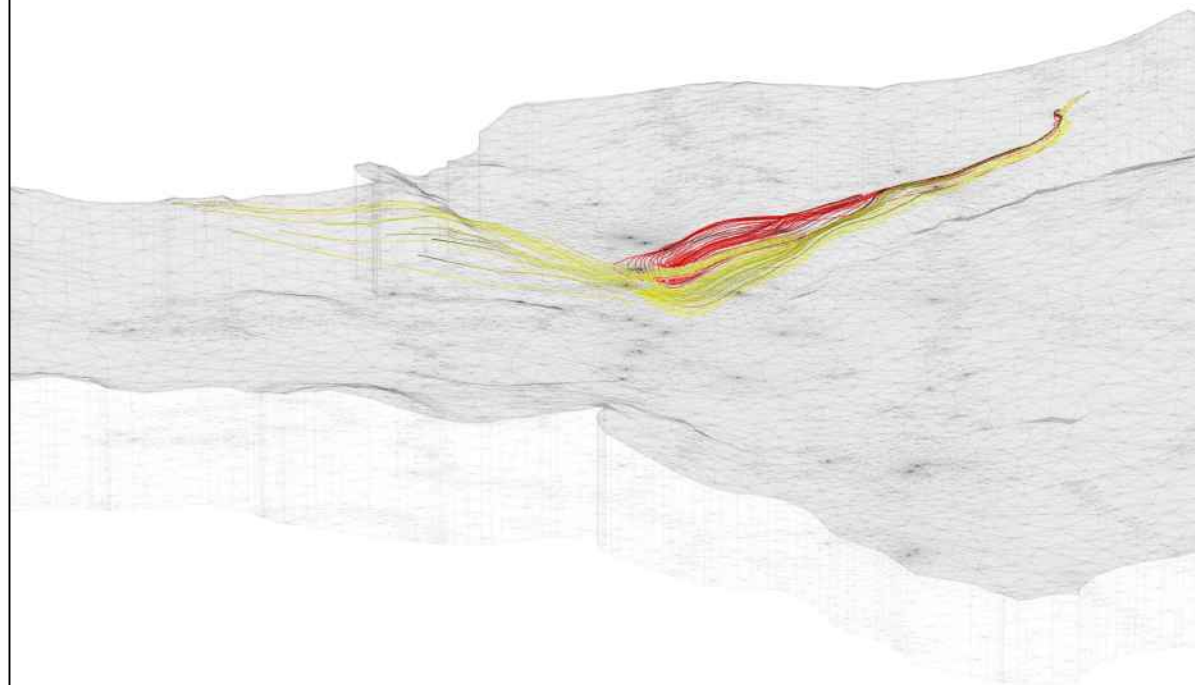
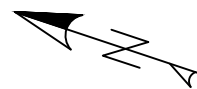
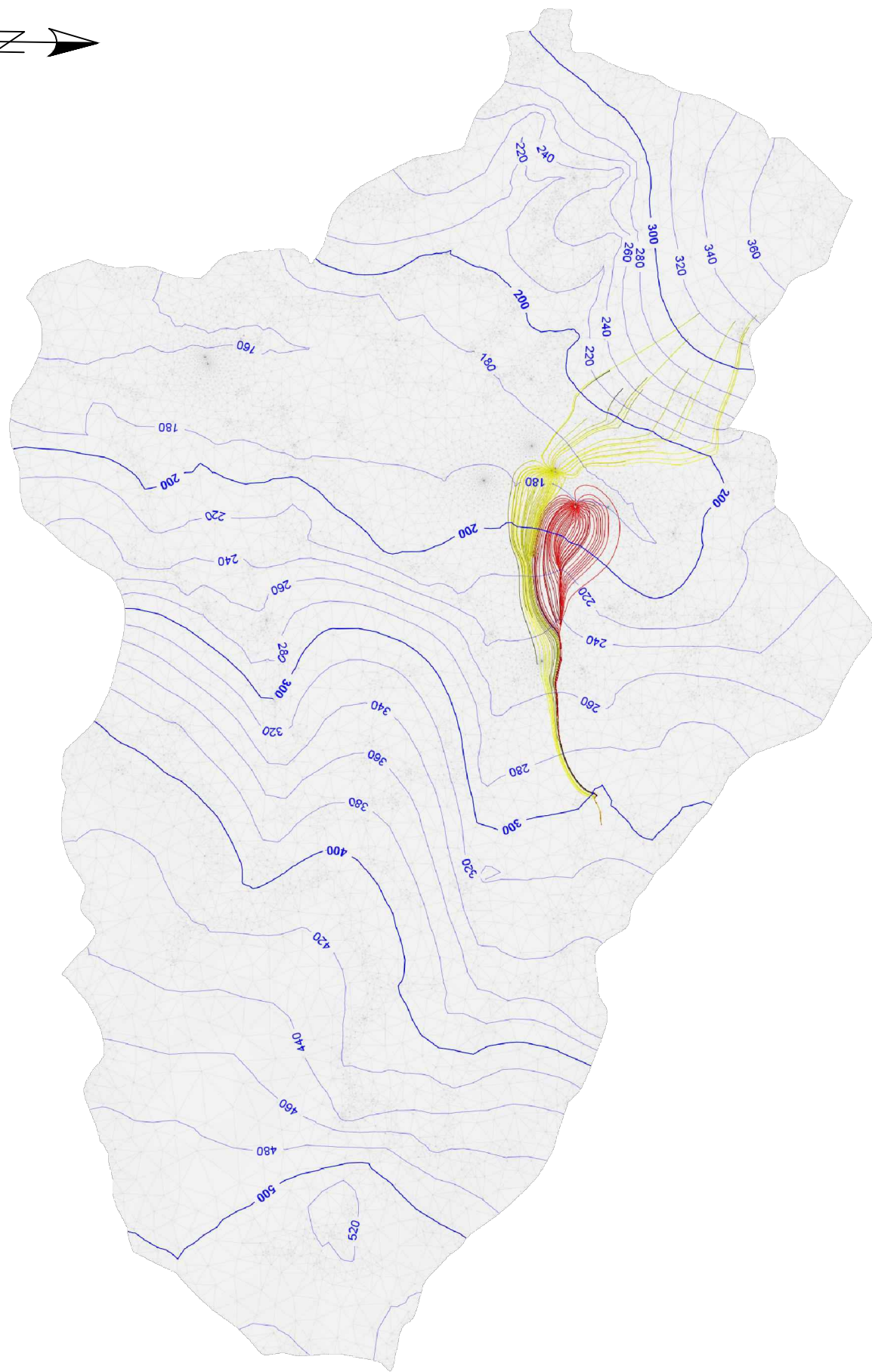
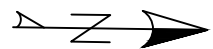
- Puits à l'étude
- Ligne d'écoulement du puits Académy (Sans pompage)
- Ligne d'écoulement du puits SU/PE-1-15 (Sans pompage)
- Piézométrie (10 m)
- Bassin versant des puits à l'étude (≈8,8 km²)
- Délimitation de la couche d'argile (174 m)
- Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA12
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 35 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-12	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		





2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999

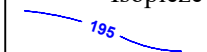


Légende

Ligne d'écoulement
(tracé représentant l'eau qui
peut être captée par les sites
de prélèvements)

 Puits SU/PE-1-15

 Puits Academy

Isopièze


Exagération verticale : x2

Client : **Ville de Sutton**
 Projet : **Détermination du potentiel d'exploitation
 sécuritaire - Aquifère du secteur village**
 Titre : Direction des écoulements simulés (Feflow)

Échelle :	n/a	Sceau :
Figure :	A-13	
Date :	28 juin 2023	
Dossier :	09-6050-5017	

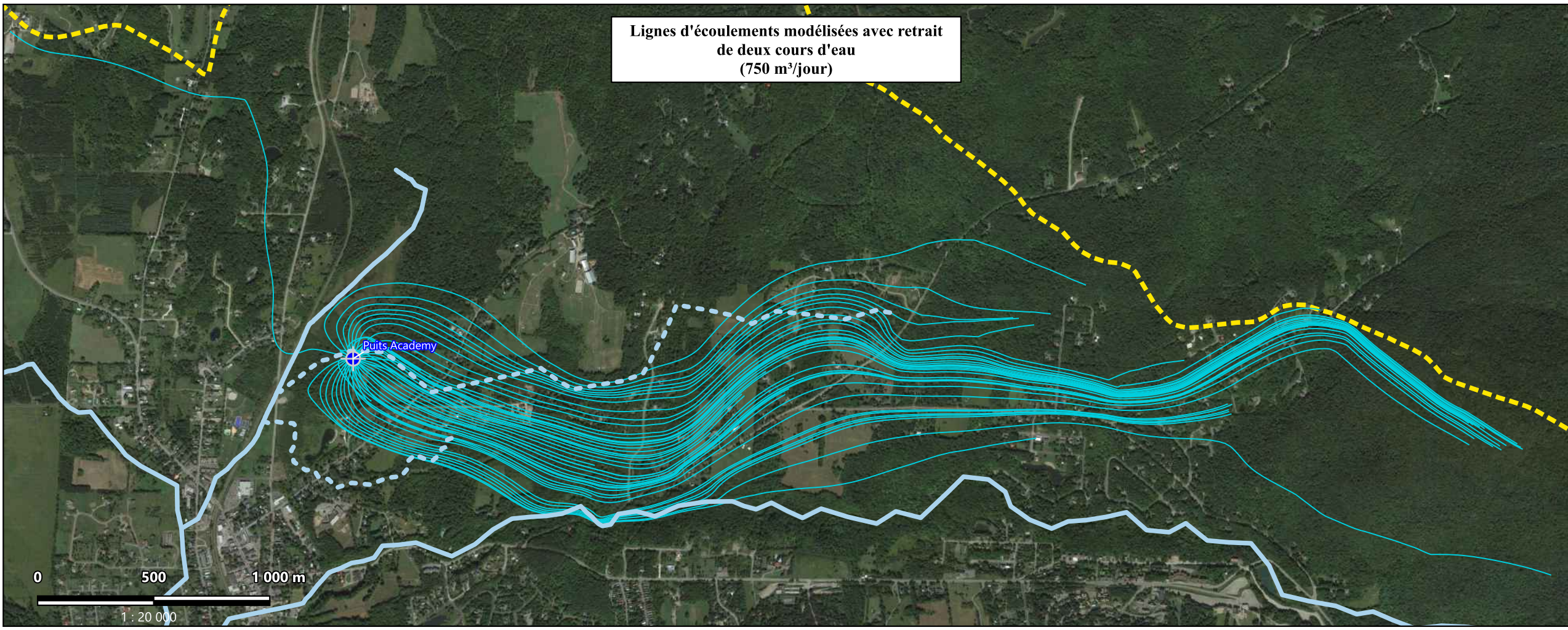
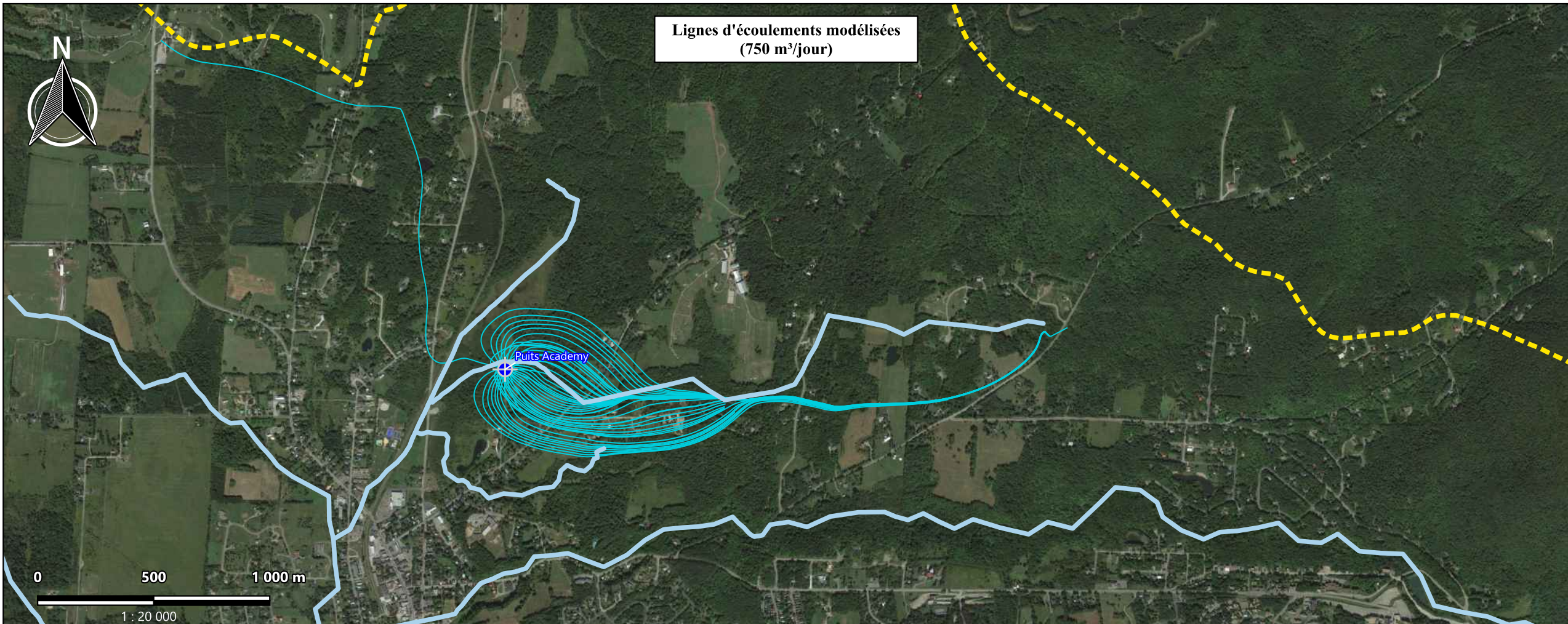
Préparé par : Karl Lechat, Ph. D.

Dessiné par : Martin Gascon

Vérifié par : Hubert Noël, ing.



2425, avenue Watt, bureau 210
 Québec (Québec) G1P 3X2
 Téléphone : 418 657-7999
 Sans frais : 1 877 657-7999
 Télécopieur : 418 657-5999








Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Modélisation numérique
Effet des cours d'eau

LÉGENDE

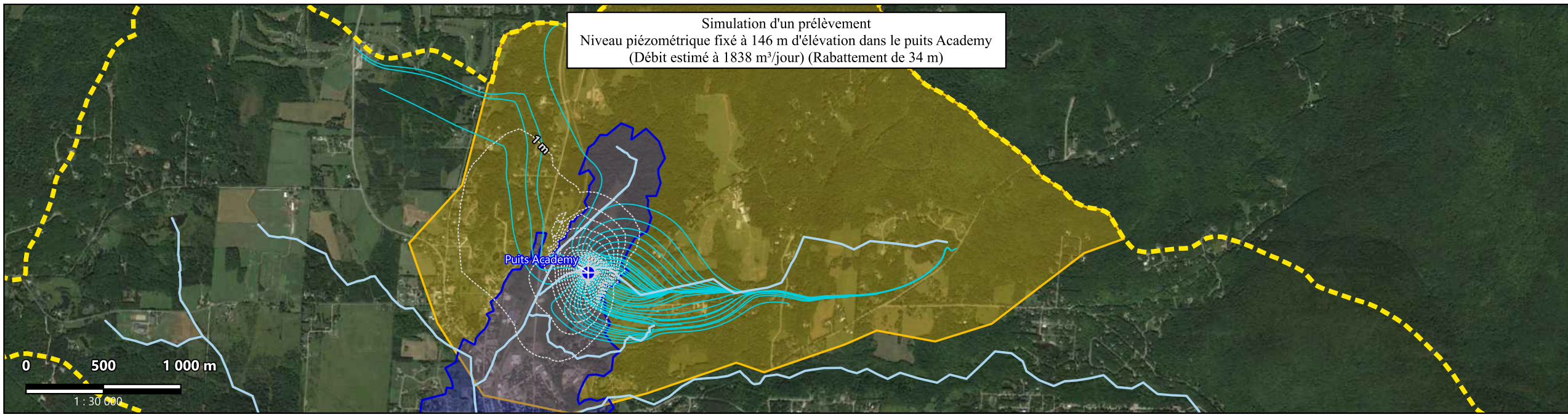
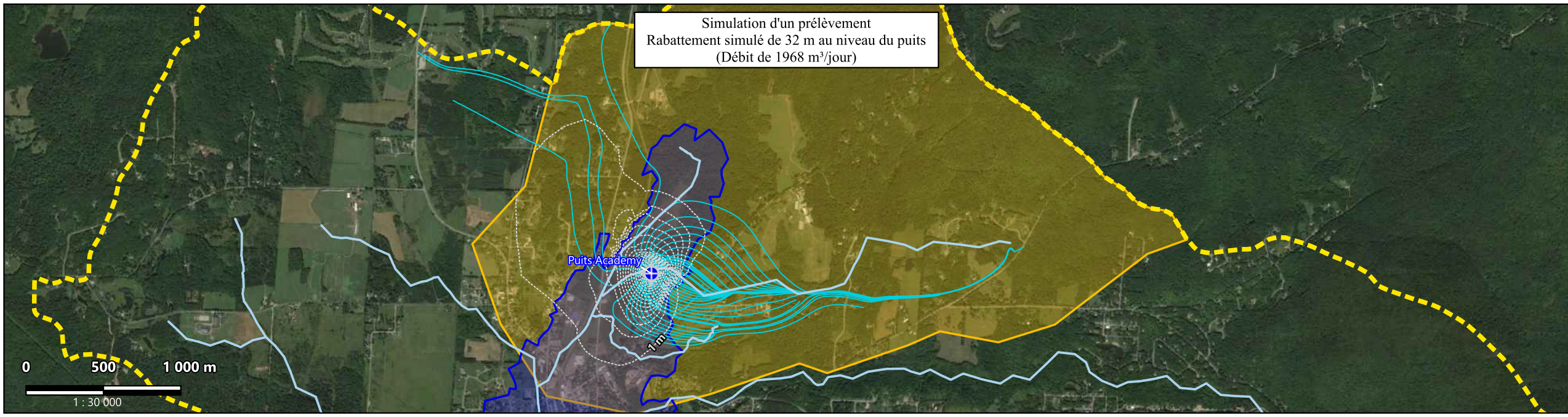
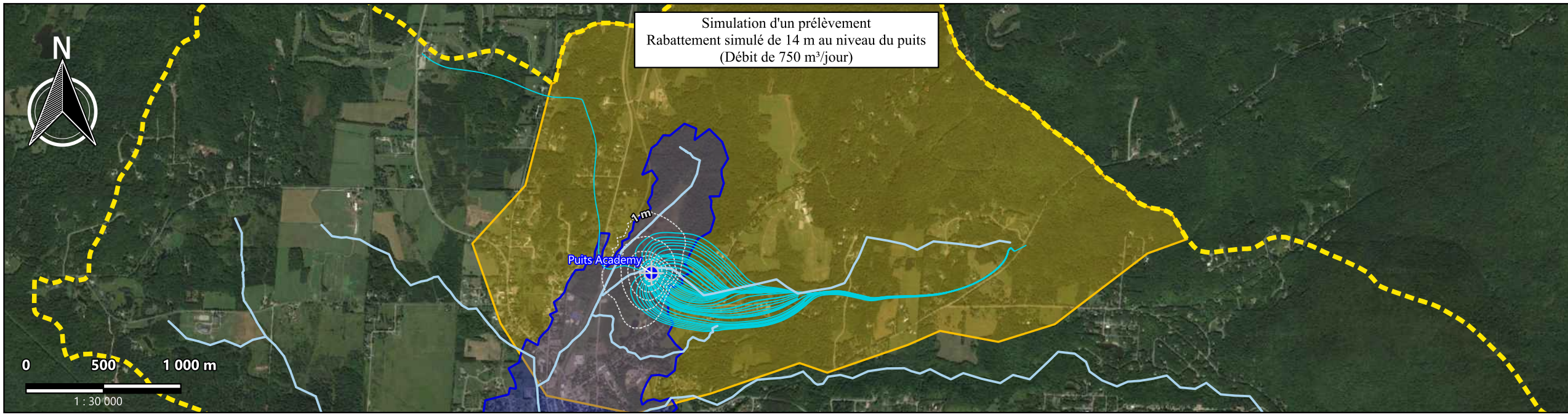
-  Puits à l'étude
-  Ligne d'écoulement
-  Cours d'eau retiré pour la modélisation
-  Cours d'eau utilisé pour la modélisation
-  Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA14
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 20 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-14	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Simulation des écoulements créés par le
prélèvement du puits Academy

LÉGENDE

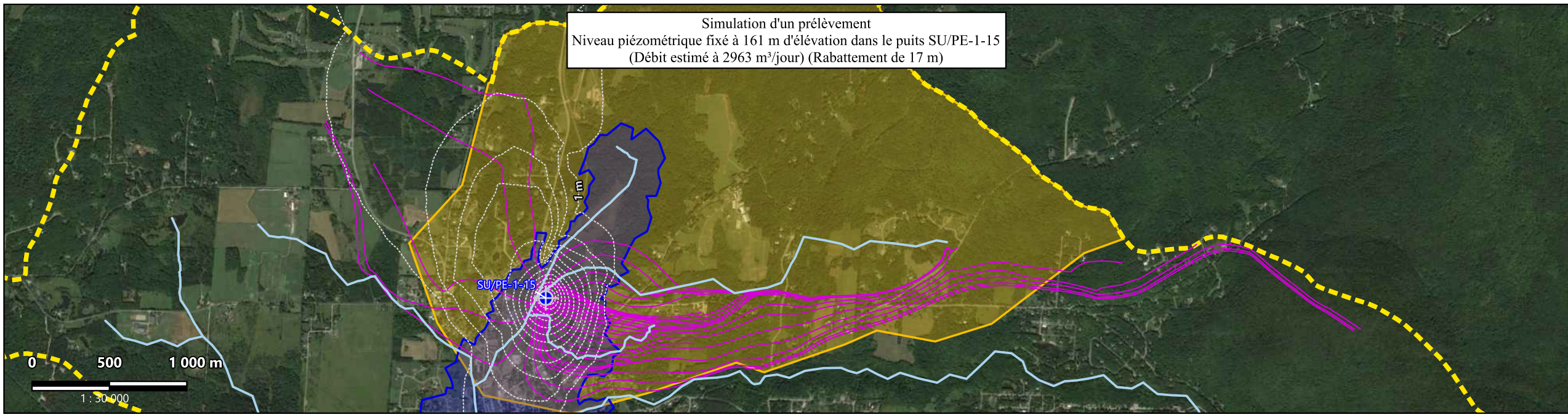
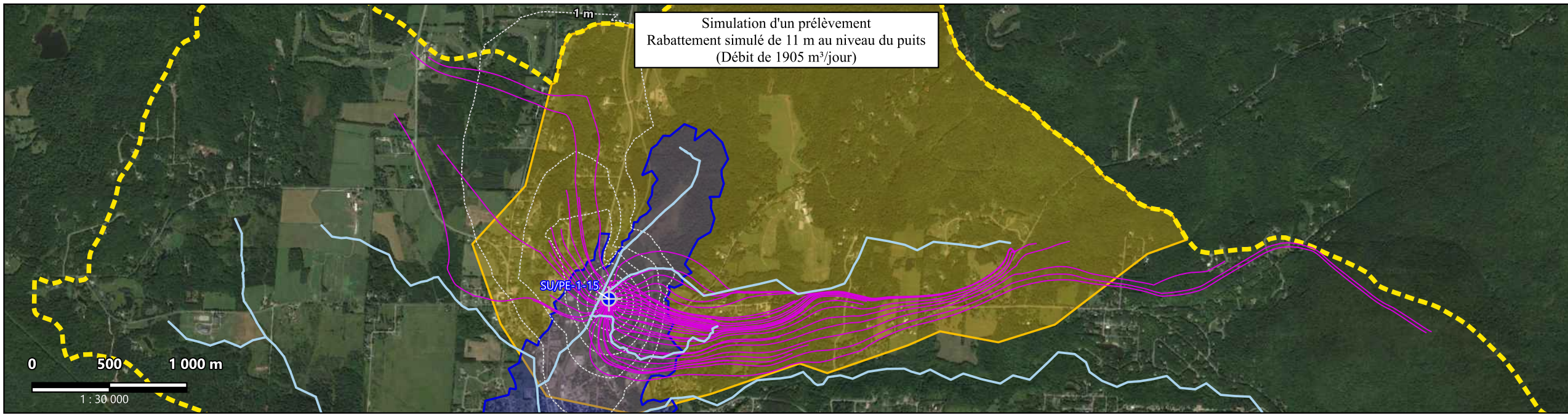
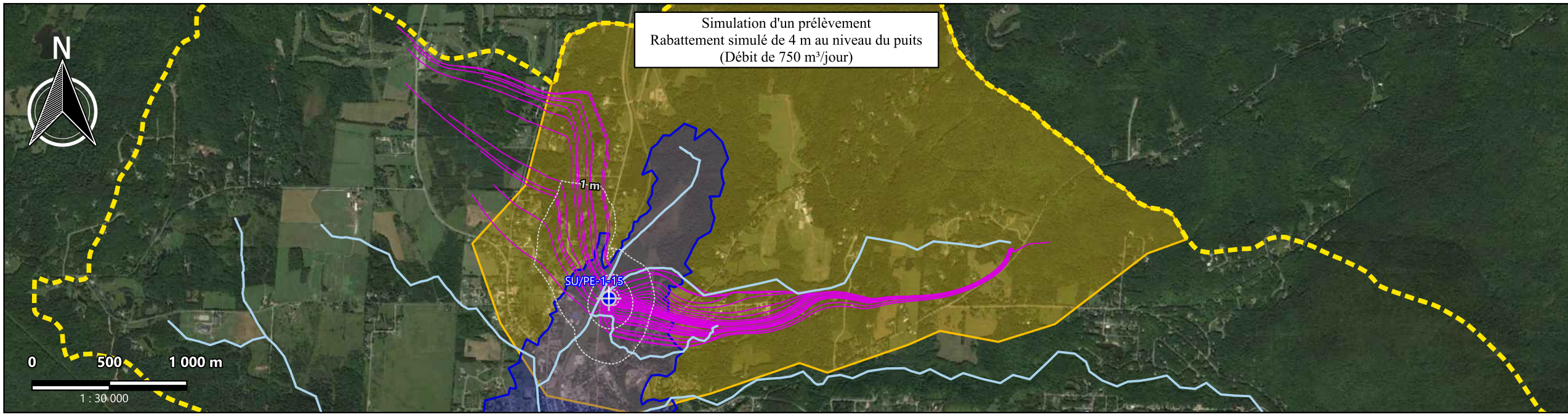
- Puits à l'étude
- Ligne d'écoulement du puits Academy
- Rabattement de la nappe
- Cours d'eau utilisé pour la modélisation
- Délimitation de la couche d'argile (174 m)
- Bassin versant des puits à l'étude (≈8,8 km²)
- Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA15
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 30 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-15	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Simulation des écoulements créés par le
prélèvement du puits PE-1-15

LÉGENDE

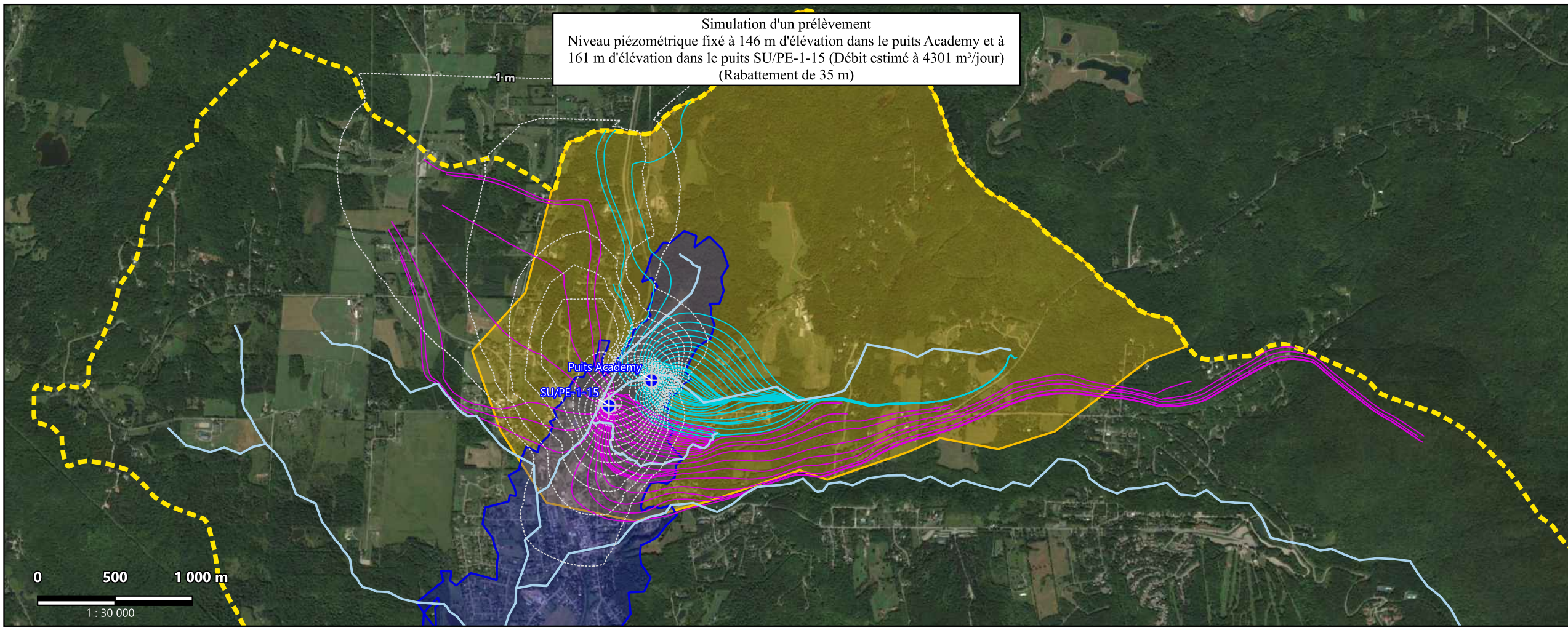
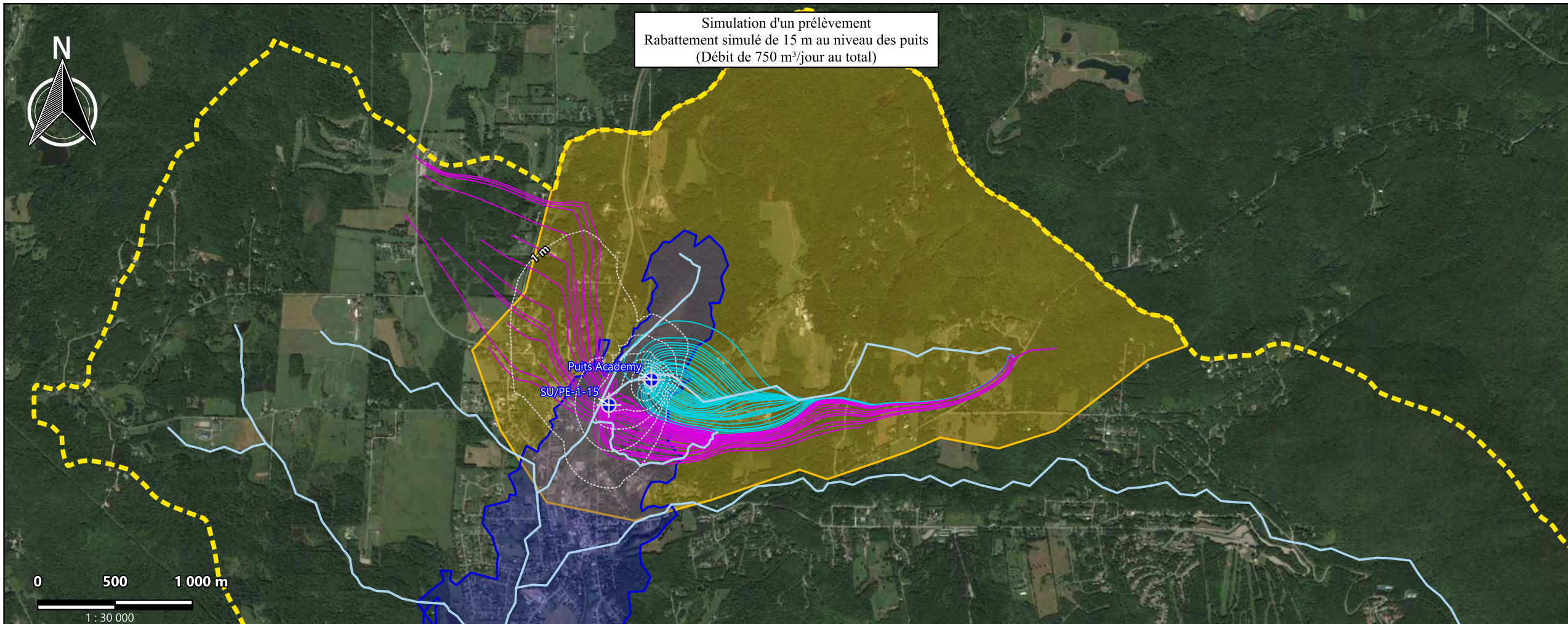
- Puits à l'étude
- Ligne d'écoulement du puits SU/PE-1-15
- Rabattement de la nappe
- Cours d'eau utilisé pour la modélisation
- Délimitation de la couche d'argile (174 m)
- Bassin versant des puits à l'étude (≈8,8 km²)
- Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA16
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 30 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-16	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999



Ville de Sutton

Étude hydrogéologique
Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire
Aquifère du secteur Village

Simulation des écoulements créés par les prélèvements des puits Academy et PE-1-15

LÉGENDE

- Puits à l'étude
- Ligne d'écoulement du puits Academy
- Ligne d'écoulement du puits SU/PE-1-15
- Rabattement de la nappe
- Cours d'eau utilisé pour la modélisation
- Délimitation de la couche d'argile (174 m)
- Bassin versant des puits à l'étude (≈8,8 km²)
- Limite du modèle numérique (≈45,2 km²)

Nom du fichier : 09-6050-5017_figA17
Fond cartographique : Google satellite
Projection NAD83 UTM18

Échelle :	1 : 30 000	Date :	2023-07-31
Figure :	A-17	Dossier :	09-6050-5017
Approuvé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Préparé par :	Hubert Noël, ing., M. Ing.		
Dessiné par :	Patrick Napier, technicien en géomatique		



2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Téléphone : 418 657-7999
Sans frais : 1 877 657-7999
Télécopieur : 418 657-5999

ANNEXE B

NOTE EXPLICATIVE SUR LES RAPPORTS DE SONDRAGE
STRATIGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT DU PUIITS D'ESSAI, DES
PUIITS MUNICIPAUX ET DES FORAGES EXPLORATOIRES

NOTE EXPLICATIVE SUR LES RAPPORTS DE SONDAGE

PROFONDEUR

Les profondeurs des contacts des diverses couches et des détails d'installation sont relatives à l'échelle présentée à cette rubrique. La profondeur zéro équivaut à l'élévation du sol. L'élévation (m) ou contact géologique fait référence à une élévation arbitraire ou géodésique (mesurée).

NIVEAU D'EAU

La profondeur de l'eau souterraine est indiquée schématiquement à cette rubrique. La référence à l'élévation ou à la profondeur et la date de la mesure sont présentées à cette rubrique.







DESCRIPTION DES SOLS ET DU ROC

Chaque couche du terrain est décrite selon la terminologie d'usage. La proportion des éléments constituant les sols des diverses couches est donnée en accord avec les termes descriptifs énumérés plus bas.

Chaque couche stratigraphique est identifiée relativement à son élévation ou à sa profondeur par rapport à la surface du terrain. Ces données sont fournies pour chacun des contacts à gauche de la colonne de description stratigraphique.






SYMBOLES STRATIGRAPHIQUES

DÉPOTS MEUBLES










	Blocaux		Argile
	Gravier		Silt
	Sable		Sol organique

ROCHES MÉTAMORPHIQUES

ROCHES IGNÉES

	Gneiss		Granite, gabbro, anorthosite, diorite
	Schiste		Laves, basalte, obsidienne
	Ardoise		

ROCHES SÉDIMENTAIRES

	Conglomérat		Calcaire argileux
	Siltstone		Calcaire gréseux ou calcarénite
	Grès		Calcaire
	Shale		Dolomie
	Shale calcaireux		

Classification des sols

Argile et Silt	< 80 µm
Sable	80 µm à 5 mm
Gravier	5 mm à 80 mm
Cailloux	80 mm à 300 mm
Blocs	> 300 mm

Terminologie (Burmister)

Traces	< 10 %
Un peu	10- 20 %
Adjectif (silteux, sablonneux)	20-35 %
Et	35-50 %

Compacité relative Indice de pénétration standard (coup N/0,3 m)

Très lâche	0-4
Lâche	4-10
Moyenne ou compacte	10-30
Dense	30-50
Très dense	> 50

Consistance des sols cohérents

Résistance au cisaillement (kPa)

Très molle	< 12
Molle	12-25
Moyenne ou ferme	25-50
Raide	50-100
Très raide	100-200
Dure	> 200

Indice de la qualité de la roche (RQD)

Qualificatif	RQD %
Mauvais	0-25
Médiocre	25-50
Moyen	50-75
Bon	75-90
Excellent	90-100

Description visuelle et olfactive de la contamination

Définition	Abréviation
Aucune	A
Faible	F
Moyenne / Dissiminé	M / D
Forte / Imbibé	F / I

Types d'échantillons

Définition	Abréviation
Déblai de forage	D
Cuillère fendue	CF
Tube Shelby	ST
Tarrière manuelle	TM
Tube acrylique	TA



FORATEK INTERNATIONAL INC

2251 CHEMIN ST-FRANCOIS
DORVAL, QUÉBEC
Tél.: (514) 883-2860

RAPPORT DE FORAGE

Puits
Piézomètre
Sondage

No. 1/83

LOG GÉOLOGIQUE	PROF. m	SCHEMA	DÉTAILS	DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS ET OBSERVATIONS	Projet <u>VILLE DE SUTTON</u> Localisation <u>RUE ACADEMY</u> Date <u>AVRIL 1983</u> Foreuse <u>Bucyrus 60L</u> No. <u>104</u> <u>Drilltech D40K</u> No. <u>116</u> Méthode de forage <u>percussion-rotation</u> Élévation du sol <u>± 589'</u> Profondeur totale <u>65.1 m *</u> Méthode d'échantillonnage _____ Nbre. d'échantillons _____ Analyses granulométriques <u>3 au niveau de la crépine</u> NIVEAU D'EAU Prof. <u>artésien</u> Élévation _____ TUBAGE Longueur diam. caractéristiques <u>54.3m 24" acier</u> <u>5.8m 12" acier</u> CRÉPINE ou PIEZOMÈTRE Longueur diam. caractéristiques <u>9.15m 12" acier inoxydable</u> type <u>Johnson no. 80</u> DÉVELOPPEMENT Méthode <u>air comprimé</u> Durée <u>8 heures</u> DÉTAILS SUPPLÉMENTAIRES _____ * Les profondeurs indiqués sont _____ données a partir de l'élévation du _____ sol au moment du forage _____ _____ _____ _____			
	0		margelle:					
	5		0.0m					
	10		8.2m	sable fin et gravier				
	15		13.7m	sable fin, gravier, couches d'argile (1 a 2")				
	20			argile, un peu de gravier et quelques blocs				
	25							
	30							
	35		35.4m	gravier, un peu d'argile et de sable fin, quelques blocs				
	40							
	45							
	50	53.1m	sable, gravier et quelques blocs					
	55							
	60							
	65	65.1m	roc probable					

Responsable (s)

B. Bouchard

C. Blais

EL. 597.50 DESSUS DE LA BASE DE BETON
DU MOTEUR

EL. 594.50 NIVEAU DE
LA DALLE DE BETON

EL. 593.5 DEBUT DU TUBAGE 24" Ø

EL. 573.50 FIN DU COULIS DE BETON

EL. 429.50 DEBUT DU TUBAGE 12" Ø

EL. 427.50 DEBUT DU BOUCHON DE COULIS

EL. 424.50 FIN DU BOUCHON DE COULIS

EL. 414.50 FIN DU TUBAGE DE 24" Ø

EL. 410.50 FIN DU TUBAGE DE 12" Ø

EL. 380.50 FIN DE LA CREPINE DE 12" Ø

EL. 379.00 FIN DU FORAGE

BASE DE BETON DU MOTEUR

TUBAGE 10" Ø

COUVERCLE 24" Ø

FORAGE 30" Ø

COULIS DE BETON

TUBAGE 24" Ø

RACCORD FILETE 12" Ø

ENTONNOIR DE GUIDAGE 12"

BOUCHON DE COULIS

TUBAGE 12" Ø

ENVELOPPE DE GRAVIER-FILTRE
1/16" - 1/8"

CREPINE 12" Ø EN ACIER INOXYDABLE
TYPE 'JOHNSON' NO. 80

 FORATEK INTERNATIONAL INC. DORVAL, QUEBEC	
VILLE DE SUTTON	
PROJET NO 83001	PUITS RUE ACADEMY
COUPE DU PUIS	
" TEL QUE CONSTRUIT "	
Echelle	Date 1983 R.L. R-ST-G. AVRIL '83

FIG. 1

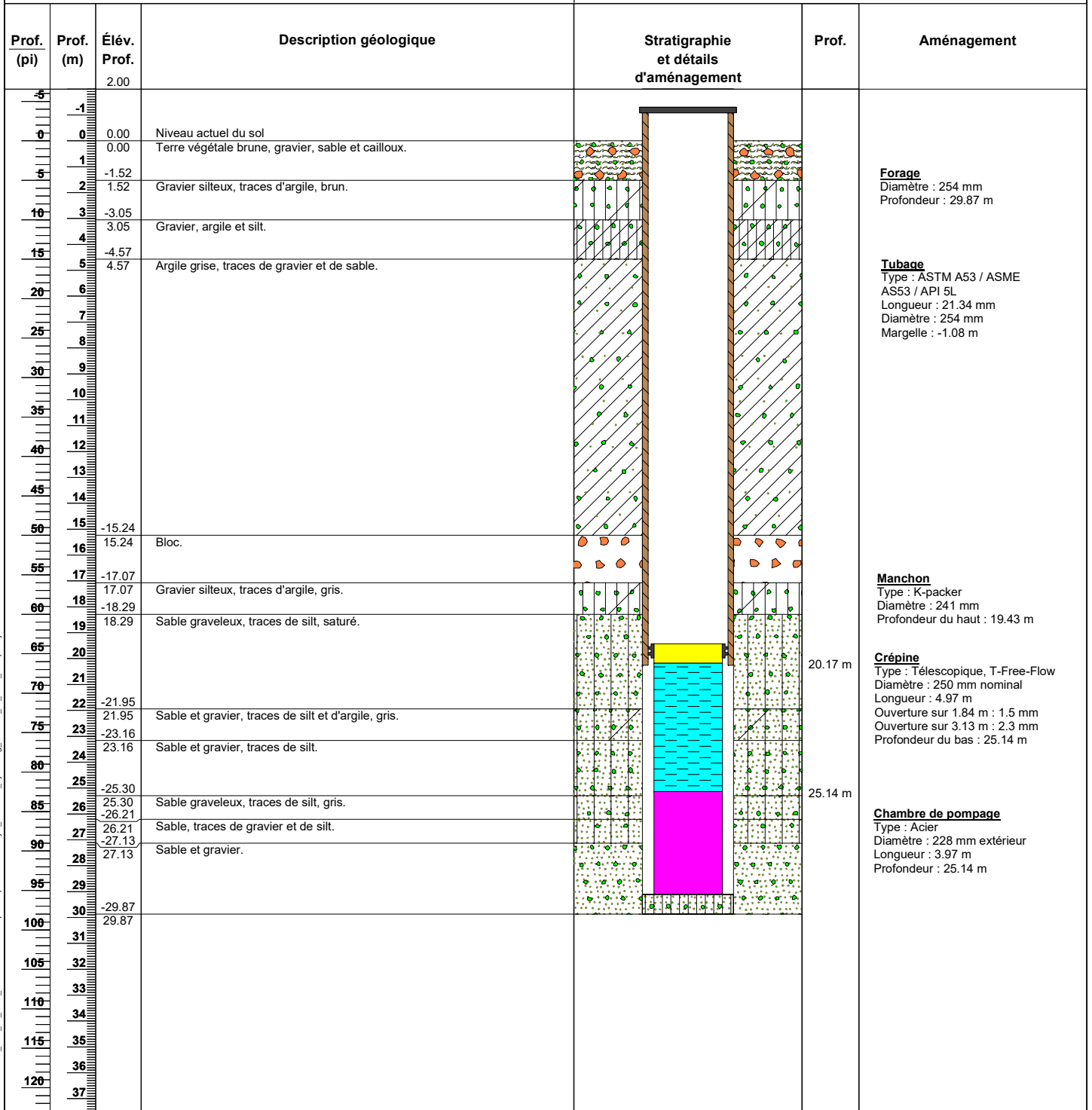
Journal de forage	Croquis du puits	Matériaux du Puits														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:80%;">bleu et gravier 112</td> <td style="width:20%; text-align: center;">16</td> </tr> <tr> <td>bleu brune, blocaux</td> <td style="text-align: center;">38</td> </tr> <tr> <td>bleu grise, blocaux</td> <td style="text-align: center;">52</td> </tr> <tr> <td>bleu, blocaux</td> <td style="text-align: center;">81</td> </tr> <tr> <td>bleu lisière de mer et sable fin ocaux</td> <td style="text-align: center;">143</td> </tr> <tr> <td>caux sable, gravier mer de argile</td> <td style="text-align: center;">190</td> </tr> <tr> <td>caux sable, gravier fin</td> <td style="text-align: center;">214</td> </tr> </table>	bleu et gravier 112	16	bleu brune, blocaux	38	bleu grise, blocaux	52	bleu, blocaux	81	bleu lisière de mer et sable fin ocaux	143	caux sable, gravier mer de argile	190	caux sable, gravier fin	214		<p>Tubage extérieur : _____ "dia., _____ "Epaisseur Tubage intérieur : <u>10</u> "dia., _____ "Epaisseur Crépine : <u>8</u> "dia., Marque _____, Ouvert _____ Bouchon : <u>Plaque</u> Gravier : <u>3</u> vge cu., Type <u>Cape May</u> dim: <u>Moyen</u></p> <p style="text-align: center;"><u>Pompe</u></p> No : _____ Montage PB-BP : _____ No. de paliers : _____ Longueur bol : _____ Bol : _____ Dia. & long. suction : _____ Tête : _____ Dimension colonne : _____ Autres détails : _____ <p style="text-align: center;"><u>Moteur</u></p> Marque : _____ Phase : _____ C.V. : _____ Cycles : _____ T.P.M. : _____ Volts : _____ Type : _____ Amps. : _____ Bâti : _____ No. Série : _____ Coussinets Nos. _____ <p style="text-align: center;"><u>Equipement spécial</u></p> <hr/> <p style="text-align: center;"><u>Puits No. Puits d'essai 1/80</u></p> P.B. par rapport au niveau original du sol : <u>6"</u> Profondeur à partir de P.B. : <u>214'</u> Date du début des travaux : <u>4/09/80</u> Date de l'essai final : <u>29/09/80</u> Niveau statique : <u>1.72'</u> Niveau de pompage : <u>94.25'</u> Garantie : _____ GIPM Débit : <u>350</u> GIPM Pression, contrat : _____ Pression, pompe : _____ Longueur de la ligne d'air : _____ <p style="text-align: center;">compagnie internationale des eaux ltée MONTREAL</p>
bleu et gravier 112	16															
bleu brune, blocaux	38															
bleu grise, blocaux	52															
bleu, blocaux	81															
bleu lisière de mer et sable fin ocaux	143															
caux sable, gravier mer de argile	190															
caux sable, gravier fin	214															
Revisions et réhabilitations																
Date	Description	Par														

MUNICIPALITE DE LA VILLE DE SUTTON
CROQUIS DU PUIS D'ESSAI 1/80

Maître foreur:	Dessiné par:
Robert Lalonde	
Installé par:	Approuvé par:
Robert Lalonde	

CLIENT : Ville de Sutton
 PROJET : Construction d'un puits de production.
 NO DOSSIER : 09-6050-3127
 DATES DU SONDAGE : 07 Décembre 2015 au 10 Décembre 2015
 LOCALISATION : 0687743, 4998362 18t UTM NAD83

PUISATIER : F.Lapointe et fils inc.
 MÉTHODE DE FORAGE : DR-24
 SUPERVISÉ PAR : Yannick Côté, tech.
 DESSINÉ PAR : Martin Gascon
 VÉRIFIÉ PAR : Hubert Noël, ing, M.ing



Forage
 Diamètre : 254 mm
 Profondeur : 29.87 m

Tubage
 Type : ASTM A53 / ASME
 AS53 / API 5L
 Longueur : 21.34 m
 Diamètre : 254 mm
 Margelle : -1.08 m

Manchon
 Type : K-packer
 Diamètre : 241 mm
 Profondeur du haut : 19.43 m

Crépine
 Type : Téléscopique, T-Free-Flow
 Diamètre : 250 mm nominal
 Longueur : 4.97 m
 Ouverture sur 1.84 m : 1.5 mm
 Ouverture sur 3.13 m : 2.3 mm
 Profondeur du bas : 25.14 m

Chambre de pompage
 Type : Acier
 Diamètre : 228 mm extérieur
 Longueur : 3.97 m
 Profondeur : 25.14 m

- Remblai
- Bentonite
- Sable de silice
- Ciment
- Échantillon analysé
- Refus de pénétration

- Niveau statique p/r au terrain naturel
- Venue(s) d'eau

- P.t. Profondeur totale
- Q.t. Débit total

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
		2,00				
		0,00	Surface du terrain naturel			
		0,00	Remblai. Sable, traces de silt et gravier, brun, sec. Présence de cailloux.		0,00 m	Forage Diamètre : 150 mm Profondeur : 5,00 m
		-1,00	Sable, un peu de silt, traces de gravier, brun foncé, sec.			
		-2,00	Schiste fracturé, veines de quartz, saturé. Présence de rouille.			
		-5,00	Fin du sondage à 5 m		5,00 m	

- P.t. Profondeur totale
- Q Débit
- Niveau statique p/r au terrain naturel
- Venue(s) d'eau
- Manchon
- Crépine
- Refus de pénétration
- Remblai
- Bentonite
- Pierre nette 1/2"

Remarques : Forage abandonné.

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

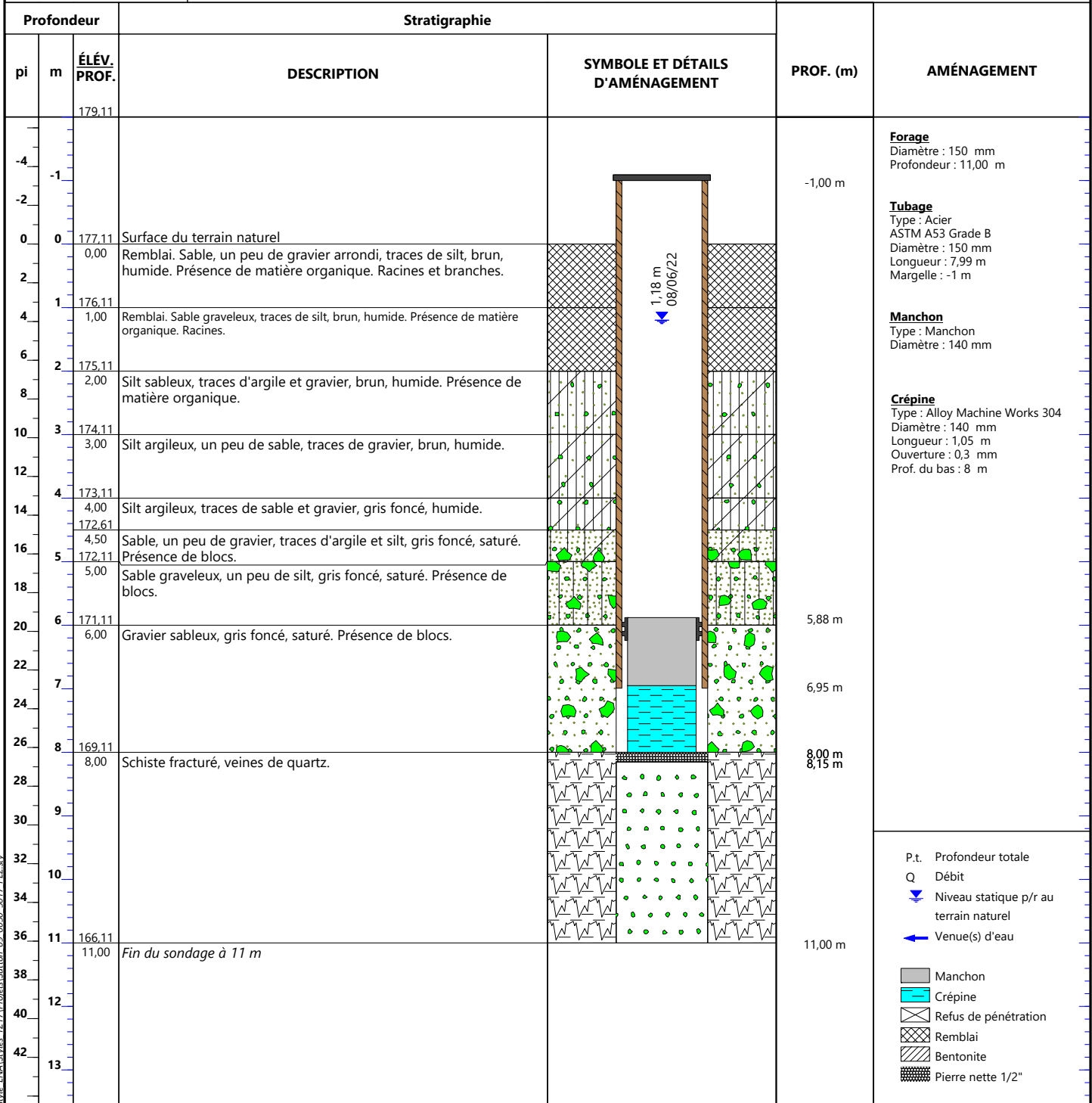
Client : Ville de Sutton
Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire – Aquifère Village
Site : Parc Goyette, Sutton (Québec)
Date(s) de sondage : 07 juin 2022 08 juin 2022
Puisatier : Forage FTE
Méthode de forage : Foremost DR24, double rotation

RAPPORT DE SONDAGE

Sondage N° : SU/FE-2-22
Dossier : 09-6050-5017

Coordonnées géographiques
 NAD83/UTM Zone 18 N
 Est : 687532,26 m Nord : 4998170,75 m

Niveau de référence : 177,11 m



P.t. Profondeur totale
 Q Débit
 Niveau statique p/r au terrain naturel
 Venue(s) d'eau

Manchon
 Crépine
 Refus de pénétration
 Remblai
 Bentonite
 Pierre nette 1/2"

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc.
Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Date: 2023-04-28

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
		223,33				
-4	-1					
-2						
0	0	221,33	Surface du terrain naturel			
2	1	220,33	Sable et gravier de forme arrondie, un peu de silt, brun foncé, humide. Présence de matière organique (20%).		-0,99 m	Forage Diamètre : 150 mm Profondeur : 21,00 m Tubage Type : Acier ASTM A53 Diamètre : 150 mm Longueur : 16,05 m Margelle : -0,99 m Manchon Type : K-packer Diamètre : 140 mm Crépine Type : Acier inoxydable, type 304 Diamètre : 140 mm Longueur : 0,97 m Ouverture : 0,254 mm Prof. du bas : 16,03 m
4	2	220,33	Sable (fin à moyen), un peu de gravier de forme arrondie, traces de silt, brun, humide. Présence de matière organique (<5%) .			
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						
22						
24						
26	8	213,33	Silt sableux, un peu de gravier, traces d'argile, gris foncé, humide.			
28						
30						
32						
34						
36	11	210,33	Sable, un peu de gravier, traces de silt, brun, humide.			
38						
40	12	209,33	Silt sableux, un peu de gravier, traces d'argile, gris foncé, humide.			
42						
44						
46						
48						
50	15	206,33	Silt, un peu de sable, traces d'argile et gravier, brun pâle.		14,24 m	
52					15,06 m	
54	16	205,33	Silt, traces d'argile, sable et gravier, gris pâle.		16,03 m	
56						
58						
60	18	203,33	Roc, gris.			
62						
64						
66						
68						
70	21	200,33				
72	22	21,00	Fin du sondage à 21 m		21,00 m	
74						
76	23					

- P.t. Profondeur totale
- Q Débit
- ▼ Niveau statique p/r au terrain naturel
- ← Venue(s) d'eau
- Manchon
- Crépine
- ▨ Refus de pénétration
- ▨ Remblai
- ▨ Bentonite
- ▨ Pierre nette 3/4"

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
		181,21				
-4	-1				-1,09 m	<p>Forage Diamètre : 100 mm Profondeur : 36,60 m</p> <p>Tubage protecteur Type : ABS Diamètre : 150 mm Longueur : 1,5 m Margelle : -1,09 m</p> <p>Tubage intérieur Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 28,7 m Margelle : -1 m</p> <p>Crépine Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 6,1 m Ouverture : 0,254 mm Prof. du bas : 34,00 m</p> <p>P.t. Profondeur totale Q Débit Niveau statique p/r au terrain naturel Venue(s) d'eau</p> <p> Tubage PVC Crépine Refus de pénétration Remblai Bentonite Sable de silice</p>
0	0	179,21	Surface du terrain (remblai)			
		0,00	Sable, traces de silt et gravier, noir, saturé. Présence de matière organique (75%).		0,41 m	
	1	178,60	Sable graveleux, traces de silt, brun, saturé. Présence de matière organique (5%).			
		0,61				
	2	177,38	Sable (moyen), un peu de gravier, traces de silt, brun-gris, saturé.			
		1,83				
	3	175,86	Sable (fin), un peu de silt, traces de gravier, gris, saturé.			
		3,35				
	4	174,33	Silt sableux (fin), traces d'argile, gris, compact, saturé.			
		4,88				
	5	172,81	Sable (fin), traces de silt, gris, compact, saturé.			
		6,40				
	6	171,29	Argile silteuse, gris, saturé.		7,60 m	
		7,92				
	7	169,76	Sable (fin), un peu de silt, gris, saturé.			
		9,45				
	8	168,24	Gravier sableux, gris foncé, très dense. Présence de blocs (<10%).			
		10,97				
	9	166,71	Sable et gravier, saturé.			
		12,50				
	10	164,20	Sable (fin), gris, saturé.			
		15,01				
	11	162,45	Sable, traces de silt, brun-gris, saturé.			
		16,76				
	12	160,92	Argile, traces de silt, sable et gravier, gris, saturé.			
		18,29				
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc., Hubert Noël, ing.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Client : Ville de Sutton
Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire – Aquifère Village
Site : Rue du puits, Sutton (Québec)
Date(s) de sondage : 19 octobre 2022 au 27 octobre 2022
Puisatier : Forage Liégeois inc.
Méthode de forage : Carottier / Cuillère fendue (foreuse Scoot Maxi)

RAPPORT DE SONDAGE

Sondage N° : SU/FE-4-22
Dossier : 09-6050-5017

Coordonnées géographiques
 NAD83/UTM Zone 18 T
 Nord : 4998670 m Est : 688013 m

Niveau de référence : 179,21 m

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
64	20	159,40 19,81	Silt, traces de sable, gris, saturé.		19,20 m	Forage Diamètre : 100 mm Profondeur : 36,60 m Tubage protecteur Type : ABS Diamètre : 150 mm Longueur : 1,5 m Margelle : -1,09 m Tubage intérieur Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 28,7 m Margelle : -1 m Crépine Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 6,1 m Ouverture : 0,254 mm Prof. du bas : 34,00 m
66	21	157,80 21,41	Silt et sable (fin), gris foncé, saturé.			
68	23	156,27 22,94	Sable (fin) silteux, gris foncé, saturé.			
70	24	154,75 24,46	Argile silteuse, traces de sable et gravier, dense, saturé.			
72	26	153,53 25,68	Sable (grossier) graveleux, gris, saturé.			
74	27					
76	28					
78	29	150,56 28,65	Sable (moyen), gris-brun, saturé.			
80	30					
82	31	148,43 30,78	Sable (moyen), un peu de gravier, gris, saturé.			
84	32					
86	33					
88	34	145,83 33,38	Gravier, traces de sable. Présence de blocs (< 10%).			
90	35	144,77 34,44 144,16 35,05	Silt, traces de sable, gris-vert, saturé. Présence de blocs (35-50%).			
92	36		Silt, traces de sable, gris, vert, blanc, saturé. Présence de blocs (20-35%).			
94	37	142,63 36,60	Fin du sondage à 36,60 m.			
96	38					
98	39					
100	40					

- P.t. Profondeur totale
- Q Débit
- ▼ Niveau statique p/r au terrain naturel
- ← Venue(s) d'eau
- ▭ Tubage PVC
- ▭ Crépine
- ▭ Refus de pénétration
- ▭ Remblai
- ▭ Bentonite
- ▭ Sable de silice

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc., Hubert Noël, ing.
Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Date: 2023-04-28

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
		182,25				
-4	-1					
-2						
0	0	180,25	Surface du terrain naturel		-1,00 m	Forage Diamètre : 150 mm Profondeur : 52,22 m
2		0,00	Remblai. Sable graveleux, traces de silt, humide. Présence de matière organique (10-20%).			Tubage Type : Acier ASTM A53 Diamètre : 150 mm Longueur : 51,18 m Margelle : -1 m
4	1	179,25	Sable (fin à moyen), un peu de silt, traces de gravier, brun foncé, humide à saturé. Présence de matière organique (<5%).			
6	2	1,00				
8						
10	3					
12						
14	4	176,25	Sable (grossier), un peu de gravier, brun foncé, humide.			Manchon Type : K-packer Diamètre : 140 mm
16	5	175,25				
18	6	5,00	Sable, un peu de silt, traces de gravier, brun foncé, saturé.			
20						
22	7					
24						
26	8	172,25	Sable, un peu d'argile et silt, traces de gravier, brun-gris foncé, humide.			Crépine Type : Acier inoxydable, type 304 Diamètre : 140 mm Longueur : 1,08 m Ouverture : 0,635 mm Prof. du bas : 50,9 m
28	9	8,00				
30						
32	10	170,25	Argile silteuse, un peu de sable, traces de gravier, brun-gris foncé, humide.			
34	11	10,00				
36						
38	12					
40						
42	13	167,25	Silt sableux, un peu de gravier, traces d'argile, gris foncé, sec à humide. Présence de blocs (<10%).			
44	14	13,00				
46						
48	15					
50						
52	16					
54						
56	17					
58						
60	18					
62						
64	19					
66						
68	20					
70						
72	21					
74						
76	22					
78						
80	23					
82						
84	24					
86						
88	25					
	26					
	27					

P.t. Profondeur totale
 Q Débit
 ↓ Niveau statique p/r au terrain naturel
 ← Venue(s) d'eau

- Manchon
- Crépine
- Refus de pénétration
- Remblai
- Bentonite
- Pierre nette 3/4"

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
92	28					<p>Forage Diamètre : 150 mm Profondeur : 52,22 m</p> <p>Tubage Type : Acier ASTM A53 Diamètre : 150 mm Longueur : 51,18 m Margelle : -1 m</p> <p>Manchon Type : K-packer Diamètre : 140 mm</p> <p>Crépine Type : Acier inoxydable, type 304 Diamètre : 140 mm Longueur : 1,08 m Ouverture : 0,635 mm Prof. du bas : 50,9 m</p>
94	29					
96	30					
98	31					
100	32					
102	33					
104	34					
106	35					
108	36					
110	37					
112	38					
114	39					
116	40					
118	41					
120	42					
122	43					
124	44					
126	45					
128	46					
130	47					
132	48	140,25	Sable graveleux, traces de silt, gris, saturé.			
134	49	40,00				
136	50	139,25	Silt sableux, un peu d'argile et gravier, gris foncé, humide à saturé.			
138	51	41,00				
140	52					
142	53					
144	54	136,25	Sable et gravier, gris-brun, saturé.			
146	55	44,00				
148	56	135,25	Sable graveleux, un peu de silt, traces d'argile, gris foncé, saturé.			
150	57	45,00				
152	58					
154	59	133,25	Sable et gravier, traces de silt, gris-brun, saturé.			
156	60	47,00				
158	61					
160	62					
162	63					
164	64					
166	65					
168	66	129,25	Roc fracturé, gris-noir.			
170	67	51,00				
172	68	128,25	Roc (schiste), noir.			
174	69	52,00				
176	70	128,03	Fin du sondage à 52,22 m			
178	71	52,22				
180	72					
182	73					
184	74					

P.t. Profondeur totale
 Q Débit
 Niveau statique p/r au terrain naturel
 Venue(s) d'eau

Manchon
 Crépine
 Refus de pénétration
 Remblai
 Bentonite
 Pierre nette 3/4"

Remarques :

Technicien : Gabrièle Lemieux, B. Sc.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

Profondeur		Stratigraphie			PROF. (m)	AMÉNAGEMENT
pi	m	ÉLÉV. PROF.	DESCRIPTION	SYMBOLE ET DÉTAILS D'AMÉNAGEMENT		
		181,15				
	-4					
	-1				-1,09 m	Forage Diamètre : 100 mm Profondeur : 3,30 m
	-2				-0,50 m	Tubage protecteur Type : ABS Diamètre : 150 mm Longueur : 1,5 m Margelle : -1,09 m
0	0	179,15 0,00	Surface du terrain (remblai) Sable, traces de silt et gravier, noir, saturé. Présence de matière organique (75%). Surface gazonnée.			Tubage intérieur Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 2,7 m Margelle : -0,9 m
2	1	178,54 0,61	Sable (grossier) graveleux, traces de silt, brun, saturé. Présence de cailloux (20-35%) et matière organique (5%). Surface gazonnée.		0,41 m	Crépine Type : PVC Diamètre : 38 mm Longueur : 1,5 m Ouverture : 0,254 mm Prof. du bas : 3,00 m
4	2				1,20 m	
6	3	177,32 1,83	Sable (moyen), un peu de gravier, traces de silt, brun-gris, saturé. Présence de cailloux (10-20%). Surface gazonnée.		1,50 m	
8	4				3,00 m	
10	5	175,85 3,30	Fin du sondage à 3,30 m.			
12						
14						
16						

- P.t. Profondeur totale
- Q Débit
- ▼ Niveau statique p/r au terrain naturel
- ← Venue(s) d'eau
- ▭ Tubage PVC
- ▭ Crépine
- ▭ Refus de pénétration
- ▭ Remblai
- ▭ Bentonite
- ▭ Sable de silice

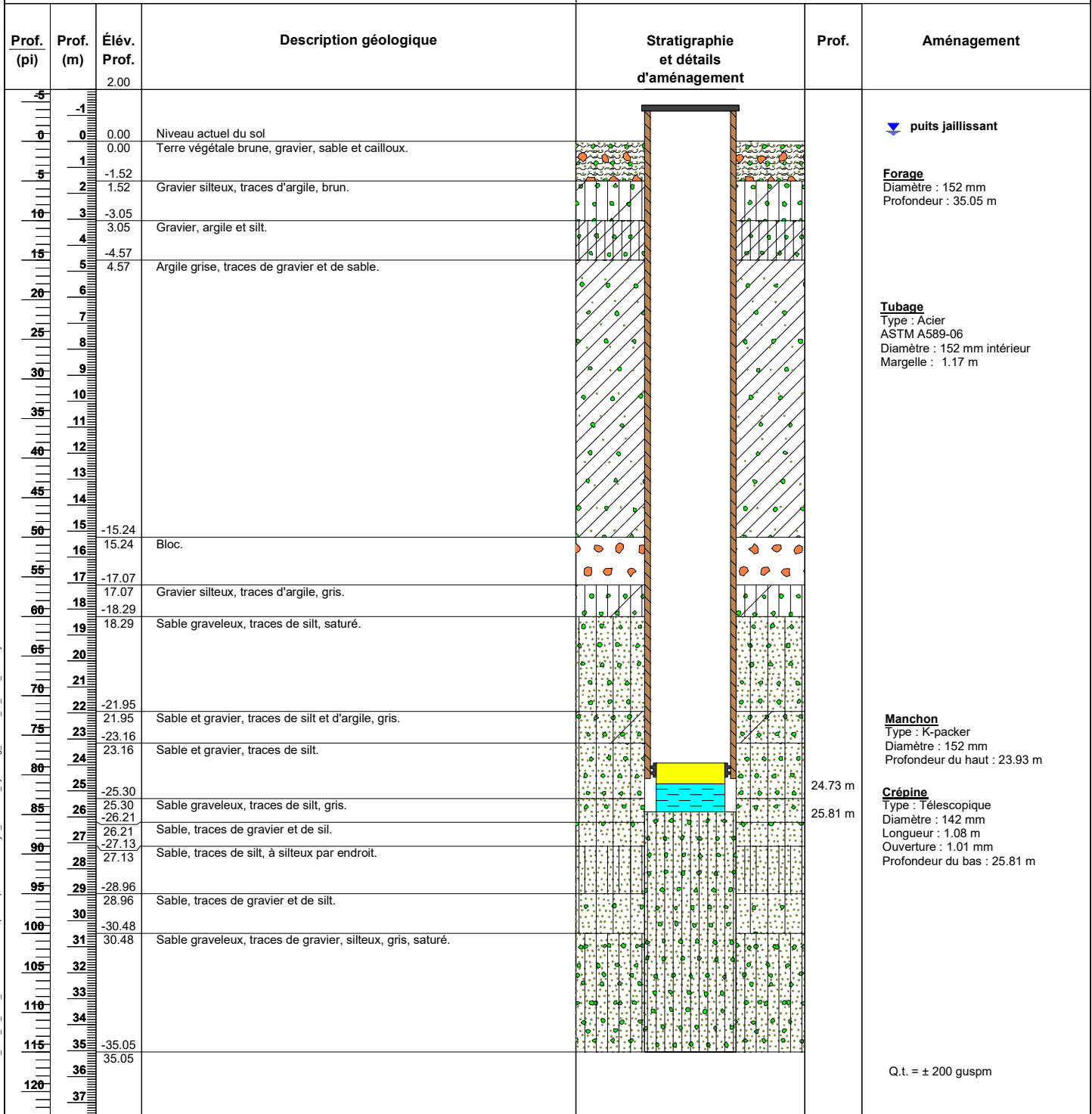
Remarques :

Technicien : Hubert Noël, ing.
 Compilé par : Martin Gascon

Approuvé par : Hubert Noël, ing.

CLIENT : Ville de Sutton
 PROJET : Construction d'un puits de production.
 NO DOSSIER : 09-6050-3127
 DATES DU SONDAGE : 14 Octobre 2015 au 15 Octobre 2015
 LOCALISATION : 0687741, 4998361 18t UTM NAD83

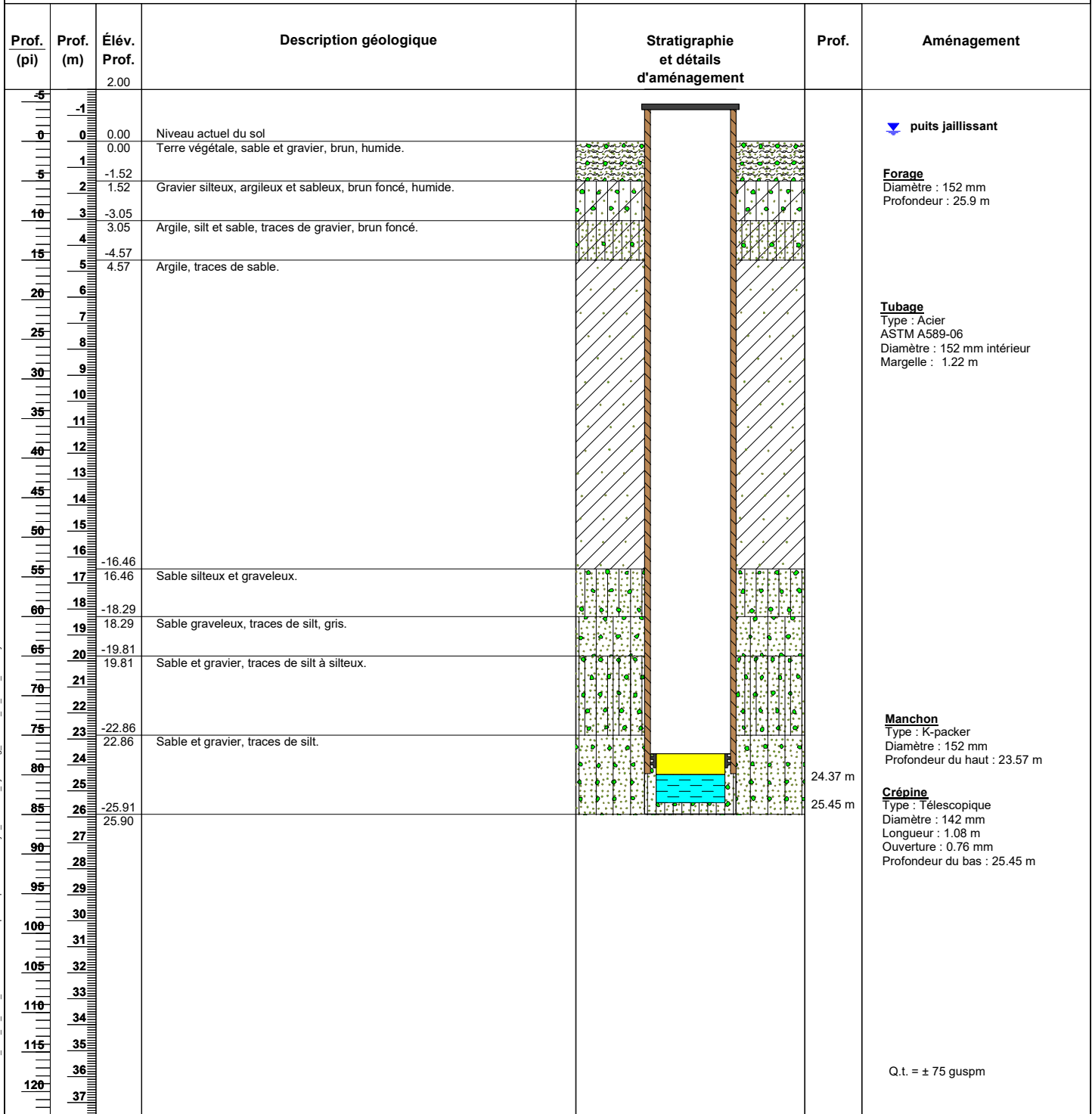
PUISATIER : F.Lapointe et fils inc.
 MÉTHODE DE FORAGE : DR-24
 SUPERVISÉ PAR : Yannick Côté, tech.
 DESSINÉ PAR : Martin Gascon
 VÉRIFIÉ PAR : Hubert Noël, ing, M.ing



- | | | | |
|-----------------|----------------------|--|------------------------|
| Remblai | Ciment | Niveau statique p/r au terrain naturel | P.t. Profondeur totale |
| Bentonite | Échantillon analysé | Venue(s) d'eau | Q.t. Débit total |
| Sable de silice | Refus de pénétration | | |

CLIENT : Ville de Sutton
 PROJET : Construction d'un puits de production.
 NO DOSSIER : 09-6050-3127
 DATES DU SONDAGE : 14 Octobre 2015 au 15 Octobre 2015
 LOCALISATION : 0687714, 4998365 18t UTM NAD83

PUISATIER : F.Lapointe et fils inc.
 MÉTHODE DE FORAGE : DR-24
 SUPERVISÉ PAR : Yannick Côté, tech.
 DESSINÉ PAR : Martin Gascon
 VÉRIFIÉ PAR : Hubert Noël, ing, M.ing



- | | | | |
|-----------------|----------------------|--|------------------------|
| Remblai | Ciment | Niveau statique p/r au terrain naturel | P.t. Profondeur totale |
| Bentonite | Échantillon analysé | Venue(s) d'eau | Q.t. Débit total |
| Sable de silice | Refus de pénétration | | |

ANNEXE C

ESSAI DE POMPAGE PAR PALIERS

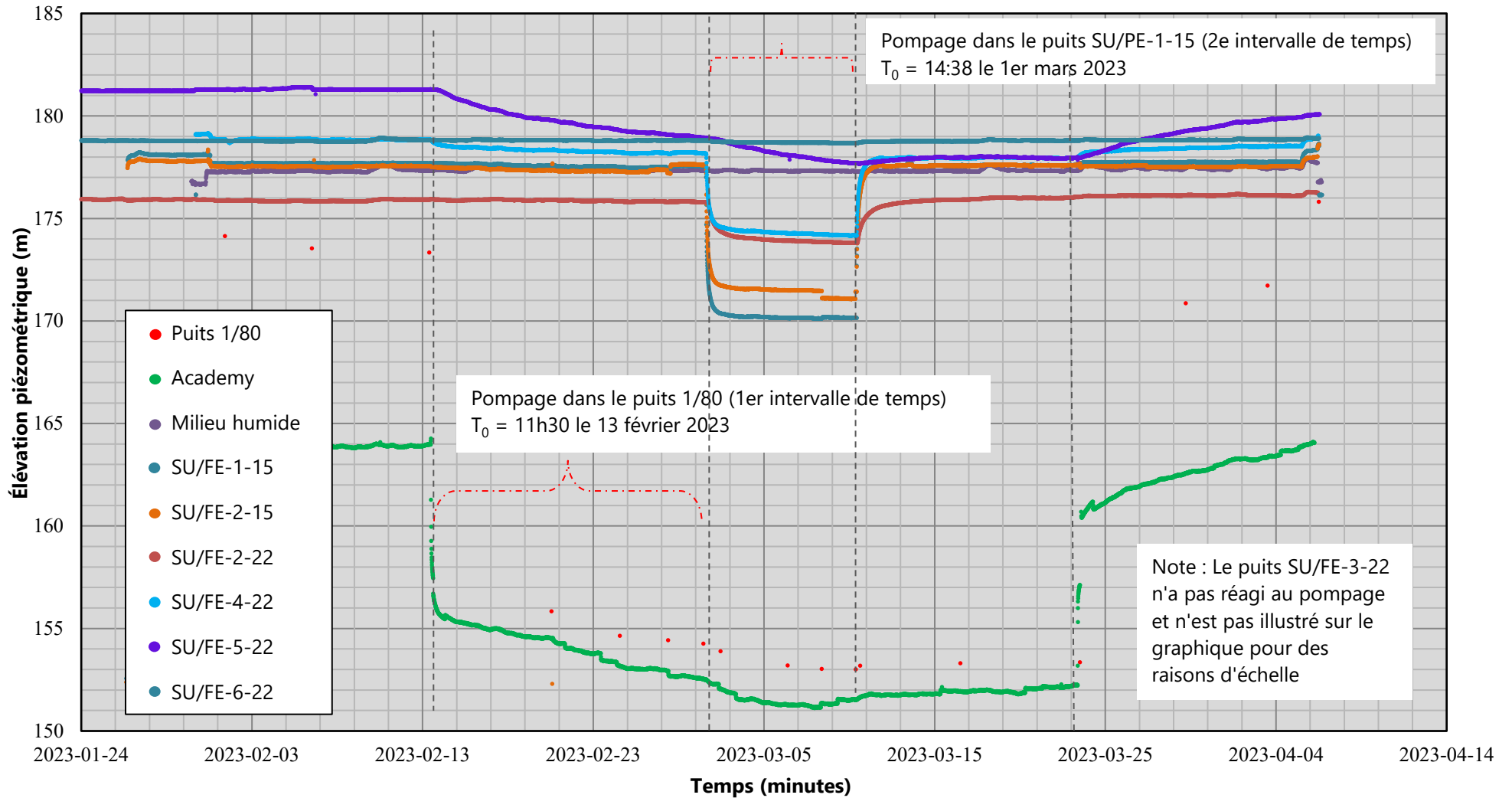
GRAPHIQUES C-1 À C-15

Graphique C-1 : Variation de l'élévation piézométriques aux points de mesure durant l'essai

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

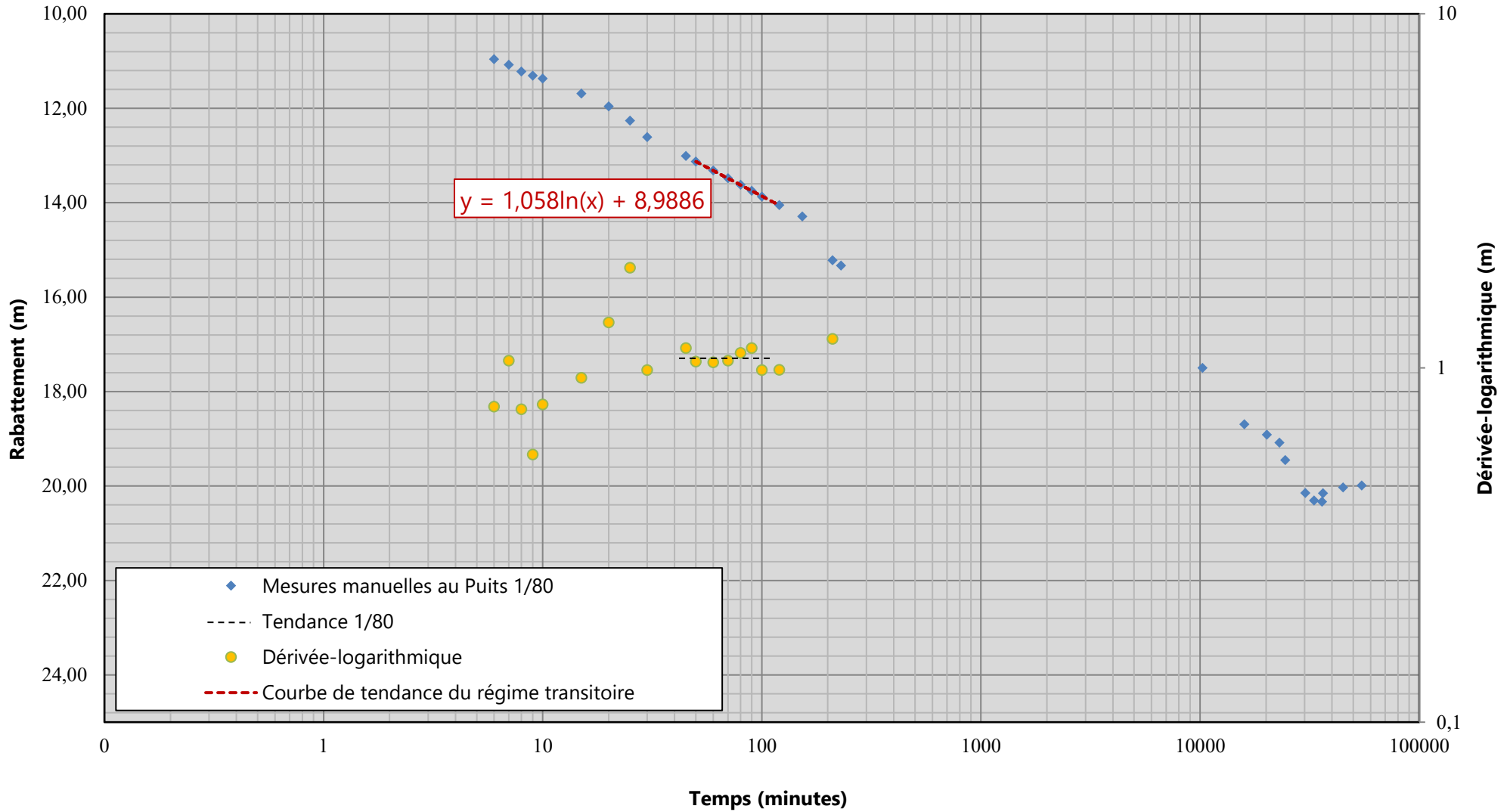


Graphique C-2 : Rabattement en fonction du temps au puits 1/80 - 1er intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

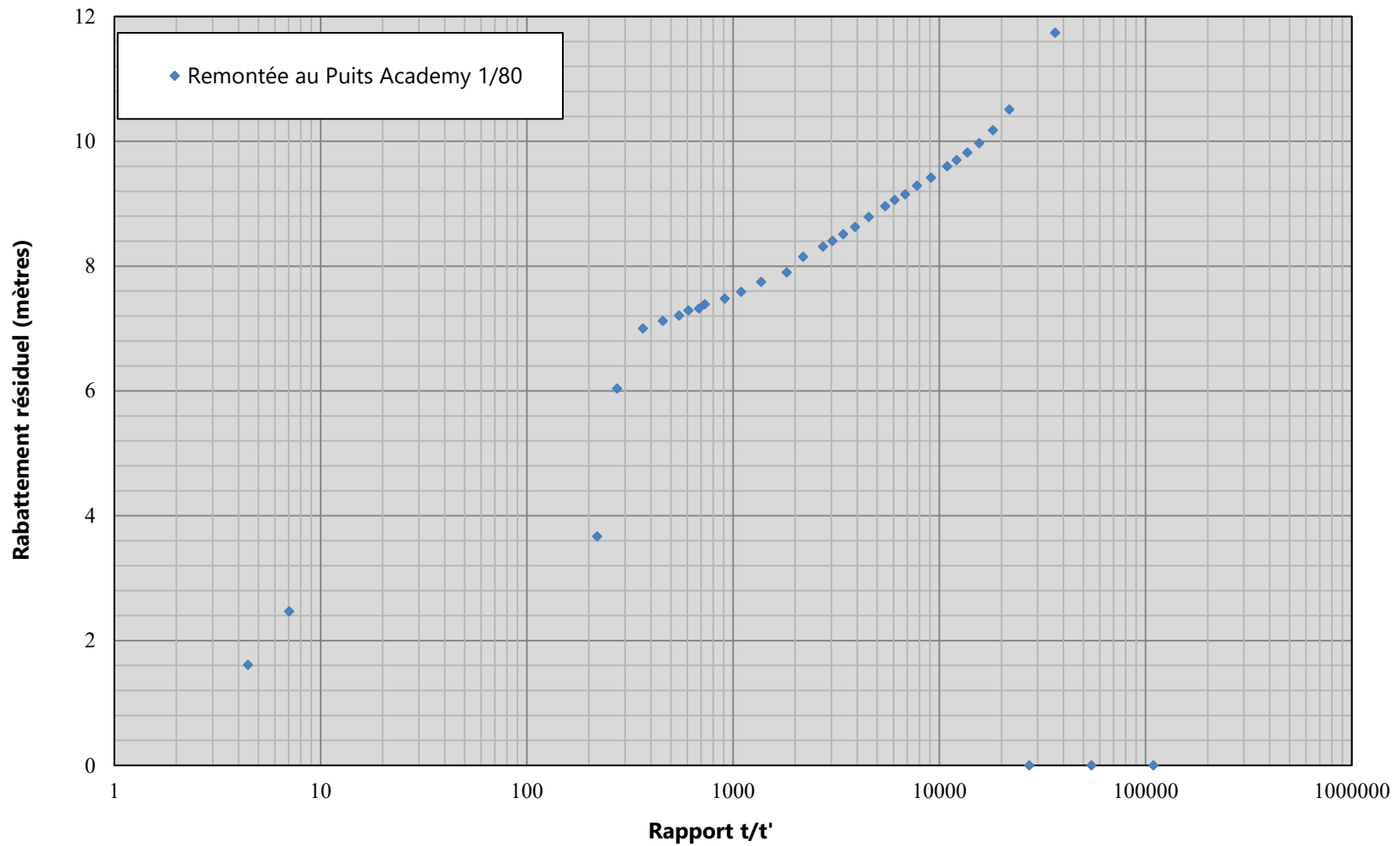


Graphique C-3 : Rabattement résiduel à la remontée au puits 1/80

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

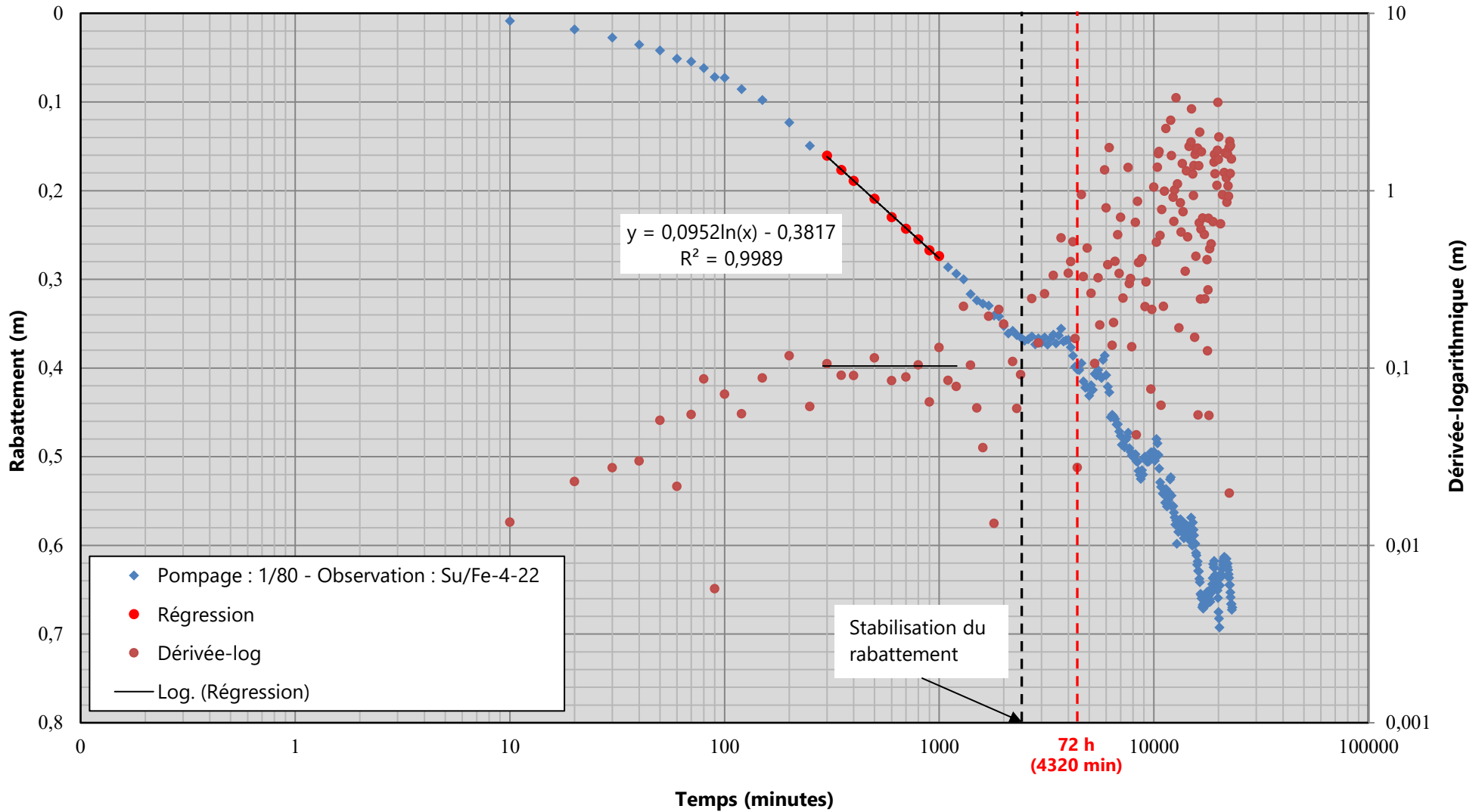


Graphique C-4 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-4-22, 1er intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

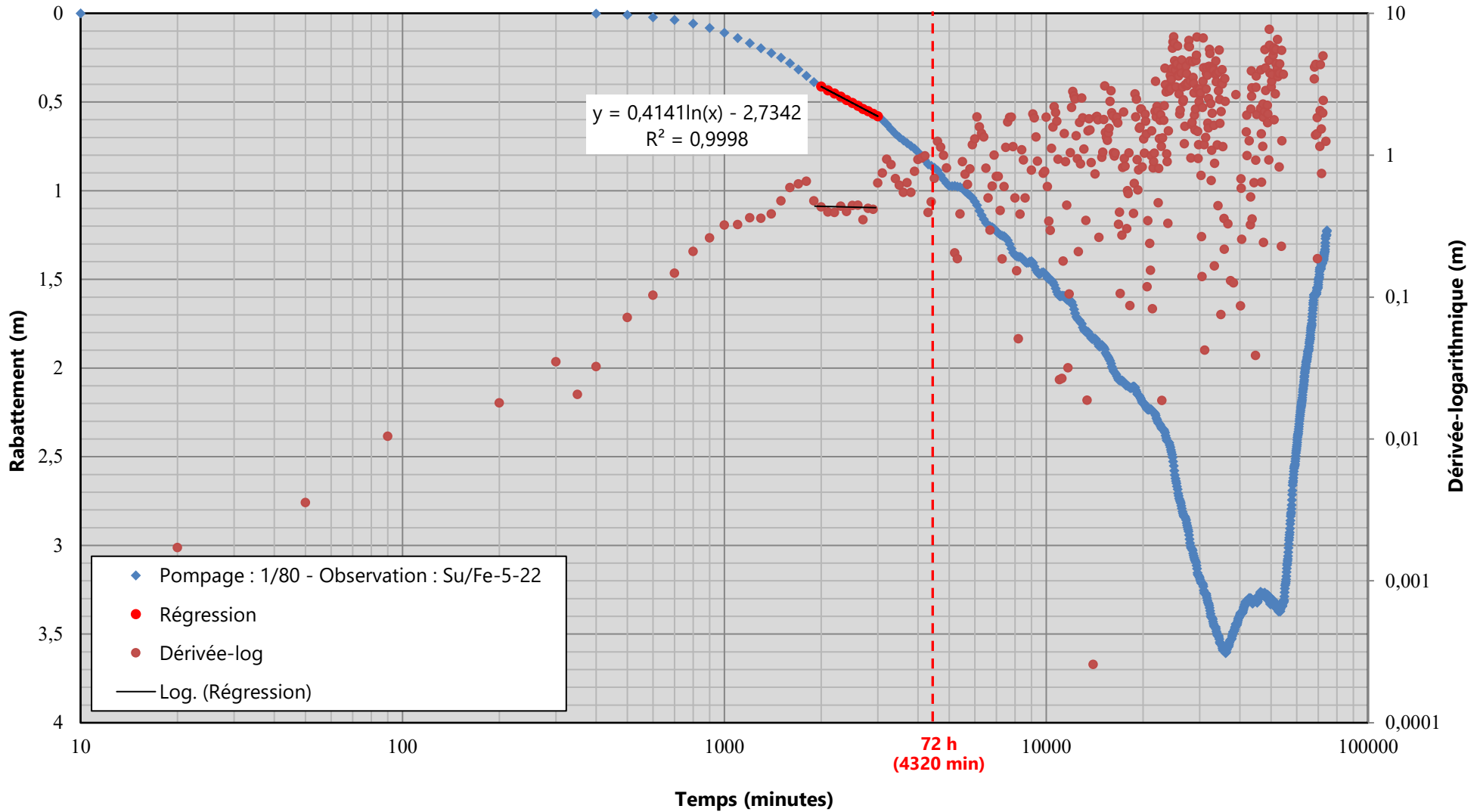


Graphique C-5 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-5-22, 1er intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

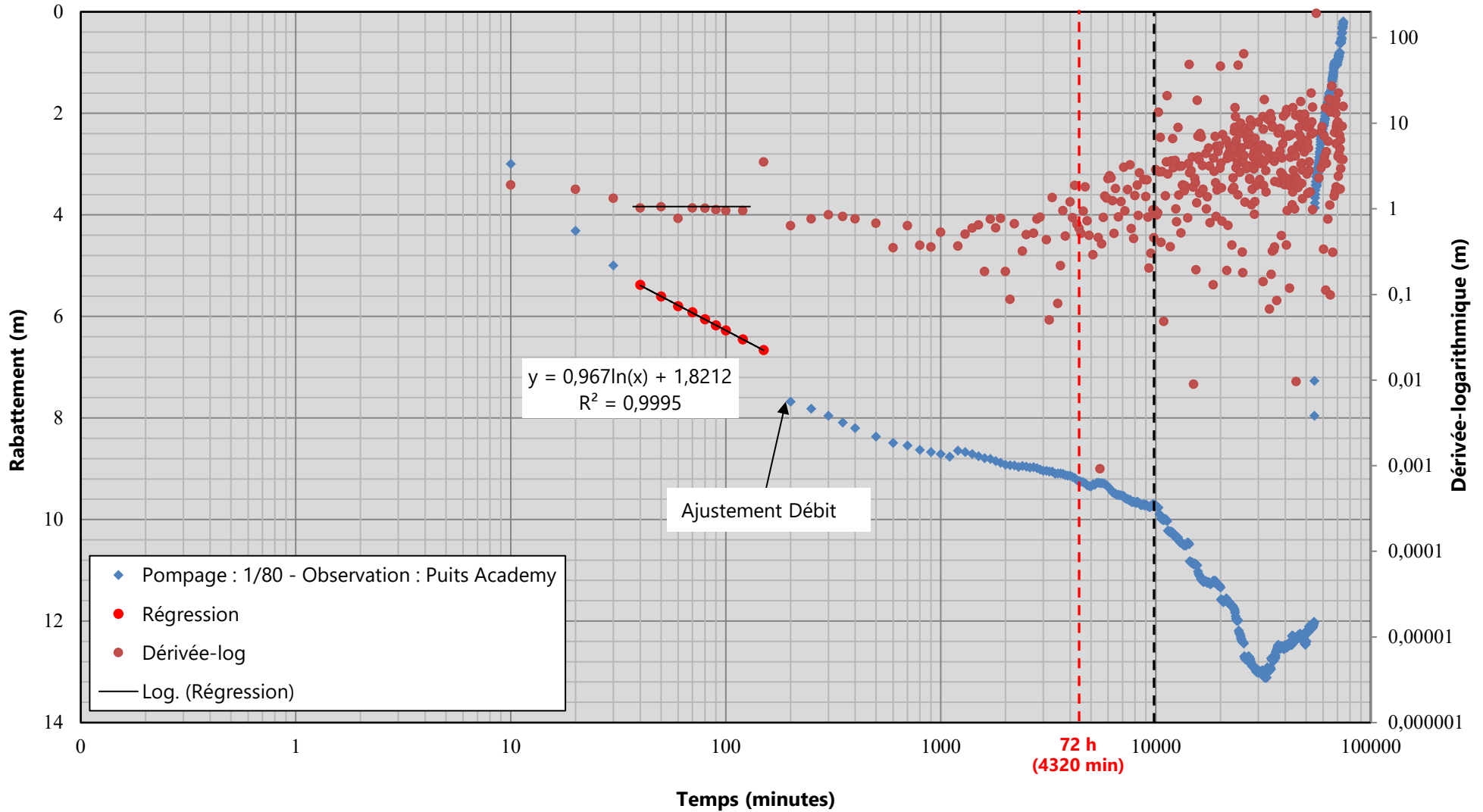


Graphique C-6 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : Puits Academy, 1er intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

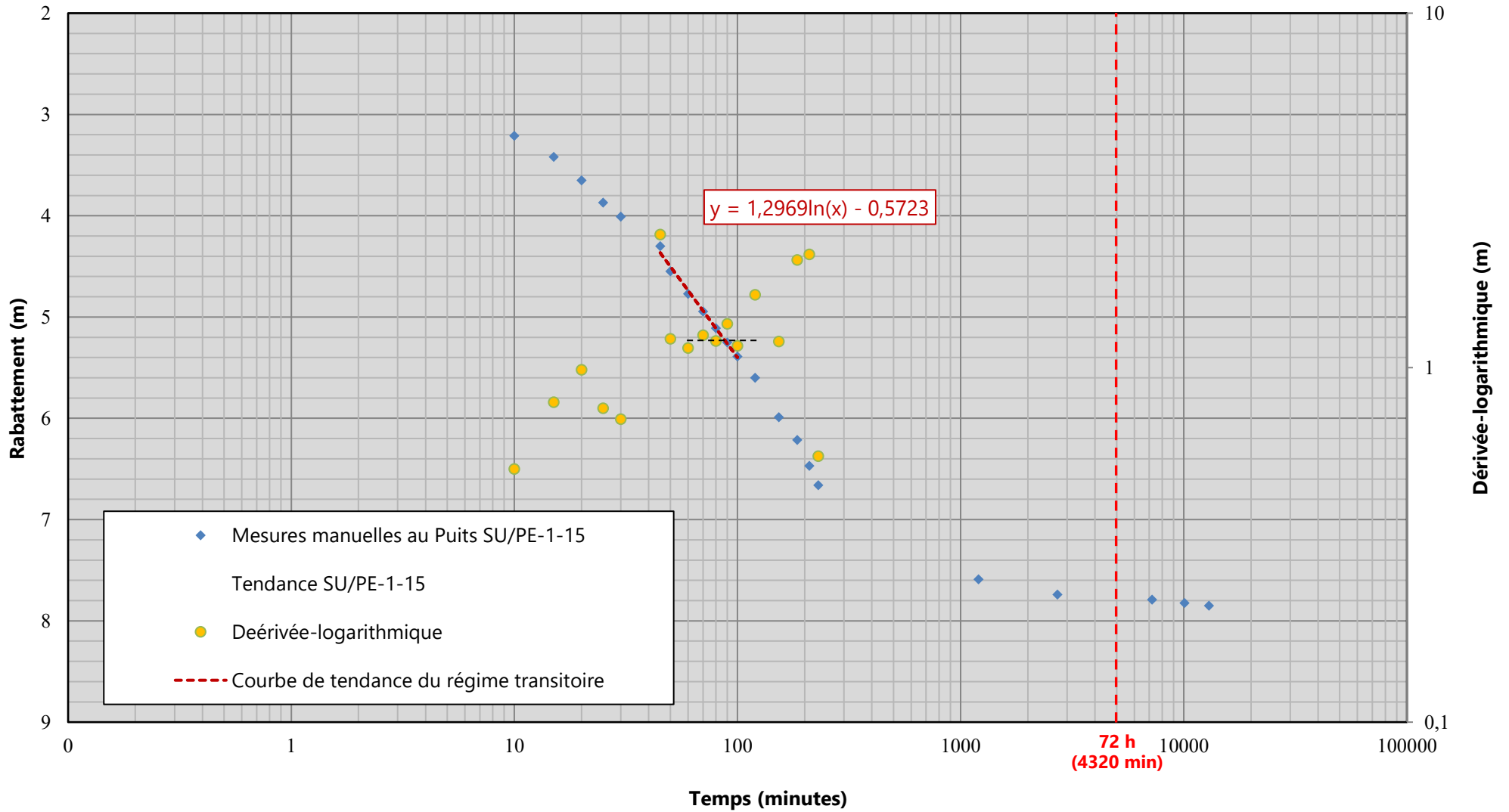


Graphique C-7 : Rabattement en fonction du temps - 2e intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

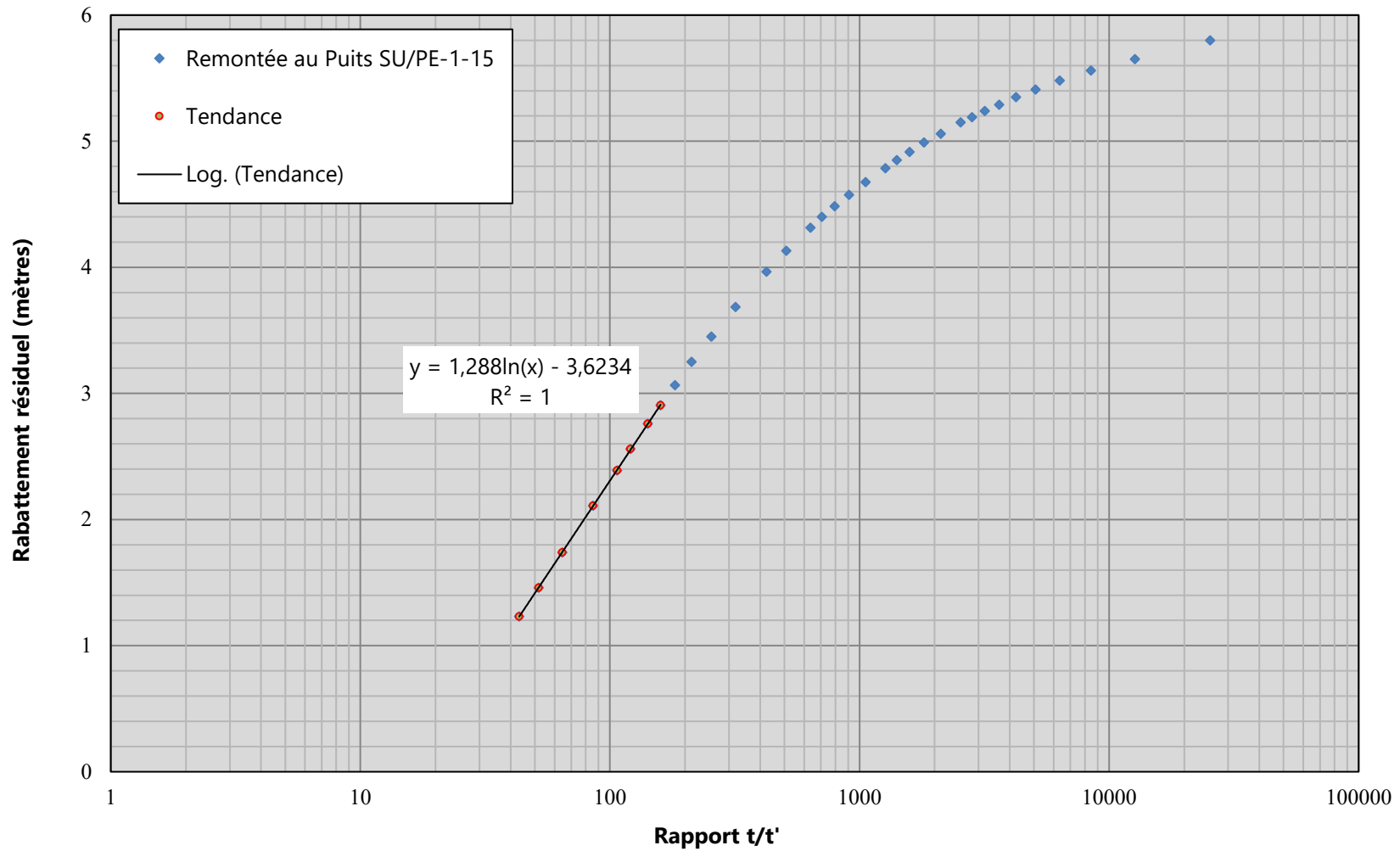


Graphique C-8 : Rabattement résiduel à la remontée au puits SU/PE-1-15

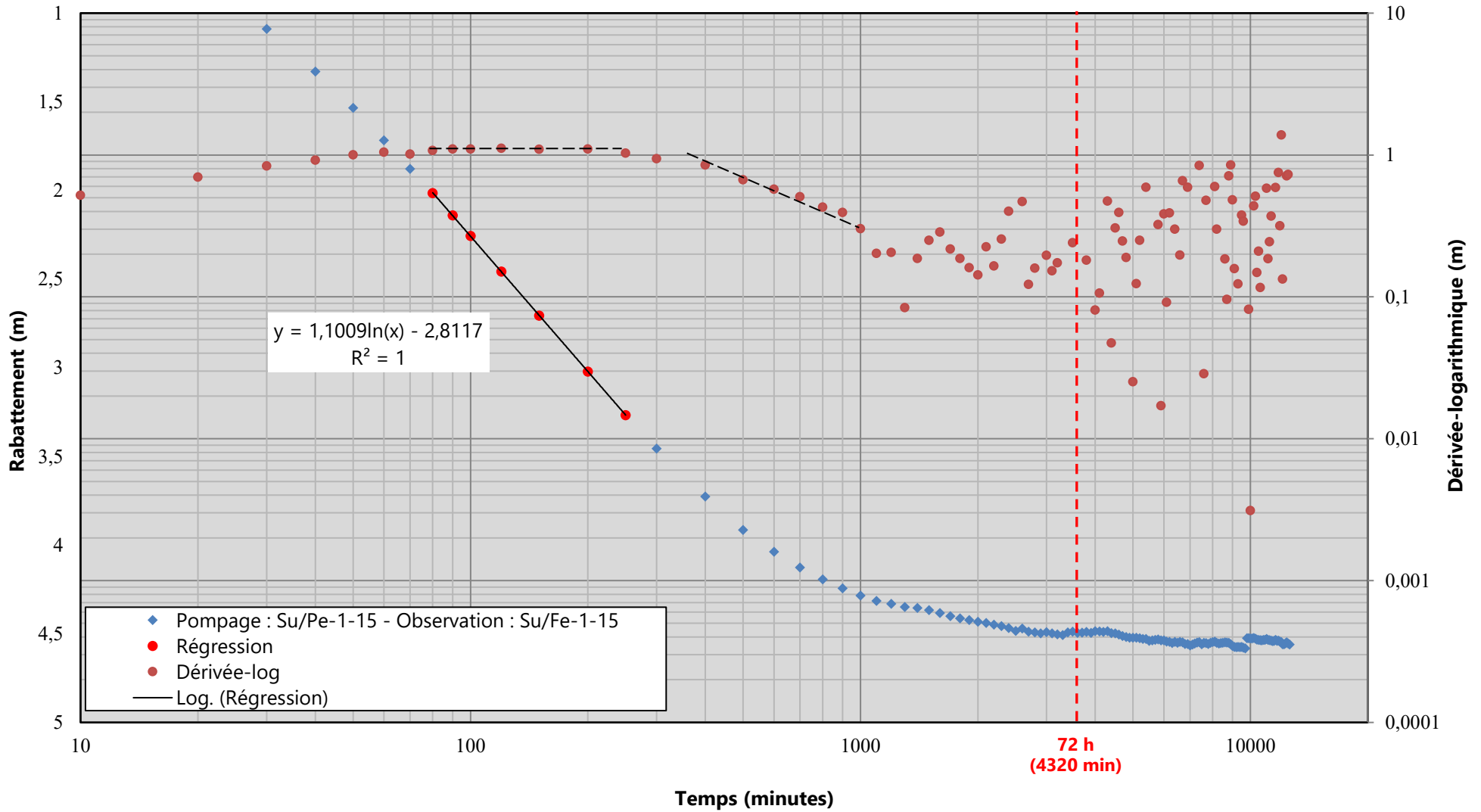
Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

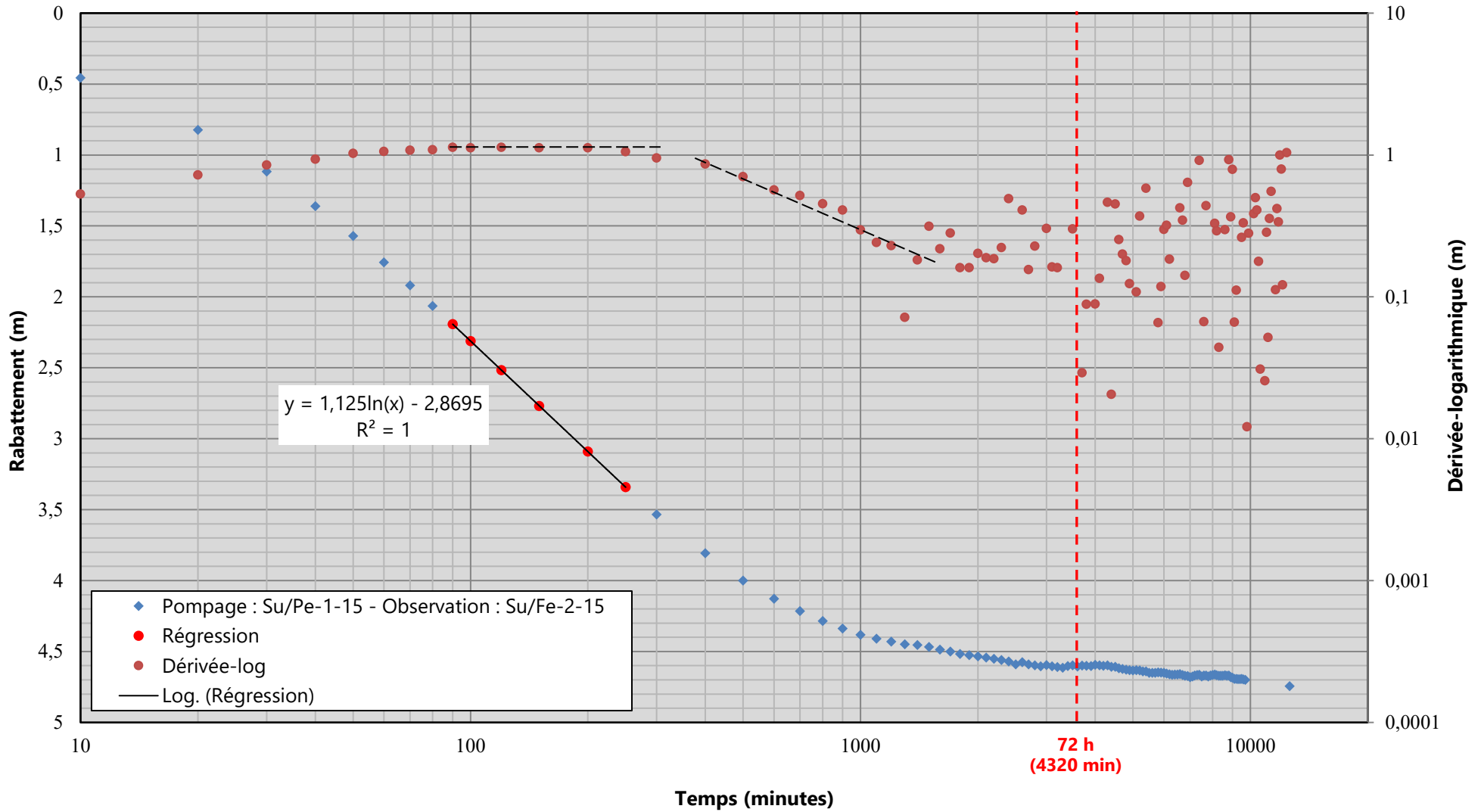
N/Réf. : 09-6050-5017



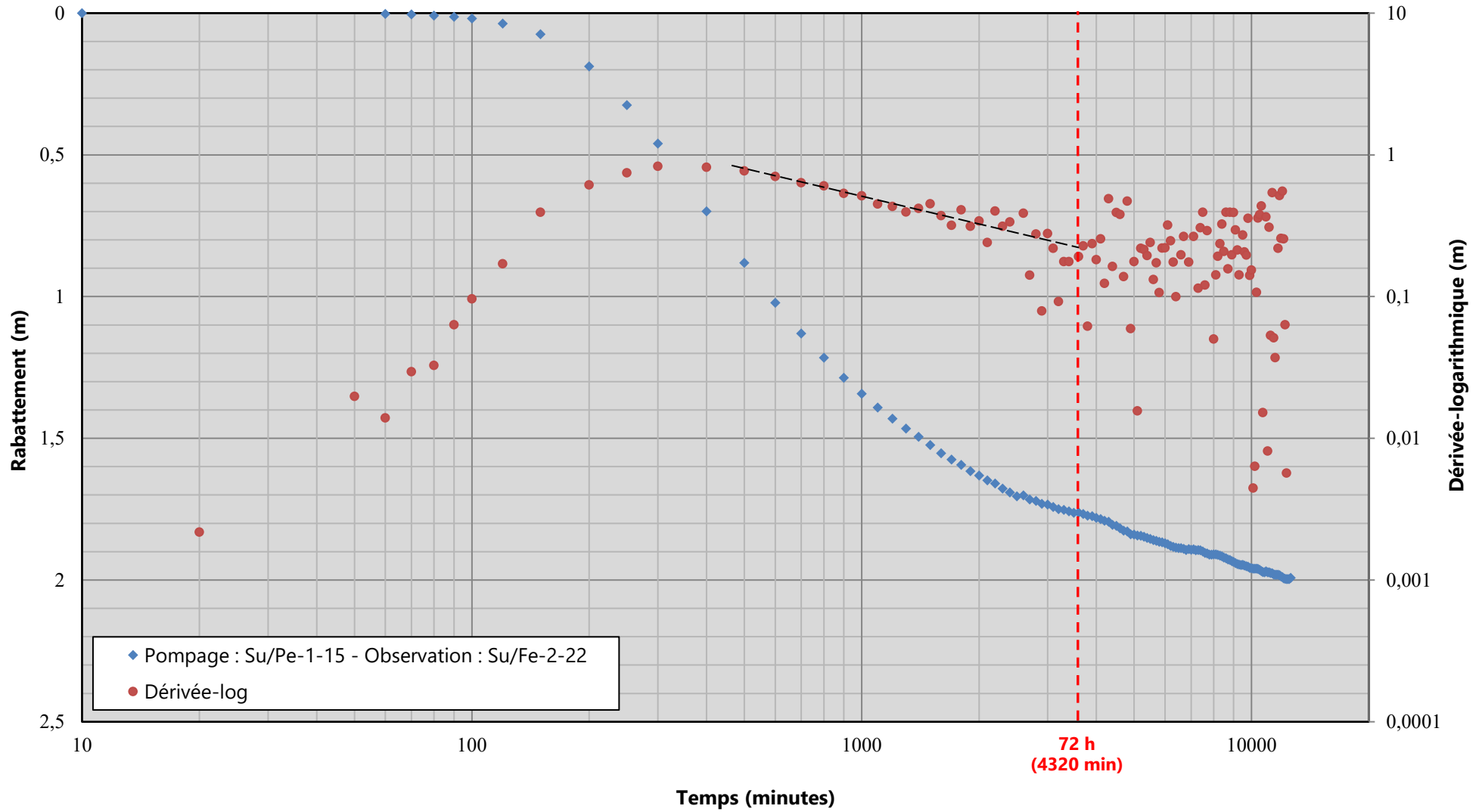
Graphique C-9 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-1-15, 2e intervalle de temps
 Client : Ville de Sutton
 Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village
 N/Réf. : 09-6050-5017



Graphique C-10 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-2-15, 2e intervalle de temps
 Client : Ville de Sutton
 Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village
 N/Réf. : 09-6050-5017



Graphique C-11 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-2-22, 2e intervalle de temps
Client : Ville de Sutton
Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village
N/Réf. : 09-6050-5017

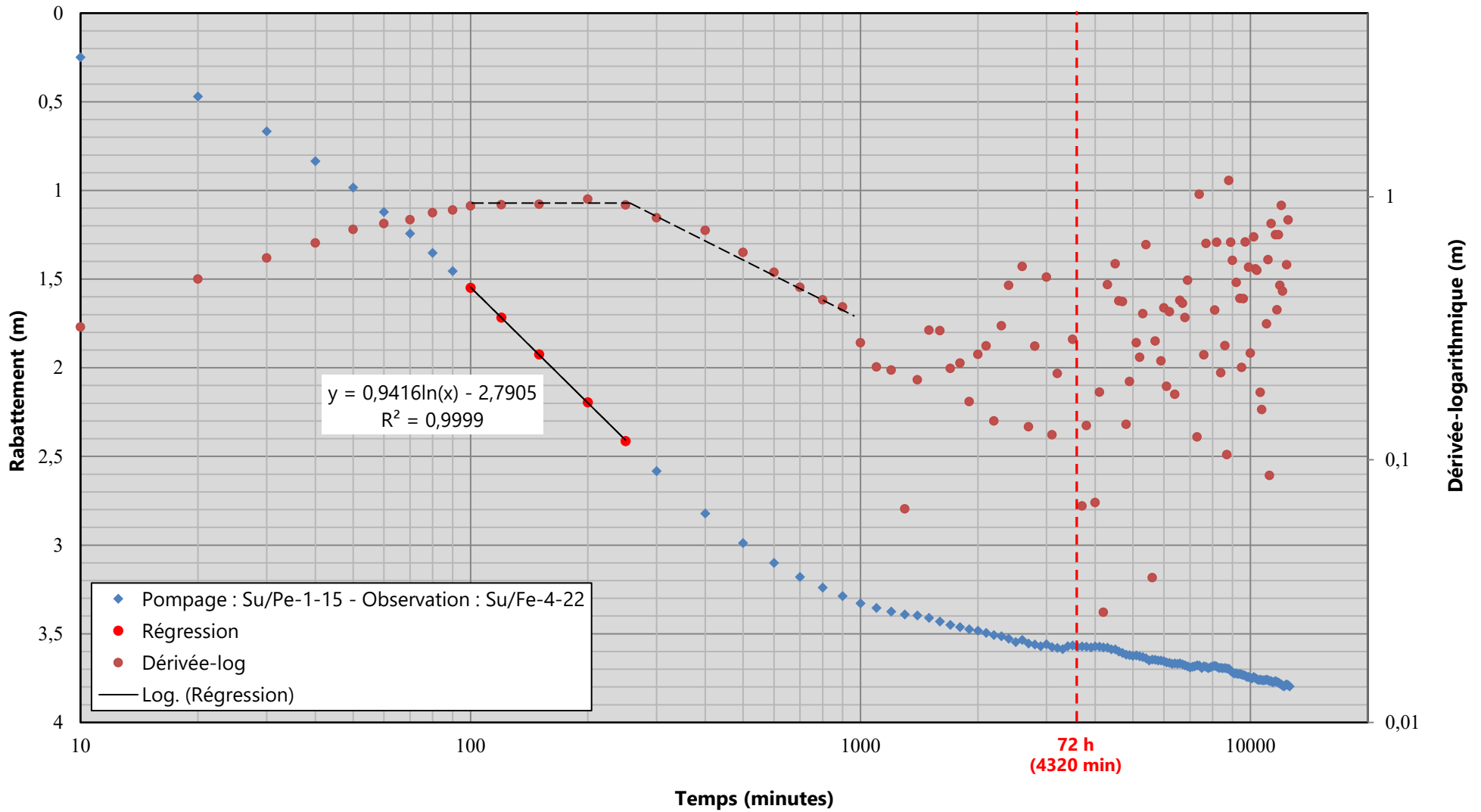


Graphique C-12 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-4-22, 2e intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

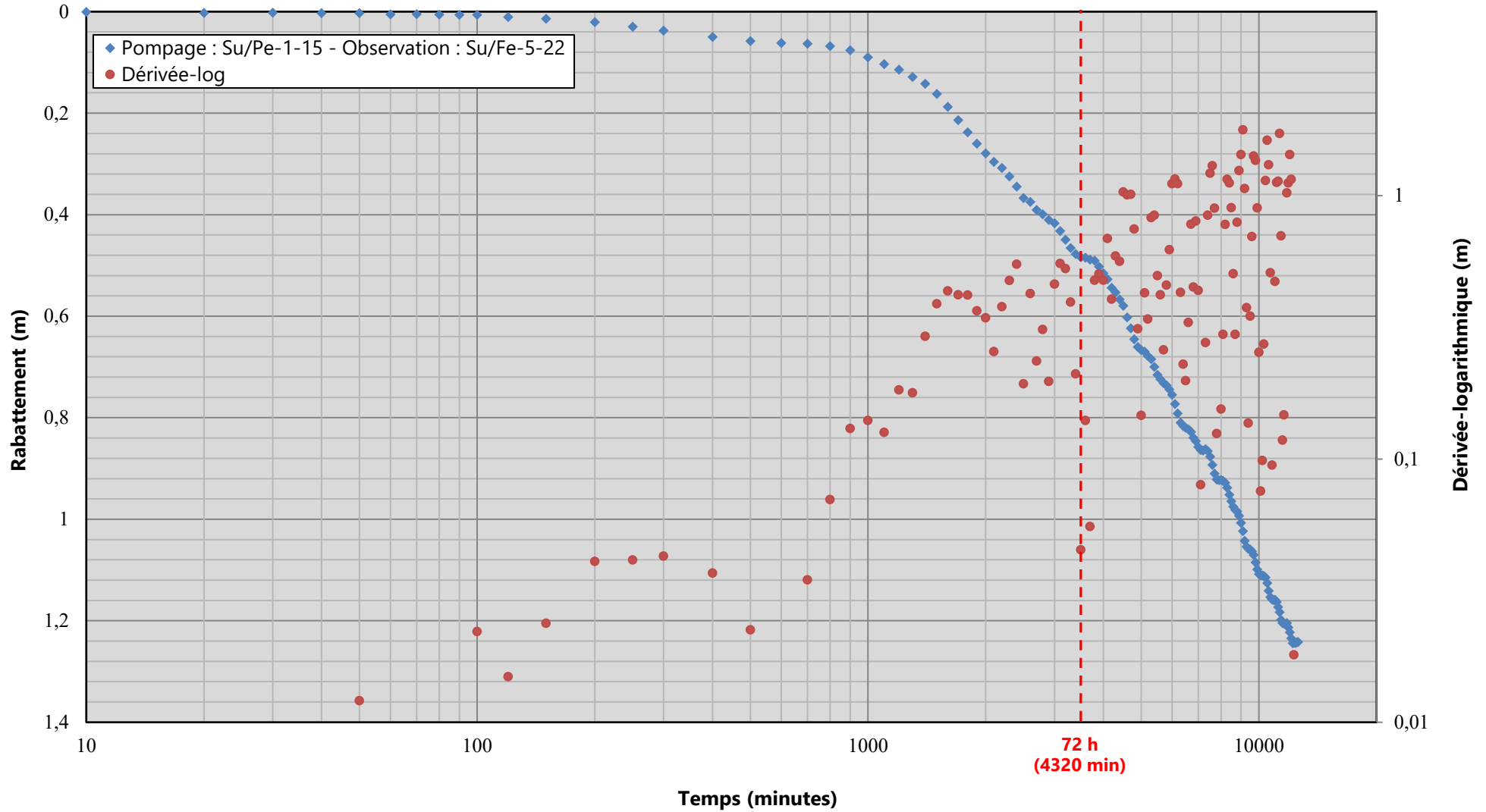


Graphique C-13 : Rabattement et dérivée logarithmique en fonction du temps : SU/FE-5-22, 2e intervalle de temps

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

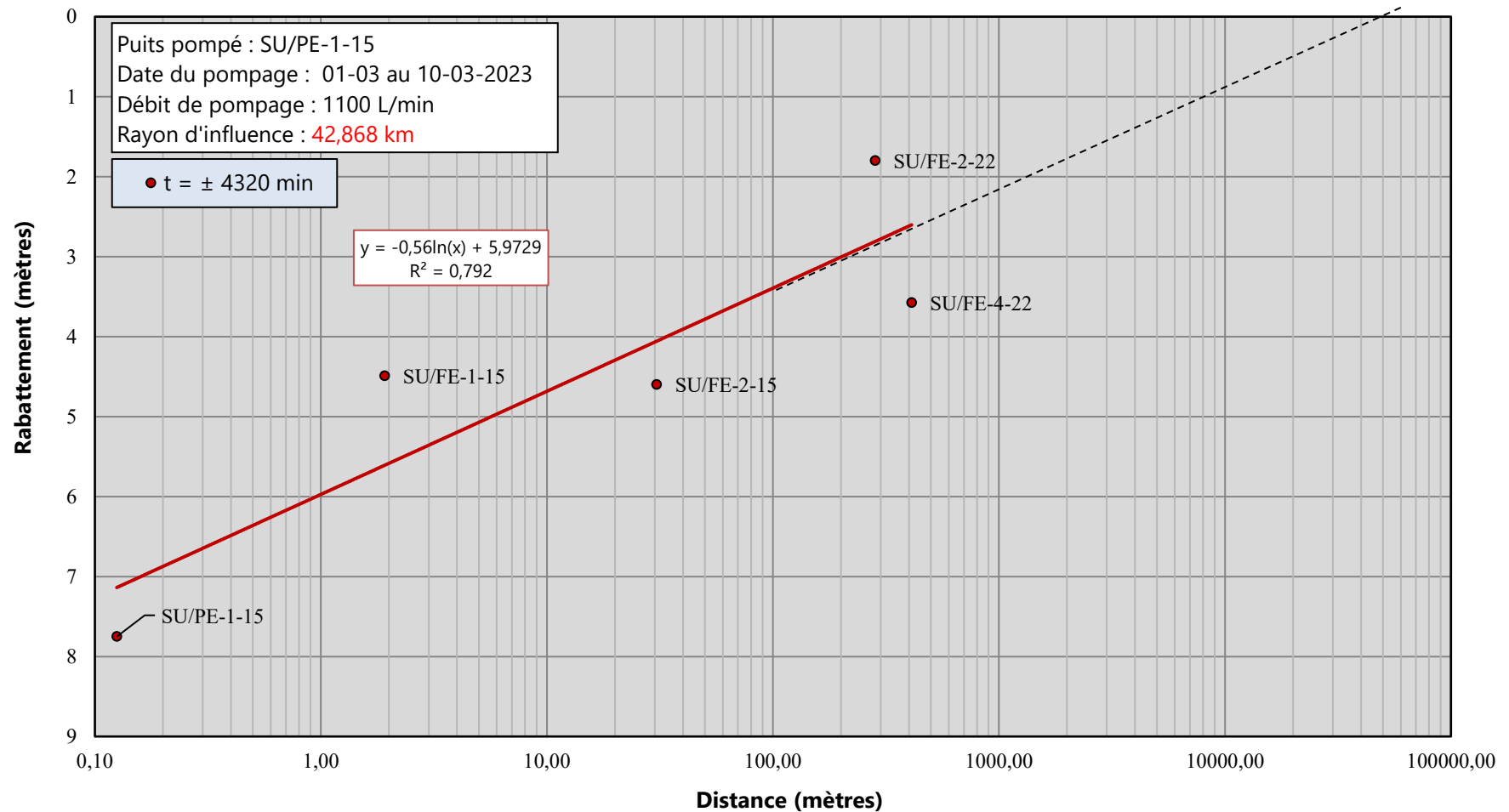


Graphique C-14 : Rabattement en fonction de la distance après 72 h de pompage

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

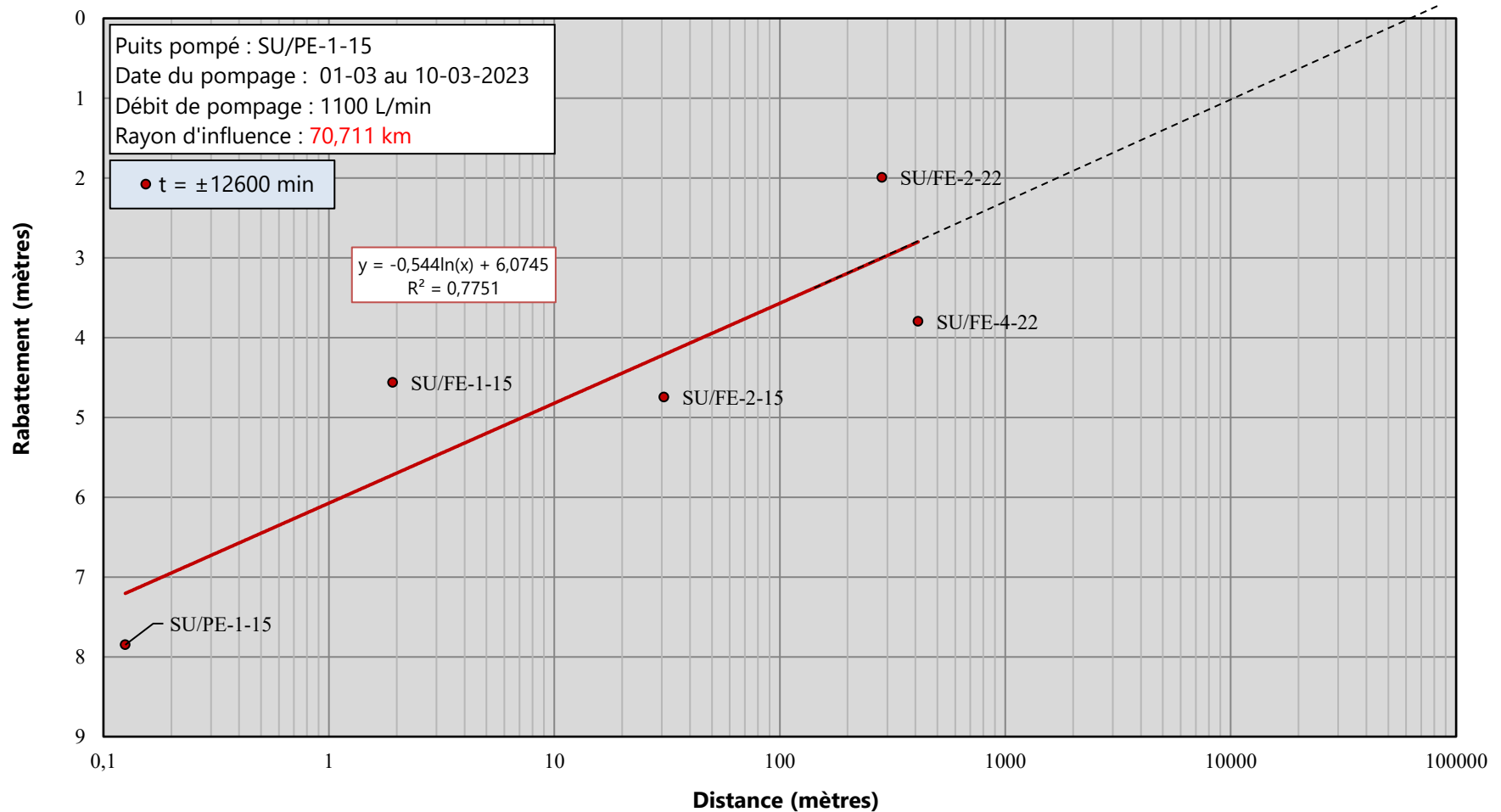


Graphique C-15 : Rabattement en fonction de la distance à temps t = 12 600 min

Client : Ville de Sutton

Projet : Étude hydrogéologique - Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017



ANNEXE D

TABLEAU D-1 : SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES

ANNEXE E

RÉSULTATS DE LA CALIBRATION DU MODÈLE NUMÉRIQUE

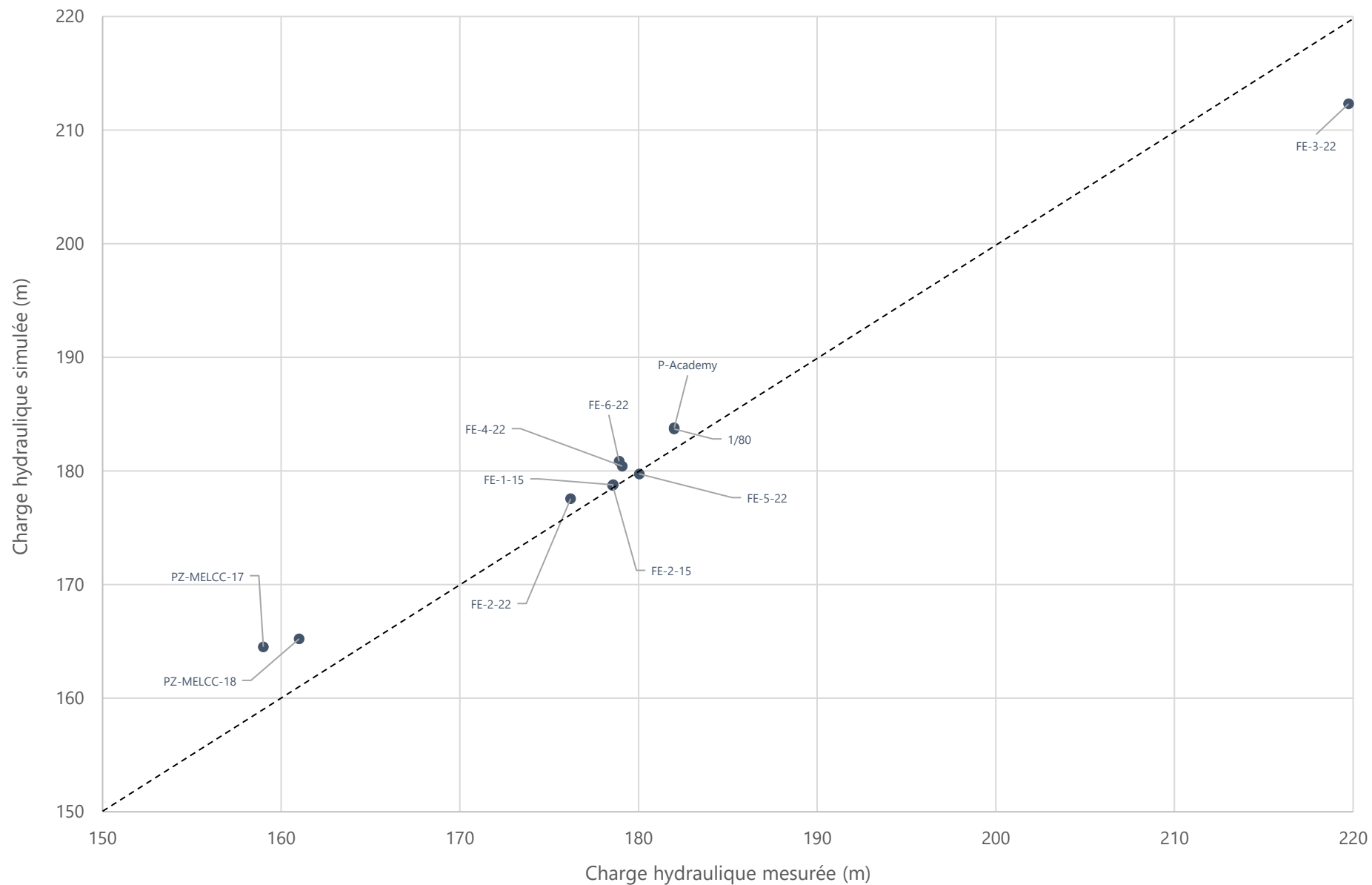
GRAPHIQUES E-1 À E-3

Graphique E-1 : Résultats de la calibration des niveaux piézométriques en régime permanent

Client : Ville de Sutton

Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

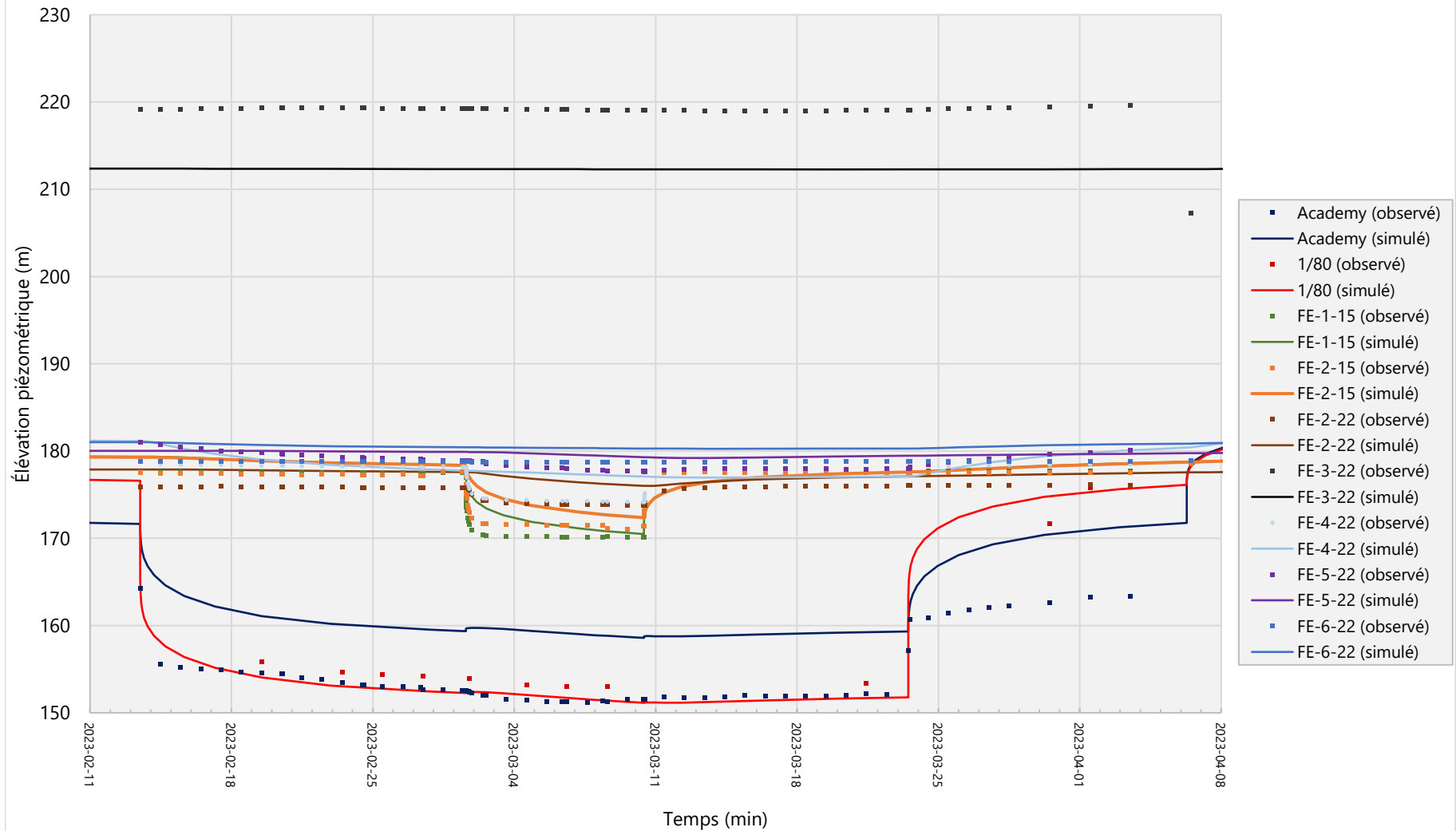


Graphique E-2 : Élévations piézométriques observées et simulées en régime transitoire -
Essai de pompage combiné 2023

Client : Ville de Sutton

Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017

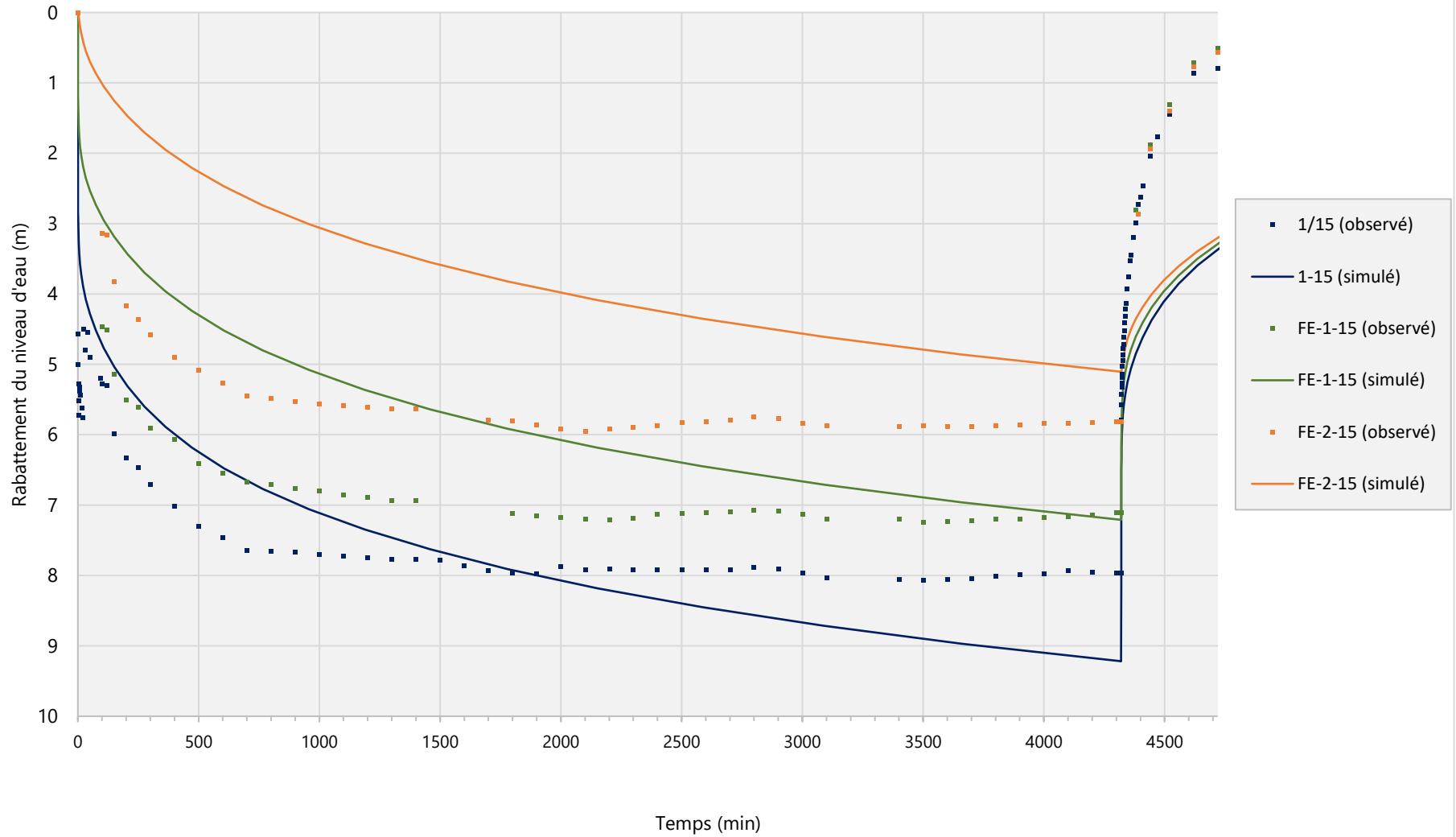


Graphique E-3 : Rabattement observées et simulées en régime transitoire -
Essai de pompage au puits PE-1-15 (2015)

Client : Ville de Sutton

Projet : Détermination du potentiel d'exploitation sécuritaire - Aquifère du secteur Village

N/Réf. : 09-6050-5017





**HYDROGÉOLOGIE
ENVIRONNEMENT**

www.LNAQUA.com

QUÉBEC

2425, avenue Watt, bureau 210
Québec (Québec) G1P 3X2
Tél. : 418 657-7999
Télééc. : 418 657-5999
Sans frais : 1 877 657-7999

BROMONT

65, rue du Pacifique Est, local 103
Bromont (Québec) J2L 1J4
Tél. : 450 266-4101
Télééc. : 450 919-1050
Sans frais : 1 877 657-7999