

CONFIDENTIEL

VILLE DE MÉTABETCHOUAN-LAC-À-LA-CROIX

Problématique de contamination de la nappe d'eau
souterraine par des nitrates - Caractérisation des
conditions hydrogéologiques sectorielles

Rapport hydrogéologique

ATE-25429-01

Experts-Conseils AquaTer-Eau inc.

Juin 2026

Chicoutimi, le 16 juin 2026

Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

87, rue Saint-André

Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (Québec)

G8G 1A1

À l'attention de M. Mario Bouchard, directeur-général adjoint et greffier

PROJET: Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates - Caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles

OBJET: Rapport hydrogéologique - Version finale

N/D: ATE-25429-01

Monsieur Bouchard,

Dans le cadre du projet mentionné en rubrique, et suite au dépôt de la version préliminaire le 6 mars dernier, il nous fait plaisir de vous faire parvenir la version finale de notre rapport portant sur les résultats des travaux de caractérisation des conditions hydrogéologiques qui prévalent dans le secteur des deux puits de production d'eau potable de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

Si vous désirez obtenir des renseignements supplémentaires sur les sujets traités dans ce rapport hydrogéologique final, il nous fera plaisir de vous les faire parvenir dans les meilleurs délais. Espérant le tout à votre entière satisfaction, veuillez agréer, Monsieur Bouchard, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Experts-Conseils AquaTer-Eau inc.



Christian Denis, ing. M.Sc.A.
Président

SOMMAIRE

L'intégrité qualitative de l'eau souterraine captée par les puits P-1 et P-2 est altérée par des nitrates dont les concentrations gravitent autour de 5,0 mg/L en moyenne au lieu de prélèvement. Seules les activités agricoles pratiquées de façon intensive sur la plaine des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean sont responsables de la détérioration de la qualité de l'eau souterraine. Des mesures visant à restreindre la consommation d'eau ont dû être imposées par la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix suite au dépassement de la norme de potabilité en janvier 2025. Face à ses responsabilités en matière de fourniture d'une eau potable de qualité, la ville désire orienter ses décisions sur la base de connaissances plus approfondies à l'égard des conditions hydrogéologiques sectorielles qui prévalent dans les environs du lieu de captage, notamment en ce qui a trait au régime d'écoulement de l'eau souterraine et aux aires de protection associées aux deux ouvrages de captage.

Les travaux à caractère hydrogéologique permettent de connaître le contexte hydrostratigraphique ainsi que le régime d'écoulement de l'eau souterraine profonde qui se présente sous la forme d'une nappe « libre ». En amont hydraulique des deux puits municipaux, l'eau souterraine circule globalement du nord-ouest vers le sud-est à la base d'un imposant dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire caractérisé par une épaisseur pouvant atteindre près d'une cinquantaine de mètres par endroits. L'eau souterraine profonde n'est pas en lien hydraulique direct avec l'eau de la doline glaciaire identifiée comme le « lac Perché » ni avec la nappe d'eau souterraine peu profonde rencontrée au sein d'un dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine. La recharge de la nappe profonde par les eaux météoriques s'effectue dans les secteurs où la formation peu perméable de nature silto-argileuse d'origine glaciomarine est absente en surface à la hauteur de la plaine des Basses-Terres.

Le régime d'écoulement est directement influencé et contrôlé par la configuration du roc sous-jacent au dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire. En amont hydraulique des puits P-1 et P-2, l'eau souterraine chargée ou non de nitrates converge vers une importante dépression du socle rocheux qui agit comme une zone d'accumulation et une voie préférentielle de circulation en direction du lieu de captage. En aval hydraulique des deux ouvrages, la nappe d'eau souterraine devient une nappe d'accompagnement en raison du lien hydraulique étroit avec la rivière Couchepaganiche. L'enrochement spécialement aménagé facilite l'infiltration induite de l'eau de surface vers le lieu de prélèvement. Des teneurs élevées de nitrates se situant près de la norme de potabilité sont mesurées dans l'eau souterraine profonde circulant dans l'axe de la dépression du roc; ce qui démontre que la nappe est réputée vulnérable à la contamination. La dilution des concentrations autour de 5,0 mg/L qui s'effectue au lieu de prélèvement est possible lorsque $\pm 40\%$ du débit total soutiré par P-1 et P-2 provient de la nappe d'accompagnement et de l'eau de la rivière Couchepaganiche.

Considérant l'omniprésence de nitrates ainsi que l'avènement possible d'autres dépassements de la norme de potabilité, le « statu quo » ne constitue pas une situation qui doit perdurer dans le temps. Différentes options qui nécessitent des investissements ou des déboursés majeurs s'offrent à la ville pour distribuer une eau potable de meilleure qualité, laquelle est actuellement vulnérable face aux risques de contamination par des nitrates et d'autres types de contaminants provenant des activités agricoles.

La première option passe par l'imposition de mesures coercitives visant à restreindre ou à interdire la pratique d'activités agricoles sur une plus grande superficie, et ce, dans l'espoir de mesurer des teneurs décroissantes de nitrates avec le temps. L'application de cette première alternative nécessite la réalisation de travaux à caractère hydrogéologique complémentaires en amont hydraulique de l'aire de protection intermédiaire afin de mieux définir le régime d'écoulement de la nappe profonde ainsi que la configuration de l'aire de protection éloignée. La deuxième option consiste à traiter l'eau souterraine soutirée par les deux puits en place au moyen d'une filière spécifique. Toutefois, les technologies classiques de traitement sont peu ou pas efficaces pour retirer les nitrates. La deuxième alternative offre l'avantage de ne pas imposer de mesures coercitives pour les utilisateurs du territoire.

L'application de la première ou de la deuxième option implique la poursuite de l'exploitation des ouvrages P-1 et P-2, lesquels doivent être nettoyés et réhabilités au préalable puisqu'ils sont en opération sur une base continue depuis plus de 25 ans. Le reconditionnement des deux puits de captage est possible uniquement si une source alternative d'approvisionnement est exploitée en raison de la trop grande proximité des ouvrages l'un de l'autre.

La troisième option consiste à mettre en oeuvre un programme de recherche en eau souterraine dans le but de localiser un secteur peu vulnérable à la contamination où le potentiel aquifère serait suffisamment élevé pour combler le besoin évalué à 1324 L/min (350 GUSPM).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE.....	i
1.0 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mandat professionnel.....	1
1.2 Contexte de l'étude.....	1
1.3 Objectifs visés.....	3
1.4 Méthodologie.....	3
1.5 Calendrier des travaux.....	5
2.0 DESCRIPTION DU CONTEXTE PHYSIOGRAPHIQUE	9
2.1 Description régionale.....	9
2.2 Description locale	11
3.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS HYDROSTRATIGRAPHIQUES	13
3.1 Socle rocheux.....	13
3.1.1 Roches plutoniques et métamorphiques	13
3.1.2 Roches sédimentaires.....	15
3.2 Dépôts meubles	16
3.2.1 Généralités	16
3.2.2 Till indifférencié d'origine glaciaire (Tm & Tc).....	17

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
3.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS HYDROSTRATIGRAPHIQUES <i>(suite)</i>	
3.2 Dépôts meubles <i>(suite)</i>	
3.2.3 Sable et gravier d'origine fluvioglaciaire (Gx)	18
3.2.4 Argile et silt d'origine glaciomarine (MGa).....	22
3.2.5 Sable d'origine glaciomarine (MGb & MGd)	23
3.2.6 Dépôts alluvionnaires (Ap & Ax)	26
3.2.7 Dépôts organiques (O)	26
3.2.8 Dépôts de versant (Cg)	27
4.0 BATHYMÉTRIE DU LAC PERCHÉ	28
5.0 FORAGE ET AMÉNAGEMENT DES PIÉZOMÈTRES	30
5.1 Implantation et localisation.....	30
5.2 Forage et échantillonnage	32
5.3 Description de la stratigraphie et des piézomètres	33
5.3.1 Forage et piézomètre MB-1	33
5.3.2 Forage et piézomètre MB-2	36
5.3.3 Forage et piézomètre MB-3	39
5.3.4 Forage et piézomètre MB-4	43

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
6.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUE, TOPOGRAPHIQUE ET DE DRAINAGE.....	47
6.1 Conditions hydrologiques.....	47
6.1.1 Généralités	47
6.1.2 Précipitations (P).....	49
6.1.3 Évapotranspiration (ET)	51
6.1.4 Infiltration (I)	55
6.1.5 Ruissellement (R)	61
6.2 Taux de recharge (T _r).....	62
6.3 Topographie et drainage	65
6.3.1 Condition topographique	65
6.3.2 Condition de drainage.....	66
7.0 SUIVI DES NIVEAUX D'EAU SOUTERRAINE ET DE SURFACE	67
7.1 Suivi des niveaux d'eau souterraine.....	67
7.1.1 Suivi piézométrique régional	67
7.1.2 Suivi piézométrique sectoriel.....	69
7.2 Suivi des niveaux de l'eau de surface	70

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
8.0 DESCRIPTION ET INTERPRÉTATION DES CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES	71
8.1 Paramètres hydrogéologiques	71
8.1.1 Conductivité hydraulique	71
8.1.1.1 Généralités	71
8.1.1.2 Essai de pompage	71
8.1.1.3 Essais de perméabilité	72
8.1.2 Régime d'écoulement	74
8.1.2.1 Généralités	74
8.1.2.2 Direction d'écoulement et gradient hydraulique horizontal	77
8.1.2.3 Vitesse horizontale d'écoulement	78
8.2 Description des nappes d'eau souterraine	79
8.2.1 Nappe libre peu profonde	79
8.2.2 Nappe libre profonde	80
8.2.2.1 Description	80
8.2.2.2 Condition statique	81
8.2.2.3 Condition dynamique	83
9.0 ENVERGURE ET CONFIGURATION DES AIRES DE PROTECTION	86
9.1 Prémisses de base	86
9.2 Application	88
9.3 Configuration des aires de protection	90
9.3.1 Aire de protection immédiate	90
9.3.2 Aire de protection intermédiaire	93
9.3.3 Aire de protection éloignée (aire d'alimentation)	96

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
10.0 VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE À LA CONTAMINATION	100
10.1 Description de la méthode DRASTIC	100
10.2 Application de la méthode DRASTIC	105
11.0 QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE.....	107
11.1 Qualité de l'eau du lac Perché.....	107
11.1.1 Échantillonnage et analyse	107
11.1.2 Description et interprétation des résultats	112
11.2 Qualité de l'eau de la rivière Couchepaganiche	114
11.2.1 Échantillonnage et analyse	114
11.2.2 Description et interprétation des résultats	118
12.0 QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE	120
12.1 Échantillonnage et analyse	120
12.2 Description et interprétation des résultats.....	126
12.2.1 Piézomètre MB-1.....	126
12.2.2 Piézomètre MB-2.....	129
12.2.3 Piézomètre MB-3.....	131
12.2.4 Piézomètre MB-4.....	133
12.2.5 Piézomètre PZ-3/98	134
12.2.6 Puits P-1 & P-2.....	136

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
13.0 DISCUSSION SUR LA PROBLÉMATIQUE DE CONTAMINATION DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE PAR DES NITRATES	138
13.1 Sources d'émission.....	138
13.2 Effets sur la santé humaine	139
13.3 Infiltration et migration.....	139
13.4 Répartition des concentrations.....	141
13.5 Variabilité des concentrations.....	143
13.6 Options d'alimentation	144
13.6.1 Reconditionnement des puits et mesures coercitives	144
13.6.2 Reconditionnement des puits et traitement de l'eau	146
13.6.3 Nouvelle source d'approvisionnement.....	148
 14.0 CONCLUSION ET COMMENTAIRES	 150
 15.0 RECOMMANDATIONS.....	 157
15.1 Avant-propos	157
15.2 Conservation du lieu de prélèvement et application de mesures coercitives.....	157
15.3 Conservation du lieu de prélèvement et traitement de l'eau souterraine	160
15.4 Exploitation d'une nouvelle source d'approvisionnement	161

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
16.0 PERSONNEL.....	162
17.0 BIBLIOGRAPHIE	163

ANNEXES

Annexe 1	Figures
Annexe 2	Documents photographiques
Annexe 3	Description des forages stratigraphiques et schéma d'aménagement des piézomètres de la série « MB »
Annexe 4	Graphiques d'interprétation de l'infiltration efficace de l'eau souterraine à la station piézométrique no.06140001
Annexe 5	Graphiques du suivi des niveaux d'eau souterraine et de surface dans le secteur du lieu de prélèvement
Annexe 6	Rapport des essais de perméabilité à charge variable
Annexe 7	Tableaux de calculs des indices DRASTIC
Annexe 8	Certificats d'analyse du laboratoire agréé

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Page

TABLEAUX

Tableau 1.	Coordonnées « X, Y, Z » des ouvrages hydrauliques en fonction de leur distance par rapport aux puits de production P-1 et P-2	31
Tableau 2.	Statistiques climatiques de la station « Lac-Ste-Croix » sur les normales de précipitations pluviales et nivales établies entre 1971 et 2000.....	50
Tableau 3.	Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ET _p).....	53
Tableau 4.	Valeurs de l'infiltration efficace (I _{eff}) données par la méthode piézométrique entre 2011 et 2024	60
Tableau 5.	Valeurs du taux de recharge de l'aquifère à l'intérieur du sous-bassin hydrographique entre 2011 et 2024.....	64
Tableau 6.	Fluctuation naturelle du niveau de la nappe à la station piézométrique no.06140001 entre 2011 et 2024	68
Tableau 7.	Valeurs de la conductivité hydraulique (K) des dépôts granulaires.....	73
Tableau 8.	Niveaux statiques de l'eau mesurés le 12 novembre 2025	75
Tableau 9.	Niveaux dynamiques de l'eau générés par le pompage des puits P-1 et P-2 à un débit combiné de 1323 L/min le 12 novembre 2025	76
Tableau 10.	Aires à protéger par rapport au critère sélectionné pour un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1.....	87
Tableau 11.	Envergure de l'aire de protection intermédiaire (bactériologique et virologique) associée aux puits P-1 et P-2	95
Tableau 12.	Distances théoriques associées à la configuration de l'aire d'alimentation des puits de captage P-1 et P-2.....	99
Tableau 13.	Poids relatif à chacun des paramètres	102
Tableau 14.	Indice DRASTIC en fonction du niveau de vulnérabilité	104

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Page

TABLEAUX (suite)

Tableau 15. Niveau de vulnérabilité à la contamination de la formation aquifère donné par les indices DRASTIC au sein des aires de protection des puits P-1 et P-2	106
Tableau 16. Rapport d'analyse de l'eau de surface du lac Perché	110
Tableau 17. Rapport d'analyse de l'eau de surface de la rivière Couchepaganiche	116
Tableau 18. Rapport d'analyse d'eau souterraine - Ouvrages MB-1, MB-2 et MB-3	122
Tableau 19. Rapport d'analyse d'eau souterraine - Ouvrages MB-4, PZ-3/98 et P-1/P-2....	124

Distribution: 6 copies sous format papier et 1 copie sous format PDF à
M. Mario Bouchard, directeur-général adjoint et greffier
(ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix)

À l'usage exclusif du client; toute diffusion, transcription, reproduction ou donation, en tout ou en partie de ce rapport hydrogéologique, est interdite sans l'autorisation écrite de la firme AquaTer-Eau inc. et de l'auteur qui en détiennent l'entière propriété intellectuelle. Toutefois, des copies du présent rapport pourront être transmises aux divers intervenants techniques et gouvernementaux impliqués dans le dossier inhérent à la problématique de contamination sectorielle de la nappe d'eau souterraine par des nitrates. Ce rapport constitue un tout et aucune section ne doit être utilisée, interprétée ou transmise séparément.

Le lecteur est avisé que les données acquises et leur interprétation inhérente sont représentatives de la période de temps et des conditions qui sévissaient au moment où les relevés et les mesures ont été effectués, et ne peuvent en aucun temps être transposées et utilisées dans une autre période et un contexte autres que ceux qui prévalaient lors de la réalisation des travaux sur le terrain et au moment de la rédaction du présent rapport hydrogéologique.

1.0 INTRODUCTION

1.1 Mandat professionnel:

Dans le cadre de la problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates, la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix a mandaté notre firme « Experts-Conseils AquaTer-Eau inc. » à titre de consultant spécialisé en hydrogéologie, et ce, pour réaliser une étude visant à caractériser les conditions hydrogéologiques du secteur des deux puits de production municipaux. La figure 1 de l'annexe 1 présente la localisation de la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix ainsi que le lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie « 1 ».

1.2 Contexte de l'étude:

Depuis 2018, des concentrations relativement élevées de nitrates sont mesurées de façon récurrente dans l'eau souterraine captée par les deux puits de captage dénommés « P-1 » et « P-2 ». Suite à l'intervention de la Direction régionale de santé publique du Québec, la municipalité a dû imposer certaines mesures préventives liées à la restriction de consommation d'eau, et ce, après le dépassement sporadique de la norme de potabilité fixée à 10,0 mg/L en janvier 2025. En ciblant les activités agricoles comme la source la plus probable d'émission de contaminants, des mesures visant à restreindre ou à interdire la pratique agricole au sein d'une faible portion de l'aire d'alimentation (ou aire de protection éloignée) présumée ont aussi été mises en application dans le cadre d'ententes spécifiques avec certains agriculteurs locaux.

En référence à la figure 2 de l'annexe 1, l'envergure et la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée associées aux deux puits ont déjà été définies sur une base théorique, et ce, à partir d'un modèle numérique élaboré dans le cadre de l'analyse de vulnérabilité de la source produite par la firme « Akifer inc. » en 2021. Reposant sur relativement peu de données piézométriques acquises en amont hydraulique, l'aire d'alimentation des deux ouvrages séparés par une distance de seulement 2,96 m correspondrait en partie aux limites du bassin versant superficiel. Le même modèle théorique, lequel a été généré à partir de l'estimation de la valeur de plusieurs paramètres hydrogéologiques, démontre que les distances associées à l'aire de protection intermédiaire (bactériologique et virologique) excéderaient la superficie occupée par le bassin versant.

Face à la présence récurrente de nitrates dans l'eau souterraine dont les concentrations moyennes oscillent autour de 5,0 mg/L, et devant l'incertitude liée à la configuration des aires de protection, la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix désire orienter ses actions et appliquer des solutions durables sur la base de connaissances plus approfondies des conditions hydrogéologiques qui prévalent dans le secteur des deux ouvrages de captage municipaux. Parmi les options qui s'offrent à la municipalité, notons sans toutefois s'y limiter: 1) restreindre ou interdire la pratique d'activités agricoles sur une plus grande superficie de terrain, tout en espérant une baisse progressive des concentrations des nitrates dans le temps; 2) instaurer une filière de traitement de l'eau souterraine spécifique aux nitrates ou; 3) exploiter une autre source d'approvisionnement en eau souterraine peu vulnérable à la contamination ailleurs sur le territoire.

1.3 Objectifs visés:

Sur la base des prémisses relatives à la configuration de l'aire d'alimentation présumée et des connaissances acquises antérieurement, les travaux réalisés dans le cadre de la présente étude hydrogéologique visent à:

- déterminer le contexte hydrostratigraphique et le régime d'écoulement sectoriel de la nappe d'eau souterraine directement en amont hydraulique des deux puits de captage municipaux;
- redéfinir l'envergure et la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée associées aux deux puits de captage en regard des sources actives d'émission de contaminants.

1.4 Méthodologie:

Les données géoscientifiques disponibles, notamment celles extraites des études hydrogéologiques antérieures et de certains documents de référence bibliographique, ont été compilées et analysées de manière à connaître le contexte hydrogéologique sectoriel ainsi que la condition d'exploitation de la nappe par le biais des puits existants. Une visite des lieux a permis de localiser des endroits favorables à l'implantation d'une batterie de piézomètres (ou puits d'observation) en amont hydraulique des deux ouvrages de captage, et ce, en collaboration avec les autorités de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et en accord les propriétaires terriens touchés.

Aux endroits prédéterminés, quatre forages stratigraphiques aménagés chacun en piézomètre conventionnel à un seul niveau ont été réalisés au sein de l'aire d'alimentation présumée des puits P-1 et P-2. Des essais de perméabilité à charge variable ont été exécutés au site de chaque piézomètre afin de déterminer la valeur de certains paramètres hydrogéologiques complémentaires. Dans le cadre de l'étude de l'interaction potentielle de l'eau de surface avec l'eau souterraine, un levé bathymétrique a été effectué au site d'un petit étendu d'eau dénommé « lac Perché ». Enfin, des échantillons d'eau souterraine et de surface ont été prélevés en vue de connaître les concentrations instantanées de certains paramètres indicateurs de qualité.

L'étude hydrogéologique est réalisée sur la base des principes édictés à l'intérieur des différents documents de référence en matière de forage et d'aménagement de piézomètres, d'essais de perméabilité, de détermination des aires de protection ainsi que de prélèvement d'échantillons et de qualité d'eau en vigueur au Québec. Ce rapport hydrogéologique consigne les résultats des travaux relatifs au forage et à la construction des piézomètres, l'interprétation des données à caractère géoscientifique inhérentes à la détermination du régime d'écoulement et de la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée ainsi que les conclusions et recommandations associées à la problématique de contamination sectorielle de la nappe d'eau souterraine.

1.5 Calendrier des travaux:

L'ensemble des travaux suivants a été effectué dans le cadre de ce mandat:

20 au 22 mai 2025	Discussions et rencontre avec MM. Mario Bouchard, directeur-général adjoint, Tomy Dufour, ing. directeur des travaux publics et Hugo Tremblay, responsable de l'eau potable de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, et ce, concernant la problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine dans le secteur des deux puits municipaux.
28 mai au 12 juin 2025	Rédaction et transmission d'une proposition technique et financière à M. Bouchard pour la réalisation d'une étude hydrogéologique. Discussions avec M. Dufour ainsi que M. François Durand, ingénieur et agronome de la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, concernant la nature et la portée des travaux à caractère hydrogéologique proposés.
8 juillet 2025	Acceptation de notre proposition par le conseil municipal de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.
9 au 15 juillet 2025	Réception, analyse et synthèse des études hydrogéologiques antérieures portant sur la recherche en eau souterraine, le forage et la construction du puits P-1 ainsi que sur l'analyse de vulnérabilité de la source d'approvisionnement. Préparation et transmission à M. Bouchard d'un plan d'implantation des forages ainsi que d'un exemple de convention à faire signer par les propriétaires touchés pour les droits de passage et la réalisation d'une étude hydrogéologique sur les terrains privés. Rencontre avec M. Bouchard dans le cadre de l'application du programme de travail.
6 août 2025	Réception des conventions signées par les propriétaires touchés confirmant les droits de passage et la permission de réaliser les travaux sur le terrain.

14 août 2025	Rencontre avec MM. Bouchard et Dufour ainsi qu'avec Mme Louise Gagnon dans le cadre de l'implantation des forages sur une partie du terrain privé de Mme Gagnon.
15 août 2025	Réalisation du levé bathymétrique au site de la doline glaciaire dénommée « lac Perché ».
16 au 26 août 2025	Discussions avec M. Bouchard concernant la coupe de la végétation sur une partie du terrain de Mme Gagnon et la pertinence d'organiser une rencontre d'informations avec les intervenants gouvernementaux.
27 août au 29 sept. 2025	Discussions avec MM. Bouchard et Dufour portant sur l'organisation et la planification des travaux sur le terrain en collaboration avec des intervenants du service des travaux publics de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.
20 au 28 octobre 2025	Mobilisation des équipements et du personnel pour l'exécution de quatre forages stratigraphiques aménagés chacun en piézomètre à un seul niveau dénommés « MB-1, MB-2, MB-3 et MB-4 ». Récupération et description des échantillons de sol. Réception de la part de M. Dufour de la compilation des résultats analytiques des nitrites/nitrates compris entre 2022 et 2025.
5 novembre 2025	Mesure des niveaux d'eau souterraine et réalisation des essais de perméabilité à charge variable. Échantillonnage de l'eau souterraine des piézomètres de la série « MB ». Échantillonnage de l'eau de surface selon trois niveaux de profondeur au sein du lac Perché. Programmation et installation de lecteurs automatiques du niveau de l'eau souterraine au sein des ouvrages de la série « MB ». Programmation et installation d'un lecteur automatique du niveau de l'eau de surface à l'intérieur de la station de mesure « SLP-1 » implantée en bordure du lac Perché.

- | | |
|-------------------------|--|
| 6 novembre 2025 | Échantillonnage de l'eau de surface à trois endroits au site de la rivière Couchepaganiche qui s'écoule dans le secteur des ouvrages P-1 et P-2. Réalisation d'un levé d'arpentage des puits, des piézomètres et de la station de mesure du lac Perché par la firme « Girard, Tremblay, Gilbert, arpenteurs-géomètres ». |
| 9 novembre 2025 | Suite aux observations effectuées au site des installations de pompage, mise en place d'un couvercle en aluminium étanche et cadenassé à l'emplacement des piézomètres PZ-7/97 et PZ-3/98 pour remplacer les couvercles qui étaient endommagés et non étanches. Échantillonnage de l'eau souterraine du piézomètre PZ-3/98. Programmation et installation de lecteurs automatiques du niveau de l'eau souterraine au sein des ouvrages PZ-7/97 et PZ-3/98. |
| 6 au 20 novembre 2025 | Analyse des eaux de surface et souterraine par le laboratoire agréé « Laboratoire Bureau Veritas inc. ». Compilation et interprétation sommaire des données à caractère hydrogéologique. |
| 21 au 28 novembre 2025 | Mesure des niveaux d'eau souterraine et retrait des lecteurs automatiques des piézomètres et de la station de mesure du lac Perché. Discussions avec les intervenants municipaux concernant les résultats préliminaires obtenus à l'égard de l'ensemble des travaux à caractère hydrogéologique. |
| 7 au 18 décembre 2025 | Réception de la part de M. Daniel Couture, président de la compagnie « DcCom Automation inc. », des données relatives aux débits de pompage et aux niveaux d'eau souterraine des deux puits de captage municipaux entre les mois d'octobre et de novembre 2025. Compilation et analyse des données de pompage. |
| 6 janv. au 19 fév. 2026 | Discussions et rencontre avec les intervenants municipaux. Présentation des résultats et des conclusions préliminaires de l'étude hydrogéologique aux membres du conseil municipal de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. |

6 mars 2026	Dépôt de la version préliminaire du rapport hydrogéologique à la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.
17 avril 2026	Présentation des résultats et des conclusions préliminaires de l'étude hydrogéologique à des représentants de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, de la Direction régionale de la santé publique du Québec, de la MRC Lac-Saint-Jean-Est et du MELCCFP.
20 mai 2026	Présentation publique des résultats et des conclusions préliminaires de l'étude hydrogéologique.
2 au 12 juin 2026	Discussions avec Mme Mélissa Gagnon, responsable des communications à la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix ainsi qu'avec MM. Bouchard et Dufour concernant l'émission d'un résumé de l'étude hydrogéologique sur le site WEB de la ville et le dépôt de la version finale du rapport hydrogéologique.

2.0 DESCRIPTION DU CONTEXTE PHYSIOGRAPHIQUE

2.1 Description régionale:

En référence à la figure 1 de l'annexe 1, la région du Saguenay/Lac-Saint-Jean se divise en deux grandes unités physiographiques: les Basses-Terres du Lac-Saint-Jean et les Hautes-Terres du Bouclier Canadien. Les deux régions physiographiques qui appartiennent à la région Laurentienne ont été profondément modifiées et façonnées de manière successive par l'effondrement du graben du Saguenay, la dernière période glaciaire du Quaternaire et l'invasion marine de la mer Laflamme subséquente à la glaciation.

Les Basses-Terres du Lac-Saint-Jean présentent un relief relativement uniforme avec des élévations qui varient de 60 à 200 m au-dessus du niveau moyen de la mer. La surface de cette région physiographique est caractérisée par un microrelief très développé dû au ravinement et aux zones d'érosion dendritiques à la hauteur de la plaine argileuse, à la présence de plaines d'épandage fluvioglaciaire renfermant de nombreuses dépressions fermées, à des champs de dunes et à des escarpements. Certains de ces escarpements correspondent à d'anciennes lignes de rivage de la mer Laflamme, d'autres à des escarpements d'érosion dans les dépôts meubles, d'autres à des cicatrices de glissements de terrain et d'autres à des escarpements d'érosion dans le calcaire de Trenton. La plaine des Basses-Terres est surtout occupée par des terres vouées à l'agriculture. Le sol de nature silto-argileuse et le relief relativement plat rendent le drainage superficiel souvent mauvais ou imparfait. Le drainage déficient a favorisé la mise en place de dépôts organiques et de terres humides sur de grandes superficies à quelques endroits au sein de la région physiographique des Basses-Terres.

Les Hautes-Terres entourent le lac Saint-Jean tout en dominant en élévation les Basses-Terres du Lac-Saint-Jean. Le contact entre les deux unités physiographiques suit des escarpements relativement linéaires principalement dans la partie sud des Basses-Terres. Au sud du lac Saint-Jean, l'un de ces escarpements communément appelé « la faille du lac Kénogami », va de La Doré à La Baie tout en suivant la rive sud du lac Kénogami. Dans cet axe, le plateau Laurentien est recoupé par le graben du Saguenay, dont le fjord surcreusé par les glaciers permet une navigation à l'intérieur des terres jusqu'à La Baie. Un autre escarpement important traverse la partie nord de la région du confluent du lac Tchitogama et de la rivière Péribonka jusqu'à l'extrémité est du lac Sébastien à Saint-David-de-Falardeau. À l'échelle régionale, ces escarpements correspondent à d'anciennes zones de failles majeures qui font partie du contexte structural global des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Le relief des Hautes-Terres du Bouclier Canadien qui est ondulé à montueux est caractérisé par la présence de nombreux monts dont les élévations varient de 200 à 358 m au-dessus du niveau moyen de la mer au sud de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Les reliefs plats se limitent aux bandes de dépôts sablonneux ou de dépôts organiques. Le socle rocheux est souvent recouvert d'un dépôt de till et/ou d'un couvert végétal peu épais. Le drainage superficiel est qualifié de bon à rapide à la hauteur des Hautes-Terres en raison du relief pentu et accidenté.

2.2 Description locale:

Érigée en bordure du lac Saint-Jean, la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix se situe dans la portion sud-est de la région physiographique des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean, tel qu'illustré sur la figure 1 de l'annexe 1. Une vaste superficie de son territoire est occupée par des terres à vocation agricole. Autour de l'agglomération urbaine, la plaine silto-argileuse à relief relativement plat est recoupée par de nombreux petits cours d'eau qui s'écoulent au fond de ravins d'érosion, lesquels forment un réseau de drainage dendritique particulièrement bien développé sur le territoire. À plusieurs endroits, les ruisseaux prennent naissance à partir de résurgences de la nappe d'eau souterraine qui circule à l'intérieur d'une formation granulaire partiellement enfouie sous le dépôt de nature silto-argileuse. L'argile silteuse d'origine glaciomarine est souvent recouverte de dépôts sablonneux généralement associés à des deltas, des plages soulevées, des terrasses ou des cordons littoraux. Les dépôts d'origine fluvioglaciaire sous-jacents aux formations silto-argileuses tapissent ou remplissent le fond des anciennes vallées glaciaires surcreusées dans l'axe des failles majeures ou d'éléments lithologiques.

Tel que présenté sur les figures 1 et 2 de l'annexe 1, les deux puits municipaux dénommés P-1 et P-2 sont localisés à la limite des régions physiographiques des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean et des Hautes-Terres du Bouclier Canadien. Implantés sur une partie du lot rénové no.5492494, les deux ouvrages de captage d'eau souterraine se retrouvent en milieu boisé et au pied d'un important talus sablonneux, lequel résulte d'un ancien glissement de terrain. Les puits se situent à une distance de 51 et de 63 m respectivement à l'ouest et au nord de la rivière Couchepaganiche. À la hauteur des ouvrages municipaux, le cours d'eau s'écoule du sud-ouest vers le nord-est à une élévation géodésique de l'ordre de 134 m. La rivière Couchepaganiche rejoint la rivière Couchepaganiche-Est qui constitue un tributaire du lac Saint-Jean.

À partir des deux ouvrages de captage municipaux, la surface du terrain s'élève de façon abrupte en direction nord et vers l'ouest en atteignant une élévation de l'ordre de 169 m sur le plateau qui surplombe la rivière Couchepaganiche. Depuis plusieurs décennies, d'intenses activités agricoles sont pratiquées ou ont été exercées sur le plateau caractérisé par un relief relativement plat. Un petit lac de forme quasi elliptique est visible sur le plateau à environ 190 m au nord-ouest et en amont hydraulique des deux puits municipaux. La surface de l'eau constituant le petit lac qui occupe une superficie d'environ 25000 m² se retrouve à une élévation géodésique de l'ordre de 161 m. Aux fins de la présente étude, ce lac est dénommé « lac Perché » puisqu'il n'est pas officiellement désigné par un nom dans le système toponymique québécois.

À partir de la route provinciale 169, le lieu de prélèvement d'eau souterraine est accessible en empruntant successivement la route Saint-André, le 4^e rang puis un petit chemin recouvert de remblai granulaire qui longe la rive nord de la rivière Couchepaganiche. Des travaux d'empierrement ont spécialement été réalisés autour des deux puits ainsi qu'entre la rivière Couchepaganiche et les ouvrages de captage, et ce, afin de rehausser la surface du terrain localisé en zone inondable. Le remblai de pierre caractérisée par un fort calibre a été façonné de manière à favoriser la recharge induite de la formation aquifère granulaire avec l'eau de surface provenant du cours d'eau limitrophe.

3.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS HYDROSTRATIGRAPHIQUES

3.1 Socle rocheux:

3.1.1 Roches plutoniques et métamorphiques

En référence à la description géologique de Laurin A.F. & Sharma K.N.M. (1975) ainsi que celle de Benoît F.W. & Valiquette G. (1971), les roches plutoniques et métamorphiques d'âge précambrien du secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix appartiennent à la série de Grenville. Le complexe anorthositique en contact avec le complexe de roches gneissiques constituent les deux unités géologiques dominantes sur le territoire. Des amphibolites, des monzonites ainsi que des dykes et des masses irrégulières de pegmatite recoupent la roche en place à quelques endroits. La plupart des dykes ont pour caractéristique d'être discordants et non métamorphisés en plus de varier énormément en taille, en composition et en texture.

Sur la base de la carte géologique produite par Benoît F.W. & Valiquette G. (MERN, 1971), dont un extrait apparaît sur la figure 3 de l'annexe 1, le socle rocheux d'âge précambrien présent dans la région physiographique des Hautes-Terres et au sud des puits municipaux est constitué de granite porphyroïde et de pegmatite en contact lithologique avec du gabbro et du gneiss granitique. À l'échelle locale, le contact entre les unités géologiques et l'avènement des dykes ont pu engendrer une fracturation de la roche compétente, et par le fait même des conduits favorables à l'emmagasinement et à l'écoulement de l'eau souterraine. D'autres fractures sont associées à l'altération de surface qui affecte la roche en place.

Le potentiel hydrique souterrain des roches plutoniques et métamorphiques est fonction de l'orientation, de la densité et de l'extension des fractures. Peu d'informations géoscientifiques sont disponibles sur les éléments structuraux sectoriels et la fracturation locale de la roche. Les données existantes ne permettent pas de déterminer le débit qui peut être soutiré de façon durable des massifs rocheux sans la réalisation de travaux sur le terrain qui visent à localiser les zones de fractures.

Sur la base des données compilées dans le système d'information hydrogéologique (ci-après « SIH ») du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, des Parcs et de la Faune (ci-après « MELCCFP »), les roches plutoniques et métamorphiques d'âge précambrien offrent des débits pouvant varier de 2 à 151 L/min (0,5 à 40 GUSPM) dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix; ce qui est suffisant pour combler des besoins résidentiels mais nettement insuffisant pour satisfaire le besoin en eau municipal.

L'eau souterraine qui circule au sein des massifs constitués de roches plutoniques et métamorphiques présente habituellement une bonne qualité, laquelle peut toutefois varier d'un endroit à l'autre sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Des odeurs typiques de soufre peuvent parfois se dégager de l'eau souterraine; ce qui mène à altérer son esthétisme.

3.1.2 Roches sédimentaires

En référence à la figure 3 de l'annexe 1, des roches sédimentaires d'âge ordovicien se retrouvent en contact discordant au-dessus des roches d'âge précambrien à la hauteur de la région physiographique des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean. Les roches sédimentaires constituant principalement le socle rocheux dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et des deux puits municipaux sont composées de calcaire du Groupe de Trenton de couleur grise. Cette formation rocheuse se présente sous la forme de lambeaux ou d'une plateforme plus ou moins continue qui s'étend de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix jusqu'à la pointe de Saint-Méthode. Cette roche qui est parfois interstratifiée avec de minces lits de shale noir fait l'objet d'une exploitation intensive par la compagnie « Inter-Cité Construction Ltée » à Chambord. Le potentiel hydrique souterrain du calcaire est fonction de l'orientation, de la densité et de l'extension des fractures qui se présentent généralement de manière parallèle au plan de litage sub-horizontale.

Le phénomène de dissolution de la roche calcaire influence également le potentiel hydrique souterrain de cette unité géologique. Les données actuellement disponibles permettent de constater que le roc calcaire est caractérisé par un potentiel hydrique souterrain allant de 11 à 53 L/min (3 à 14 GUSPM) autour de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Toutefois, ce type de formation rocheuse offre la possibilité de capter des débits pouvant être supérieurs à 1893 L/min (500 GUSPM), notamment dans le secteur de Saint-Félicien. Ce massif rocheux peut donc être caractérisé par un potentiel d'exploitation intéressant, et ce, seulement s'il est traversé par des zones de fractures et d'altération conductrices d'eau souterraine. La qualité de l'eau souterraine circulant dans la roche calcaire est très variable d'un endroit à l'autre, en raison de la dureté, des concentrations de fer et des odeurs de soufre qui peuvent altérer l'esthétisme de l'eau.

Une faille majeure à mouvement « normal » traverse le calcaire de Trenton selon un axe sud-est/nord-ouest à la hauteur du territoire municipal. Cette structure géologique communément appelée « faille du lac Kénogami » fait partie du contexte structural global des Basses-Terres du Saint-Laurent. D'importantes zones de fractures conductrices d'eau souterraine sont normalement associées au passage de cette faille majeure. C'est aussi à la hauteur de cette faille où la puissance des dépôts meubles est susceptible d'être la plus grande avec une épaisseur pouvant être supérieure à 100 m par endroits.

3.2 Dépôts meubles:

3.2.1 Généralités

En référence à la description géologique produite par Tremblay G. & Lasalle P. (MERN, 1978), aux informations inscrites sur la carte des dépôts de surface 22D05 publiée par le MERN en 1991 et à la compilation géoscientifique de Daigneault R.A. & Milette S. (MERN, 2011), les dépôts meubles présents sur le territoire de la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix reflètent des environnements glaciaires, fluvioglaciaires, marins et littoraux de la dernière glaciation de l'ère du Quaternaire. De manière générale, les dépôts sont peu épais sur les parties surélevées et plus abondants dans les parties basses. Tel qu'illustré sur la figure 4 de l'annexe 1, la séquence des unités stratigraphiques qui sont présentes sur le territoire à l'étude est décrite ci-après à partir de la base jusqu'au sommet.

3.2.2 Till indifférencié d'origine glaciaire (Tm & Tc)

Le till qualifié de moraine de fond ou d'ablation est un dépôt d'origine glaciaire indifférencié de granulométrie et de composition hétérogènes. Cette unité a une épaisseur très variable et repose directement sur la roche en place souvent de manière discontinue. Le till est généralement peu perméable, en raison de sa granulométrie très étalée et du pourcentage relativement élevé de particules fines notamment constituées de silt et d'argile. La partie supérieure du till est habituellement composée d'un mélange hétérogène et compact de sable fin, de silt et d'argile de couleur grise. La présence et le pourcentage de matériaux grossiers comme le sable, le gravier, les cailloux et les blocs augmentent de façon générale avec l'accroissement de la profondeur.

Le till n'est pas visible à la hauteur de la région physiographique des Basses-Terres, mais peut reposer sous forme de plaques plus ou moins continues directement sur le roc. Le till recouvre la presque totalité du socle rocheux visible dans la région physiographique des Hautes-Terres, et ce, tout particulièrement les zones montagneuses qui surplombent le secteur de deux puits de captage municipaux en direction sud.

Considérant la prédominance de matériaux à granulométrie fine ainsi que la faible puissance du dépôt et son extension limitée, le potentiel hydrique souterrain du till est qualifié de très faible. D'un point de vue qualitatif, l'eau souterraine présente une qualité médiocre en raison de l'excès de certains éléments comme le fer, le manganèse et le soufre qui ont une incidence directe sur son esthétisme ou sa potabilité. Au bilan, le till ne présente aucun intérêt pour le captage d'eau souterraine.

3.2.3 Sable et gravier d'origine fluvioglaciaire (Gx)

Cette unité géologique composée principalement de sable et de gravier interstratifiés est caractérisée par un très bon potentiel hydrique seulement si elle est saturée et propre ainsi que d'étendue et d'épaisseur suffisantes. Ce type d'unité qui se retrouve en épaisseur très variable au-dessus du till ou en contact direct avec le socle rocheux se présente sous forme de dépôts proglaciaires ou juxtaglaciaires, de deltas fluvioglaciaires ou de plaines d'épandage, lesquels sont recouverts ou non par des formations d'origine glaciomarine peu perméables décrites ultérieurement dans ce rapport.

Les dépôts d'origine fluvioglaciaire se présentent aussi sous forme d'esker. Par définition, un esker est une structure géologique de l'ère du Quaternaire composée essentiellement d'une stratification de sable et de gravier contenant des zones de cailloux et de blocs. L'assemblage stratigraphique est très perméable et conséquemment favorable à la circulation, à l'emménagement et au captage d'une grande quantité d'eau souterraine. Un esker prend habituellement la forme d'un cordon granulaire de faible largeur qui serpente en surface ou en profondeur sous le couvert silto-argileux sur une distance de plusieurs dizaines de kilomètres.

Un important dépôt d'origine fluvioglaciaire de largeur et d'épaisseur variables présentant une orientation générale « nord-ouest/sud-est » est visible au contact entre les régions physiographiques des Hautes-Terres et des Basses-Terres. En passant sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, cette structure géologique de l'ère du Quaternaire s'étend de La Doré au Lac-Saint-Jean jusqu'à La Baie au Saguenay souvent dans l'axe de la faille majeure du lac Kénogami. À l'échelle régionale, plusieurs dizaines de municipalités exploitent des ouvrages très productifs de captage d'eau souterraine implantés au sein de ce dépôt granulaire, lequel est également propice à l'établissement de sablières dont quelques-unes qui sont toujours en exploitation sur le territoire.

Le potentiel hydrique souterrain des sédiments d'origine fluvioglaciaire est qualifié de très bon, puisque des débits supérieurs à 378 L/min (100 GUSPM) peuvent aisément y être extraits par endroits seulement si l'épaisseur saturée est suffisante. À un débit maximum autorisé de 1324 L/min (350 GUSPM), les puits municipaux P-1 et P-2 de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix exploitent conjointement la nappe d'eau souterraine qui migre au sein d'une formation d'origine fluvioglaciaire visible en bordure de la rivière Couchepaganiche ainsi qu'à la hauteur de la frontière des régions physiographiques des Basses-Terres et des Hautes-Terres. En référence à la figure 4 de l'annexe 1, la géomorphologie particulière du lieu de prélèvement d'eau souterraine est associée à la cicatrice d'un ancien glissement de terrain survenu en bordure de la rivière Couchepaganiche.

Ailleurs sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, des sédiments d'origine fluvioglaciaire sont aussi interceptés sous le couvert silto-argileux à la hauteur des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean, en regard des informations tirées des études hydrogéologiques antérieures et du SIH (MELCCFP, 2026). Des forages exécutés dans l'axe de la faille du lac Kénogami démontrent que le dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire peut avoir une épaisseur pouvant aller de 30 à 100 m par endroits. L'accumulation de sable et de gravier dans l'axe de la faille du lac Kénogami durant la fonte des glaciers a contribué à créer d'immenses réserves d'eau souterraine, et ce, notamment dans certains secteurs connus de la municipalité d'Hébertville et ailleurs sur le territoire du Lac-Saint-Jean.

L'eau souterraine circulant dans les dépôts granulaires d'origine fluvioglaciaire est habituellement caractérisée par une bonne qualité, sauf s'il existe des excès de carbonates, de soufre, de fer et de manganèse qui ont une incidence directe sur son esthétisme ou sa potabilité. Les eaux affectées par des déficiences qualitatives peuvent se retrouver aux endroits où la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine est faible, dans les secteurs où la recharge efficace est insuffisante et/ou dans le cas de l'existence d'un lien hydraulique étroit avec l'eau de surface.

Sous une condition de nappe libre, la ressource hydrique est réputée vulnérable à la contamination en raison de l'absence de matériaux peu perméables au-dessus du dépôt granulaire. En étant recouverts d'un dépôt de nature silto-argileuse peu perméable, les aquifères granulaires captifs sont caractérisés par un faible niveau de vulnérabilité à la contamination.

Quelques plans d'eau sont visibles dans l'axe de la plaine d'épandage des sédiments d'origine fluvioglaciaire. Les plans d'eau qui sont caractérisés par une forme quasi circulaire ou elliptique sont notamment associés à des « dolines glaciaires », aussi désignées sous le nom anglais de « kettles », et ce, comme le lac Perché et les lacs Gobeil. Ces structures de l'ère du Quaternaire se sont formées lorsqu'un bloc de glace s'est détaché du glacier puis a été enfoui sous des sédiments. La fonte du bloc de glace enfoui, laquelle était plus lente que la fonte de la glace environnante exposée aux intempéries, a entraîné un affaissement du sol tout en favorisant l'accumulation de l'eau au sein de la dépression dont la profondeur peut varier entre quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

L'eau visible au sein des dolines glaciaires peut parfois représenter le reflet de la nappe d'eau souterraine environnante. À d'autres endroits, les structures sont simplement remplies d'eau perchée plus ou moins stagnante qui provient du ruissellement et des précipitations. Cette eau n'est pas nécessairement en lien hydraulique avec la nappe d'eau souterraine environnante ou sous-jacente, et ce, puisque le fond vaseux des dolines est souvent composé de matériaux peu perméables de nature silto-argileuse qui ne permettent pas un lien hydraulique sectoriel efficient entre les eaux de surface et souterraine.

3.2.4 Argile et silt d'origine glaciomarine (MGa)

Le retrait progressif des glaciers a entraîné la création d'un grand bassin sédimentaire connu sous le nom de « mer Laflamme » au sein duquel des sédiments marins de faciès d'eau profonde de nature silto-argileuse se sont déposés, et ce, de manière à constituer la plaine argileuse de la région physiographique des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean. Les dépôts d'argile et de silt d'origine glaciomarine de la mer Laflamme sont caractérisés par un très faible potentiel hydrique souterrain. Ces unités qualifiées de silt argileux ou d'argile silteuse reposent directement sur le roc, le till ou les sédiments d'origine fluvioglaciaire en place en confinant les nappes sous-jacentes qualifiées chacune de « nappe captive », lesquelles présentent parfois une condition artésienne. Les formations cohésives peuvent être traversées par des lits millimétriques à centimétriques de sable fin gris qui se retrouvent de manière sub-horizontale et discontinue dans le dépôt silto-argileux.

Les formations silto-argileuses sont considérées comme des aquitards; c'est-à-dire des formations géologiques saturées en eau, mais très faiblement conductrices d'eau souterraine dans lesquelles le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible, voire inexistant. Ces dépôts cohésifs qui sont visibles sur une très grande superficie à la hauteur de la plaine des Basses-Terres du Lac-Saint-Jean, et particulièrement au pourtour de la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, ne présentent aucun attrait particulier pour la circulation et le captage d'eau souterraine. Par endroits, ce type de dépôt considéré comme peu perméable recouvre et confine les formations aquifères granulaires et rocheuses sous-jacentes, en assurant la protection naturelle des nappes d'eau souterraine face à la migration verticale des contaminants à partir de la surface.

La puissance du dépôt cohésif de la plaine des Basses-Terres peut être très variable dans un secteur donné, et ce même sur une très courte distance horizontale. Cette condition a été observée par le soussigné notamment dans les régions de Saint-Félicien, Saint-Prime, Sainte-Jeanne-d'Arc et Bégin où dans le dernier cas l'épaisseur de l'argile silteuse varie de l'ordre de 14 m sur une distance horizontale de seulement 10 m. Le centre urbain de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix est érigé en très grande partie à la hauteur de ce type de dépôt qui recouvre une vaste superficie autour du lac Saint-Jean. Sur la base des renseignements tirés des forages répertoriés sur le territoire, le dépôt cohésif considéré peu perméable possède une épaisseur pouvant excéder 30 m par endroits.

3.2.5 Sable d'origine glaciomarine (MGb & MGd)

Les dépôts d'origine glaciomarine d'eau peu profonde de la mer Laflamme peuvent constituer des formations aquifères seulement si elles sont saturées et propres ainsi que d'étendue et d'épaisseur suffisantes. Mis en place dans le milieu marin, les matériaux sont généralement bien triés tout en étant composés de sable à plus de 85%. Des quantités significatives de silt et de gravier peuvent parfois se retrouver dans ce type de dépôt par endroits.

Les sédiments littoraux et pré-littoraux d'origine glaciomarine, lesquels sont identifiés comme « MGb » sur la figure 4 de l'annexe 1, recouvrent partiellement les dépôts peu perméables de nature silto-argileuse à la hauteur de la plaine des Basses-Terres du Lac Saint-Jean ainsi qu'à la limite des deux régions physiographiques. Les sédiments d'origine glaciomarine de la série « MGb » sont composés d'une stratification de sable, de sable graveleux, de silt sablonneux et de gravier bien triés. Ce type de dépôt qui possède une épaisseur variant généralement entre 0,3 et 2,0 m est visible à une distance de l'ordre de 1300 m à l'ouest des deux puits municipaux ainsi qu'à la hauteur de l'agglomération urbaine. La surface de ces dépôts est souvent marquée par la présence de cordons littoraux ou pré-littoraux qui sont parfois remaniés par l'action éolienne contemporaine.

D'autres types de matériaux composés d'une proportion très variable d'argile, de silt, de sable, de gravier, de cailloux et de blocs émoussés sont associés à des dépôts littoraux (MGb) laissés par la mer Laflamme. Les sédiments résultent du remaniement des dépôts plus anciens de till et de dépôt d'origine fluvioglaciaire par l'action des vagues et des marées qui agissaient en bordure du bassin glaciomarin d'eau peu profonde de la mer Laflamme. Ces dépôts littoraux ne constituent pas de bonnes formations aquifères en raison de leur extension spatiale limitée et de leur faible puissance.

Les sédiments deltaïques et prodeltaïques d'origine glaciomarine, lesquels sont identifiés comme « MGd » sur la figure 4 de l'annexe 1, peuvent aussi recouvrir de façon partielle les unités peu perméables de nature silto-argileuse à quelques endroits à la hauteur de la plaine des Basses-Terres du Lac Saint-Jean. Ce type de dépôt est associé aux principaux affluents qui se déversaient sous forme de deltas au pourtour de la mer Laflamme à une altitude inférieure à 150 m. Les sédiments qui sont principalement constitués d'une stratification de sable, de sable graveleux et de gravier bien triés résultent de l'apport massif de matériaux granulaires d'anciennes rivières nourries par les eaux de fonte des glaciers. Des lits de sable silteux sont parfois interstratifiés à l'intérieur du complexe granulaire. Les sédiments provenaient de l'érosion des roches précambriennes de l'ancienne chaîne de montagnes du Bouclier Canadien. Les matériaux se déposaient et s'accumulaient directement sur les argiles marines une fois en contact avec la mer Laflamme.

À la hauteur des deltas, les sédiments deltaïques et prodeltaïques de la série « MGd » peuvent parfois atteindre une épaisseur de l'ordre de 20 m par endroits; ce qui leur confère un potentiel aquifère intéressant pour le captage d'eau souterraine seulement si leur extension spatiale est suffisante. Ce type de dépôt est visible à une distance de l'ordre de 500 m au sud-ouest des deux puits municipaux.

3.2.6 Dépôts alluvionnaires (Ap & Ax)

Les dépôts alluvionnaires, aussi désignés comme des sédiments de plaine d'inondation, sont parfois visibles le long des cours d'eau qui traversent la région de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Ces dépôts sont constitués d'un mélange hétérogène de matériaux qui contiennent des proportions variables de blocs, de cailloux, de gravier, de sable, de silt et/ou d'argile. Les sédiments sont amenés par charriage et déposés au fond ainsi que de part et d'autre des cours d'eau lors des crues printanières contemporaines.

À la hauteur des zones inondables, des sédiments de plaine d'inondation sont aussi retrouvés en quantités variables sur le lit et les rives de certains plans d'eau. Les alluvions ne présentent aucun attrait particulier pour la circulation et le captage d'eau souterraine. Toutefois, les dépôts alluvionnaires peuvent agir comme une barrière peu perméable en limitant le lien hydraulique sectoriel entre les eaux de surface et souterraine.

3.2.7 Dépôts organiques (O)

À la hauteur des régions physiographiques des Basses-Terres et des Hautes-Terres, les dépôts organiques constitués de tourbe et de terre noire se sont formés aux endroits où le drainage est mauvais, en raison du relief peu accidenté et de la nature peu perméable des unités géologiques de surface. Des dépôts organiques sont rencontrés un peu partout sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, notamment à la hauteur de la plaine argileuse des Basses-Terres et autour de certaines dolines glaciaires. Les dépôts organiques offrent un très faible potentiel hydrique souterrain et la qualité de l'eau y est médiocre. À la résultante, ils ne présentent aucun attrait particulier pour le captage de l'eau souterraine.

3.2.8 Dépôts de versant (Cg)

Les dépôts de versant résultent de glissements de terrain qui se sont produits principalement le long des cours d'eau et des escarpements. Les sédiments sont principalement formés d'argile et de silt remaniés qui contiennent parfois du sable et de la matière organique. Ce type de dépôt est visible le long des rivières Couchepaganiche et Couchepagniche-Est à une distance de l'ordre de 1200 m au nord-est des deux puits municipaux. Les dépôts de versant ne présentent aucun intérêt pour le captage d'eau souterraine étant donné leur très faible potentiel aquifère.

4.0 BATHYMÉTRIE DU LAC PERCHÉ

Le 15 août 2025, un levé bathymétrique a été réalisé pour déterminer la profondeur du lac Perché localisé à ± 190 m au nord-ouest et en amont hydraulique des puits municipaux P-1 et P-2. En référence à la planche 1 de l'annexe 2, le levé a été exécuté sur toute la surface du plan d'eau avec un sonar portable de marque « Humminbird Onehundred », lequel était fixé sur une chaloupe en aluminium mue par un moteur électrique.

Tel qu'illustré sur la figure 5 de l'annexe 1, le lac Perché possède une forme quasi elliptique, laquelle est typique de celle qui caractérise les dolines glaciaires visibles à la hauteur de la plaine d'épandage du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire retrouvé sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Le lac Perché qui couvre une superficie de l'ordre de 25000 m^2 possède une longueur maximale de 176 m dans son axe longitudinal et une largeur maximale de 148 m selon son axe transversal. Un dénivelé de ± 8 m existe entre la surface du plan d'eau se situant à une élévation géodésique de l'ordre de 161 m et le dessus du plateau environnant qui se retrouve à une élévation de ± 169 m. De plus, il y a une différence d'élévation de l'ordre de 27 m entre la surface du lac Perché et la rivière Couchepaganiche qui s'écoule à une distance de ± 210 m en aval du plan d'eau. Toute la pente relativement abrupte qui ceinture le pourtour du lac Perché est peuplée d'un mélange de broussailles, d'arbustes, d'aulnes et d'arbres matures sur des distances allant de 25 à 75 m à partir de la rive du plan d'eau.

Les images captées par le sonar révèlent que le lac Perché est caractérisé par un fond plat et vaseux sans présence de structures particulières. Des quantités importantes de matières organiques en décomposition sont visibles en bordure du lac. Généralement peu profond sur une surface relativement grande à partir du rivage, ce plan d'eau possède une profondeur qui passe de 8,2 m dans sa portion sud-est à une profondeur maximale de 10,7 m dans sa partie nord-ouest, et ce, de manière à dessiner une fosse dans son axe longitudinal. Par conséquent, le fond du lac se retrouve à des élévations géodésiques allant de 152 à 150 m dans l'axe longitudinal de la fosse. Le lac Perché qui ne possède aucun tributaire ni aucun exutoire naturel serait ainsi presque/exclusivement, voire totalement, alimenté par les eaux de ruissellement et les précipitations. Au moment du levé bathymétrique, il n'y avait aucune évidence de l'existence de résurgences de la nappe d'eau souterraine dans la pente ou au pied du talus qui surplombe le plan d'eau.

L'une des hypothèses soulevées pour expliquer la présence de nitrates dans l'eau de consommation est de considérer le lac Perché comme un réservoir d'accumulation des eaux de ruissellement, lequel agirait aussi comme une source d'émission de contaminants vers la nappe d'eau souterraine profonde. Le levé bathymétrique a donc été effectué dans le cadre de l'étude sectorielle de l'interaction potentielle entre les eaux de surface et souterraine, et ce, dans le cas où le lac Perché constituerait un milieu susceptible d'emmagasiner puis de diffuser lentement des contaminants générés par les activités agricoles environnantes. Dans ce contexte, une station de mesure du niveau de l'eau de surface dénommée « SLP-1 » a aussi été implantée en bordure du lac Perché, dont la localisation peut être visualisée sur la figure 6 de l'annexe 1. Tel qu'illustré sur la planche 2 de l'annexe 2, cette station permet de relever manuellement le niveau du lac au moyen d'un ruban gradué à partir du sommet de la tige en métal, ou automatiquement avec un lecteur de niveaux d'eau de type « levellogger » introduit dans le tube en PVC.

5.0 FORAGE ET AMÉNAGEMENT DES PIÉZOMÈTRES

5.1 Implantation et localisation:

En accord avec les autorités municipales et les propriétaires terriens touchés, quatre forages stratigraphiques aménagés en piézomètre à un seul niveau ont été positionnés en les répartissant sur les lots privés no.5492488, 5492489 et 5492493, tel que présenté sur la figure 6 de l'annexe 1. Les forages ont été implantés en bordure des champs et le long des voies d'accès de manière à ce qu'ils ne constituent pas une entrave majeure pour la circulation des véhicules.

Au moyen d'un appareil de positionnement « GPS R12i » permettant d'atteindre un degré de précision de l'ordre du millimètre, les coordonnées « X » et « Y » des forages et piézomètres de la série MB, des puits de captage P-1 et P-2, de la station de mesure de l'eau de surface SLP-1 ainsi que de certains piézomètres de la série PZ qui étaient déjà en place ont été mesurées dans le système « SCOPQ MTM-NAD83 du fuseau 7 » par un technicien en arpentage de la firme « Girard, Tremblay, Gilbert, arpenteurs-géomètres ». Le nivellement en « Z » de la surface du sol et des composantes des divers ouvrages précités a été réalisé par le soussigné à l'aide d'un niveau automatique « LEICA NA720 » à partir des différents repères géodésiques laissés par le technicien en arpentage.

Les coordonnées « X, Y et Z » des différents ouvrages hydrauliques ainsi que leur distance respective par rapport aux puits de production P-1 et P-2 apparaissent dans le tableau 1 ci-après ainsi que sur chacune des fiches descriptives insérées à l'annexe 3.

Tableau 1. Coordonnées « X, Y, Z » des ouvrages hydrauliques en fonction de leur distance par rapport aux puits de production P-1 et P-2

Ouvrages	Coordonnées SCOPQ MTM-NAD83-F7			Distance du puits P-1 (m)	Distance du puits P-2 (m)
	X (m.E.)	Y (m.N.)	Z géodésique du sol (m)		
P-1	203376,081	5361243,637	135,996	0,00	2,96
P-2	203373,510	5361245,059	135,994	2,96	0,00
PZ-7/97	203377,531	5361246,342	135,973	3,08	4,21
PZ-3/98	203416,882	5361230,682	134,035	42,81	45,84
MB-1	202860,287	5361654,842	168,953	659,50	656,55
MB-2	203049,613	5361375,390	167,949	352,30	349,35
MB-3	203124,475	5361593,773	168,270	431,50	428,95
MB-4	203272,692	5361345,391	167,834	144,45	141,50
Station SLP-1*	203235,989	5361438,865	161,017**	240,80	237,85

* station de mesure de l'eau de surface du lac Perché

** élévation du dessus de la tige en métal implantée dans le lac Perché

5.2 Forage et échantillonnage:

De manière générale, les forages visent à déterminer le contexte hydrostratigraphique sectoriel ainsi que le potentiel aquifère préliminaire des formations géologiques en place. Les forages ont aussi pour but d'aménager des piézomètres utiles pour la mesure des niveaux piézométriques et le prélèvement d'échantillons d'eau souterraine.

Tel qu'illustré sur la planche 3 de l'annexe 2, les forages stratigraphiques transformés chacun en piézomètre de la série « MB » ont été effectués par la compagnie « Samson & Frères inc. » au moyen d'une foreuse hydraulique rotative à double action de marque et de modèle « Foremost DR-24 ». Ce type de foreuse permet entre autres, de récupérer des échantillons de sol représentatifs, de contrer efficacement les remontées indésirables de sédiments dans le tubage ainsi que d'assurer une progression « normale » du forage, notamment lorsque des horizons caillouteux et bloconaux sont rencontrés en cours d'exécution.

Tous les forages stratigraphiques ont été réalisés à l'aide d'un marteau pneumatique fond-de-trou ou d'un tricône à molettes dentées possédant un diamètre de 152 mm. L'outil de forage était fixé à l'extrémité du train de tiges pour traverser toute l'épaisseur des dépôts granulaires jusqu'à l'atteinte du till d'origine glaciaire ou du substratum rocheux. En enfonçant simultanément par compression et rotation le tubage en acier de 152 mm de diamètre muni d'un sabot d'enfoncement en acier, des échantillons représentatifs de sol ont été prélevés sous l'action ascendante de l'air comprimé injecté en continu afin d'établir la séquence stratigraphique au site de chaque forage.

Tous les échantillons ont été codifiés et décrits pour dresser la stratigraphie au site de chaque forage, laquelle est illustrée schématiquement sur les fiches descriptives insérées à l'annexe 3. Il est à noter que tous les échantillons seront conservés dans nos locaux pour une période de six mois à partir de la date de publication de ce rapport, après quoi, ils seront détruits à moins d'un avis contraire rédigé par un représentant autorisé de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

5.3 Description de la stratigraphie et des piézomètres:

5.3.1 Forage et piézomètre MB-1

En référence à la figure 6 de l'annexe 1, le forage stratigraphique MB-1 a été exécuté sur le lot rénové no.5492488 à une distance de l'ordre de 660 m au nord-ouest des puits P-1 et P-2. Le forage caractérisé par un diamètre de 152 mm et une profondeur de 18,28 m a intercepté la séquence stratigraphique décrite ci-après, laquelle est aussi illustrée de façon schématique sur la fiche descriptive de l'annexe 3:

0,00 - 0,30 m:	terre végétale brune
0,30 - 10,97 m:	sable fin brun, un peu à traces de silt, traces de sable moyen
10,97 - 17,06 m:	silt argileux brun-grisâtre, un peu à traces de sable fin
17,06 - 17,98 m:	till silteux gris-brunâtre (sable et gravier silteux, un peu cailloux et d'argile, traces de blocs)
17,98 - 18,28 m:	roc (gabbro)

Entre 0,30 et 10,97 m de profondeur, un dépôt granulaire d'origine glaciomarine constitué de sable fin brun contenant un peu à des traces de silt ainsi que des traces de sable moyen est rencontré sous le couvert de terre végétale brune qui possède une épaisseur de 0,30 m à partir de la surface. Sous le dépôt granulaire superficiel réputé perméable, une formation d'origine glaciomarine peu perméable composée de silt argileux brun-grisâtre qui contient un peu à des traces de sable fin est interceptée entre 10,97 et 17,09 m de profondeur. Le dépôt silto-argileux confine le till silteux gris-brunâtre sous-jacent retrouvé entre 17,09 et 17,98 m de profondeur. Le till à matrice silteuse réputé peu perméable repose sur le socle rocheux qui a été traversé entre 17,98 et 18,28 m de profondeur. Aucune fracture n'a été recoupée dans le roc qui se définit comme un gabbro; une roche plutonique composée de minéraux à texture grossière de couleur noirâtre à verdâtre.

Au moment du forage, de l'eau souterraine a été interceptée uniquement à la base du dépôt granulaire superficiel à partir d'une profondeur de 10,43 m; ce qui laisse une faible épaisseur saturée de 0,54 m. L'eau souterraine n'a pas été rencontrée au sein des autres formations géologiques réputées peu perméables. Considérant les résultats obtenus, le forage stratigraphique a été transformé en piézomètre de type « filtrant » à un seul niveau au sein du dépôt granulaire d'origine marine. Après avoir extrait les débris de forage avec de l'air comprimé injecté à l'intérieur du tubage en acier de 152 mm de diamètre, de la bentonite granulaire a été déversée pour former un premier bouchon étanche entre 16,09 et 18,28 m de profondeur. En retirant progressivement le tubage en acier, la formation de silt argileux en place est venue combler le vide laissé entre 11,58 et 16,90 m de profondeur. Par la suite, un deuxième bouchon étanche a été constitué avec de la bentonite granulaire déversée entre 10,99 et 11,58 m de profondeur.

Une crépine en PVC-Sch40 caractérisée par une longueur de 3,05 m, un diamètre de 50,8 mm et des ouvertures de 0,25 mm a été positionnée entre 7,94 et 10,99 m de profondeur. La crépine est vissée à des tubages en PVC-Sch40 qui possèdent un diamètre de 50,8 mm et une longueur totale de 9,23 m. La margelle du tubage en PVC-Sch40 excède la surface du sol sur une hauteur de 1290 mm. Des bouchons de fond et de surface en PVC-Sch40 sont fixés aux extrémités du piézomètre. En poursuivant l'extraction progressive du tubage en acier, du sable de silice arrondi de marque « Atlantic silica » caractérisé par un calibre « Grade 1 » a été déversé de manière à former la cellule piézométrique retrouvée entre 6,41 et 10,99 m de profondeur. Un troisième bouchon étanche en bentonite placé entre 5,62 et 6,41 m de profondeur a pour fonction de minimiser les risques d'intrusion de matières indésirables au sein du massif filtrant sous-jacent.

Par la suite, le tubage en acier a complètement été retiré alors que des déblais de forage ont dû être introduits manuellement pour remplir le vide compris entre 0,61 et 5,62 m de profondeur. Un quatrième bouchon étanche a été constitué en versant de la bentonite granulaire entre la surface et 0,61 m de profondeur. Un tubage protecteur en acier possédant un diamètre de 152 mm et une longueur de 3254 mm a été enfoncé dans le sol jusqu'à une profondeur de 1912 mm. Le tubage protecteur ceinture la partie superficielle du piézomètre dans le but de préserver l'intégrité physique du tubage en PVC-Sch40 de 50,8 mm de diamètre. La margelle du tubage protecteur dépasse la surface du sol sur une hauteur de 1354 mm en considérant l'anneau en aluminium qui le surmonte. Un couvercle en aluminium cadénassé chapeaute le tubage protecteur en acier. Finalement, du sable de silice de même nature que celui décrit précédemment a été déversé au-dessus du bouchon étanche supérieur de façon à ceinturer la margelle du tubage en PVC-Sch40 de 50,8 mm de diamètre jusqu'à une hauteur de 1060 mm au-dessus du sol. Le schéma d'aménagement du piézomètre MB-1 est illustré sur la fiche descriptive insérée à l'annexe 3.

Le piézomètre MB-1 a été développé par injection d'air comprimé dans le but de vérifier la fonctionnalité de l'ouvrage ainsi que pour retirer les débris de forage et les sédiments en suspension dans l'eau. Le développement d'une durée de 30 minutes a été arrêté suite à l'obtention d'une eau relativement claire, tout en constant la variation normale du niveau de l'eau souterraine dans le piézomètre.

5.3.2 Forage et piézomètre MB-2

Tel que présenté sur la figure 6 de l'annexe 1, le forage stratigraphique MB-2 a été réalisé sur le lot rénové no.5492489 à une distance de l'ordre de 350 m au nord-ouest des puits P-1 et P-2. Le forage caractérisé par un diamètre de 152 mm et une profondeur de 33,73 m a intercepté la séquence stratigraphique décrite ci-après, laquelle est aussi illustrée de façon schématique sur la fiche descriptive de l'annexe 3:

0,00 - 0,30 m:	terre végétale brune
0,30 - 4,57 m:	silt argileux brun-grisâtre, un peu à traces de sable fin
4,57 - 15,24 m:	sable fin brun, un peu de sable moyen, traces de cailloux, gravier, sable grossier et silt
15,24 - 17,37 m:	sable fin à grossier graveleux brun, traces de cailloux et silt
17,37 - 18,28 m:	sable fin à moyen brun, un peu de gravier et sable grossier, traces de cailloux et silt
18,28 - 22,25 m:	sable fin brun, un peu de sable moyen, traces de cailloux, gravier, sable grossier et silt
22,25 - 33,07 m:	sable et gravier brun à brun-grisâtre, un peu de cailloux, traces de blocs et silt
33,07 - 33,73 m:	roc (gabbro)

À partir de la surface, de la terre végétale brune possédant une épaisseur de 0,30 m recouvre un dépôt d'origine glaciomarine peu perméable composée de silt argileux brun-grisâtre qui contient un peu à des traces de sable fin. La formation silto-argileuse qui est caractérisée par une épaisseur de 4,27 m confine un dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire retrouvé entre 4,57 et 33,07 m de profondeur. De 4,57 à 22,25 m, le dépôt granulaire est formé d'une alternance de couches composées de quantités variables de sable fin à grossier brun contenant diverses proportions de cailloux et de gravier ainsi que des traces de silt. Entre 22,25 et 33,07 m de profondeur, le dépôt granulaire est constitué d'un mélange de sable et de gravier brun à brun-grisâtre qui contient un peu de cailloux ainsi que des traces de blocs et de silt. La couche basale du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire réputé très perméable recouvre le socle rocheux qui a été traversé entre 33,07 et 33,73 m de profondeur. Aucune fracture n'a été recoupée dans le roc qui se définit comme un gabbro; une roche plutonique composée de minéraux à texture grossière de couleur noirâtre à verdâtre.

Au moment du forage, de l'eau souterraine a été interceptée uniquement à la base du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire à partir d'une profondeur de 31,71 m; ce qui laisse une faible épaisseur saturée de 1,36 m. Considérant les résultats obtenus, le forage stratigraphique a été transformé en piézomètre de type « filtrant » à un seul niveau au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire. Après avoir extrait les débris de forage à l'intérieur du tubage en acier de 152 mm de diamètre, de la bentonite granulaire a été déversée pour former un premier bouchon étanche entre 32,94 et 33,73 m de profondeur. Une crépine en PVC-Sch40 caractérisée par une longueur de 2,91 m, un diamètre de 50,8 mm et des ouvertures de 0,25 mm a été positionnée entre 30,03 et 32,94 m de profondeur. La crépine est vissée à des tubages en PVC-Sch40 qui possèdent un diamètre de 50,8 mm et une longueur totale de 30,96 m. La margelle du tubage en PVC-Sch40 excède la surface du sol sur une hauteur de 928 mm. Des bouchons de fond et de surface en PVC-Sch40 sont fixés aux extrémités du piézomètre.

En poursuivant l'extraction progressive du tubage en acier, du sable de silice arrondi de marque « Atlantic silica » caractérisé par un calibre « Grade 1 » a été déversé de manière à former la cellule piézométrique retrouvée entre 28,19 et 32,94 m de profondeur. Un deuxième bouchon étanche en bentonite placé entre 27,15 et 28,19 m a pour fonction de minimiser les risques d'intrusion de matières indésirables au sein du massif filtrant sous-jacent. En retirant progressivement le tubage en acier, la formation granulaire en place est venue combler le vide laissé entre 6,10 et 27,15 m de profondeur. Par la suite, le tubage en acier a complètement été retiré alors que des déblais de forage ont dû être introduits pour remplir le vide compris entre 0,61 et 6,10 m. Un quatrième bouchon étanche a été constitué en versant de la bentonite granulaire entre la surface et 0,61 m de profondeur.

Un tubage protecteur en acier possédant un diamètre de 152 mm et une longueur de 2794 mm a été enfoncé dans le sol jusqu'à une profondeur de 1758 mm. Le tubage protecteur ceinture la partie superficielle du piézomètre dans le but de préserver l'intégrité physique du tubage en PVC-Sch40 de 50,8 mm de diamètre. La margelle du tubage protecteur dépasse la surface du sol sur une hauteur de 1045 mm en considérant l'anneau en aluminium qui le surmonte. Un couvercle en aluminium cadénassé chapeaute le tubage protecteur en acier. Finalement, du sable de silice de même nature que celui décrit précédemment a été déversé au-dessus du bouchon étanche supérieur de façon à ceinturer la margelle du tubage en PVC-Sch40 de 50,8 mm de diamètre jusqu'à une hauteur de 630 mm au-dessus du sol. Le schéma d'aménagement du piézomètre MB-2 est illustré sur la fiche descriptive insérée à l'annexe 3.

Le piézomètre MB-2 a été développé par injection d'air comprimé dans le but de vérifier la fonctionnalité de l'ouvrage ainsi que pour retirer les débris de forage et les sédiments en suspension dans l'eau. Le développement d'une durée de 30 minutes a été arrêté suite à l'obtention d'une eau relativement claire, tout en constant la variation normale du niveau de l'eau souterraine dans le piézomètre.

5.3.3 Forage et piézomètre MB-3

Le forage stratigraphique MB-3 a été effectué sur le lot rénové no.5492489 à une distance de l'ordre de 430 m au nord-ouest des puits P-1 et P-2, tel que présenté sur la figure 6 de l'annexe 1. Le forage caractérisé par un diamètre de 152 mm et une profondeur de 41,75 m a intercepté la séquence stratigraphique décrite ci-après, laquelle est aussi illustrée de façon schématique sur la fiche descriptive de l'annexe 3:

0,00 - 0,35 m:	terre végétale brune
0,35 - 2,13 m:	silt argileux brun-grisâtre, un peu à traces de sable fin
2,13 - 4,87 m:	sable fin brun, un peu de sable moyen, traces de silt
4,87 - 6,40 m:	sable fin à grossier graveleux brun, traces de cailloux et silt
6,40 - 19,81 m:	sable fin à moyen brun, un peu de sable grossier, traces de cailloux, gravier et silt
19,81 - 23,77 m:	sable fin à grossier brun, un peu de gravier, traces de cailloux et silt
23,77 - 27,13 m:	sable fin brun, un peu de sable moyen, traces de silt

- 27,13 - 41,75 m: sable et gravier brun à brun-grisâtre, un peu de cailloux, traces de blocs et silt
- 41,75 m: roc (gabbro)

À partir de la surface, de la terre végétale brune possédant une épaisseur de 0,35 m recouvre un dépôt d'origine glaciomarine peu perméable composée de silt argileux brun-grisâtre qui contient un peu à des traces de sable fin. La formation silto-argileuse qui est caractérisée par une épaisseur de 1,78 m confine un dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire retrouvé entre 2,13 et 41,75 m de profondeur. De 2,13 à 27,13 m, le dépôt granulaire est formé d'une alternance de couches composées de quantités variables de sable fin à grossier brun contenant diverses proportions de cailloux et de gravier ainsi que des traces de silt. Entre 27,13 et 41,75 m de profondeur, le dépôt granulaire est constitué d'un mélange de sable et de gravier brun à brun-grisâtre qui contient un peu de cailloux ainsi que des traces de blocs et de silt. La couche basale du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire réputé très perméable repose sur le socle rocheux retrouvé à une profondeur de 41,75 m. Le roc se définit comme un gabbro; une roche plutonique composée de minéraux à texture grossière de couleur noirâtre à verdâtre.

Au moment du forage, de l'eau souterraine a été atteinte uniquement à la base du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire à partir d'une profondeur de 34,88 m; ce qui mène à une épaisseur saturée significative de 6,57 m. Il est à noter qu'un débit d'eau souterraine évalué à environ 380 L/min (100 GUSPM) émergeait du cyclone de dépressurisation au moment de la réalisation du forage, tel que présenté sur la planche 4 de l'annexe 2.

Considérant les résultats obtenus, le forage stratigraphique a été transformé en piézomètre de type « filtrant » à un seul niveau à la base du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire. Après avoir extrait les débris de forage avec de l'air comprimé injecté à l'intérieur du tubage en acier de 152 mm de diamètre, ce dernier a été partiellement relevé jusqu'à une profondeur de 40,77 en laissant la formation granulaire combler le vide. Par la suite, une crépine télescopique en acier inoxydable 304 de marque « Alloy ASW-Alpha » a été introduite à l'intérieur du tubage en acier. La crépine no.10 qui est caractérisée par une longueur de 1050 mm et un diamètre extérieur de 143 mm possède des ouvertures 0,25 mm. En référence à la planche 5 de l'annexe 2, la portion sommitale de la crépine est soudée à un tube d'accouplement en acier muni d'un manchon en caoutchouc dans sa partie supérieure. Le tube d'accouplement est caractérisé par un diamètre extérieur de 143 mm et une longueur de 670 mm.

L'ensemble « tube d'accouplement/crépine » a été introduit dans le tubage en acier de 152 mm de diamètre de manière à retrouver la crépine entre 39,72 et 40,77 m de profondeur. Par la suite, le tubage en acier de 152 mm de diamètre a partiellement été retiré de façon à retrouver son extrémité à une profondeur de 39,72 m, et ce, afin de dégager toute la section crépinée pour permettre l'introduction de l'eau souterraine dans le piézomètre. Entre 38,98 et 40,77 m de profondeur, la formation granulaire en place est venue remplir le vide laissé par le retrait partiel du tubage en acier, et ce, de manière à ceinturer l'ensemble formé par le tube d'accouplement et la crépine.

Le tubage en acier de 152 mm de diamètre qui possède une longueur totale de 40,89 m excède la surface du sol sur une hauteur de 1167 mm. En considérant l'anneau en aluminium qui chapeaute le tubage en acier, la margelle s'élève sur une hauteur de 1173 mm au-dessus du sol. Un couvercle en aluminium étanche et cadénassé surmonte le tubage en acier afin de minimiser les risques de pénétration de matières indésirables vers la nappe d'eau souterraine. Considérant la faible épaisseur du dépôt silto-argileux superficiel, de la bentonite granulaire a été déversée entre la surface et 0,61 m de profondeur pour former un second bouchon étanche autour du tubage en acier afin de minimiser les risques d'infiltration des eaux de ruissellement vers la nappe profonde. Le schéma d'aménagement du piézomètre MB-3 est illustré sur la fiche descriptive insérée à l'annexe 3.

Le piézomètre MB-3 a été développé par injection d'air comprimé dans le but de vérifier la fonctionnalité de l'ouvrage ainsi que pour retirer les débris de forage et les sédiments en suspension dans l'eau. Le développement d'une durée de 30 minutes a été arrêté suite à l'obtention d'une eau relativement claire, tout en constant la variation normale du niveau de l'eau souterraine dans le piézomètre.

5.3.4 Forage et piézomètre MB-4

En référence à la figure 6 de l'annexe 1, le forage stratigraphique MB-4 a été exécuté sur le lot rénové no.5492493 à une distance de l'ordre de 143 m au nord-ouest des puits P-1 et P-2. Le forage caractérisé par un diamètre de 152 mm et une profondeur de 49,38 m a intercepté la séquence stratigraphique décrite ci-après, laquelle est aussi illustrée de façon schématique sur la fiche descriptive de l'annexe 3:

0,00 - 0,30 m:	terre végétale brune
0,30 - 6,10 m:	sable fin brun, un peu à traces de silt, traces de sable moyen
6,10 - 9,45 m:	sable fin à grossier graveleux brun, traces de cailloux et silt
9,45 - 14,94 m:	sable fin à moyen brun, traces de silt
14,94 - 17,06 m:	sable fin à moyen brun, un peu de sable grossier, traces de cailloux, gravier et silt
17,06 - 27,28 m:	sable fin à moyen brun, traces de cailloux, gravier, sable grossier et silt
27,28 - 49,12 m:	sable et gravier brun à brun-grisâtre, un peu de cailloux, traces de blocs et silt
49,12 - 49,38 m:	roc (granite porphyroïde)

Un couvert de terre végétale brune possédant une épaisseur de 0,30 m recouvre un dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire retrouvé entre 0,30 et 49,12 m de profondeur. Entre 0,30 et 27,28 m, le dépôt granulaire est formé d'une alternance de strates composées de quantités variables de sable fin à grossier brun contenant diverses proportions de cailloux et de gravier ainsi que des traces de silt. Entre 27,28 et 49,12 m de profondeur, le dépôt granulaire est constitué d'un mélange de sable et de gravier brun à brun-grisâtre qui contient un peu de cailloux ainsi que des traces de blocs et de silt. La couche basale du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire réputé très perméable repose directement sur le socle rocheux qui a été traversé entre 49,12 et 49,38 m de profondeur. Aucune fracture n'a été recoupée dans le roc qui se définit comme un gneiss porphyroïde; une roche métamorphique composée de minéraux à gros cristaux de couleur rosâtre à noirâtre disposés en bandes parallèles.

Au moment du forage, de l'eau souterraine a été atteinte uniquement à la base du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire à partir d'une profondeur de 35,25 m; ce qui conduit à une épaisseur saturée relativement importante de 13,87 m. Il est à noter qu'un fort débit d'eau souterraine estimé à plus de 945 L/min (250 GUSPM) émergeait du cyclone de dépressurisation lors de l'exécution du forage, tel que présenté sur la planche 6 de l'annexe 2.

Considérant les résultats obtenus, le forage stratigraphique a été transformé en piézomètre de type « filtrant » à un seul niveau à la base du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire. Après avoir extrait les débris de forage avec de l'air comprimé injecté à l'intérieur du tubage en acier de 152 mm de diamètre, de la bentonite granulaire a été déversée pour former un premier bouchon étanche entre 49,12 et 49,38 m de profondeur.

Après avoir retiré partiellement le tubage en acier jusqu'à une profondeur de 49,98 m et laissé la formation granulaire en place combler le vide, une crépine télescopique en acier inoxydable 304 de marque « Alloy ASW-Alpha » a été introduite à l'intérieur du tubage en acier. La crépine no.15 qui est caractérisée par une longueur de 1050 mm et un diamètre extérieur de 143 mm possède des ouvertures 0,38 mm. En référence à la planche 5 de l'annexe 2, la portion sommitale de la crépine est soudée à un tube d'accouplement en acier muni d'un manchon en caoutchouc dans sa partie supérieure. Le tube d'accouplement est caractérisé par un diamètre extérieur de 143 mm et une longueur de 810 mm.

L'ensemble « tube d'accouplement/crépine » a été introduit dans le tubage en acier de 152 mm de diamètre de manière à retrouver la crépine entre 47,93 et 48,98 m de profondeur. Par la suite, le tubage en acier de 152 mm de diamètre a partiellement été retiré de façon à retrouver son extrémité à une profondeur de 47,91 m, et ce, afin de dégager toute la section crépinée pour permettre l'introduction de l'eau souterraine dans le piézomètre. Entre 47,05 et 49,12 m de profondeur, la formation granulaire en place est venue remplir le vide laissé par le retrait partiel du tubage en acier, et ce, de manière à ceinturer l'ensemble formé par le tube d'accouplement et la crépine.

Le tubage en acier de 152 mm de diamètre qui possède une longueur totale de 48,83 m excède la surface du sol sur une hauteur de 916 mm. En considérant l'anneau en aluminium qui chapeaute le tubage en acier, la margelle s'élève sur une hauteur de 927 mm au-dessus du sol. Un couvercle en aluminium étanche et cadénassé surmonte le tubage en acier afin de minimiser les risques de pénétration de matières indésirables vers la nappe d'eau souterraine. Considérant l'absence de matériaux peu perméables au-dessus du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire, de la bentonite granulaire a été déversée entre la surface et 0,61 m de profondeur pour former un second bouchon étanche autour du tubage en acier afin de minimiser les risques d'infiltration des eaux de ruissellement vers la nappe profonde. Le schéma d'aménagement du piézomètre MB-4 est illustré sur la fiche descriptive insérée à l'annexe 3.

Le piézomètre MB-4 a été développé par injection d'air comprimé dans le but de vérifier la fonctionnalité de l'ouvrage ainsi que pour retirer les débris de forage et les sédiments en suspension dans l'eau. Le développement d'une durée de 30 minutes a été arrêté suite à l'obtention d'une eau relativement claire, tout en constant la variation normale du niveau de l'eau souterraine dans le piézomètre.

6.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUE, TOPOGRAPHIQUE ET DE DRAINAGE

6.1 Conditions hydrologiques:

6.1.1 Généralités

Les conditions hydrologiques sont décrites ci-après dans le but de déterminer le volume d'eau dédié à la recharge du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire qui constitue la formation aquifère exploitée par les ouvrages municipaux P-1 et P-2.

Lors d'un évènement pluvieux et/ou pendant la fonte de la neige, une partie de l'eau qui est générée s'évapore dans l'atmosphère, une autre portion ruisselle sur le sol pour rejoindre le réseau hydrographique de surface et une dernière partie s'infiltre dans le milieu souterrain. La formule simplifiée du bilan hydrique permet de connaître l'interaction entre l'évapotranspiration (ET), le ruissellement (R) et l'infiltration (I) en fonction des précipitations (P) au sein d'un bassin hydrographique donné.

La formule simplifiée tirée et adaptée du livre de référence de Llamas J. (1985), dont l'application est notamment préconisée par le MELCCFP dans son guide technique sur la détermination des aires de protection publié en 2019, est employée pour exprimer la relation d'équilibre du bilan hydrologique, en considérant les variations de la réserve souterraine comme négligeables, où:

$$P = ET + R + I \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

et P: précipitations (mm);
ET: évapotranspiration (mm);
R: ruissellement (mm)
I: infiltration (mm).

La description et l'évaluation de la valeur de certains paramètres sont présentées ci-après aux fins de calculs du taux de recharge de la nappe aquifère à l'étude.

6.1.2 Précipitations (P)

Les normales relatives aux précipitations pluviales et nivales établies sur une période de 30 ans ainsi que certaines données climatiques quotidiennes proviennent de la station météorologique « Lac-Ste-Croix » no.7063690. Dans le cadre de l'analyse statistique des données historiques, cette station localisée sur le territoire de la municipalité d'Hébertville est sélectionnée compte tenu de sa position géographique et altimétrique par rapport au secteur à l'étude. En effet, les données issues de cette station localisée à ± 10 km au nord-est des deux puits municipaux sont jugées représentatives des conditions météorologiques qui prévalent dans la zone d'étude.

En référence au tableau 2 ci-après, les températures moyennes varient de $-14,0$ à $17,6^{\circ}\text{C}$ entre 1971 et 2000. Le mois de janvier est le plus froid, tandis que le mois de juillet est le plus chaud. En moyenne, les précipitations pluviales et nivales sont respectivement de 712,4 et 291,8 mm pour un total annuel de 1004,2 mm d'eau en rapport avec les normales établies sur une période de 30 ans.

Tableau 2. Statistiques climatiques de la station « Lac-Ste-Croix » sur les normales de précipitations pluviales et nivales établies entre 1971 et 2000*

	Mois												Année
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Temp. (°C)	-16,7	-14,6	-7,5	1,6	10,0	15,6	18,0	16,8	11,5	5,3	-2,4	-11,9	2,2
Pluie (mm)	7,0	4,8	16,8	46,0	83,8	88,7	129,1	103,5	108,7	74,8	40,8	8,4	712,4
Neige (cm)	63,7	49,6	46,7	21,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	36,2	67,0	291,8
Totale (mm)	70,7	54,5	63,6	67,0	85,5	88,7	129,1	103,5	108,7	80,6	77,0	75,4	1004,2 **

* données climatiques tirées de la station météorologique no.7063690 « Lac-Ste-Croix » (sites internets MELCCFP & Environnement Canada)

** total des précipitations annuelles pluviales et nivales en hauteur d'eau équivalente.

6.1.3 Évapotranspiration (ET)

Selon Oudin L. (2004), les pertes d'eau par évapotranspiration représentent la partie la plus importante de la relation d'équilibre du bilan hydrologique en étant responsable de la dissipation de plus de 50% de l'apport pluviométrique en général. En pratique, l'évapotranspiration constitue toutefois le paramètre le moins facile à déterminer en raison de la difficulté à mesurer le flux de vapeur d'eau dégagé dans l'atmosphère. La mesure de l'évapotranspiration sur le terrain est d'autant plus difficile, voire impossible, à réaliser si la zone d'étude couvre une grande superficie.

Dans le cadre de cette étude, l'évapotranspiration est évaluée à partir de la méthode de Thornthwaite C.W. & Mather J.R. (1955). Cette méthode basée sur la corrélation entre la température moyenne de l'air et le taux de transpiration des plantes permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle (ET_p) selon cette formule empirique:

$$ET_p = 16\lambda [10\theta/D]^a \quad (\text{mm/mois}) \quad (2)$$

où: ET_p : évapotranspiration potentielle (mm/mois);

θ : température moyenne du mois, seulement si $\theta > 0^\circ\text{C}$ ($^\circ\text{C}$);

a : $6,75 \times 10^{-7} D^3 - 7,71 \times 10^{-5} D^2 + 1,79 \times 10^{-2} D + 0,49$;

λ : coefficient de correction de la durée d'ensoleillement selon la latitude et le mois;

D : indice thermique annuel provenant de la somme des indices de chaleur « d »;

$$\text{où} \quad D = \sum_{n=1}^{12} d_n \quad (3)$$

$$\text{et} \quad d = [\theta/5]^{1,514} \quad (4)$$

Dans le cadre de la détermination de la recharge d'un aquifère, l'application de la méthode de Thornthwaite C.W. & Mather J.R. (1955) est spécialement citée et préconisée par le MELCCFP dans son guide technique sur la détermination des aires de protection publié en 2019. Dans son rapport géoscientifique portant sur les résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Saguenay/Lac-Saint-Jean (ci-après « PACES ») publié en 2013, le Centre d'Études sur les Ressources Minérales (ci-après « CERM ») de l'Université du Québec à Chicoutimi (ci-après « UQAC ») utilise une équation empirique qui intègre uniquement les températures maximales et minimales journalières pour évaluer l'évapotranspiration potentielle (ET_p). Il est à noter que la société d'état « Hydro-Québec » emploie la même équation empirique dans le cadre de ses études hydrologiques effectuées au site de ses réservoirs hydroélectriques.

En référence au tableau 3 ci-après, l'évapotranspiration potentielle (ET_p) atteint 510,4 mm sur une base annuelle. Cette valeur correspondant à 51% des précipitations totales est jugée représentative à l'égard de la valeur type présentée dans Llamas J. (1985) qui est évaluée à 508,0 mm/an dans la région à l'étude. À partir de la relation d'équilibre du bilan hydrologique présentée à l'équation (1), il y aurait donc une quantité d'eau résiduelle moyenne de 493,8 mm/an qui serait partagée entre le ruissellement (R) et l'infiltration (I). Comme première approche estimative, l'infiltration (I) et le ruissellement (R) seraient évalués respectivement à 251,1 et 242,7 mm sur une base annuelle, et ce, en s'appuyant sur la « règle du pouce » voulant que l'infiltration (I) équivaut à $\pm 25\%$ des précipitations (P).

Tableau 3. Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ET_p)

Mois	Température moyenne (°C)*	d	λ^{**}	ET _p (mm)
Janvier	-16,7	0,00	0,73	0,0
Février	-14,6	0,00	0,85	0,0
Mars	-7,5	0,00	0,98	0,0
Avril	1,6	0,18	1,13	11,4
Mai	10,0	2,85	1,26	68,7
Juin	15,6	5,60	1,33	109,3
Juillet	18,0	6,95	1,31	122,8
Août	16,8	6,26	1,20	105,6
Septembre	11,5	3,53	1,05	65,1
Octobre	5,3	1,09	0,91	27,6
Novembre	-2,4	0,00	0,78	0,0
Décembre	-11,9	0,00	0,71	0,0
		D = 26,47 a = 0,922		510,4

* données climatiques tirées de la station météorologique no.7063690 « Lac-Ste-Croix » (sites internet MELCCFP & Environnement Canada)

** valeurs tirées de Dunne T. & Leopold L.B. (1978)

L'évapotranspiration potentielle (ET_p) est couramment opposée à l'évapotranspiration réelle (ET_r), puisque la dernière représente la quantité d'eau réellement évapotranspirée par une couverture végétale. À l'échelle d'une vaste parcelle de terrain ou d'une région, il est impossible de mesurer avec précision l'évapotranspiration réelle (ET_r) puisque la valeur varie de manière importante au cours d'une même année, et ce, en fonction de la densité et du type de végétation, de la nature du sol, du taux d'ensoleillement, du climat, de l'hygrométrie de l'air, du vent, de la pression atmosphérique, des saisons, des écosystèmes, de la topographie, de la présence d'infrastructures et d'activités anthropiques, etc..

Des études menées par Lemoine B. (BRGM, 1972) et Cishahayo E. (INRS, 1995) sur différents sites dans le monde permettent de constater que les valeurs de l'évapotranspiration réelle (ET_r) estimées sur une base théorique à partir de modèles mathématiques sont inférieures à celles de l'évapotranspiration potentielle (ET_p) évaluées par diverses méthodes empiriques, dont celle de Thornthwaite C.W. & Mather J.R. (1955). Les études démontrent notamment qu'il existe un écart qui varie de 27 à 80% entre les valeurs de l'évapotranspiration réelle (ET_r) et celles de l'évapotranspiration potentielle (ET_p) calculées à partir de la méthode de Thornthwaite C.W. & Mather J.R. (1955) décrite auparavant. En moyenne, la valeur de l'évapotranspiration réelle (ET_r) représente 61% de l'évapotranspiration potentielle (ET_p).

Sur la base de cette dernière prémisse, l'évapotranspiration réelle (ET_r) serait donc évaluée à 311,3 mm; ce qui correspond à 31% des précipitations (P) en moyenne. À partir de la relation d'équilibre du bilan hydrologique (équation 1) appliquée dans le cadre d'une deuxième approche estimative, il existerait alors une hauteur d'eau résiduelle moyenne de 692,9 mm/an qui serait partagée entre le ruissellement (R) et l'infiltration (I) sur une base annuelle.

6.1.4 Infiltration (I)

L'infiltration (I) constitue la portion des eaux météoriques qui percole dans le milieu souterrain. Ce phénomène se manifeste principalement au cours des périodes de crue saisonnière, notamment dès que l'eau de fonte peut percoler de manière efficiente après le dégel de la surface du sol. Une partie de l'eau infiltrée a pour effet d'augmenter le taux d'humidité des sols en demeurant dans la zone non saturée, et ce, de façon à devenir disponible pour l'alimentation des plantes. La portion résiduelle de l'eau infiltrée qui continue sa migration verticale vers la zone saturée représente le volume dédié pour la réalimentation des nappes. Ce volume a pour conséquence de faire rehausser le niveau de l'eau souterraine lorsque la quantité infiltrée est suffisamment importante ou significative. Règle générale, la réponse d'un aquifère au phénomène d'infiltration varie selon l'intensité et la durée d'une précipitation ou de la fonte de la neige, la teneur en eau du sol, l'évapotranspiration, la conductivité hydraulique et la porosité efficace du media.

L'infiltration (I) est déterminée avec un haut niveau de confiance à partir de la mesure directe des niveaux d'eau souterraine au sein d'un ouvrage qui n'est pas influencé par un puits de captage. Au Québec, il existe un réseau de stations piézométriques gérées par le MELCCFP à partir duquel des données de niveaux d'eau souterraine sont enregistrées automatiquement sur une base journalière. Les données extraites d'une station sont mises en graphique pour déterminer de façon directe l'infiltration (I) par l'application de la « méthode piézométrique ». Cette méthode qui a d'abord été développée par Olsson T. (1980) des « Services géologiques de Suède », est décrite comme la « méthode d'analyse des fluctuations de nappe » à l'intérieur de l'étude de Healy R.W. & Cook P.G. (2002). La même méthode présentée comme « la méthode de l'hydrogramme de puits » est également citée par le MELCCFP dans son guide technique portant sur la détermination des aires de protection publié en 2019.

La méthode piézométrique, ou la méthode de l'hydrogramme de puits, est considérée valable et applicable dans le cas à l'étude, puisque les conditions hydrogéologiques et climatiques suédoises s'apparentent à celles du Québec. Selon Healy R.W. & Cook P.G. (2002), cette méthode d'analyse est largement utilisée partout dans le monde en raison de sa simplicité et de son insensibilité face aux mécanismes responsables de l'écoulement de l'eau dans la portion non saturée du milieu géologique.

Dans le cadre de la détermination de la recharge d'un aquifère, l'application de cette méthode doit nécessairement reposer sur l'acquisition en continu de données piézométriques au sein d'un même ouvrage sur une période d'au moins un an selon le guide technique du MELCCFP (2019). À titre informatif, cette méthode est appliquée depuis plusieurs années par la ville de Trois-Rivières dans le cadre de la gestion de l'aquifère granulaire exploité par des puits de captage implantés dans le secteur ouest de son territoire.

En termes d'impact et de comportement, les niveaux d'eau souterraine sont directement influencés par les eaux météoriques en présentant une profondeur minimale puis maximale au cours de la période printanière, et ce, immédiatement avant et après la fonte du couvert de neige. Durant ce court intervalle de temps, la réalimentation est maximale en raison de la grande quantité d'eau disponible, du haut taux de saturation du sol et du faible taux d'évapotranspiration. La méthode piézométrique permet donc de déterminer l'infiltration efficace (I_{eff}) de l'eau dans une formation aquifère; c'est-à-dire la portion de l'eau réellement infiltrée dans le milieu souterrain qui contribue à la recharge directe et efficiente d'un aquifère.

D'un point de vue méthodologique, l'amplitude maximale de chaque fluctuation piézométrique est lue directement sur le graphique d'interprétation. Chacune des amplitudes correspond à la différence entre la hauteur d'eau maximale et le point sis sur l'extrapolation de la courbe de récession associée à la période d'étiage qui précède l'évènement de remontée du niveau de la nappe. Le sommet de la hauteur d'eau maximale est relié au point correspondant de la courbe de récession selon une verticale. Sur un cycle annuel, l'infiltration efficace (I_{eff}) est calculée à partir de la relation suivante:

$$I_{eff} = \Sigma \delta h * n_e \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

où: I_{eff} : infiltration efficace sur une année (mm);

$\Sigma \delta h$: somme de la remontée du niveau d'eau souterraine (mm);

n_e : porosité efficace de la formation aquifère (sans unité).

Aux fins du présent mandat, la station piézométrique no.06140001 est sélectionnée pour évaluer l'infiltration efficace (I_{eff}) de l'eau météorique vers la formation aquifère granulaire à l'étude. À l'origine, ce piézomètre avait été aménagé au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire dans le cadre de la recherche en eau réalisée pour le compte de la municipalité de Saint-Gédéon, tel que présenté dans le rapport hydrogéologique de Jolicoeur M. (1997). En référence à la figure 7 de l'annexe 1, la station piézométrique no.06140001 est localisée à ± 3 km au sud-est des deux puits de captage municipaux de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Le niveau de l'eau souterraine mesuré au site de la station piézométrique n'est pas sous l'influence des deux ouvrages de captage P-1 et P-2 ni de ceux qui approvisionnent le réseau d'aqueduc municipal de Saint-Gédéon. Les données piézométriques brutes ainsi que le schéma d'aménagement de la station no.06140001 peuvent être consultés sur le site internet du MELCCFP.

Tel qu'illustré sur la figure 8 de l'annexe 1, les données piézométriques cumulées sur une base quotidienne entre le 18 octobre 2010 et le 26 novembre 2025 permettent de suivre les fluctuations naturelles du niveau de la nappe en fonction des événements climatiques enregistrés au site de certaines stations climatiques limitrophes; ce qui respecte amplement les exigences du MELCCFP (2019) en matière de fréquence des lectures piézométriques et de suivi des niveaux d'eau dans le temps. Le graphique constituant la figure 8 de l'annexe 1 démontre que le niveau de la nappe d'eau souterraine suit sensiblement le même cheminement d'une année à l'autre, alors que l'intensité de l'infiltration varie en fonction de l'épaisseur du couvert de neige au sol et de la vitesse de fonte de la neige au printemps.

Avant l'amorce de chaque crue printanière, le niveau est à son plus bas durant l'année. Lorsque la crue printanière débute, le niveau d'eau souterraine s'élève rapidement pour atteindre une élévation maximale dès que l'eau de fonte peut s'infiltrer dans le sol dégagé. Les remontées les plus importantes du niveau de la nappe, notamment celles survenues en 2017, 2019 et 2022, sont attribuables à l'effet combiné de la fonte d'un épais couvert de neige et de l'avènement de précipitations intenses et soutenues. Après avoir atteint un sommet, la nappe redescend progressivement pour atteindre un état de bas niveau, et ce, tout en étant sporadiquement influencée à la hausse suivant chaque épisode pluvieux. Lors de la crue automnale, le niveau s'élève de nouveau en raison de la fréquence plus élevée des épisodes pluvieux et de l'infiltration de l'eau générée par la neige fondante. Le niveau de la nappe s'abaisse progressivement pendant l'étiage hivernal en raison des précipitations qui tombent presque exclusivement sous forme solide et de la présence de la couverture de sol gelé en surface. La réaction à la hausse du niveau de la nappe suite à un événement de pluie ou de fonte de la neige indique que l'infiltration (I) est particulièrement importante et prédominante à la hauteur du dépôt granulaire d'origine fluvioglacière.

L'infiltration efficace (I_{eff}) est évaluée pour chaque année comprise entre 2011 et 2024 à partir de l'interprétation des graphiques compilés à l'annexe 4. La porosité efficace (n_{eff}) du milieu granulaire est fixée à 0,30. Cette valeur est jugée représentative en regard des valeurs types indiquées dans la littérature (Freeze R.A. & Cherry J.A., 1979), de la nature granulométrique relativement grossière des matériaux qui composent le media de l'aquifère et de la valeur sélectionnée dans l'étude hydrogéologique antérieure (Jolicoeur M., 1998). En référence aux valeurs présentées sur les graphiques de l'annexe 4 et dans le tableau 4 ci-après, la hauteur d'eau disponible pour l'infiltration efficace (I_{eff}) fluctue entre 99,6 et 390,6 mm/an entre 2011 et 2024; ce qui correspond à une variation allant de 13 à 40% des précipitations (P). Tel qu'illustré sur la figure 8 de l'annexe 1, l'infiltration efficace (I_{eff}) représente une hauteur d'eau disponible de 237,1 mm en moyenne sur une base annuelle, ce qui mène à 28% des précipitations (P).

L'application de l'équation (1) du bilan hydrologique permet ainsi d'établir avec confiance qu'une hauteur d'eau résiduelle moyenne de 767,1 mm/an serait partagée entre l'évapotranspiration (ET) et le ruissellement (R) à partir de l'analyse des données inhérentes à l'infiltration efficace (I_{eff}) comprises entre 2011 et 2024.

Tableau 4. Valeurs de l'infiltration efficace (I_{eff}) données par la méthode piézométrique entre 2011 et 2024

Année	Paramètres			
	Précipitations totales (mm)*	Couvert de neige maximal au sol avant le 30 avril (cm)*	Infiltration efficace (mm/an)	Rapport infiltration efficace / précipitations totales (%)
2011	925,5	75	310,2	34
2012	778,3	65	247,5	32
2013	920,5	43	237,3	26
2014	811,0	70	193,8	24
2015	743,5	45	99,6	13
2016	834,5	90	287,4	34
2017	971,4	99	390,6	40
2018	825,1	44	210,0	25
2019	786,3	46	284,7	36
2020	797,0	67	255,0	32
2021	763,4	29	118,8	16
2022	949,3	68	319,8	33
2023	740,3	39	226,2	31
2024	807,0	46	138,3	17
Moyenne	832,3	59	237,1	28

* données tirées des stations climatiques « Lac Sainte-Croix » no.7063690, « Saguenay-Portage-des-Roches » no.7066750 et « Saint-Ambroise » no.7066820 (site internet du MELCCFP)

6.1.5 Ruissellement (R)

Tel que décrit par Llamas J. (1985), le ruissellement représente le mouvement de l'eau sur la surface du sol à l'intérieur d'un bassin hydrographique. Le ruissellement s'exprime en terme de volume ou de hauteur d'eau par rapport à une superficie donnée.

En référence à la figure 9 de l'annexe 1, les ouvrages de captage d'eau souterraine P-1 et P-2 se retrouvent à l'intérieur d'un sous-bassin hydrographique de la rivière Couchepaganiche, lequel couvre une superficie de l'ordre de 1026450 m^2 (102 ha) en amont hydraulique des deux puits municipaux. Tel que démontré dans les sections précédentes, les précipitations (P) sont établies à 1004,2 mm en moyenne alors que l'évapotranspiration (ET) est égale à 510,4 mm sur une base annuelle. En considérant que l'infiltration (I) correspond en moyenne à 28% des précipitations (P), soit 281,2 mm/an, le ruissellement (R) équivaut donc à une moyenne annuelle de 212,6 mm à partir de l'application de l'équation (1).

6.2 Taux de recharge (T_r):

L'évaluation de la quantité d'eau dédiée pour la réalimentation d'une formation aquifère s'avère un élément important pour statuer entre autres: 1) si le volume d'eau pompée peut être extrait sur une base durable sans risque d'excéder la part de la recharge annuelle ou d'entamer les réserves aquifères en place et; 2) si le rabattement de la nappe ou la soustraction d'eau souterraine à un endroit donné au sein de l'aquifère peut avoir un impact significatif sur le volume d'eau alimentant des écosystèmes aquatiques ou d'autres usagers de la ressource. Advenant le cas, l'exploitant d'un ouvrage de captage ou d'une batterie de puits pourrait être tenu responsable d'impacts sur l'environnement ou sur un autre utilisateur, et conséquemment serait dans l'obligation de diminuer le débit de pompage afin de pouvoir maintenir un taux d'exploitation durable ne portant pas de préjudices.

En regard de la pérennité de l'exploitation d'une nappe, notamment sans impact sur l'environnement, les autres utilisateurs de la ressource et les réserves hydriques en place, le débit d'eau souterraine qui peut être soutiré de façon durable d'un aquifère est directement tributaire de l'infiltration efficace (I_{eff}).

Dans le cadre du présent mandat, le taux de recharge (T_r) de l'aquifère granulaire est évalué en tenant compte de la superficie couverte par le sous-bassin hydrographique, et ce, en supposant que ce dernier correspond au sous-bassin hydrogéologique. Il est à noter que dans la pratique courante, les limites des bassins hydrographique et hydrogéologique sont généralement confondues, fautes de données suffisantes pour déterminer celles associées uniquement au bassin hydrogéologique.

Le taux de recharge (T_r) est évalué à partir de l'équation (6) présentée ci-après, laquelle met en relation l'infiltration efficace (I_{eff}) issue de la méthode piézométrique à la superficie du sous-bassin hydrographique, où:

$$T_r = I_{eff} * A \quad (m^3/d) \quad (6)$$

où: T_r : taux de recharge (m^3/d);

I_{eff} : infiltration efficace (m/d);

A: superficie du sous-bassin hydrographique (m^2).

En référence au tableau 5 ci-après et à la figure 9 de l'annexe 1, le débit d'eau disponible pour la recharge de l'aquifère présent à l'intérieur du sous-bassin hydrographique qui couvre une superficie de 1026450 m^2 à la hauteur des puits municipaux fluctue entre 195 et 763 L/min (51 et 202 GUSPM), correspondant à une moyenne de 463 L/min (122 GUSPM) à partir des données d'infiltration efficace (I_{eff}) mesurées entre 2011 et 2024.

Tableau 5. Valeurs du taux de recharge de l'aquifère à l'intérieur du sous-bassin hydrographique entre 2011 et 2024

Année	Paramètres			
	Infiltration efficace (m/an)	Taux de recharge dans le sous-bassin hydrographique d'une superficie de 102 ha		
		m ³ /d	L/min	GUSPM
2011	0,3102	872	606	160
2012	0,2475	696	483	128
2013	0,2373	667	463	122
2014	0,1938	545	378	100
2015	0,0996	280	195	51
2016	0,2874	808	561	148
2017	0,3906	1098	763	202
2018	0,2100	591	410	108
2019	0,2847	801	556	147
2020	0,2550	717	498	132
2021	0,1188	334	232	61
2022	0,3198	899	625	165
2023	0,2262	636	442	117
2024	0,1383	389	270	71
Moyenne	0,2371	667	463	122

6.3 Topographie et drainage:

6.3.1 Condition topographique

En référence aux figures 4, 6 et 9 de l'annexe 1, les deux puits municipaux P-1 et P-2 sont implantés en bordure de la rivière Couchepaganiche au pied d'un important escarpement sablonneux qui s'est formé suite à l'avènement d'un glissement de terrain ancien. À partir des deux ouvrages de captage d'eau souterraine, le terrain s'élève vers le nord-ouest et le nord sur une hauteur de près de 32 m, alors que l'escarpement présente une très forte pente de 40% vers le sud-est. Entre le lieu de prélèvement d'eau souterraine et le piézomètre PZ-3/98, la surface du sol est caractérisée par une pente de 4,4% en direction de la rivière Couchepaganiche.

Le relief du plateau localisé dans la région physiographique des Basses-Terres est peu accidenté avec une faible pente de 1,8% vers le sud-est. Cette région physiographique est principalement occupée par des terres vouées à la pratique d'activités agricoles. De faibles dépressions associées à des fossés de drainage et à de petits cours d'eau traversent les parcelles en culture.

D'autres dépressions plus importantes d'un point de vue topographique sont associées aux dolines glaciaires visibles un peu partout sur le territoire. À titre indicatif, le sol recouvert de végétation est caractérisé par une pente relativement raide qui gravite autour de 16% entre le dessus du plateau et la surface du plan d'eau qui forme le lac Perché. La portion de la zone montagneuse qui fait partie de la région physiographique des Hautes-Terres retrouvée au sein du bassin hydrographique présente une pente de près de 20% vers le nord-est et le sud-est.

6.3.2 Condition de drainage

La rapidité et l'intensité du drainage de l'eau de surface sont directement liées à la topographie du terrain et à la nature du sol. Le ruissellement et le drainage rapide de l'eau s'imposent à la hauteur du secteur montagneux à relief accidenté où le dépôt granulaire est absent. De petits cours d'eau à écoulement intermittent prennent souvent naissance dans certaines parties surélevées du sous-bassin hydrographique là où le relief moins accidenté permet l'accumulation de l'eau météorique au creux des vallons. Le ruissellement domine aussi à l'intérieur de la région physiographique des Basses-Terres où le sol superficiel est composé de dépôts silto-argileux. La nature peu perméable de ces matériaux et le relief relativement plat rendent le drainage lent et imparfait à plusieurs endroits.

À l'intérieur du sous-bassin hydrographique associé aux deux puits P-1 et P-2, les eaux de ruissellement se dirigent préférentiellement vers les cours d'eau visibles au pied de la pente de la zone montagneuse, et ce, comme la rivière Couchepaganiche qui constitue le principal milieu récepteur. Sur le plateau, une faible portion des eaux de ruissellement migre vers le lac Perché pour l'alimenter.

L'infiltration de l'eau météorique domine aux endroits où les dépôts peu perméables de nature silto-argileuse sont absents en surface à la hauteur du plateau et aux abords de la rivière Couchepaganiche. La faible pente du terrain et la nature perméable des dépôts granulaires favorisent l'infiltration des eaux météoriques vers la nappe aquifère profonde exploitée par les puits municipaux P-1 et P-2.

7.0 SUIVI DES NIVEAUX D'EAU SOUTERRAINE ET DE SURFACE

7.1 Suivi des niveaux d'eau souterraine:

7.1.1 Suivi piézométrique régional

À l'échelle régionale de l'aquifère granulaire, le niveau de l'eau souterraine est mesuré automatiquement par un lecteur de niveau d'eau de type « levellogger », et ce, au moins une fois par jour au sein de la station piézométrique no.06140001 du MELCCFP dont la localisation peut être visualisée sur la figure 7 de l'annexe 1. Les données provenant du lecteur automatique de niveaux d'eau sont compensées avec les mesures acquises par un lecteur automatique de la pression atmosphérique de type « barologger », lequel est programmé de manière synchrone avec le « levellogger ».

En référence à la figure 8 de l'annexe 1 et au tableau 6 ci-après, les données piézométriques révèlent que le niveau de la nappe fluctue de façon naturelle sur une amplitude allant de 0,229 à 1,084 m entre les années 2011 et 2024. En moyenne, le niveau de la nappe d'eau souterraine varie sur une hauteur de 0,525 m en relation avec les données cumulées au site de la station piézométrique.

Tableau 6. Fluctuation naturelle du niveau de la nappe à la station piézométrique no.06140001 entre 2011 et 2024

Année	Élévation du niveau d'eau souterraine (m)*			Précipitations totales (P) (mm)**	Couvert de neige au sol (cm)**	Infiltration efficace	
	Haut	Bas	Amplitude			Hauteur d'eau (mm/an)	Pourcentage précipitations (%)
2011	159,792	159,173	0,619	925,5	75	310,2	34
2012	159,650	159,277	0,373	778,3	65	247,5	32
2013	159,605	159,358	0,247	920,5	43	237,3	26
2014	159,659	159,236	0,423	811,0	70	193,8	24
2015	159,313	159,084	0,229	743,5	45	99,6	13
2016	159,717	159,072	0,645	834,5	90	287,4	34
2017	160,374	159,290	1,084	971,4	99	390,6	40
2018	159,815	159,310	0,505	825,1	44	210,0	25
2019	159,927	159,162	0,765	786,3	46	284,7	36
2020	159,675	159,190	0,485	797,0	67	255,0	32
2021	159,639	159,331	0,308	763,4	29	118,8	16
2022	160,186	159,223	0,963	949,3	68	319,8	33
2023	159,566	159,227	0,339	740,3	39	226,2	31
2024	159,566	159,205	0,361	807,0	46	138,3	17
Moyenne			0,525	832,3	59	237,1	28

* données tirées de la station piézométrique no.06140001 (site internet du MELCCFP)

** données tirées des stations climatiques « Lac Sainte-Croix » no.7063690, « Saguenay-Portage-des-Roches » no.7066750 et « Saint-Ambroise » no.7066820 (site internet du MELCCFP)

7.1.2 Suivi piézométrique sectoriel

Au cours des travaux d'investigation hydrogéologique, un suivi des niveaux d'eau souterraine a été réalisé entre le 5 et le 26 novembre 2025. La profondeur des niveaux d'eau a été relevée sur une base occasionnelle à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle au site des ouvrages MB-1, MB-2, MB-3, MB-4, PZ-7/97 et PZ-3/98 dont chaque emplacement peut être visualisé sur la figure 6 de l'annexe 1.

En complémentarité aux mesures sporadiques prises avec une sonde électrique conventionnelle, des lecteurs automatiques de type « levelogger » ont également été installés au site de tous les ouvrages précités. Les données provenant des lecteurs automatiques de niveaux d'eau ont toutes été compensées avec les mesures acquises par un lecteur automatique de la pression atmosphérique de type « barologger », lequel était programmé de manière synchrone avec les « leveloggers » pour effectuer une lecture à toutes les dix minutes. Les données relatives à l'élévation des niveaux d'eau souterraine et à la température de l'eau jumelées aux précipitations apparaissent sous forme de graphiques compilés à l'annexe 5.

Les données inhérentes aux débits de pompage de chacun des puits de production P-1 et P-2 ainsi que les mesures des niveaux d'eau souterraine provenant des sondes hydrostatiques permanentes ont également été analysées, et ce, après leur extraction du système d'acquisition par la compagnie « DcCom Automation inc. ».

7.2 Suivi des niveaux de l'eau de surface:

Les niveaux de l'eau de surface ont été mesurés à l'emplacement de la station de mesure dénommée « SLP-1 », laquelle est implantée dans le lac Perché, tel que présenté sur la figure 6 de l'annexe 1. La station de mesure est composée d'une tige de métal et d'un tube en PVC enfoncés à la verticale en bordure du plan d'eau. Les coordonnées « X » et « Y » ainsi que l'élévation géodésique en « Z » du dessus de la tige de métal ont été relevées par une équipe d'arpentage de la firme « Girard, Tremblay, Gilbert, arpenteurs-géomètres » au moyen d'un appareil de positionnement « GPS R12i » permettant d'atteindre un degré de précision de l'ordre du millimètre. Les coordonnées apparaissent dans le tableau 1 inséré précédemment à la section 5.1 du présent rapport.

Entre le 5 et le 26 novembre 2025, la position du niveau de l'eau de surface a été mesurée manuellement sur une base occasionnelle au moyen d'un ruban gradué adossée sur la tige en métal. La lecture du niveau d'eau était relevée à partir du dessus de la tige. En complémentarité aux mesures sporadiques, le niveau de l'eau de surface a également été mesuré au moyen d'un lecteur automatique de type « levellogger », lequel était introduit à l'intérieur du tube perforé en PVC de 25 mm de diamètre qui était fixé sur la tige en métal. Les données provenant du lecteur automatique de niveau d'eau ont toutes été compensées avec les mesures acquises par le lecteur automatique de la pression atmosphérique de type « barologger », lequel avait été programmé de manière synchrone avec le « levellogger » pour effectuer une lecture à toutes les dix minutes. Les données relatives au niveau et à la température de l'eau du lac Perché jumelées aux précipitations apparaissent sous la forme d'un graphique inséré à l'annexe 5.

8.0 DESCRIPTION ET INTERPRÉTATION DES CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

8.1 Paramètres hydrogéologiques:

8.1.1 Conductivité hydraulique

8.1.1.1 Généralités

La conductivité hydraulique (K) représente l'aptitude d'un matériau géologique à laisser circuler l'eau. Ce paramètre physique quantifie la facilité avec laquelle l'eau peut se déplacer à travers le matériau en fonction des propriétés du fluide ainsi qu'en relation avec la taille, la forme et la structures des pores ou des vides. De façon générale, la conductivité hydraulique (K) peut être déterminée à partir d'essais effectués en laboratoire ou sur le terrain.

8.1.1.2 Essai de pompage

La conductivité hydraulique (K) de la formation aquifère granulaire a déjà été déterminée à partir d'un essai de pompage normalisé de longue durée, lequel a été réalisé au moment de la construction du puits P-1 en 1997. En référence au tableau 7 ci-après, la conductivité hydraulique de la portion saturée de l'aquifère granulaire est évaluée à $3,1 \times 10^{-3}$ m/s dans l'entourage des puits municipaux P-1 et P-2 selon l'interprétation effectuée par Jolicoeur M. (1998). Cette valeur est jugée représentative à l'égard des valeurs types indiquées dans la littérature (Freeze R.A. & Cherry J.A., 1979) et de la nature granulométrique des matériaux qui composent le media de l'aquifère.

8.1.1.3 Essais de perméabilité

Le 5 novembre 2025, des essais de perméabilité « in situ » à charge variable de type « choc hydraulique à niveau variable ascendant » ont été effectués par le soussigné au site des ouvrages MB-1, MB-2, MB-3 et MB-4. D'un point de vue méthodologique, cet essai consiste à retirer instantanément un certain volume d'eau du piézomètre puis à mesurer la remontée de l'eau souterraine au moyen d'une sonde électrique conventionnelle ou d'un lecteur automatique. Les tableaux de lecture et les graphiques d'interprétation insérés à l'annexe 6 permettent de calculer la conductivité hydraulique (K) de la partie saturée des dépôts granulaires. Les valeurs de la conductivité sont compilées dans le tableau 7 ci-après.

Les données recueillies lors de chaque essai de choc hydraulique sont interprétées à l'aide de la méthode d'analyse de Hvorslev (1951) développée pour un milieu poreux homogène et isotrope. Cette méthode d'analyse permet d'évaluer la conductivité hydraulique (K) à partir de cette relation valide pour $L/R > 8$:

$$K = r^2 \frac{\ln(L/R)}{2 L T_o} \quad (\text{m/s}) \quad (7)$$

où L: longueur de l'intervalle d'essai saturée (m);

R: rayon du forage (m);

r: rayon du tubage (m);

T_o : temps de décalage de base (« basic time lag ») (s).

La conductivité hydraulique (K) de la portion saturée du dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine est évaluée à $2,7 \times 10^{-5}$ m/s à l'emplacement du piézomètre MB-1. Cette valeur est jugée représentative en comparaison avec les valeurs types indiquées dans la littérature (Freeze R.A. & Cherry J.A., 1979) et en tenant compte de la nature granulométrique relativement fine des matériaux qui est prédominante au sein du dépôt granulaire superficiel.

À partir des essais de perméabilité réalisés au site des piézomètres MB-2, MB-3 et MB-4, la conductivité hydraulique (K) de la partie saturée du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire varie entre $9,1 \times 10^{-5}$ à $2,1 \times 10^{-4}$ m/s, correspondant à une moyenne arithmétique de $1,4 \times 10^{-4}$ m/s. En incluant le résultat de l'essai de pompage de longue durée effectué à partir du puits P-1, la valeur moyenne de la conductivité hydraulique (K) est établie à $8,8 \times 10^{-4}$ m/s à la hauteur de la portion saturée du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire. L'ensemble des valeurs obtenues est jugé représentatif face aux valeurs types retrouvées dans la littérature (Freeze R.A. & Cherry J.A., 1979) et en regard de la nature granulométrique des matériaux qui composent le media de l'aquifère.

Tableau 7. Valeurs de la conductivité hydraulique (K) des dépôts granulaires

Type d'essai	Ouvrage	Type de dépôt granulaire	Conductivité hydraulique (m/s)
Essai de pompage de longue durée	P-1	Sable et gravier d'origine fluvioglaciaire	$3,1 \times 10^{-3}$
Essai de perméabilité à charge variable ascendante	MB-1	Sable fin d'origine glaciomarine	$2,7 \times 10^{-5}$
	MB-2	Sable et gravier d'origine fluvioglaciaire	$1,1 \times 10^{-4}$
	MB-3		$9,1 \times 10^{-5}$
	MB-4		$2,1 \times 10^{-4}$

8.1.2 Régime d'écoulement

8.1.2.1 Généralités

Les niveaux de l'eau souterraine mesurés avec les sondes sont utilisés pour illustrer la piézométrie de la nappe d'eau souterraine profonde à l'état statique qui prévalait le 12 novembre 2025. Cette date est sélectionnée puisque les puits P-1 et P-2 ont été inactifs pendant plusieurs heures, et ce, en raison d'une panne électrique sur le réseau électrique d'Hydro-Québec survenue le 11 novembre 2025 suivie du bris de la génératrice d'urgence. Il est à noter que cet événement fortuit a entraîné une pénurie majeure d'eau potable pour les résidents du secteur de Métabetchouan.

Les niveaux de l'eau souterraine mesurés avec les sondes sont également employés pour représenter la piézométrie de la nappe d'eau souterraine profonde sous un état dynamique, et ce, lorsque tout le système électrique est redevenu pleinement fonctionnel le 12 novembre 2025. Il est à noter que le débit combiné sélectionné de 1323 L/min (349 GUSPM) pour représenter la condition dynamique correspond à toute fin pratique à celui de l'autorisation ministérielle émise le 11 février 1999.

Les niveaux statique et dynamique de l'eau souterraine présentés dans les tableaux 8 et 9 ci-après sont utilisés pour déterminer le gradient hydraulique horizontal (i_h) ainsi que la vitesse horizontale d'écoulement (v_h) à la hauteur des ouvrages hydrauliques aménagés dans la même formation aquifère. Les figures 10 à 13 de l'annexe 1 illustrent en plan et en coupe le contexte hydrostratigraphique ainsi que le régime d'écoulement de la nappe d'eau souterraine profonde sous des conditions statique et dynamique.

Tableau 8. Niveaux statiques de l'eau mesurés le 12 novembre 2025

Ouvrages	Élévation géodésique du sol (m)	Distance du puits P-1 (m)	Distance du puits P-2 (m)	Niveau de l'eau le 12 novembre 2025	
				Lecture (m)	Élévation géodésique (m)
P-1	135,996	0,00	2,96	3,377	132,619
P-2	135,994	2,96	0,00	3,105	132,889
PZ-7/97	135,973	3,08	4,21	3,174	132,799
PZ-3/98	134,035	42,81	45,84	1,060	132,975
MB-1	168,953	659,50	656,55	10,526	158,427
MB-2	167,949	352,30	349,35	31,697	136,252
MB-3	168,270	431,50	428,95	34,717	133,553
MB-4	167,834	144,45	141,50	35,039	132,795
Station SLP-1*	161,017**	240,80	237,85	0,437***	160,580***

* station de mesure de l'eau de surface du lac Perché

** élévation du dessus de la tige en métal implantée dans le lac Perché

*** niveau d'eau de surface mesuré par rapport au-dessus de la tige en métal

Tableau 9. Niveaux dynamiques de l'eau générés par le pompage des puits P-1 et P-2 à un débit combiné de 1323 L/min le 12 novembre 2025

Ouvrages	Élévation géodésique du sol (m)	Distance du puits P-1 (m)	Distance du puits P-2 (m)	Niveau de l'eau le 12 novembre 2025		Rabatement (m)
				Lecture (m)	Élévation (m)	
P-1	135,996	0,00	2,96	3,605	132,391	0,228
P-2	135,994	2,96	0,00	3,305	132,689	0,200
PZ-7/97	135,973	3,08	4,21	3,314	132,659	0,140
PZ-3/98	134,035	42,81	45,84	1,176	132,859	0,116
MB-1	168,953	659,50	656,55	10,530	158,423	0,004
MB-2	167,949	352,30	349,35	31,702	136,247	0,005
MB-3	168,270	431,50	428,95	34,718	133,552	0,004
MB-4	167,834	144,45	141,50	35,093	132,741	0,054
Station SLP-1*	161,017**	240,80	237,85	0,438***	160,579***	0,001

* station de mesure de l'eau de surface du lac Perché

** élévation du dessus de la tige en métal implantée dans le lac Perché

*** niveau d'eau de surface mesuré par rapport au-dessus de la tige en métal

8.1.2.2 Direction d'écoulement et gradient hydraulique horizontal

Des courbes isopièzes rectilignes et parallèles sont obtenues par l'interpolation linéaire des niveaux d'eau souterraine suivant la méthode graphique par triangulation. Tel que présenté sur les figures 10 et 11 de l'annexe 1, une droite tracée perpendiculairement aux courbes isopièzes indique la direction d'écoulement de l'eau souterraine profonde sous des conditions statique et dynamique.

Le gradient hydraulique horizontal (i_h) est fonction de la variation de la charge hydraulique entre deux points de mesure et de la distance horizontale qui les sépare. Le gradient hydraulique horizontal (i_h) se calcule selon la relation suivante:

$$i_h = \frac{\Delta h}{\Delta l} \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

où Δh : variation de la charge hydraulique entre deux points de mesure (m);

Δl : distance horizontale entre les deux points de mesure (m).

8.1.2.3 Vitesse horizontale d'écoulement

La vitesse horizontale d'écoulement (v_h) de l'eau souterraine profonde est évaluée à la hauteur des ouvrages hydrauliques aménagés dans la formation aquifère saturée en eau à partir de la Loi de Darcy (1856), où:

$$v_h = \frac{K i_h}{n_e} \quad (\text{m/an}) \quad (9)$$

où K: conductivité hydraulique (m/an);
 i_h : gradient hydraulique horizontal (sans unité);
 n_e : porosité efficace (sans unité).

8.2 Description des nappes d'eau souterraine:

8.2.1 Nappe libre peu profonde

Une première nappe d'eau souterraine désignée comme « peu profonde » est rencontrée à la base du dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine uniquement au site du piézomètre MB-1. Considérant l'absence d'unité géologique peu perméable en surface, cette nappe est qualifiée de « libre ».

En référence au graphique compilé à l'annexe 5, le niveau de la nappe libre peu profonde oscille de manière cyclique à la hausse ou à la baisse en fonction des conditions climatiques, des variations de la pression atmosphérique et des modifications apportées à l'environnement. La rapidité de la réaction à la hausse du niveau d'eau souterraine varie selon l'intensité et la durée des précipitations. Du 5 au 26 novembre 2025, le niveau de cette nappe présente une nette tendance à la baisse de l'ordre de 9,8 mm/d en raison de précipitations peu abondantes et soutenues.

Autour du piézomètre MB-1, la nappe libre peu profonde n'est pas en lien hydraulique direct avec le lac Perché ni avec la nappe d'eau souterraine profonde décrite à la section suivante, et ce, puisque la formation de nature silto-argileuse sous-jacente au dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine limite l'établissement de tels liens. L'exploitation des puits municipaux P-1 et P-2 n'a pas d'incidence sur le niveau de l'eau souterraine mesuré au site de MB-1. Que ce soit sous des conditions statique ou dynamique, il n'est pas possible de déterminer le régime d'écoulement de la nappe libre peu profonde en raison d'un nombre insuffisant de piézomètres implantés au sein du dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine.

8.2.2 Nappe libre profonde

8.2.2.1 Description

Une deuxième nappe d'eau souterraine définie comme « profonde » se retrouve dans la portion basale du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire à l'emplacement des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97, PZ-3/98, MB-2, MB-3 et MB-4. Cette nappe est qualifiée de « libre » puisque la formation silto-argileuse superficielle réputée peu perméable possède une extension discontinue dans le secteur à l'étude. Il est à noter que l'unité peu perméable est absente au site des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97, PZ-3/98 et MB-4.

De manière générale, le niveau de la nappe libre profonde oscille de manière cyclique à la hausse ou à la baisse en fonction des conditions climatiques, des variations de la pression atmosphérique et des modifications apportées à l'environnement. Au cours de la période d'étude qui s'étend du 5 au 26 novembre 2025, la consultation des graphiques compilés à l'annexe 5 démontre que le niveau de l'eau souterraine profonde ne réagit pas immédiatement à la hausse après l'avènement d'une précipitation ou l'infiltration de l'eau de fonte dans le secteur des piézomètres MB-2, MB-3 et MB-4. L'absence de réaction immédiate est attribuable au fait que la portion de l'eau météorique qui s'infiltre à la hauteur du plateau doit parcourir une distance verticale de plus d'une trentaine de mètres dans le milieu non saturé avant d'atteindre la nappe libre profonde. À l'inverse, la nappe réagit rapidement à la hausse dans l'entourage des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97 et PZ-3/98 face à l'infiltration de l'eau météorique, et ce, en raison de la proximité du toit de l'eau souterraine par rapport à la surface du sol. L'analyse des graphiques de l'annexe 5 révèle également que le niveau de la nappe profonde est demeuré relativement stable au cours de la période d'étude.

8.2.2.2 Condition statique

Sous une condition statique, la nappe d'eau souterraine profonde circule globalement du nord-ouest vers le sud-est selon des directions allant de N112° à N176° en amont des deux puits de captage. En référence à la figure 10 de l'annexe 1, l'eau souterraine profonde migre à des vitesses horizontales qui fluctuent entre 1018 à 1295 m/an sous des gradients hydrauliques horizontaux variant de 1,1 à 1,4% à la hauteur de la partie amont du plateau. À l'approche des ouvrages P-1 et P-2, l'eau souterraine se déplace à des vitesses horizontales de 231 et 342 m/an sous des gradients hydrauliques horizontaux respectifs de 0,25 et 0,37%.

Entre les deux puits et le piézomètre PZ-3/98 localisé en aval hydraulique, l'eau souterraine se dirige vers le nord-ouest selon une direction de N289°. L'eau souterraine circule à une vitesse horizontale évaluée à 360 m/an sous un gradient hydraulique horizontal de 0,39%. Il est à noter que l'aménagement constitué de pierres dynamitées mis en place entre les deux ouvrages de captage et la rivière Couchepaganiche a pour effet de modifier l'écoulement naturel de l'eau souterraine, et ce, en favorisant l'infiltration puis le déplacement des eaux vers le lieu de prélèvement.

Dans l'axe des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97, MB-4 et MB-3, la déformation particulière des courbes isopièzes démontre l'impact qu'a une importante dépression dans le socle rocheux sur le régime d'écoulement de la nappe profonde. En référence aux figures 10, 12 et 13 de l'annexe 1, cette dépression qui possède une orientation générale nord-ouest/sud-est a été façonnée par les glaciers à la hauteur d'un contact lithologique ou d'un élément structural majeur comme une faille, une zone de cisaillement, etc. qui affecte les formations rocheuses. Avant d'atteindre la rivière Couchepaganiche où elle y fait naturellement résurgence pour l'alimenter, une portion de l'eau souterraine converge vers la dépression pour s'y accumuler. Par la suite, elle se déplace vers le sud-est à des vitesses décroissantes dans l'axe de la dépression dont l'extension vers le nord-ouest demeure inconnue jusqu'à maintenant. La dépression, laquelle pourrait aussi être décrite comme une ancienne vallée glaciaire enfouie, agit comme une zone préférentielle d'accumulation et d'écoulement de l'eau souterraine directement en amont hydraulique des deux ouvrages municipaux.

La nappe d'eau souterraine se comporte comme une « nappe d'accompagnement » en bordure de la rivière Couchepaganiche. Cette portion de la nappe est ainsi désignée car elle fait partie intégrante du régime hydrologique du cours d'eau en raison du lien hydraulique étroit qui les unit. Sous un état statique, la rivière Couchepaganiche exerce directement son influence sur une distance évaluée à ± 50 m sur le régime d'écoulement de la nappe en regard de l'inflexion particulière des courbes isopièzes illustrée sur la figure 10 de l'annexe 1.

8.2.2.3 Condition dynamique

De manière générale, le soutirage d'eau souterraine entraîne la formation d'une dépression autour d'un lieu de prélèvement. L'envergure et la configuration de la dépression varient en fonction de l'hétérogénéité du milieu géologique, de l'anisotropie des propriétés hydrogéologiques au sein de la formation aquifère et du taux de pompage. Ainsi, plus le débit d'un puits ou d'une batterie de puits augmente plus le rayon d'influence ou l'aire d'influence s'accroît autour du lieu de prélèvement.

Dans la littérature, l'aire d'influence est illustrée comme un cône de dépression, aussi appelé cône de rabattement, qui prend une forme théorique circulaire idéalisée possédant un rayon équidistant autour d'un lieu de captage implanté dans un milieu homogène et isotrope. En pratique, l'aire d'influence possède plutôt une forme elliptique ou ovoïde, laquelle prend davantage d'expansion en direction aval qu'en direction amont par rapport au sens d'écoulement de la nappe, tel que présenté sur la figure 14 de l'annexe 1. La progression de l'aire d'influence vers l'aval hydraulique peut toutefois être ralentie ou même arrêtée face à la recharge induite de l'aquifère par de l'eau de surface. Si l'aquifère est hétérogène, la zone d'influence dessine alors des formes diverses autour du lieu de prélèvement, et ce, en fonction de la stratification et des structures géologiques constituant des secteurs préférentiels de réalimentation ainsi que des unités géologiques peu perméables qui contribuent peu ou pas à la recharge.

L'analyse des données piézométriques acquises après le redémarrage « normal » du système d'exploitation, et ce suite à la panne électrique survenue du 11 au 12 novembre 2025, démontre l'influence qu'exercent les puits P-1 et P-2 sur le régime d'écoulement de la nappe libre profonde. En référence à la figure 11 de l'annexe 1, le soutirage d'un débit combiné de 1323 L/min (349 GUSPM), lequel correspond pratiquement au taux de prélèvement autorisé par le MELFFCP en 1999, a pour effet de créer un cône de rabattement de forme quasi-ovoïde idéalisée. L'aire d'influence se développe localement et de manière préférentielle dans l'axe de la dépression ou de l'ancienne vallée glaciaire en regard de la déformation encore plus importante des courbes isopièzes selon un axe nord-ouest/sud-est.

Lorsque sollicités à un débit combiné de 1323 L/min (349 GUSPM), les deux puits municipaux exercent leur influence sur les niveaux de la nappe profonde mesurés au site des ouvrages PZ-7/97, PZ-3/98, MB-2, MB-3 et MB-4, alors que les rabattements non stabilisés sont respectivement de 0,140, 0,116, 0,005, 0,004 et 0,054 m. Le rabattement de la nappe est davantage prononcé autour des ouvrages de captage en atteignant des valeurs respectives de 0,228 et 0,200 m au site de P-1 et P-2, et ce, alors que ces derniers extraient des débits respectifs de 637 et 686 L/min (168 et 181 GUSPM).

Il est à noter que l'ouvrage P-1 présente un rendement inférieur à P-2 puisque pour un débit de pompage moindre le rabattement est plus grand. La performance réduite du puits P-1 est vraisemblablement attribuable au colmatage de la crépine par des particules granulaires, par des précipités chimiques associés au fer, au manganèse ou aux carbonates et/ou par des biofilms organiques comme des bactéries ferrugineuses et des manganobactéries.

L'extraction d'un débit combiné de 1323 L/min (349 GUSPM) a pour effet de modifier localement la piézométrie de la nappe libre profonde, et ce, sans effet sur le niveau de l'eau du lac Perché ni sur celui de la nappe libre peu profonde retrouvée à l'emplacement du piézomètre MB-1. L'eau souterraine profonde converge vers P-1 et P-2 sous différents gradients hydrauliques horizontaux et selon différentes vitesses dont les valeurs varient en fonction de l'extension du cône de rabattement. C'est dans l'entourage immédiat du lieu de prélèvement, et plus spécifiquement à l'intérieur de son cône de dépression, que les valeurs du gradient hydraulique horizontal et de la vitesse sont les plus grandes.

À titre indicatif, le gradient horizontal et la vitesse horizontale sont respectivement de 1,0% et 962 m/an entre le site de prélèvement et le piézomètre PZ-3/98. Ces valeurs révèlent qu'une portion de l'eau de surface réalimente davantage l'aquifère granulaire sous une condition dynamique. Rappelons que les travaux d'enrochement réalisés entre la rivière Couchepaganiche et les deux puits favorisent la recharge induite de la nappe aquifère par l'eau de surface. En amont des ouvrages de captage P-1 et P-2, la vitesse horizontale d'écoulement de l'eau souterraine profonde augmente à 250 m/an sous un gradient hydraulique horizontal de 0,27%.

9.0 ENVERGURE ET CONFIGURATION DES AIRES DE PROTECTION

9.1 Prémisses de base:

Les aires de protection sont associées à la surface de terrain autour d'un ouvrage ou d'une batterie de puits à travers laquelle des contaminants sont susceptibles de migrer en direction du lieu de captage d'eau souterraine. Il existe différentes méthodes pour établir la forme et la dimension des aires de protection dans les milieux poreux. Parmi les méthodes élaborées par l'EPA (Environmental Protection Agency) en 1987 et reconnues au Québec (MELCCFP, 2002 & 2019), il y a entre autres:

- 1- la méthode du rayon fixé arbitrairement;
- 2- la méthode du rayon calculé fixe: fonction du temps de migration d'un contaminant et du débit de pompage;
- 3- la méthode des formes variables simplifiées, uniformisées à partir de modèles analytiques: fonction des conditions et des paramètres hydrogéologiques ainsi que du débit de pompage;
- 4- l'application de modèles analytiques: fonction des conditions et des paramètres hydrogéologiques pour déterminer l'aire d'alimentation du puits;
- 5- la cartographie hydrogéologique élaborée à partir de méthodes géologiques, géophysiques et des essais de traceur;
- 6- l'application de modèles numériques dans la modélisation de l'écoulement et du transport des contaminants.

Les aires de protection à établir autour d'un site de prélèvement de catégorie 1 sont illustrées schématiquement sur la figure 15 de l'annexe 1 et décrites ci-après dans le tableau 10. En vertu des normes en vigueur au Québec, la configuration de l'aire de protection immédiate correspond à une distance fixe caractérisée par un rayon de 30 m ou moins autour d'un lieu de captage. Toujours pour un ouvrage de catégorie 1, l'envergure et la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée sont définies à partir de l'application d'une méthode ou d'une combinaison de méthodes qui exclut celle du rayon fixe.

Tableau 10. Aires à protéger par rapport au critère sélectionné pour un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1

Protection	Critère	Aires à protéger
Immédiate	Protection du puits et ses équipements connexes	Rayon fixe de 30 m ou moins selon les conditions hydrogéologiques locales, la configuration du terrain, la présence d'infrastructures ou la nature des activités humaines
Intermédiaire	Contaminants bactériologiques et virologiques	Bactéries: temps de migration de 200 jours dans l'aire d'alimentation Virus: temps de migration de 550 jours dans l'aire d'alimentation
Éloignée	Contaminants mobiles et persistants	Aire d'alimentation du lieu de prélèvement

9.2 Application:

La configuration de l'aire de protection immédiate existante a été établie antérieurement sur la base de l'application d'un rayon fixe autour des deux ouvrages de captage. Dans le cadre du présent mandat, les aires de protection intermédiaire et éloignée associées aux puits P-1 et P-2 sont redéfinies à partir de solutions analytiques développées pour des milieux isotropes et homogènes en association avec des éléments cartographiques. Les solutions analytiques sélectionnées considèrent l'application des conditions suivantes: 1) l'infiltration est négligeable; 2) l'ouvrage pénètre complètement l'aquifère sollicité par pompage et; 3) la formation aquifère est caractérisée par une extension latérale infinie.

Ainsi, il est nécessaire de considérer la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée davantage comme une estimation, puisque les conditions et les prémisses théoriques s'appliquent difficilement dans les milieux aquifères naturels considérés hétérogènes et caractérisés par une géométrie complexe. Les efforts à déployer pour estimer l'envergure de ces aires autour d'un ouvrage de captage sont fonction du degré de précision souhaitée, lequel est établi à partir de la nature des activités anthropiques, de la vulnérabilité du milieu souterrain à la contamination et de l'évaluation des risques de contamination de l'aquifère.

Dans le contexte à l'étude, les solutions analytiques jumelées à des éléments cartographiques devraient mener à l'obtention d'un degré de précision jugé satisfaisant. L'emploi de méthodes numériques ou strictement cartographiques demande habituellement des efforts et des investissements plus importants en termes d'investigations hydrogéologiques pour tenter d'augmenter le degré de précision, ou simplement de confirmer les résultats des solutions analytiques.

Rappelons que les aires de protection intermédiaire et éloignée ont déjà été définies au moyen d'une méthode numérique par la firme « Akifer » en 2021. Toutefois en l'absence de piézomètres en amont hydraulique du lieu de prélèvement, le modèle d'interprétation relatif à la configuration desdites aires repose notamment sur des hypothèses associées au contexte topographique ainsi que sur un nombre jugé insuffisant de données à caractère hydrogéologique selon le soussigné.

Aux fins de l'élaboration et de l'application de règles visant à protéger l'intégrité d'une nappe aquifère, le MELCCFP (2019) suggère l'intégration du débit journalier moyen d'exploitation dans le cadre de l'exercice visant à estimer l'envergure et la configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée. Par conséquent, un débit journalier moyen de 817 L/min (216 GUSPM) est sélectionné sur la base des données de pompage enregistrées au cours des mois d'octobre et de novembre 2025. En référence à la planche 7 de l'annexe 2, il est à noter que les aires de protection intermédiaire et éloignée sont évaluées en considérant les puits P-1 et P-2 comme un seul et unique ouvrage de prélèvement, et ce, compte tenu de leur très grande proximité.

9.3 Configuration des aires de protection:

9.3.1 Aire de protection immédiate

En vertu des présentes dispositions réglementaires constituant les articles 54, 55 et 56 du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (ci-après « RPEP ») du MELCCFP (2014), une aire de protection immédiate doit être instaurée pour un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1. Dans ce cas, les limites de l'aire de protection immédiate doivent être situées à une distance de 30 m autour du puits de captage. Toutefois, le rayon fixe de 30 m peut être réduit si une étude hydrogéologique produite par un professionnel permet d'établir des limites différentes en attestant l'une ou l'autre des situations suivantes:

- 1- la présence d'une formation géologique superficielle peu perméable assure une protection naturelle des eaux souterraines;
- 2- une configuration de terrain ou une infrastructure localisée à proximité assure la protection de la qualité des eaux souterraines au regard d'incidents ou d'activités pouvant se produire au sein de l'aire visée;
- 3- l'exercice des activités humaines dans un rayon de 30 m du lieu de prélèvement ne peut affecter de manière significative la qualité des eaux souterraines.

Cette aire vise à protéger le puits et ses installations connexes alors qu'aucune activité autre que le pompage n'est tolérée à l'intérieur de ce périmètre. Toute activité qui présente un risque de contamination de l'eau est interdite dans cette aire, sauf celles relatives à l'opération, à l'entretien, à la réfection ou au remplacement de l'installation de captage ou des équipements accessoires. La finition du sol au sein de l'aire de protection immédiate doit empêcher la présence d'eau stagnante et prévenir le ruissellement d'eau en direction du lieu de captage.

Pour un lieu de prélèvement de catégorie 1, la localisation de l'aire de protection immédiate doit être indiquée en tout temps afin d'assurer sa visibilité, notamment par l'usage de panneaux indicateurs fixés à tous les accès qui doivent être cadenassés. En vertu du libellé des articles 81 et 88 du RPEP, (MELCCFP, 2014), une municipalité s'expose à des amendes via l'émission de sanctions administratives pécuniaires et d'infractions si la localisation de l'aire de protection immédiate n'est pas indiquée ou si les panneaux indicateurs sont absents ou détériorés. À moins d'une évaluation contraire effectuée par un professionnel à l'aide de la méthode DRASTIC, laquelle est décrite ultérieurement en détails à la section 10.2 du présent rapport, la vulnérabilité à la contamination de l'eau souterraine circulant à l'intérieur de l'aire de protection immédiate est réputée « élevée ».

La configuration de l'aire de protection immédiate a été établie sur la base de l'application d'un rayon fixe de 30 m autour des deux ouvrages de captage P-1 et P-2, et ce, en vertu des dispositions réglementaires de l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement (ci-après « LQE »), lesquelles étaient alors en vigueur au moment de l'émission de l'autorisation par le MELCCFP en 1999. En considérant les obstacles naturels qui étaient présents sur le terrain, une clôture métallique de 1,8 m de hauteur a été déployée selon une forme irrégulière sur les limites de l'aire de protection immédiate à des distances allant de 23 à 28 m autour des puits.

Une inspection visuelle a permis de constater que des sections de la clôture sont endommagées en raison de la chute d'arbres matures. Les employés municipaux procèdent normalement à l'entretien de l'aire de protection immédiate par la coupe mécanique des repousses arbustives qui peuvent briser la clôture. Actuellement, de la végétation en croissance empiète sur quelques sections dont certaines sont de moins en moins visibles avec le temps.

Il est à noter que le MELCCFP n'oblige plus l'installation d'une clôture pour délimiter physiquement l'aire de protection immédiate autour d'un puits de captage depuis la mise en application du RPEP le 2 mars 2015; ce qui constitue un net recul en matière de protection des lieux de prélèvement d'eau souterraine selon le soussigné. Toutefois, le MELCCFP exige qu'un plan de localisation puisse permettre d'identifier les limites de l'aire de protection immédiate sur le terrain en vertu du libellé de l'article 68 du RPEP (MELCCFP, 2014). Le soussigné considère que ce plan ne constitue pas une barrière de protection très efficace et dissuasive face aux risques que représentent le vandalisme et la pratique d'activités humaines jugées inappropriées d'un point de vue environnemental, et ce, d'autant plus si le lieu de prélèvement est situé dans un secteur isolé et peu fréquenté comme celui à l'étude.

En référence à la planche 8 de l'annexe 2, une affiche indiquant la présence des deux puits de captage est fixée sur l'une des portes battantes en métal qui donnent accès à l'intérieur de l'aire de protection immédiate. Les portes grillagées installées sur l'entrée unique sont fermées et cadenassées lorsque les responsables municipaux sont absents.

9.3.2 Aire de protection intermédiaire

En vertu des dispositions réglementaires du RPEP (MELCCFP, 2014), une aire de protection intermédiaire doit être délimitée autour d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1. L'aire de protection intermédiaire correspond à la distance théorique parcourue par l'eau souterraine en un délai suffisant pour que la pollution de nature bactérienne et virale se résorbe d'elle-même avant l'atteinte du puits de captage dû aux mécanismes épurateurs des sols et du temps de survie des microorganismes. À moins d'une évaluation contraire effectuée par un professionnel à l'aide de la méthode DRASTIC, laquelle est décrite ultérieurement en détails à la section 10.2 du présent rapport, la vulnérabilité à la contamination de l'eau souterraine circulant à l'intérieur de l'aire de protection intermédiaire est réputée « élevée ».

Dans le cas spécifique d'un lieu de prélèvement de catégorie 1, l'aire de protection intermédiaire est déterminée en fonction du temps de migration de l'eau souterraine afin d'assurer respectivement la protection bactériologique et virologique par rapport à la présence de sources potentielles d'émission de contaminants de nature microbiologique. Dans le cadre du présent mandat, les données à caractère hydrogéologique sont suffisantes pour calculer les distances associées au temps de migration de contaminants de nature bactérienne et virale à partir d'une solution analytique.

En référence au libellé de l'article 57 du RPEP (MELCCFP, 2014), le responsable d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1 doit transmettre un avis écrit au domicile de chacune des propriétés incluses dans les aires de protection intermédiaire informant leurs propriétaires ou leurs occupants de la présence du site de prélèvement dans leur voisinage.

Tel qu'indiqué à l'article 67 du RPEP (MELCCFP, 2014), le responsable d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1, 2 ou 3 doit transmettre au Ministre la liste des propriétés incluses en partie ou en totalité dans l'aire de protection intermédiaire, et ce, si le suivi analytique révèle qu'au moins deux échantillons d'eau ont contenu plus de 5 mg/L de nitrites/nitrates (exprimés en N) sur une période de 2 ans.

Pour assurer la protection bactériologique, la distance correspond à un temps de migration de l'eau souterraine sur une période de 200 jours, alors qu'un temps de migration sur une période de 550 jours permet de déterminer la distance à appliquer pour assurer la protection virologique. Considérant les connaissances microbiologiques actuelles et les législations étrangères en la matière, la solution analytique de Bear J. (1979) est appliquée pour calculer les distances relatives à des temps de migration de 200 et 550 jours, et ce, à partir de l'équation suivante:

$$t = \frac{nd}{Ki} - \frac{Qn}{2\pi K^2 i^2 b} \ln \left(1 + \frac{2\pi K b i d}{Q} \right) \quad (d) \quad (10)$$

où K: conductivité hydraulique (m/d);

i: gradient hydraulique horizontal régional (m/m);

n: porosité efficace (sans unité);

d: distance horizontale en amont sur la ligne parallèle à l'axe d'écoulement régional (m);

t: temps de migration (d);

Q: débit de pompage moyen (m³/d);

b: épaisseur saturée du milieu aquifère (m);

ln: logarithme népérien.

La solution analytique de Bear J. (1979) considère uniquement l'écoulement horizontal en négligeant le temps requis pour l'infiltration verticale de l'eau ainsi que des contaminants de nature bactérienne et virale. La configuration de l'aire de protection intermédiaire varie directement selon le taux de pompage appliqué en prenant de l'expansion au sein de l'aire d'alimentation lorsque le débit augmente, ou à l'inverse en diminuant d'envergure si le taux de pompage est réduit.

En regard des propriétés hydrogéologiques du milieu aquifère et d'un débit de pompage moyen de 1176 m³/d (817 L/min ou 216 GUSPM), les aires de protection bactériologique (200 d) et virologique (550 d) possèdent une distance respective de 263 et 550 m à l'intérieur de l'aire d'alimentation du lieu de prélèvement constitué des ouvrages de captage P-1 et P-2. Les distances associées aux aires de protection bactériologique et virologique sont inscrites dans le tableau 11 ci-après, alors que leurs limites respectives apparaissent sur la figure 16 de l'annexe 1.

Tableau 11. Envergure de l'aire de protection intermédiaire (bactériologique et virologique) associée aux puits P-1 et P-2

Puits	Débit de pompage moyen anticipé			Envergure de l'aire de protection intermédiaire selon la méthode analytique de Bear J. (1979)	
	(m ³ /d)	L/min	GUSPM	Bactériologique: temps de migration de 200 d (m)	Virologique: temps de migration de 550 d (m)
P-1 et P-2	1176	817	216	263	550

9.3.3 Aire de protection éloignée (aire d'alimentation)

En vertu des dispositions réglementaires du RPEP (MELCCFP, 2014), une aire de protection éloignée doit être délimitée pour un prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1. L'aire de protection éloignée vise notamment à protéger le lieu de prélèvement d'eau souterraine contre les substances polluantes mobiles et persistantes qui circulent dans l'environnement souterrain.

En référence au libellé de l'article 65 du RPEP (MELCCFP, 2014), l'aire de protection éloignée coïncide avec l'aire d'alimentation puisque celles-ci correspondent à la superficie de terrain au sein duquel les eaux souterraines qui y circulent vont éventuellement être captées par le puits. Tel que stipulé dans libellé de l'article 66 du RPEP (MELCCFP, 2014), l'aménagement d'un site de forage destiné à rechercher ou à exploiter du pétrole, du gaz naturel, de la saumure ou un réservoir souterrain ainsi que l'exécution d'un sondage stratigraphique sont interdits dans l'aire de protection éloignée d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie 1.

L'aire d'alimentation englobe toutes les zones où l'eau souterraine est susceptible de s'infiltrer dans l'aquifère puis de s'écouler en direction d'un ouvrage de captage. Dans le cas d'une nappe libre, le MELCCFP (2002) suggère l'application de la solution analytique de Grubb S. (1993) pour le calcul théorique de la configuration de l'aire d'alimentation à partir des relations suivantes:

$$A = \frac{Q \delta l}{\pi K (H^2 - h^2)} \quad (\text{m}) \quad (11)$$

$$L = \frac{2 Q \delta l}{K (H^2 - h^2)} \quad (\text{m}) \quad (12)$$

et
$$B = \frac{L}{2} \quad (\text{m}) \quad (13)$$

où A: distance à la limite aval (m);

L: limite latérale amont par rapport à la direction d'écoulement des eaux entrant dans le puits: largeur du front d'appel (m);

B: largeur de la zone de captage à la hauteur du puits (m).

K: conductivité hydraulique (m/d);

Q: débit de pompage moyen (m³/d);

H: hauteur de la charge hydraulique en aval par rapport à la base de l'aquifère (m);

h: hauteur de la charge hydraulique en amont par rapport à la base de l'aquifère (m);

δl: distance horizontale entre deux points de mesure de charge hydraulique (m).

De manière générale, la configuration de l'aire d'alimentation varie directement selon le taux de pompage appliqué en prenant de l'expansion lorsque le débit augmente, ou à l'inverse en diminuant d'envergure si le taux de pompage est réduit. Des critères cartographiques concernant la topographie, la géomorphologie, la géologie et le contexte hydrogéologique sont également considérés pour définir la configuration de l'aire d'alimentation en complémentarité ou en appui aux valeurs théoriques, puisque l'aire d'alimentation englobe toutes les zones où l'eau souterraine est susceptible de s'infiltrer dans l'aquifère puis de s'écouler en direction de l'ouvrage de captage.

Pour un débit de pompage moyen de $1176 \text{ m}^3/\text{d}$ (817 L/min ou 216 GUSPM), la distance à la limite aval (A), la largeur du front d'appel (L) et la largeur de la zone de captage (B) sont caractérisées par des valeurs théoriques respectives de 86, 542 et 271 m. En jumelant les valeurs théoriques à des éléments cartographiques associés à la topographie, à l'hydrogéologie et à la géologie des dépôts de surface, l'aire d'alimentation s'étend vers l'amont hydraulique sur une distance de l'ordre de 1320 m en direction nord/nord-ouest, et ce, jusqu'à l'atteinte d'une limite qui correspond au contact lithologique superficiel entre le dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire et la formation silto-argileuse réputée peu perméable.

En suivant l'axe de la dépression présente au sein du socle rocheux, la limite amont de l'aire d'alimentation transcende la ligne de partage des eaux associée au sous-bassin hydrographique de surface illustré sur les figures 9 et 16 de l'annexe 1. La configuration de l'aire d'alimentation, ou de l'aire de protection éloignée, qui se dessine à la hauteur des ouvrages hydrauliques apparaît sur la figure 16 de l'annexe 1, alors que les distances théoriques sont inscrites dans le tableau 12 ci-après.

Tableau 12. Distances théoriques associées à la configuration de l'aire d'alimentation des puits de captage P-1 et P-2

Puits	Débit de pompage moyen			Distances théoriques associées à la configuration de l'aire d'alimentation selon la méthode analytique de Grubb S. (1993)			
	m ³ /d	L/min	GUSPM	Distance à la limite aval (A) (m)	Largeur du front d'appel (L) (m)	Largeur de la zone de captage (B) (m)	Longueur approximative de l'aire (m)
P-1 et P-2	1176	817	216	86	542	271	1320

10.0 VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE À LA CONTAMINATION

10.1 Description de la méthode DRASTIC:

La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine à la contamination est évaluée à partir de la méthode DRASTIC qui a été développée par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) (Aller L. & al., 1987). En vertu des normes en vigueur, cette méthode est utilisée pour évaluer les risques de contamination des sources d'approvisionnement en fonction des activités et des infrastructures présentes dans les environs d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine. Cette méthode est tout particulièrement appliquée sur l'ensemble des aires de protection d'un ouvrage de captage ou d'une batterie de puits pour cerner le plus précisément possible les zones vulnérables à la contamination.

La méthode DRASTIC consiste en un système de cotation numérique jumelé à un document cartographique qui fait appel au concept d'unité hydrogéologique. Cette méthode repose sur trois hypothèses de base:

- 1- les sources de contamination sont localisées à la surface du sol;
- 2- les contaminants migrent depuis la surface du sol jusqu'au milieu aquifère par les eaux d'infiltration;
- 3- les contaminants ont la même mobilité que l'eau.

La méthode DRASTIC considère sept paramètres physiques distincts pour la détermination des indices de vulnérabilité:

- 1- la profondeur de la nappe d'eau souterraine par rapport à la surface (D);
- 2- le taux d'infiltration annuelle de l'eau qui alimente la nappe d'eau souterraine (R);
- 3- le milieu aquifère qui alimente le puits (A);
- 4- le milieu pédologique qui recouvre la nappe d'eau souterraine (S);
- 5- la topographie environnante (pente du terrain) (T);
- 6- l'impact de la zone non saturée sur le milieu aquifère (I);
- 7- la conductivité hydraulique du milieu aquifère (C).

Chacun de ces paramètres joue un rôle plus ou moins important dans les processus de transport et d'atténuation des contaminants. Pour cette raison, la méthode tient compte de l'importance relative de chaque paramètre, en attribuant à chacun d'eux un poids dont la valeur varie de 1 à 5 (Aller L. & al., 1987). Chaque poids est fixé par un consensus de type Delphi. En référence au tableau 13 ci-après, un paramètre prépondérant a un poids de 5, alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le transport et l'atténuation de la contamination possède un poids de 1.

Tableau 13. Poids relatif à chacun des paramètres*

PARAMÈTRES	POIDS
Profondeur de la nappe d'eau souterraine par rapport à la surface (D)	5
Taux d'infiltration annuelle de l'eau qui alimente la nappe d'eau souterraine (R)	4
Milieu aquifère qui alimente le puits (A)	3
Milieu pédologique qui recouvre la nappe d'eau souterraine (S)	2
Topographie environnante (pente du terrain) (T)	1
Impact de la zone non saturée sur le milieu aquifère (I)	5
Conductivité hydraulique du milieu aquifère (C)	3

* tableau tiré et adapté de Aller L. & al. (1987)

Une cote qui varie de 1 à 10 est attribuée à chacun des paramètres. Une cote de 1 correspond à des conditions de moindre vulnérabilité, tandis qu'une cote de 10 reflète des conditions propices à la contamination. L'indice DRASTIC propre à chaque unité hydrogéologique est obtenu à l'aide de l'équation suivante:

$$D_c D_p + R_c R_p + A_c A_p + S_c S_p + T_c T_p + I_c I_p + C_c C_p = I \quad (14)$$

où c: cote;

p: poids;

I: indice DRASTIC

Le résultat obtenu est ensuite exprimé sous forme de pourcentage en utilisant la formule de conversion suivante:

$$\text{Indice DRASTIC (\%)} = \frac{I - 23}{203} \times 100 \quad (15)$$

où I: Indice DRASTIC calculé.

Les indices DRASTIC représentent une évaluation de la vulnérabilité à la contamination d'une unité hydrogéologique, alors que la vulnérabilité augmente avec la valeur de l'indice. Sur une carte de vulnérabilité, l'unité hydrogéologique correspond à une zone géographique bien délimitée. Les indices ne représentent pas une mesure absolue du risque de contamination, mais plutôt une mesure relative ou comparative. Les valeurs sont attribuées à la zone elle-même, et non pas au contour de cette zone. Il n'y a pas de transition progressive de la valeur des indices d'une zone à l'autre et la notion d'isocontours ne s'applique pas.

La méthode DRASTIC permet de calculer un indice général de vulnérabilité. La valeur maximale de l'indice DRASTIC est de 226 (100%) et la valeur minimale de 23 (0%). Le tableau 14 ci-après présente les indices DRASTIC en fonction du niveau de vulnérabilité en regard de la classification proposée par le MELCCFP (2014 & 2019).

Tableau 14. Indice DRASTIC en fonction du niveau de vulnérabilité *

Indice DRASTIC (I)	Niveau de vulnérabilité
23 à 100 (0 à 38%)	Faible
101 à 179 (39 à 76%)	Moyen
180 à 226 (77 à 100%)	Élevé

* tableau tiré et adapté du MELCCFP (2014 & 2019)

10.2 Application de la méthode DRASTIC

Dans le cadre du présent mandat, le calcul des indices DRASTIC est effectué à partir des données à caractère hydrogéologique disponibles dans le secteur à l'étude. D'autres informations d'ordre hydrostratigraphique proviennent de l'étude du CERM-PACES (2013) ainsi que des études hydrogéologiques antérieures produites depuis 1997. Enfin, une visite du territoire recoupé par les aires de protection jumelée à l'étude de la cartographie géologique permettent d'identifier certains éléments pertinents pouvant avoir un impact sur la valeur des indices DRASTIC. En vertu des dispositions réglementaires en vigueur dans le RPEP (MELCCFP, 2014), le niveau de vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines doit être évalué par un professionnel pour chaque aire de protection d'une installation de captage de catégorie 1.

Les indices DRASTIC sont évalués pour la formation aquifère de sable et gravier d'origine fluvioglaciaire. Ce type de dépôt granulaire constitue l'unité hydrogéologique à protéger dans le secteur où sont implantés les ouvrages de captage P-1 et P-2. Les indices sont déterminés en tenant compte du contexte géologique, de la topographie et de la géomorphologie des lieux ainsi que des propriétés hydrogéologiques du milieu aquifère.

En référence aux calculs détaillés présentés à l'annexe 7 et aux valeurs inscrites dans le tableau 15 ci-après, la formation aquifère est caractérisée par un niveau de vulnérabilité à la contamination qualifié « d'élevé » à l'intérieur de l'aire de protection immédiate des puits P-1 et P-2 avec des indices DRASTIC qui oscillent entre 198 et 203 (86 et 89%). Au sein des aires de protection intermédiaire et éloignée, le niveau de vulnérabilité à la contamination est qualifié de « moyen » avec des indices DRASTIC qui varient entre 105 et 141 (40 et 58%).

Les indices les plus faibles sont évalués dans les secteurs où un dépôt de nature silto-argileuse peu perméable est rencontré en surface et où le niveau de la nappe libre profonde se situe à une profondeur supérieure à 31 m . Il est à noter que le niveau de vulnérabilité demeure estimatif au sein de l'aire de protection éloignée étant donné l'absence de données à caractère hydrogéologique en amont de l'aire de protection intermédiaire.

Tableau 15. Niveau de vulnérabilité à la contamination de la formation aquifère donné par les indices DRASTIC au sein des aires de protection des puits P-1 et P-2

Indice DRASTIC		Cote attribuée		
Paramètre	Poids			
D	5	9 ou 10	1	1
R	4	8	3 ou 8	3 ou 8
A	3	8	8	8
S	2	9	4 ou 9	4 ou 9
T	1	9	10	10
I	5	8	8	8
C	3	10	2 ou 4	2 ou 4
Valeur indice DRASTIC		198 ou 203	105 ou 141	105 ou 141 (estimatif)
Niveau de vulnérabilité		Élevé	Moyen	Moyen (estimatif)
Aire de protection		Immédiate	Intermédiaire	Éloignée

11.0 QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE

11.1 Qualité de l'eau du lac Perché:

11.1.1 Échantillonnage et analyse

Le 5 novembre 2025, trois échantillons d'eau de surface ont été recueillis au sein du lac Perché, alors que les puits P-1 et P-2 soutiraient un débit moyen combiné de 648 L/min (171 GUSPM). La prise d'échantillons a pour but de vérifier l'existence d'un gradient vertical de concentrations pour certains éléments indicateurs de contamination ainsi que d'évaluer si ce plan d'eau génère des impacts potentiels sur la qualité sectorielle de l'eau souterraine captée par les deux ouvrages municipaux. En référence à la figure 6 de l'annexe 1, les trois échantillons ont été prélevés à l'endroit où le lac possède la plus grande profondeur en vertu des résultats du levé bathymétrique décrit antérieurement à la section 4.0 du présent rapport.

Un premier échantillon dénommé « LPP-1 » a été recueilli dans la portion inférieure du lac Perché à une profondeur de 9,14 m, et ce, en plongeant une bouteille en polyéthylène propre attachée à une pesée en métal, tel que présenté sur la planche 9 de l'annexe 2. Après que la profondeur ait été atteinte sans avoir touché au fond vaseux, le bouchon de liège propre et à usage unique préalablement inséré dans le goulot était retiré au moyen d'une corde afin de permettre l'introduction de l'eau dans la bouteille. Une fois la bouteille remplie et remontée en surface, l'eau était transvidée directement dans chacune des bouteilles destinées aux analyses en laboratoire. Le soussigné qui a procédé à l'échantillonnage portait des gants de latex propres et à usage unique afin de minimiser les risques de contamination accidentelle des échantillons d'eau.

Un deuxième échantillon dénommé « LPM-1 » a été prélevé dans la partie médiane du lac Perché à une profondeur de 4,57 m, et ce, en plongeant une autre bouteille en polyéthylène propre attachée à une pesée en métal, tel que présenté sur la planche 9 de l'annexe 2. Après que la profondeur ait été atteinte, le bouchon de liège propre et à usage unique préalablement inséré dans le goulot était retiré au moyen d'une corde afin de permettre l'introduction de l'eau dans la bouteille. Une fois la bouteille remplie et remontée en surface, l'eau était transvidée directement dans chacune des bouteilles destinées aux analyses en laboratoire. Le soussigné qui a procédé à l'échantillonnage portait des gants de latex propres et à usage unique afin de minimiser les risques de contamination accidentelle des échantillons d'eau.

Un troisième échantillon dénommé « LPS-1 » a été prélevé dans la portion superficielle du lac Perché, et ce, en plongeant une bouteille en verre propre et à usage unique directement sous la surface de l'eau. Par la suite, l'eau contenue dans la bouteille en verre était transvidée directement dans chacune des bouteilles destinées aux analyses en laboratoire. Le soussigné qui a procédé à l'échantillonnage portait des gants de latex propres et à usage unique afin de minimiser les risques de contamination accidentelle des échantillons d'eau.

Les échantillons ont été recueillis, conservés et transportés selon les procédures et les règles de l'art en la matière afin de minimiser les risques d'altération des propriétés de l'eau brute. Tous les échantillons ont été expédiés au laboratoire agréé « Laboratoire Bureau Veritas inc. » pour l'analyse des paramètres physico-chimiques sélectionnés. Le choix des paramètres analytiques a été déterminé en fonction des impacts potentiels que peuvent avoir les activités anthropiques sur la qualité de l'eau du lac Perché, et ce, en regard de l'influence possible de l'eau de surface sur la qualité de l'eau souterraine captée par P-1 et P-2.

Les analyses ont été effectuées selon un protocole analytique rigoureux suivant des méthodes normalisées reconnues par le MELCCFP. La température a été mesurée sur place en introduisant un thermomètre directement dans la bouteille d'échantillonnage. La description et l'interprétation des résultats analytiques sont effectuées à l'égard des paramètres pour lesquels il existe des normes de potabilité ou des critères esthétiques de qualité édictés à l'intérieur du Règlement sur la qualité de l'eau potable (ci-après « RQEP ») du MELCCFP (2001) et les Recommandations pour la qualité des eaux au Canada (ci-après « RQEC ») de Santé Canada (2019). Les résultats analytiques sont compilés au tableau 16 ci-après alors que les certificats d'analyses apparaissent à l'annexe 8.

Tableau 16. Rapport d'analyse de l'eau de surface du lac Perché

Projet: Problématique de contamination de l'eau par des nitrates - Ville de Métabetchouan	Date de prélèvement: 5 novembre 2025
No.: ATE-25429-01	Stations d'échantillonnage: LPP, LPM-1 et LPS-1

PARAMÈTRES	RÉSULTATS	NORMES ET CRITÈRES D'EAU POTABLE
------------	-----------	----------------------------------

	LPP-1	LPM-1	LPS-1	Conc. max.	Objectifs
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES					
Température extérieure °C	5,0	5,0	5,0	-----	-----
Température de l'eau « in situ » °C	7,9	7,3	6,6	15,0	< 15,0
pH (labo)	6,62	6,55	6,54	6,5 - 8,5	> 6,5 - < 8,5
Odeur « in situ »	Organique	Organique	Organique	-----	-----
Effervescence « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Goût « in situ »	N/A	N/A	N/A	-----	-----
Apparence « in situ »	Teinte jaunâtre	Teinte jaunâtre	Teinte jaunâtre	-----	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	0,16	0,16	0,14	-----	< 0,05
Calcium total mg/L	1,4	1,4	1,3	200	< 75
Carbone organique total mg/L	8,0	7,8	7,7	-----	< 3,0
Conductivité à 25°C (labo) µS/cm	16	15	15	1500	< 1500
Dureté totale (CaCO ₃) mg/L	4,8	4,9	4,6	180	< 120
Fer total mg/L	0,19	0,19	0,19	0,30	< 0,05
Fer dissous mg/L	0,061	0,068	< 0,060	0,30	< 0,05
Fluorures totaux mg/L	0,16	0,18	0,20	1,5	< 1,0
Magnésium total mg/L	0,32	0,33	0,33	150	< 50
Manganèse total mg/L	0,014	0,014	0,014	0,12	< 0,05
Manganèse dissous mg/L	0,00083	0,00093	0,0023	0,12	< 0,05
Nitrites(NO ₂)/Nitrates(NO ₃) (N) mg/L	0,023	0,033	0,022	10,0	< 1,0
Nitrates (NO ₃) (N) mg/L	0,023	0,033	0,022	10,0	< 1,0
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,0020	< 0,0020
Solides totaux dissous mg/L	34	36	46	500	< 500

Tableau 16. Suite

Remarques:

-----: pas analysé; pas de norme ou de critère d'eau potable

normes et critères eau potable: Règlement sur la qualité de l'eau potable (MELCCFP, 2001)
et Recommandations pour la qualité des eaux
(Santé Canada, 2019)

N/A: Non applicable

11.1.2 Description et interprétation des résultats

En référence au tableau 16, les résultats mènent au constat que l'eau constituant le lac Perché présente une qualité qualifiée de « médiocre » en terme d'esthétisme par rapport aux critères organoleptiques et à certains paramètres physico-chimiques analysés. Le 5 novembre 2025, l'eau de surface est caractérisée par une température qui varie en fonction des conditions de l'air ambiant, laquelle augmente progressivement de la surface vers le fond du plan d'eau. L'eau à pH acide présente une teinte jaunâtre, n'émet pas d'effervescence mais dégage une odeur organique attribuable à la décomposition de la matière végétale et animale. De fines particules d'origine organique sont également visibles en suspension dans l'eau, notamment au sein de l'échantillon LPS-1 provenant de la surface. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la qualité douteuse de l'eau en terme de potabilité.

Les fortes teneurs du carbone organique qui excèdent près de trois fois le critère esthétique donnent la teinte jaunâtre à l'eau de surface. Le carbone organique constitue une mesure de la quantité de matières organiques dans l'eau. Le carbone organique est principalement composé de substances humiques ainsi que de matières végétales et animales partiellement dégradées qui résistent à la dégradation microbienne. Les concentrations de carbone organique sont directement associées à la décomposition de la matière organique, laquelle est visible en abondance sur les rives et au sein du plan d'eau. La réaction du carbone organique avec le chlore conduit vers la formation indésirable de sous-produits de la désinfection comme les trihalométhanes (ci-après « THM ») dans les réseaux d'aqueduc. Les substances chimiques associées au THM sont considérées cancérigènes pour l'humain.

Les teneurs de l'azote ammoniacal dépassent environ trois fois l'objectif de qualité fixé à 0,05 mg/L pour l'eau potable. L'azote ammoniacal provient de la dégradation par les micro-organismes de la matière organique qui est présente dans le plan d'eau. Les rejets d'eaux usées ainsi que le ruissellement agricole constituent d'autres sources non négligeables d'azote ammoniacal. Son excès donne un goût désagréable à l'eau tout en favorisant le dégagement d'odeur particulière. La réaction de l'ammoniac avec le chlore mène vers la formation indésirable de sous-produits de la désinfection comme les chloramines dans les réseaux d'aqueduc. Les chloramines altèrent de façon importante la qualité de l'eau potable en provoquant un goût de moisi et de craie. Elles peuvent aussi donner un goût aigre, amer ou salé en menant vers une sensation de bouche sèche. L'eau peut aussi présenter une consistance savonneuse et visqueuse en bouche.

La présence de fer dissous et de manganèse dissous est considérée atypique dans l'eau de surface, alors que les teneurs du fer total sont jugées relativement grandes même si elles ne dépassent pas le critère de qualité. Les valeurs très peu élevées de la conductivité révèlent que l'eau contient un très faible taux de minéralisation; ce qui caractérise normalement l'eau de surface. En ce qui concerne les concentrations de nitrites/nitrates et de nitrates, ces dernières sont très faibles à l'intérieur du lac Perché avec des teneurs qui oscillent entre 0,022 et 0,033 mg/L. Les teneurs très peu élevées sont attribuables à la décomposition de la matière organique qui constitue une source naturelle d'émission dans l'environnement. Il est à noter que les précipitations peuvent contribuer à diluer les concentrations.

Mise à part la température qui augmente progressivement de la surface vers le fond du lac, les concentrations des paramètres physico-chimiques analysés ne varient pas de manière importante avec l'accroissement de la profondeur.

11.2 Qualité de l'eau de la rivière Couchepaganiche:

11.2.1 Échantillonnage et analyse

Le 6 novembre 2025, trois échantillons d'eau de surface ont été recueillis dans la rivière Couchepaganiche, et ce, dans le but de vérifier dans quelle mesure ce cours d'eau peut être à l'origine d'impacts potentiels sur la qualité sectorielle de l'eau souterraine captée par les deux ouvrages P-1 et P-2. En référence à la figure 6 de l'annexe 1, les trois échantillons ont été prélevés en amont (RCPAM-1), à la hauteur (RCPM-1) et en aval (RCPAV-1) du lieu de prélèvement d'eau souterraine municipale, alors que les deux puits soutiraient un débit moyen combiné de 801 L/min (211 GUSPM).

Au site de chaque lieu d'échantillonnage, une bouteille en verre propre et à usage unique était plongée avec précaution dans le cours d'eau en évitant de remuer le fond. Par la suite, l'eau contenue dans la bouteille en verre était transvidée directement dans chacune des bouteilles destinées aux analyses en laboratoire. Le soussigné qui a procédé à l'échantillonnage portait des gants de latex propres et à usage unique afin de minimiser les risques de contamination accidentelle des échantillons d'eau.

Les échantillons ont été recueillis, conservés et transportés selon les procédures et les règles de l'art en la matière afin de minimiser les risques d'altération des propriétés de l'eau brute. Tous les échantillons ont été expédiés au laboratoire agréé « Laboratoire Bureau Veritas inc. » pour l'analyse des paramètres physico-chimiques sélectionnés. Le choix des paramètres analytiques a été déterminé en fonction des impacts potentiels que peuvent avoir les activités anthropiques sur la qualité de l'eau de la rivière Couchepaganiche, et ce, en regard de l'influence possible de l'eau de surface sur la qualité de l'eau souterraine captée par P-1 et P-2.

Les analyses ont été effectuées selon un protocole analytique rigoureux suivant des méthodes normalisées reconnues par le MELCCFP. La température a été mesurée sur place en introduisant un thermomètre directement dans le cours d'eau. La description et l'interprétation des résultats analytiques sont effectuées à l'égard des paramètres pour lesquels il existe des normes de potabilité ou des critères esthétiques de qualité édictés à l'intérieur du RQEP (MELCCFP, 2001) et du RQEC (Santé Canada, 2019). Les résultats analytiques sont compilés au tableau 17 ci-après alors que les certificats d'analyses apparaissent à l'annexe 8.

Tableau 17. Rapport d'analyse de l'eau de surface de la rivière Couchepaganiche

Projet: Problématique de contamination de l'eau par des nitrates - Ville de Métabetchouan	Date de prélèvement: 6 novembre 2025
No.: ATE-25429-01	Stations d'échantillonnage: RCPAM-1, RCPM-1 et RCPAV-1

PARAMÈTRES	RÉSULTATS	NORMES ET CRITÈRES D'EAU POTABLE
------------	-----------	----------------------------------

	RCPAM-1	RCPM-1	RCPAV-1	Conc. max.	Objectifs
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES					
Température extérieure °C	5,2	5,2	5,2	-----	-----
Température de l'eau « in situ » °C	5,7	5,5	5,6	15,0	< 15,0
pH (labo)	7,56	7,56	7,61	6,5 - 8,5	> 6,5 - < 8,5
Odeur « in situ »	Organique	Organique	Organique	-----	-----
Effervescence « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Goût « in situ »	N/A	N/A	N/A	-----	-----
Apparence « in situ »	Teinte jaune	Teinte jaune	Teinte jaune	-----	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	< 0,020	< 0,020	< 0,020	-----	< 0,05
Calcium total mg/L	16	14	16	200	< 75
Carbone organique total mg/L	16	16	15	-----	< 3,0
Conductivité à 25°C (labo) µS/cm	83	82	84	1500	< 1500
Dureté totale (CaCO ₃) mg/L	43	40	43	180	< 120
Fer total mg/L	0,35	0,45	0,35	0,30	< 0,05
Fer dissous mg/L	0,27	0,26	0,26	0,30	< 0,05
Fluorures totaux mg/L	0,16	0,18	0,20	1,5	< 1,0
Magnésium total mg/L	1,0	0,98	1,0	150	< 50
Manganèse total mg/L	0,017	0,032	0,017	0,12	< 0,05
Manganèse dissous mg/L	0,012	0,010	0,011	0,12	< 0,05
Nitrites(NO ₂)/Nitrates(NO ₃) (N) mg/L	0,14	0,14	0,14	10,0	< 1,0
Nitrates (NO ₃) (N) mg/L	0,14	0,14	0,14	10,0	< 1,0
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,0020	< 0,0020
Solides totaux dissous mg/L	89	91	89	500	< 500

Tableau 17. Suite

Remarques:

-----: pas analysé; pas de norme ou de critère d'eau potable

normes et critères eau potable: Règlement sur la qualité de l'eau potable (MELCCFP, 2001)
et Recommandations pour la qualité des eaux
(Santé Canada, 2019)

N/A: Non applicable

11.2.2 Description et interprétation des résultats

En référence au tableau 17, les résultats démontrent que l'eau qui s'écoule dans la rivière Couchepaganiche présente une qualité qualifiée de « médiocre » en terme d'esthétisme par rapport aux critères organoleptiques et à certains paramètres physico-chimiques analysés. Le 6 novembre 2025, l'eau de surface est caractérisée par une température froide qui est influencée par les conditions de l'air ambiant. L'eau à pH alcalin présente une teinte jaune relativement prononcée, n'émet pas d'effervescence mais dégage une odeur organique attribuable à la décomposition de la matière végétale et animale. De fines particules d'origine organique sont également visibles en suspension dans l'eau. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la qualité douteuse de l'eau en terme de potabilité.

Les fortes teneurs du carbone organique qui excèdent cinq fois le critère esthétique donnent la teinte jaune à l'eau de surface. Le carbone organique constitue une mesure de la quantité de matières organiques dans l'eau. Le carbone organique est principalement composé de substances humiques ainsi que de matières végétales et animales partiellement dégradées qui résistent à la dégradation microbienne. Les concentrations de carbone organique sont directement associées à la décomposition de la matière organique, laquelle est visible en abondance sur les rives et au sein du cours d'eau. Tel que mentionné antérieurement, la réaction du carbone organique avec le chlore conduit vers la formation indésirable de sous-produits de la désinfection comme les THM dans les réseaux d'aqueduc.

La présence de fer dissous et de manganèse dissous est considérée atypique dans l'eau de surface, alors que les teneurs du fer total sont jugées importantes en excédant le critère de qualité fixé à 0,30 mg/L. Les valeurs très peu élevées de la conductivité révèlent que l'eau contient un très faible taux de minéralisation; ce qui est considéré typique pour l'eau de surface. En ce qui concerne les concentrations de nitrites/nitrates et de nitrates, ces dernières sont faibles à l'intérieur de l'eau qui chemine dans le secteur des deux puits municipaux avec une teneur similaire de 0,14 mg/L à chaque lieu d'échantillonnage. Les concentrations relativement peu élevées sont attribuables à la décomposition de la matière organique qui constitue une source naturelle d'émission dans l'environnement. Il est à noter que les précipitations peuvent contribuer à diluer les teneurs.

Dans la zone d'influence des deux puits de captage, les concentrations des paramètres physico-chimiques analysés au site de chaque station d'échantillonnage sont relativement stables dans l'eau qui s'écoule dans la rivière Couchepaganiche.

12.0 QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

12.1 Échantillonnage et analyse:

Le 5 novembre 2025, des échantillons d'eau souterraine ont été recueillis au site de chacun des piézomètres de la série « MB » alors que les puits de production P-1 et P-2 soutiraient un débit moyen combiné de 951 L/min (251 GUSPM). En référence à la planche 10 de l'annexe 2, un volume d'eau équivalent à trois fois celui contenu dans chaque cellule piézométrique a été extrait par pompage avant le prélèvement des échantillons d'eau souterraine provenant des piézomètres.

En ce qui concerne les deux puits de production, l'eau souterraine brute a été récoltée à partir d'équipements spécialement aménagés à l'intérieur du poste de production d'eau potable localisé en bordure du 4^e rang. Pendant que les ouvrages P-1 et P-2 soutiraient un débit moyen combiné de 1182 L/min (312 GUSPM) le 5 novembre 2025, l'échantillon a été recueilli après avoir laissé couler l'eau durant au moins une quinzaine de minutes à l'intérieur du bassin illustré sur la planche 11 de l'annexe 2. Le soussigné responsable de l'échantillonnage portait des gants de latex propres et à usage unique afin de limiter les risques de contamination accidentelle des échantillons d'eau.

Le 9 novembre 2025, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés du piézomètre « PZ-3/98 » pendant que les deux ouvrages P-1 et P-2 étaient sollicités à un débit moyen combiné de 978 L/min (258 GUSPM). Les échantillons ont été récoltés après avoir purgé par pompage au moins trois fois le volume contenu dans le piézomètre.

Les échantillons ont été recueillis, conservés et transportés selon les procédures et les règles de l'art en la matière afin de minimiser les risques d'altération des propriétés de l'eau brute. Tous les échantillons ont été expédiés au laboratoire agréé « Laboratoire Bureau Veritas inc. » pour l'analyse des paramètres physico-chimiques sélectionnés. Le choix des paramètres analytiques repose sur la nature des activités anthropiques pratiquées en amont hydraulique des deux puits de captage municipaux. L'analyse des paramètres indicateurs sélectionnés vise notamment à déterminer l'ampleur des impacts potentiels des activités humaines sur la qualité de l'eau souterraine captée par P-1 et P-2.

Les analyses ont été effectuées selon un protocole analytique rigoureux suivant des méthodes normalisées reconnues par le MELCCFP. Au terme de chaque purge, la température de l'eau a été mesurée à l'émergence à l'aide d'un thermomètre. La description et l'interprétation des résultats analytiques sont effectuées à l'égard des paramètres pour lesquels il existe des normes de potabilité ou des critères esthétiques de qualité édictés à l'intérieur du RQEP (MELCCFP, 2001) et du RQEC (Santé Canada, 2019). Les résultats analytiques sont compilés aux tableaux 18 et 19 ci-après, alors que les certificats d'analyses apparaissent à l'annexe 8.

Tableau 18. Rapport d'analyse d'eau souterraine - Ouvrages MB-1, MB-2 et MB-3

Projet: Problématique de contamination de l'eau par des nitrates - Ville de Métabetchouan	Date de prélèvement: 5 novembre 2025
No.: ATE-25429-01	Stations d'échantillonnage: MB-1, MB-2 et MB-3

PARAMÈTRES	RÉSULTATS			NORMES ET CRITÈRES D'EAU POTABLE	
	MB-1	MB-2	MB-3	Conc. max.	Objectifs
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES					
Température extérieure °C	5,0	5,0	5,0	-----	-----
Température de l'eau « in situ » °C	8,1	8,4	8,4	15,0	< 15,0
pH (labo)	7,89	7,90	7,88	6,5 - 8,5	> 6,5 - < 8,5
Odeur « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Effervescence « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Goût « in situ »	N/A	N/A	N/A	-----	-----
Apparence « in situ »	Limpide*	Limpide*	Limpide*	-----	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	0,038	0,060	< 0,020	-----	< 0,05
Calcium total mg/L	140	45	95	200	< 75
Carbone organique total mg/L	5,0	2,9	1,1	-----	< 3,0
Conductivité à 25°C (labo) µS/cm	260	220	560	1500	< 1500
Dureté totale (CaCO ₃) mg/L	430	150	280	180	< 120
Fer total mg/L	52*	15*	0,33	0,30	< 0,05
Fer dissous mg/L	< 0,060	< 0,060	< 0,060	0,30	< 0,05
Fluorures totaux mg/L	0,16	0,18	0,20	1,5	< 1,0
Magnésium total mg/L	21,0	8,2	10,0	150	< 50
Manganèse total mg/L	1,0*	0,46*	0,019	0,12	< 0,05
Manganèse dissous mg/L	0,011	0,25	0,017	0,12	< 0,05
Nitrites(NO ₂)/Nitrates(NO ₃) (N) mg/L	0,17	< 0,020	8,2	10,0	< 1,0
Nitrates (NO ₃) (N) mg/L	0,17	< 0,020	8,2	10,0	< 1,0
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,0020	0,0033	< 0,0020	0,0020	< 0,0020
Solides totaux dissous mg/L	210	300	390	500	< 500

Tableau 18. Suite

Remarques:

*: présence de sédiments très fins en suspension dans l'eau qui peuvent avoir une incidence sur les concentrations de fer total et de manganèse total

-----: pas analysé; pas de norme ou de critère d'eau potable

normes et critères eau potable: Règlement sur la qualité de l'eau potable (MELCCFP, 2001)
et Recommandations pour la qualité des eaux
(Santé Canada, 2019)

N/A: Non applicable

Tableau 19. Rapport d'analyse d'eau souterraine - Ouvrages MB-4, PZ-3/98 et P-1/P-2

Projet: Problématique de contamination de l'eau par des nitrates - Ville de Métabetchouan	Dates de prélèvement: 5 et 9 nov. 2025
No.: ATE-25429-01	Stations d'échantillonnage: MB-4, PZ-3/98 et P-1/P-2

PARAMÈTRES	RÉSULTATS			NORMES ET CRITÈRES D'EAU POTABLE	
	MB-4 (5 nov. 25)	PZ-3/98 (9 nov. 25)	P-1/P-2 (5 nov. 25)	Conc. max.	Objectifs
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES					
Température extérieure °C	5,0	5,0	5,0	-----	-----
Température de l'eau « in situ » °C	8,3	8,1	8,3	15,0	< 15,0
pH (labo)	7,85	7,85	7,81	6,5 - 8,5	> 6,5 - < 8,5
Odeur « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Effervescence « in situ »	Aucune	Aucune	Aucune	-----	-----
Goût « in situ »	N/A	N/A	Minéral	-----	-----
Apparence « in situ »	Limpide*	Limpide*	Limpide	-----	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	< 0,020	< 0,020	< 0,020	-----	< 0,05
Calcium total mg/L	100	67	76	200	< 75
Carbone organique total mg/L	1,1	3,7	1,4	-----	< 3,0
Conductivité à 25°C (labo) µS/cm	590	340	440	1500	< 1500
Dureté totale (CaCO ₃) mg/L	290	180	220	180	< 120
Fer total mg/L	0,33	0,20	< 0,060	0,30	< 0,05
Fer dissous mg/L	< 0,060	< 0,00010	< 0,060	0,30	< 0,05
Fluorures totaux mg/L	0,16	0,18	0,20	1,5	< 1,0
Magnésium total mg/L	9,7	2,5	6,5	150	< 50
Manganèse total mg/L	0,0050	0,46	< 0,0010	0,12	< 0,05
Manganèse dissous mg/L	0,0042	0,000010	< 0,00040	0,12	< 0,05
Nitrites(NO ₂)/Nitrates(NO ₃) (N) mg/L	8,9	0,026	5,3	10,0	< 1,0
Nitrates (NO ₃) (N) mg/L	8,9	0,026	5,3	10,0	< 1,0
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,0020	< 0,0020
Solides totaux dissous mg/L	390	240	280	500	< 500

Tableau 19. Suite

Remarques:

*: présence de sédiments très fins en suspension dans l'eau qui peuvent avoir une incidence sur les concentrations de fer total et de manganèse total

-----: pas analysé; pas de norme ou de critère d'eau potable

normes et critères eau potable: Règlement sur la qualité de l'eau potable (MELCCFP, 2001)
et Recommandations pour la qualité des eaux
(Santé Canada, 2019)

N/A: Non applicable

12.2 Description et interprétation des résultats:

12.2.1 Piézomètre MB-1

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine provenant du piézomètre MB-1 est caractérisée par une température relativement froide de 8,1°C. L'eau souterraine à pH alcalin n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière à l'émergence. L'eau est limpide mais de fines particules de sable fin sont visibles en suspension. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la potabilité non-confirmée de l'eau souterraine à ce point d'échantillonnage.

Les résultats analytiques relatifs au fer total et au manganèse total ne sont pas représentatifs des conditions naturelles. La non représentativité des résultats est attribuable à la présence de sédiments fins en suspension dans l'eau, lesquels viennent influencer les teneur du fer total et du manganèse total à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 µm mène vers l'obtention de concentrations de fer dissous et de manganèse dissous qui sont proches ou inférieures aux limites de détection des appareils de laboratoire.

L'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine est qualifiée de « dure », et ce, en regard de la valeur de la dureté de 430 mg/L qui dépasse un peu plus de deux fois le critère de qualité établi à 180 mg/L. Le terme « dureté » est fréquemment utilisé dans l'évaluation de la qualité de l'eau. La dureté est un paramètre d'ordre esthétique qui n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine. La dureté élevée donne un goût minéral à l'eau souterraine mais ne la rend pas impropre à la consommation. Les principaux problèmes engendrés par la dureté sont l'incrustation, le colmatage, la corrosion, la consommation excessive de savon et la formation de taches et de dépôts sous forme de tartre. Une eau dure rend le coût des usages plus élevé en raison de l'usure prématurée des équipements et de l'entartrage des systèmes de production d'eau.

La dureté peut varier en fonction des conditions locales de l'environnement et de l'influence des activités anthropiques. La dureté se retrouve naturellement dans les eaux et sa teneur est directement liée à la nature des terrains lessivés par l'eau d'infiltration. La dureté de l'eau est une mesure du nombre de cations, principalement de cations bivalents, dissous dans l'eau. La dureté est attribuable à la présence de cations métalliques en solution, tels que les ions calcium, magnésium, strontium, baryum, manganèse, ferreux et aluminium. Ces cations sont associés à un certain nombre d'anions en solution, principalement les anions carbonates, bicarbonates, sulfates, chlorures et silicates. Le calcium et le magnésium dont les concentrations sont relativement élevées sont les principaux ions responsables de la dureté dans l'eau souterraine provenant de MB-1.

La teneur en carbone organique de 5,0 mg/L excède le critère de qualité fixé à 3,0 mg/L. Tel que mentionné antérieurement, le carbone organique constitue une mesure de la quantité de matières organiques dans l'eau. Le carbone organique est principalement composé de substances humiques ainsi que de matières végétales et animales partiellement dégradées qui résistent à la dégradation microbienne. Les concentrations de carbone organique sont directement associées à la décomposition de la matière organique, laquelle vient en partie des activités agricoles qui étaient pratiquées dans le secteur de MB-1. La réaction du carbone organique avec le chlore conduit vers la formation indésirable de sous-produits de la désinfection comme les THM dans les réseaux d'aqueduc.

L'eau souterraine contient une charge minérale modérée avec une valeur de la conductivité de 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Face aux concentrations de nitrites/nitrates et de nitrates de 0,17 mg/L, lesquelles sont comparables à celles mesurées au sein de la rivière Couchepaganiche, les activités agricoles ont un impact qualifié de « mineur » sur la qualité de l'eau souterraine s'écoulant dans le secteur du piézomètre MB-1. Rappelons que les activités agricoles ont cessé dans l'entourage immédiat de MB-1 depuis quelques années.

Sur la base de l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire superficiel d'origine glaciomarine est affectée par des déficiences d'ordre esthétique en regard de la dureté élevée et de la présence en excès de carbone organique.

12.2.2 Piézomètre MB-2

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine prélevée à partir du piézomètre MB-2 est caractérisée par une température relativement froide de 8,4°C et un pH alcalin. L'eau souterraine n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière à l'émergence. L'eau est limpide mais de fines particules de sable fin sont visibles en suspension. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la potabilité non confirmée de l'eau souterraine à ce point d'échantillonnage.

L'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciale est qualifiée de « douce » en regard de la valeur de la dureté de 150 mg/L, laquelle se situe sous le critère de qualité fixé à 180 mg/L. Le résultat analytique relatif au fer total n'est pas représentatif des conditions naturelles. La non représentativité du résultat est attribuable à la présence de sédiments fins en suspension dans l'eau, lesquels viennent influencer le résultat à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 µm mène vers l'obtention d'une concentration de fer dissous inférieure à la limite de détection de l'appareil de laboratoire.

En ce qui concerne le manganèse total, les particules fines en suspension dans l'eau viennent aussi influencer en partie le résultat à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 µm conduit vers l'obtention d'une concentration de manganèse dissous qui excède un peu plus de deux fois la norme de potabilité établie à 0,12 mg/L. Dans le secteur de MB-2, il existe donc une problématique de potabilité de l'eau souterraine face à la présence de manganèse au-delà de la norme prescrite, laquelle est en vigueur depuis le 21 juin 2024.

La teneur de l'azote ammoniacal dépassent légèrement l'objectif de qualité fixé à 0,05 mg/L pour l'eau potable. L'azote ammoniacal provient de la dégradation par les micro-organismes de la matière organique qui est présente dans l'eau souterraine. Les rejets d'eaux usées ainsi que le ruissellement agricole constituent d'autres sources non négligeables d'azote ammoniacal. Son excès donne un goût désagréable à l'eau tout en favorisant le dégagement d'odeur particulière. La réaction de l'ammoniac avec le chlore mène vers la formation indésirable de sous-produits de la désinfection comme les chloramines dans les réseaux d'aqueduc. Les chloramines altèrent de façon importante la qualité de l'eau en provoquant un goût de moisi et de craie. Elles peuvent aussi donner un goût aigre, amer ou salé en menant vers une sensation de bouche sèche. L'eau peut aussi présenter une consistance savonneuse et visqueuse en bouche.

Une concentration de 0,0033 mg/L de phénols dépasse le critère de qualité établi à 0,0020 mg/L. Les phénols proviennent de la décomposition naturelle de la matière organique, notamment celle liée à la matière ligneuse. Réputés très solubles dans l'eau, les phénols sont facilement absorbés par les racines des plantes en culture. Dans un champ agricole, la décomposition des résidus de récolte laissés au sol permet la libération des phénols dans l'environnement. Les phénols proviennent aussi des rejets des usines de fabrication de produits chimiques ainsi que des usines de pâtes et papiers. Lorsqu'en réaction avec le chlore dans un réseau d'aqueduc, les phénols donnent un goût et une odeur désagréables à l'eau de consommation. À des concentrations qui excèdent le critère de qualité, les phénols peuvent avoir des effets sur la santé humaine.

La teneur en carbone organique de 2,9 mg/L se situe très près du critère de qualité fixé à 3,0 mg/L. Le résultat obtenu signifie que l'eau souterraine profonde contient une quantité non négligeable de matières organiques dans le secteur de MB-2. Avec une valeur de la conductivité de 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la charge minérale est modérée dans l'eau souterraine. Les concentrations de nitrites/nitrates et de nitrates sont inférieures à la limite de détection de l'appareil de laboratoire. L'absence de nitrates ne signifie pas pour autant que les activités agricoles n'ont pas eu d'impacts sur la qualité sectorielle de l'eau souterraine face à la présence d'autres types de contaminants associés à la pratique agricole.

Sur la base de l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est affectée par des déficiences d'ordre esthétique en regard de la présence d'azote ammoniacal et de phénols. Considérant les concentrations de manganèse total et dissous qui dépassent la norme, l'eau souterraine du secteur de MB-2 ne peut pas être qualifiée de « potable » au sens réglementaire.

12.2.3 Piézomètre MB-3

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine provenant du piézomètre MB-3 est caractérisée par une température relativement froide de 8,4°C. L'eau souterraine à pH alcalin n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière à l'émergence. L'eau est limpide mais de fines particules de sable fin sont visibles en suspension. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la potabilité non confirmée de l'eau souterraine à ce point d'échantillonnage.

Le résultat analytique relatif au fer total n'est pas représentatif des conditions naturelles. La non représentativité du résultat est attribuable à la présence de sédiments fins en suspension dans l'eau, lesquels viennent influencer la teneur du fer total à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 µm mène vers l'obtention d'une concentration de fer dissous qui est inférieure à la limite de détection de l'appareil de laboratoire. L'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est qualifiée de « dure », et ce, en regard de la valeur de la dureté de 280 mg/L qui dépasse le critère de qualité établi à 180 mg/L. Le calcium et le magnésium sont les principaux ions responsables de la dureté dans l'eau souterraine provenant de MB-3.

Les teneurs de 8,2 mg/L associées aux nitrites/nitrates et aux nitrates n'excèdent pas la norme de potabilité établie à 10,0 mg/L, mais dépassent largement l'objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L. Les résultats révèlent que seuls des nitrates sont présents dans l'eau souterraine prélevée du piézomètre MB-3. La mesure d'une concentration de nitrates qui excède 1,0 mg/L conduit à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine anthropique, telle que l'agriculture pratiquée de manière intensive dans l'entourage de MB-3.

Sur la base de l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est affectée par des déficiences d'ordre esthétique, notamment en regard de la valeur élevée de la dureté totale. De plus, l'eau souterraine contient une charge minérale relativement élevée avec une valeur de la conductivité de 560 µS/cm. La teneur en carbone organique de 1,1 mg/L qui se situe sous le critère de qualité fixé à 3,0 mg/L révèle que l'eau souterraine profonde contient une quantité non négligeable de matières organiques dans le secteur de MB-3. De toute évidence, la teneur élevée des nitrates démontre que les activités agricoles continuent d'avoir des impacts sur la qualité de l'eau souterraine qui circule dans le secteur du piézomètre MB-3, lequel est implanté dans l'axe d'écoulement préférentiel de la nappe profonde.

12.2.4 Piézomètre MB-4

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine échantillonnée au site du piézomètre MB-4 est caractérisée par une température relativement froide de 8,3°C et un pH alcalin. L'eau souterraine n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière à l'émergence. L'eau est limpide mais de fines particules de sable fin sont visibles en suspension. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la potabilité non confirmée de l'eau souterraine à ce point d'échantillonnage.

Le résultat analytique relatif au fer total n'est pas représentatif des conditions naturelles. La non représentativité du résultat est attribuable à la présence de sédiments fins en suspension dans l'eau, lesquels viennent influencer la teneur du fer total à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 µm mène vers l'obtention d'une concentration de fer dissous qui est inférieure à la limite de détection de l'appareil de laboratoire. L'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est qualifiée de « dure », et ce, en regard de la valeur de la dureté de 290 mg/L qui dépasse le critère de qualité établi à 180 mg/L. Le calcium et le magnésium sont les principaux ions responsables de la dureté dans l'eau souterraine provenant de MB-4.

La teneurs de 8,9 mg/L associées aux nitrites/nitrates et aux nitrates n'excèdent pas la norme de potabilité établie à 10,0 mg/L, mais dépassent largement l'objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L. Les résultats révèlent que seuls des nitrates sont présents dans l'eau souterraine prélevée du piézomètre MB-4. Comme mentionné antérieurement, la mesure d'une concentration de nitrates qui excède 1,0 mg/L conduit à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine anthropique, telle que l'agriculture qui a été exercée de manière intensive dans l'entourage de MB-4 et celle qui est encore pratiquée en amont hydraulique.

Considérant l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est affectée par des déficiences d'ordre esthétique, notamment en regard de la valeur élevée de la dureté totale. De plus, l'eau souterraine contient une charge minérale relativement élevée avec une valeur de la conductivité de 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La teneur en carbone organique de 1,1 mg/L qui se retrouve sous le critère de qualité fixé à 3,0 mg/L révèle que l'eau souterraine profonde contient une quantité non négligeable de matières organiques dans le secteur de MB-4. De toute évidence, la teneur élevée des nitrates démontre que les activités agricoles continuent d'avoir des impacts directs sur la qualité de l'eau souterraine qui circule dans le secteur du piézomètre MB-4, lequel est implanté dans l'axe d'écoulement préférentiel de la nappe profonde.

12.2.5 Piézomètre PZ-3/98

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine échantillonnée au site du piézomètre PZ-3/98 est caractérisée par une température relativement froide de 8,1°C. L'eau souterraine à pH alcalin n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière à l'émergence. L'eau est limpide mais de fines particules de sable fin sont visibles en suspension. Quant au goût, ce paramètre organoleptique n'a pas fait l'objet d'une vérification en raison de la potabilité non confirmée de l'eau souterraine à ce point d'échantillonnage.

Les résultats analytiques relatifs au fer total et au manganèse total ne sont pas représentatifs des conditions naturelles. La non représentativité des résultats est attribuable à la présence de sédiments fins en suspension dans l'eau, lesquels viennent influencer les teneurs à la hausse. Le retrait des sédiments fins par filtration sur une membrane de 45 μm mène vers l'obtention de concentrations de fer dissous et de manganèse dissous qui sont inférieures à la limite de détection des appareils de laboratoire.

L'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est qualifiée de « dure », et ce, en regard de la valeur de la dureté de 180 mg/L qui égale le critère de qualité. Le calcium et le magnésium sont les principaux ions responsables de la dureté dans l'eau souterraine provenant de PZ-3/98. La teneur en carbone organique de 3,7 mg/L excède le critère de qualité fixé à 3,0 mg/L. Tel que mentionné antérieurement, le carbone organique constitue une mesure de la quantité de matières organiques dans l'eau. Le carbone organique est principalement composé de substances humiques ainsi que de matières végétales et animales partiellement dégradées qui résistent à la dégradation microbienne. Les concentrations de carbone organique sont directement associées à la décomposition de la matière organique visible dans le secteur du piézomètre aménagé entre la rivière Couchepaganiche et les deux puits de captage municipaux.

Les concentrations de nitrites/nitrates et de nitrates sont très faibles en se situant tout juste au-dessus de la limite de détection de l'appareil de laboratoire. Les teneurs mesurées sont représentatives de la décomposition de la matière organique présente naturellement dans le milieu souterrain.

Considérant l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est affectée par des déficiences d'ordre esthétique, notamment en regard des teneurs relativement élevées de la dureté totale et du carbone organique. De plus, l'eau souterraine contient une charge minérale relativement élevée avec une valeur de la conductivité de 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

12.2.6 Puits P-1 & P-2

D'un point de vue organoleptique, l'eau souterraine captée par les puits de production P-1 et P-2 est caractérisée par une température relativement froide de 8,3°C et un pH alcalin. L'eau souterraine n'émet pas d'effervescence et ne dégage aucune odeur particulière. À l'émergence, l'eau limpide possède un goût qualifié de « minéral ». Ce goût est directement associé à la dureté dont la teneur de 220 mg/L excède le critère de qualité fixé à 180 mg/L. Le calcium et le magnésium sont les principaux ions responsables de la dureté. La conductivité de 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indique que l'eau souterraine qualifiée de « dure » contient une charge minérale relativement élevée.

Les teneurs de 5,3 mg/L associées aux nitrites/nitrates et aux nitrates n'excèdent pas la norme de potabilité établie à 10,0 mg/L, mais dépassent largement l'objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L. Les résultats révèlent que seuls des nitrates sont présents dans l'eau souterraine provenant des deux ouvrages de captage. Tel que mentionné antérieurement, la mesure d'une concentration de nitrates qui excède 1,0 mg/L conduit à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine anthropique, telle que l'agriculture pratiquée de manière intensive en amont hydraulique des deux puits municipaux.

Considérant l'ensemble des résultats analytiques, l'eau souterraine qui circule au sein du dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire est affectée par des déficiences d'ordre esthétique, notamment en regard des valeurs élevées de la dureté et de la conductivité. La teneur en carbone organique de 1,4 mg/L qui se retrouve sous le critère de qualité fixé à 3,0 mg/L révèle que l'eau souterraine profonde contient une quantité non négligeable de matières organiques dans le secteur des deux puits. De toute évidence, la teneur élevée des nitrates démontre que les activités agricoles continuent d'avoir des impacts directs sur la qualité de l'eau souterraine soutirée par P-1 et P-2.

13.0 DISCUSSION SUR LA PROBLÉMATIQUE DE CONTAMINATION DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE PAR DES NITRATES

13.1 Sources d'émission:

Les nitrates qui proviennent de l'oxydation de l'azote sont des ions très répandus et présents de façon naturelle dans l'environnement. La dégradation de la matière organique contribue à libérer de faibles concentrations de nitrates dans l'environnement, lesquelles sont normalement inférieures à 1,0 mg/L dans les eaux. Dans la pratique courante, la mesure d'une teneur en nitrates qui excède l'objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L mène à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine anthropique.

La dégradation des engrais chimiques, du fumier et des pesticides épandus sur les champs agricoles constitue l'une des sources les plus importantes de libération de nitrates dans l'environnement. Les eaux usées domestiques et industrielles, le ruissellement urbain ainsi que les lieux de disposition de matières résiduelles représentent d'autres sources potentielles de production de nitrates d'origine humaine.

L'inventaire sectoriel des activités anthropiques permet de statuer que les activités agricoles pratiquées sur une base intensive constituent la plus importante source d'émission de nitrates en amont hydraulique des puits P-1 et P-2. La mesure d'une teneur en nitrates supérieure à 1,0 mg/L à un site d'échantillonnage donné signifie que les activités agricoles ont un impact direct sur la qualité des eaux souterraines ou de surface. Quant aux autres sources potentielles précitées, elles sont inexistantes ou contribuent à diffuser de très faibles quantités de nitrates, notamment à partir des eaux usées domestiques de quelques résidences incluses au sein de l'aire d'alimentation des deux puits municipaux.

13.2 Effets sur la santé humaine:

L'excès de nitrates dans l'eau de consommation à une concentration égale ou supérieure à la norme de potabilité fixée à 10,0 mg/L peut causer une maladie appelée « méthémoglobinémie », laquelle est associée à la capacité réduite du sang à transporter l'oxygène vital dans les cellules et l'ensemble de l'organisme humain en raison de la diminution du taux d'hémoglobine. Les groupes les plus à risque pour développer la maladie sont les foetus, les nourrissons, les enfants de moins de 12 ans, les femmes enceintes, les sujets présentant un déficit génétique et les personnes sous dialyse péritonéale. Les symptômes chez les nourrissons sont liés à l'apparition de signes de bleuissement autour de la bouche, sur les mains et sur les pieds; ce qui explique le nom couramment attribué du « syndrome du bébé bleu ». Les sujets affectés par la maladie peuvent avoir des troubles respiratoires, des vomissements, des diarrhées, une augmentation de production de la salive, des pertes de conscience et des crises convulsives parfois fatales.

13.3 Infiltration et migration:

En général, une portion des nitrates libérés dans l'environnement ruisselle en surface en direction de milieux récepteurs aquatiques, alors qu'une autre partie s'infiltré directement dans le sol pour aller rejoindre la nappe d'eau. Dans la pratique courante, les nitrates qui proviennent de la dégradation de diverses substances sont considérés comme des éléments indicateurs de contamination, puisqu'ils sont solubles et migrent sensiblement à la même vitesse que l'eau souterraine. La présence de nitrates peut signifier qu'un panache composé de divers produits chimiques progresse en direction du lieu de prélèvement mais à une vitesse inférieure à celle de l'eau souterraine. Le retard dans la progression est contrôlé par différents paramètres, tels que les propriétés physico-chimiques de chaque substance, la réaction des contaminants avec le média de l'aquifère et la synergie entre les contaminants.

À plusieurs endroits autour du lac Saint-Jean, le dépôt de nature silto-argileuse peu perméable présente une extension discontinue au sein de la plaine des Basses-Terres, et ce, tel que démontré à la hauteur et en bordure de la portion aval de l'aire d'alimentation des deux puits de captage. Ainsi, il existe des endroits privilégiés communément appelés des « fenêtres » où l'eau météorique et les contaminants provenant des activités humaines peuvent aisément s'introduire dans le milieu souterrain. Dans le secteur à l'étude, l'infiltration de l'eau météorique et des nitrates générés par les activités agricoles est possible directement à partir de la surface là où le dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire n'est pas recouvert de matériaux silto-argileux. Ailleurs, les contaminants sont entraînés par l'eau qui ruisselle sur l'unité peu perméable avant de rejoindre des zones superficielles perméables permettant l'infiltration dans le milieu souterrain. L'eau chargée ou non de contaminants migre tout d'abord dans la portion non saturée du dépôt granulaire perméable pour ensuite atteindre la nappe libre profonde en amont hydraulique de P-1 et P-2.

Les travaux à caractère hydrogéologique permettent de constater que le socle rocheux sous-jacent au dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire influence et contrôle directement le régime d'écoulement de l'eau souterraine en amont et en aval des deux puits de captage. En suivant la pente naturelle du roc, l'eau souterraine chargée ou non de contaminants se dirige de manière préférentielle vers une dépression majeure qui s'apparente à une ancienne vallée glaciaire enfouie. Cette dépression, laquelle a été façonnée par le passage des glaciers à la hauteur d'un élément structural ou lithologique, se retrouve dans l'axe des piézomètres MB-3 et MB-4 implantés en amont hydraulique des deux puits de captage. Le prolongement de l'ancienne vallée glaciaire n'est pas connu vers le nord-ouest et le nord. L'exécution d'autres forages stratigraphiques vers l'amont hydraulique permettrait de mieux définir l'orientation ainsi que la configuration de la dépression au-delà de la présente zone d'étude. Il est à noter que l'existence de cette dépression n'était pas connue auparavant.

13.4 Répartition des concentrations:

En référence à la figure 16 de l'annexe 1, la répartition particulière des concentrations de nitrates illustre de façon probante l'existence de l'ancienne vallée glaciaire enfouie ainsi que son impact sur le régime d'écoulement de la nappe profonde en amont hydraulique des deux puits de captage. Sous les conditions de pompage qui prévalaient le 5 novembre 2025, les résultats analytiques démontrent que des teneurs en nitrates proches de la norme de potabilité établie à 10,0 mg/L sont présentes dans l'axe d'écoulement préférentiel de l'eau souterraine où sont implantés les piézomètres MB-3 et MB-4. De toute évidence, les activités agricoles continuent d'avoir des impacts sur la qualité de l'eau souterraine, et ce, malgré l'abandon de la pratique agraire dans certains secteurs en amont hydraulique des deux ouvrages de captage. Rappelons que la mesure d'une concentration de nitrates qui excède 1,0 mg/L mène à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine humaine, puisque les teneurs naturelles retrouvées dans l'eau souterraine y sont nettement inférieures.

En passant de 8,9 à 5,3 mg/L, la diminution de la charge en nitrates de 3,6 mg/L entre le piézomètre MB-4 et les deux ouvrages de captage est possible lorsqu'environ 40% du débit total soutiré conjointement par P-1 et P-2 provient d'autres secteurs que celui identifié dans l'axe de l'ancienne vallée glaciaire. Sous les conditions de pompage qui prévalaient lors de la prise des échantillons, la réduction de la concentration de nitrates au lieu de prélèvement est attribuable au phénomène de dilution via deux sources. De l'eau souterraine peu ou pas affectée par les activités agricoles provient des secteurs des piézomètres MB-2 et PZ-3/98, alors que l'eau de la rivière Couchepaganiche contenant relativement peu de nitrates recharge l'aquifère granulaire sous une condition dynamique de pompage. Rappelons que l'enrochement spécialement installé entre le cours d'eau et le lieu de prélèvement facilite la recharge induite de la nappe libre.

Un apport supplémentaire d'eau de surface au sein de l'aquifère granulaire n'est pas souhaitable, car la rivière contient notamment des concentrations élevées de carbone organique et de fer. La réaction du chlore avec le carbone organique en excès peut être responsable de la formation indésirable de THM dans le réseau d'aqueduc, alors que le fer peut affecter l'esthétisme de l'eau en formant des précipités de couleur rougeâtre et en favorisant le développement des biofilms organiques. Devant le lien hydraulique étroit entre les eaux souterraine et de surface, la municipalité devrait normalement être dans l'obligation d'appliquer le protocole ESSIDES afin de déterminer le type de traitement à appliquer à l'eau brute, et ce, en regard de son niveau de vulnérabilité et de sa susceptibilité à la contamination pour certains paramètres indicateurs de contamination microbiologique et physico-chimique.

La concentration élevée de nitrates mesurée au site du piézomètre MB-3 signifie que les activités agricoles contribuent à altérer la qualité de l'eau souterraine autour et en amont de cet ouvrage. L'augmentation substantielle de la teneur en nitrates relevée à l'emplacement du piézomètre MB-4 tend à démontrer que l'arrêt des activités agricoles autour de cet ouvrage n'a pas encore eu d'effets mesurables sur la qualité sectorielle de l'eau souterraine. Par conséquent, les restrictions à imposer ou les interdictions de pratiquer des activités agricoles devraient s'étendre sur une plus grande portion du territoire si l'objectif visé est de réduire davantage les concentrations au lieu de prélèvement.

13.5 Variabilité des concentrations

La compilation des résultats analytiques qui constitue la figure 17 de l'annexe 1 démontre que les concentrations de nitrates varient de 0,21 à 13,30 mg/L au lieu de prélèvement entre le 3 janvier 2022 et le 5 novembre 2025. Pratiquement toutes les teneurs excèdent l'objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L, ce qui signifie que les activités agricoles ont un impact direct sur la qualité sectorielle de l'eau souterraine. La valeur moyenne de 4,80 mg/L se situe près de la limite établie à 5,0 mg/L. Rappelons que le dépassement de cette limite oblige la municipalité à transmettre au MELCCFP un document indiquant les propriétés incluses à l'intérieur de l'aire de protection intermédiaire du lieu de prélèvement, et ce, en vertu des dispositions de l'article 67 du RPEP (MELCCFP, 2014). La norme de potabilité fixée à 10,0 mg/L est dépassée une seule fois le 25 janvier 2025.

La variabilité des concentrations mesurées au lieu de prélèvement est attribuable à différents facteurs. Notons sans s'y limiter, les périodes, les fréquences et les zones d'épandage, la nature des matières fertilisantes épandues, les conditions climatiques, la période d'échantillonnage, le débit de pompage des deux puits ainsi que les niveaux piézométriques. Sans la connaissance de ces informations, il devient alors difficile, voire impossible, de comparer les valeurs entre elles et de faire ressortir des tendances dans le temps. Tous les renseignements relatifs aux facteurs pouvant influencer les résultats devraient être consignés au sein d'un registre au moment de la prise des échantillons d'eau, et ce, si la municipalité désire faire des comparaisons ainsi qu'établir des liens de causalité face à l'obtention de résultats donnés.

À titre indicatif, le débit de pompage devrait avoir une incidence directe sur la teneur des nitrates mesurée au lieu de prélèvement. Par exemple, si l'échantillon est prélevé pendant que le volume extrait est faible, ou lorsque le cycle de pompage a tout juste débuté après un temps d'arrêt prolongé, la concentration de nitrates devrait être relativement faible puisque l'eau soutirée provient principalement de l'entourage immédiat des deux puits. Si l'échantillon est recueilli alors que les deux ouvrages sont en opération depuis un certain temps à un débit élevé, la teneur des nitrates devrait être plus élevée, et ce, en raison de la progression plus importante de l'aire d'influence au sein de la dépression du socle rocheux où sont retrouvées les concentrations les plus grandes.

13.6 Options d'alimentation:

13.6.1 Reconditionnement des puits et mesures coercitives

L'option de poursuivre l'exploitation des puits de production P-1 et P-2 pourrait passer par leur reconditionnement ainsi que par la mise en place de nouvelles mesures coercitives. Le reconditionnement consiste à nettoyer et à réhabiliter les deux ouvrages qui sont en opération continue depuis plus de 25 ans. Toutefois, la trop grande proximité des deux ouvrages rend difficile, voire impossible, le reconditionnement des deux puits avec les techniques usuelles, lesquelles impliquent l'utilisation de produits spécifiques pour déloger les précipités, les particules granulaires ainsi que les biofilms organiques. La possibilité de reconditionner P-1 et P-2 repose sur l'exploitation d'une source d'approvisionnement alternative ou complémentaire, laquelle devrait être implantée à une distance suffisamment grande du lieu de prélèvement actuel.

L'application de nouvelles mesures coercitives pourrait mener à l'abandon de la pratique d'activités agricoles au sein de toute la surface occupée par l'aire d'alimentation des deux ouvrages de captage, et ce, dans l'espoir que les teneurs de nitrates diminuent dans le temps. Rappelons que de telles mesures ont déjà été appliquées directement en amont des deux puits là où les terres sont laissées en friche depuis quelques années. L'extension et l'ampleur des nouvelles mesures à prescrire dépendent d'une connaissance plus approfondie de la configuration de l'aire d'alimentation en amont hydraulique du piézomètre MB-3. Pour ce faire, d'autres forages stratigraphiques complémentaires aménagés chacun en piézomètre doivent être exécutés afin de cibler les zones d'infiltration préférentielle ainsi que de déterminer la dynamique d'écoulement de la nappe libre profonde sur une plus vaste superficie.

De toute évidence, les puits P-1 et P-2 ne sont plus considérés comme ayant été positionnés dans un lieu de moindre impact sur les activités agricoles et l'homogénéité de la pratique agricole si des mesures coercitives élargies doivent être imposées à certains utilisateurs du territoire. Advenant le cas, l'application de cette solution va mener au versement d'importantes compensations monétaires aux agriculteurs touchés. De longues démarches administratives ainsi que des confrontations devant la justice sont à prévoir en cas de désaccords avec les agriculteurs locaux, l'Union des Producteurs Agricoles et/ou la Commission de protection du territoire agricole du Québec (ci-après « CPTAQ »). De plus, il faudra attendre quelques années, voire quelques décennies, avant de constater l'efficacité des mesures, lesquelles ne mèneront pas nécessairement à une amélioration de la qualité de l'eau souterraine à court ou à moyen terme. Enfin, d'autres épisodes de dépassement de la norme de potabilité pourraient survenir en cours d'exploitation, notamment lors des périodes d'étiage saisonnier.

13.6.2 Reconditionnement des puits et traitement de l'eau

L'option de poursuivre l'exploitation des puits de production P-1 et P-2 pourrait également passer par leur reconditionnement suivi par la mise en place d'une filière de traitement pour tenter de réduire les concentrations de nitrates. Le traitement de l'eau souterraine constitue une solution qui ne conduirait pas nécessairement à imposer des mesures coercitives au sein de l'aire d'alimentation.

Les coûts d'immobilisation et d'opération d'une filière de traitement sont très importants, alors que le personnel dédié au fonctionnement des équipements doit posséder des qualifications techniques particulières. Les technologies classiques de traitement sont peu ou pas efficaces pour éliminer les nitrates dans l'eau, alors que celles décrites ci-après peuvent mener à l'obtention de certains résultats selon les débits à traiter et la qualité de l'eau brute.

L'échange ionique constitue un type de traitement qui implique l'emploi d'une résine anionique ayant une affinité sélective pour les ions nitrates. Cependant, les résines ne sont pas spécifiques au seul ion nitrate. En effet, la sélectivité des résines est directement influencée par la présence d'autres anions comme les bicarbonates, les sulfates, les chlorures, etc., lesquels peuvent diminuer l'efficacité du traitement. Le procédé par échange ionique consiste à remplacer les ions nitrates par des ions chlorures. La capacité des résines et la période d'intervalle entre deux régénérations dépendent directement de la qualité de l'eau brute, notamment à l'égard des concentrations de nitrates, de chlorures et de sulfates déjà présentes.

La filtration membranaire constitue un autre type de traitement qui est possible mais uniquement par osmose inverse. Cette technologie permet d'obtenir des résultats satisfaisants lorsque les débits à traiter sont faibles. Des investissements majeurs en immobilisation et des coûts récurrents d'opération importants sont à prévoir pour traiter l'eau souterraine par osmose inverse face au soutirage d'un débit pouvant atteindre 1324 L/min (350 GUSPM) par les deux ouvrages municipaux.

La dénitrification biologique constitue un autre type de traitement qui requiert l'utilisation de micro-organismes particuliers ayant pour fonction de réduire les nitrates en azote gazeux. Ces organismes hétérotrophes exigent la présence d'énergie organique. Puisque le taux de carbone organique est généralement faible dans l'eau souterraine, une base organique comme de l'éthanol, du méthanol ou de l'acide acétique doit être ajoutée dans l'eau à traiter. Du phosphate doit aussi être incorporé en surplus si nécessaire. Une unité d'aération doit être greffée à la filière pour évacuer l'azote gazeux. Des filtres au charbon actif sont requis pour enlever l'excès de carbone organique avant la chloration, et ce, afin de minimiser les risques de génération de sous-produits de désinfection indésirables comme les THM dans le réseau d'aqueduc. La complexité et l'efficacité limitée de cette technologie de traitement rendent son utilisation peu attrayante. Il est à noter que la dénitrification biologique qui s'opère de façon naturelle dans les eaux de surface contenant du carbone organique contribue à réduire les teneurs en nitrates dans l'eau du lac Perché et de la rivière Couchepaganiche en association avec la dilution par les eaux météoriques.

Dans tous les cas, des essais pilotes exhaustifs doivent au préalable être menés dans le but d'évaluer l'applicabilité de chacune des technologies de traitement de l'eau brute, et ce, afin de sélectionner celle qui présente la meilleure efficacité à l'intérieur d'un cadre budgétaire réaliste.

13.6.3 Nouvelle source d'approvisionnement

L'exploitation d'une nouvelle source d'approvisionnement peu à risque face à la contamination d'origine anthropique constitue une solution qui demande aussi des investissements importants pour la recherche et la mise en place d'infrastructures de prélèvement et de distribution. Toutefois, cette option constitue une solution durable et moins coûteuse à long terme si des actions préventives sont mises en application de manière proactive pour préserver la quantité ainsi que la qualité de la ressource.

La recherche d'eau souterraine comporte trois phases d'exécution: 1) la détermination de zones de recherche selon différents critères (phase 1); 2) les travaux exploratoires (phase 2) et; la construction d'un ouvrage de captage ou d'une batterie de puits (phase 3). Le processus de recherche en eau présente toujours un certain niveau d'incertitude. Toutefois, l'incertitude tend à diminuer au fur et à mesure que progresse la recherche, notamment si les travaux exploratoires de la phase 2 permettent de localiser un ou des endroits favorables au captage du volume d'eau souterraine requis pour combler les besoins.

La recherche peut mener vers l'installation d'une nouvelle source sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix ou sur le territoire d'une municipalité voisine. Dans le dernier cas, certains coûts d'immobilisation et d'opération peuvent être partagés si la municipalité voisine bénéficie aussi de l'apport hydrique des infrastructures. La consultation des études antérieures ainsi que l'analyse des informations à caractère hydrogéologique existantes permettent de statuer que des secteurs présentent un potentiel aquifère intéressant sur le territoire de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix à l'égard du débit de conception à satisfaire, lequel est fixé à 1324 L/min (350 GUSPM).

Si possible en fonction du zonage, la nouvelle source d'approvisionnement doit être installée en zone blanche. La mise en place d'un lieu de prélèvement d'eau souterraine est réalisable en zone verte si les installations de captage sont implantées dans un secteur jugé de moindre impact sur les activités agricoles et l'homogénéité de la pratique agraire sur le territoire. Toutefois, des délais administratifs supplémentaires sont à prévoir à l'égard du processus d'analyse de la demande et d'acceptation de la part de la CPTAQ. Il est à noter que l'accord de la part de la CPTAQ est préalable au processus de délivrance par le MELCCFP de l'autorisation ministérielle inhérente à l'exploitation de la nouvelle source de captage d'eau souterraine.

14.0 CONCLUSION ET COMMENTAIRES

Depuis 2018, l'eau souterraine captée par les puits de production dénommés P-1 et P-2 contient des nitrates dont les concentrations moyennes oscillent autour de 5,0 mg/L. Lorsque la teneur a dépassé une seule fois la norme de potabilité fixée à 10,0 mg/L en janvier 2025, la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix a été dans l'obligation de restreindre l'usage de l'eau à des fins de consommation humaine. La même restriction a de nouveau été appliquée lorsqu'une concentration près de la norme de potabilité a été mesurée en février 2026. Rappelons que l'avis de restriction de consommation pour les groupes vulnérables est toujours en vigueur. Face à ses responsabilités, la ville désire orienter ses décisions en matière de production et de distribution d'eau potable sur la base de connaissances plus approfondies des conditions hydrogéologiques qui prévalent autour du lieu de prélèvement.

La présente étude a permis de déterminer le contexte hydrostratigraphique ainsi que le régime d'écoulement de la nappe d'eau souterraine profonde de type « libre » dans le secteur des deux ouvrages de captage. Les informations tirées des forages stratigraphiques démontrent qu'un imposant dépôt granulaire d'origine fluvioglaciaire caractérisé par une épaisseur allant de 28 à 49 m est présent à la hauteur du plateau qui surplombe le lieu de prélèvement. Par endroits, le dépôt granulaire est recouvert par une formation de nature silto-argileuse réputée peu perméable possédant une extension discontinue sur le territoire.

D'intenses activités agricoles sont pratiquées sur le dessus du plateau où des matières fertilisantes ainsi que des pesticides sont épandus sur une base saisonnière. La dégradation des produits chimiques et des engrais de ferme a notamment pour conséquence de libérer des nitrates, lesquels peuvent s'infiltrer aisément dans le milieu souterrain aux endroits où le dépôt peu perméable est absent en surface. Après avoir migré dans la portion non saturée du dépôt granulaire, les nitrates atteignent la nappe d'eau souterraine située à une profondeur de plus de 31 m à la base de la formation d'origine fluvioglaciale.

Les essais hydrauliques démontrent que la conductivité hydraulique de la portion saturée du dépôt granulaire constitué de sable et gravier contenant des proportions variables de cailloux et de blocs fluctue entre $9,1 \times 10^{-5}$ et $3,1 \times 10^{-3}$ m/s, correspondant à une moyenne de $8,8 \times 10^{-4}$ m/s. Sous une condition statique, l'eau souterraine profonde se déplace globalement du nord-ouest vers le sud-est sous des gradients hydrauliques horizontaux qui oscillent entre 0,25 et 1,3% en amont hydraulique des puits P-1 et P-2. Sous de tels gradients, et considérant une porosité efficace évaluée à 30%, la vitesse horizontale de l'eau souterraine varie entre 231 et 1202 m/an.

La vitesse la plus grande de l'eau souterraine est mesurée en bordure de la rivière Couchepaganiche où la nappe devient une nappe d'accompagnement. Sur une distance de ± 50 m de la rive, l'eau souterraine fait partie intégrante du régime hydrologique du cours d'eau en raison du lien hydraulique étroit qui les unit. Ailleurs au sein de la zone d'étude, la nappe profonde n'est pas en lien hydraulique direct avec le lac Perché ni avec la nappe libre peu profonde rencontrée uniquement au site du piézomètre MB-1. Entre la rivière Couchepaganiche et les deux ouvrages de captage, l'eau souterraine se dirige vers le nord-ouest sous un gradient hydraulique horizontal de 0,39% et à une vitesse horizontale de 360 m/an. Dans ce secteur, l'empierrement facilite l'infiltration induite de l'eau de surface vers la nappe libre rencontrée à une faible profondeur.

Sous une condition dynamique, l'exploitation des puits a pour effet de modifier la piézométrie de la nappe d'eau souterraine profonde à l'intérieur de l'aire d'influence, laquelle prend une forme ovoïde idéalisée autour des deux ouvrages. À un débit de pompage moyen combiné de 817 L/min (216 GUSPM), le rayon d'influence s'étend vers l'amont hydraulique jusqu'au site des piézomètres MB-2 et MB-3. En cours d'exploitation, l'envergure de l'aire d'influence et la vitesse de l'eau souterraine varient en fonction du débit de pompage.

Le socle rocheux sous-jacent au dépôt granulaire d'origine fluvioglaciale influence et contrôle directement le régime d'écoulement en amont et en aval des deux puits de captage. En amont de P-1 et P-2, l'eau souterraine chargée ou non de contaminants se dirige de manière préférentielle vers une dépression majeure qui s'apparente à une ancienne vallée glaciaire enfouie. Cette dépression qui se retrouve dans l'axe des piézomètres MB-3 et MB-4 agit comme une canalisation permettant l'emmagasinement puis l'écoulement préférentiel de l'eau souterraine et des contaminants vers les deux puits de captage. Sans l'exécution de forages stratigraphiques complémentaires au-delà de la position du piézomètre MB-3, l'extension et l'orientation de la dépression vers le nord-ouest et le nord demeurent actuellement inconnues. À cet égard, la configuration de l'aire d'alimentation, laquelle correspond à l'aire de protection éloignée des deux puits de captage, est intimement liée à la position et à l'orientation de la dépression du socle rocheux.

En combinant une solution analytique avec des éléments cartographiques, l'aire de protection éloignée associée à P-1 et P-2 s'étend vers l'amont hydraulique sur une distance évaluée à 1320 m sous un débit de pompage moyen combiné de 817 L/min (216 GUSPM). Il est à noter que d'intenses activités agricoles sont pratiquées sur une partie importante de l'aire de protection éloignée. Sous la même condition de pompage, l'application d'une autre solution analytique démontre que l'aire de protection intermédiaire bactériologique possède une distance de 263 m en amont hydraulique des deux puits de captage. En ce qui concerne l'aire de protection intermédiaire virologique, cette dernière s'étend sur une distance évaluée à 550 m vers l'amont. Des activités agricoles sont toujours exercées au sein de l'aire de protection intermédiaire, alors que certaines portions des terres ont été mises en friche depuis l'application de mesures coercitives par la ville.

En fonction de la profondeur du toit de la nappe d'eau souterraine, le niveau de vulnérabilité à la contamination de l'aquifère granulaire est qualifié « d'élevé » à l'intérieur de l'aire de protection immédiate des deux puits, alors qu'il est évalué à « moyen » au sein des aires de protection intermédiaire et éloignée. La présence de nitrates à des concentrations qui se situent près de la norme de potabilité au site des piézomètres MB-3 et MB-4 indique que l'aquifère granulaire à nappe libre est réputé vulnérable à la contamination.

La diminution des teneurs en nitrates au lieu de prélèvement signifie que de l'eau non contaminée ou peu chargée en nitrates vient diluer les concentrations qui sont pourtant supérieures à 8,0 mg/L dans l'axe des piézomètres MB-3 et MB-4 implantés dans la dépression du socle rocheux. La dilution est possible par le biais de l'eau souterraine qui circule dans l'entourage des piézomètres MB-2 et PZ-3/98. La recharge induite de l'aquifère par l'eau de la rivière Couchepaganiche contribue aussi à diluer les teneurs, tout comme l'infiltration sectorielle de l'eau météorique associée aux épisodes pluvieux et à la fonte de la neige.

Sur la base des conditions qui sévissaient le 5 novembre 2025, le maintien dans le temps d'une valeur moyenne de $\pm 5,0$ mg/L de nitrates est possible si l'apport externe d'eau peu chargée de contaminants constitue environ 40% de tout le débit extrait par les deux puits de captage. Face à des contributions plus faibles d'eau peu chargée, les concentrations les plus élevées de nitrates dans l'eau de consommation devraient normalement être mesurées durant les périodes d'étiage saisonnier comme ce fut le cas en janvier 2025 et en février 2026. Il est à noter que des facteurs comme les périodes et les zones d'épandage, la nature des produits épandus, les conditions climatiques, la période d'échantillonnage, le débit de pompage des deux puits ainsi que les niveaux piézométriques peuvent venir influencer les résultats. Sans l'acquisition de ces informations, il n'est pas possible d'établir un lien de causalité spécifique ou de faire des comparaisons entre les résultats.

L'ensemble des informations à caractère hydrogéologique acquises par le biais des présents travaux devrait permettre à la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix d'orienter certaines de ses décisions en matières de production et de distribution d'eau potable. Face à ses obligations, le choix de la meilleure option par la ville devra reposer sur l'évaluation des avantages et des désavantages en terme de « coût/bénéfice ».

Comme première option, la conservation du lieu de prélèvement passe par l'imposition de mesures coercitives visant à restreindre ou à interdire la pratique d'activités agricoles sur une plus grande superficie dans l'espoir de voir diminuer les concentrations dans le temps. Toutefois, des déboursés importants sont à prévoir en termes d'études hydrogéologiques complémentaires à réaliser et de compensations monétaires à consentir aux agriculteurs touchés. Dans le dernier cas, des confrontations devant la justice sont possibles si des désaccords persistent entre les parties prenantes.

La deuxième option qui consiste à traiter l'eau souterraine provenant des puits P-1 et P-2 ne mènerait pas nécessairement à imposer des mesures coercitives sur une plus grande superficie du territoire agricole. Toutefois, des études de faisabilité exhaustives doivent être réalisées au préalable afin de sélectionner la technologie qui permettrait de réduire suffisamment les concentrations de nitrates dans un cadre budgétaire raisonnable pour les contribuables.

La troisième option consiste à rechercher et à exploiter une autre source d'alimentation qui serait moins vulnérable face au risque de contamination par les activités humaines, notamment les activités agricoles qui constituent une activité économique importante pour la région de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. La recherche en eau souterraine qui peut être menée sur le territoire municipal ou sur un territoire voisin comporte un certain degré d'incertitude, et ce, tant et aussi longtemps que les travaux n'ont pas permis de localiser un secteur où le potentiel aquifère est suffisamment élevé pour combler les besoins.

Il est à noter que la mise en oeuvre de la première ou de la deuxième option impliquant la poursuite de l'exploitation des ouvrages P-1 et P-2 obligerait la ville à procéder au nettoyage et à la réhabilitation des deux puits. À cet égard, l'analyse préliminaire de certaines données piézométriques tend à démontrer une baisse du rendement des ouvrages dans le temps, et ce, en raison du colmatage progressif des crépines par des précipités chimiques, des particules granulaires et/ou des biofilms organiques. Rappelons que les deux ouvrages de captage n'ont jamais été reconditionnés depuis leur mise en opération il y a plus de 25 ans. D'un point de vue pratique, le reconditionnement pourrait s'avérer difficile, voire impossible, à réaliser au moyen d'une technique adaptée compte tenu de la trop grande proximité des deux puits. L'applicabilité et la réussite du reconditionnement passe par l'exploitation d'une source d'approvisionnement alternative, laquelle doit être implantée à une distance suffisamment grande du lieu de prélèvement actuel.

15.0 RECOMMANDATIONS

15.1 Avant-propos:

Les recommandations énumérées ci-après sont élaborées en fonction des résultats des travaux de terrain, de l'analyse des informations géoscientifiques disponibles et du cadre législatif en vigueur en matière de captage d'eau souterraine et de distribution d'eau potable. Les recommandations sont regroupées en fonction des trois options qui s'offrent à la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix pour assurer la fourniture pérenne d'une eau potable de qualité aux usagers.

15.2 Conservation du lieu de prélèvement et application de mesures coercitives:

- 1- Cibler un endroit favorable à l'exploitation d'un nouveau puits de captage dénommé « P-3 », lequel devra être aménagé à une distance d'au moins 100 m du lieu de prélèvement actuel.
- 2- En relation avec la recommandation no.1, réaliser une étude hydrogéologique complète en vue d'obtenir l'autorisation ministérielle permettant l'exploitation du nouvel ouvrage P-3.
- 3- Après la réalisation des recommandations no.1 et 2, procéder au nettoyage et à la réhabilitation des ouvrages P-1 et P-2 au moyen d'une technique adaptée aux conditions de salissage et de colmatage de chaque crépine préalablement identifiées avec une géocaméra submersible, et ce, dans le but de déloger les précipités chimiques, les particules granulaires et/ou les biofilms organiques.

- 4- Répertoire et vérifier la condition des piézomètres qui ont été mis en place lors de la réalisation des études hydrogéologiques antérieures, puis procéder à la réalisation de travaux correctifs advenant des déficiences liées à leur mauvaise étanchéité ou à leur accessibilité (e.g.: hauteur de margelle insuffisante, absence d'un couvercle étanche, absence d'un cadenas, bris, etc.).
- 5- Sur une base routinière, vérifier l'état de la clôture métallique qui ceinture l'aire de protection immédiate, puis procéder aux réparations qui s'imposent advenant le bris de certaines sections.
- 6- En relation avec la recommandation no.5, procéder régulièrement à la coupe mécanique des arbres et des repousses arbustives qui empiètent sur la clôture ou qui risquent de l'endommager.
- 7- Réaliser une étude hydrogéologique complémentaire en amont du piézomètre MB-3 afin de connaître le contexte hydrostratigraphique et de préciser le régime d'écoulement de la nappe libre profonde ainsi que la configuration et l'envergure de l'aire d'alimentation des puits P-1 et P-2: cette recommandation nécessite la mise en place de piézomètres complémentaires.
- 8- Élaborer et appliquer un programme de suivi de la qualité de l'eau souterraine par l'échantillonnage de tous les piézomètres et des puits de captage dans le but de vérifier l'efficacité des mesures coercitives face à l'évolution des concentrations des nitrates dans le temps.

- 9- En relation avec la recommandation no.8, procéder à l'échantillonnage de l'eau souterraine des puits de captage et des piézomètres au moins une fois par mois: la fréquence pourra diminuer suite à l'obtention de résultats jugés acceptables confirmant la baisse pérenne des concentrations des nitrates.
- 10- À partir des puits P-1 et P-2, appliquer le protocole ESSIDES dans le but de classer le lieu de prélèvement et de déterminer le niveau de traitement microbiologique à appliquer en fonction de l'influence de l'eau de surface sur la qualité bactériologique et virologique de l'eau souterraine.
- 11- Mandater un professionnel qui aura la tâche d'évaluer les déboursés que pourrait représenter le versement de compensations monétaires aux agriculteurs touchés dans la cadre de l'application de mesures coercitives visant à restreindre ou à interdire la pratique d'activités agricoles au sein de toute la superficie couverte par l'aire d'alimentation de tous les ouvrages de captage.

15.3 Conservation du lieu de prélèvement et traitement de l'eau souterraine:

- 12- Cibler un endroit favorable à l'exploitation d'un nouveau puits de captage dénommé « P-3 », lequel devra être aménagé à une distance d'au moins 100 m du lieu de prélèvement actuel.
- 13- En relation avec la recommandation no.12, réaliser une étude hydrogéologique complète en vue d'obtenir l'autorisation ministérielle permettant l'exploitation du nouvel ouvrage P-3.
- 14- Après la réalisation des recommandations no.12 et 13, procéder au nettoyage et à la réhabilitation des ouvrages P-1 et P-2 au moyen d'une technique adaptée aux conditions de salissage et de colmatage de chaque crépine préalablement identifiées avec une géocaméra submersible, et ce, dans le but de déloger les précipités chimiques, les particules granulaires et/ou les biofilms organiques.
- 15- Répertorier et vérifier la condition des piézomètres qui ont été mis en place lors de la réalisation des études hydrogéologiques antérieures, puis procéder à la réalisation de travaux correctifs advenant des déficiences liées à leur mauvaise étanchéité ou à leur accessibilité (e.g.: hauteur de margelle insuffisante, absence d'un couvercle étanche, absence d'un cadenas, bris, etc.).
- 16- Sur une base routinière, vérifier l'état de la clôture métallique qui ceinture l'aire de protection immédiate, puis procéder aux réparations qui s'imposent advenant le bris de certaines sections.

- 17- En relation avec la recommandation no.16, procéder régulièrement à la coupe mécanique des arbres et des repousses arbustives qui empiètent sur la clôture ou qui risquent de l'endommager.
- 18- Mandater une firme spécialisée qui aura la tâche d'analyser la faisabilité de traiter l'eau souterraine soutirée par les puits de captage en y incluant les coûts d'immobilisation et d'opération associés à chacune des technologies proposées.

15.4 Exploitation d'une nouvelle source d'approvisionnement:

- 19- Mandater une firme spécialisée en hydrogéologie qui aura la tâche d'élaborer un programme de recherche en eau souterraine comprenant la réalisation des différentes phases, et ce, en vue d'implanter et d'exploiter un nouveau lieu de prélèvement dans un secteur jugé peu vulnérable face aux risques de contamination par les activités anthropiques pratiquées sur le territoire.
- 20- En relation avec la recommandation no.19, mandater une firme spécialisée qui aura la tâche d'évaluer les coûts de raccordement et d'exploitation de la nouvelle source d'alimentation en fonction de sa localisation par rapport aux infrastructures de production hydriques en place.

16.0 PERSONNEL

Les travaux de terrain ont été supervisés et coordonnés par M. Christian Denis, ing. M.Sc.A. ingénieur senior en hydrogéologie et président de la firme « Experts-Conseils AquaTer-Eau inc. ». Monsieur Denis a également rédigé le présent rapport qui englobe l'ensemble des données géoscientifiques colligées et interprétées dans le cadre de la caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles.

Experts-Conseils AquaTer-Eau inc.



Christian Denis, ing. M.Sc.A.
Ingénieur senior en hydrogéologie

17.0 BIBLIOGRAPHIE

- AGRICULTURE CANADA (1978). Inventaire des terres du Canada: Les possibilités agricoles des sols. Feuillet 32A. Direction générale des terres.
- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H. & al. (1987). A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Rapport no. EPA-600/2-87-035. National Water Well Association, Ohio. 455 pages.
- AKIFER GENIE-CONSEIL (2021). Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Rapport technique - Analyse de la vulnérabilité de la source pour les prélèvements d'eau souterraine no.X0010019-2 et X0010019-3. Dossier no.20212-101. 112 pages.
- BANTON O. & BANGOY M.L. (1997). Hydrogéologie: multiscience environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec AUPELF. 460 pages.
- BEAR J. (1979). Hydraulics of groundwater. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, USA.
- BEAR J. & JACOBS M. (1965). On the movement of water bodies injected into aquifer. Journal of Hydrology, 3: 37-57.
- BENOIT F.-W. & VALIQUETTE G. (1971). Géologique de la région du Lac Saint-Jean (partie sud). Rapport géologique no.140. Ministères des Richesses Naturelles, Direction générale des mines, Service de l'exploration géologique.
- CERM-PACES. (2013). Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- CERM-PACES. (2013). Atlas des eaux souterraines du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- CISHAHAYO E. (1995). Modélisation du régime hydrologique du bassin versant de Rwegura (Burundi): Évaluation de la contribution des écoulements souterrains. Institut de National de Recherche Scientifique (INRS-Eau). 92 pages.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (2010). Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux. 1717 pages.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (2010). Recommandations canadiennes pour la qualité des sols - Environnement et santé humaine. 33 pages.
- COOPER H.H. Jr. & JACOB C.E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Transactions, American Geophysical Union, 27(4): 526-534.
- DAIGNEAULT R.A., COUSINEAU P.A., LEDUC E., BEAUDOIN G., MILETTE S., HORTH N., ROY D.W., LAMOTHE M. & ALLARD G. (2011). Cartographie des formations superficielles réalisée dans le territoire municipalisé du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec) entre 2009 et 2011. Rapport final, ministère des Ressources naturelles, GM-65970. 44 pages.
- DARCY H. (1856). Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, V. Dalmont, 674 pages.
- DcCOM AUTOMATION INC. (2025). Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Données de pompage du 1^{er} octobre au 1^{er} décembre 2025.
- DECELLES A.-M., FERLATTE M., TRAMBLAY Y. & RUIZ J. (2019). Protéger les sources municipales d'eau souterraine et répondre aux exigences du RPEP. Atelier d'échange de connaissances, cahier du participant. Trois-Rivières, Réseau Québécois sur les eaux souterraines.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- DOMENICO P.A. & SCHWARTZ F.W. (1990). Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons inc.. 824 pages.
- DRISCOLL F.G. (1987). Groundwater and Wells - Second edition. Johnson Division. 1089 pages.
- DUNNE T. & LEOPOLD L.B. (1978). Water in Environmental Planning. W.H. Freeman, San Francisco, 818 pages.
- DUPUIS J. (1863). Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts à travers les terrains perméables. 2e édition, Dunot, Paris. 304 pages.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2025). Statistiques climatiques de la station Lac-Ste-Croix no.7067658 de 1971 à 2025. Site internet.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2025). Statistiques climatiques de la station Saguenay-Portage-des-Roches no.7066750 de 2010 à 2025. Site internet.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2025). Statistiques climatiques de la station Saint-Ambroise no.7066820 de 2010 à 2025. Site internet.
- EPA (1987). Guidelines for delineation of wellhead protection areas. PB93-215861/XAD, report EPA/440/5-93/001, Office of Ground-Water Protection, U.S. Environmental Protection Agency, USA.
- FETTER C.W. (1988). Applied Hydrogeology. Second Edition. Merrill Publishing Company. University of Wisconsin.
- FRÉCHETTE R. (1988). Étude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines face au risque de contamination engendré par l'usage des pesticides. Mémoire de maîtrise, Institut national de la recherche scientifique, Québec.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- FREEZE R.A. & CHERRY J.A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewoods Cliffs, New Jersey USA, 604 pages.
- GRUBB S. (1993). Analytical model for estimation of steady-state capture zones of pumping wells in confined and unconfined aquifers.
- HEALY R.W. (2010). Estimating groundwater recharge. US Geological Survey. Cambridge University Press. 245 pages.
- HEALY R.W. & COOK P.G. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, vol.10, no.1, p. 91-109.
- INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (2001). Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère. Rapport RG-273. 89 pages.
- JACOB C.E. (1963). Correction of drawdowns caused by a pumped well tapping less than the full thickness of an aquifer. In: Bentl, R.: Methods of determining permeability, transmissivity and drawdown. U.S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1536-I: 272-282.
- JOLICOEUR M. (1998). Corporation municipale du village de Métabetchouan - Rapport d'étude hydrogéologique - Recherche en eau souterraine. 68 pages.
- JOLICOEUR M. (1998). Municipalité de Métabetchouan - Recherche en eau souterraine - Aménagement de piézomètres - Rapport d'étape. 10 pages.
- JOLICOEUR M. (1997). Municipalité de Métabetchouan - Recherche en eau souterraine - Rapport d'étape. 13 pages.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- KRUSEMAN G.P. & RIDDER N.A. (1979). Analysis and evaluation of pumping test data. Bulletin no.11. International institute for land reclamation and improvement. 200 pages.
- LAURIN A.F. & SHARMA K.N.M. (1975). Géologie de la région des rivières Mistassini, Péribonka et Saguenay. Rapport géologique no.161, Ministère des richesses naturelles du Québec.
- LEMOINE B. (1972). Utilisation comparée des formules de Thornthwaite, Turc mensuelle et Turc annuelle pour le calcul de l'évapotranspiration potentielles et de l'évapotranspiration réelle moyenne - Application à une sélection de points répartis dans le monde. Ministère du développement industriel et scientifique, département géologie de l'aménagement et hydrogéologie du BRGM de France. 22 pages.
- LLAMAS J. (1985). Hydrologie générale: principes et applications. Éditions Eska S.A.R.L., 487 pages.
- MELCCFP (2025). Système d'information hydrogéologique (SIH). Site internet.
- MELCCFP (2025). Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec. Compilation des données de la station piézométrique no.06140001 entre 2010 et 2025.
- MELCCFP (2024). Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées - Chapitre Q-2, r.22 - Mise à jour du 1^{er} juin 2024. 98 pages.
- MELCCFP (2024). Loi sur la Qualité de l'Environnement - Chapitre Q-2 - Mise à jour de décembre 2023. 178 pages.
- MELCCFP (2018). Programme pour une protection accrue des sources d'eau potable - Cadre normatif. 22 pages.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- MELCCFP (2016). Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec. 183 pages.
- MELCCFP (2014). Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection - Chapitre Q-2, r.35.2. Mise à jour du 1^{er} juin 2024. 50 pages.
- MELCCFP (2011). Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales - Cahier no.3 - Échantillonnage des eaux souterraines.
- MELCCFP (2011). Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains. Chapitre Q-2, r.37. 46 pages.
- MELCCFP (2010). Guide d'interprétation technique du Règlement sur le captage de l'eau souterraine (Q-2, r. 1.3). Direction des politiques de l'eau. Service de l'aménagement et des eaux souterraines.
- MELCCFP & CERM (2006). Outils de détermination d'aires d'alimentation et de protection de captages d'eau souterraine. Seconde édition. 203 pages.
- MELCCFP (2003). Guide de caractérisation des terrains. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec. 130 pages.
- MELCCFP (2002). Règlement sur le captage des eaux souterraines. L.R.Q. c. Q-2, a.31. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec. 124 pages.
- MELCCFP (2001). Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec.
- MELCCFP (2001). Règlement sur la qualité de l'eau potable. L.R.Q. c. Q-2, a.31. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- MELCCFP (2001). Guide de conception des installations de production d'eau potable. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec.
- MELCCFP (1999). Autorisation - Municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Alimentation en eau potable - Puits lot 41, rang IV. Autorisation ministérielle no.7311-02-01-9332020-1162780. 4 pages.
- MELCCFP (1999). Guide des essais de pompage et leurs interprétations. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec. 156 pages.
- MELCCFP (1980). Directive sur le captage et la distribution de l'eau (Directive 001). Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec.
- MERN (1991). Carte des dépôts de surface 32A08 (Métabetchouan-Lac-à-la-Croix). Direction de l'aménagement de la forêt, service de l'inventaire forestier. 1 feuillet.
- MUSY A. & HIGY C. (1998). Hydrologie appliquée. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Office fédéral de l'éducation et de la science/Suisse, no 96.01. Éditions HGA, Bucarest.
- OLSSON T. (1980). Ground-water-level fluctuations as a measure of the effective porosity and groundwater recharge. Sveriges Geologiska Undersökning, Uppsala (Sweden). Rapporter och meddelanden nr.21. 48 pages.
- RAYMOND R., MAILLOUX A. & DUBÉ A. (1965). Pédologie de la région du Lac Saint-Jean. Bulletin no.11. Ministère de l'Agriculture et de la Colonisation du Québec.
- SANTÉ CANADA (2019). Recommandations pour la qualité des eaux au Canada. CCME, Ottawa. 302 pages.

17.0 BIBLIOGRAPHIE (suite)

- SCHÖELLER H. (1962). Les eaux souterraines. Masson & Cie, Paris. 642 pages.
- THEIS C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union, 2, pp. 519-524.
- THIEM G. (1906). Hydrologische Methoden. Gebhardt, Leipzig, 56 pages.
- THORNTHWAITE C.W. & MATHER J.R. (1955). The Water Balance. Laboratory of Climatology, publication no.8, Centerton, NJ.
- TODD D.K. (1980). Groundwater hydrology. Second edition. John Wiley & sons. University of California, Berkeley, USA.
- TREMBLAY G. & LASALLE P. (1978). Dépôts meubles - Saguenay Lac St-Jean. Rapport géologique no. RG-191, Ministère des richesses naturelles du Québec.
- US DEPARTMENT OF THE INTERIOR (1985). Ground Water Manual - A Water Resources Technical Publication. Bureau of Reclamation.
- VILLE DE MÉTABETCHOUAN-LAC-À-LA-CROIX (2025). Compilation des résultats analytiques relatifs aux nitrites/nitrates de 2022 à 2025.
- WALTON W.C. (1962). Selected analytical methods for well and aquifer evaluation. Illinois State Water Survey Bull., no.49. 81 pages.

ANNEXE 1

Figures

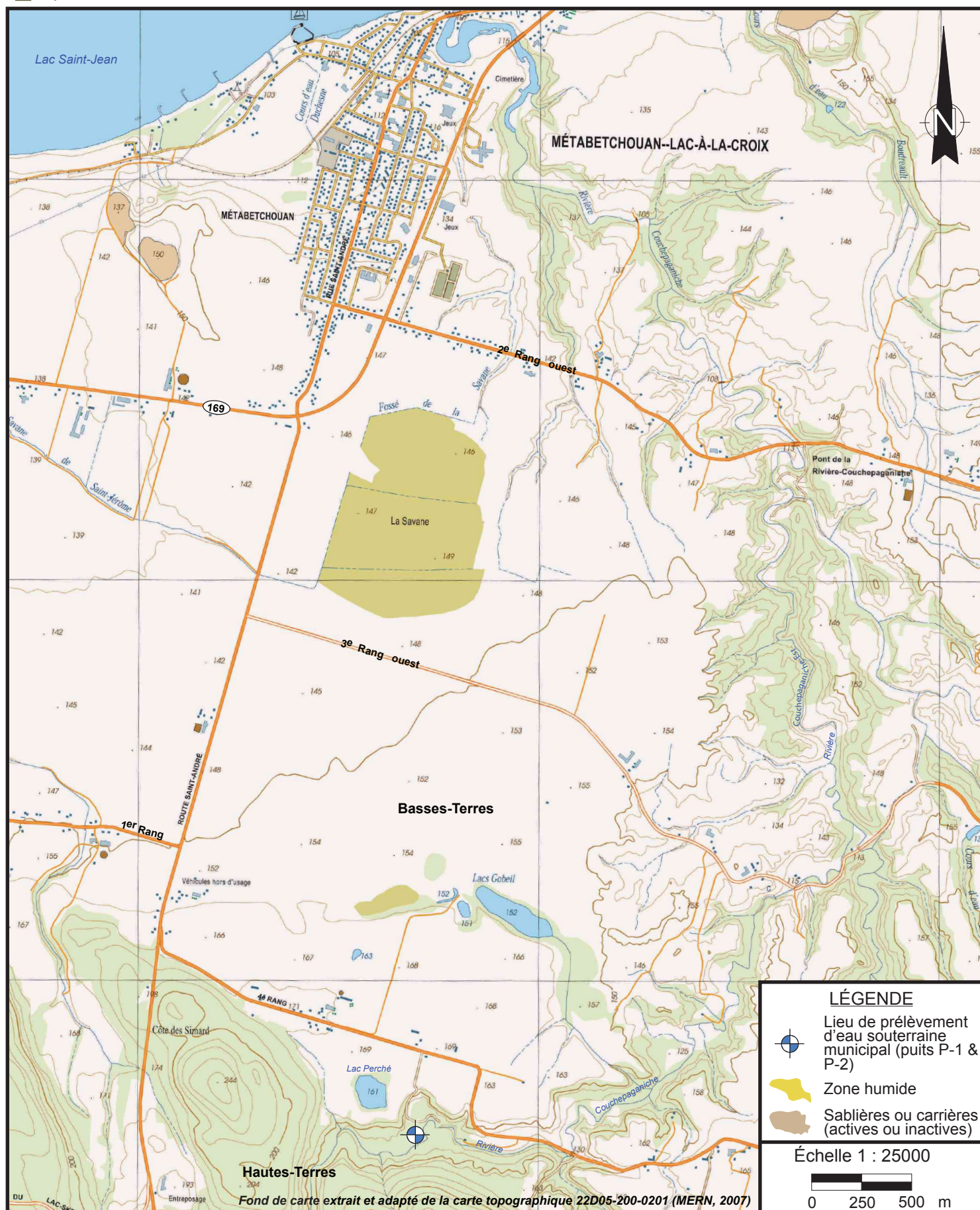


Figure 1. Localisation de la ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et du lieu de prélèvement d'eau souterraine municipal

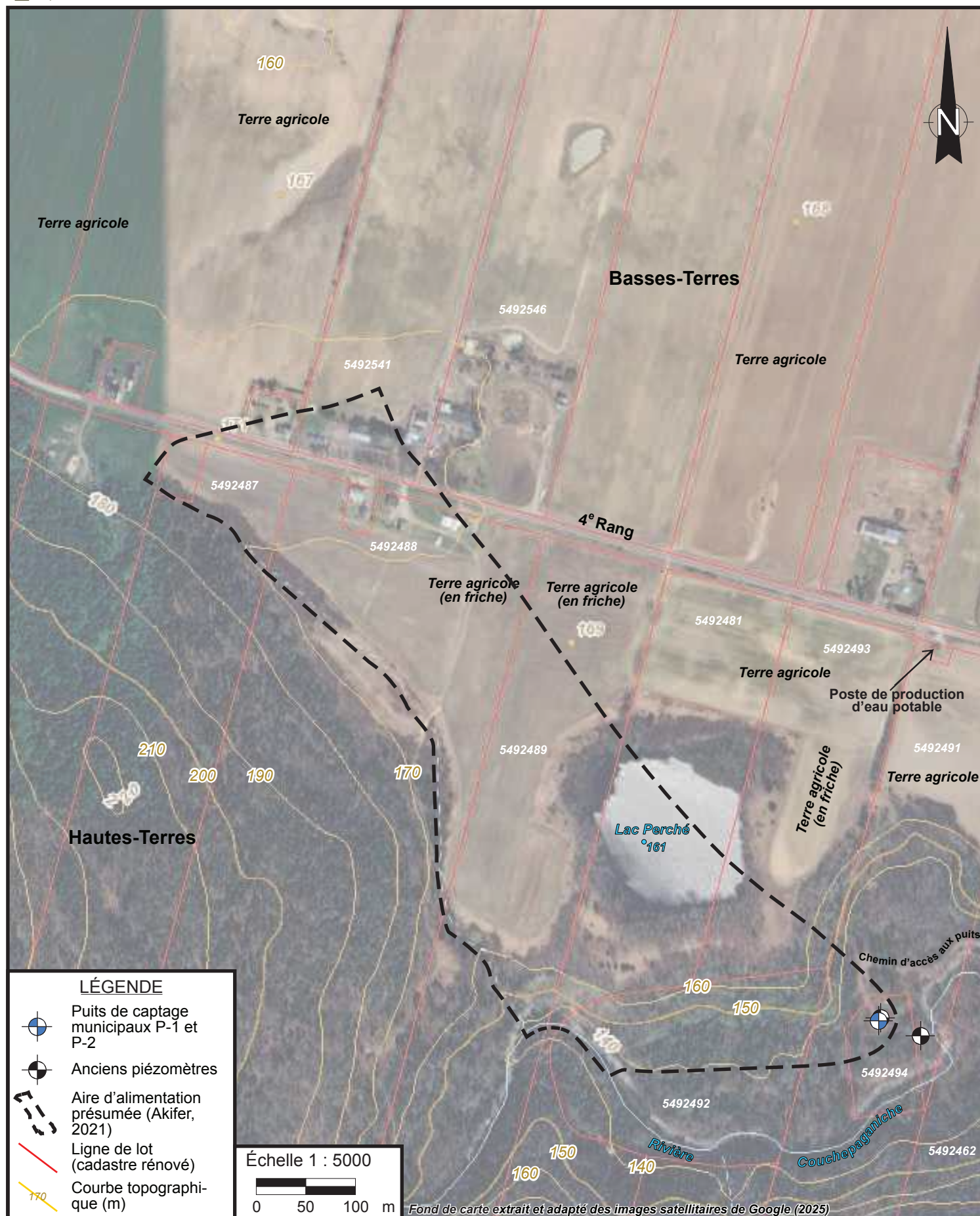


Figure 2. Localisation des puits municipaux P-1 & P-2 et configuration présumée de l'aire d'alimentation (aire de protection éloignée) associée aux deux ouvrages de captage d'eau souterraine

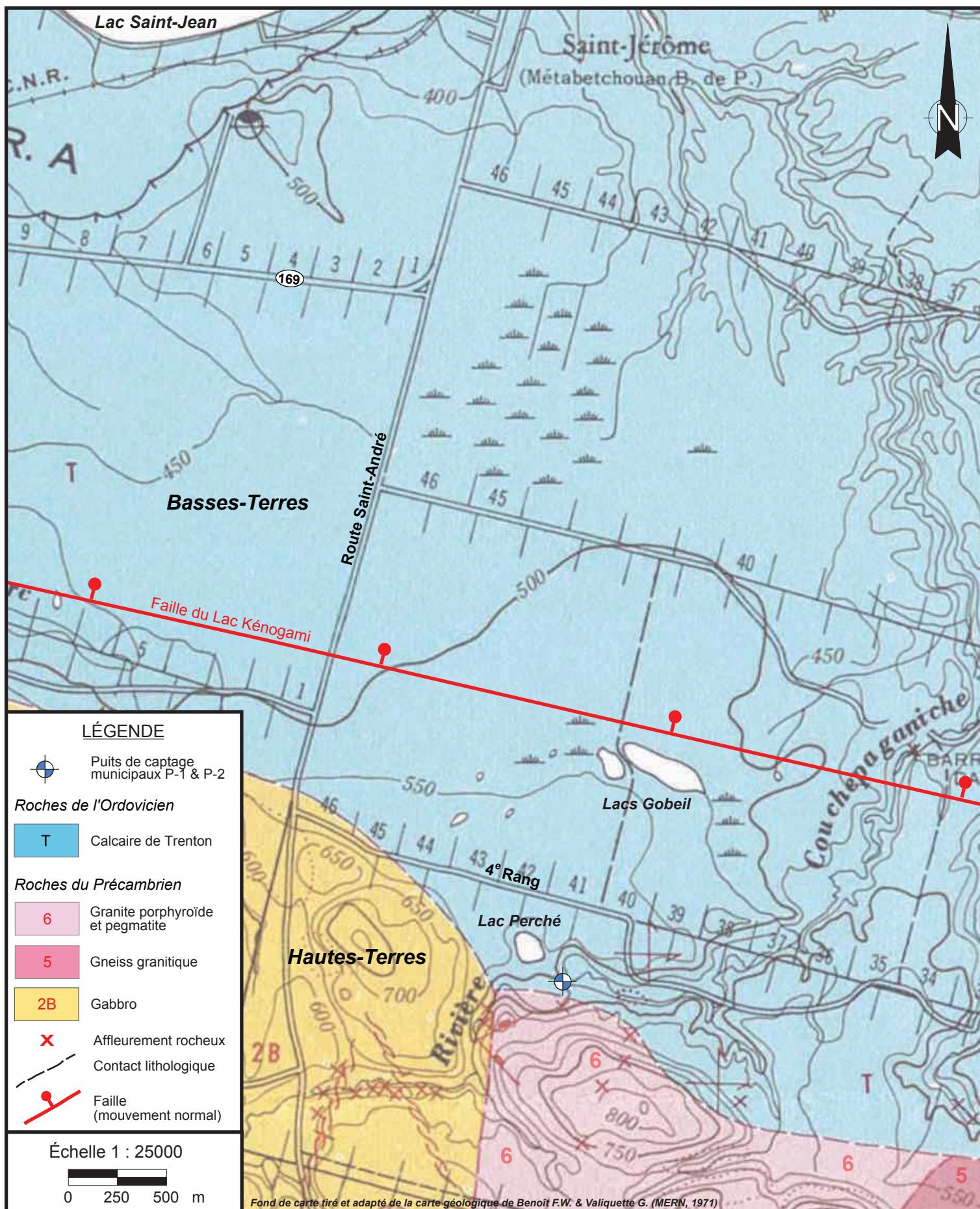


Figure 3. Géologie du socle rocheux dans le secteur de Metabetchouan et des puits municipaux

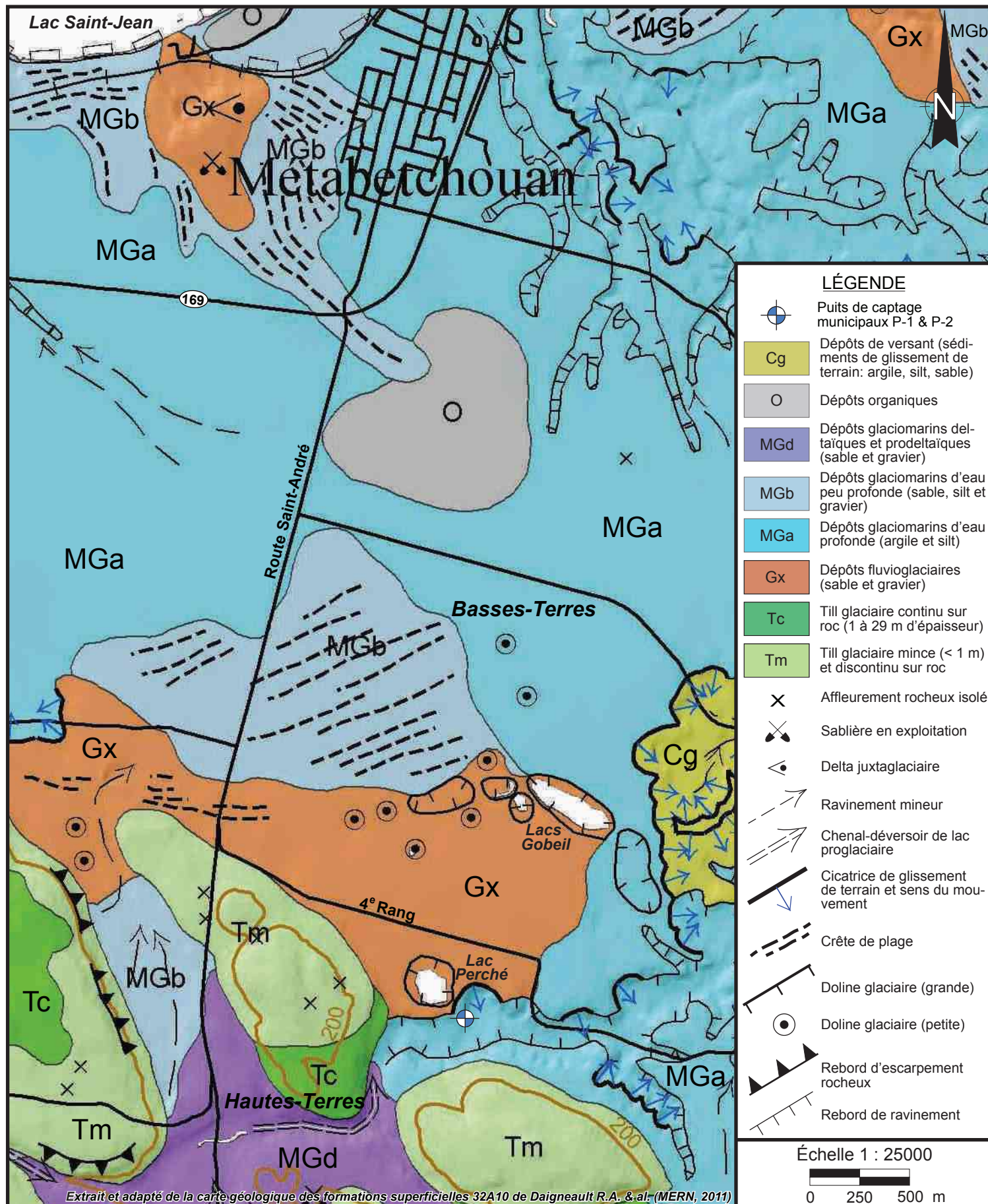


Figure 4. Géologie des dépôts de surface dans le secteur de Metabetchouan et des puits municipaux

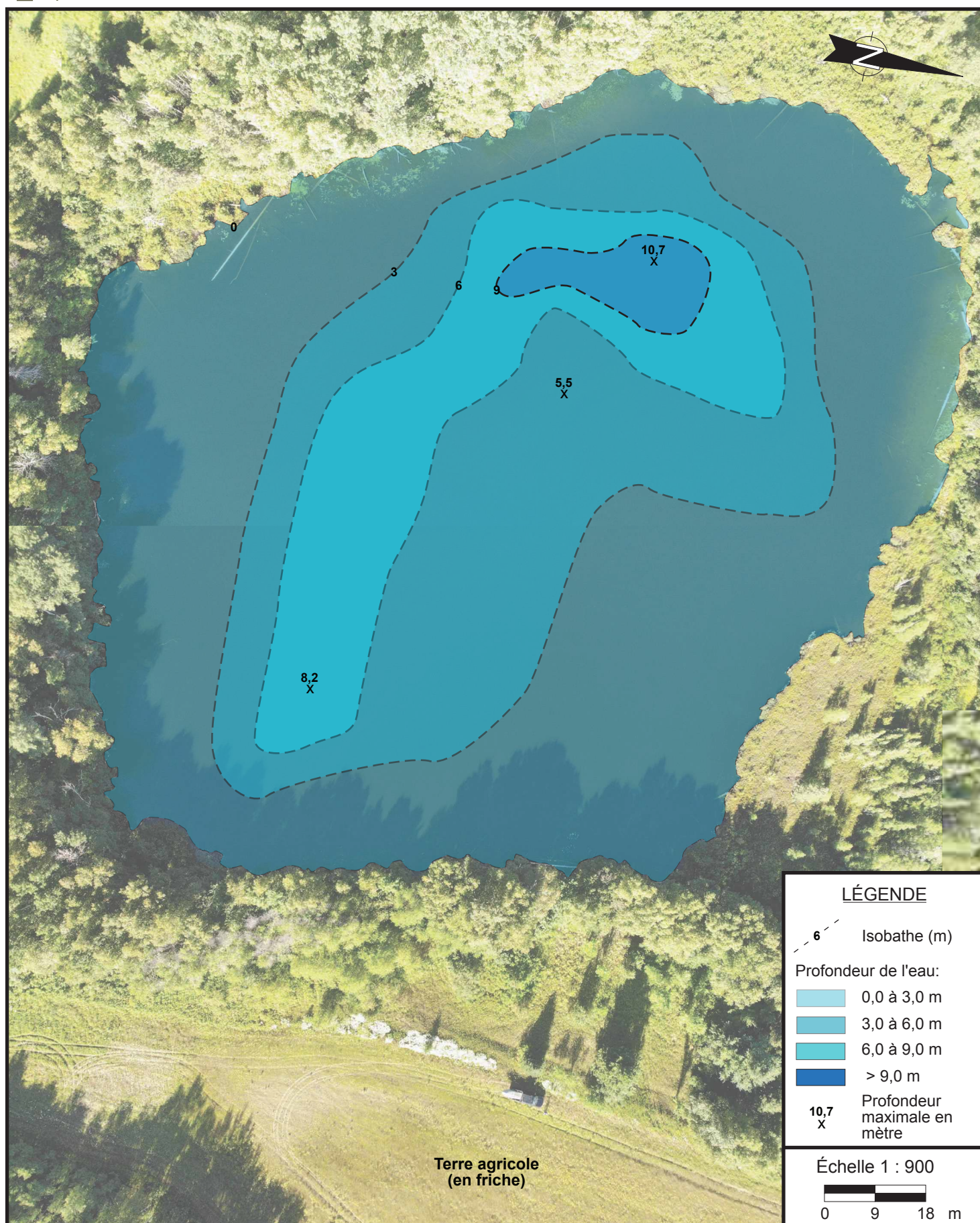


Figure 5. Bathymétrie du lac Perché le 15 août 2025

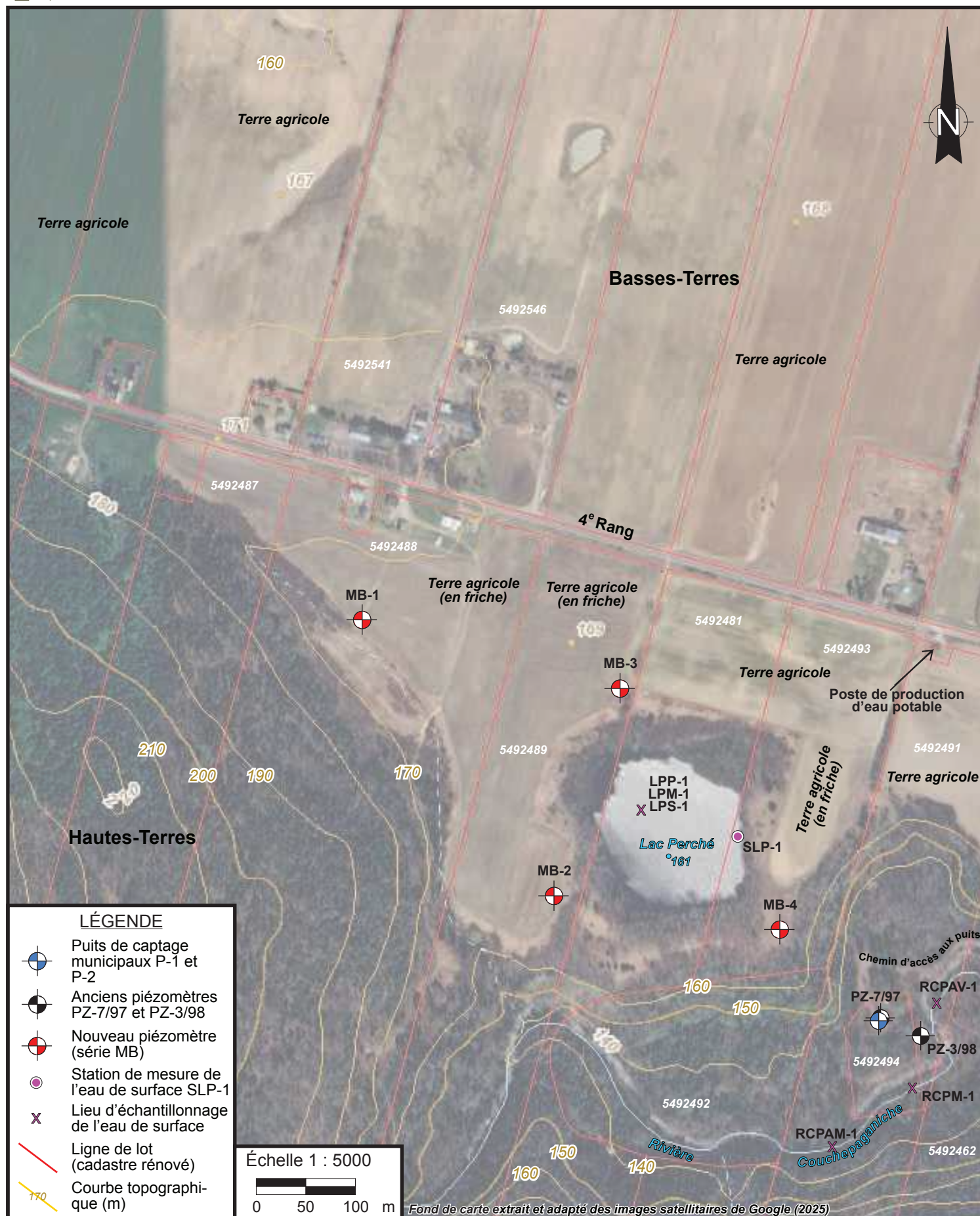


Figure 6. Localisation des puits de captage municipaux, des piézomètres, de la station de mesure du niveau du lac Perché et des lieux d'échantillonnage de l'eau de surface



Figure 7. Localisation de la station piézométrique no.06140001 du MELCCFP

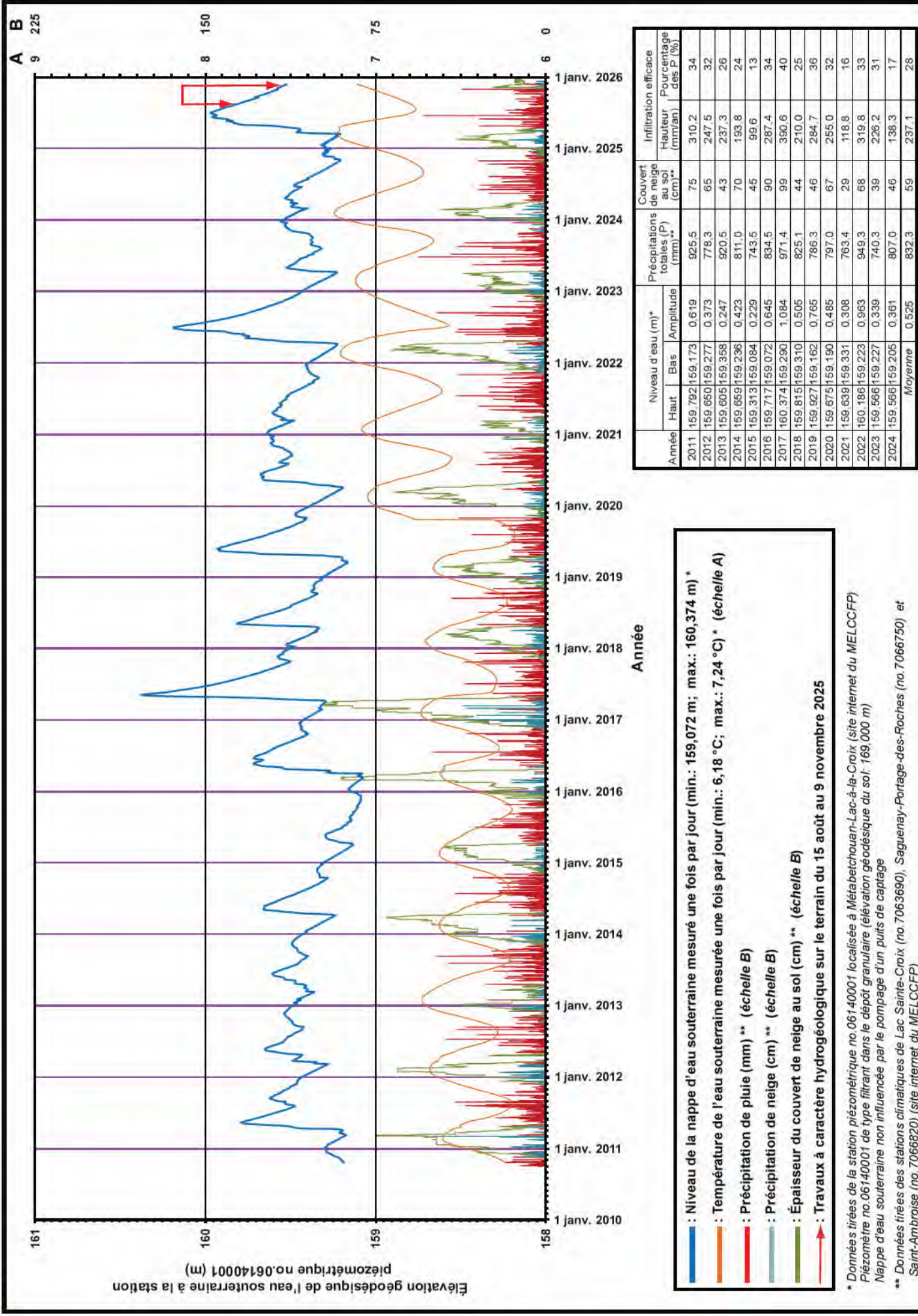


Figure 8. Suivi journalier du niveau de l'eau souterraine mesuré au site de la station piézométrique no.06140001 entre 2010 et 2025

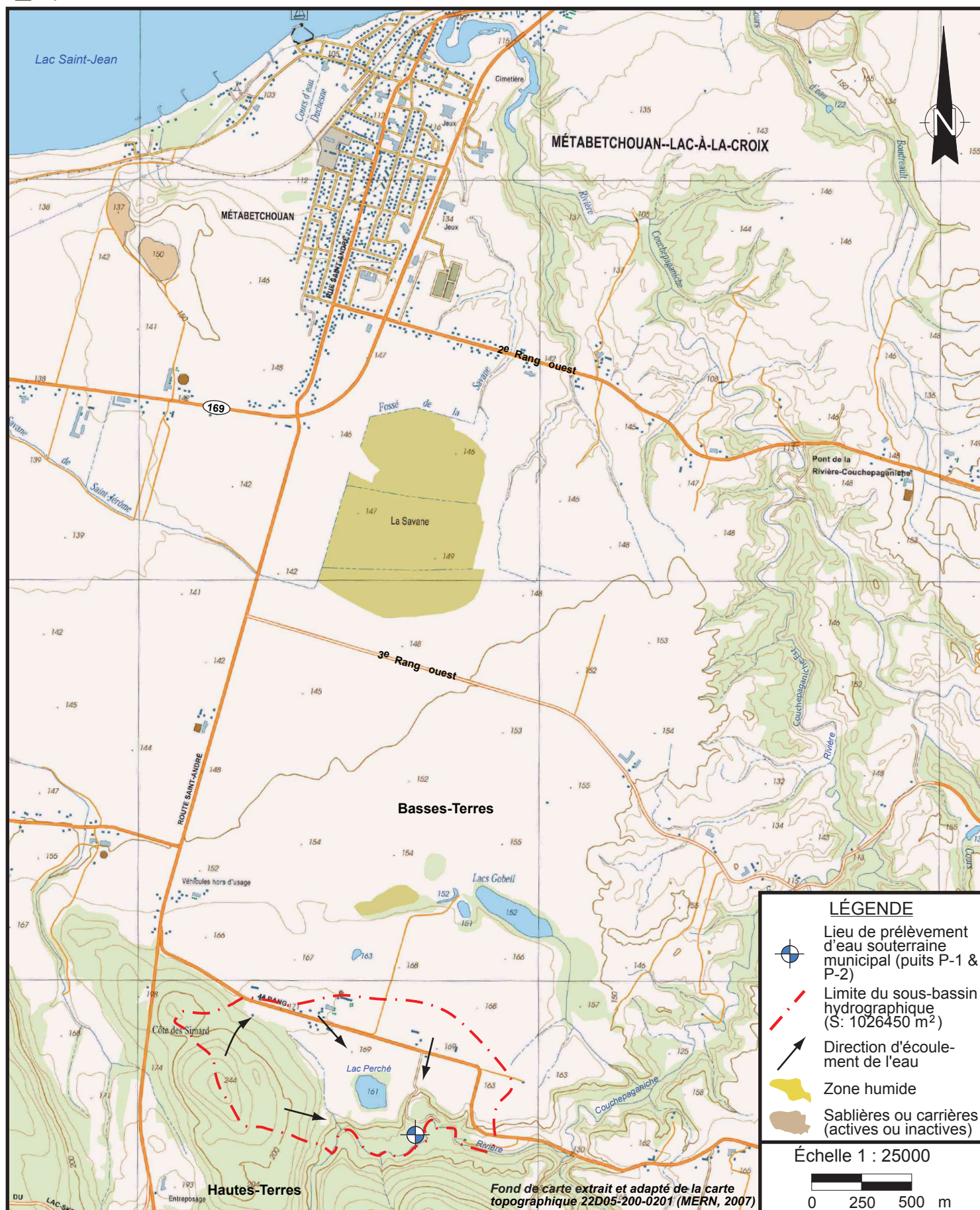


Figure 9. Configuration du sous-bassin hydrographique, de la topographie et du drainage superficiel autour des puits municipaux P-1 et P-2

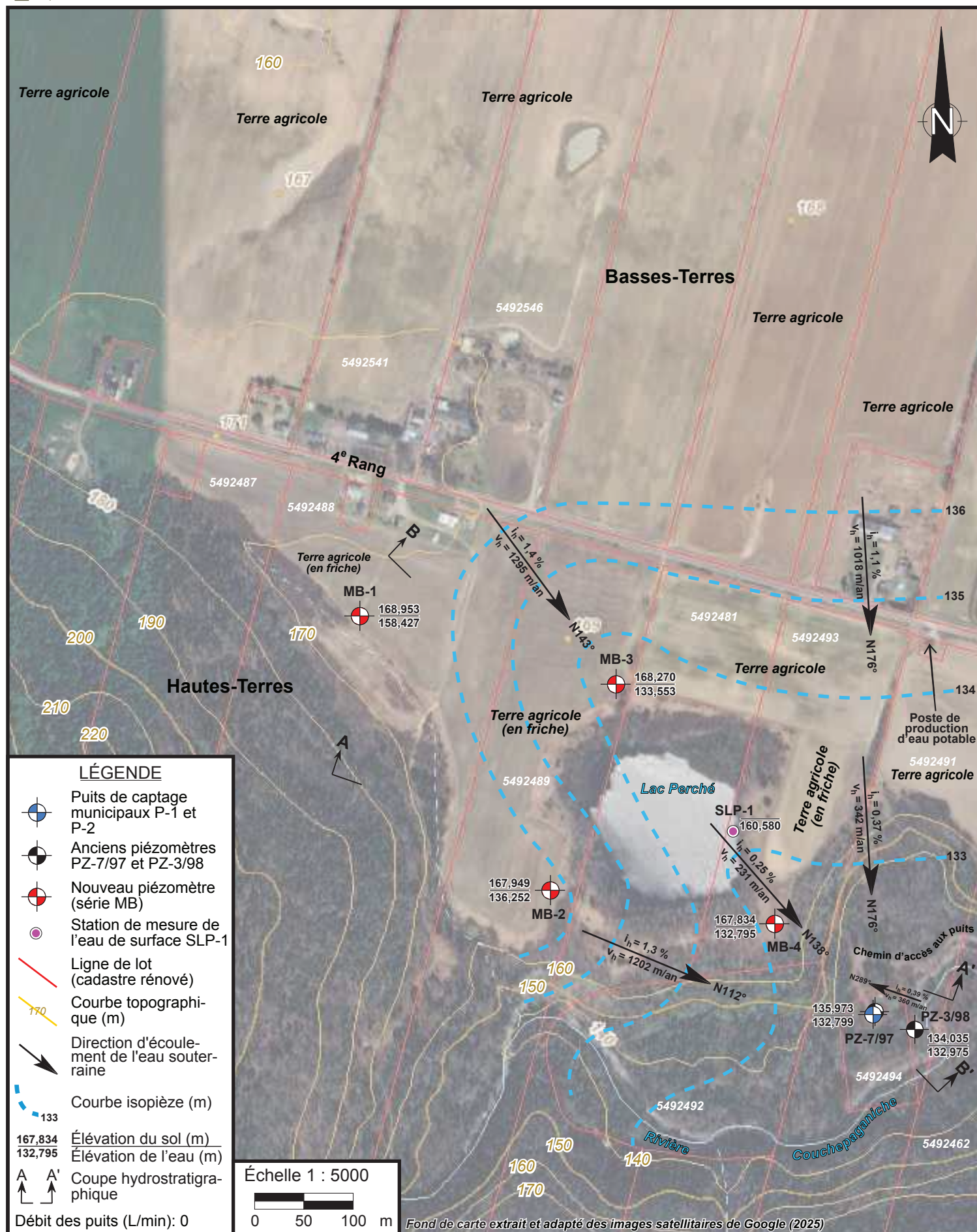


Figure 10. Piézométrie de la nappe d'eau souterraine profonde à l'état statique le 12 novembre 2025

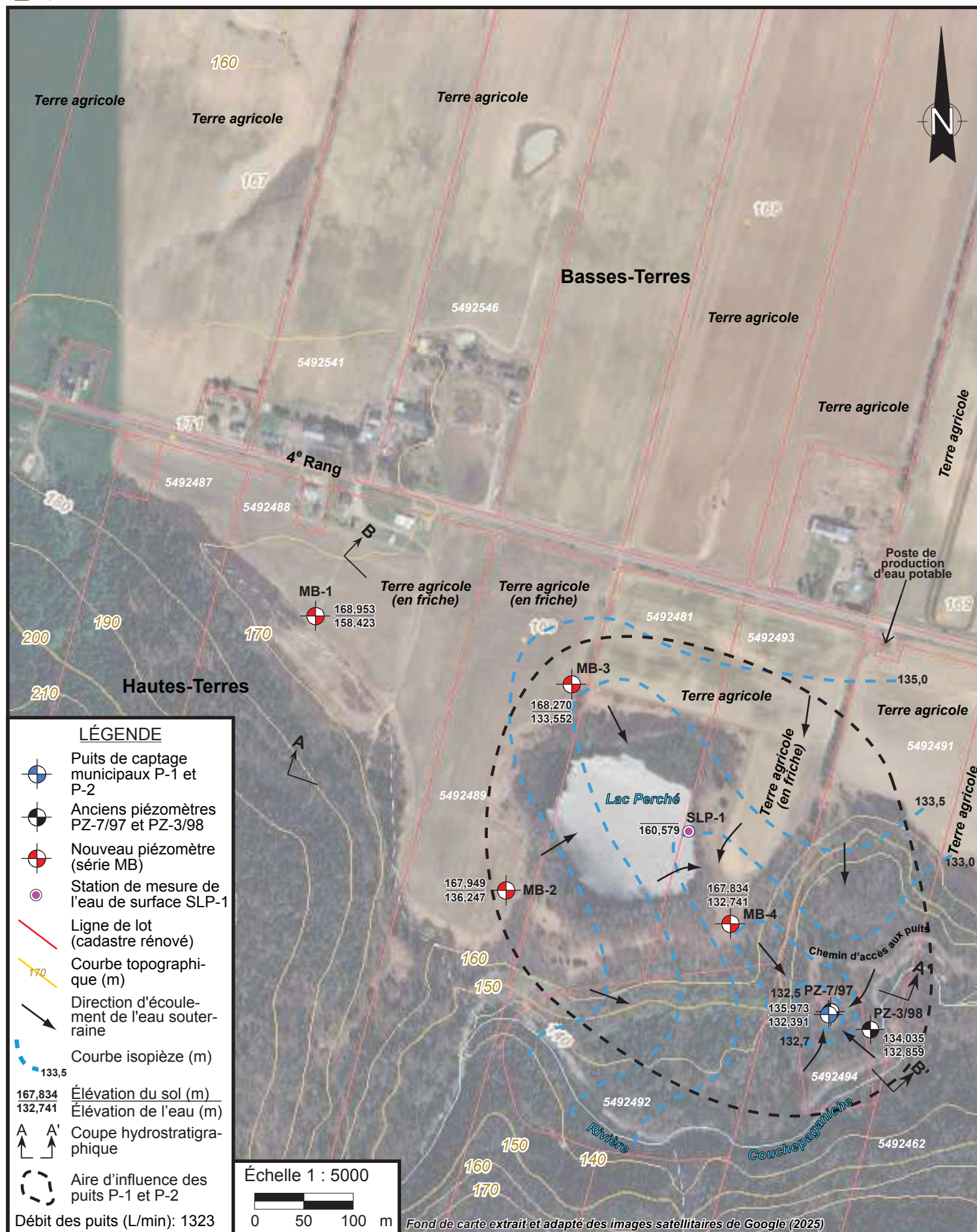


Figure 11. Piézométrie de la nappe d'eau souterraine profonde à l'état dynamique le 12 novembre 2025

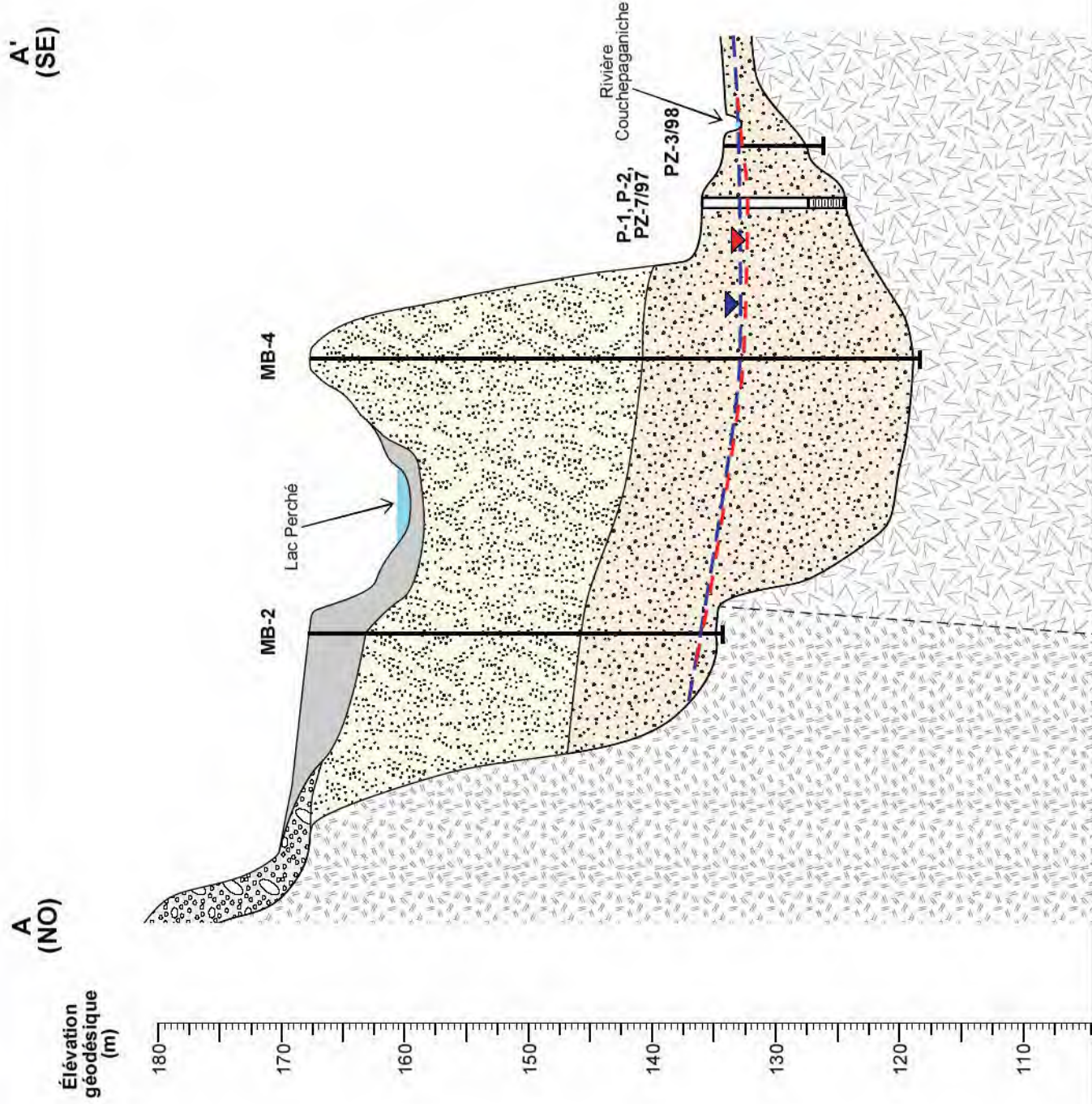


Figure 12. Coupe hydrostratigraphique A - A'

B' (SE)

B (NO)

Élévation géodésique (m)

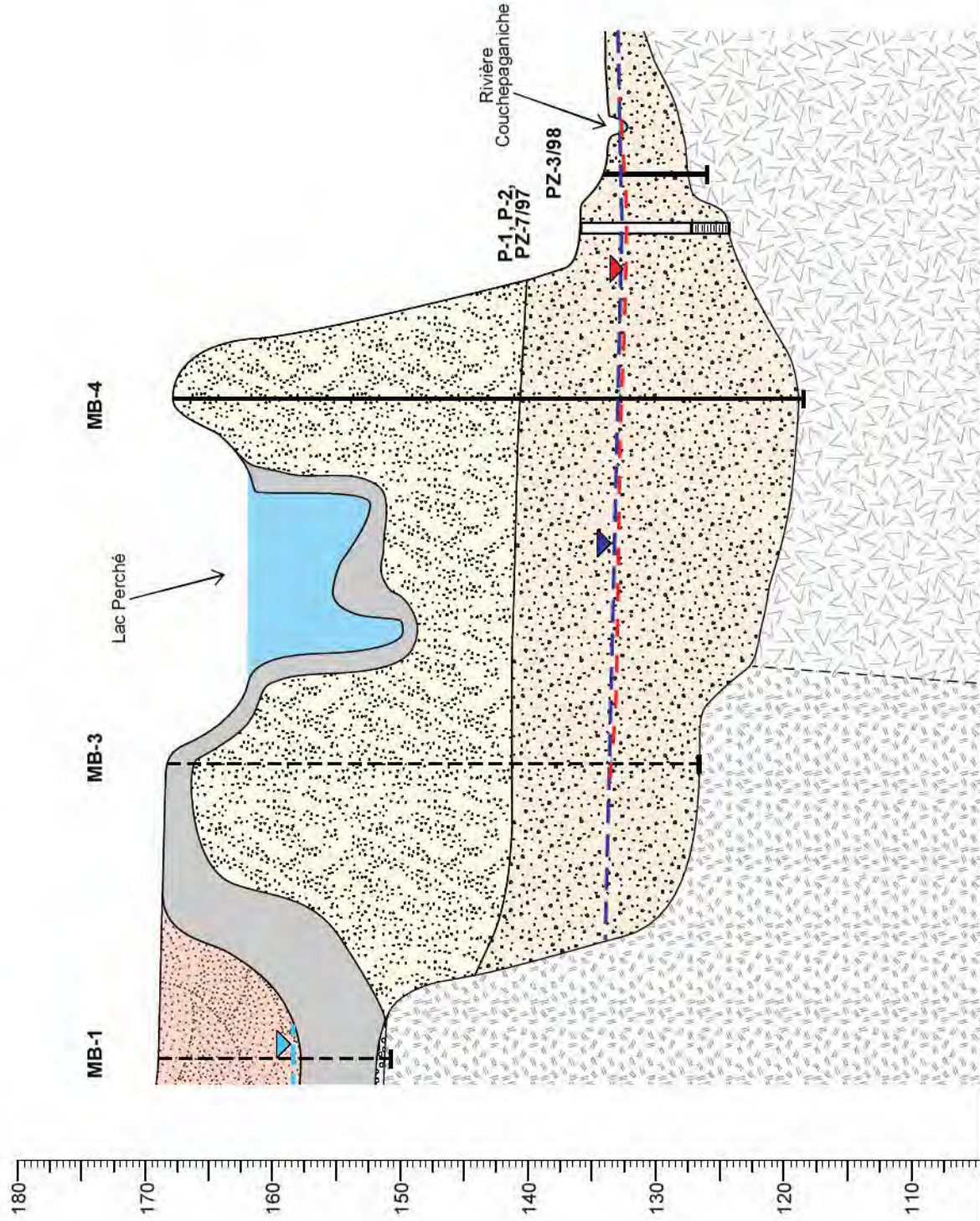
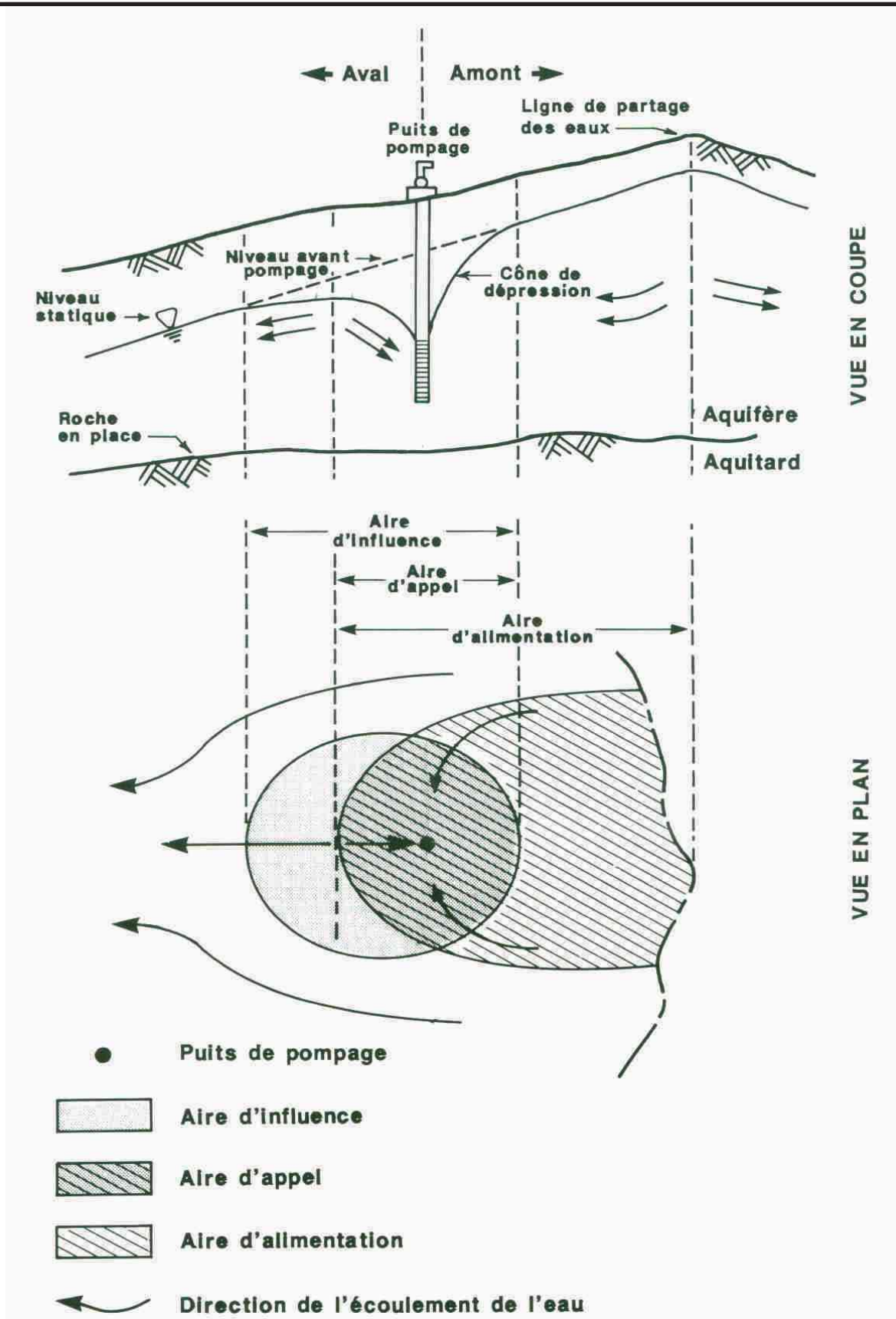
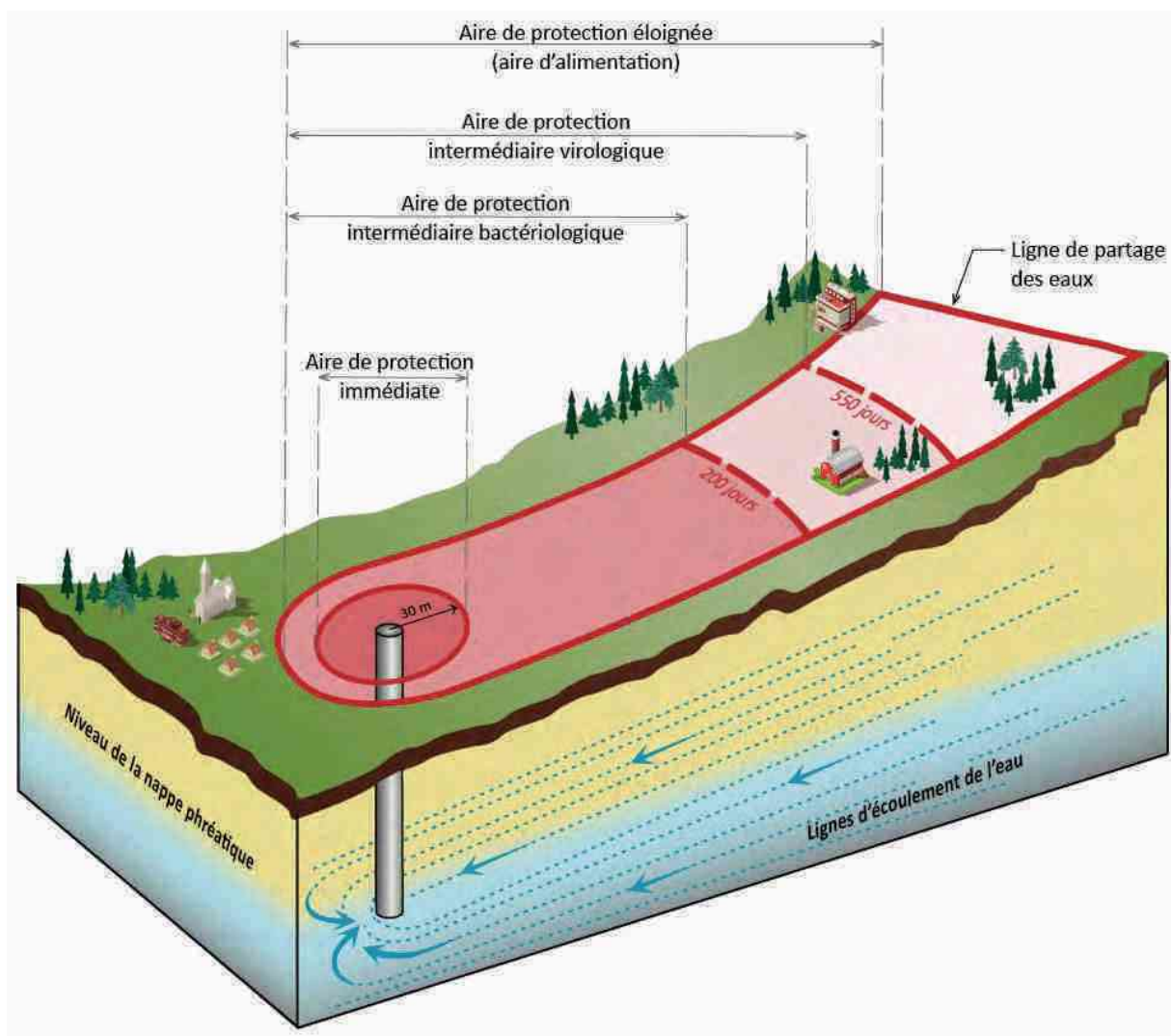


Figure 13. Coupe hydrostratigraphique B - B'



Tiré et adapté du Guide sur les périmètres de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine (MELCCFP, 1995)

Figure 14. Représentation schématique de l'aire d'influence qui se développe autour d'un puits de captage sous une condition dynamique de pompage



Tiré et adapté du Guide sur la détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC (MELCCFP, 2019)

Figure 15. Représentation schématique des aires de protection associées à un lieu de prélèvement d'eau souterraine de catégorie « 1 »

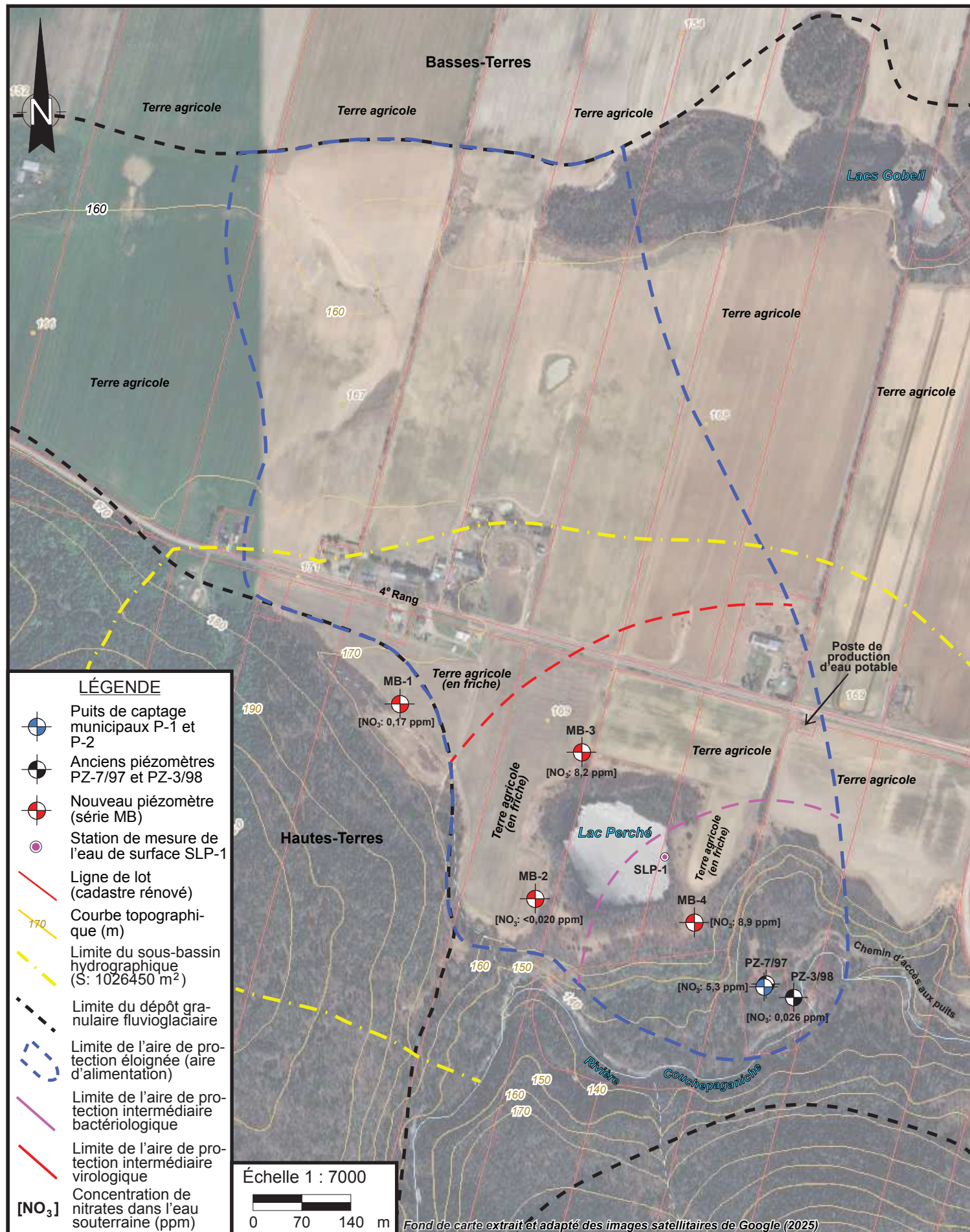
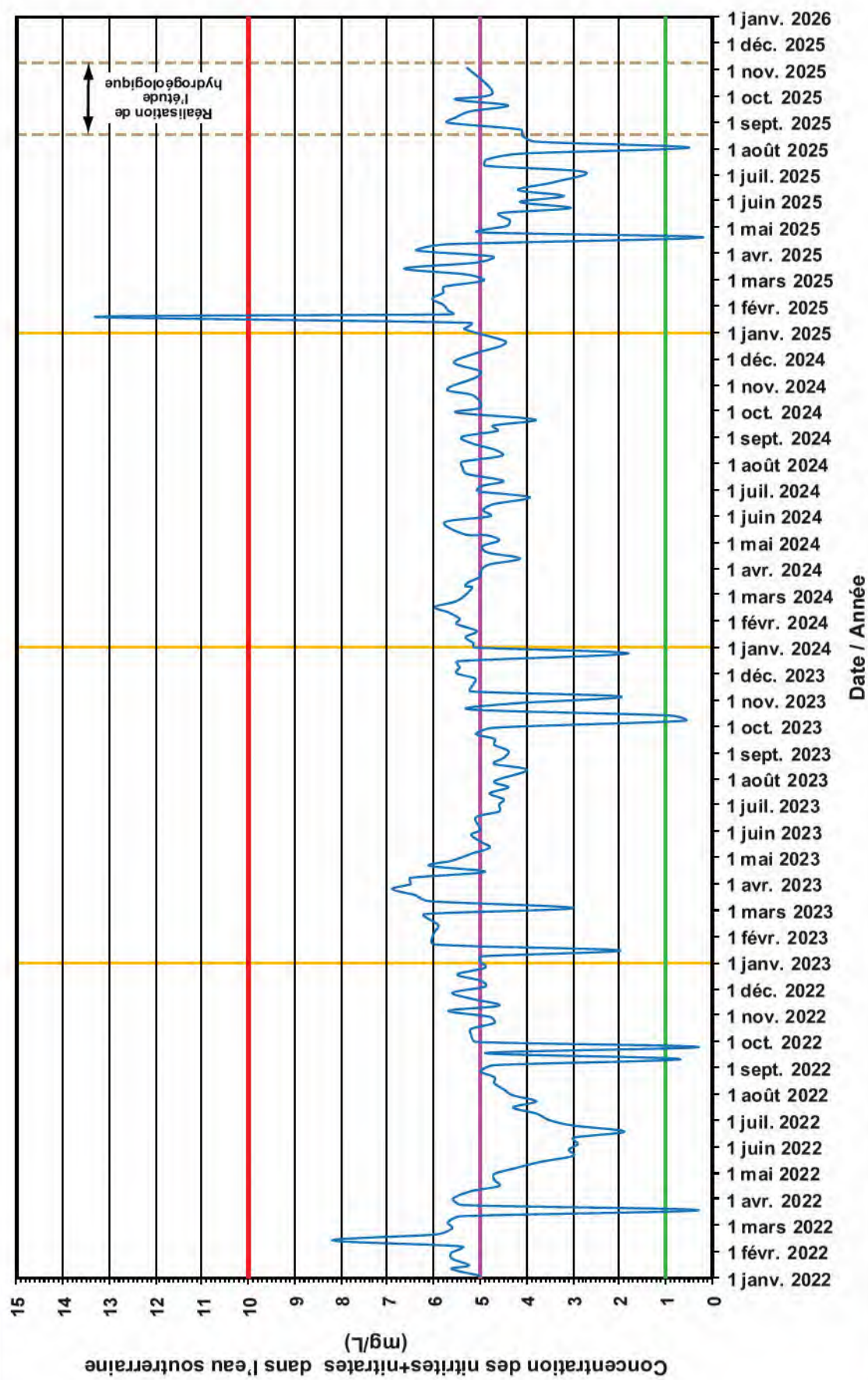


Figure 16. Configuration des aires de protection intermédiaire et éloignée des puits de captage P-1 et P-2



- : Concentration des nitrites+nitrates (exprimée en N) dans l'eau souterraine des puits P-1 et P-2 entre le 3 janvier 2022 et le 5 novembre 2025 (minimum: 0,21 mg/L; maximum: 13,30 mg/L; moyenne: 4,80 mg/L)
- : Norme de potabilité pour les nitrites+nitrates dans l'eau de consommation: 10 mg/L (Annexe 1, RQEP)
- : Limite menant à la production et à la transmission au MELCCFP d'une liste indiquant les propriétés incluses à l'intérieur de l'aire de protection intermédiaire du lieu de prélèvement si au moins deux échantillons ont contenu plus de 5,0 mg/L de nitrites+nitrates sur une période de deux ans (art.67, RQEP)
- : Objectif de qualité fixé à 1,0 mg/L (le dépassement de l'objectif mène à soupçonner l'existence d'une source active d'émission d'origine humaine)

Figure 17. Suivi des concentrations des nitrites+nitrates dans l'eau souterraine des puits de production P-1 et P-2 entre 2022 et 2025

ANNEXE 2

Documents photographiques



Planche 1. Vue du sonar « Humminbird Onehundred » utilisé lors de la réalisation du levé bathymétrique sur le lac Perché le 15 août 2025

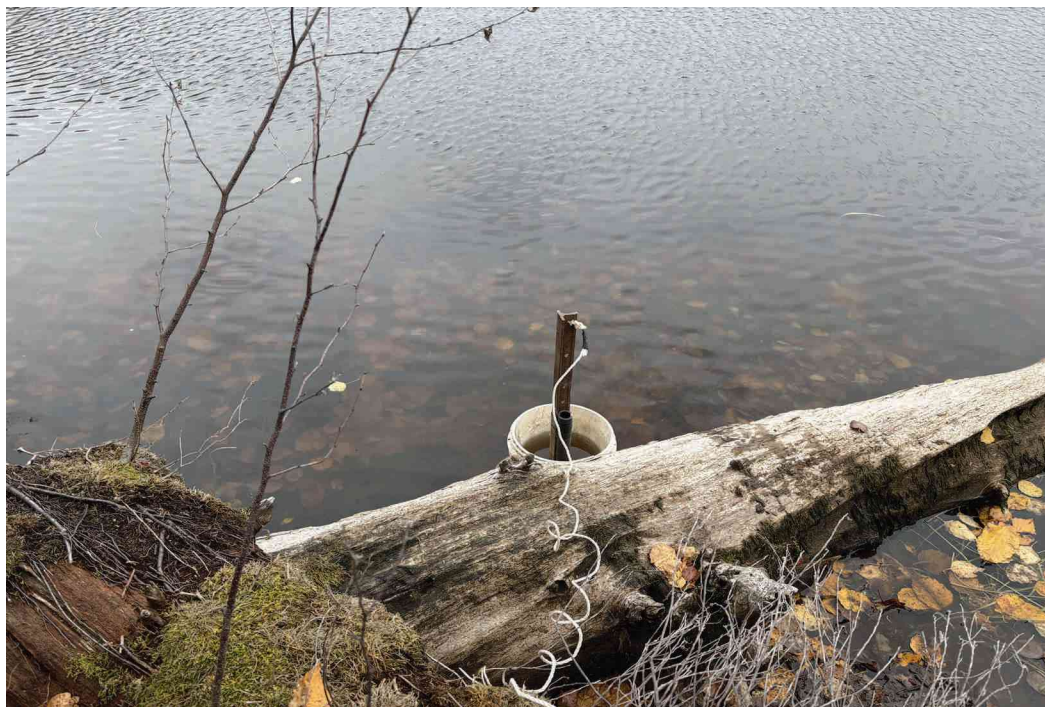


Planche 2. Vue de la station de mesure de l'eau de surface dénommée « SLP-1 » implantée en bordure du lac Perché (à remarquer la quantité importante de matière organique visible dans la partie peu profonde du lac)



Planche 3. Vue de la foreuse « Foremost DR-24 » qui a été utilisée pour exécuter les forages stratigraphiques aménagés chacun en piézomètre de la série « MB »



Planche 4. Vue du débit d'eau souterraine de l'ordre de 380 L/min sortant du cyclone de dépressurisation au moment de la réalisation du forage stratigraphique MB-3



Planche 5. Vue de la manoeuvre visant à introduire l'ensemble « tube d'accouplement/crépine » à l'intérieur du tubage en acier au moment de l'aménagement des piézomètres MB-3 et MB-4



Planche 6. Vue du débit d'eau souterraine de l'ordre de 945 L/min sortant du cyclone de dépressurisation au moment de l'exécution du forage stratigraphique MB-4

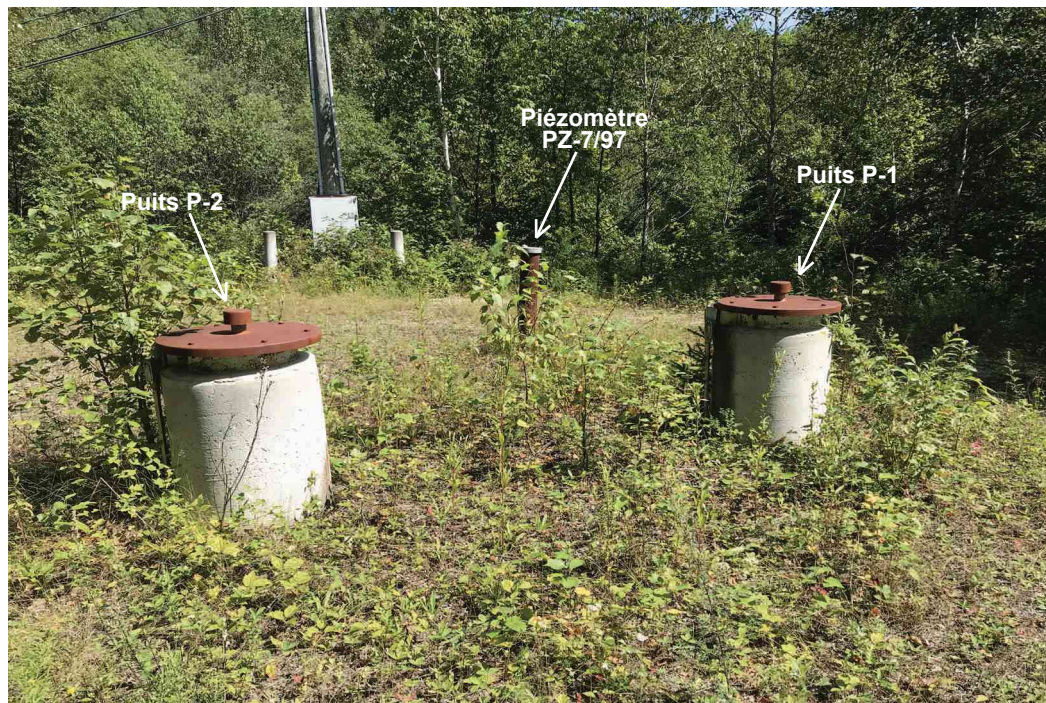


Planche 7. Vue en direction nord-est du lieu de prélèvement d'eau souterraine constitué des puits de captage P-1 et P-2 aménagés à une distance de seulement 2,96 m l'un de l'autre (à remarquer le piézomètre PZ-7/97 en arrière-plan)



Planche 8. Vue en direction sud-ouest des deux portes battantes en métal de 1,8 m de hauteur permettant d'accéder à l'intérieur de l'aire de protection immédiate des deux puits de captage P-1 et P-2 (à noter l'affiche indiquant la présence des puits qui est accrochée sur l'une des deux portes cadenassées l'une à l'autre)



Planche 9. Vue de l'équipement d'échantillonnage spécialement fabriqué pour prélever des échantillons d'eau à différentes profondeurs au sein du lac Perché



Planche 10. Vue des équipements de pompage qui ont été utilisés pour purger et échantillonner l'eau souterraine des piézomètres MB-1, MB-2, MB-3, MB-4 et PZ-3/98



Planche 11. Vue de l'eau souterraine brute provenant directement des puits de captage P-1 et P-2 qui s'écoule dans le bassin avant la prise des échantillons

ANNEXE 3

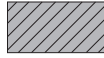
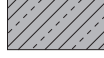
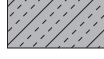
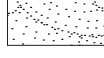
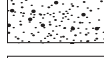
Description des forages stratigraphiques et schéma d'aménagement des piézomètres de la série « MB »

NOTES EXPLICATIVES SUR LA DESCRIPTION DES FORAGES ET PIÉZOMÈTRES

DESCRIPTION DES SOLS

Matériau	Granulométrie (USGS)	Granulométrie (CCDG)
Argile	< 0,002 mm	< 0,005 mm
Silt	de 0,002 à 0,060 mm	de 0,005 à 0,075 mm
Sable fin	de 0,060 à 0,20 mm	de 0,075 à 0,425 mm
Sable moyen	de 0,20 à 0,60 mm	de 0,425 à 2,00 mm
Sable grossier	de 0,60 à 2,0 mm	de 2,00 à 4,75 mm
Gravier fin	de 2,0 à 6,0 mm	de 4,75 à 6,0 mm
Gravier moyen	de 6,0 à 20,0 mm	de 6,0 à 20,0 mm
Gravier grossier	de 20,0 à 60,0 mm	de 20,0 à 75,0 mm
Cailloux	de 60,0 à 200,0 mm	de 75,0 à 300,0 mm
Blocs	> 200,0 mm	> 300,0 mm

SYMBOLES STRATIGRAPHIQUES

	Argile
	Silt
	Argile silteuse
	Silt argileux
	Sable fin à moyen
	Sable fin à grossier
	Gravier
	Cailloux
	Blocs
	Terre végétale, matière organique
	Roc (granite)
	Roc (gabbro)
	Fracture dans le roc

TERMINOLOGIE DESCRIPTIVE

Qualificatif	Proportion (%)
Traces	1 à 10 %
Un peu (quelques)	10 à 20 %
Suffixe (eux)	20 à 35 %
Et	35 à 50 %

COMPACTITÉ DES SOLS GRANULAIRES

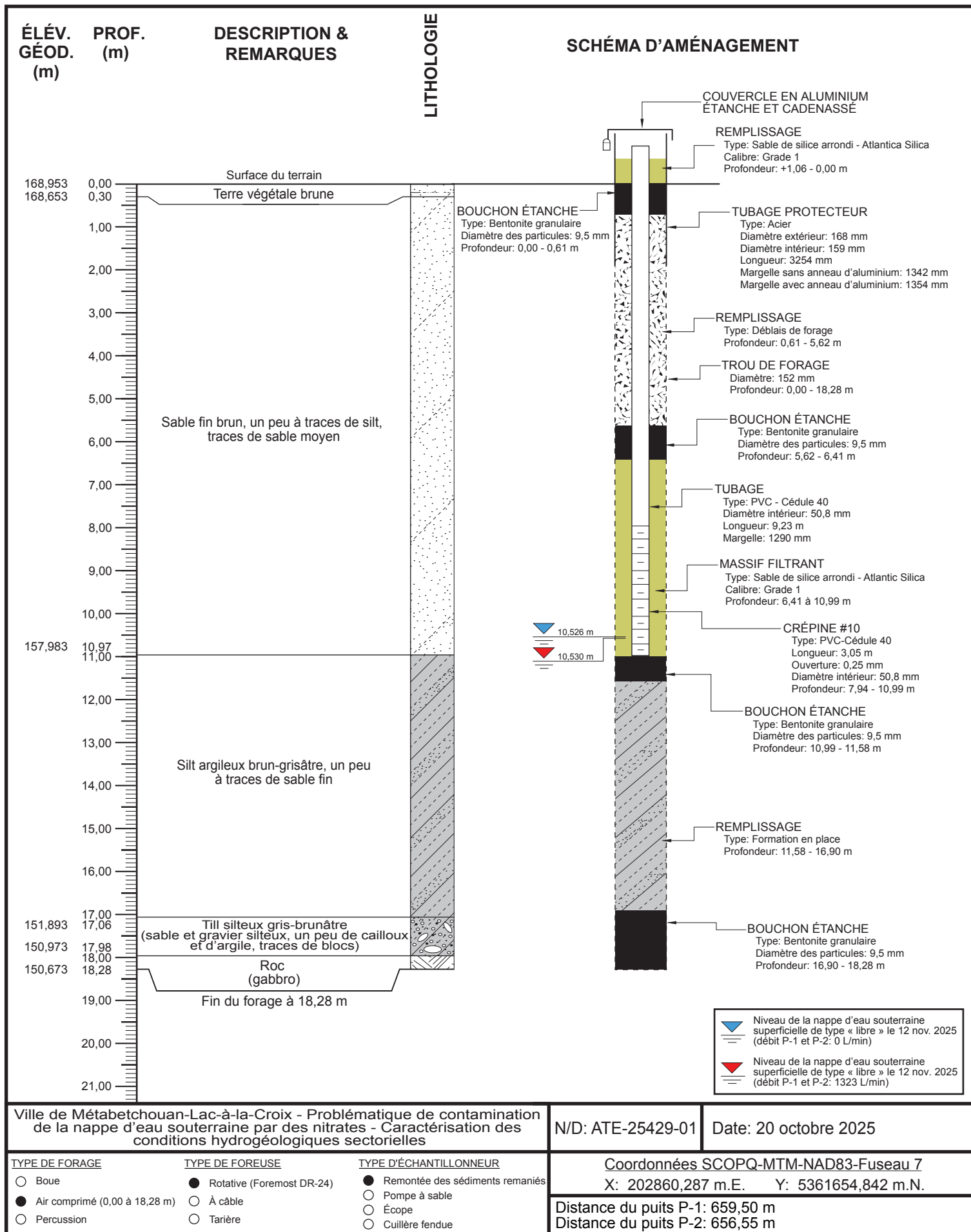
Densité relative	Indice «N» de pénétration normalisée (nombre de coups/30 cm de pénétration)
Très lâche	0 à 4
Lâche	4 à 10
Compacte	10 à 30
Dense	30 à 50
Très dense	> 50

DESCRIPTION GÉOLOGIQUE ET OBSERVATIONS: La description géologique des matériaux est inscrite dans cette rubrique. On y note également toutes observations géologiques et stratigraphiques pertinentes concernant entre autres, la nature des formations géologiques ainsi que les changements lithologiques. Cette colonne présente les symboles stratigraphiques employés pour décrire les unités géologiques.

SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT: Le schéma d'aménagement du puits d'observation, le niveau de l'eau souterraine ainsi que la description des composantes de l'ouvrage hydraulique apparaissent sous cette rubrique.

	Bouchon en bentonite		Tubage protecteur et couvercle
	Cellule piézométrique (sable de silice arrondi)		Tubage et crépine
	Béton de ciment		Niveau statique de l'eau souterraine
	Remplissage avec du tout-venant		Niveau dynamique de l'eau souterraine
	Forage		

Note: La description des forages schématise les conditions de sol, de roc et d'eau souterraine interprétées selon la pratique courante et ne s'applique qu'à l'emplacement du forage au moment de son exécution.



Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates - Caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles

N/D: ATE-25429-01

Date: 20 octobre 2025

TYPE DE FORAGE

- Boue
- Air comprimé (0,00 à 18,28 m)
- Percussion

TYPE DE FOREUSE

- Rotative (Foremost DR-24)
- À câble
- Tarière

TYPE D'ÉCHANTILLONNEUR

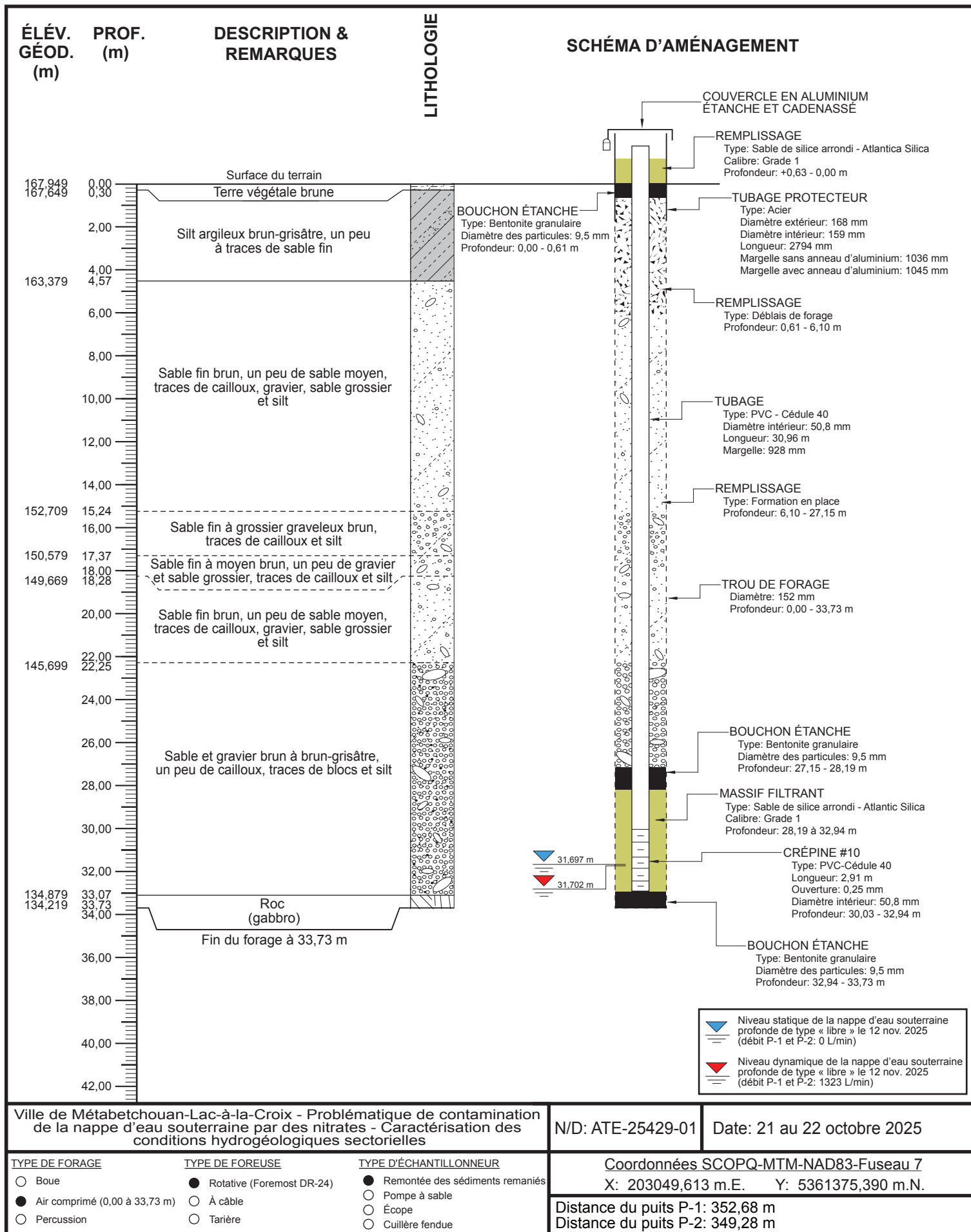
- Remontée des sédiments remaniés
- Pompe à sable
- Écope
- Cuillère fendue

Coordonnées SCOPQ-MTM-NAD83-Fuseau 7

X: 202860,287 m.E. Y: 5361654,842 m.N.

Distance du puits P-1: 659,50 m

Distance du puits P-2: 656,55 m



Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates - Caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles

N/D: ATE-25429-01

Date: 21 au 22 octobre 2025

TYPE DE FORAGE

- Boue
- Air comprimé (0,00 à 33,73 m)
- Percussion

TYPE DE FOREUSE

- Rotative (Foremost DR-24)
- À câble
- Tarière

TYPE D'ÉCHANTILLONNEUR

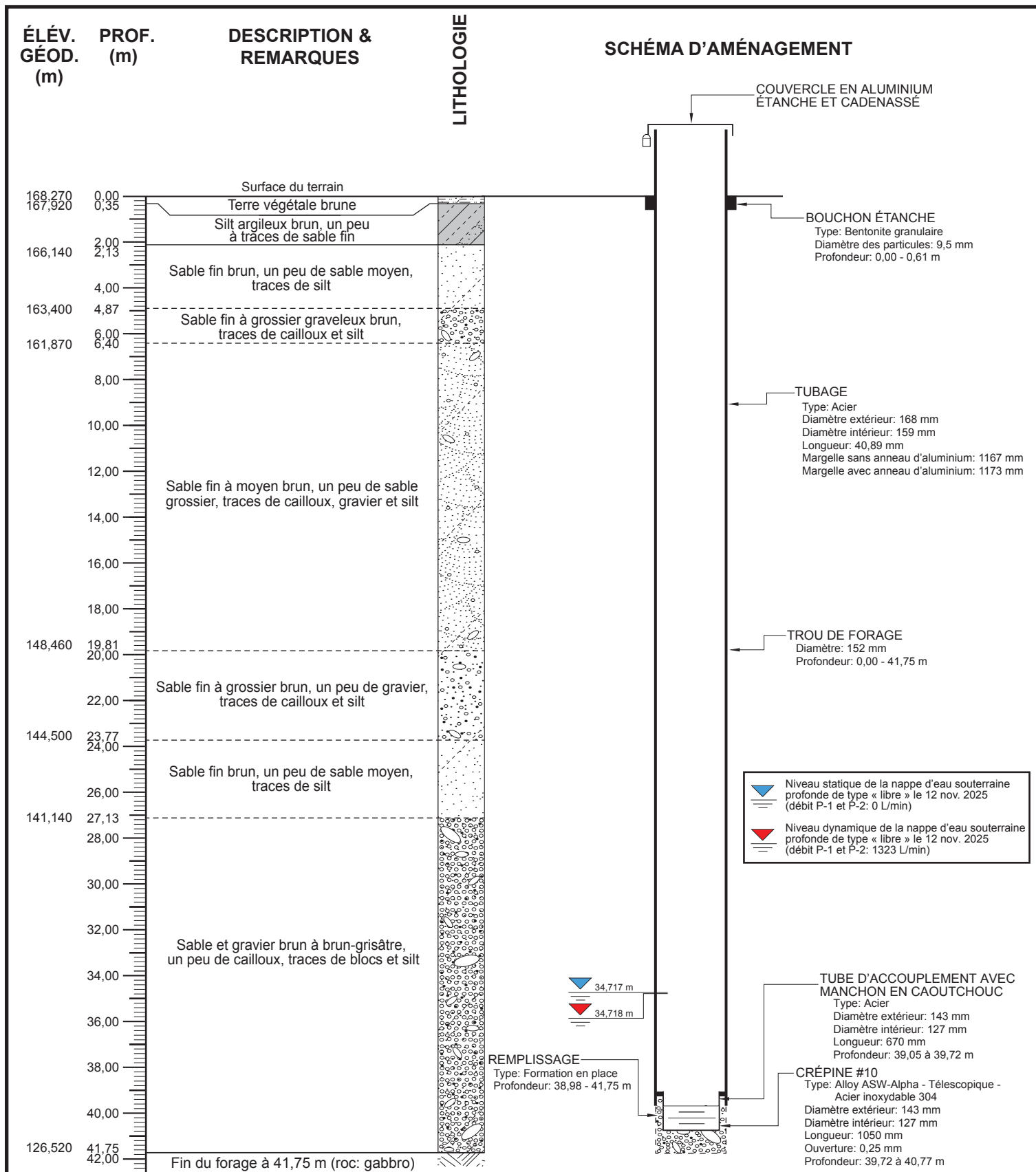
- Remontée des sédiments remaniés
- Pompe à sable
- Écope
- Cuillère fendue

Coordonnées SCOPQ-MTM-NAD83-Fuseau 7

X: 203049,613 m.E. Y: 5361375,390 m.N.

Distance du puits P-1: 352,68 m

Distance du puits P-2: 349,28 m



Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates - Caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles

N/D: ATE-25429-01

Date: 22 au 23 octobre 2025

TYPE DE FORAGE

- Boue
- Air comprimé (0,00 à 41,75 m)
- Percussion

TYPE DE FOREUSE

- Rotative (Foremost DR-24)
- À câble
- Tarière

TYPE D'ÉCHANTILLONNEUR

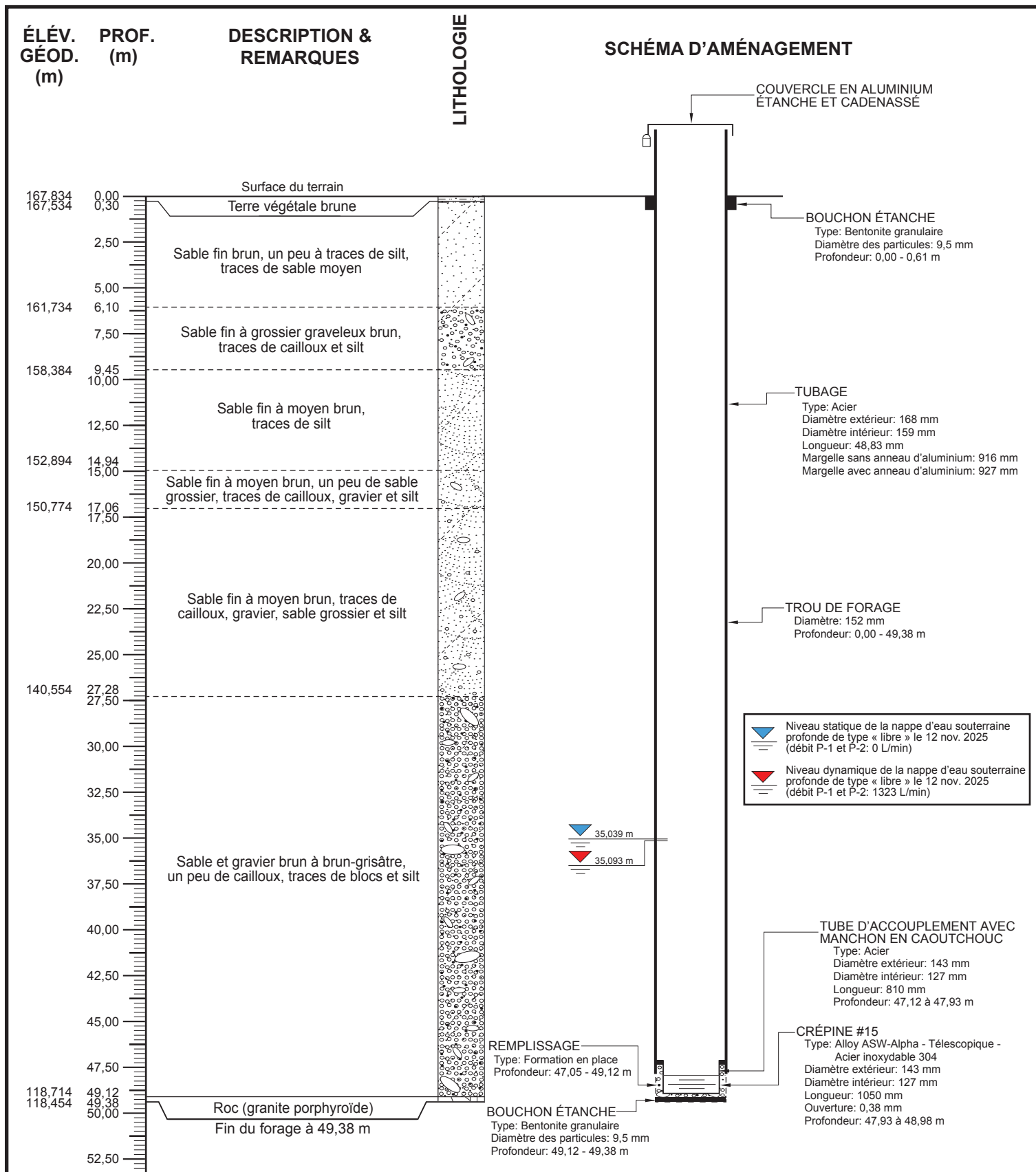
- Remontée des sédiments remaniés
- Pompe à sable
- Écope
- Cuillère fendue

Coordonnées SCOPQ-MTM-NAD83-Fuseau 7

X: 203124,475 m.E. Y: 5361593,773 m.N.

Distance du puits P-1: 431,97 m

Distance du puits P-2: 428,80 m



Ville de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix - Problématique de contamination de la nappe d'eau souterraine par des nitrates - Caractérisation des conditions hydrogéologiques sectorielles

N/D: ATE-25429-01

Date: 23 au 28 octobre 2025

TYPE DE FORAGE

- Boue
- Air comprimé (0,00 à 49,38 m)
- Percussion

TYPE DE FOREUSE

- Rotative (Foremost DR-24)
- À câble
- Tarière

TYPE D'ÉCHANTILLONNEUR

- Remontée des sédiments remaniés
- Pompe à sable
- Écope
- Cuillère fendue

Coordonnées SCOPQ-MTM-NAD83-Fuseau 7

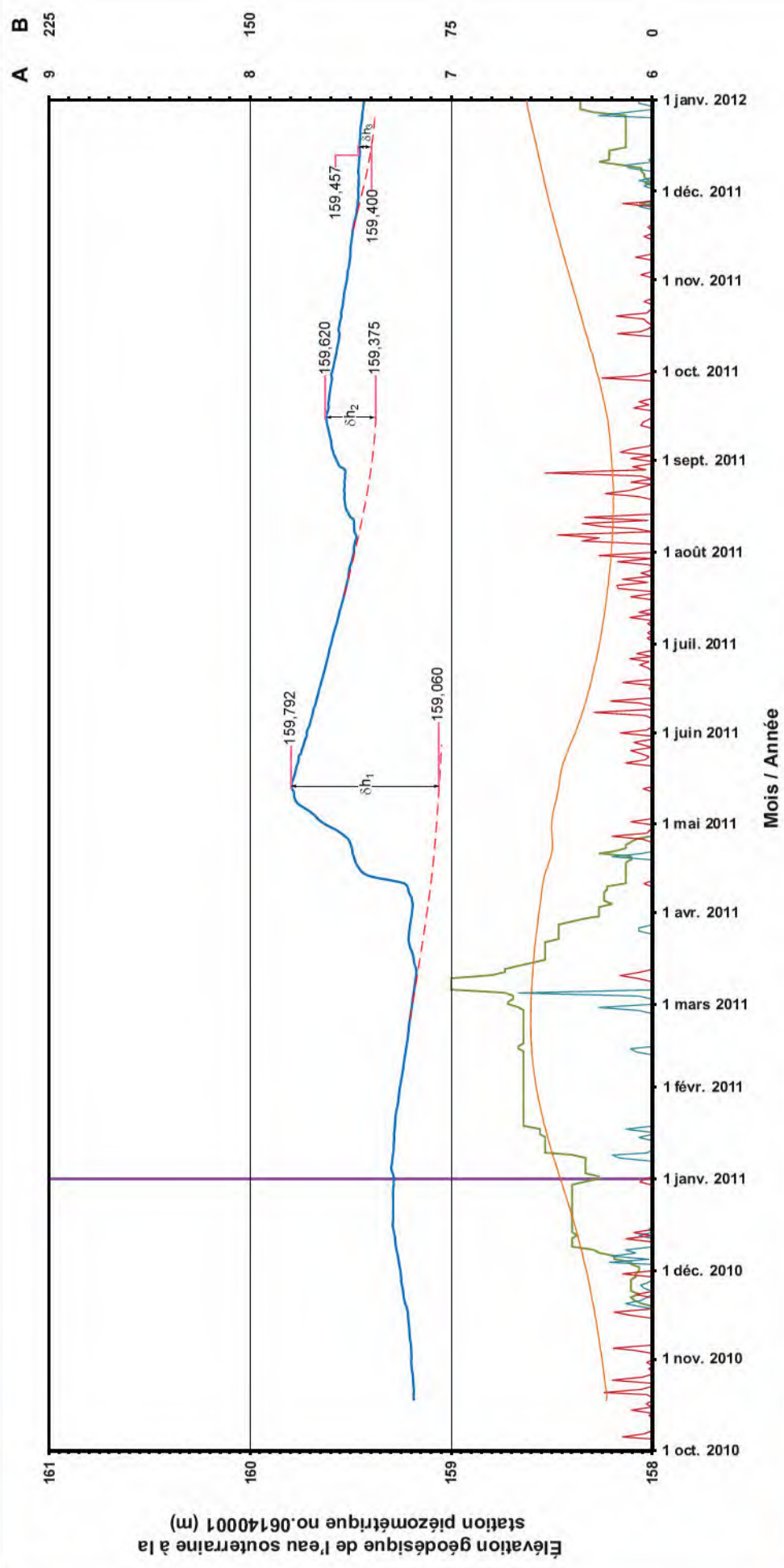
X: 203273,692 m.E. Y: 5361345,391 m.N.

Distance du puits P-1: 144,10 m

Distance du puits P-2: 141,56 m

ANNEXE 4

Graphiques d'interprétation de l'infiltration efficace de l'eau
souterraine à la station piézométrique no.06140001



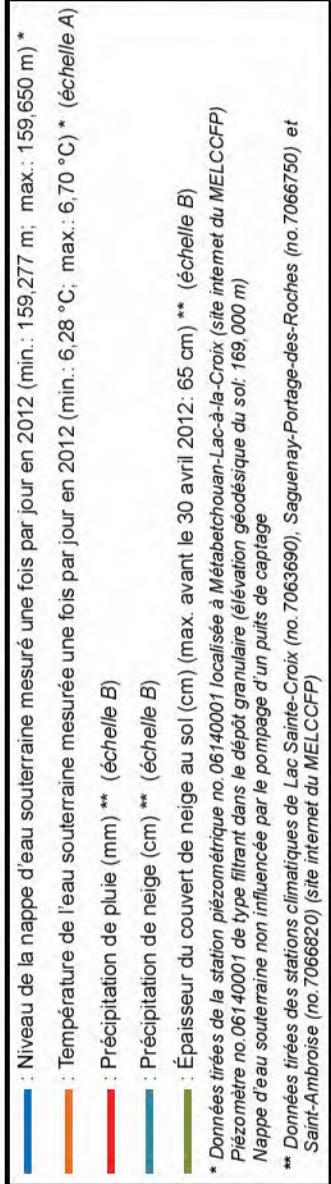
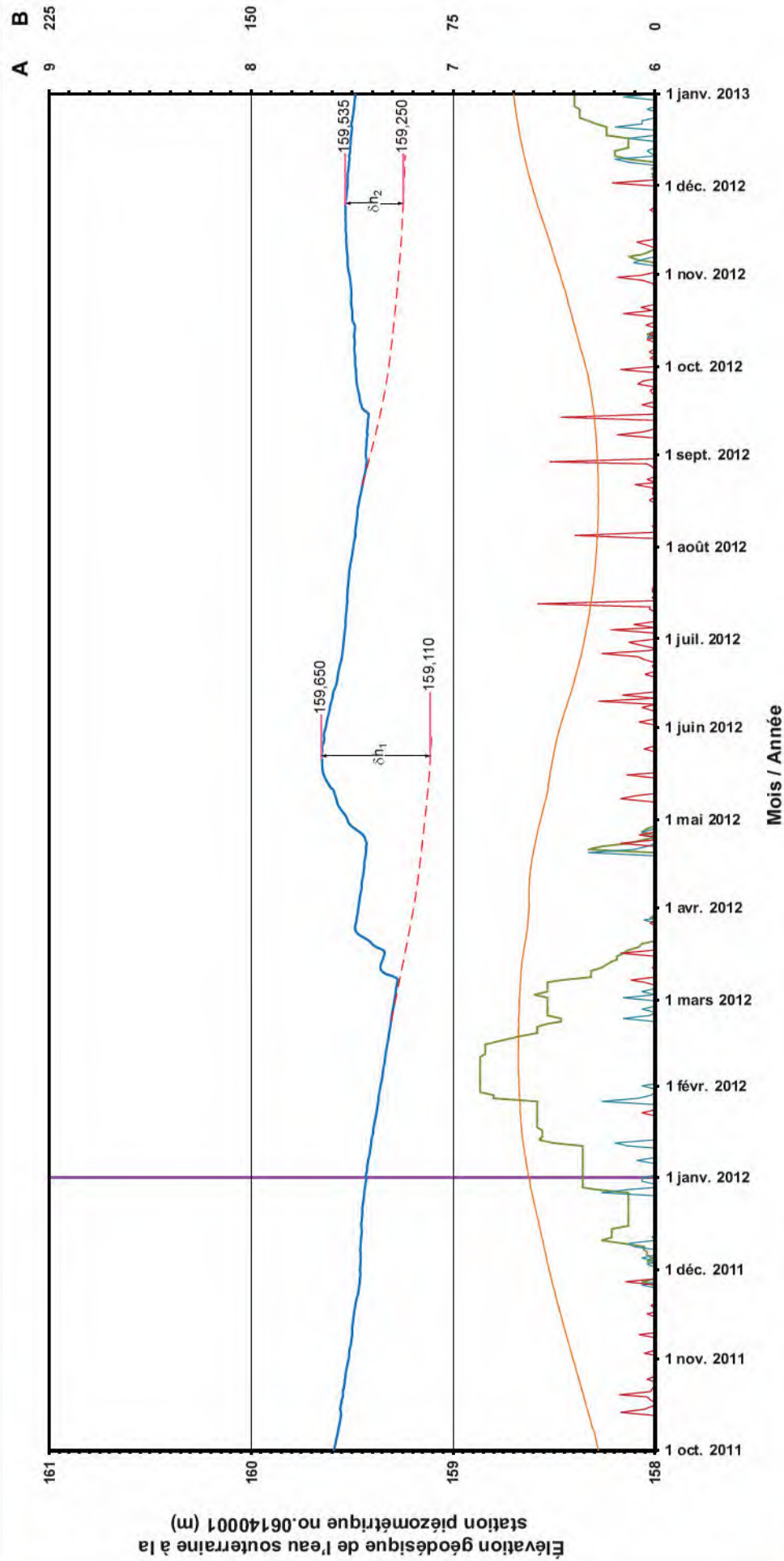
Mois / Année

- Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2011 (min.: 159,173 m; max.: 159,792 m) *
- Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2011 (min.: 6,20 °C; max.: 6,62 °C) * (échelle A)
- Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
- Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
- Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2011: 75 cm) ** (échelle B)

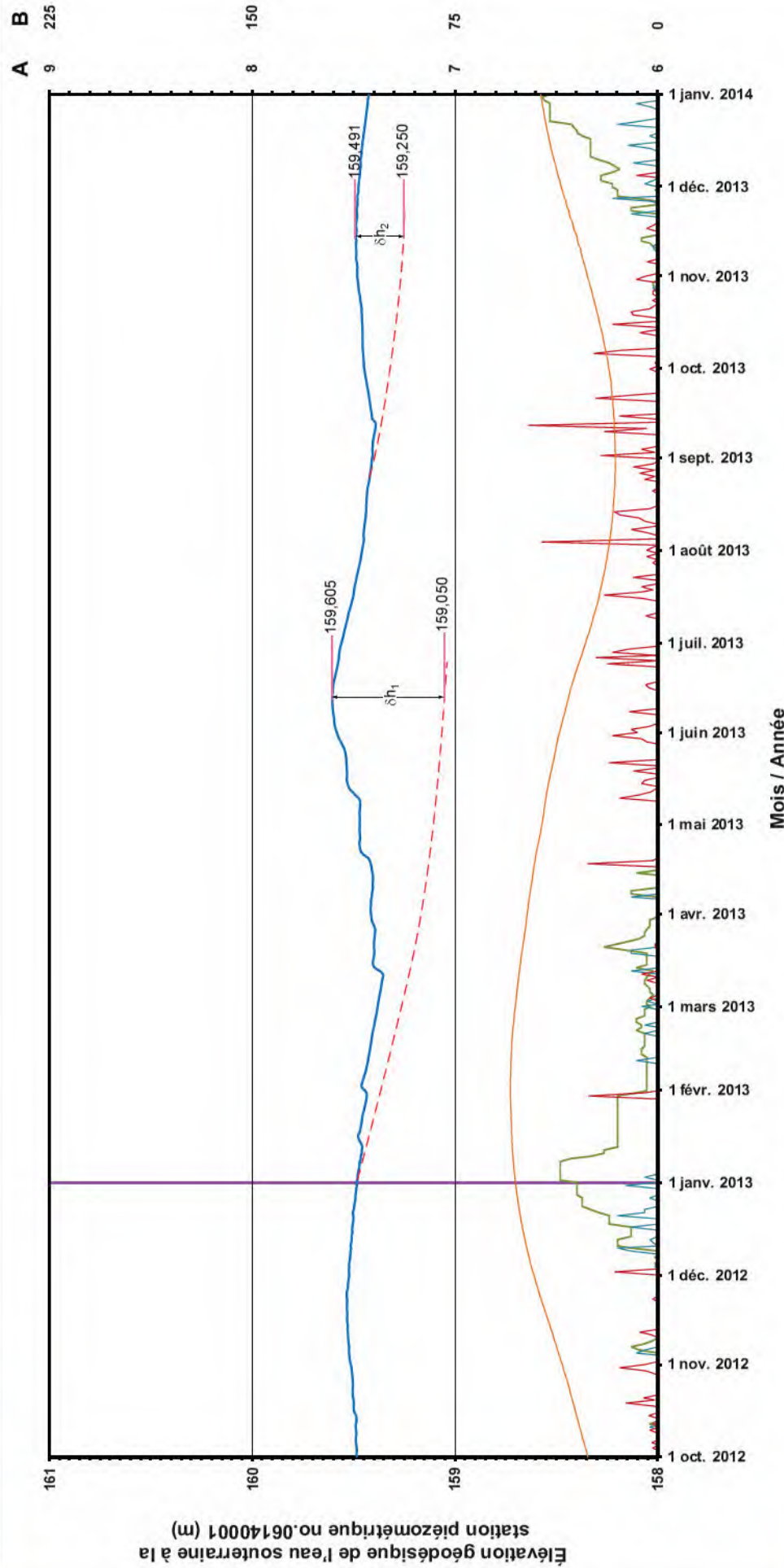
* Données tirées de la station piézométrique no 06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no.06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage

** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no.7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no.7066750) et Saint-Ambroise (no.7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (Ieff) = somme $\delta h \times$ porosité efficace
 Ieff (mm) = $(\delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3) \times$ porosité efficace
 Ieff (mm) = $(732 + 245 + 57 \text{ mm}) \times 0,30 = 310,2 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot.) en 2011 = 925,5 mm **
 Ieff correspond à 34% de Ptot

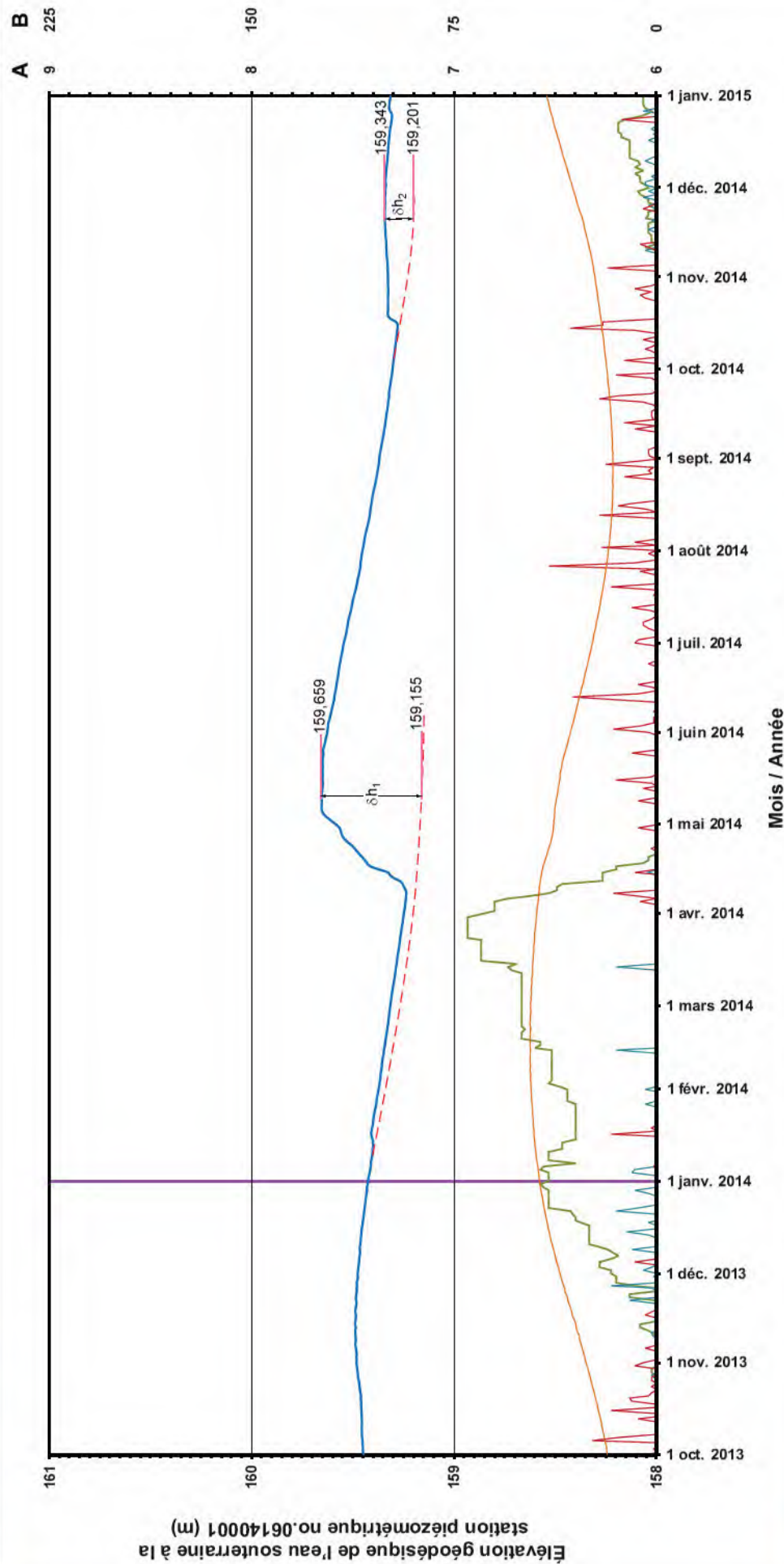


Infiltration efficace (I_{eff}) = somme δh x porosité efficace
 I_{eff} (mm) = $(\delta h_1 + \delta h_2) \times \text{porosité efficace}$
 I_{eff} (mm) = $(540 + 285 \text{ mm}) \times 0,30 = 247,5 \text{ mm}$
 Précipitation totale (P_{tot}) en 2012 = 778,3 mm **
 I_{eff} correspond à 32% de P_{tot}



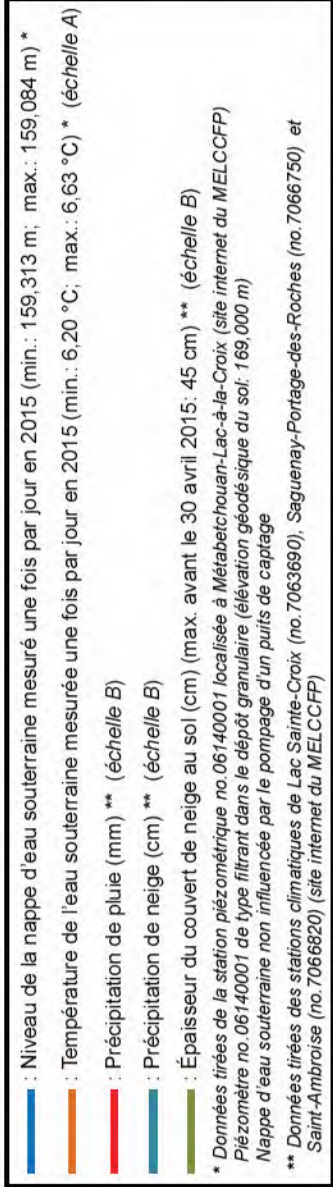
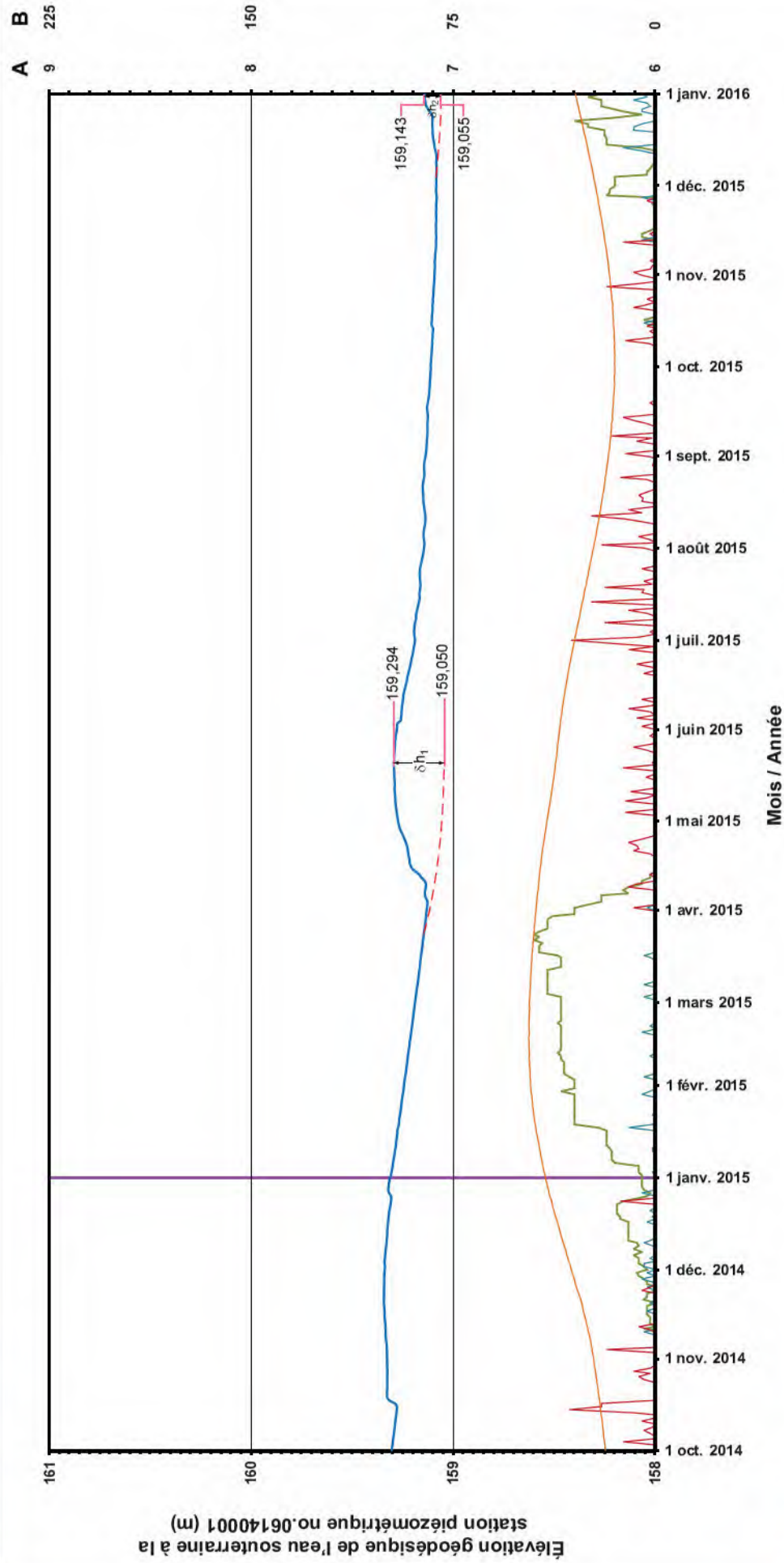
: Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2013 (min.: 159,358 m; max.: 159,605 m) *
 : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2013 (min.: 6,21 °C; max.: 6,73 °C) * (échelle A)
 : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
 : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
 : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2013: 43 cm) ** (échelle B)
 * Données tirées de la station piézométrique no 06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no 06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage
 ** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no. 7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no. 7066750) et Saint-Ambroise (no. 7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (Ieff) = somme δh x porosité efficace
 Ieff (mm) = ($\delta h_1 + \delta h_2$) x porosité efficace
 Ieff (mm) = (550 + 241 mm) x 0,30 = 237,3 mm
 Précipitation totale (Ptot.) en 2013 = 920,5 mm **
 Ieff correspond à 26% de Ptot

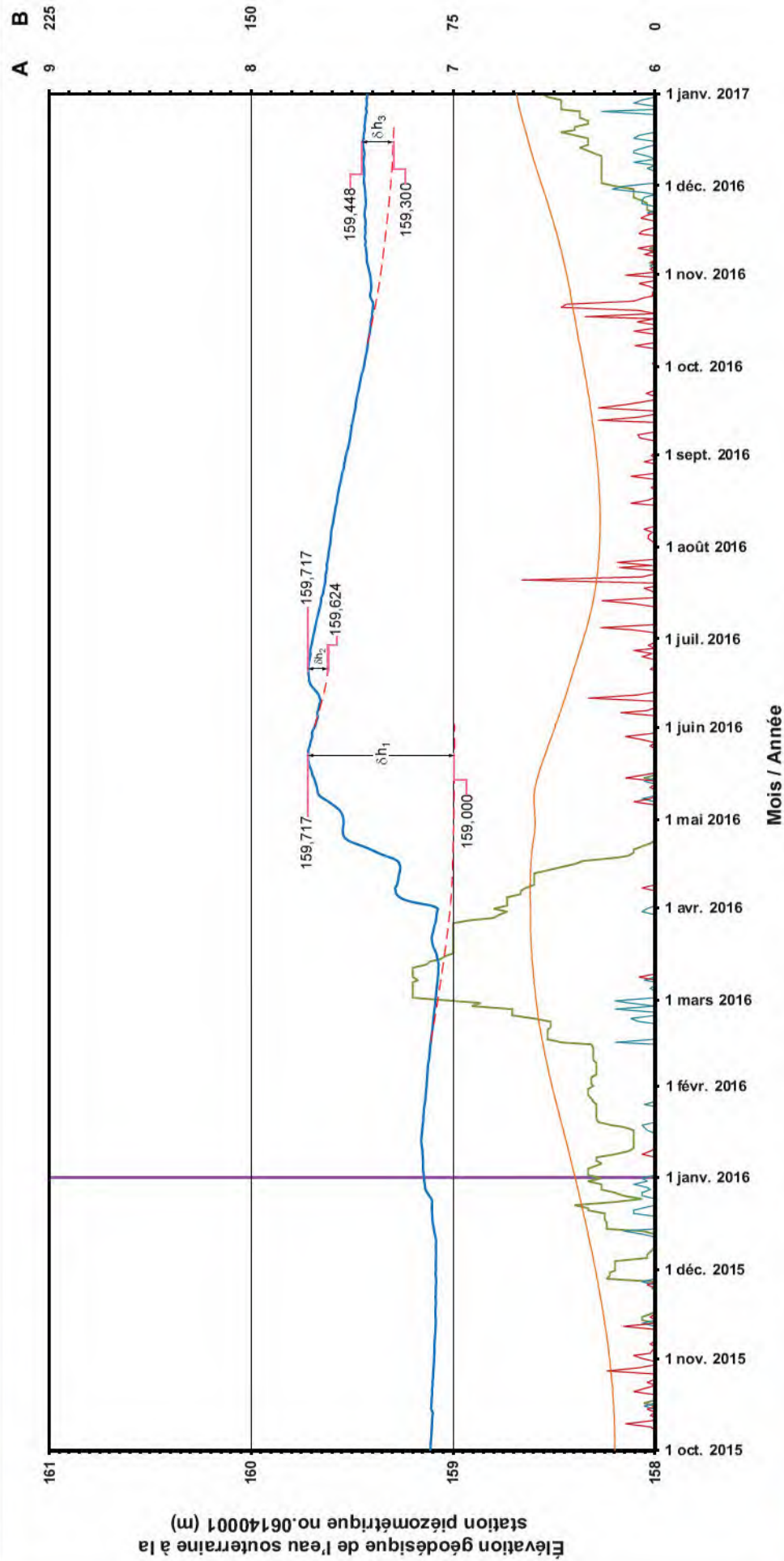


- : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2014 (min.: 159,236 m; max.: 159,659 m) *
 - : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2014 (min.: 6,21 °C; max.: 6,63 °C) * (échelle A)
 - : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
 - : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
 - : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2014: 70 cm) ** (échelle B)
- * Données tirées de la station piézométrique no. 06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no. 06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage
- ** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no. 7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no. 7066750) et Saint-Ambroise (no. 7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (I_{eff}) = somme $\delta h \times$ porosité efficace
 I_{eff} (mm) = $(\delta h_1 + \delta h_2) \times$ porosité efficace
 I_{eff} (mm) = $(504 + 142 \text{ mm}) \times 0,30 = 193,8 \text{ mm}$
 Précipitation totale (P_{tot}) en 2014 = 811,0 mm **
 I_{eff} correspond à 24% de P_{tot}

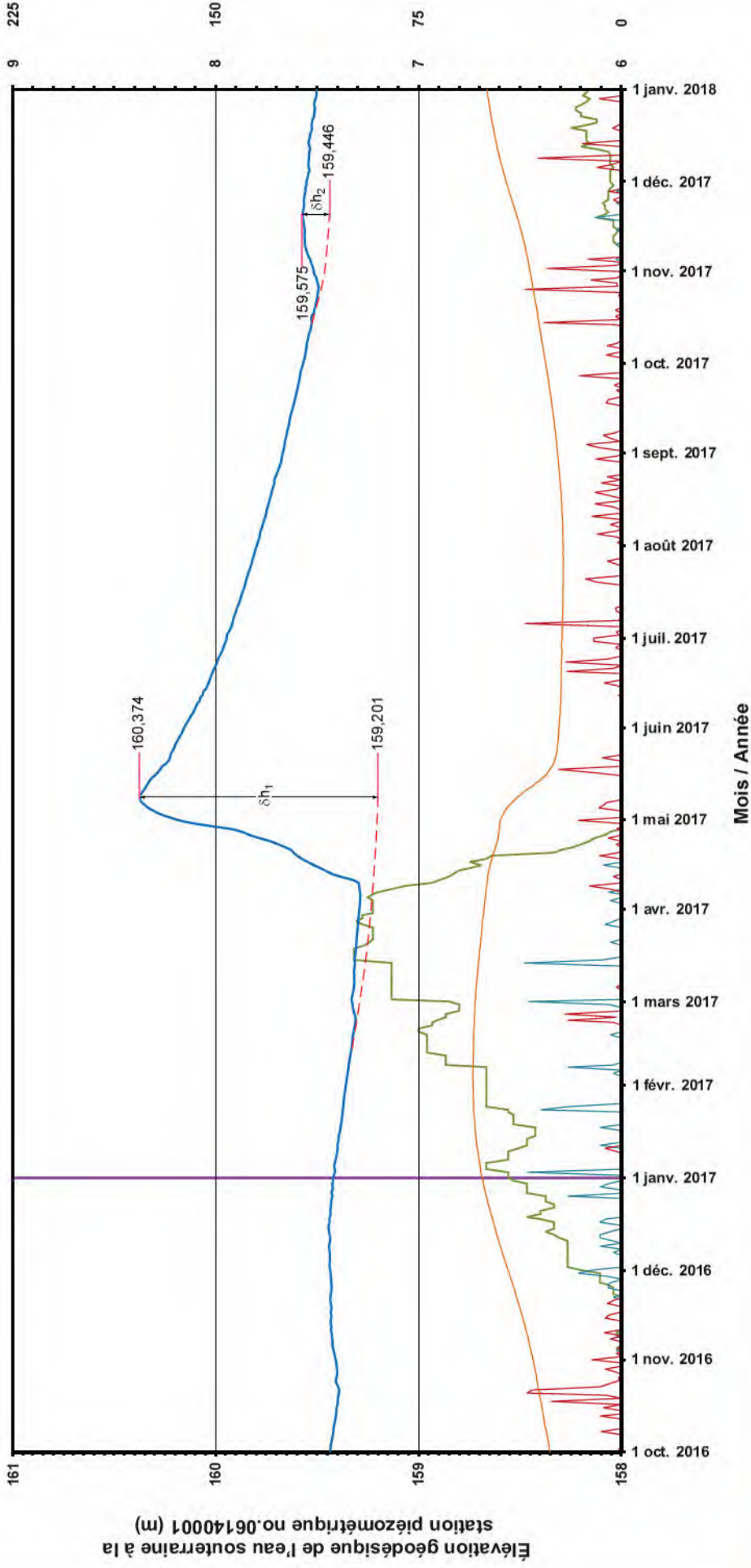


Infiltration efficace (Ieff) = somme $\delta h \times$ porosité efficace
Ieff (mm) = $(\delta h_1 + \delta h_2) \times$ porosité efficace
Ieff (mm) = $(244 + 88 \text{ mm}) \times 0,30 = 99,6 \text{ mm}$
Précipitation totale (Ptot.) en 2015 = 743,5 mm **
Ieff correspond à 13% de Ptot



- : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2016 (min.: 159,072 m; max.: 159,717 m) *
 - : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2016 (min.: 6,27 °C; max.: 6,68 °C) * (échelle A)
 - : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
 - : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
 - : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2016: 90 cm) ** (échelle B)
- * Données tirées de la station piézométrique no. 06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no. 06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage
- ** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no. 7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no. 7066750) et Saint-Ambroise (no. 7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (leff) = somme $\delta h \times$ porosité efficace
 $leff \text{ (mm)} = (\delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3) \times \text{porosité efficace}$
 $leff \text{ (mm)} = (717 + 93 + 148 \text{ mm}) \times 0,30 = 287,4 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot) en 2016 = 834,5 mm **
 leff correspond à 34% de Ptot

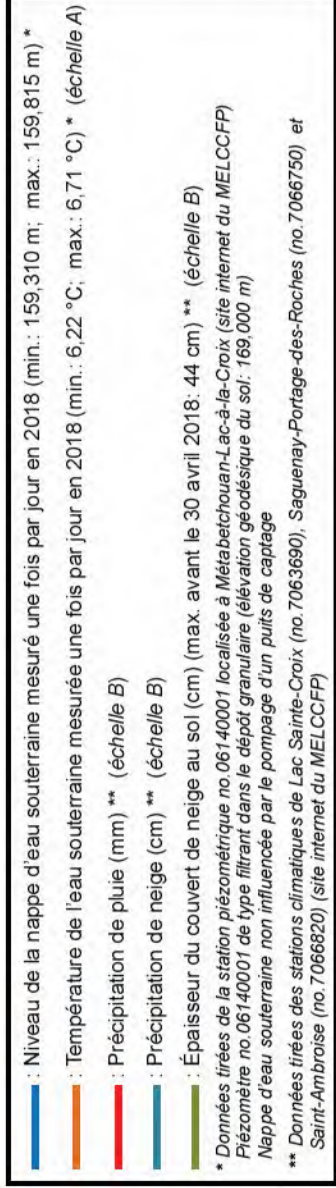
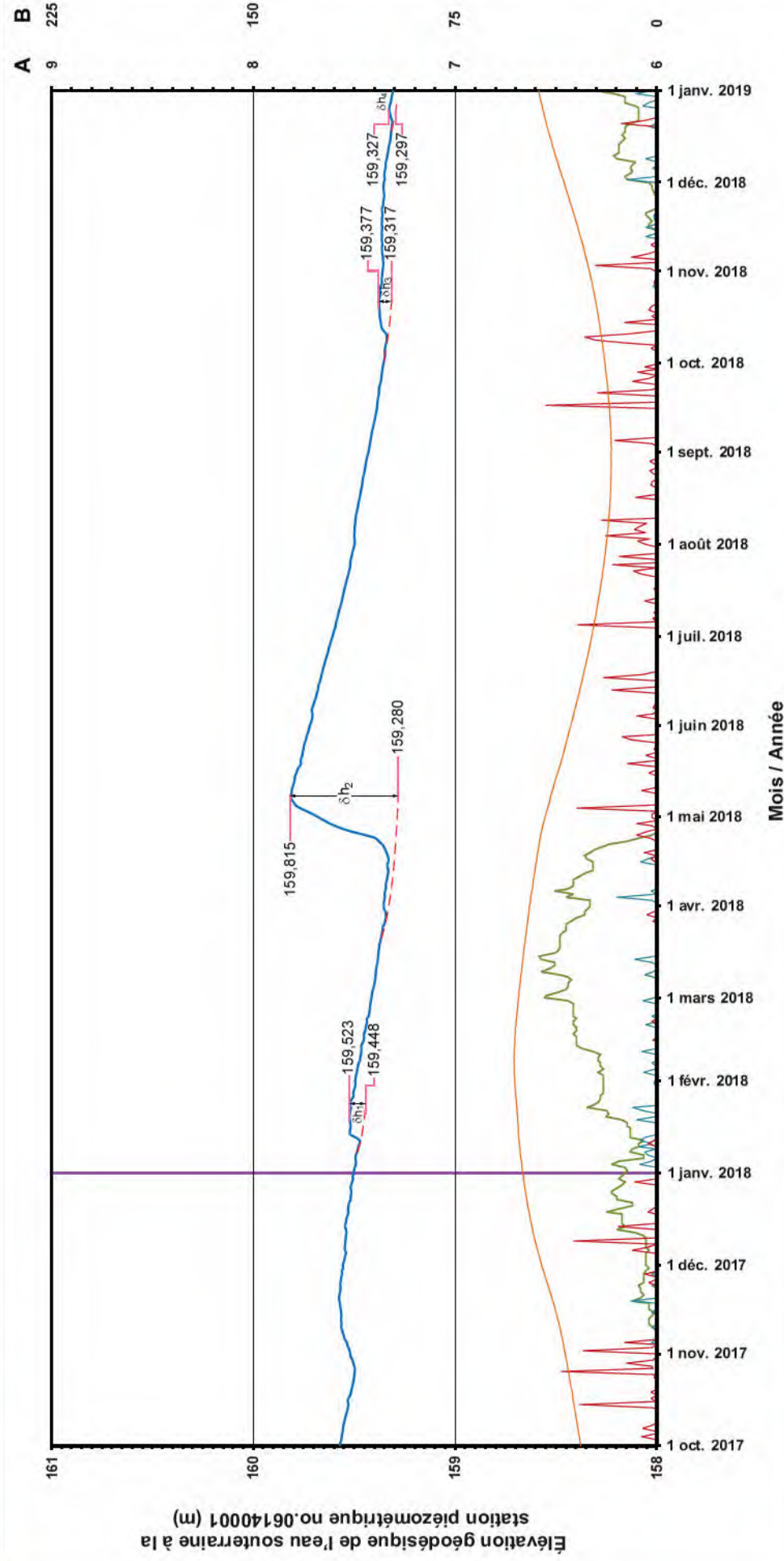


Infiltration efficace (leff) = somme δh x porosité efficace
 $leff$ (mm) = $(\delta h1 + \delta h2) \times \text{porosité efficace}$
 $leff$ (mm) = $(1173 + 129 \text{ mm}) \times 0.30 = 390,6 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot) en 2017 = 971,4 mm **
 $leff$ correspond à 40% de Ptot

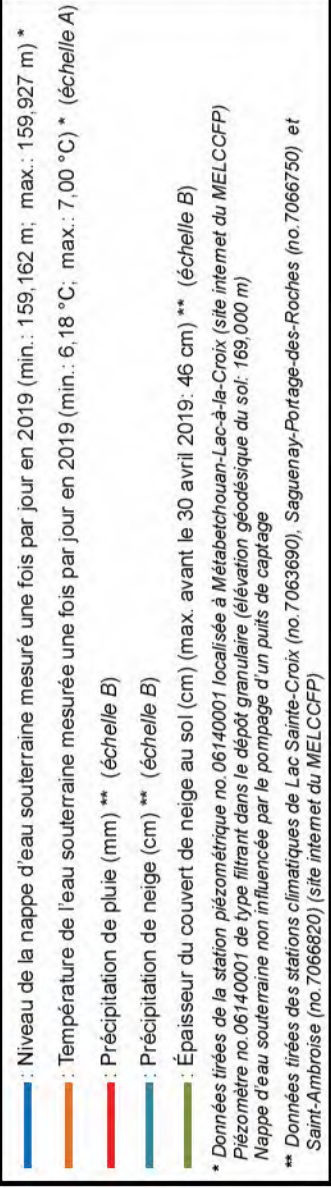
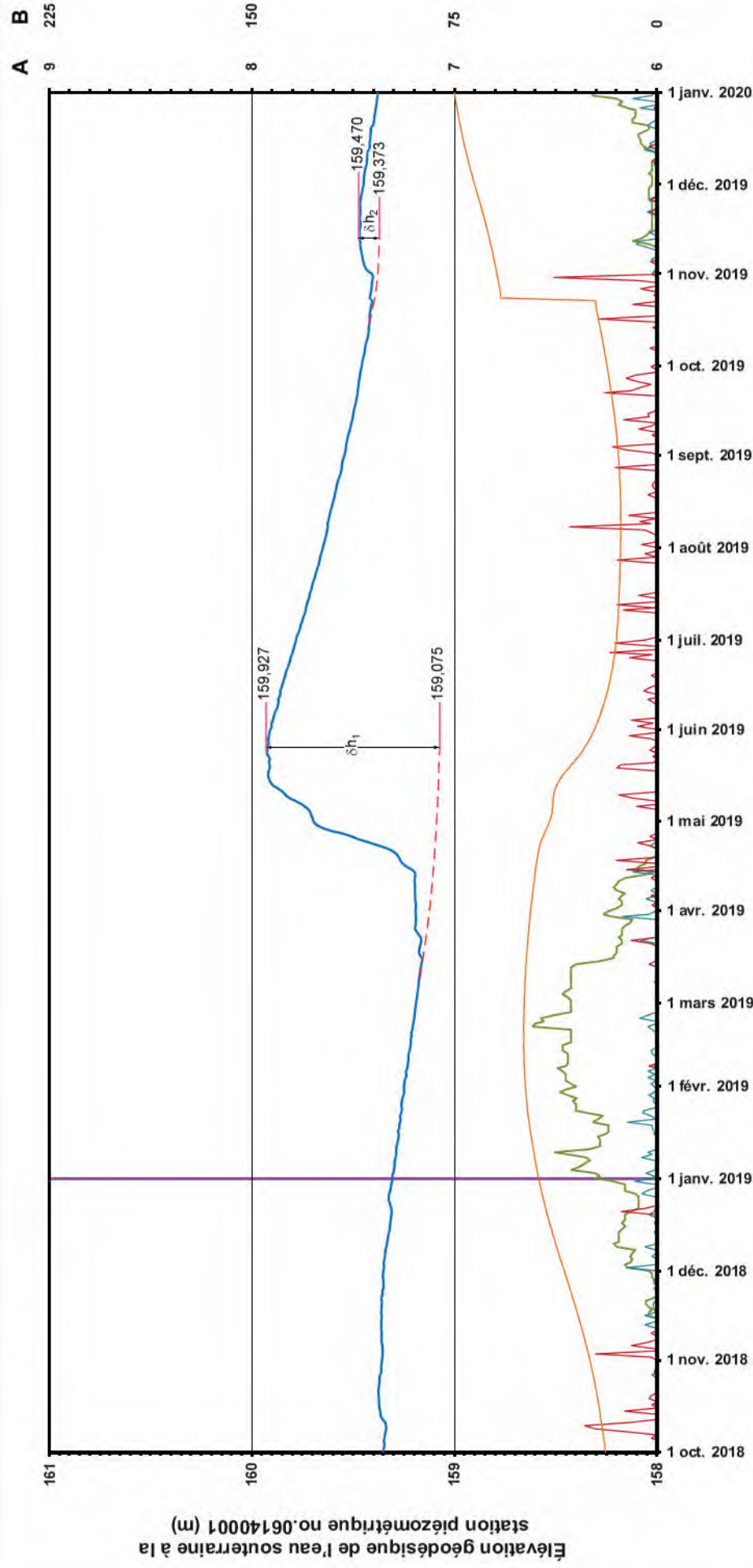
- : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2017 (min.: 159,290 m; max.: 160,374 m) *
- : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2017 (min.: 6,29 °C; max.: 6,73 °C) * (échelle A)
- : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
- : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
- : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2017: 99 cm) ** (échelle B)

* Données tirées de la station piézométrique no.06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no.06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169 000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage

** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no. 7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no. 7066750) et Saint-Ambroise (no. 7066820) (site internet du MELCCFP)



Infiltration efficace (Ieff) = somme δh x porosité efficace
 $I_{eff} (mm) = (\delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3 + \delta h_4) \times \text{porosité efficace}$
 $I_{eff} (mm) = (75 + 535 + 60 + 30 \text{ mm}) \times 0,30 = 210,0 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot.) en 2018 = 825,1 mm **
 Ieff correspond à 25% de Ptot



Infiltration efficace (leff) = somme δh x porosité efficace

leff (mm) = $(\delta h_1 + \delta h_2) \times$ porosité efficace

leff (mm) = $(852 + 97 \text{ mm}) \times 0,30 = 284,7 \text{ mm}$

Précipitation totale (Ptot) en 2019 = 786,3 mm **

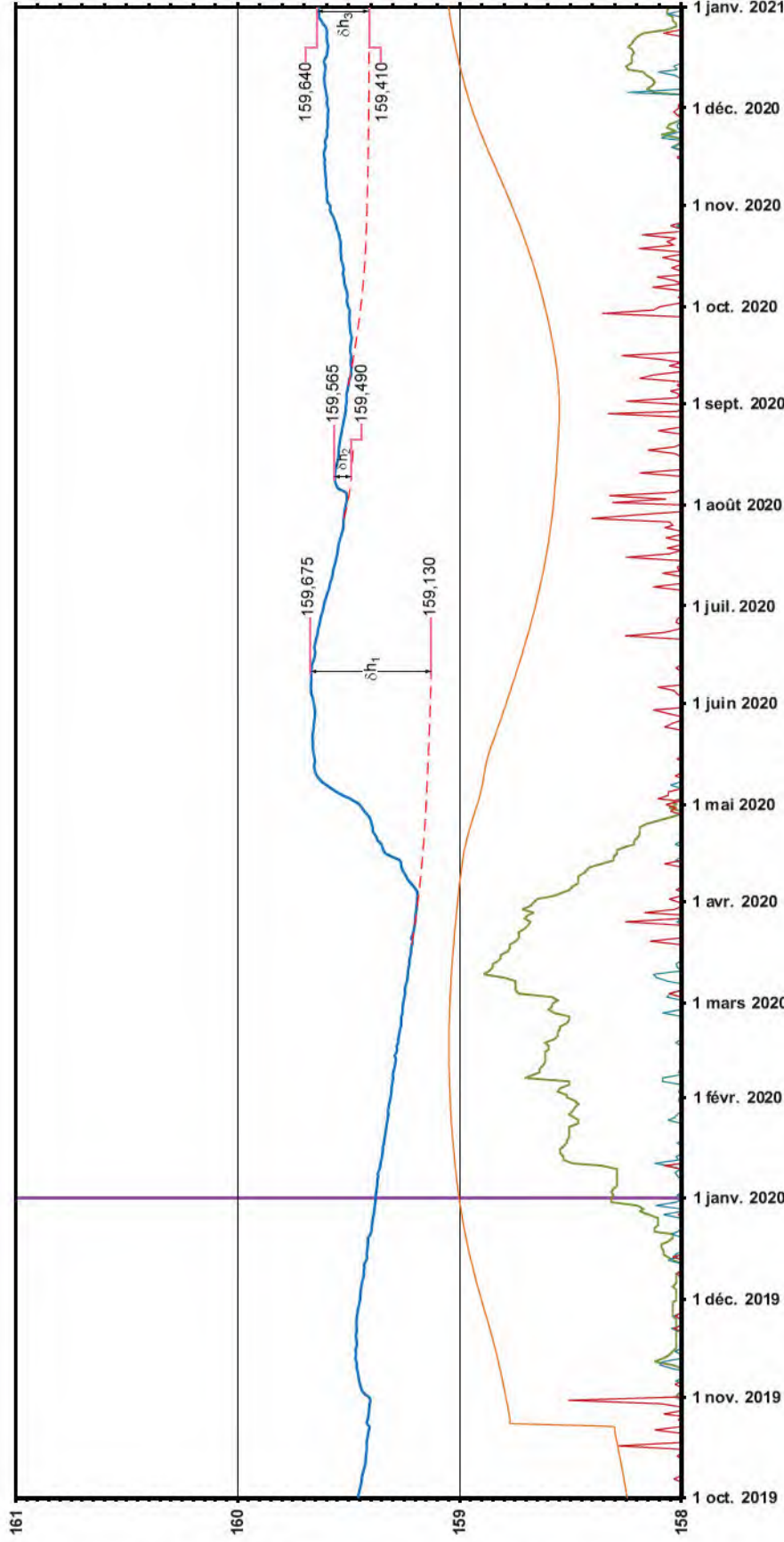
leff correspond à 36% de Ptot

A 9 225

B 8 150

7 75

6 0



Mois / Année

- : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2020 (min.: 159,190 m; max.: 159,675 m) *
 - : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2020 (min.: 6,55 °C; max.: 7,05 °C) * (échelle A)
 - : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
 - : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
 - : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2020: 67 cm) ** (échelle B)
- * Données tirées de la station piézométrique no 06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no 06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage
 ** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no.7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no.7066750) et Saint-Ambroise (no.7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (Ieff) = somme δh x porosité efficace
 $I_{eff} (mm) = (\delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3) \times \text{porosité efficace}$
 $I_{eff} (mm) = (54,5 + 75 + 230 \text{ mm}) \times 0,30 = 255,0 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot) en 2020 = 797,0 mm **
 Ieff correspond à 32% de Ptot

A B

9 225

8 150

7 75

6 0

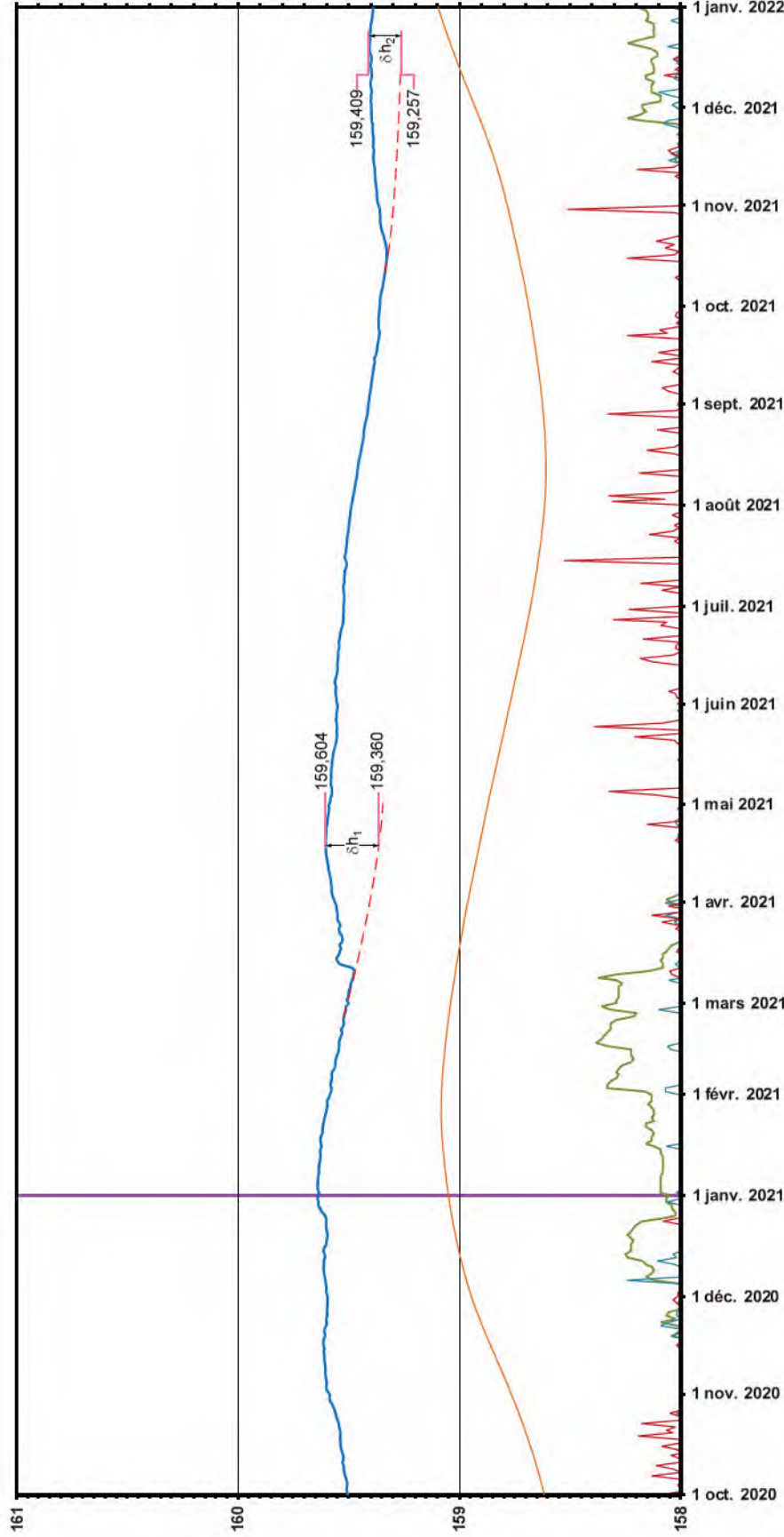
161

160

159

158

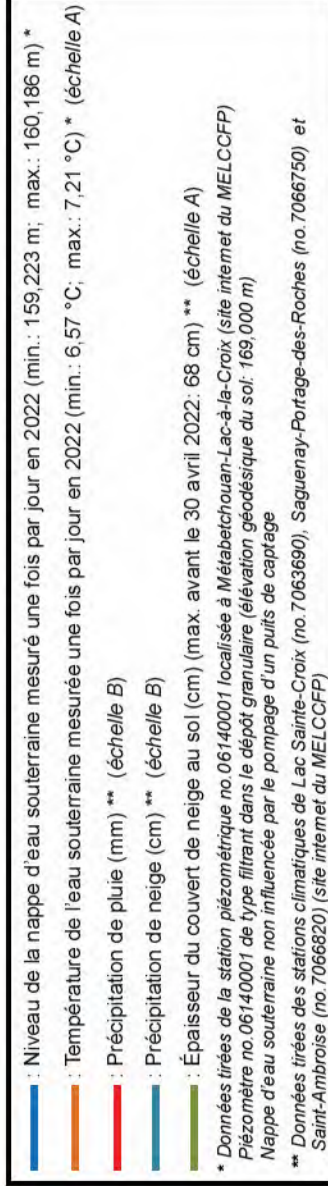
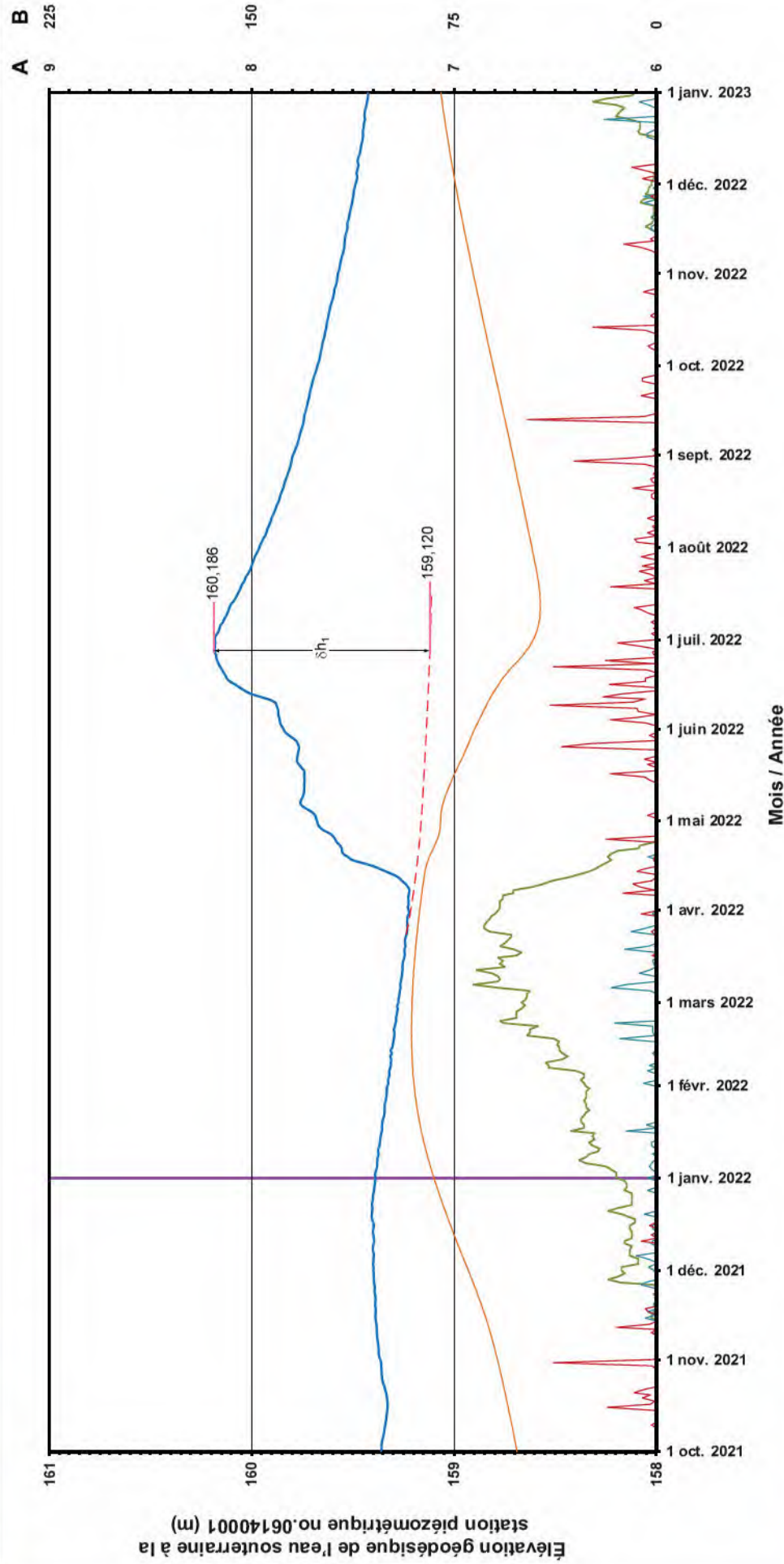
Elevation géodésique de l'eau souterraine à la station piézométrique no.06140001 (m)



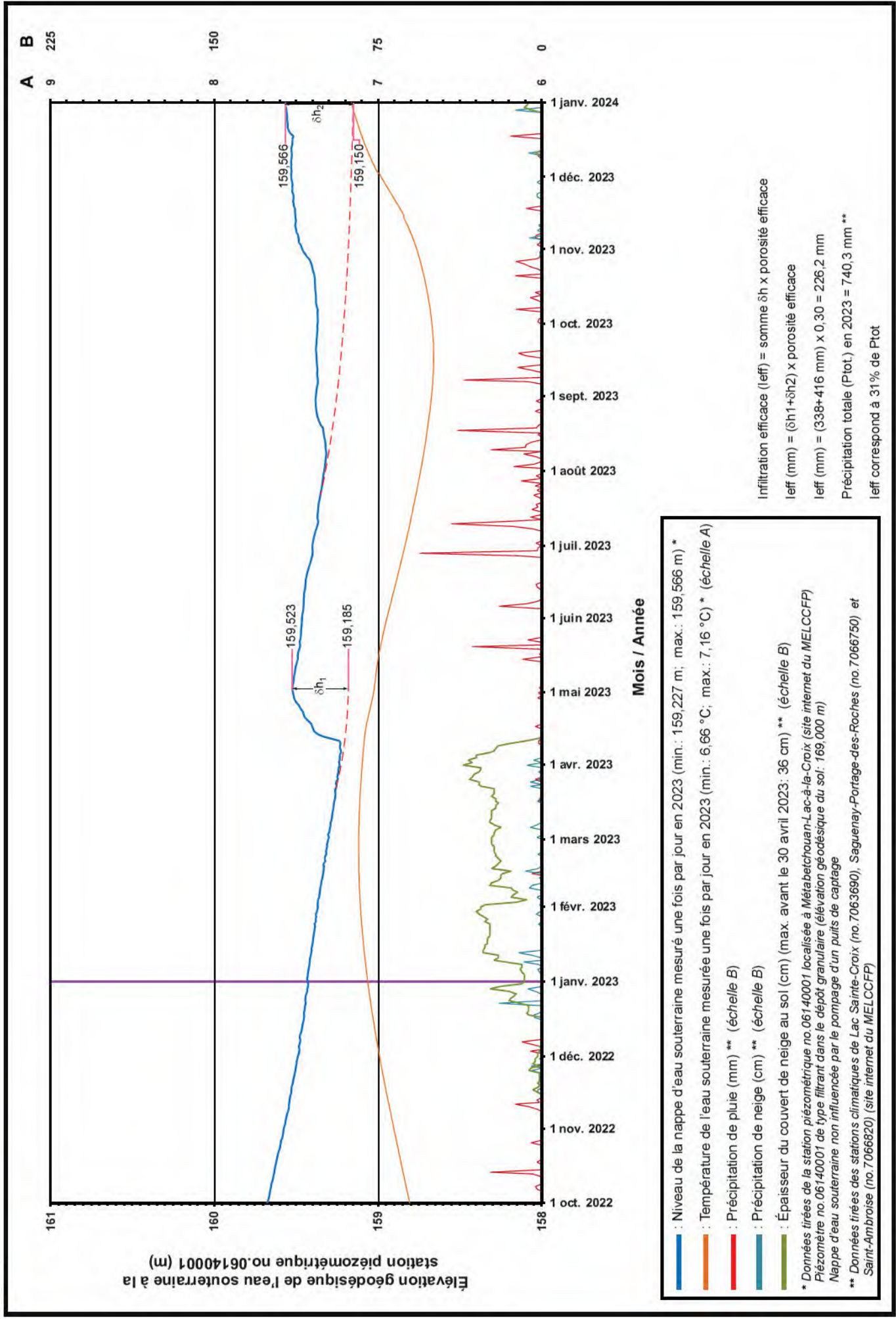
Mois / Année

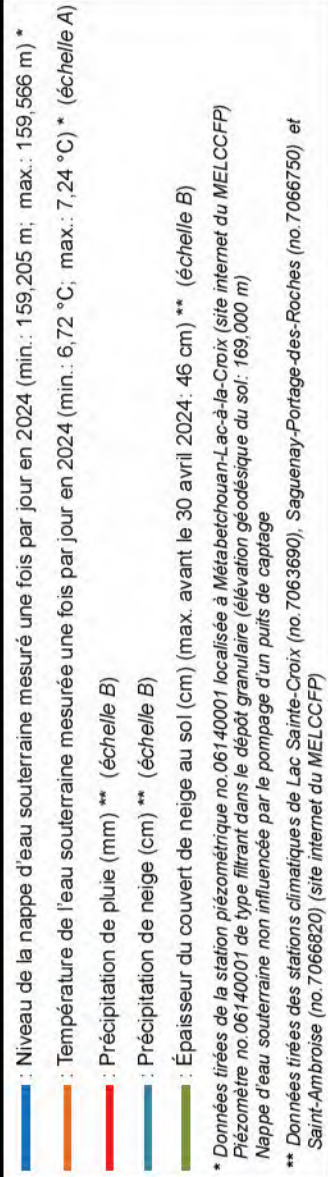
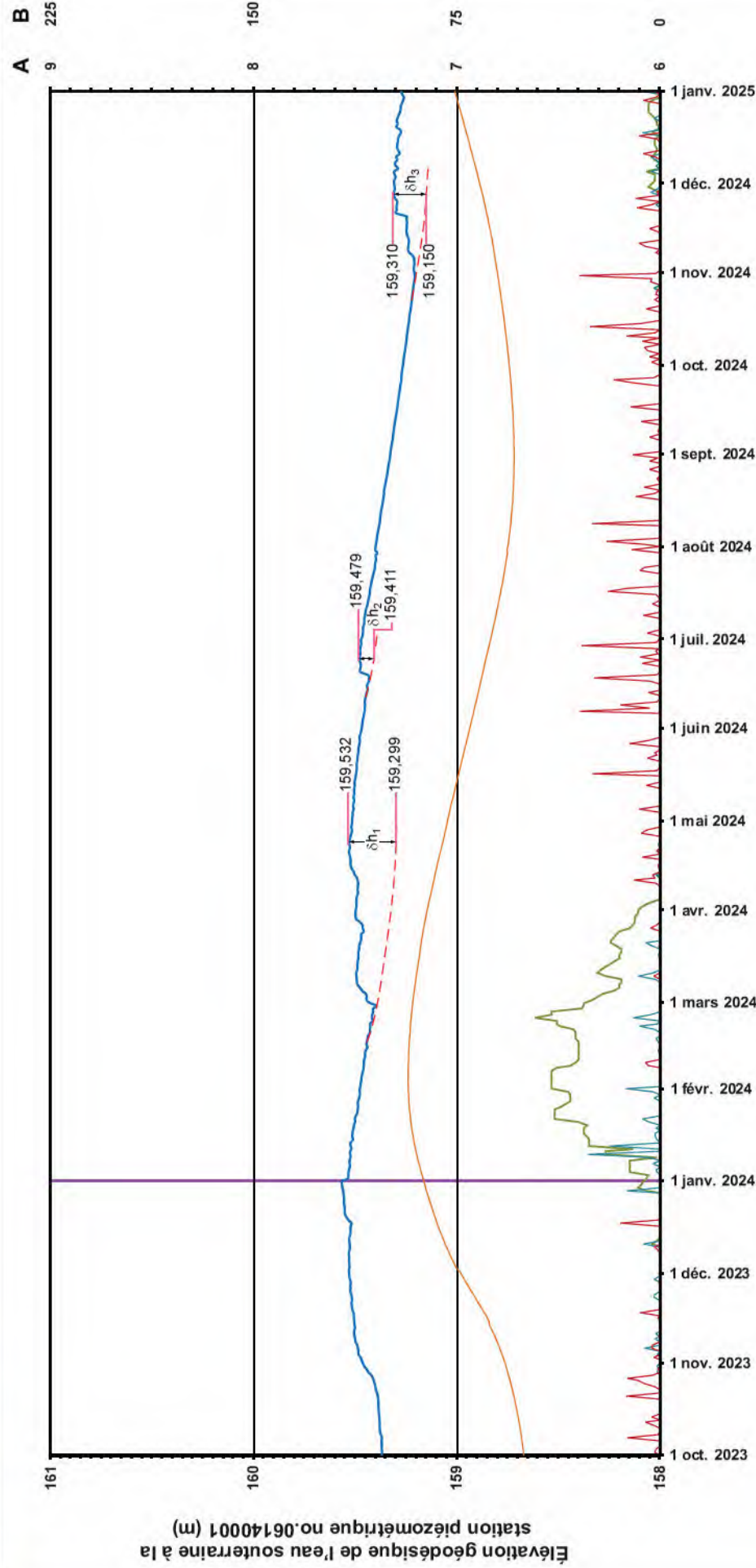
- : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré une fois par jour en 2021 (min.: 159,331 m; max.: 159,639 m) *
 - : Température de l'eau souterraine mesurée une fois par jour en 2021 (min.: 6,61 °C; max.: 7,09 °C) * (échelle A)
 - : Précipitation de pluie (mm) ** (échelle B)
 - : Précipitation de neige (cm) ** (échelle B)
 - : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) (max. avant le 30 avril 2021: 29 cm) ** (échelle B)
- * Données tirées de la station piézométrique no.06140001 localisée à Métabetchouan-Lac-à-Ja-Croix (site internet du MELCCFP)
 Piézomètre no.06140001 de type filtrant dans le dépôt granulaire (élévation géodésique du sol: 169,000 m)
 Nappe d'eau souterraine non influencée par le pompage d'un puits de captage
- ** Données tirées des stations climatiques de Lac Sainte-Croix (no.7063690), Saguenay-Portage-des-Roches (no.7066750) et Saint-Ambroise (no.7066820) (site internet du MELCCFP)

Infiltration efficace (leff) = somme $\delta h \times$ porosité efficace
 $leff (mm) = (\delta h_1 + \delta h_2) \times$ porosité efficace
 $leff (mm) = (244 + 152 \text{ mm}) \times 0,30 = 118,8 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot.) en 2021 = 763,4 mm **
 leff correspond à 16% de Ptot

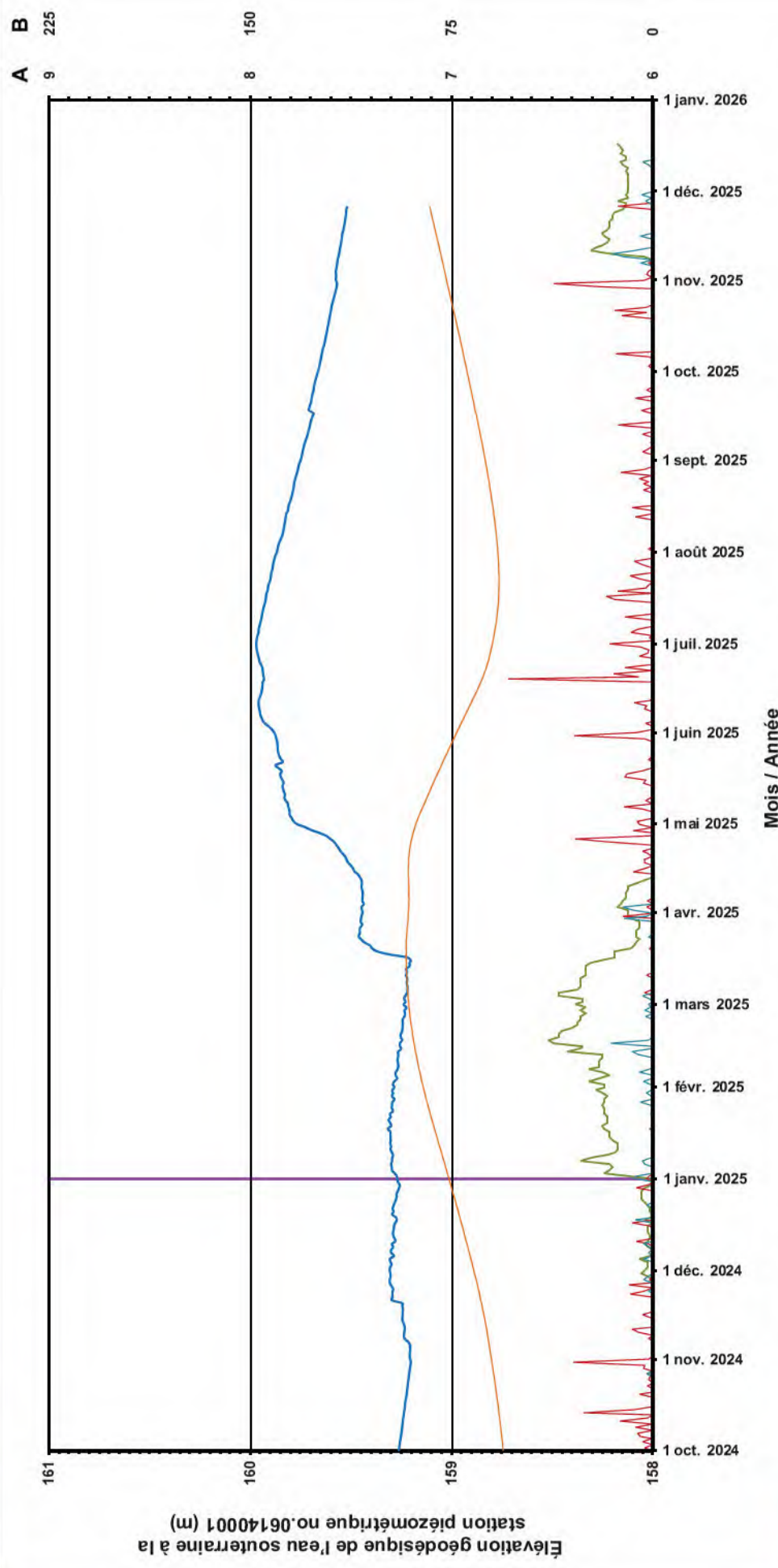


Infiltration efficace (Ieff) = somme δh x porosité efficace
 Ieff (mm) = $(\delta h_1) \times$ porosité efficace
 Ieff (mm) = $(1066 \text{ mm}) \times 0,30 = 319,8 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot.) en 2022 = 949,3 mm **
 Ieff correspond à 33% de Ptot



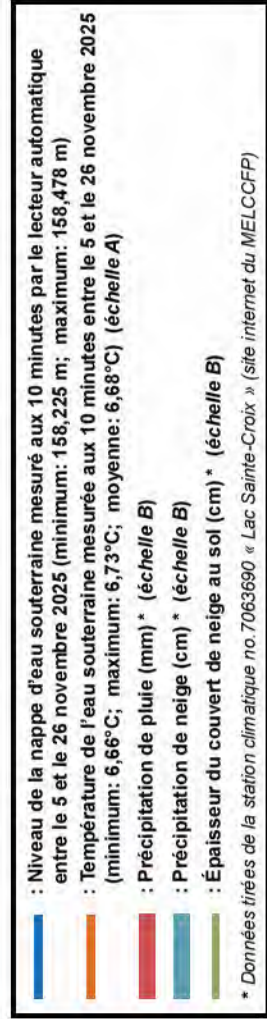
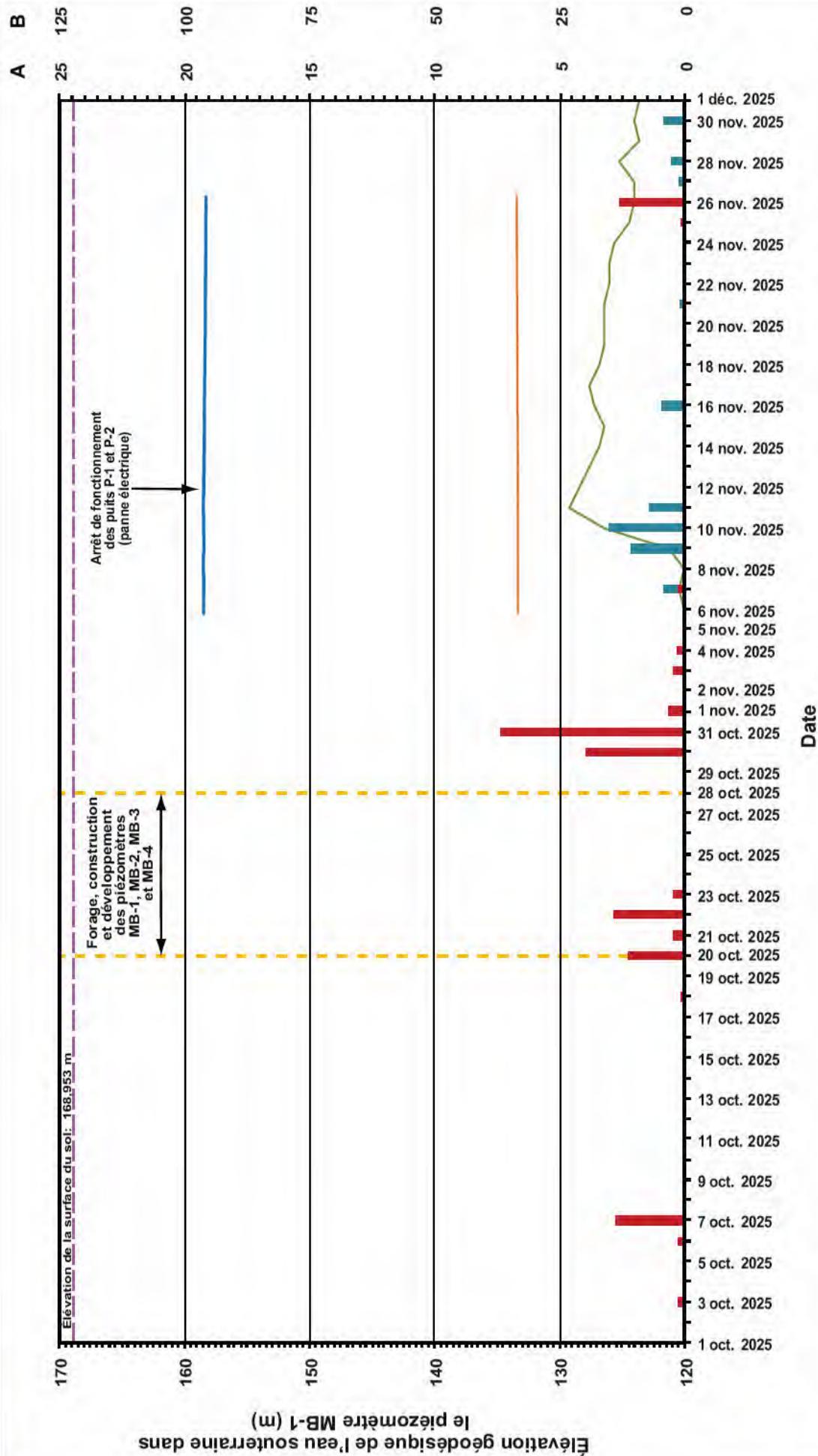


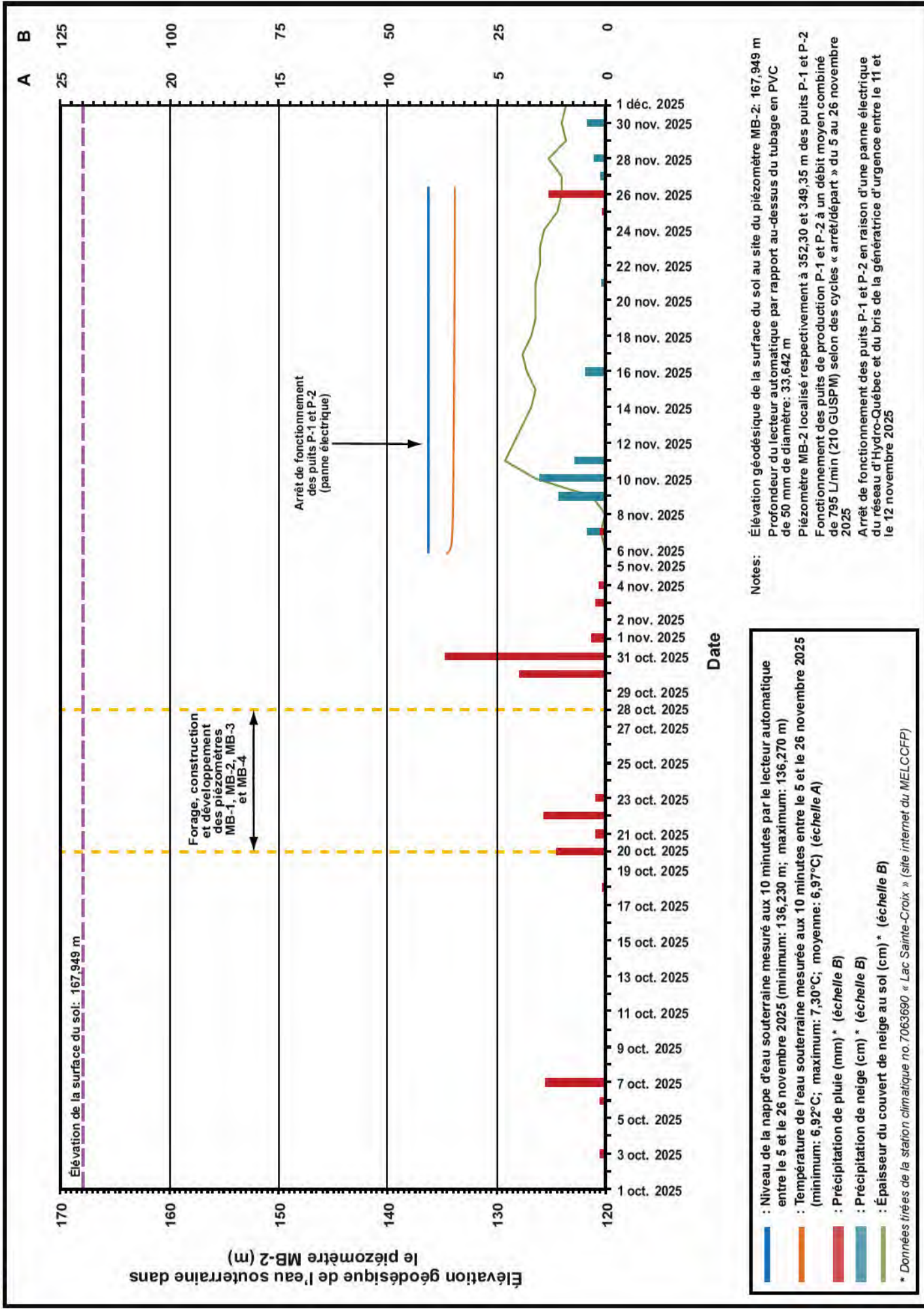
Infiltration efficace (Ieff) = somme δh x porosité efficace
 $I_{eff} \text{ (mm)} = (\delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3) \times \text{porosité efficace}$
 $I_{eff} \text{ (mm)} = (233 + 68 + 160 \text{ mm}) \times 0,30 = 138,3 \text{ mm}$
 Précipitation totale (Ptot.) en 2024 = 807,0 mm **
 Ieff correspond à 17% de Ptot

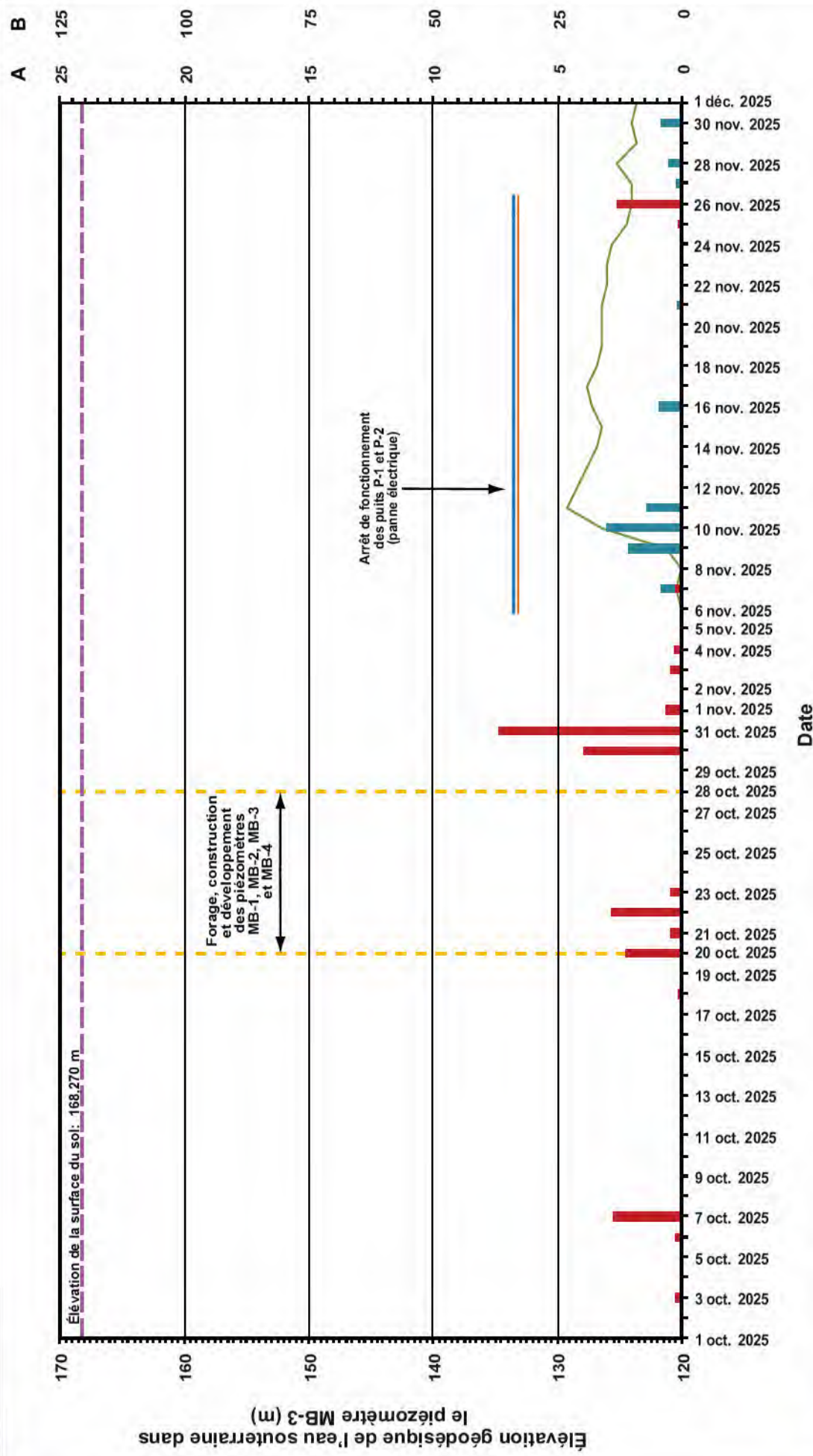


ANNEXE 5

Graphiques du suivi des niveaux d'eau souterraine et de surface
dans le secteur du lieu de prélèvement



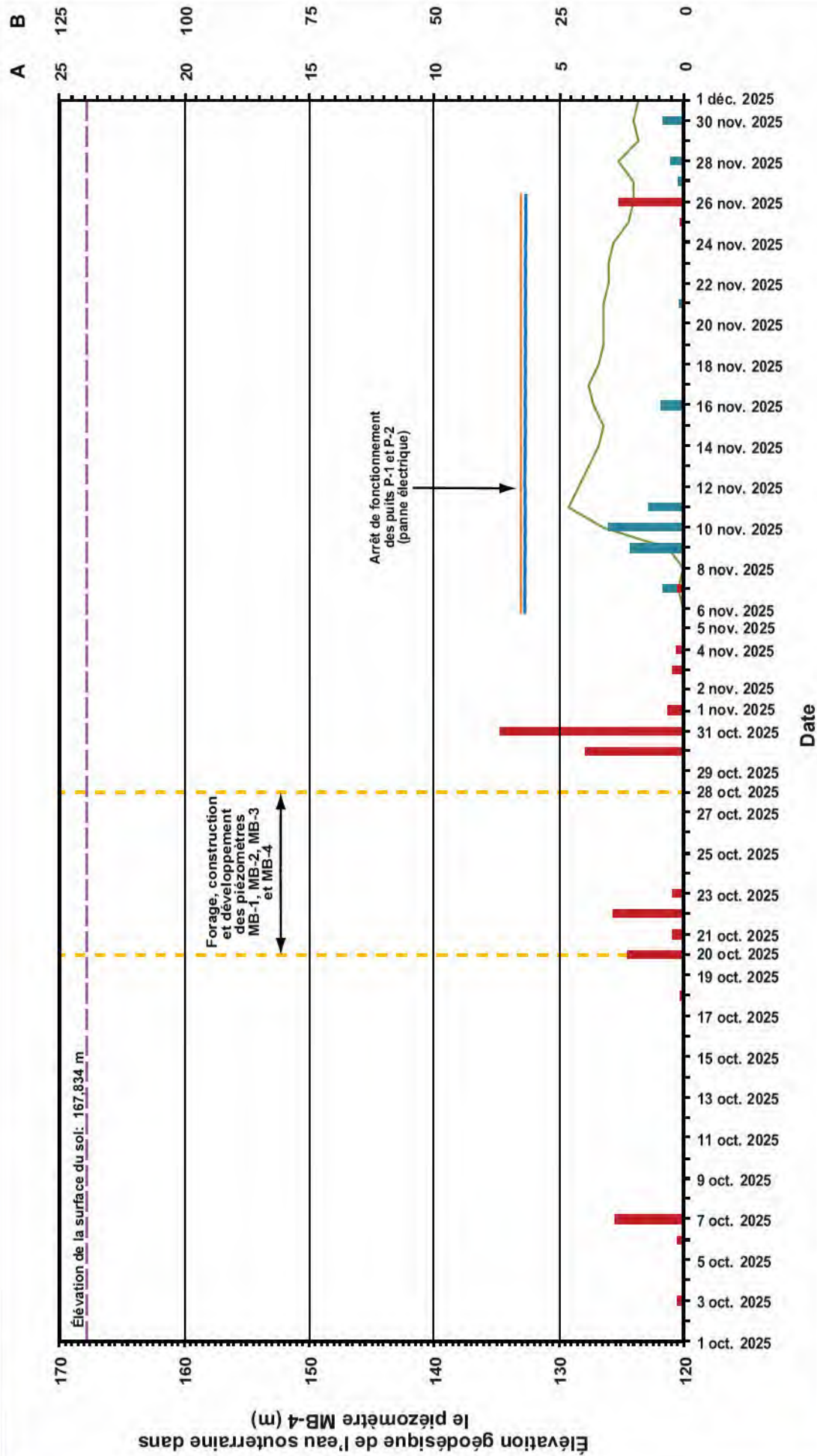


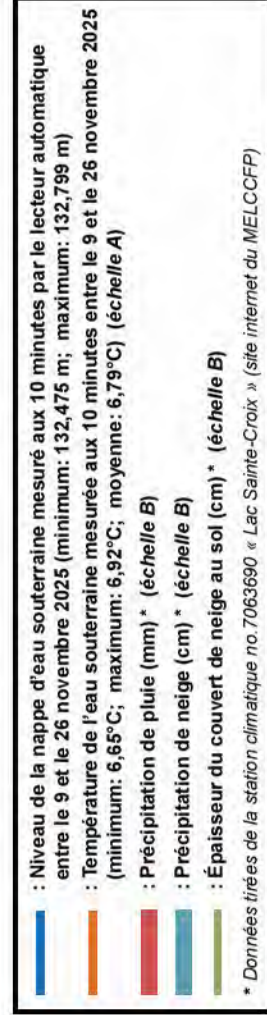
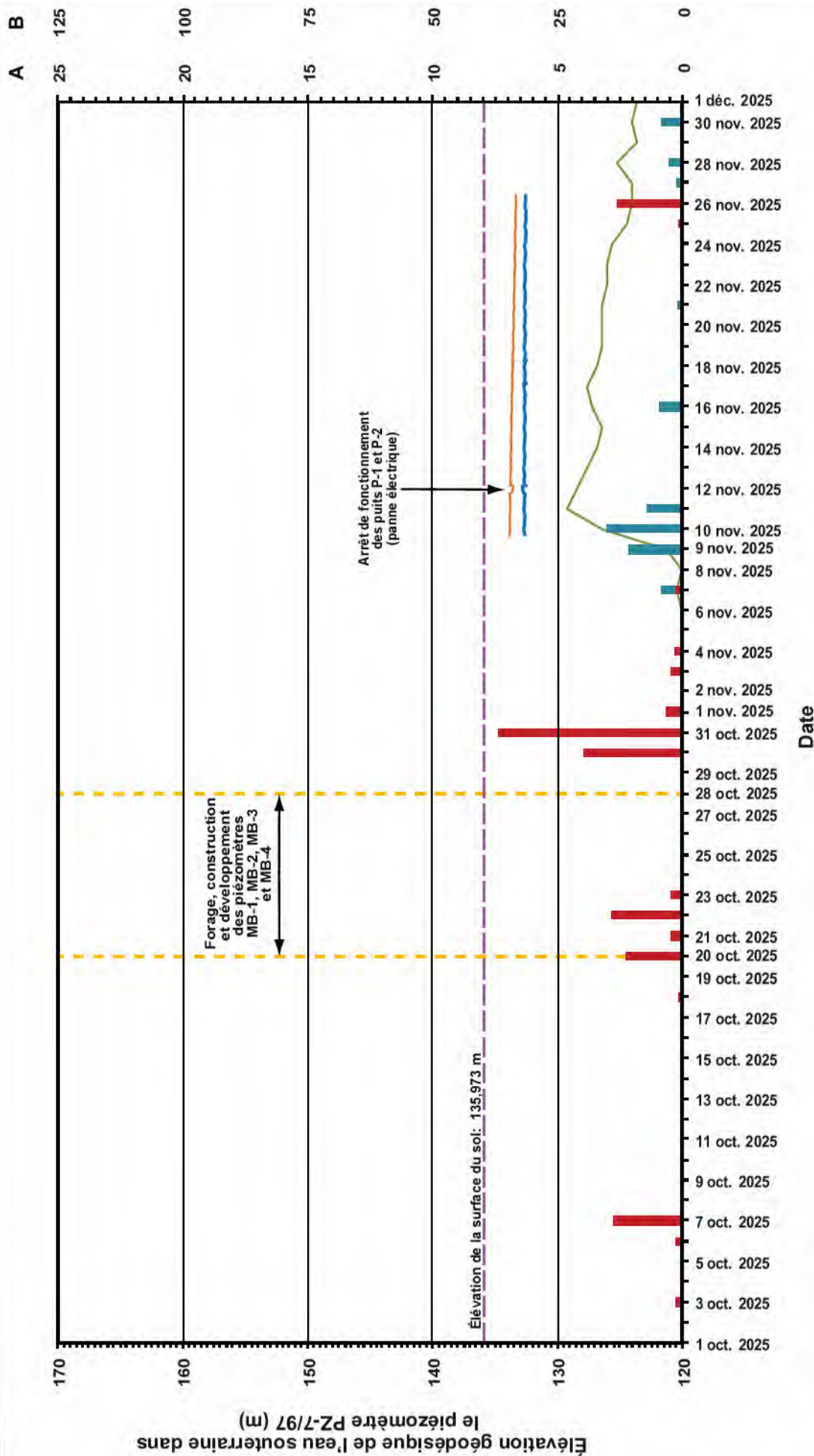


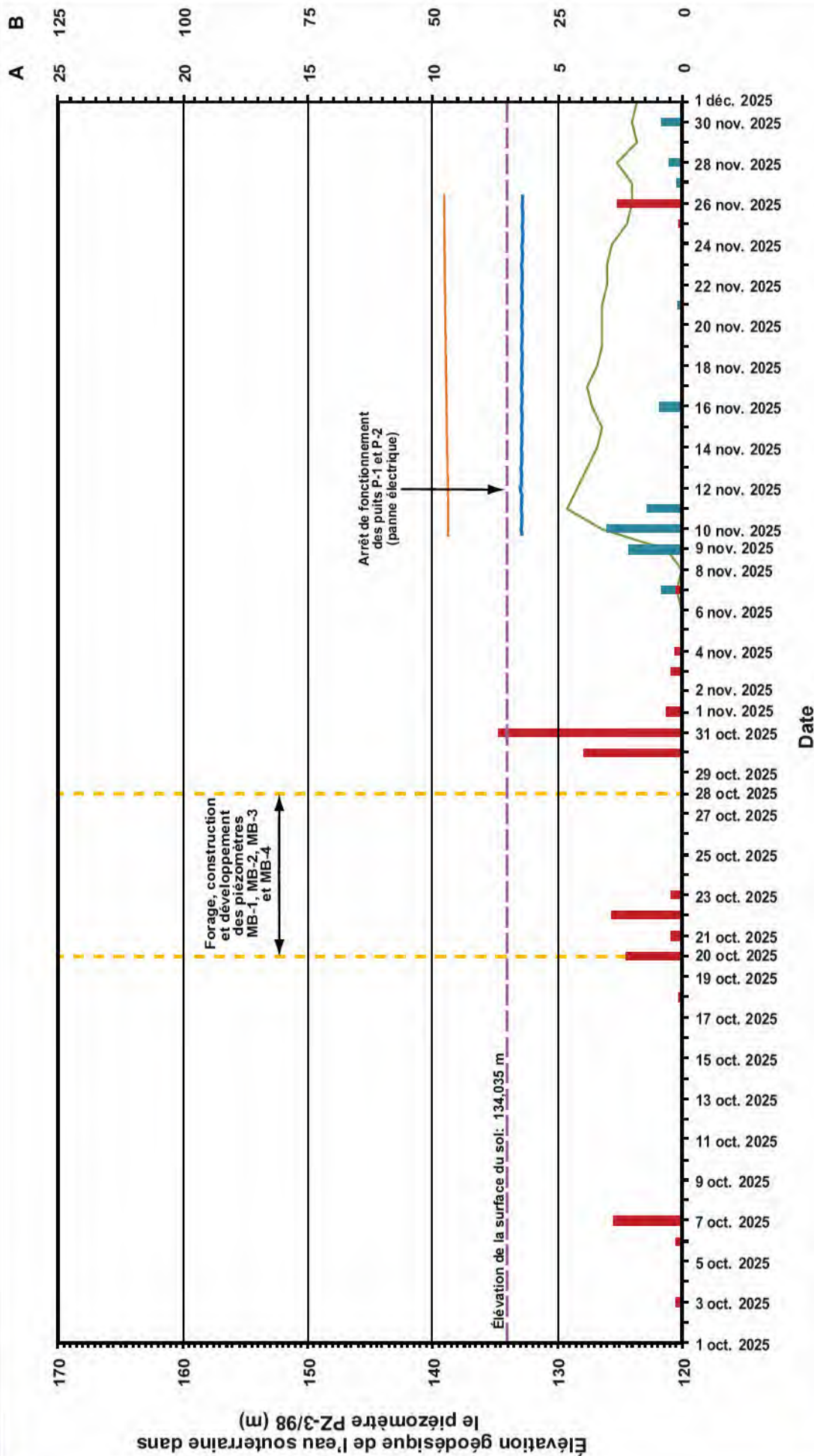
-  : Niveau de la nappe d'eau souterraine mesuré aux 10 minutes par le lecteur automatique entre le 5 et le 26 novembre 2025 (minimum: 133,510 m; maximum: 133,580 m)
-  : Température de l'eau souterraine mesurée aux 10 minutes entre le 5 et le 26 novembre 2025 (minimum: 6,56°C; maximum: 6,58°C; moyenne: 6,56°C) (échelle A)
-  : Précipitation de pluie (mm) * (échelle B)
-  : Précipitation de neige (cm) * (échelle B)
-  : Épaisseur du couvert de neige au sol (cm) * (échelle B)

* Données tirées de la station climatique no. 7063690 « Lac Sainte-Croix » (site internet du MELCCFP)

Notes: Élévation géodésique de la surface du sol au site du piézomètre MB-3: 168,270 m
Profondeur du lecteur automatique par rapport au-dessus de l'anneau en aluminium de 152 mm de diamètre: 41,727 m
Piézomètre MB-3 localisé respectivement à 431,50 et 428,95 m des puits P-1 et P-2
Fonctionnement des puits de production P-1 et P-2 à un débit moyen combiné de 795 L/min (210 GUSPM) selon des cycles « arrêt/départ » du 5 au 26 novembre 2025
Arrêt de fonctionnement des puits P-1 et P-2 en raison d'une panne électrique du réseau d'Hydro-Québec et du bris de la génératrice d'urgence entre le 11 et le 12 novembre 2025

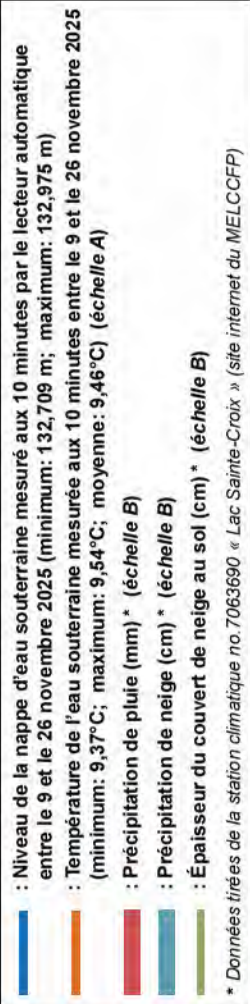


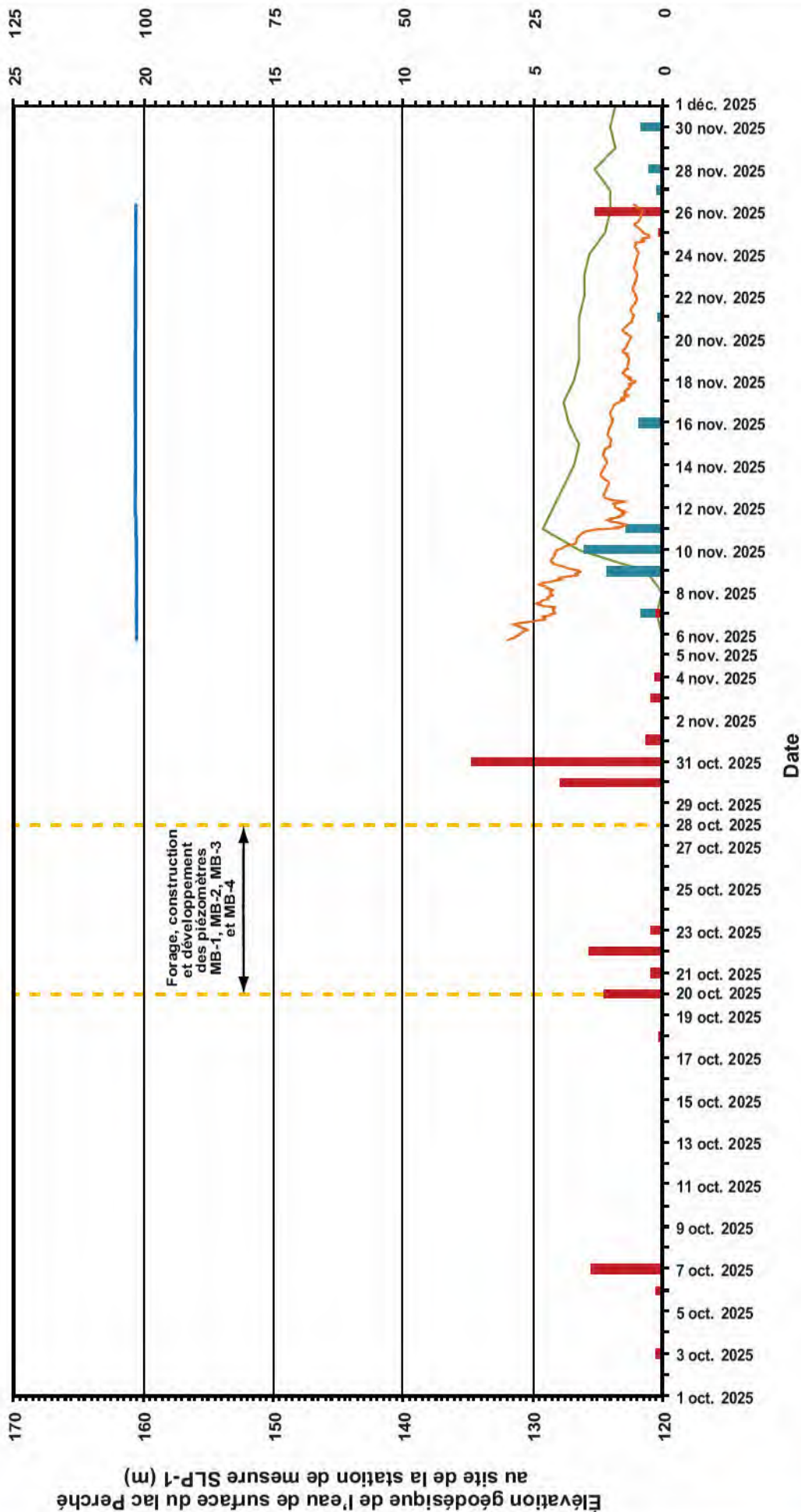




Notes:

- Élévation géodésique de la surface du sol au site du piézomètre PZ-3/98: 134,035 m
- Profondeur du lecteur automatique par rapport au-dessus de l'anneau en aluminium de 152 mm de diamètre: 8,221 m
- Piezomètre PZ-3/98 localisé respectivement à 42,81 et 45,84 m des puits P-1 et P-2
- Fonctionnement des puits de production P-1 et P-2 à un débit moyen combiné de 795 L/min (210 GUSPM) selon des cycles « arrêt/départ » du 5 au 26 novembre 2025
- Arrêt de fonctionnement des puits P-1 et P-2 en raison d'une panne électrique du réseau d'Hydro-Québec et du bris de la génératrice d'urgence entre le 11 et le 12 novembre 2025





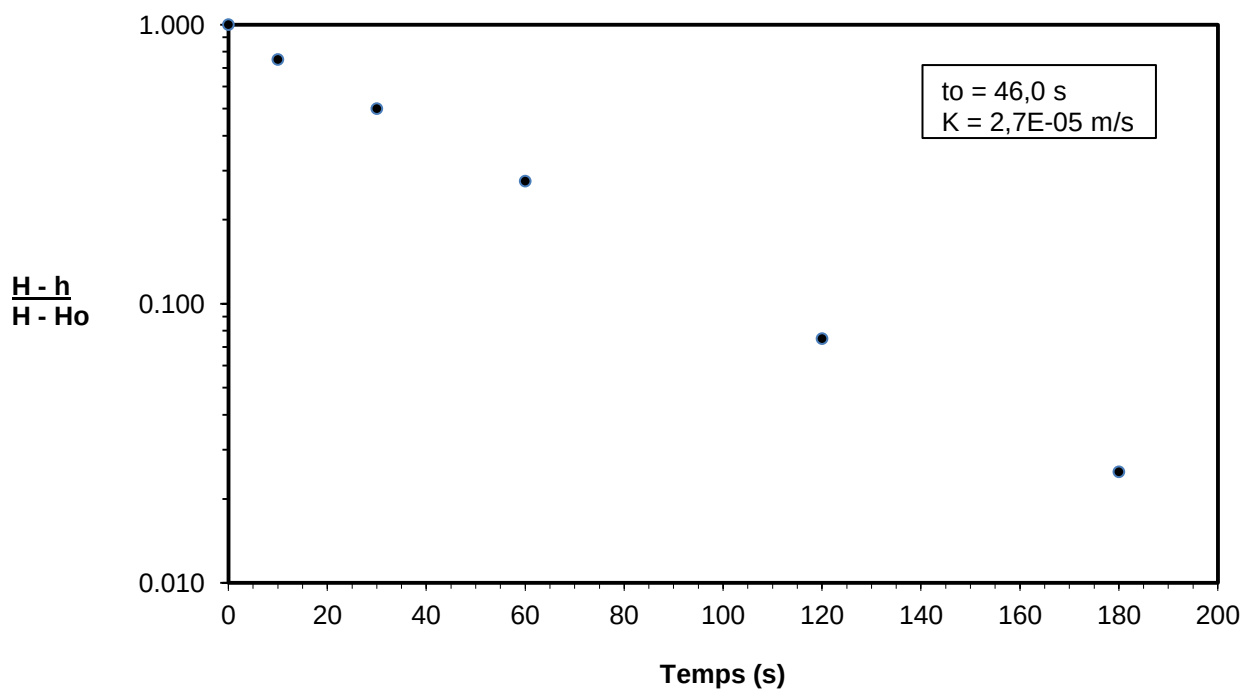
ANNEXE 6

Rapport des essais de perméabilité à charge variable

ESSAI DE PERMÉABILITÉ À CHARGE VARIABLE

Projet: Contamination - Eau - Métabetchouan	Piézomètre: MB-1	Niveau de lecture H_o (m):	11.780
No.: ATE-25429-01	Diamètre forage (mm): 152,4	Margelle (m):	1.290
Date: 5 novembre 2025	Diamètre tubage (mm): 50,8	Niveau statique (m):	10.490
Durée de la remontée: 180 secondes	Opérateur: CD	Lecture p/r: tubage PVC	
Élévation géodésique sol (m): 168,953	Sonde no.: ATE-1		
Essai: choc hydraulique à niveau ascendant			

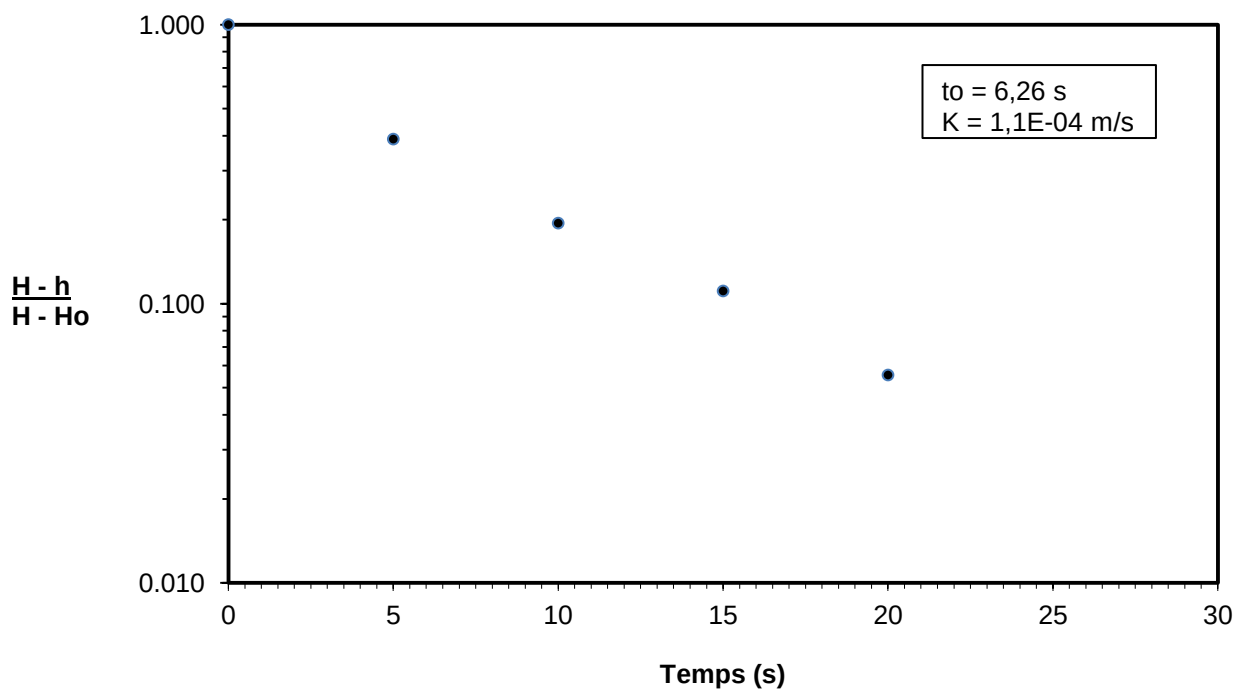
Temps (s)	Profondeur (h) (m)	H_o (m)	$H - h$ (m)	$H - H_o$ (m)	$H - h/H - H_o$
0.0	11.820	11.780	0.040	0.040	1.000
10.0	11.810	11.780	0.030	0.040	0.750
30.0	11.800	11.780	0.020	0.040	0.500
60.0	11.791	11.780	0.011	0.040	0.275
120.0	11.783	11.780	0.003	0.040	0.075
180.0	11.781	11.780	0.001	0.040	0.025



ESSAI DE PERMÉABILITÉ À CHARGE VARIABLE

Projet: Contamination - Eau - Métabetchouan	Piézomètre: MB-2	Niveau de lecture H_o (m):	32.638
No.: ATE-25429-01	Diamètre forage (mm): 152,4	Margelle (m):	0.928
Date: 5 novembre 2025	Diamètre tubage (mm): 50,8	Niveau statique (m):	31.710
Durée de la remontée: 20 secondes	Opérateur: CD	Lecture p/r: tubage PVC	
Élévation géodésique sol (m): 167,949	Sonde no.: ATE-1		
Essai: choc hydraulique à niveau ascendant			

Temps (s)	Profondeur (h) (m)	H_o (m)	$H - h$ (m)	$H - H_o$ (m)	$H - h / H - H_o$
0.0	32.674	32.638	0.036	0.036	1.000
5.0	32.652	32.638	0.014	0.036	0.389
10.0	32.645	32.638	0.007	0.036	0.194
15.0	32.642	32.638	0.004	0.036	0.111
20.0	32.640	32.638	0.002	0.036	0.056



ESSAI DE PERMÉABILITÉ À CHARGE VARIABLE

Projet: Contamination - Eau - Métabetchouan

Piézomètre: MB-3

Niveau de lecture H_o (m): 35.919

No.: ATE-25429-01

Diamètre forage (mm): 168,0

Margelle (m): 1.167

Date: 5 novembre 2025

Diamètre tubage (mm): 127,0

Niveau statique (m): 34.752

Durée de la remontée: 30 secondes

Opérateur: CD

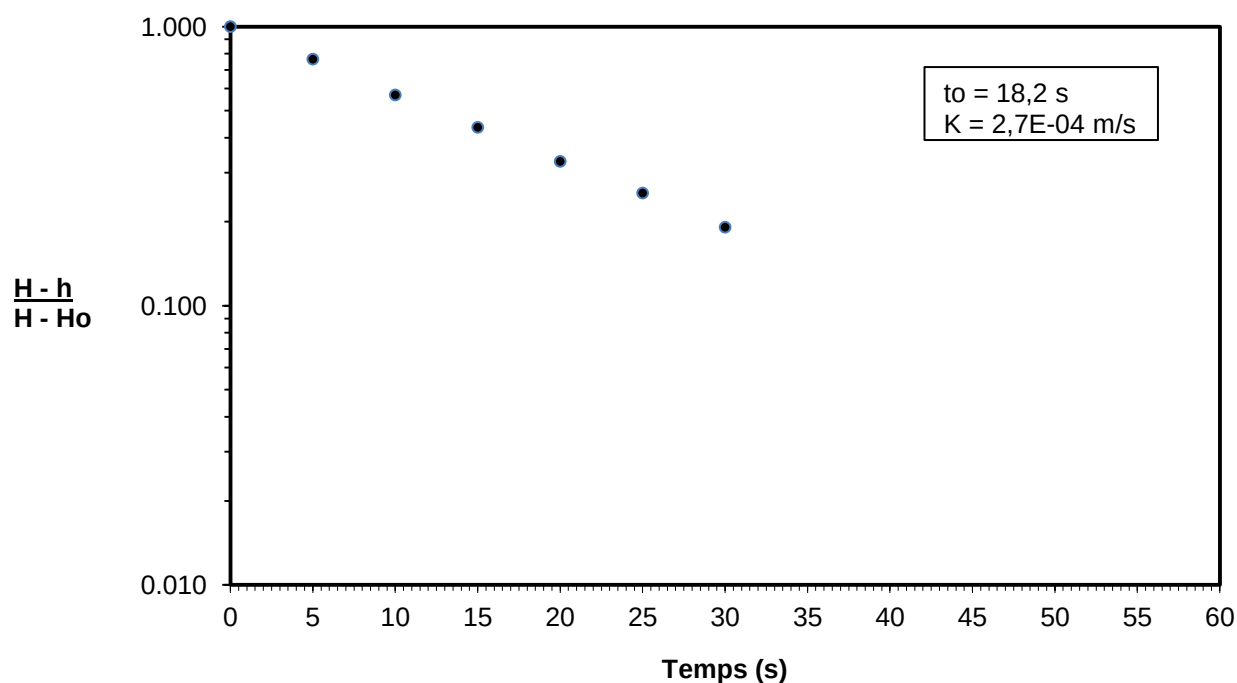
Lecture p/r: tubage acier 152,4 mm

Élévation géodésique sol (m): 168,270

Sonde no.: ATE-1

Essai: choc hydraulique à niveau ascendant

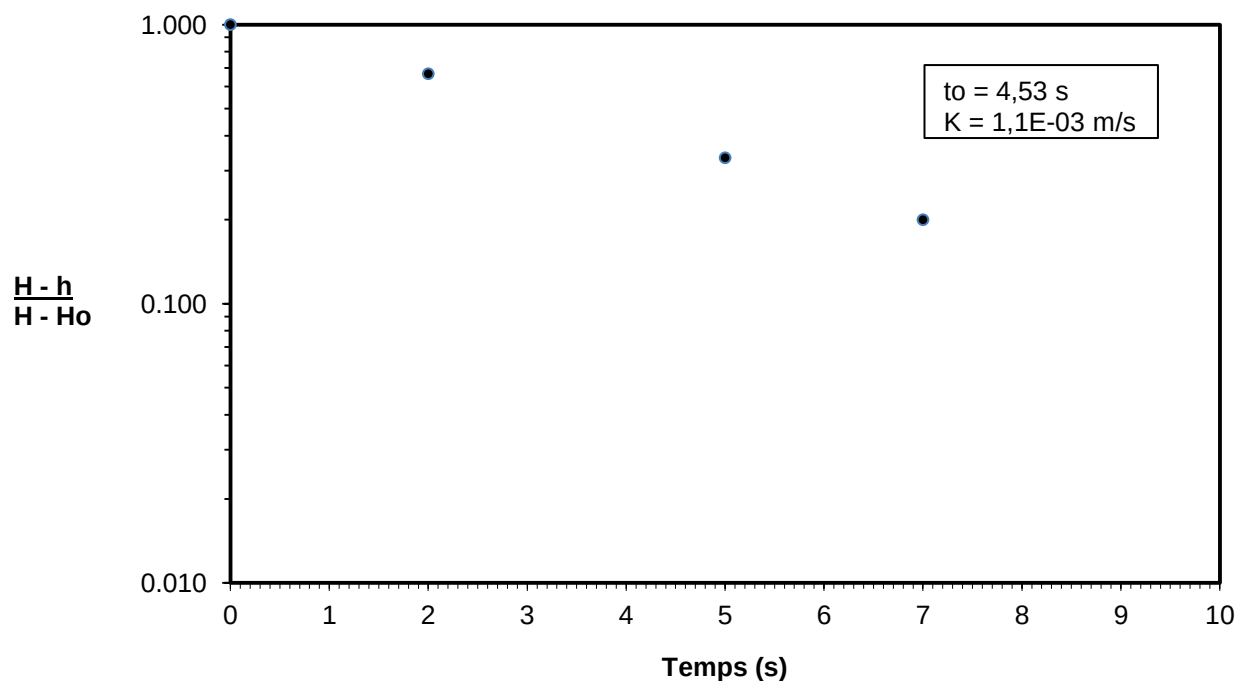
Temps (s)	Profondeur (h) (m)	H_o (m)	$H - h$ (m)	$H - H_o$ (m)	$H - h / H - H_o$
0.0	36.144	35.919	0.225	0.225	1.000
5.0	36.091	35.919	0.172	0.225	0.764
10.0	36.047	35.919	0.128	0.225	0.569
15.0	36.017	35.919	0.098	0.225	0.436
20.0	35.993	35.919	0.074	0.225	0.329
25.0	35.976	35.919	0.057	0.225	0.253
30.0	35.962	35.919	0.043	0.225	0.191



ESSAI DE PERMÉABILITÉ À CHARGE VARIABLE

Projet: Contamination - Eau - Métabetchouan	Piézomètre: MB-4	Niveau de lecture H_o (m):	35.965
No.: ATE-25429-01	Diamètre forage (mm): 168,0	Margelle (m):	0.916
Date: 5 novembre 2025	Diamètre tubage (mm): 127,0	Niveau statique (m):	35.049
Durée de la remontée: 7 secondes	Opérateur: CD	Lecture p/r: tubage acier 152,4 mm	
Élévation géodésique sol (m): 167,834	Sonde no.: ATE-1		
Essai: choc hydraulique à niveau ascendant			

Temps (s)	Profondeur (h) (m)	H_o (m)	$H - h$ (m)	$H - H_o$ (m)	$H - h / H - H_o$
0.0	35.995	35.965	0.030	0.030	1.000
2.0	35.985	35.965	0.020	0.030	0.667
5.0	35.975	35.965	0.010	0.030	0.333
7.0	35.971	35.965	0.006	0.030	0.200



ANNEXE 7

Tableaux de calculs des indices DRASTIC

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC

Profondeur de la nappe d'eau souterraine (D)

PROFONDEUR DE L'EAU (m)	COTE
0,0 - 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9,0	7
9,0 - 15,0	5
15,0 - 23,0	3
23,0 - 31,0	2
> 31,0	1
Poids: 5	

Lorsque la nappe est naturellement bien protégée par une unité géologique peu perméable, la profondeur de l'eau souterraine peut correspondre à la profondeur du toit de la formation aquifère. En l'absence d'une unité peu perméable, la profondeur de l'eau souterraine coïncide avec le niveau statique de la nappe libre.

Au site du piézomètre PZ-3/98, le niveau de la nappe d'eau souterraine se retrouve à une profondeur de 1,060 m: une cote de 10 est attribuée.

Dans le secteur des ouvrages P-1, P-2 et PZ-7/97, le niveau de la nappe d'eau souterraine se situe entre 3,105 et 3,377 m de profondeur: une cote de 9 est décernée.

Dans l'entourage des piézomètres MB-2, MB-3 et MB-4, le niveau de la nappe d'eau souterraine est rencontré à plus de 31 m de profondeur: une cote de 1 est sélectionnée.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Taux d'infiltration annuelle de l'eau (R)

TAUX D'INFILTRATION (cm/an)	COTE
0,0 - 5,0	1
5,0 - 10,0	3
10,0 - 18,0	6
18,0 - 25,0	8
> 25,0	9
Poids: 4	

Sur la base du bilan hydrologique et de l'évaluation effectuée par le biais de la méthode piézométrique, le taux d'infiltration de l'eau météoritique est de l'ordre de 23,7 cm/an en moyenne dans le secteur des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97, PZ-3/98 et MB-4 où le dépôt de nature silto-argileuse est absent en surface: une cote de 8 est octroyée.

Une cote de 3 est attribuée autour des piézomètres MB-2 et MB-3 en raison de la présence du dépôt de nature silto-argileuse en surface qui limite l'infiltration sectorielle des eaux météoritiques.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Milieu aquifère (A)

TYPE DE MILIEU AQUIFÈRE	COTE	COTE TYPE
Shale massif	1 - 3	2
Roches ignées/métamorphiques	2 - 5	3
Roches ignées/métamorphiques altérées	3 - 5	4
Till	4 - 6	5
Lits de grès, calcaire et shale	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	4 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10
Poids: 3		

La formation aquifère est composée d'un dépôt de sable et de gravier d'origine fluvioglaciaire: une cote type de 8 est sélectionnée.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Milieu pédologique (S)

NATURE DU SOL	COTE
Sol mince ou roc	10
Gravier	10
Sable	9
Tourbe	8
Argile fissurée	7
Loam sableux	6
Loam	5
Loam silteux	4
Loam argileux	3
Terre noire	2
Argile	1
Poids: 2	

Le sable constitue la fraction granulométrique dominante au sein du milieu pédologique rencontré à la hauteur des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97, PZ-3/98 et MB-4: une cote de 9 est octroyée.

Le milieu pédologique est composé d'un matériau géologique peu perméable qui s'apparente à un loam silteux au site des ouvrages MB-2 et MB-2: une cote de 4 est décernée.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Topographie (T)

INTERVALLE (%)	COTE
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1
Poids: 1	

Sur le dessus du plateau où sont implantés les piézomètres MB-1, MB-2, MB-3 et MB-4, la surface du sol présente une faible pente de l'ordre de 1,8% vers le sud-est: une cote de 10 est attribuée.

Dans le secteur des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97 et PZ-3/98, la pente moyenne du terrain est de 4,4% en direction sud-est vers la rivière Couchepaganiche: une cote de 9 est décernée.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Impact de la zone non saturée (I)

ZONE NON SATURÉE	COTE	COTE TYPE
Couche imperméable	1	1
Alternance silt/argile	2 - 6	3
Shale	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Lits de calcaire, grès et shale	4 - 8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4 - 8	6
Roches métamorphiques/ignées	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10
Poids: 5		

Au site de tous les ouvrages, la zone non saturée est constituée de sable et de gravier d'origine fluvioglaciaire: une cote type de 8 est sélectionnée.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

Conductivité hydraulique (C)

CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (m/d)	COTE
0,04 - 4	1
4 - 12	2
12 - 29	4
29 - 41	6
41 - 82	8
> 82	10
Poids: 3	

La partie saturée de la formation aquifère granulaire est caractérisée par une conductivité hydraulique de 268 m/d dans le secteur des ouvrages P-1, P-2, PZ-7/97 et PZ-3/98: une cote de 10 est choisie.

La conductivité hydraulique de la portion saturée de la formation aquifère retrouvée au site du piézomètre MB-4 est évaluée à 18 m/d: une cote de 4 est octroyée.

Une cote de 2 est attribuée dans l'entourage des piézomètres MB-2 et MB-3 à l'égard de la conductivité hydraulique de la partie saturée de la formation aquifère qui varie entre 7,8 et 9,5 m/d.

CALCUL DE L'INDICE DRASTIC (suite)

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

où c: cote
p: poids

NIVEAU DE VULNÉRABILITÉ: ÉLEVÉ

Ouvrage PZ-3/98

- Indice Drastic (I) = 10 (5) + 8 (4) + 8 (3) + 9 (2) + 9 (1) + 8 (5) + 10 (3) = **203 (89%)**

Ouvrages P-1, P-2 et PZ-7/97

- Indice Drastic (I) = 9 (5) + 8 (4) + 8 (3) + 9 (2) + 9 (1) + 8 (5) + 10 (3) = **198 (86%)**

NIVEAU DE VULNÉRABILITÉ: MOYEN

Ouvrage MB-4

- Indice Drastic (I) = 1 (5) + 8 (4) + 8 (3) + 9 (2) + 10 (1) + 8 (5) + 4 (3) = **141 (58%)**

Ouvrages MB-2 et MB-3

- Indice Drastic (I) = 1 (5) + 3 (4) + 8 (3) + 4 (2) + 10 (1) + 8 (5) + 2 (3) = **105 (40%)**

Indice DRASTIC en fonction du niveau de vulnérabilité (MELCCFP, 2014 & 2019)

Indice DRASTIC (I)	Niveau de vulnérabilité
23 à 100 (0 à 38%)	Faible
101 à 179 (39 à 76%)	Moyen
180 à 226 (77 à 100%)	Élevé

ANNEXE 8

Certificats d'analyse du laboratoire agréé

Votre # du projet: ATE-25429-11
Votre # Bordereau: N-A

Attention: Christian Denis

AquaTer- Eau Inc.
428, Rimbaud
Chicoutimi, QC
CANADA G7H 7N8

Date du rapport: 2025/11/13
Rapport: R3131024
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C565742

Reçu: 2025/11/06, 14:30

Matrice: Eau souterraine
Nombre d'échantillons reçus: 11

Analyses	Quantité	Date de l' extraction	Date Analysé	Méthode de laboratoire	Méthode d'analyse
Conductivité dans les eaux	11	N/A	2025/11/09	STL SOP-00038	SM 24 2510-B m
Métaux dissous(basse limite)-filtré a BV	11	N/A	2025/11/11	STL SOP-00062	MA.200-Mét. 1.2 R9 m
Métaux extractibles totaux	11	2025/11/10	2025/11/10	STL SOP-00062	MA.200-Mét. 1.2 R9 m
Azote ammoniacal dans les eaux	11	N/A	2025/11/10	STL SOP-00040	MA.300-N 2.0 R2 m
Nitrates (NO3-), Nitrites (NO2-)-eau	3	N/A	2025/11/08	STL SOP-00014	MA.300-Ions 1.3 R6 m
Nitrates (NO3-), Nitrites (NO2-)-eau	8	N/A	2025/11/09	STL SOP-00014	MA.300-Ions 1.3 R6 m
pH dans l'eau	11	N/A	2025/11/09	STL SOP-00038	MA.100-pH 1.1 R6 m
Phénols totaux par 4-AAP dans l'eau	11	N/A	2025/11/12	STL SOP-00033	MA404-I.Phé 2.2 R2 m
Solides totaux dissous	11	N/A	2025/11/11	STL SOP-00050	MA.115-S.D. 1.0 R4 m
Carbone organique total - Eau (1)	11	N/A	2025/11/10	STL SOP-00243	SM 23 5310-B m

Remarques:

Bureau Veritas est certifié ISO/IEC 17025 pour certains paramètres précis des portées d'accréditation. Sauf indication contraire, les méthodes d'analyses utilisées par Bureau Veritas s'inspirent des méthodes de référence d'organismes provinciaux, fédéraux et américains, tels que le CCME, l'EPA, l'APHA ou le ministère de l'environnement du Québec.

Toutes les analyses présentées ont été réalisées conformément aux procédures et aux pratiques relatives à la méthodologie, à l'assurance qualité et au contrôle de la qualité généralement appliqués par les employés de Bureau Veritas (sauf s'il en a été convenu autrement par écrit entre le client et Bureau Veritas). Toutes les données de laboratoire rencontrent les contrôles statistiques et respectent tous les critères de CQ et les critères de performance des méthodes, sauf s'il en a été signalé autrement. Tous les blancs de méthode sont rapportés, toutefois, les données des échantillons correspondants ne sont pas corrigées pour la valeur du blanc, sauf indication contraire. Le cas échéant, sauf indication contraire, l'incertitude de mesure n'a pas été prise en considération lors de la déclaration de la conformité à la norme de référence.

Les responsabilités de Bureau Veritas sont restreintes au coût réel de l'analyse, sauf s'il en a été convenu autrement par écrit. Il n'existe aucune autre garantie, explicite ou implicite. Le client a fait appel à Bureau Veritas pour l'analyse de ses échantillons conformément aux méthodes de référence mentionnées dans ce rapport. L'interprétation et l'utilisation des résultats sont sous l'entière responsabilité du client et ne font pas partie des services offerts par Bureau Veritas, sauf si convenu autrement par écrit. Bureau Veritas ne peut pas garantir l'exactitude des résultats qui dépendent des renseignements fournis par le client ou son représentant.

Les résultats des échantillons solides, sauf les biotes, sont rapportés en fonction de la masse sèche, sauf indication contraire. Les analyses organiques ne sont pas corrigées en fonction de la récupération, sauf pour les méthodes de dilution isotopique.

Les résultats s'appliquent seulement aux échantillons analysés. Si l'échantillonnage n'est pas effectué par Bureau Veritas, les résultats se rapportent aux échantillons fournis pour analyse.



Votre # du projet: ATE-25429-11
Votre # Bordereau: N-A

Attention: Christian Denis

AquaTer- Eau Inc.
428, Rimbaud
Chicoutimi, QC
CANADA G7H 7N8

Date du rapport: 2025/11/13
Rapport: R3131024
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C565742

Reçu: 2025/11/06, 14:30

Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon dans son intégralité, sans le consentement écrit du laboratoire.

Lorsque la méthode de référence comprend un suffixe « m », cela signifie que la méthode d'analyse du laboratoire contient des modifications validées et appliquées afin d'améliorer la performance de la méthode de référence.

Notez: Les données brutes sont utilisées pour le calcul du RPD (% d'écart relatif). L'arrondissement des résultats finaux peut expliquer la variation apparente.

(1) Le COT présent dans l'échantillon réfère au carbone organique total non volatil.

Note : Les paramètres inclus dans le présent certificat sont accrédités par le ministère de l'environnement du Québec, à moins d'indication contraire.

clé de cryptage

Veillez adresser toute question concernant ce certificat d'analyse à:

Karine Jean, Chargée de projets
Courriel: karine.jean@bureauveritas.com
Téléphone (418)812-1398

=====

Ce rapport a été produit et distribué en utilisant une procédure automatisée sécuritaire.

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations du laboratoire Environnementale - Québec.



Dossier Bureau Veritas: C565742

Date du rapport: 2025/11/13

AquaTer- Eau Inc.

Votre # du projet: ATE-25429-11

MÉTAUX DISSOUS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PD8938	PD8967	PD8968	PD8969	PD8970	PD8971		
Date d'échantillonnage				2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05		
# Bordereau				N-A	N-A	N-A	N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	MB-1	MB-2	MB-3	MB-4	LPP-1	LPM-1	LDR	Lot CQ

MÉTAUX ICP-MS

Fer (Fe) Dissous	ug/L	-	-	<60	<60	<60	<60	61	68	60	2715447
Manganèse (Mn) Dissous	ug/L	50	2300	11	250	17	4.2	0.83	0.93	0.40	2715447

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

ID Bureau Veritas				PD8972	PD8973	PD8974	PD8975	PD8975	PD8976		
Date d'échantillonnage				2025/11/05	2025/11/05	2025/11/06	2025/11/06	2025/11/06	2025/11/06		
# Bordereau				N-A	N-A	N-A	N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	LPS-1	P1-P2	RCPAV-1	RCPM-1	RCPM-1 Dup. de Lab.	RCPAM-1	LDR	Lot CQ

MÉTAUX ICP-MS

Fer (Fe) Dissous	ug/L	-	-	<60	<60	260	260	260	270	60	2715447
Manganèse (Mn) Dissous	ug/L	50	2300	2.3	<0.40	11	10	11	12	0.40	2715447

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

Duplicata de laboratoire

MÉTAUX EXTRACTIBLES TOTAUX (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PD8938	PD8967	PD8968	PD8969	PD8970		
Date d'échantillonnage				2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05		
# Bordereau				N-A	N-A	N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	MB-1	MB-2	MB-3	MB-4	LPP-1	LDR	Lot CQ

MÉTAUX

Calcium (Ca) Extractible Total	mg/L	-	-	140	45	95	100	1.4	0.50	2715413
Dureté totale (CaCO ₃) Extractible Total †	mg/L	-	-	430	150	280	290	4.8	1.0	2715413
Fer (Fe) Extractible Total	mg/L	-	-	52	15	0.33	0.33	0.19	0.060	2715413
Magnésium (Mg) Extractible Total	mg/L	-	-	21	8.2	10	9.7	0.32	0.10	2715413
Manganèse (Mn) Extractible Total	mg/L	0.05	2.3	1.0	0.46	0.019	0.0050	0.014	0.0010	2715413

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

† Accréditation non existante pour ce paramètre

ID Bureau Veritas				PD8971	PD8971	PD8972	PD8973	PD8974		
Date d'échantillonnage				2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/06		
# Bordereau				N-A	N-A	N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	LPM-1	LPM-1 Dup. de Lab.	LPS-1	P1-P2	RCPAV-1	LDR	Lot CQ

MÉTAUX

Calcium (Ca) Extractible Total	mg/L	-	-	1.4	1.4	1.3	76	16	0.50	2715413
Dureté totale (CaCO ₃) Extractible Total †	mg/L	-	-	4.9	4.9	4.6	220	43	1.0	2715413
Fer (Fe) Extractible Total	mg/L	-	-	0.19	0.19	0.19	<0.060	0.35	0.060	2715413
Magnésium (Mg) Extractible Total	mg/L	-	-	0.33	0.33	0.33	6.5	1.0	0.10	2715413
Manganèse (Mn) Extractible Total	mg/L	0.05	2.3	0.014	0.014	0.014	<0.0010	0.017	0.0010	2715413

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

Duplicata de laboratoire

† Accréditation non existante pour ce paramètre

ID Bureau Veritas				PD8975	PD8976		
Date d'échantillonnage				2025/11/06	2025/11/06		
# Bordereau				N-A	N-A		
	Unités	A	B	RCPM-1	RCPAM-1	LDR	Lot CQ

MÉTAUX

Calcium (Ca) Extractible Total	mg/L	-	-	14	16	0.50	2715413
Dureté totale (CaCO ₃) Extractible Total †	mg/L	-	-	40	43	1.0	2715413
Fer (Fe) Extractible Total	mg/L	-	-	0.45	0.35	0.060	2715413
Magnésium (Mg) Extractible Total	mg/L	-	-	0.98	1.0	0.10	2715413
Manganèse (Mn) Extractible Total	mg/L	0.05	2.3	0.032	0.017	0.0010	2715413

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

† Accréditation non existante pour ce paramètre

PARAMÈTRES CONVENTIONNELS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PD8938		PD8967	PD8967		PD8968		
Date d'échantillonnage				2025/11/05		2025/11/05	2025/11/05		2025/11/05		
# Bordereau				N-A		N-A	N-A		N-A		
	Unités	A	B	MB-1	LDR	MB-2	MB-2 Dup. de Lab.	LDR	MB-3	LDR	Lot CQ

CONVENTIONNELS

Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	mg/L	0.05	-	0.038	0.020	0.060	N/A	0.020	<0.020	0.020	2715494
Carbone organique total	mg/L	-	-	5.0	2.0	2.9	N/A	1.0	1.1	0.20	2715649
Conductivité	mS/cm	-	-	0.26	0.0010	0.22	N/A	0.0010	0.56	0.0010	2715304
Nitrate(N) et Nitrite(N)	mg/L	10	-	0.17	0.020	<0.020	N/A	0.020	8.2	0.020	2715232
Nitrates (N-NO3-)	mg/L	-	300	0.17	0.020	<0.020	N/A	0.020	8.2	0.020	2715232
pH	pH	-	-	7.89	N/A	7.90	N/A	N/A	7.88	N/A	2715302
Phénols-4AAP	mg/L	-	0.5	<0.0020	0.0020	0.0033	0.0032	0.0020	<0.0020	0.0020	2716611
Solides dissous totaux	mg/L	-	-	210	10	300	270	10	390	10	2716060

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

Duplicata de laboratoire

N/A = Non Applicable

ID Bureau Veritas				PD8969	PD8970	PD8971	PD8972	PD8972		
Date d'échantillonnage				2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05	2025/11/05		
# Bordereau				N-A	N-A	N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	MB-4	LPP-1	LPM-1	LPS-1	LPS-1 Dup. de Lab.	LDR	Lot CQ

CONVENTIONNELS

Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	mg/L	0.05	-	<0.020	0.16	0.16	0.14	N/A	0.020	2715494
Carbone organique total	mg/L	-	-	1.1	8.0	7.8	7.7	N/A	0.20	2715649
Conductivité	mS/cm	-	-	0.59	0.016	0.015	0.015	0.015	0.0010	2715304
Nitrate(N) et Nitrite(N)	mg/L	10	-	8.9	0.023	0.033	0.022	N/A	0.020	2715232
Nitrates (N-NO3-)	mg/L	-	300	8.9	0.023	0.033	0.022	N/A	0.020	2715232
pH	pH	-	-	7.85	6.62	6.55	6.54	6.56	N/A	2715302
Phénols-4AAP	mg/L	-	0.5	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	N/A	0.0020	2716611
Solides dissous totaux	mg/L	-	-	390	34	36	46	N/A	10	2716060

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

Duplicata de laboratoire

N/A = Non Applicable



Dossier Bureau Veritas: C565742

Date du rapport: 2025/11/13

AquaTer- Eau Inc.

Votre # du projet: ATE-25429-11

PARAMÈTRES CONVENTIONNELS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PD8973		PD8974	PD8975	PD8976		
Date d'échantillonnage				2025/11/05		2025/11/06	2025/11/06	2025/11/06		
# Bordereau				N-A		N-A	N-A	N-A		
	Unités	A	B	P1-P2	Lot CQ	RCPAV-1	RCPM-1	RCPAM-1	LDR	Lot CQ

CONVENTIONNELS										
Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺ et N-NH ₃)	mg/L	0.05	-	<0.020	2715494	<0.020	<0.020	<0.020	0.020	2715494
Carbone organique total	mg/L	-	-	1.4	2715649	15	16	16	0.20	2715649
Conductivité	mS/cm	-	-	0.44	2715304	0.084	0.082	0.083	0.0010	2715304
Nitrate(N) et Nitrite(N)	mg/L	10	-	5.3	2715232	0.14	0.14	0.14	0.020	2715198
Nitrates (N-NO ₃ -)	mg/L	-	300	5.3	2715232	0.14	0.14	0.14	0.020	2715198
pH	pH	-	-	7.81	2715302	7.61	7.56	7.56	N/A	2715302
Phénols-4AAP	mg/L	-	0.5	<0.0020	2716611	<0.0020	<0.0020	<0.0020	0.0020	2716611
Solides dissous totaux	mg/L	-	-	280	2716060	89	91	89	10	2716060

LDR = Limite de détection rapportée

Lot CQ = Lot contrôle qualité

N/A = Non Applicable



REMARQUES GÉNÉRALES

A,B: Les critères des sols proviennent de l'annexe 2 du « Guide d'intervention-Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. MELCC, mai 2021. » et intitulé « Grille des critères génériques pour les sols ». Les critères des sols sont ceux de la province géologique de Grenville.

Les critères A et B pour l'eau souterraine proviennent de l'annexe 7 intitulée « Grille des critères de qualité des eaux souterraines » du guide d'intervention mentionné plus haut. A=Eau de consommation; B=Résurgence dans l'eau de surface

Ces références ne sont rapportées qu'à titre indicatif et ne doivent être interprétées dans aucun autre contexte.

- = Ce composé ne fait pas partie de la réglementation.

MÉTAUX DISSOUS (EAU SOUTERRAINE)

Les échantillons PD8938, PD8967, PD8968, PD8969, PD8970, PD8971, PD8972, PD8973, PD8974, PD8975, PD8976 ont été filtrés en laboratoire avant l'analyse des métaux.

PARAMÈTRES CONVENTIONNELS (EAU SOUTERRAINE)

pH: Délai d'analyse non respecté. PD8938, PS8967, PD8968, PD8969, PD8970, PD8971, PD8972, PD8973, PD8974, PD8975, PD8976

Nitrate et nitrite: Délai d'analyse non respecté pour tous les échantillons.

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour analyse



RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
2715198	LTA	Blanc fortifié	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/08		95	%
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/08		95	%
2715198	LTA	Blanc de méthode	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/08	<0.020		mg/L
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/08	<0.020		mg/L
2715232	YDH	Blanc fortifié	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/09		98	%
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/09		98	%
2715232	YDH	Blanc de méthode	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/09	<0.020		mg/L
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/09	<0.020		mg/L
2715302	TOO	Blanc fortifié	pH	2025/11/09		101	%
2715304	TOO	Blanc fortifié	Conductivité	2025/11/09		101	%
2715304	TOO	Blanc de méthode	Conductivité	2025/11/09	<0.0010		mS/cm
2715413	A4A	MRC	Fer (Fe) Extractible Total	2025/11/10		100	%
			Manganèse (Mn) Extractible Total	2025/11/10		103	%
2715413	A4A	Blanc fortifié	Calcium (Ca) Extractible Total	2025/11/10		95	%
			Fer (Fe) Extractible Total	2025/11/10		95	%
			Magnésium (Mg) Extractible Total	2025/11/10		94	%
			Manganèse (Mn) Extractible Total	2025/11/10		93	%
2715413	A4A	Blanc de méthode	Calcium (Ca) Extractible Total	2025/11/10	<0.50		mg/L
			Dureté totale (CaCO3) Extractible Total	2025/11/10	<1.0		mg/L
			Fer (Fe) Extractible Total	2025/11/10	<0.060		mg/L
			Magnésium (Mg) Extractible Total	2025/11/10	<0.10		mg/L
			Manganèse (Mn) Extractible Total	2025/11/10	<0.0010		mg/L
2715447	JNI	Blanc fortifié	Fer (Fe) Dissous	2025/11/11		94	%
			Manganèse (Mn) Dissous	2025/11/11		94	%
2715447	JNI	Blanc de méthode	Fer (Fe) Dissous	2025/11/11	<60		ug/L
			Manganèse (Mn) Dissous	2025/11/11	<0.40		ug/L
2715494	S2S	Blanc fortifié	Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	2025/11/10		106	%
2715494	S2S	Blanc de méthode	Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	2025/11/10	<0.020		mg/L
2715649	TAR	Blanc fortifié	Carbone organique total	2025/11/10		97	%
2715649	TAR	Blanc de méthode	Carbone organique total	2025/11/10	<0.20		mg/L
2716060	SUZ	Blanc fortifié	Solides dissous totaux	2025/11/11		102	%
2716060	SUZ	Blanc de méthode	Solides dissous totaux	2025/11/11	<10		mg/L
2716611	HGU	Blanc fortifié	Phénols-4AAP	2025/11/12		105	%
2716611	HGU	Blanc de méthode	Phénols-4AAP	2025/11/12	<0.0020		mg/L

MRC: Un échantillon de concentration connue préparé dans des conditions rigoureuses par un organisme externe. Utilisé pour vérifier la justesse de la méthode.

Blanc fortifié: Un blanc, d'une matrice exempte de contaminants, auquel a été ajouté une quantité connue d'analyte provenant généralement d'une deuxième source. Utilisé pour évaluer la précision de la méthode.

Blanc de méthode: Une partie aliquote de matrice pure soumise au même processus analytique que les échantillons, du prétraitement au dosage. Sert à évaluer toutes contaminations du laboratoire.

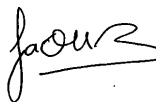
Réc = Récupération

PAGE DES SIGNATURES DE VALIDATION

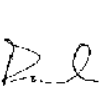
Les résultats analytiques ainsi que les données de contrôle-qualité contenus dans ce rapport ont été vérifiés et validés par:



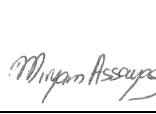
Frédéric Arnau, B.Sc., Chimiste, Montréal, Spécialiste Scientifique



Faouzi Sarsi, B.Sc. Chimiste, Montréal, Analyste SR



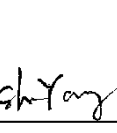
Jonathan Fauvel, B.Sc., Chimiste, Montréal, Spécialiste Scientifique



Miriam Assayag, B.Sc. Chimiste, Montréal, Chef d'équipe



Vincent Landais, B.Sc., Chimiste, Ste-Foy, Analyste 2



Shu Yang, B.Sc. Chimiste, Montréal, Analyste II

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations du laboratoire Environnementale - Québec.



Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Votre # Bordereau: N-A

Attention: Christian Denis

AquaTer- Eau Inc.
428, Rimbaud
Chicoutimi, QC
CANADA G7H 7N8

Date du rapport: 2025/11/20
Rapport: R3132989
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C566319

Reçu: 2025/11/11, 10:29

Matrice: Eau souterraine
Nombre d'échantillons reçus: 1

Analyses	Quantité	Date de l' extraction	Date Analysé	Méthode de laboratoire	Méthode d'analyse
Conductivité dans les eaux	1	N/A	2025/11/12	STL SOP-00038	SM 24 2510-B m
Métaux dissous (filtrés par BV)	1	N/A	2025/11/17	STL SOP-00062	MA.200-Mét. 1.2 R9 m
Métaux extractibles totaux	1	2025/11/14	2025/11/18	STL SOP-00062	MA.200-Mét. 1.2 R9 m
Azote ammoniacal dans les eaux	1	N/A	2025/11/13	STL SOP-00040	MA.300-N 2.0 R2 m
Nitrates (NO3-), Nitrites (NO2-)-eau	1	N/A	2025/11/13	STL SOP-00014	MA.300-Ions 1.3 R6 m
pH dans l'eau	1	N/A	2025/11/12	STL SOP-00038	MA.100-pH 1.1 R6 m
Phénols totaux par 4-AAP dans l'eau	1	N/A	2025/11/14	STL SOP-00033	MA404-I.Phé 2.2 R2 m
Solides totaux dissous	1	N/A	2025/11/12	STL SOP-00050	MA.115-S.D. 1.0 R4 m
Carbone organique total - Eau (1)	1	N/A	2025/11/14	STL SOP-00243	SM 23 5310-B m

Remarques:

Bureau Veritas est certifié ISO/IEC 17025 pour certains paramètres précis des portées d'accréditation. Sauf indication contraire, les méthodes d'analyses utilisées par Bureau Veritas s'inspirent des méthodes de référence d'organismes provinciaux, fédéraux et américains, tels que le CCME, l'EPA, l'APHA ou le ministère de l'environnement du Québec.

Toutes les analyses présentées ont été réalisées conformément aux procédures et aux pratiques relatives à la méthodologie, à l'assurance qualité et au contrôle de la qualité généralement appliqués par les employés de Bureau Veritas (sauf s'il en a été convenu autrement par écrit entre le client et Bureau Veritas). Toutes les données de laboratoire rencontrent les contrôles statistiques et respectent tous les critères de CQ et les critères de performance des méthodes, sauf s'il en a été signalé autrement. Tous les blancs de méthode sont rapportés, toutefois, les données des échantillons correspondants ne sont pas corrigées pour la valeur du blanc, sauf indication contraire. Le cas échéant, sauf indication contraire, l'incertitude de mesure n'a pas été prise en considération lors de la déclaration de la conformité à la norme de référence.

Les responsabilités de Bureau Veritas sont restreintes au coût réel de l'analyse, sauf s'il en a été convenu autrement par écrit. Il n'existe aucune autre garantie, explicite ou implicite. Le client a fait appel à Bureau Veritas pour l'analyse de ses échantillons conformément aux méthodes de référence mentionnées dans ce rapport. L'interprétation et l'utilisation des résultats sont sous l'entière responsabilité du client et ne font pas partie des services offerts par Bureau Veritas, sauf si convenu autrement par écrit. Bureau Veritas ne peut pas garantir l'exactitude des résultats qui dépendent des renseignements fournis par le client ou son représentant.

Les résultats des échantillons solides, sauf les biotes, sont rapportés en fonction de la masse sèche, sauf indication contraire. Les analyses organiques ne sont pas corrigées en fonction de la récupération, sauf pour les méthodes de dilution isotopique.

Les résultats s'appliquent seulement aux échantillons analysés. Si l'échantillonnage n'est pas effectué par Bureau Veritas, les résultats se rapportent aux échantillons fournis pour analyse.

Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon dans son intégralité, sans le consentement écrit du laboratoire.

Lorsque la méthode de référence comprend un suffixe « m », cela signifie que la méthode d'analyse du laboratoire contient des modifications validées et appliquées afin



Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Votre # Bordereau: N-A

Attention: Christian Denis

AquaTer- Eau Inc.
428, Rimbaud
Chicoutimi, QC
CANADA G7H 7N8

Date du rapport: 2025/11/20
Rapport: R3132989
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C566319

Reçu: 2025/11/11, 10:29

d'améliorer la performance de la méthode de référence.

Notez: Les données brutes sont utilisées pour le calcul du RPD (% d'écart relatif). L'arrondissement des résultats finaux peut expliquer la variation apparente.

(1) Le COT présent dans l'échantillon réfère au carbone organique total non volatil.

Note : Les paramètres inclus dans le présent certificat sont accrédités par le ministère de l'environnement du Québec, à moins d'indication contraire.

clé de cryptage

Veuillez adresser toute question concernant ce certificat d'analyse à:

Karine Jean, Chargée de projets

Courriel: karine.jean@bureauveritas.com

Téléphone (418)812-1398

=====

Ce rapport a été produit et distribué en utilisant une procédure automatisée sécuritaire.

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande.

Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations du laboratoire Environnementale - Québec.



Dossier Bureau Veritas: C566319
Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.
Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Initiales du préleveur: CD

MÉTAUX DISSOUS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PE1999		
Date d'échantillonnage				2025/11/09		
# Bordereau				N-A		
	Unités	A	B	PZ-3/98	LDR	Lot CQ
MÉTAUX						
Fer (Fe) Dissous	mg/L	-	-	<0.10	0.10	2718704
Manganèse (Mn) Dissous	mg/L	0.05	2.3	0.010	0.0030	2718704
LDR = Limite de détection rapportée						
Lot CQ = Lot contrôle qualité						



Dossier Bureau Veritas: C566319
Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.
Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Initiales du préleveur: CD

MÉTAUX EXTRACTIBLES TOTAUX (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas		PE1999		
Date d'échantillonnage		2025/11/09		
# Bordereau		N-A		
	Unités	PZ-3/98	LDR	Lot CQ
MÉTAUX				
Calcium (Ca) Extractible Total	mg/L	67	0.50	2717529
Dureté totale (CaCO3) Extractible Total †	mg/L	180	1.0	2717529
Fer (Fe) Extractible Total	mg/L	0.20	0.060	2717529
Magnésium (Mg) Extractible Total	mg/L	2.5	0.10	2717529
LDR = Limite de détection rapportée				
Lot CQ = Lot contrôle qualité				
† Accréditation non existante pour ce paramètre				



Dossier Bureau Veritas: C566319
Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.
Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Initiales du préleveur: CD

PARAMÈTRES CONVENTIONNELS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas				PE1999		
Date d'échantillonnage				2025/11/09		
# Bordereau				N-A		
	Unités	A	B	PZ-3/98	LDR	Lot CQ
CONVENTIONNELS						
Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺ et N-NH ₃)	mg/L	0.05	-	<0.020	0.020	2717096
Carbone organique total	mg/L	-	-	3.7	0.20	2717341
Conductivité	mS/cm	-	-	0.34	0.0010	2716676
Nitrate(N) et Nitrite(N)	mg/L	10	-	0.026	0.020	2716822
Nitrates (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	-	300	0.026	0.020	2716822
pH	pH	-	-	7.85	N/A	2716664
Phénols-4AAP	mg/L	-	0.5	<0.0020	0.0020	2717209
Solides dissous totaux	mg/L	-	-	240	10	2716604
LDR = Limite de détection rapportée						
Lot CQ = Lot contrôle qualité						
N/A = Non Applicable						



Dossier Bureau Veritas: C566319

Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.

Votre # du projet: ATE-25429-01

Adresse du site: PZ-3/98

Initiales du préleveur: CD

REMARQUES GÉNÉRALES

pH dans l'eau: Délai maximum de conservation dépassé sur réception: PE1999

Métaux dissous (filtrés par BV): Échantillon reçu plus de 24hres après échantillonnage, filtré et préservé au labo: PE1999

A,B: Les critères des sols proviennent de l'annexe 2 du « Guide d'intervention-Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. MELCC, mai 2021. » et intitulé « Grille des critères génériques pour les sols ». Les critères des sols sont ceux de la province géologique de Grenville.

Les critères A et B pour l'eau souterraine proviennent de l'annexe 7 intitulée « Grille des critères de qualité des eaux souterraines » du guide d'intervention mentionné plus haut. A=Eau de consommation; B=Résurgence dans l'eau de surface

Ces références ne sont rapportées qu'à titre indicatif et ne doivent être interprétées dans aucun autre contexte.

- = Ce composé ne fait pas partie de la réglementation.

MÉTAUX DISSOUS (EAU SOUTERRAINE)

L'échantillon PE1999 a été filtré en laboratoire avant l'analyse des métaux.

PARAMÈTRES CONVENTIONNELS (EAU SOUTERRAINE)

Nitrate et Nitrite: Délai d'analyse non respecté.

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour analyse



Dossier Bureau Veritas: C566319

Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.

Votre # du projet: ATE-25429-01

Adresse du site: PZ-3/98

Initiales du préleveur: CD

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
2716604	AVV	Blanc fortifié	Solides dissous totaux	2025/11/12		99	%
2716604	AVV	Blanc de méthode	Solides dissous totaux	2025/11/12	<10		mg/L
2716664	SXU	Blanc fortifié	pH	2025/11/12		102	%
2716676	SXU	Blanc fortifié	Conductivité	2025/11/12		101	%
2716676	SXU	Blanc de méthode	Conductivité	2025/11/12	<0.0010		mS/cm
2716822	JCP	Blanc fortifié	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/12		101	%
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/12		98	%
2716822	JCP	Blanc de méthode	Nitrate(N) et Nitrite(N)	2025/11/12	<0.020		mg/L
			Nitrates (N-NO3-)	2025/11/12	<0.020		mg/L
2717096	S2S	Blanc fortifié	Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	2025/11/13		104	%
2717096	S2S	Blanc de méthode	Azote ammoniacal (N-NH4+ et N-NH3)	2025/11/13	<0.020		mg/L
2717209	HGU	Blanc fortifié	Phénols-4AAP	2025/11/14		100	%
2717209	HGU	Blanc de méthode	Phénols-4AAP	2025/11/14	<0.0020		mg/L
2717341	HGU	Blanc fortifié	Carbone organique total	2025/11/14		97	%
2717341	HGU	Blanc de méthode	Carbone organique total	2025/11/13	0.21, LDR=0.20		mg/L
2717529	NET	Blanc fortifié	Calcium (Ca) Extractible Total	2025/11/18		99	%
			Fer (Fe) Extractible Total	2025/11/18		100	%
			Magnésium (Mg) Extractible Total	2025/11/18		100	%
2717529	NET	Blanc de méthode	Calcium (Ca) Extractible Total	2025/11/18	<0.50		mg/L
			Dureté totale (CaCO3) Extractible Total	2025/11/18	<1.0		mg/L
			Fer (Fe) Extractible Total	2025/11/18	<0.060		mg/L
			Magnésium (Mg) Extractible Total	2025/11/18	<0.10		mg/L
2718704	ZEO	Blanc fortifié	Fer (Fe) Dissous	2025/11/17		100	%
			Manganèse (Mn) Dissous	2025/11/17		99	%
2718704	ZEO	Blanc de méthode	Fer (Fe) Dissous	2025/11/17	<0.10		mg/L
			Manganèse (Mn) Dissous	2025/11/17	<0.0030		mg/L

LDR = Limite de détection rapportée

Blanc fortifié: Un blanc, d'une matrice exempte de contaminants, auquel a été ajouté une quantité connue d'analyte provenant généralement d'une deuxième source. Utilisé pour évaluer la précision de la méthode.

Blanc de méthode: Une partie aliquote de matrice pure soumise au même processus analytique que les échantillons, du prétraitement au dosage. Sert à évaluer toutes contaminations du laboratoire.

Réc = Récupération

PAGE DES SIGNATURES DE VALIDATION

Les résultats analytiques ainsi que les données de contrôle-qualité contenus dans ce rapport ont été vérifiés et validés par:

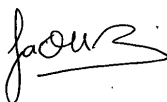


OCQ#2324-095

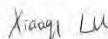
Cansu Bolukbas, B.Sc., Chimiste, Montréal, Analyste II



Frédéric Arnau, B.Sc., Chimiste, Montréal, Spécialiste Scientifique



Faouzi Sarsi, B.Sc. Chimiste, Montréal, Analyste SR

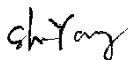


OCQ#2425-128

George Xiaoqi Lu, Analyste 2



Miryam Assayag, B.Sc. Chimiste, Montréal, Chef d'équipe



Shu Yang, B.Sc. Chimiste, Montréal, Analyste II



Zineb El Ouali, M.Sc., Chimiste, Montréal, Analyste II



Dossier Bureau Veritas: C566319
Date du rapport: 2025/11/20

AquaTer- Eau Inc.
Votre # du projet: ATE-25429-01
Adresse du site: PZ-3/98
Initiales du préleveur: CD

PAGE DES SIGNATURES DE VALIDATION (SUITE)

Les résultats analytiques ainsi que les données de contrôle-qualité contenus dans ce rapport ont été vérifiés et validés par:

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations du laboratoire Environnementale - Québec.