A vertical cross-section diagram of a well or pump structure. It shows a central shaft with a pump at the bottom. The shaft is surrounded by a casing. The diagram is divided into three horizontal layers: a top light blue layer, a middle dark blue layer, and a bottom orange layer. A horizontal pipe with a hatched pattern is shown in the middle layer, connected to the shaft.

Guide d'opération de la prise d'eau sous-fluviale du poste de pompage de l'Ouvrage A

Ville de Québec

Rapport de recherche No R-1565
Janvier 2015

Final
INRS
Université d'avant-garde

ISBN : 978-2-89146-834-3

GUIDE D'OPÉRATION DE LA PRISE D'EAU SOUS-FLUVIALE DU POSTE DE POMPAGE DE L'OUVRAGE A - VILLE DE QUÉBEC

Rapport de recherche (final) : Numéro R-1565

Remerciements

Nous désirons remercier la Ville de Québec et le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMROT) pour leur contribution financière au projet. Nous tenons à souligner notre reconnaissance aux efforts consentis par la Ville de Québec pour la mobilisation du personnel et des équipements qui ont permis de conduire les essais d'opération sur la prise d'eau sous-fluviale au poste de pompage de l'Ouvrage A. Les résultats de ces essais ont servi à l'élaboration du présent guide.

Pour la ville de Québec

Service de l'ingénierie

Daniel Dumais, Ing. Gestionnaire de projet

Daniel C-Lessard, Tech. Chargé de projet

Service des travaux publics

Christian Pelletier, Ing., Ingénierie de procédé et projet, traitement des eaux

Michel C-Gagnon, Contremaître intérim aux opérations de production d'eau potable secteur EST

Pour l'Institut national de la recherche scientifique – Eau Terre Environnement

Responsables et analyse du rapport

Richard Martel, Ph.D., Professeur d'hydrogéologie

Claudio Paniconi, Ph.D., Professeur d'hydrogéologie

Rédaction du rapport

Cintia Racine, M.Sc., Assistante de recherche

Fanny Fortier-Fradette, Technicienne de recherche

Contenu

1 Introduction.....	1
1.1 Mise en contexte	1
1.2 Structure du guide d’opération	2
2 Guide d’opération	3
2.1 Conception générale du système et instrumentation.....	3
2.1.1 Composantes principales de la prise d’eau sous-fluviale.....	3
2.1.2 Instrumentation de la prise d’eau sous-fluviale	15
2.2 Captage – balises d’opération et suivi de performance	17
2.2.1 Définition des concepts de performance de captage de la prise d’eau sous-fluviale. 17	
2.2.2 Définition du débit de captage.....	18
2.2.3 Performance de captage de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A.....	18
2.2.4 Performance de captage sans colmatage de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A.....	19
2.2.5 Conditions critiques d’exploitation	19
2.2.6 Suivi de la performance de captage et du colmatage de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A lors des séquences de drainage.....	20
2.3 Rétrolavage – procédures, balises d’opération et suivi de performance	22
2.3.1 Mode opératoire des rétrolavages de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A	22
2.3.2 Conditions critiques des opérations de rétrolavage	23
2.3.3 Suivi de la performance du rétrolavage à l’eau en opération.....	25
3 Conclusion	26

Liste des Tableaux

Tableau 1: Géométries et descriptions des matériaux de remblai des cellules et de la tranchée de captage	5
Tableau 2: Description des conduites crépinées, des conduites d'injection d'air, du puits de pompage et de la chambre amont du tamis rotatif	6
Tableau 3: Dispositif et équipements de rétrolavage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A.....	10
Tableau 4: Vannes associées aux opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A.....	11
Tableau 5 : Jeux de vannes manuelles associés aux opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A.....	12
Tableau 6: Opérations automatisées de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A	13
Tableau 7: Descriptif des instruments de mesure requis pour effectuer le suivi des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A	16

Liste des Figures

Figure 1 : Vue en plan du poste de pompage de l'ouvrage A.....	7
Figure 2 : Modèle conceptuel de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A de la Ville de Québec	8
Figure 3: Représentation schématique des instruments de mesure utilisés pour le suivi des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A de la Ville de Québec	9
Figure 4 : Propriétés, indicateurs et calculs de la performance de captage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A et balises d'opération associées	21
Figure 5 : Étapes et balises d'opération des rétrolavages de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A et suivi de performance	24

Liste des Annexes

Annexe 1 : Procédures du rétrolavage court à l'air et du rétrolavage complet à l'air et à l'eau..	28
Annexe 2 : Clé USB – Fichiers des données d'opération de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A.....	34
Annexe 3 : Affiche du guide d'opération de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A.....	36

1 Introduction

1.1 Mise en contexte

Dans le contexte de reconstruction du poste de pompage de l'Ouvrage A, la Ville de Québec a procédé à l'implantation d'un système de captage sous-fluvial dans la rivière Montmorency afin de compléter la prise d'eau de surface existante au site. Cet ajout a pour but de sécuriser l'approvisionnement en eau potable de l'arrondissement Charlesbourg en provenance du poste de pompage de l'Ouvrage A. Les prises d'eau sous-fluviales sont connues comme étant robustes à diverses contraintes de production, dont les étiages sévères, la mauvaise qualité de l'eau lors des étiages et des crues, le frasil et les embâcles et débâcles. La demande journalière à long terme du poste de pompage est évaluée à 65 000 m³/j. Le système de captage est en opération depuis mai 2014.

La prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A est un concept unique dont ses opérations ont fait l'objet d'un suivi détaillé via l'instrumentation en place, depuis sa mise en route jusqu'au mois d'octobre 2014, dont les objectifs étaient :

- Établir un guide de bonnes pratiques d'opération en captage et en rétrolavage afin d'assurer l'intégrité physique du système et un bon rendement à long terme. Encadrer les pratiques d'opération à l'aide de balises et de critères établis à partir de l'interprétation des données recueillies du suivi.
- Analyser les performances de captage du système qui évoluent lors des séquences de drainage et des opérations de rétrolavage.

Ces objectifs sont nécessaires puisque la prise d'eau sous-fluviale agit comme un filtre et réduit la charge particulière de l'eau de rivière captée par le système. Le processus de filtration induit un colmatage progressif des cellules de captage, principalement en surface, qui diminue le rendement de production du système dans le temps.

Le présent document est basé sur le suivi des performances et des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A qui a été effectué de mai à octobre 2014. Durant cette période, plusieurs séquences de drainage et de rétrolavage ont été conduites. L'interprétation des données recueillies du suivi a permis d'élaborer un guide d'opération de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A, venant en appui aux utilisateurs de ce système de captage novateur.

1.2 Structure du guide d'opération

Le guide d'opération de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A se veut un outil pratique dans le but de transmettre aux opérateurs les connaissances requises afin d'assurer une bonne gestion des opérations du système. Le guide est structuré selon trois thématiques distinctes :

- Présentation de la conception générale du système et de l'instrumentation en place pour effectuer le suivi des opérations;
- Suivi des opérations en captage et description des balises (rendement initial- évolution du rendement et conditions critiques d'exploitation);
- Suivi des opérations de rétrolavage et description des balises (description des procédures, performance durant les opérations et conditions critiques d'opération).

Afin de rendre accessible les informations prioritaires transmises par le guide, une affiche grand format a été élaborée. Celle-ci est présentée à l'Annexe 2 du guide.

La prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A présente une conception différente du système de captage sous-fluvial existant au poste de pompage des Îlets. Les différences notables sont attribuées aux divers matériaux composant la tranchée de captage, à la surface effective de captage et le nombre de conduites crépinées aménagées dans la tranchée. Aussi, la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A est munie d'équipements permettant la réalisation d'opération de rétrolavage à l'air, à l'eau et une combinaison des deux types d'injection.

Les spécificités de conception du système de l'Ouvrage A influent sur son rendement et nécessitent des modes opératoires en captage et en rétrolavage adaptés qui sont détaillés dans le présent guide.

2 Guide d'opération

2.1 Conception générale du système et instrumentation

2.1.1 Composantes principales de la prise d'eau sous-fluviale

La prise d'eau sous-fluviale a été aménagée en complément à la prise d'eau de surface existante lors de la reconstruction du poste de pompage de l'Ouvrage A pour l'alimentation en eau potable de l'arrondissement Charlesbourg de la Ville de Québec. L'eau pompée est transférée par une conduite de refoulement au Lac des Roches qui constitue une des réserves de l'usine d'eau potable de Charlesbourg. La Figure 1 présente les emplacements du poste de pompage, de l'ancienne prise d'eau de surface, de la prise d'eau de rétrolavage et de la prise d'eau sous-fluviale. Cette dernière est composée de cinq cellules de captage aménagées à l'intérieur d'une tranchée excavée dans le lit de la rivière Montmorency. La surface occupée par les cellules de captage d'environ 300 m² (aire efficace de captage) est teintée en gris pâle sur la figure. Les conduites principales servant à l'acheminement de l'eau en captage vers le poste de pompage et à l'injection de l'eau en rétrolavage sont surlignées en bleu ainsi que sont montrées en rouge les conduites d'injection d'air.

Deux conduites crépinées en acier inoxydable de 15 m de longueur et de 300 mm de diamètre sont installées horizontalement dans chaque cellule de captage de 60 m² de surface, perpendiculairement au sens d'écoulement de la rivière. Les deux crépines, espacées de 2 m centre à centre, sont jointes à une conduite collectrice de 600 mm de diamètre qui transfère l'eau en captage au poste de pompage. Dans son ensemble, le système comporte 10 conduites crépinées unies à 5 conduites collectrices entrant au poste de pompage. Un schéma conceptuel de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A est montré à la Figure 2. Les cellules de captage ont été implantées à 2.3 m de profondeur dans le lit de la rivière et ont été remblayées de quatre couches de matériaux spécialement sélectionnés. À la base de la cellule se trouve la couche d'assise et d'enrobage composée de gravier fin sur une épaisseur de 900 mm. Cette couche est superposée par un matériel filtrant de sable et gravier sur une épaisseur de 750 mm. Une couche de transition de 150 mm d'épaisseur, constituée d'un mélange de cailloux de 10 à 20 mm de diamètre et de sable et gravier, sert au support de la couche armure située en surface des cellules de captage. Les matériaux composant la couche armure est un mélange de cailloux de 50 à 300 mm de diamètre dont les vides ont été comblés de sable et gravier. En moyenne, l'épaisseur de la couche armure est de 500 mm. Dans la cellule amont (cellule 1) et aval (cellule 5) du système de captage, l'épaisseur de cette couche a été modifiée aux extrémités des cellules pour atteindre le profil naturel du lit de la rivière, soit 600 mm à la cellule 1 et 400 mm à la cellule 5. La couche armure sert de protection contre l'arrachement pouvant être exercé par le charriage des glaces. Le Tableau 1 résume les caractéristiques géométriques de la tranchée et des cellules de captage ainsi que les granulométries des matériaux qui les composent.

Dans chaque cellule, les conduites crépinées servant au captage et au rétrolavage à l'eau de la prise d'eau sous-fluviale sont installées à une profondeur de 2 m (élévation $z = 157.3$ m). À cette même élévation, 8 conduites perforées pour l'injection d'air de 75 mm de diamètre et de 15 m de longueur ont été implantées parallèlement aux crépines, espacées de 500 mm centre à centre. Chaque groupement de 8 conduites est uni à une conduite de 200 mm de diamètre qui est connectée au système de distribution d'air et au surpresseur situés au poste de pompage. Le système comporte en tout 5 sorties d'injection d'air qui alimentent les opérations de rétrolavage à l'air dans les 5 cellules de captage.

Les 5 conduites collectrices des cellules de 600 mm de diamètre entrent dans le puits de pompage à une élévation de 156.475 m. La base du puits varie en élévation de 154.56 m dans la zone de dessablage à 154.86 m dans l'aire de pompage. La surface occupée par celui-ci est environ 110 m². Outre la prise d'eau sous-fluviale, le puits de pompage peut être alimenté par l'ancienne prise d'eau de surface ou la prise d'eau de rétrolavage (de surface). Leurs emplacements sont montrés aux Figures 1 et 2. L'eau soutirée par ces prises est transférée dans la chambre amont du tamis rotatif via respectivement les vannes (900mm x 900mm) R-YV-221 (élévation 158.00 m) et R-YV-231 (élévation 158.235 m). En ouvrant la vanne R-YV-211 (1500 mm x 1500 mm), l'eau est dirigée dans le puits de pompage en passant au préalable dans le tamis rotatif.

En opération régulière, un jeu de quatre pompes de transfert vertical refoulent l'eau du puits, à un débit fixé par la demande, dans la conduite principale jusqu'à l'atteinte de l'équilibre des pressions mesurées en amont et en aval de la vanne électrique R-YV-1B1 de 600 mm de diamètre permettant ainsi son ouverture. Ensuite, l'eau est transférée au Lac des Roches à 294.5 m d'élévation par la conduite de refoulement (continuité de la conduite principale). À l'arrêt des pompes, un réservoir pneumatique anti coup-de-bélier (58-SU-001) permet d'équilibrer sécuritairement la pression dans la conduite de refoulement lors de la fermeture de la vanne R-YV-1B1. L'ensemble des informations relatives aux conduites crépinées et au puits de pompage est présenté au Tableau 2.

Le réseau des conduites et des vannes de la prise d'eau sous-fluviale est adapté pour les opérations de captage et de rétrolavage du système. Le captage est effectué en mode gravitaire lorsqu'une différence de niveaux d'eau entre le puits de pompage et celui de la rivière Montmorency à l'emplacement de l'ouvrage est générée. Le schéma d'écoulement typique en captage est montré par les flèches bleues à la Figure 2. Le niveau d'eau dans le puits varie selon le nombre et la vitesse de pompe utilisés pour le transfert de l'eau vers le Lac des Roches. Lorsque la prise d'eau sous-fluviale rencontre une diminution importante de rendement due principalement au colmatage des cellules de captage, des opérations de rétrolavage utilisant l'air et l'eau doivent être conduites sur place par un opérateur. Les conditions critiques de production sont discutées à la section 2.2.5. Avant de procéder au nettoyage de la prise d'eau sous-fluviale, il est nécessaire que le poste soit en mode rétrolavage et que la pression R-PIT-103 de la conduite principale en amont de la vanne R-YV-1B1 soit inférieure à 10 kPa.

Tableau 1: Géométries et descriptions des matériaux de remblai des cellules et de la tranchée de captage

Géométrie d'une cellule de captage	Valeur
Largeur (à partir de la base de la tranchée)	≈ 4 m
Longueur (basée sur la longueur des crépines)	≈ 15 m
Aire efficace de captage (longueur x largeur)	60 m ²
Profondeur de la cellule	2.3 m
Géométrie de la tranchée de captage (pesf)	Valeur
Nombre de cellules de captage	5
Aire efficace de captage	300 m ²
Fonction et élévations des matériaux	Granulométrie
Couche d'assise et d'enrobage Élévation moyenne de la base : 157.00 m (n.m.m) Élévation moyenne du sommet : 157.90 m (n.m.m)	Gravier fin uniforme 6 mm de diamètre
Couche de filtration Élévation moyenne de la base : 157.90 m (n.m.m) Élévation moyenne du sommet : 158.65 m (n.m.m)	Sable moyen à grossier et gravier fin d ₅₀ [§] : 2 mm
Couche de transition Élévation moyenne de la base : 158.65 m (n.m.m) Élévation moyenne du sommet : 158.80 m (n.m.m)	Mélange : 65 % massique de cailloux de 10 à 20 mm de diamètre avec 35 % massique de la couche de filtration
Couche armure Élévation moyenne de la base : 158.80 m (n.m.m) Élévation moyenne du sommet : 159.30 m (n.m.m)	Mélange : 80 % volumétrique de cailloux 50 à 300 mm de diamètre avec 20 % volumétrique de la couche de filtration
Spécification couche armure	Valeur
Épaisseur de la couche armure dans la cellule 1 (la surface est ajustée à l'élévation naturelle du lit)	≈ 600 mm
Épaisseur de la couche armure dans la cellule 5 (la surface est ajustée à l'élévation naturelle du lit)	≈ 400 mm

§ : 50 % massique du matériel présente un diamètre supérieur ou inférieur au d₅₀ – paramètre d'analyse granulométrique standard

Les opérations de rétrolavage à l'eau sont effectuées par deux pompes submersibles situées dans le puits de pompage. Celles-ci injectent l'eau dans la conduite principale et, via une vanne de rétrolavage ouverte, à contre-courant dans le réseau de conduite en direction des crépines et de la cellule de captage à nettoyer, tel que montré par les flèches rouges à la Figure 2. Le débit moyen d'injection d'eau utilisé pour le nettoyage d'une cellule varie de 1200 à 1700 m³/h. La prise d'eau de rétrolavage construite en amont de la prise d'eau sous-fluviale fournit le volume d'eau requis pour cette opération. Lors des opérations de rétrolavage où il y a une forte remise en suspension de particules dans la rivière, l'emplacement de la prise de rétrolavage permet de soutirer de l'eau qui n'est pas affectée par cette opération, contrairement à l'ancienne prise d'eau de surface qui est localisée en aval du système de captage sous-fluvial. Toutefois, il est recommandé que les opérations de rétrolavage à l'eau soient effectuées lorsque la turbidité de l'eau brute est inférieure à 2 NTU.

Tableau 2: Description des conduites crépinées, des conduites d'injection d'air, du puits de pompage et de la chambre amont du tamis rotatif

Paramètre	Valeur
Crépinés	
Nombre total	10
Nombre par cellule de captage	2
Longueur crépinée	15 m
Diamètre	300 mm
Largeur des ouvertures	1.27 mm
Élévation du radier	157.300 m (n.m.m)
Inclinaison	0°
Espacement entre les crépinés dans la cellule de captage	2 m centre à centre
Aire de captage approximative par cellule	60 m ²
Conduites d'injection d'air	
Longueur des conduites d'injection d'air	15 m
Diamètre des conduites d'injection d'air	75 mm
Diamètre et patron des trous des conduites d'injection	2 alignements de trous à 4h et 7h (angle 90°) percés en quinconce 80 mm centre à centre
Nombre de conduites par cellule de captage	8
Espacement entre les conduites	0.5 m centre à centre
Puits de pompage	
Élévation de la vanne murale (1500x1500mm) permettant le transfert de l'eau de la chambre amont du tamis rotatif dans le puits de pompage.	157.900 m (n.m.m)
Élévation du radier des conduites collectrices ϕ : 600 mm entrant dans le puits de pompage – chaque conduite collectrice est connectée à deux crépinés installés dans une cellule de captage	156.475 m (n.m.m)
Élévation du plafond du puits de pompage	164.000 m (n.m.m)
Élévation du plancher du puits de pompage	Zone dessablage : 154.560 m (n.m.m) Zone de pompage : 154.860 m (n.m.m)
Aire approximative du puits de pompage	110 m ²
Chambre amont du tamis rotatif	
Élévation de la vanne murale (900x900mm) reliée à la conduite de la prise d'eau de rétrolavage	158.235 (n.m.m)
Élévation de la vanne murale (900x900mm) reliée à la conduite de l'ancienne prise d'eau	158.000 (n.m.m)

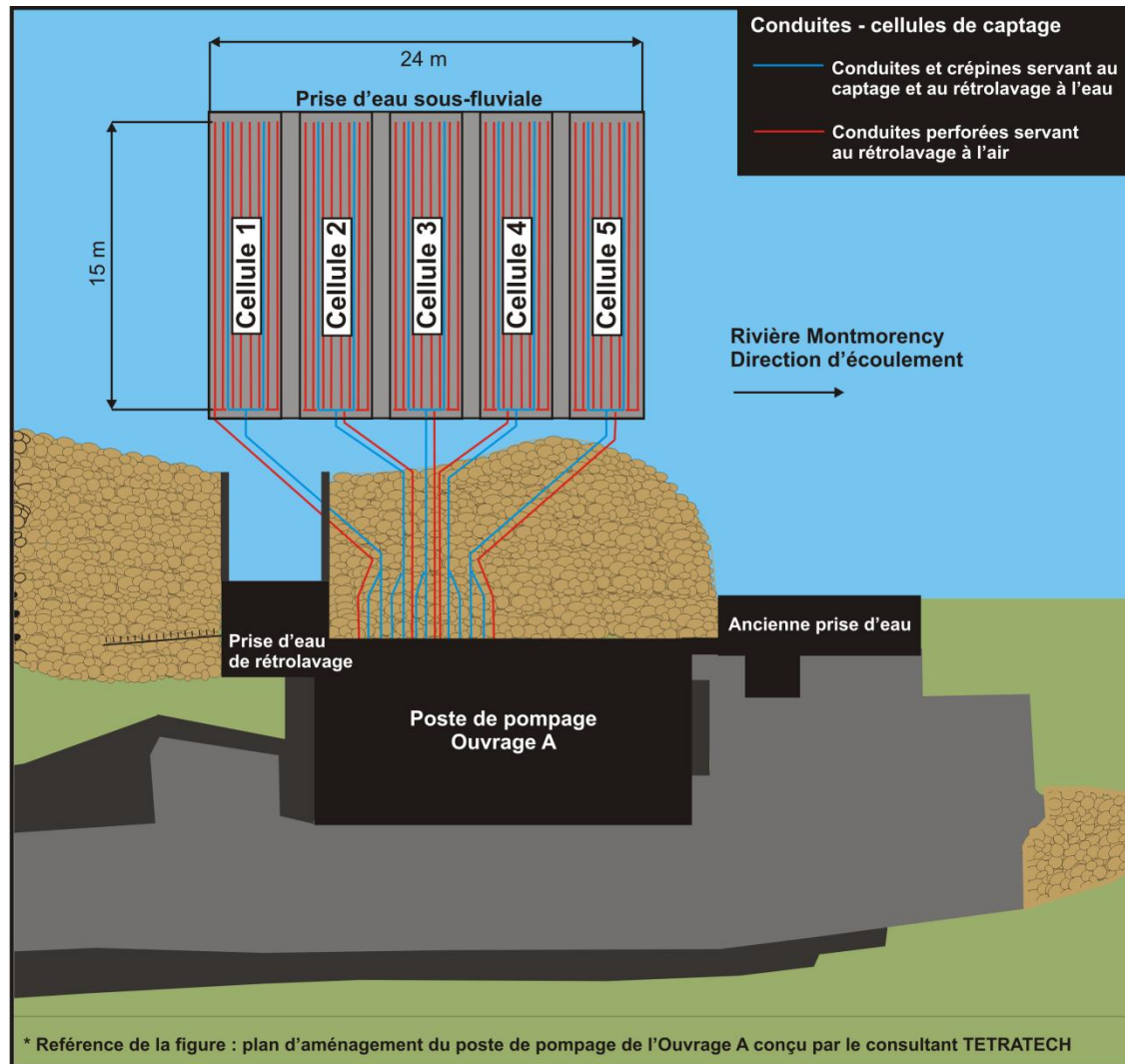


Figure 1 : Vue en plan du poste de pompage de l'ouvrage A

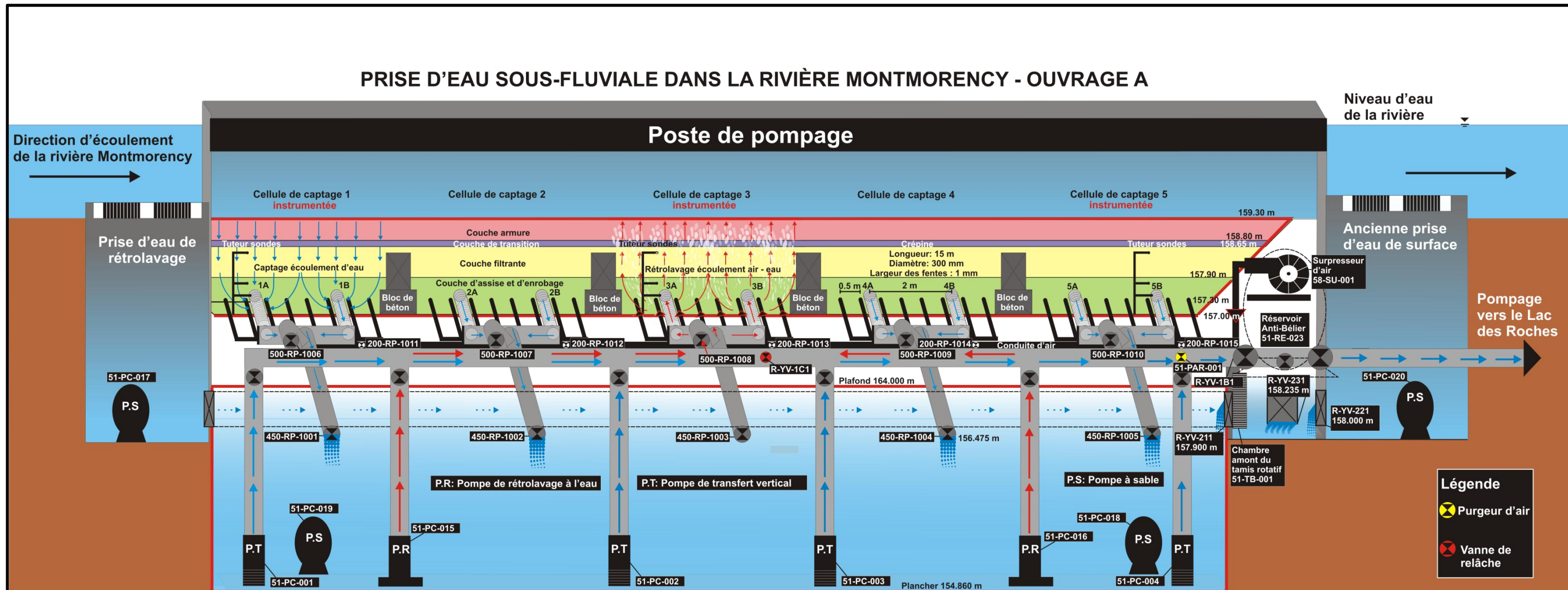
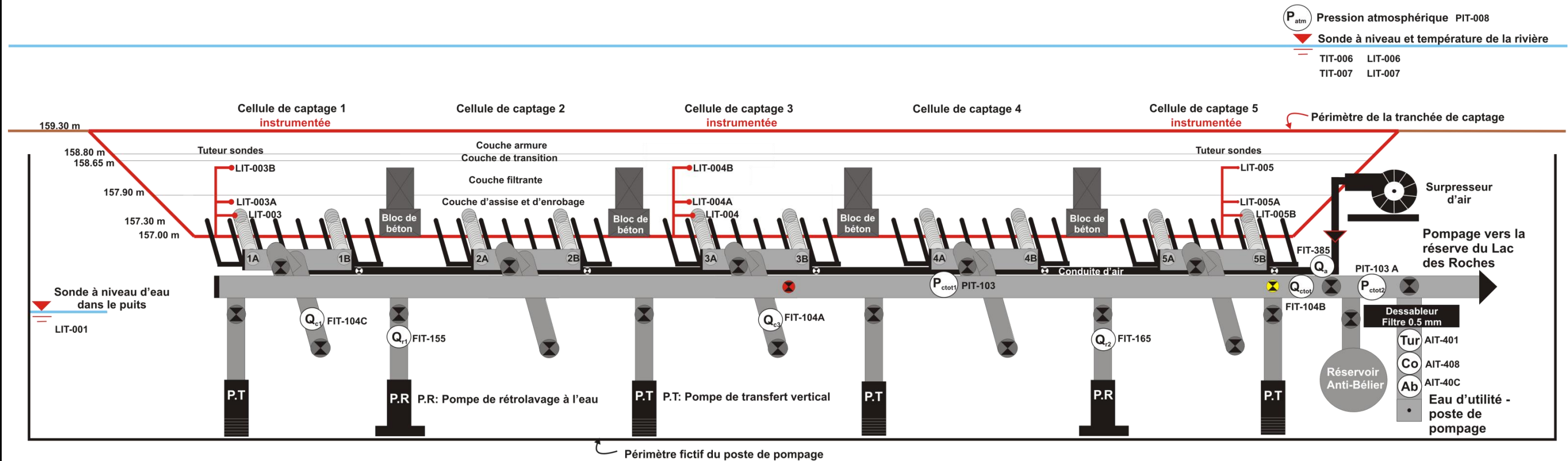


Figure 2 : Modèle conceptuel de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A de la Ville de Québec

PRISE D'EAU SOUS-FLUVIALE DANS LA RIVIÈRE MONTMORENCY - OUVRAGE A INSTRUMENTATION SERVANT AU SUIVI DES OPÉRATIONS



Sonde à niveau d'eau	Transmetteur de pression, baromètre et température	Débitmètre et autres instruments
Cellule de Sonde R-LIT-003 : z = 157.465 m Sonde R-LIT-003A : z = 157.765 m Sonde R-LIT-003B : z = 158.495 m Cellule de Sonde R-LIT-004 : z = 157.435 m Sonde R-LIT-004A : z = 157.800 m Sonde R-LIT-004B : z = 158.475 m Cellule de Sonde R-LIT-005B : z = 157.450 m Sonde R-LIT-005A : z = 157.850 m Sonde R-LIT-005 : z = 158.495 m Puits - poste de pompage : R-LIT-101 Rivière - ancienne sonde : R-LIT-006 Rivière - nouvelle sonde (2013) : R-LIT-007	P_{ctot1} Pression d'eau dans la conduite principale en amont de la vanne R-YV-1B1 : R-PIT-103 P_{ctot2} Pression d'eau dans la conduite principale en aval de la vanne R-YV-1B1 : R-PIT-103A P_{atm} Pression atmosphérique extérieure du poste de pompage : R-PIT-008 Température de l'eau de la rivière ancienne sonde : R-TIT-006 Température de l'eau de la rivière nouvelle sonde (2013) : R-TIT-007	Q_{c1} Débitmètre à l'eau - captage de la cellule 1 : R-FIT-104C Q_{c3} Débitmètre à l'eau - captage de la cellule 3 : R-FIT-104A Q_{r1} Débitmètre à l'eau à la sortie de la pompe de rétrolavage 51-PC-015 : R-FIT-155 Q_{r2} Débitmètre à l'eau à la sortie de la pompe de rétrolavage 51-PC-016 : R-FIT-165 Q_{ctot} Débitmètre à l'eau sur la conduite principale : R-FIT-104B Q_a Débitmètre à l'air sur la conduite principale d'injection d'air : R-FIT-385 Tur Turbidimètre sur la conduite de l'eau d'utilité du poste de pompage : R-AIT-401 Co Sonde à conductivité sur la conduite de l'eau d'utilité du poste de pompage : R-AIT-408 Ab Absorbance U.V. - sur la conduite de l'eau d'utilité du poste de pompage : R-AIT-40C

Figure 3: Représentation schématique des instruments de mesure utilisés pour le suivi des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A de la Ville de Québec

Les opérations de rétrolavage à l'air sont conduites à partir du surpresseur d'air et de l'ouverture des vannes permettant l'injection du fluide dans les groupements de conduites perforées des cellules de captage ciblées pour ces opérations. Le débit moyen d'injection d'air varie de 1800 m³/h dans une cellule de captage à 3000 m³/h dans 3 cellules à la fois. Le Tableau 3 résume les composantes et les informations associées aux opérations de rétrolavage à l'eau et à l'air de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A.

Les opérations du système de captage sous-fluvial décrites précédemment sont effectuées par l'usage de diverses vannes manuelles et électriques présentées au Tableau 4. Subséquemment, le Tableau 5 décrit les jeux de vannes manuelles requis pour les opérations en captage et en rétrolavage de la prise d'eau sous-fluviale. Plus de détails sur les procédures de rétrolavage sont transmis à l'Annexe 1. En captage, il est recommandé de laisser ouvertes 3 vannes d'injection d'air (cellules 3-4-5) pour permettre la réalisation de rétrolavage court à l'air en tout temps sur le système. Les vannes à prioriser pour cette opération sont : 200-RP-1013, 200-RP-1014 et 200-RP-1015. Lors des rétrolavages à l'eau, le purgeur d'air sur la conduite principale doit être fermé, puisqu'il entraîne dans des conditions incontrôlées de l'air qui est libéré dans la cellule nettoyée.

Des opérations automatisées sont également requises pour mettre en fonction la prise d'eau sous-fluviale en captage ou en rétrolavage. Celles-ci sont résumées au Tableau 6 et sont décrites en mode automatique ou semi-automatique. En captage, le poste de pompage peut être alimenté uniquement par la prise d'eau sous-fluviale, mais aussi par une combinaison de l'ancienne prise d'eau de surface ou de la prise d'eau de rétrolavage. En tout temps, l'utilisation stratégique de deux pompes à sable est nécessaire pour limiter l'ensablement du puits de pompage et des prises d'eau de surface.

Tableau 3: Dispositif et équipements de rétrolavage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Paramètre et descriptif	Valeur
Rétrolavage à l'eau	
Nombre de pompe	2
Capacité par pompe	≈ 1 500 m ³ /h
Identification	Pompe 51-PC-015 Pompe 51-PC-016
Mesure directe	Pompe 51-PC-015 : débitmètre R-FIT-155 Pompe 51-PC-016 : débitmètre R-FIT-165
Autres équipements requis	La prise d'eau de rétrolavage et les pompes à sable 51-PC-017 et 51-PC-018 doivent être fonctionnelles.
Rétrolavage à l'air	
Surpresseur d'air – capacité	≈ 3 000 m ³ /h
Identification	Surpresseur d'air 58-SU-001
Mesure directe	Débitmètre R-FIT-385

Tableau 4: Vannes associées aux opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Vannes et description	Identification
Vannes manuelles	
Cellule de captage 1 – vanne d'entrée d'eau ϕ : 450 mm	450-RP-1001
Cellule de captage 1 – vanne de rétrolavage à l'eau ϕ : 500 mm	500-RP-1006
Cellule de captage 1 – vanne de rétrolavage à l'air ϕ : 200 mm	200-RP-1011
Cellule de captage 2 – vanne d'entrée d'eau ϕ : 450 mm	450-RP-1002
Cellule de captage 2 – vanne de rétrolavage à l'eau ϕ : 500 mm	500-RP-1007
Cellule de captage 2 – vanne de rétrolavage à l'air ϕ : 200 mm	200-RP-1012
Cellule de captage 3 – vanne d'entrée d'eau ϕ : 450 mm	450-RP-1003
Cellule de captage 3 – vanne de rétrolavage à l'eau ϕ : 500 mm	500-RP-1008
Cellule de captage 3 – vanne de rétrolavage à l'air ϕ : 200 mm	200-RP-1013
Cellule de captage 4 – vanne d'entrée d'eau ϕ : 450 mm	450-RP-1004
Cellule de captage 4 – vanne de rétrolavage à l'eau ϕ : 500 mm	500-RP-1009
Cellule de captage 4 – vanne de rétrolavage à l'air ϕ : 200 mm	200-RP-1014
Cellule de captage 5 – vanne d'entrée d'eau ϕ : 450 mm	450-RP-1005
Cellule de captage 5 – vanne de rétrolavage à l'eau ϕ : 500 mm	500-RP-1010
Cellule de captage 5 – vanne de rétrolavage à l'air ϕ : 200 mm	200-RP-1015
Purgeur d'air de la conduite collectrice ϕ : 100 mm	51-PAR-001
Vannes électriques (avec option manuelle)	
Vanne murale (1500x1500mm) transférant l'eau de la chambre du tamis rotatif dans le puits de pompage	R-YV-211
Vanne murale (900x900mm) transférant l'eau de la prise d'eau de rétrolavage dans la chambre amont du tamis rotatif	R-YV-231
Vanne murale (900x900mm) transférant l'eau de l'ancienne prise d'eau dans la chambre amont du tamis rotatif	R-YV-221
Vanne de relâche de la conduite collectrice (surpression) ϕ : 150 mm	R-YV-1C1
Vanne de refoulement vers le Lac des Roches ϕ : 600 mm	R-YV-1B1

Plusieurs autres vannes normalement fermées ou ouvertes peuvent être utilisées exceptionnellement au besoin dans l'opération de la prise d'eau sous-fluviale. Ces équipements sont décrits dans le guide d'opération du poste de pompage fourni par le consultant.

Tableau 5 : Jeux de vannes manuelles associés aux opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Opérations	Vannes des conduites collectrices en captage					Vannes de rétrolavage à l'eau					Vannes de rétrolavage à l'air					Purgeur d'air
	Cellule 1 (450-RP-1001)	Cellule 2 (450-RP-1002)	Cellule 3 (450-RP-1003)	Cellule 4 (450-RP-1004)	Cellule 5 (450-RP-1005)	Cellule 1 (500-RP-1006)	Cellule 2 (500-RP-1007)	Cellule 3 (500-RP-1008)	Cellule 4 (500-RP-1009)	Cellule 5 (500-RP-1010)	Cellule 1 (200-RP-1011)	Cellule 2 (200-RP-1012)	Cellule 3 (200-RP-1013)	Cellule 4 (200-RP-1014)	Cellule 5 (200-RP-1015)	
Captage	O	O	O	O	O	F	F	F	F	F	F	F	O	O	O	O
Rétrolavage Cellule 1	F	F	F	F	F	O	F	F	F	F	O	F	F	F	F	F
Rétrolavage Cellule 2	F	F	F	F	F	F	O	F	F	F	F	O	F	F	F	F
Rétrolavage Cellule 3	F	F	F	F	F	F	F	O	F	F	F	F	O	F	F	F
Rétrolavage Cellule 4	F	F	F	F	F	F	F	F	O	F	F	F	F	O	F	F
Rétrolavage Cellule 5	F	F	F	F	F	F	F	F	F	O	F	F	F	F	O	F

Tableau 6: Opérations automatisées de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Type d'opération	Sélection des fonctions – Mode automatique Écran tactile	Sélection des fonctions - Mode manuel ou semi-automatique Écran tactile
<p>Captage Prise d'eau sous-fluviale</p>	<p>Les opérations manuelles des équipements de la prise d'eau sous-fluviale requises pour le captage doivent avoir été effectuées au préalable.</p> <p>Automatique</p> <p>Mode Poste Sélectionner le mode <u>Automatique</u> et le mode du poste en <u>Pompage</u></p> <p>Mettre les équipements suivants en mode automatique : Pompes à sable: Pompe à sable prise de rétro-lavage (51-PC-017), Pompe à sable puits aval tamis (51-PC-018), Pompe à sable puits (51-PC-019), Pompe à sable ancienne prise d'eau (51-PC-20) Vannes : Vanne de relâche (R-YV-1C1), Vanne aval tamis (R-YV-211), Vanne ancienne prise d'eau (R-YV-221), Vanne prise de rétro-lavage (R-YV-231), Vanne de refoulement vers le Lac des Roches (R-YV-1B1) Pompes d'eau brute : 51-PC-001, 51-PC-002, 51-PC-003, 51-PC-004 Tamis rotatif: 51-TB-001 Dessableurs : 51-DS-001, 51-DS-002 Ventilation, climatisation et compresseurs : 57-HE-001, 57-HE-002, 57-HE-003, 57-HE-004, 57-VA-001, 57-VA-004, 57-VE-001, 57-VE-003, 57-VE-004, 57-VR-002, 58-CA-001, 58-CA-002</p> <p>Mode Poste Dans l'encadré <u>Commandes Auto. En Mode Pompage</u>, sélectionner le type d'alimentation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prise d'eau sous-fluviale seulement • Prise d'eau sous-fluviale et ancienne prise d'eau • Prise d'eau sous-fluviale et prise d'eau de rétro-lavage • Prise d'eau sous-fluviale combinée à l'ancienne prise d'eau et la prise d'eau de rétro-lavage <p>mettre la séquence à <u>En</u></p> <p>Le nombre de pompe en fonction est basé sur la demande de consommation de l'usine de traitement d'eau potable de Charlesbourg et régit par automation selon le niveau du Lac des Roches. Les critères de démarrage des pompes (niveaux du Lac des Roches) sont fixés par les opérateurs.</p>	<p>Les opérations manuelles des équipements de la prise d'eau sous-fluviale requises pour le captage doivent avoir été effectuées au préalable.</p> <p>Semi-Automatique</p> <p>Mode Poste Sélectionner le mode <u>Semi-automatique</u> et le mode du poste en <u>Pompage</u></p> <p>Choisir un type d'alimentation parmi les quatre options suivantes : Prise d'eau sous-fluviale Mettre en fonction manuellement Pompes à sable : 51-PC-018 et 51-PC-019 Pompes d'eau brute : 51-PC-001, 51-PC-002, 51-PC-003, 51-PC-004 (selon le débit nécessaire) Vanne de refoulement vers le Lac des Roches : R-YV-1B1 Dessableurs : 51-DS-001, 51-DS-002 Ventilation, climatisation et compresseurs : 57-HE-001, 57-HE-002, 57-HE-003, 57-HE-004, 57-VA-001, 57-VA-004, 57-VE-001, 57-VE-003, 57-VE-004, 57-VR-002, 58-CA-001, 58-CA-002</p> <p>Prise d'eau sous-fluviale et ancienne prise d'eau Mettre en fonction manuellement Pompes à sable : 51-PC-018 et 51-PC-020 Vannes : Vanne aval tamis (R-YV-211), Vanne ancienne prise d'eau (R-YV-221), Vanne de refoulement vers le Lac des Roches : R-YV-1B1 Pompes d'eau brute : 51-PC-001, 51-PC-002, 51-PC-003, 51-PC-004 (selon le débit nécessaire) Tamis rotatif : 51-TB-001 Dessableurs : 51-DS-001, 51-DS-002 Ventilation, climatisation et compresseurs : 57-HE-001, 57-HE-002, 57-HE-003, 57-HE-004, 57-VA-001, 57-VA-004, 57-VE-001, 57-VE-003, 57-VE-004, 57-VR-002, 58-CA-001, 58-CA-002</p> <p>Prise d'eau sous-fluviale et prise d'eau de rétro-lavage Mettre en fonction manuellement Pompes à sable : 51-PC-017 et 51-PC-018 Vannes : Vanne aval tamis (R-YV-211), Vanne prise de rétro-lavage (R-YV-231), Vanne de refoulement vers le Lac des Roches : R-YV-1B1 Pompes d'eau brute : 51-PC-001, 51-PC-002, 51-PC-003, 51-PC-004 (selon le débit nécessaire) Tamis rotatif : 51-TB-001 Dessableurs : 51-DS-001, 51-DS-002 Ventilation, climatisation et compresseurs : 57-HE-001, 57-HE-002, 57-HE-003, 57-HE-004, 57-VA-001, 57-VA-004, 57-VE-001, 57-VE-003, 57-VE-004, 57-VR-002, 58-CA-001, 58-CA-002</p>

Type d'opération	Sélection des fonctions – Mode automatique Écran tactile	Sélection des fonctions - Mode manuel ou semi-automatique Écran tactile
Captage Prise d'eau sous-fluviale		Prise d'eau sous-fluviale combinée à l'ancienne prise d'eau et la prise d'eau de rétro-lavage Mettre en fonction manuellement Pompes à sable : 51-PC-018 et 51-PC-020 Vannes : Vanne aval tamis (R-YV-211), Vanne prise de rétro-lavage (R-YV-231), Vanne ancienne prise d'eau (R-YV-221), Vanne de refoulement vers le Lac des Roches : R-YV-1B1 Pompes d'eau brute : 51-PC-001, 51-PC-002, 51-PC-003, 51-PC-004 (selon le débit nécessaire) Tamis rotatif : 51-TB-001 Dessableurs : 51-DS-001, 51-DS-002 Ventilation, climatisation et compresseurs : 57-HE-001, 57-HE-002, 57-HE-003, 57-HE-004, 57-VA-001, 57-VA-004, 57-VE-001, 57-VE-003, 57-VE-004, 57-VR-002, 58-CA-001, 58-CA-002 Débit de captage en fonction du nombre de pompe en opération Débit de pompage avec 1 pompe : 670 m ³ /h Débit de pompage avec 2 pompes : 1 220 m ³ /h Débit de pompage avec 3 pompes : 1 340 m ³ /h (contraint par la capacité de la conduite de refoulement vers le Lac des Roches)
Rétrolavage complet à l'air et à l'eau 1 cellule à la fois Débuter à la cellule 1 Finir à la cellule 5 (Voir Figure 2)	Les opérations manuelles des équipements de la prise d'eau sous-fluviale requises pour le rétrolavage doivent avoir été effectuées au préalable. Mode Poste Dans l'encadré <u>Commandes Auto. En Mode Pompage</u> , mettre la séquence à <u>Hors</u> Mode <u>Automatique</u> et le mode du poste en <u>Rétro-lavage</u> Mettre les équipements suivants en mode automatique : Pompes à sable: Pompe à sable prise de rétro-lavage (51-PC-017), Pompe à sable puits aval tamis (51-PC-018) Vannes : Vanne de relâche (R-YV-1C1) * Vérifier que R-PIT-103 < 10 kPa, Vanne aval tamis (R-YV-211), Vanne prise de rétro-lavage (R-YV-231) Pompes de lavage : 51-PC-015 (1200 m ³ /h), 51-PC-016 (500 m ³ /h) Surpresseur d'air : 58-SU-001 (1800 m ³ /h) Tamis rotatif : 51-TB-001 Onglet Rétro-lavage Sélectionner la séquence normale de rétrolavage 2 cycles en mode automatique (En/Hors) Possibilité de sélectionner une séquence extra de rétrolavage (1 cycle) en mode automatique (En/Hors)	Les opérations manuelles des équipements de la prise d'eau sous-fluviale requises pour le rétrolavage doivent avoir été effectuées au préalable. Mode Poste Mode <u>Semi-automatique</u> et le mode du poste en <u>Rétro-lavage</u> Mettre en fonction manuellement les vannes suivantes: Vanne de relâche (R-YV-1C1) * Vérifier que R-PIT-103 < 10 kPa Vanne prise de rétro-lavage (R-YV-231) Vanne aval tamis (R-YV-211) Mettre en fonction manuellement les pompes à sable suivantes : Pompe à sable prise de rétro-lavage (51-PC-017) Pompe à sable puits aval tamis (51-PC-018) Mettre en fonction manuellement le tamis rotatif 51-TB-001 Effectuer les opérations décrites à l'étape 11 de la procédure de rétrolavage de l'Annexe 1. Les débits d'injection des pompes de lavage 51-PC-015 et 51-PC-016 et du surpresseur d'air 58-SU-001 peuvent être modifiés manuellement à l'écran, tel que décrit à l'étape 10 de la procédure du rétrolavage complet à l'air et à l'eau de l'Annexe 1. Des valeurs maximales de débit d'opération ont été définies : Pompe de lavage 51-PC-015 : 1 500 m ³ /h Pompe de lavage 51-PC-016 : 500 m ³ /h Surpresseur d'air 58-SU-001 : 3 000 m ³ /h

2.1.2 Instrumentation de la prise d'eau sous-fluviale

Le suivi des opérations et du rendement de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A est réalisé par plusieurs instruments de mesure qui ont été mis en place lors de la construction de l'ouvrage sous-fluvial, mais aussi à l'aide d'instruments servant au suivi des opérations régulières de la station de pompage. Les localisations ainsi que les types d'instrument de mesure utilisés sont représentés schématiquement à la Figure 3.

Plusieurs points de mesure de la charge hydraulique ont été implantés dans les cellules de captage 1, 3 et 5 ainsi qu'à l'intérieur des crépines 1A, 3A et 5B, pour suivre les opérations de l'ouvrage sous-fluvial dans une perspective globale, de l'amont vers l'aval. Aussi, les débits de captage des cellules 1 et 3 sont mesurés sur les conduites collectrices à leur entrée dans le puits de pompage. La proximité de la cellule 3 au puits collecteur induit une plus grande sollicitation en captage et par conséquent les impacts du colmatage de la tranchée sur le rendement y sont observés plus rapidement que pour les autres cellules. Les données recueillies de ces points de mesure permettent de suivre en opération les comportements hydrauliques des crépines et des matériaux composant les cellules de captage, soient les matériaux de sous-surface constitués des couches d'enrobage et de filtration et les matériaux de surface composés des couches de transition et de protection (armure).

Dans le poste de pompage, une sonde à niveau d'eau a été placée au niveau du plancher du puits. En mode pompage, les transmetteurs de pression en amont R-PIT-103 et en aval R-PIT-103A de la vanne R-YV-1B1 sur la conduite principale permettent entre autre de gérer son ouverture et le transfère de l'eau vers le Lac des Roches. Le débit de pompage est mesuré en continu par le débitmètre installé en amont de la vanne R-YV-1B1. Des instruments de mesure ont été mis en place pour suivre les opérations en continu de rétrolavage de la prise d'eau sous-fluviale. Des débitmètres (2) sont positionnés aux sorties des pompes submersibles servant aux rétrolavages à l'eau. Également, un débitmètre à l'air a été installé à la sortie du surpresseur.

Quelques instruments de mesure utilisés pour les opérations régulières de la station de pompage servent également au suivi des opérations de la prise d'eau sous-fluviale, dont les sondes à niveau d'eau et de température de la rivière Montmorency et la sonde barométrique. D'autres mesures effectuées sur l'eau d'usage du poste de pompage, telles la turbidité de l'eau brute dessablée, la conductivité et l'absorbance peuvent être utiles pour comprendre l'influence de la qualité de l'eau sur le rendement du système sous-fluvial dans le temps.

Les données recueillies par les instruments de mesure associés à la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A sont enregistrées à chaque minute. Ceux-ci sont résumés au Tableau 7. Le mode opérationnel de la prise d'eau sous-fluviale ainsi que le suivi de la performance de captage présentés aux sections 2.2 et 2.3 sont basés sur les données recueillies par ces instruments.

Tableau 7: Descriptif des instruments de mesure requis pour effectuer le suivi des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Instruments de mesure	Localisation de la mesure		Identifiant
Sondes à niveau d'eau (m)	Cellule de captage 1 Amont de la prise d'eau sous-fluviale	Dans la crépine 1A à l'élévation z = 157.465 m	R-LIT-003
		Au droit de la crépine 1A dans la couche d'assise et d'enrobage à l'élévation z = 157.765 m	R-LIT-003A
		Au droit de la crépine 1A dans la couche de filtration z = 158.495 m	R-LIT-003B
	Cellule de captage 3 Centre de la prise d'eau sous-fluviale	Dans la crépine 3A à l'élévation z = 157.435 m	R-LIT-004
		Au droit de la crépine 3A dans la couche d'assise et d'enrobage à l'élévation z = 157.800 m	R-LIT-004A
		Au droit de la crépine 3A dans la couche de filtration z = 158.475 m	R-LIT-004B
	Cellule de captage 5 Aval de la prise d'eau sous-fluviale	Dans la crépine 5B à l'élévation z = 157.450 m	R-LIT-005B
		Au droit de la crépine 5B dans la couche d'assise et d'enrobage à l'élévation z = 157.850 m	R-LIT-005A
		Au droit de la crépine 5B dans la couche de filtration z = 158.495 m	R-LIT-005
		Rivière Montmorency dans l'ancienne prise d'eau (ancienne sonde)	R-LIT-006
	Rivière Montmorency dans l'ancienne prise d'eau (sonde 2013)	R-LIT-007	
	Puits de pompage	R-LIT-101	
Pression (kPa)	Pression atmosphérique mesurée à l' extérieur du poste de pompage		R-PIT-008
	Pression d'eau dans la conduite principale en amont de la vanne R-YV-1B1		R-PIT-103
	Pression d'eau dans la conduite principale en aval de la vanne R-YV-1B1		R-PIT-103A
Thermistance – température de l'eau (°C)	Rivière Montmorency dans l'ancienne prise d'eau (ancienne sonde)		R-TIT-006
	Rivière Montmorency dans l'ancienne prise d'eau (sonde 2013)		RTIT-007
Débitmètre – débit (m ³ /h)	Débit de captage de la cellule 1 (unidirectionnel)		R-FIT-104C
	Débit de captage de la cellule 3 (unidirectionnel)		R-FIT-104A
	Débit de pompage mesuré dans la conduite principale (unidirectionnel)		R-FIT-104B
	Débit de rétrolavage à l'eau de la pompe 51-PC-015 (unidirectionnel)		R-FIT-155
	Débit de rétrolavage à l'eau de la pompe 51-PC-016 (unidirectionnel)		R-FIT-165
	Débit de rétrolavage à l'air du surpresseur d'air (unidirectionnel)		R-FIT-385
Turbidité (NTU)	Turbidité de l'eau brute dessablée – conduite d'alimentation du poste de pompage de l'ouvrage A		R-AIT-401
Conductivité (mS/cm)	Conductivité de l'eau brute dessablée – conduite d'alimentation du poste de pompage de l'ouvrage A		R-AIT-408
Absorbance (m ⁻¹)	Absorbance de l'eau brute dessablée – conduite d'alimentation du poste de pompage de l'ouvrage A		R-AIT-40C

2.2 Captage – balises d’opération et suivi de performance

Le captage de l’eau par la prise d’eau sous-fluviale débute par le choix du mode d’utilisation.

- Prise d’eau sous-fluviale
- Prise d’eau sous-fluviale combinée à l’ancienne prise d’eau
- Prise d’eau sous-fluviale combinée à la prise d’eau de rétrolavage
- Prise d’eau sous-fluviale combinée à l’ancienne prise d’eau et la prise d’eau de rétrolavage

Les opérations manuelles et automatisées ont été résumées dans le Tableau 5 et 6. Le captage peut être conduit en mode automatique ou semi-automatique.

La gestion des opérations de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A et l’évaluation de sa performance dans le temps sont liées au suivi en continu des données recueillies de l’instrumentation en place. L’utilisation du système selon les balises d’opération établies (section 2.2.5) favorise le maintien de ses capacités de production et assure son intégrité physique. Le suivi instrumenté permet notamment en captage de :

- Évaluer l’efficacité des opérations de nettoyage des cellules de captage, en comparant la performance de drainage obtenue à la suite de l’opération avec le rendement initial connu du système sans colmatage;
- Connaître l’état du rendement en continu de la prise d’eau sous-fluviale par rapport aux balises d’exploitation critiques; et
- Comprendre l’évolution des processus de colmatage principalement dans les matériaux constituant les cellules de captage qui ont un impact direct sur les capacités de la prise d’eau sous-fluviale. Ces processus réduisent progressivement le rendement de production du système. L’analyse en continu des données d’opération permet de déterminer les couches de matériaux les plus vulnérables au colmatage.

2.2.1 Définition des concepts de performance de captage de la prise d’eau sous-fluviale

Dans ce guide, la performance de captage de la prise d’eau sous-fluviale est représentée selon plusieurs propriétés, dont la conductivité hydraulique équivalente, $K_{\text{éq}}$ (m/s) et la perméabilité équivalente, $k_{\text{éq}}$ (m^2). Ces paramètres servent à décrire la performance de captage du système entier, mais sont aussi calculés indépendamment pour les cellules 1 et 3 ainsi que pour les matériaux constituant la sous-surface et la surface de ces cellules de captage.

La conductivité hydraulique équivalente (K_{eq}) permet de décrire la capacité du système entier ou par couche de matériel à laisser écouler un certain volume d'eau à travers la surface active de captage considérée sous un gradient hydraulique généré par la différence de niveaux d'eau entre le puits de pompage et celui de la rivière. Puisque l'entrée des conduites collectrices dans le puits est fixe (156.475 m), il existe une différence de niveaux d'eau maximale, où au-delà de cette valeur, le débit de captage du système ne peut être accru. La conductivité hydraulique est influencée par les propriétés physiques de l'eau en fonction de sa température, soit la masse volumique ainsi que la viscosité dynamique.

La performance de captage journalière de la prise d'eau sous-fluviale est définie par la conductivité hydraulique équivalente et les balises d'exploitation critiques sont établies entre autres par les valeurs de cette propriété.

La perméabilité équivalente (k_{eq}) correspond à l'aptitude du milieu poreux à laisser écouler un fluide de référence indépendamment des propriétés physiques de celui-ci. C'est la raison pour laquelle cette propriété est utilisée à titre de référence journalière pour suivre l'impact des processus de colmatage sur la performance de captage du système. La perméabilité équivalente est calculée en fonction de la conductivité hydraulique équivalente.

Le terme «équivalente» indique que la conductivité hydraulique et la perméabilité sont affectées par des phénomènes hydrauliques qui ne peuvent être mesurés pour en soustraire leurs effets. Les calculs des propriétés d'écoulement intègrent entre autres l'effet des pertes de charge dans le réseau de conduites qui varie selon le débit transité. Également, les effets géométriques de captage selon le débit soutiré sont compris dans les valeurs de conductivité hydraulique et de perméabilité équivalente calculées.

2.2.2 Définition du débit de captage

Le débit de captage de la prise d'eau sous-fluviale n'est pas une mesure directe. Lorsque les pompes de transfert vertical et que deux pompes à sable sont en fonction, le débit de captage est calculé à partir d'un bilan d'eau dans le puits, intégrant le débit de pompage mesuré sur la conduite principale et le débit de prélèvement des pompes à sable en opération (280 m³/h). La relation mathématique utilisée pour le calcul du débit de captage est montrée à la Figure 4.

2.2.3 Performance de captage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

La performance de captage de la prise d'eau sous-fluviale est définie à l'aide de la conductivité hydraulique équivalente ($K_{s,f}$) dont le calcul est décrit dans l'encadré situé au centre supérieur de la Figure 4.

2.2.4 Performance de captage sans colmatage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A

Suite à une opération de rétrolavage à l'air et à l'eau, la conductivité hydraulique équivalente calculée pour le système de captage devrait se rapprocher des valeurs présentées dans l'encadré situé dans le coin inférieur gauche de la Figure 4. Celles-ci peuvent être utilisées comme indicateur de l'efficacité de l'opération de rétrolavage. Dans le tableau, la valeur de K_{s-f} est fonction de la température de l'eau. La performance de captage sans colmatage associée à K_{s-f} varie de 5.8×10^{-3} m/s ($T_{\text{eau}} = 1^\circ\text{C}$) à 1.12×10^{-2} m/s ($T_{\text{eau}} = 25^\circ\text{C}$).

2.2.5 Conditions critiques d'exploitation

Lorsque la performance de captage de la prise d'eau sous-fluviale (K_{s-f}) atteint la valeur de 5×10^{-3} m/s, une opération de rétrolavage court à l'air peut être conduite afin de rétablir partiellement la capacité de captage initiale du système et ainsi prolonger la période de drainage utilisant la prise d'eau sous-fluviale. Toutefois, lorsqu'un second rétrolavage court à l'air est nécessaire à moins de 10 heures d'intervalle ou que les sondes à niveau d'eau R-LIT-003B, R-LIT-004B et R-LIT-005 atteignent les valeurs respectives de 158.60 m, 158.58 m et 158.60 m ou moindres, ou que la conductivité hydraulique de la prise d'eau sous-fluviale (K_{s-f}) est inférieure à 1×10^{-3} m/s une opération de rétrolavage complet à l'air et à l'eau est nécessaire afin de retrouver la capacité sans colmatage du système (voir l'encadré bleu et rouge au centre de la Figure 4). Ces critères indiquent généralement une tendance décroissante rapide de la production du système. En poursuivant les opérations de captage malgré l'atteinte de ces critères, cela pourrait entraîner entre autres:

- Une désaturation des cellules de captage rendant propice la précipitation de métaux et l'incrustation du média de captage par ces métaux. Ce colmatage pourrait se produire à même les ouvertures des conduites crépinées;
- Une stimulation de l'activité bactérienne aérobie favorisée par l'apport d'air dans le média de captage pourrait induire du colmatage biologique; et
- Des conditions de tension dans le média qui favoriseraient un colmatage compact des matériaux des cellules de captage, principalement dans la couche de protection, par la rétention de sédiments fins (silt et particules de la taille des argiles). Ce phénomène nuirait à l'efficacité des opérations de rétrolavage, car le média compact tendrait à se fracturer pour laisser écouler les fluides lors de l'opération créant ainsi des zones préférentielles d'écoulement. L'action du nettoyage étant concentrée dans ces zones, la distribution des fluides de rétrolavage dans les cellules de captage ne serait pas uniforme.

Conséquemment, la répétition de ces phénomènes pourrait générer des dommages irréversibles à la structure des cellules de captage qui limiteraient à moyen et long termes la performance de la prise d'eau sous-fluviale. Dès lors, seules des interventions mécaniques, tel que l'excavation, sur la structure de l'ouvrage de captage en rivière permettraient de recouvrer le rendement désiré.

2.2.6 Suivi de la performance de captage et du colmatage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A lors des séquences de drainage

Pour suivre adéquatement la performance de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A et les processus de colmatage lors des séquences de drainage, le rendement doit être exprimé à l'aide d'une propriété qui n'est pas influencée par les propriétés physiques de l'eau. Dans ce guide, la propriété utilisée est la perméabilité équivalente, $k_{\text{éq}}$. Celle-ci est calculée pour l'ensemble du système sous-fluvial ($k_{\text{s-f}}$), tel que montré dans l'encadré situé dans la partie supérieure droite de la Figure 4.

Le suivi des opérations du système depuis sa mise en route indique que la couche de protection (armure) composée de cailloux et de sables et graviers est la plus vulnérable aux impacts du colmatage mécanique. L'évolution de la perméabilité équivalente de cette couche est étroitement liée au rendement de production du système. La perméabilité équivalente de la couche de protection est la plus faible, donc la plus résistante à l'écoulement. Cette conclusion mène à suivre stratégiquement l'évolution de la perméabilité équivalente de cette couche par les processus de colmatage. Dans les deux encadrés situés dans la partie inférieure au centre et à la droite de la Figure 4, sont montrées les relations mathématiques devant être utilisées pour calculer les perméabilités équivalentes des couches de protection dans les cellules 1 et 3. Ce paramètre hydraulique ne peut être calculé aux autres cellules puisque les débits réels de captage provenant de ces cellules ne sont pas mesurés (absence de débitmètre).

Lorsque les processus de colmatage induisent une diminution de rendement atteignant les conditions critiques d'exploitation mentionnées à la section 2.2.5, des opérations de rétrolavage doivent être exécutées pour recouvrer la performance de captage sans colmatage de la prise d'eau sous-fluviale et de pouvoir soutenir ce rendement à moyen terme.

SUIVI LORS DU CAPTAGE (DRAINAGE)

DÉBIT DE CAPTAGE DE LA PRISE D'EAU SOUS-FLUVIALE $Q_{s,f}$ (m ³ /min)	
SONDES À NIVEAU D'EAU (m)	
Puits de pompage - R-LIT-001 (H_{puits})	
DÉBIT - DÉBITMÈTRE (m ³ /h)	
Débit de pompage - R-FIT-104B (Q_p)	
AIRE DU PUIS COLLECTEUR	
110 m ² valeur approximative (A_{puits})	
CALCUL	
$Q_{s,f}(m^3/min) = ((Q_p + 280) / 60) - ((H_{riv(t)} - H_{puits(t)}) * A_{puits})$	

TEMPÉRATURE DE L'EAU (C°)	
TEMPÉRATURE DE L'EAU - THERMISTANCE (C°)	
Rivière Montmorency - ancienne sonde - R-TIT-006	
Rivière Montmorency - sonde (2013) - R-TIT-007	
CALCUL	
$T_{eau(t)} = (R-TIT-006(t) + R-TIT-007(t))/2$	

PERFORMANCE DE CAPTAGE DE LA PESF À LA SUITE D'UNE OPÉRATION DE RÉTROLAVAGE - VALEURS RÉFÉRENCES DE $K_{s,f}$ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU

Température de l'eau C° $T_{eau(t)}$	Conductivité hydraulique $K_{s,f}$ (m/s)
1	0.0058
2	0.0060
3	0.0062
4	0.0064
5	0.0066
6	0.0068
7	0.0070
8	0.0072
9	0.0075
10	0.0077
11	0.0079
12	0.0081
13	0.0084
14	0.0086
15	0.0088
16	0.0091
17	0.0093
18	0.0095
19	0.0098
20	0.0100
21	0.0102
22	0.0105
23	0.0107
24	0.0110
25	0.0112

PERFORMANCE JOURNALIÈRE EN CAPTAGE DE LA PESF CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE $K_{s,f}$ (m/s)	
SONDES À NIVEAU D'EAU (m)	
Puits de pompage - R-LIT-001 (H_{puits})	
Rivière Montmorency - sonde (2013) - R-LIT-007 (H_{riv})	
DÉBIT DE CAPTAGE PESF $Q_{s,f}$ (m ³ /min)	
ÉPAISSEUR TOTALE DES MATÉRIAUX	
1.70 m (ΔL)	
SURFACE EFFICACE DE CAPTAGE	
300 m ² ($A_{s,f}$)	
CALCUL	
$K_{s,f}(m/s) = \frac{(Q_{s,f}/60)}{((H_{riv(t)} - H_{puits(t)}) / \Delta L) * A_{s,f}}$	

PERFORMANCE DE CAPTAGE DE LA PESF NÉCESSITANT UN RÉTROLAVAGE COURT À L'AIR

$K_{s,f} < 5 \times 10^{-3}$ m/s

PERFORMANCE CRITIQUE DE CAPTAGE DE LA PESF NÉCESSITANT UN RÉTROLAVAGE COMPLET

$K_{s,f} < 1 \times 10^{-3}$ m/s

- Crépine 1A - R-LIT-003B < 158.60 m
 - Crépine 3A - R-LIT-004B < 158.58 m
 - Crépine 5B - R-LIT-005 < 158.60 m
- 2 opérations de rétrolavage court à l'air ont été opérées dans une période de 10 heures

SUIVI DE LA PERFORMANCE DE LA PESF LORS D'UNE SÉQUENCE DE DRAINAGE ET IMPACT DU COLMATAGE PERMÉABILITÉ $k_{s,f}$ (m ²)	
CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE PESF $K_{s,f}$ (m/s)	
TEMPÉRATURE DE L'EAU (C°) (T_{eau})	
Rivière Montmorency - ancienne sonde - R-TIT-006	
Rivière Montmorency - sonde (2013) - R-TIT-007	
$T_{eau(t)} = (R-TIT-006(t) + R-TIT-007(t))/2$	
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	
Masse volumique ρ (Kg/m ³) - fonction de $T_{eau(t)}$	
Viscosité dynamique μ (Kg/(m*s)) - fonction de $T_{eau(t)}$	
ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE g	
9.81 m/s ²	
CALCUL	
$k_{s,f}(m^2) = \frac{K_{s,f} * \mu_{10}}{\rho_{10} * g}$	

RÉTROLAVAGE COURT À L'AIR

RÉTROLAVAGE COMPLET À L'AIR ET À L'EAU

SUIVI DU COLMATAGE DE LA COUCHE ARMURE EN CAPTAGE DE LA CELLULE 1

PERMÉABILITÉ $k_{arm,1}$ (m ²)	
SONDES À NIVEAU D'EAU (m)	
Rivière Montmorency - R-LIT-007 (H_{riv})	
Crépine 1A - R-LIT-003B (z = 158.495 m) (H_{3B})	
DÉBIT DE CAPTAGE CELLULE 1 $Q_{c,1}$ (m ³ /h)	
Débit de captage d'eau de la cellule 1 - R-FIT-104C ($Q_{c,1}$)	
ÉPAISSEUR DES MATÉRIAUX - Sonde 3B à la surface	
0.905 m ($\Delta L_{3B-surf}$)	
SURFACE EFFICACE DE CAPTAGE - CELLULE 1	
60 m ² ($A_{c,1}$)	
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	
Masse volumique ρ (Kg/m ³) - fonction de $T_{eau(t)}$	
Viscosité dynamique μ (Kg/(m*s)) - fonction de $T_{eau(t)}$	
ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE g	
9.81 m/s ²	
CALCUL	
$k_{arm,1}(m^2) = \frac{(Q_{c,1}/3600) * \mu_{10}}{((H_{riv(t)} - H_{3B(t)}) / \Delta L_{3B-surf}) * A_{c,1} * \rho_{10} * g}$	

SUIVI DU COLMATAGE DE LA COUCHE ARMURE EN CAPTAGE DE LA CELLULE 3

PERMÉABILITÉ $k_{arm,3}$ (m ²)	
SONDES À NIVEAU D'EAU (m)	
Rivière Montmorency - R-LIT-007 (H_{riv})	
Crépine 3A - R-LIT-004B (z = 158.475 m) (H_{4B})	
DÉBIT DE CAPTAGE CELLULE 3 $Q_{c,3}$ (m ³ /h)	
Débit de captage d'eau de la cellule 3 - R-FIT-104A ($Q_{c,3}$)	
ÉPAISSEUR DES MATÉRIAUX - Sonde 4B à la surface	
0.825 m ($\Delta L_{4B-surf}$)	
SURFACE EFFICACE DE CAPTAGE - CELLULE 3	
60 m ² ($A_{c,3}$)	
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	
Masse volumique ρ (Kg/m ³) - fonction de $T_{eau(t)}$	
Viscosité dynamique μ (Kg/(m*s)) - fonction de $T_{eau(t)}$	
ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE g	
9.81 m/s ²	
CALCUL	
$k_{arm,3}(m^2) = \frac{(Q_{c,3}/3600) * \mu_{10}}{((H_{riv(t)} - H_{4B(t)}) / \Delta L_{4B-surf}) * A_{c,3} * \rho_{10} * g}$	

Figure 4 : Propriétés, indicateurs et calculs de la performance de captage de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A et balises d'opération associées

2.3 Rétrolavage – procédures, balises d’opération et suivi de performance

Le suivi des opérations de rétrolavage qui ont été effectuées depuis la mise en route du système et le traitement des données recueillies lors des rétrolavages et des drainages subséquents ont permis de définir :

- Des modes opératoires efficaces de rétrolavage de la prise d’eau sous-fluviale de l’ouvrage A, soient un rétrolavage court à l’air et un rétrolavage complet à l’air et à l’eau;
- Les conditions critiques à suivre lors des opérations du rétrolavage complet à l’air et à l’eau; et
- Le paramètre de suivi permettant d’évaluer l’efficacité du rétrolavage complet à l’air et à l’eau durant l’opération.

Ces informations sont résumées à la Figure 5.

2.3.1 Mode opératoire des rétrolavages de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A

Compte tenu du contexte particulier de l’Ouvrage A caractérisé par un réseau de conduites sous forte pression, 1535 kPa (230 psi), les opérations de rétrolavage doivent être conduites au poste de l’Ouvrage A pour que toutes anomalies de fonctionnement puissent être détectées.

Lorsque les conditions de captage de la prise d’eau sous-fluviale atteignent le premier critère limite d’exploitation, soit une conductivité hydraulique inférieure à 5×10^{-3} m/s, une procédure de rétrolavage court à l’air est nécessaire pour nettoyer partiellement la surface des cellules de captage. Cette opération permet d’améliorer le rendement du système et de prolonger la durée de la séquence de drainage. L’ouverture des vannes d’air des cellules 3, 4 et 5 en captage sert à la réalisation du rétrolavage court à l’air dont l’opération est décrite dans l’encadré supérieur gauche de la Figure 5.

Lorsque le rendement en captage du système diminue et que les conditions critiques d’exploitation extrêmes sont atteintes, la réalisation d’un rétrolavage complet à l’air et à l’eau est alors requise pour que la prise d’eau sous-fluviale retrouve une conductivité hydraulique s’approchant de la valeur initiale du système sans colmatage, typiquement 7.7×10^{-3} m/s ($T_{\text{eau}} = 10^{\circ}\text{C}$). Le mode opératoire du rétrolavage complet à l’air et à l’eau de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A est présenté dans l’encadré gauche inférieur de la Figure 5. Les performances de ces opérations peuvent être plus amplement analysées aux cellules de captage instrumentées 1 et 3 sur les aspects suivants :

- La perméabilité des cellules 1 et 3 atteinte à la fin des opérations de rétrolavage à l'eau en fonction de la durée d'injection;
- La perméabilité des cellules 1 et 3 aux premiers instants des drainages suivant les rétrolavages complets; et
- L'évolution de la perméabilité des cellules de captage 1 et 3 durant les séquences de drainage succédant les opérations de rétrolavage complet à l'air et à l'eau. Toutefois, ce dernier point d'analyse est vulnérable aux variations de la turbidité de l'eau de la rivière Montmorency qui influencent directement la vitesse du processus de colmatage dans les cellules de captage.

Les procédures du rétrolavage court à l'air et du rétrolavage complet à l'air et à l'eau sont montrées à l'Annexe 1 du guide.

2.3.2 Conditions critiques des opérations de rétrolavage

La procédure complète du rétrolavage à l'air et à l'eau ne devrait jamais être réalisée lorsque la turbidité de l'eau brute dessablée provenant directement de la rivière Montmorency indique une valeur supérieure à 2 NTU. Toutefois, l'opération pourrait être conduite lors de besoins exceptionnels en eau et que les prises d'eau de surface seraient indisponibles.

Lors de l'injection d'eau durant les opérations de rétrolavage complet, il est primordial d'éviter de fluidiser les matériaux constituant les cellules de captage. Cet état induirait un remaniement important des matériaux, entraînerait les cailloux de la couche armure vers les crépines et rendrait vulnérable la surface du lit à l'érosion par le courant de la rivière. L'analyse en continu des données d'opération de rétrolavage permet d'évaluer si le phénomène de fluidisation se produit dans la cellule de captage. L'analyse est basée sur le calcul du gradient hydraulique vertical au droit de la crépine 5B dans la cellule 5 ($i_{v, \text{tranchée}(t)}$), montré dans l'encadré rouge à la droite de la Figure 5. La condition de fluidisation des cellules de captage peut être aussi calculée dans les cellules 1 et 3. En aucun moment le gradient hydraulique vertical ne doit dépasser la valeur de 1.

Puisque la couche armure dans les cellules de captage est constituée des matériaux les plus résistants à l'écoulement, le suivi du gradient hydraulique vertical dans cette couche peut prévenir éventuellement d'atteindre les conditions hydrauliques générant la fluidisation complète du lit de captage. En général, le gradient hydraulique vertical de cette couche ($i_{v, \text{armure}(t)}$) atteint le critère de fluidisation ($i_{v, \text{armure}(t)} > 1$) avant l'ensemble de la cellule. Il est calculé à partir de l'équation présentée dans l'encadré rouge sous le titre : condition de fluidisation dans la couche armure.

OPÉRATIONS ET SUIVI LORS DU RÉTROLAVAGE

RÉTROLAVAGE COURT À L'AIR DE LA PESF SÉQUENCE OPÉRATIONNELLE - PROCÉDURE ANNEXE 1 DU GUIDE D'OPÉRATION	RÉTROLAVAGE DE LA PESF DONNÉES
REQUIS: 3 VANNES D'AIR DE CELLULES CONTIGÜES DOIVENT ÊTRE OUVERTES À L'OUVRAGE A-PRIORITAIREMENT LES VANNES DES CELLULES 3-4-5	DÉBIT - DÉBITMÈTRE (m ³ /h)
ARRÊT DU MODE POMPAGE	Débit de la pompe de lavage à l'eau 51-PC-015 - R-FIT-155
SÉLECTIONNER LE MODE RÉTRO-LAVAGE	Débit de la pompe de lavage à l'eau 51-PC-016 - R-FIT-165
SÉLECTIONNER LE DÉBIT D'INJECTION DU SURPRESSEUR D'AIR	$Q_{\text{rétro-eau(t)}} = \text{R-FIT-155(t)} + \text{R-FIT-165(t)}$
3 000 m ³ /h	$Q_{\text{rétro-air(t)}} : \text{débit du surpresseur d'air - R-FIT-385(t)}$
NOMBRE D'INJECTION	SONDES À NIVEAU D'EAU (m)
3	Crépine 5B - R-LIT-005B (z = 157.450 m) H _{5B}
DURÉE D'UNE INJECTION	Crépine 5B - R-LIT-005A (z = 157.850 m) H _{5A}
3 minutes	Crépine 5B - R-LIT-005 (z = 158.495 m) H ₅
SÉLECTIONNER ET DÉMARRER LE MODE POMPAGE	Rivière Montmorency - sonde (2013) - R-LIT-007 (H ₁₃)
RÉTROLAVAGE COMPLET DE LA PESF SÉQUENCE OPÉRATIONNELLE - PROCÉDURE ANNEXE 1 DU GUIDE D'OPÉRATION	EPAISSEUR DES MATÉRIAUX - CRÉPINE 5B
ARRÊT DU MODE POMPAGE	Couronne crépine 5B jusqu'à la surface de la tranchée 1.600 m (ΔL_{cr})
SÉLECTIONNER LE MODE RÉTRO-LAVAGE	Sonde 5A jusqu'à la surface de la tranchée 1.350 m ($\Delta L_{\text{SA-surf}}$)
FERMETURE MANUELLE DES VANNES D'AIR ET DES VANNES DES CONDUITES COLLECTRICES EN CAPTAGE	Sonde 5 jusqu'à la surface de la tranchée 0.705 m ($\Delta L_{\text{S-surf}}$)
VÉRIFIER QUE R-PIT-103 < 10 kPa	SURFACE EFFICACE DE CAPTAGE - CELLULE 5
OUVRIR LA VANNE D'AIR ET LA VANNE DE RÉTROLAVAGE À L'EAU DE LA CELLULE À NETTOYER, UNE CELLULE À LA FOIS D'AMONT VERS L'AVAL	60 m ² (A _{CS})
SÉLECTIONNER LE DÉBIT D'INJECTION DES ÉQUIPEMENTS DE RÉTROLAVAGE	TEMPÉRATURE DE L'EAU (C°) (T _{eau})
Surpresseur d'air 1 800 m ³ /h	Rivière Montmorency - ancienne sonde - R-TIT-006
Pompe de lavage 51-PC-015: 1 200 m ³ /h	Rivière Montmorency - sonde (2013) - R-TIT-007
Pompe de lavage 51-PC-016: 500 m ³ /h	$T_{\text{eau(t)}} = (\text{R-TIT-006(t)} + \text{R-TIT-007(t)})/2$
SÉQUENCE DE RÉTROLAVAGE - EFFECTUER LA SÉQUENCE 2 À 3 FOIS PAR CELLULE 1 SÉQUENCE EN 4 ÉTAPES	PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE
ÉTAPE 1 - INJECTION D'AIR	Masse volumique ρ (Kg/m ³) - fonction de T _{eau(t)}
Mise en fonction du surpresseur d'air Durée 7 minutes	Viscosité dynamique μ (Kg/(m*s)) - fonction de T _{eau(t)}
ÉTAPE 2 - INJECTION AIR-EAU	ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE g
Mise en fonction de la pompe de lavage 51-PC-015 Durée 7 minutes	9.81 m/s ²
ÉTAPE 3 - INJECTION D'EAU	CONDITIONS CRITIQUES EN RÉTROLAVAGE OPÉRATIONS DANS LA CELLULE 5
Arrêt du surpresseur d'air Mise en fonction de la pompe de lavage 51-PC-016 Durée 10 minutes	CONDITIONS DE FLUIDISATION DANS LA TRANCHÉE
ÉTAPE 4 - ARRÊT DES POMPES DE LAVAGE	Gradient hydraulique vertical $i_{\text{v, tranchée}}$
Arrêt de la pompe de lavage 51-PC-015 Arrêt de la pompe de lavage 51-PC-016 Attendre l'arrêt complet avant d'effectuer une autre séquence de nettoyage ou de manipuler les vannes du système pour changer de cellule à nettoyer.	$i_{\text{v, tranchée(t)}} = \frac{(H_{\text{SB(t)}} - H_{\text{NV(t)}})}{\Delta L_{\text{tot}}} > 1 \text{ fluidisation probable}$
APRÈS LE NETTOYAGE DES 5 CELLULES	$i_{\text{v, tranchée(t)}} = \frac{(H_{\text{5A(t)}} - H_{\text{NV(t)}})}{\Delta L_{\text{5A-surf}}} > 1 \text{ fluidisation probable}$
Toutes les vannes utilisées pour le rétrolavage devraient être fermées. Ouvrir les vannes des conduites collectrices en captage et les vannes d'air des cellules 3-4-5 (pour rétrolavage court à l'air).	CONDITION DE FLUIDISATION DANS LA COUCHE ARMURE
SÉLECTIONNER ET DÉMARRER LE MODE POMPAGE	Gradient hydraulique vertical $i_{\text{v, armure}}$
	$i_{\text{v, armure(t)}} = \frac{(H_{\text{5(t)}} - H_{\text{NV(t)}})}{\Delta L_{\text{5-surf}}} > 1 \text{ fluidisation probable}$
	TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE CRITIQUE POUR LES RÉTROLAVAGES À L'EAU
	R-AIT-401 > 2 NTU
	SUIVI DE LA PERFORMANCE DU RÉTROLAVAGE EN OPÉRATION PERMÉABILITÉ $k_{s-f, \text{réto}}$ (m²)
	$k_{s-f, \text{réto(t)}} \text{ (m}^2\text{)} = \frac{(Q_{\text{rétro-eau(t)}}/3600) * L_{10}}{((H_{\text{5A(t)}} - H_{\text{NV(t)}}) / \Delta L_{\text{5A-surf}}) * A_{\text{CS}} * \rho_{(t)} * g}$

Figure 5 : Étapes et balises d'opération des rétrolavages de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A et suivi de performance

2.3.3 Suivi de la performance du rétrolavage à l'eau en opération

En général, une opération de rétrolavage à l'eau efficace va faire progressivement diminuer les pertes de charge dans les matériaux des cellules de captage pour un même débit d'injection. Il est possible de constater l'amplitude de ce phénomène par le suivi du paramètre de la perméabilité équivalente des cellules 1,3 et 5 lors de l'injection d'eau. Celui-ci va augmenter conséquemment à la diminution des pertes de charge dans les cellules de captage. Ce paramètre peut être calculé à l'aide de l'équation montrée dans le coin inférieur droit de la Figure 5.

Résultat d'une opération de rétrolavage complet à l'air et à l'eau

La conductivité hydraulique de la prise d'eau sous-fluviale K_{s-f} devrait s'approcher de la valeur moyenne sans colmatage, soit de 5.8×10^{-3} m/s ($T_{\text{eau}} = 1^\circ\text{C}$) à 1×10^{-2} m/s ($T_{\text{eau}} = 20^\circ\text{C}$), référence à la Figure 4.

Dans le cas contraire, il serait recommandé de réaliser une séquence supplémentaire de rétrolavage à l'air et à l'eau.

3 Conclusion

La prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A de la Ville de Québec est un concept novateur qui a fait l'objet d'un suivi depuis sa mise en route en mai 2014 afin de développer de bonnes pratiques d'utilisation. Le présent guide d'opération vient principalement en appui aux utilisateurs de la prise d'eau sous-fluviale. Il contient notamment :

- La description des éléments de conception du système, les équipements et les instruments de mesure associés;
- L'identification des paramètres requis pour analyser et suivre la performance du système ainsi que pour détecter les problématiques de rendement; et,
- des balises d'opération en captage ainsi qu'en rétrolavage.

La gestion adéquate des opérations de la prise d'eau sous-fluviale favorisera le maintien du rendement du système à long terme et assurera son intégrité physique.

En complément à ce guide, l'ensemble des données d'opération disponibles de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A est présenté à l'Annexe 2. Celles-ci sont organisées dans une structure facilitant la reconnaissance et le suivi des paramètres requis pour la gestion adéquate des opérations du système. Les traitements de données présentés dans ces fichiers constituent une référence pour la construction d'un outil de gestion des opérations de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A au sein de la ville de Québec. Également, une affiche regroupant l'ensemble des figures du guide constitue l'Annexe 3 du document et sert de repère aux utilisateurs pour accroître leur compréhension de l'opérabilité du système.

ANNEXE 1

Procédures du rétrolavage court à l'air et du rétrolavage complet à l'air et à l'eau

Procédure de rétrolavage court à l'air de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A

1. Écran

- Sélectionner l'Onglet **Mode Poste**
- Aller dans **Commandes Auto. En Mode Pompage**
- Mettre à **Hors** la séquence de soutirage de l'eau (R-HS-100E)

2. Écran

- Dans l'Onglet **Mode Poste**
- Sélectionner le **mode semi-automatique** et le **mode du poste en rétro-lavage**

3. Écran

Définir les paramètres d'opération de rétrolavage dans l'automate pour le surpresseur d'air

- Sélectionner l'Onglet **Surpresseur**
- Indiquer le débit d'air du **surpresseur (58-SU-001)** en appuyant sur la touche à l'écran **PID**.
- Dans l'encadré du débitmètre air de lavage R-FIC-385, appuyer sur la **case du Set Point**.
- Effacer la valeur de débit indiqué dans l'encadré supérieur gauche en appuyant sur la **touche Clear**
- Définir le débit d'injection **3000 m³/h**
- Appuyer sur la **touche OK** (Sortie de la page de sélection du débit)

4. Séquence de rétrolavage (**3 répétitions**)

- Sélectionner l'Onglet **Surpresseur**
- Mise en opération du surpresseur d'air (58-SU-001)
- **Durée** de l'injection d'air **3 minutes**
- Arrêt du surpresseur d'air (58-SU-001)
- Fonctions Manuel (R-HUS-380) – Arrêt (R-HS-381)

Faire la séquence **3 fois**

Le débit d'air doit être à **0** avant de démarrer le surpresseur d'air

5. Écran

- Dans l'Onglet **Mode Poste**
- Sélectionner le **mode automatique** et le **mode du poste en pompage**

6. Écran

- Sélectionner l'Onglet **Mode Poste**
- Aller dans **Commandes Auto. En Mode Pompage**
- Mettre à **En** la séquence de soutirage de l'eau (R-HS-100E)

Procédure de rétrolavage complet à l'air et à l'eau de la prise d'eau sous-fluviale de l'ouvrage A

Ordre de nettoyage des cellules de captage sous-fluviales : 1 (amont) à 5 (aval)

1. Écran
 - Sélectionner l'Onglet **Mode Poste**
 - Aller dans **Commandes Auto. En Mode Pompage**
 - Mettre à **Hors** la séquence de soutirage de l'eau (R-HS-100E)

2. Écran
 - Dans l'Onglet **Mode Poste**
 - Sélectionner le **mode semi-automatique** et le **mode du poste en rétro-lavage**

3. Écran
 - Sélectionner l'Onglet **Vannes**
 - Ouverture de la **vanne de relâche** de la conduite principale (R-YV-1C1)
 - Fonctions Manuel (R-HUS-1C0)-Ouvrir (R-HS-1C1), jusqu'à l'atteinte de 0 kpa (+-10 kPa) sur la **mesure de pression** de la conduite principale (R-PIT-103 (kPa) voir dans l'Onglet **Poste**)
 - Commentaires : Il est possible que plusieurs ouvertures soient requises, dans ce cas faire les opérations Manuel-Fermer et Manuel-Ouvrir jusqu'à l'atteinte de la lecture d'environ 0 kPa dans la conduite principale (R-PIT-103 (kPa))

4. Opérations manuelles
 - Fermeture manuelle des **vannes de captage des cellules** de la prise d'eau sous-fluviale :
 - Cellule 1 : 450-RP-1001
 - Cellule 2 : 450-RP-1002
 - Cellule 3 : 450-RP-1003
 - Cellule 4 : 450-RP-1004
 - Cellule 5 : 450-RP-1005

5. Opérations manuelles
 - Fermeture du purgeur d'air de la conduite principale (51-PAR-001).

6. Opérations manuelles
 - Ouverture manuelle de la **vanne de rétro-lavage de la cellule à nettoyer** :
 - Cellule 1 : 500-RP-1006
 - Cellule 2 : 500-RP-1007
 - Cellule 3 : 500-RP-1008
 - Cellule 4 : 500-RP-1009
 - Cellule 5 : 500-RP-1010

7. Opérations manuelles

- Ouverture manuelle de la **vanne d'air de la cellule à nettoyer** :
- Cellule 1 : 200-RP-1011
- Cellule 2 : 200-RP-1012
- Cellule 3 : 200-RP-1013
- Cellule 4 : 200-RP-1014
- Cellule 5 : 200-RP-1015

8. Écran

- Sélectionner l'Onglet **Vannes**
- Ouverture de la **vanne prise de rétro-lavage** (R-YV-231)
- Fonctions Manuel (R-HUS-230) – Ouvrir (R-HUS-231)
- Ouverture de la **vanne aval tamis** (R-YV-211)
- Fonctions Manuel (R-HUS-210) – Ouvrir (R-HUS-211)

9. Écran

- Sélectionner l'Onglet **Pompes à sable**
- Mise en fonction de la **pompe à sable prise rétro-lavage** (51-PC-017)
- Fonctions Manuel (R-HUS-170) – Marche (R-HS-171)
- Mise en fonction de la **pompe à sable puits côté tamis** (51-PC-018)
- Fonctions Manuel (R-HUS-180) – Marche (R-HS-181)

10. Écran

Définir les paramètres d'opération de rétrolavage dans l'automate pour les pompes de lavage et le surpresseur d'air

Pompes de lavage

- Sélectionner l'Onglet **Pompage eau lavage**
- Indiquer le débit d'opération de la **pompe de lavage (51-PC-015)** en appuyant sur la touche à l'écran **PID**.
- Dans l'encadré du débitmètre R-FIC-155, appuyer sur la **case du Set Point**.
- Effacer la valeur de débit indiqué dans l'encadré supérieur gauche en appuyant sur la **touche Clear**
- Définir le débit d'injection **1200 m³/h**
- Appuyer sur la **touche OK** (Sortie de la page de sélection du débit)
- Appuyer sur la **touche OK** dans le coin supérieur droit de l'écran
- Indiquer le débit d'opération de la **pompe de lavage (51-PC-016)** en appuyant sur la touche à l'écran **PID**.
- Dans l'encadré du débitmètre R-FIC-165, appuyer sur la **case du Set Point**.
- Effacer la valeur de débit indiqué dans l'encadré supérieur gauche en appuyant sur la **touche Clear**
- Définir le débit d'injection **500 m³/h**
- Appuyer sur la **touche OK** (Sortie de la page de sélection du débit)

Surpresseur d'air

- Sélectionner l'Onglet **Surpresseur**
- Indiquer le débit d'air du **surpresseur (58-SU-001)** en appuyant sur la touche à l'écran **PID**.
- Dans l'encadré du débitmètre air de lavage R-FIC-385, appuyer sur la **case du Set Point**.
- Effacer la valeur de débit indiqué dans l'encadré supérieur gauche en appuyant sur la **touche Clear**
- Définir le débit d'injection **1800 m³/h**
- Appuyer sur la **touche OK** (Sortie de la page de sélection du débit)

11. Écran

Démarrage des opérations de rétrolavage

Requis : 2 à 3 séquences complètes de rétrolavage par cellule de captage

Durée totale de rétrolavage par cellule : 60 à 90 minutes (incluant des délais de manipulation d'équipement)

Séquence de rétrolavage (2 à 3 répétitions par cellule)

- Sélectionner l'Onglet **Surpresseur**
- Mise en opération du surpresseur d'air (58-SU-001)
- **Durée** de l'injection d'air **7 minutes**
- Fonctions Manuel (R-HUS-380) – Marche (R-HS-381)
- Sélectionner l'Onglet **Pompage eau lavage**
- Mise en opération de la pompe de lavage (51-PC-015)
- Fonctions Manuel (R-HUS-150) – Marche (R-HS-151)
- **Durée** de l'injection simultanée air-eau **7 minutes**
- Sélectionner l'Onglet **Surpresseur**
- Arrêt du surpresseur d'air (58-SU-001)
- Fonctions Manuel (R-HUS-380) – Arrêt (R-HS-381) *Attendre que R-FIT-385 indique 0 m³/h
- Sélectionner l'Onglet **Pompage eau lavage**
- Mise en opération de la pompe de lavage (51-PC-016)
- Fonctions Manuel (R-HUS-160) – Marche (R-HS-161)
- **Durée** de l'injection d'eau avec la pompe de lavage (51-PC-016) **10 minutes**
- Arrêt des pompes de lavage (51-PC-015) et (51-PC-016)
- Fonctions Manuel (R-HUS-150) – Arrêt (R-HS-151) et Manuel (R-HUS-160) – Arrêt (R-HS-161)
*Attendre que R-FIT-155 et R-FIT-165 indiquent 0 m³/h

12. Opérations manuelles

- Fermeture manuelle et cadenasser la **vanne de rétro-lavage de la cellule nettoyée** :
 - Cellule 1 : 500-RP-1006
 - Cellule 2 : 500-RP-1007
 - Cellule 3 : 500-RP-1008
 - Cellule 4 : 500-RP-1009
 - Cellule 5 : 500-RP-1010

13. Opérations manuelles

- Fermeture manuelle et cadenasser la **vanne d'air de la cellule nettoyée** :
 - Cellule 1 : 200-RP-1011
 - Cellule 2 : 200-RP-1012
 - Cellule 3 : 200-RP-1013
 - Cellule 4 : 200-RP-1014
 - Cellule 5 : 200-RP-1015

14. **Changer de cellule** pour continuer le rétrolavage – reprendre les étapes 6, 7, 11, 12 et 13

15. Opérations manuelles (après le dernier rétrolavage)

- Ouverture du purgeur d'air de la conduite principale (51-PAR-001)

16. Opérations manuelles

- Ouverture manuelle des **vannes de captage des cellules** de la prise d'eau sous-fluviale :
 - Cellule 1 : 450-RP-1001
 - Cellule 2 : 450-RP-1002
 - Cellule 3 : 450-RP-1003
 - Cellule 4 : 450-RP-1004
 - Cellule 5 : 450-RP-1005

17. Opérations manuelles

- Ouverture manuelle des **vannes d'air** pour la réalisation de rétrolavage court à l'air pendant le captage:
 - Cellule 3 : 200-RP-1013
 - Cellule 4 : 200-RP-1014
 - Cellule 5 : 200-RP-1015

ANNEXE 2

Clé USB – Fichiers des données d’opération de la prise d’eau sous-fluviale de l’Ouvrage A

ANNEXE 3

Affiche du guide d'opération de la prise d'eau sous-fluviale de l'Ouvrage A