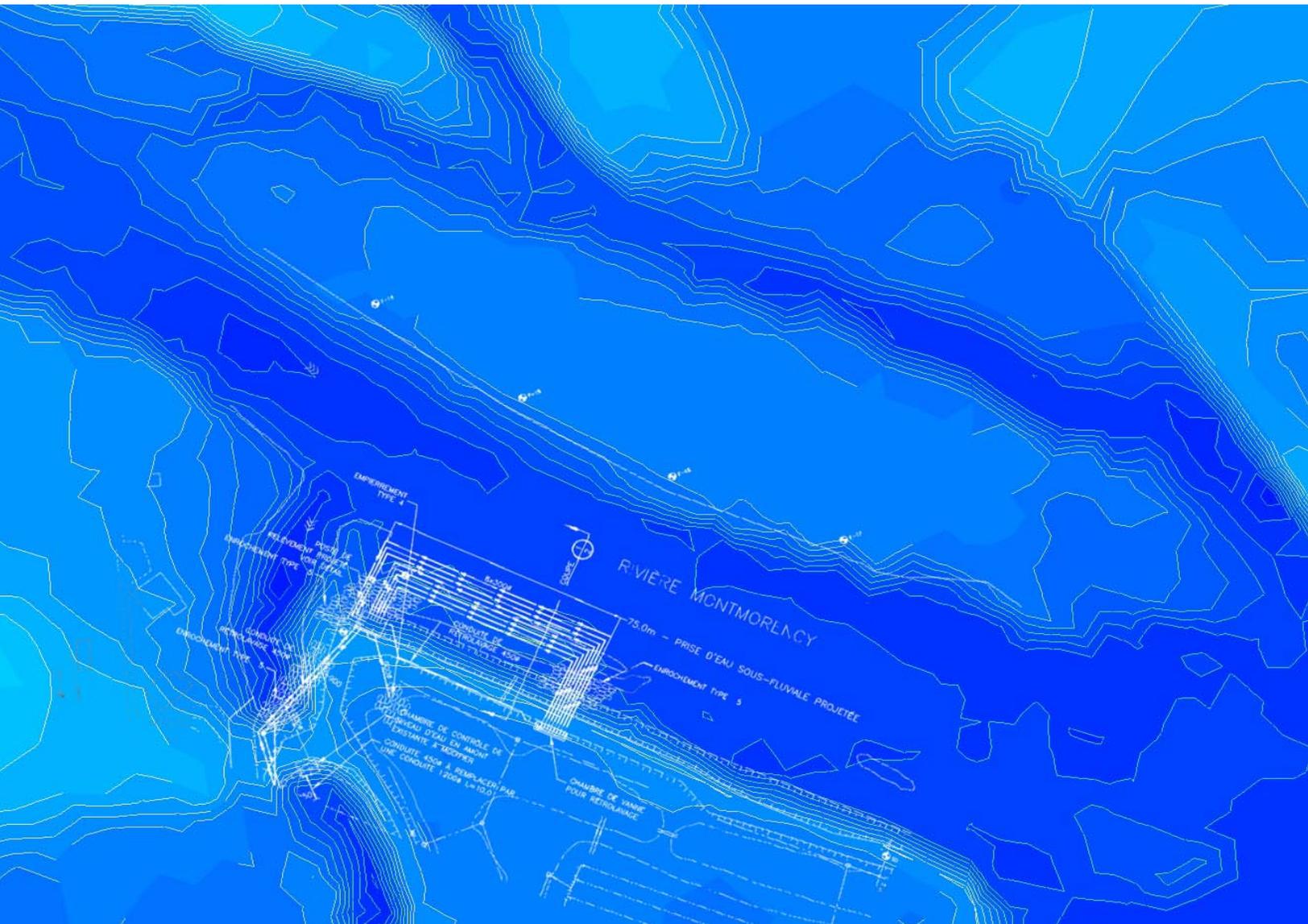


Programme de recherche en lien avec la mise en place d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency, secteur des Îlets :

Modèles physiques – Essais en colonnes et en bac de sable

Rapport de recherche INRS-ETE #R1081 , Février 2009



Programme de recherche en lien avec la mise en place d'une prise
d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la
rivière Montmorency, secteur des Îlets :

Modèles physiques – Essais en colonnes et en bac de sable

Cintia Racine, René Lefebvre, Richard Martel, Claudio Paniconi,
Luc Trépanier et Judith Côté

Pour le compte de la



**Rapport de recherche INRS-ETE #R1081
Février 2009**



SOMMAIRE EXÉCUTIF

Référence pour fins de citation : Racine, C., R. Lefebvre, R. Martel, C. Paniconi, L. Trépanier et J. Côté (2009). Programme de recherche en lien avec la mise en place d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency, secteur des Îlets : Modèles physiques – Essais en colonnes et en bac de sable. Rapport de recherche INRS-ETE #R1081. 71 pp. Février 2009.

© INRS-ETE, 2009

RÉSUMÉ

Contexte

La Ville de Québec prévoit la mise en place d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale dans les sédiments de la rivière Montmorency, secteur des Îlets, pour l'approvisionnement en eau potable. Le mandat de l'INRS-ETE est de répondre à des questions soulevées par la Ville de Québec relativement à la conception, la mise en œuvre et l'exploitation du système de captage. Ce rapport présente les résultats du bloc 1 des travaux proposés qui se sont appuyés sur divers travaux de terrain, des relevés topographiques ainsi que des essais en colonnes et en bac de sable.

Positionnement de l'ouvrage

Les analyses topographiques de 1995, 2003 et 2008 et la caractérisation du couvert de glace en 2008 ont permis d'effectuer certaines recommandations relativement au positionnement de l'ouvrage de captage dans la rivière Montmorency, secteur des Îlets. Tout d'abord, la pointe ouest des bassins semble la plus appropriée compte tenu de la topographie latéralement plus uniforme de la section d'écoulement à cet endroit. Toutefois, l'ouvrage devrait être implanté à un niveau inférieur à celui retenu au départ (154 m), soit plutôt 153,4 m, afin de favoriser la submersion du lit filtrant en tout temps, surtout en hiver. Enfin, il est recommandé de déplacer l'ensemble du dispositif d'un minimum de 5 m vers le nord (vers le centre du cours d'eau) afin de maintenir la couche superficielle d'alluvions formant le lit filtrant en contact avec les forces tractrices de l'écoulement. Une couche de protection superficielle constituée de matériaux en mesure de résister à des forces importantes lors des crues exceptionnelles ou d'embâcles locaux devrait être installée à la surface de l'ouvrage (Leclerc et Bérubé, 2008).

Évaluation de la capacité du système de captage

L'évaluation de la performance du futur système de captage horizontal sous-fluviale a été faite à l'aide de modèles physiques, en colonnes et en bac de sable, qui représentent respectivement l'écoulement de l'eau en une dimension (1D) et en trois dimensions (3D) à travers un lit filtrant jusqu'à une crépine. Le montage des colonnes est basé sur le design du système de captage datant de janvier 2008 développé par Génio Experts-Conseils. Ces essais poursuivaient les objectifs suivants : évaluer le débit potentiel du système de captage pleine grandeur; définir l'impact du colmatage sur la performance du système; évaluer l'efficacité de l'opération de rétrolavage à l'eau pour décolmater et contrer une baisse de capacité du système de captage; et identifier l'instrumentation nécessaire pour un suivi adéquat de l'opération et l'entretien d'un tel système.

En lien avec ces objectifs, les essais en colonnes et en bac ont démontré que le débit de captage de 70 000 m³/j attendu du système pleine grandeur de la prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency pourrait être atteint. Les résultats des essais en bac reportés à l'échelle du design du système pleine grandeur, soit 8 conduites de 75 m de longueur espacées de 2 m (centre à centre), indiquent un potentiel de captage sans colmatage de 391 000 m³/j. Ce débit de drainage sans colmatage a été obtenu suite à un développement initial adéquat du milieu poreux grâce à des séquences de drainage et de rétrolavage.

Lors des essais en drainage, l'alimentation du système à sa surface utilisait une eau chargée en particules fines dont la turbidité était au moins deux fois supérieure à celle de la rivière Montmorency en hiver. L'écoulement de cette eau turbide à travers le matériel filtrant a permis d'induire du colmatage localisé principalement à la surface des matériaux filtrants composés des sédiments tamisés de la rivière Montmorency (>315 µm et <14 mm). Les essais en bac (3D) ont démontré que l'écoulement de l'eau s'effectuait principalement au droit de la conduite où est initié le colmatage de surface. Subséquemment, le colmatage de surface progresse latéralement jusqu'à l'atteinte d'un colmatage complet de la surface disponible à l'écoulement, ce qui induit une perte quasi totale de capacité de captage. La durée moyenne des séquences de drainage était imposée à environ 24 heures grâce à l'ajout d'eau très turbide à la fin de cette période de façon à permettre la réalisation de plusieurs séquences de drainage suivi de rétrolavage.

Les opérations de rétrolavage réalisées lors des essais en colonnes et en bac ont démontré que cette opération était efficace si elle était maintenue pendant 10 minutes à un débit supérieur à 0.004 m³/s/m²surf.filtre, soit 2177 m³/h pour une conduite crépinée (300 mm de diamètre, 50 µm d'ouverture espacées de 6.35 mm et de 76 mm de longueur). Ces conditions permettent de déloger les fines à l'origine du colmatage et augmentent même la capacité nominale de captage de plus de 5 %. L'efficacité de cette opération est plus importante au droit de la conduite et diminue latéralement. L'opération d'un rétrolavage à un débit de 0.006 m³/s/m²surf.filtre a permis d'augmenter le volume cumulatif de captage drainé d'environ 2.5 fois avant d'atteindre le colmatage complet de la surface. Toutefois, l'opération de ce rétrolavage a induit de la bouillasse au droit de la conduite où l'expansion du matériel filtrant en hauteur était de 2.5 cm.

Lors des opérations de rétrolavage, il y a eu migration de la fraction fine (sables fins) du matériel filtrant vers la surface des sédiments, ce qui indique que cette fraction granulométrique n'est pas stable en conditions de rétrolavage. Ce phénomène comporte l'avantage que le milieu poreux se développe à chacun des rétrolavages. Toutefois, à long terme il y aurait une perte nette de matériel filtrant au-dessus des conduites. La présence de cette fraction fine dans le matériel filtrant près de la surface peut augmenter la capacité de filtration et conséquemment favoriser un

colmatage rapide lors des drainages subséquents, ce qui pourrait nécessiter d'augmenter la fréquence des opérations de rétrolavage.

En opération de drainage, lorsque la surface est partiellement colmatée et que le milieu poreux entre en tension, il y a exsolution de l'air dissoute dans l'eau et formation d'une phase gazeuse qui migre et s'accumule sous la surface colmatée. Lorsque le système de captage est arrêté, l'air migre à travers la couche colmatée et déloge partiellement le colmatage de la surface. Ensuite, lors du rétrolavage qui suit, la migration de l'air se poursuit et aide au nettoyage de la surface. Ce phénomène pourrait se produire en mode d'opération du système de captage pleine grandeur.

Limitations des essais

- Les séquences de drainage et de rétrolavage réalisées dans les essais en colonnes et en bac représentent uniquement la performance à court terme de l'opération du système de captage pleine grandeur.
- Les opérations de rétrolavage réalisées dans le bac d'essais étaient confinées latéralement, tandis que sur le terrain (système pleine grandeur), elles s'effectuèrent dans des conditions non-confinées latéralement (système ouvert).
- Suite à l'évacuation continue des sables fins et des fines du matériel filtrant à chaque rétrolavage, le matériel filtrant a évolué entre les essais. La granulométrie optimale du matériel filtrant demeure donc incertaine.
- Le système expérimental ne peut reproduire l'effet de la dynamique du cours d'eau. Le potentiel d'enlèvement des fines entraînées à la surface après les rétrolavages grâce au débit du cours d'eau ainsi que l'effet d'un matériel de recouvrement grossier n'ont pas été évalués.
- Les essais n'ont pu reproduire les modes d'opération qui pourraient être utilisés dans le système pleine grandeur à cause du temps limité disponible pour la réalisation des essais.

Recommandations découlant des essais

1. Il est recommandé de garder la capacité totale du système tel que conçu dans le design de Génio Experts-Conseils. La surcapacité du système lui confère une grande flexibilité d'opération. Cela pourrait aussi compenser des effets néfastes ponctuels, tels que des bris de conduites, du colmatage, les arrêts requis pour le rétrolavage et la présence de frasil.
2. Il serait nécessaire d'éliminer la fraction granulométrique instable du matériel filtrant qui se mobilise en rétrolavage. Pour ce faire, il faudrait identifier adéquatement cette fraction granulométrique fine.
3. Il est recommandé de réaliser des cycles initiaux de drainage/rétrolavage avant la mise en opération du système pour effectuer le développement du milieu poreux. Ceci améliorera sa performance.

4. Il est recommandé de concevoir et d'installer un système qui permettra d'isoler des sections de conduite afin de pouvoir opérer les rétrolavages par sections et atteindre un débit de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ avec la capacité de pompe actuellement prévue dans le design de 907 m/h pour une conduite crépinée de 75 m de longueur.
5. Le système de captage pleine grandeur devrait comprendre une instrumentation reliée à un système d'acquisition des données afin de réaliser un suivi adéquat de l'opération et de l'entretien :
 - Chaque conduite devrait posséder un débitmètre afin de mesurer les débits en drainage et en rétrolavage obtenus dans la conduite; et
 - Une conduite sur deux devrait posséder une série de 4 capteurs de pression enfouis positionnés verticalement au droit de la conduite aux élévations : 45, 85, 135, 185 cm à partir de la base de la tranchée de captage (30 cm plus bas que la base de la conduite). Un capteur devrait être placé dans la conduite (45 cm) afin de détecter des bris potentiels. Un capteur positionné à 40 cm plus haut que le centre de la conduite pourrait permettre de détecter du colmatage près de la conduite. Les capteurs à 135 et 185 cm d'élévation permettraient d'évaluer le colmatage de surface et de sous-surface.
 - Également, il serait recommandé de placer un capteur de pression dans la rivière pour connaître la charge de pression en temps réel dans la colonne d'eau au-dessus du lit filtrant.
6. En lien avec les limitations des essais en bac, nous recommandons une suite d'essais expérimentaux à réaliser avant et pendant la mise en place du système de captage sous-fluviale dans les sédiments de la rivière Montmorency (Section 5.1).

COLLABORATEURS

Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Responsable du projet,

Claudio Paniconi, Ph.D., Professeur-chercheur INRS-ETE, Écoulements souterrains

Responsable du thème Évolution topographique et données glaciologiques

Michel Leclerc, ing., Ph.D., Professeur honoraire INRS-ETE, Hydraulique fluviale

Caractérisation glaciologique, traitement des données géoradar

Francis Bérubé, assistant de recherche INRS-ETE

Responsables du thème Évaluation de l'efficacité de captage et de l'opération du rétrolavage

Cintia Racine, Judith Côté, Luc Trépanier, Clarisse Rancourt-Deschênes, assistants de recherche INRS-ETE

Professeurs impliqués sous le thème Évaluation de l'efficacité de captage et de l'opération du rétrolavage

René Lefebvre, Ph.D., Professeur-chercheur INRS-ETE, Hydrogéologie

Richard Martel, Ph.D., Professeur-chercheur INRS-ETE, Hydrogéologie

Claudio Paniconi, Ph.D., Professeur-chercheur INRS-ETE, Hydrogéologie

Géolocation, Pagé & Leclair, Ltée (sous-traitance)

Caractérisation topographique

Richard Leclair, arpenteur-géomètre

Pour Génio Experts-Conseils

Intrants relatifs à la conception de la prise d'eau sous-fluviale

Denis Pinard, ing., M.Sc.

Projet FRAZIL (GÉOÏDE)

Prêt d'équipement radar (géoradar)

Yves Gauthier, Géogr., M.Sc, Agent de recherche

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2	PHASE 1 : ESSAIS EN COLONNES	3
2.1	Méthodologie des essais en colonnes	3
2.1.1	Instrumentation et données mesurées	4
2.2	Résultats des essais en colonnes	5
2.2.1	Résultats du cycle de drainage à l'eau claire – Débits nominaux des colonnes	5
2.2.2	Résultats des cycles de drainage et de rétrolavage	6
2.3	Interprétation des essais en colonnes	7
2.3.1	Évaluation de la capacité nominale de captage du système pleine grandeur	7
2.3.2	Interprétation des cycles de drainage et de rétrolavage	8
2.3.3	Choix du matériel filtrant pour la suite des travaux de la phase 2- Essais en bac	9
2.4	Conclusion des essais en colonnes	10
3	PHASE 2 – ESSAIS EN BAC	11
3.1	Méthodologie des essais en bac	11
3.1.1	Instrumentation et données mesurées	13
3.2	Résultats des essais en bac	14
3.2.1	Résultats du cycle de drainage à l'eau claire – Débit nominal de captage	14
3.2.2	Résultats des cycles de drainage et de rétrolavage	14
3.3	Interprétation des essais en bac	17
3.3.1	Évaluation de la capacité nominal de captage du système pleine grandeur	17
3.3.2	Interprétation des cycles de drainage et de rétrolavage	17
4	CONCLUSIONS	20
4.1	Limitations des essais en bac et aspects à confirmer	21
5	RECOMMANDATIONS	23
5.1	Proposition de travaux complémentaires	24
6	RÉFÉRENCES	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Informations complémentaires des essais de la colonne 1	28
Tableau 2 : Informations complémentaires des essais de la colonne 2	28
Tableau 3 : Informations complémentaires des essais de la colonne 3	29
Tableau 4 : Informations complémentaires des essais de la colonne 4	29
Tableau 5 : Éléments de comparaison des essais en colonnes réalisés sur les sédiments tamisés de la rivière Montmorency et sur le sable de silice grossier uniforme	30
Tableau 6 : Résultats synthétisés des séquences de drainage et de rétrolavage des essais en bac	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du montage expérimental des essais en colonnes en conditions de drainage ..	32
Figure 2 : Schéma du montage expérimental des essais en colonnes en conditions de rétrolavage	33
Figure 3 : Courbe granulométrique des sédiments de la rivière Montmorency tamisés	34
Figure 4 : Courbe granulométrique du sable de silice grossier uniforme	34
Figure 5 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 1 : Sédiments de la rivière Montmorency	35
Figure 6 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 1 : Sédiments de la rivière Montmorency	36
Figure 7 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 3 : Sable de silice grossier uniforme	37
Figure 8 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 4 : Sable de silice grossier uniforme	38
Figure 9 : Analyses granulométriques des échantillons pris à différentes profondeurs dans la colonne 1 des sédiments tamisés de la rivière Montmorency	39
Figure 10 : Écoulement du système pleine grandeur qui est représenté par la géométrie des essais en bac.....	40
Figure 11 : Montage du bac d'essais et équipements expérimentaux	41
Figure 12 : Schéma du montage et des équipements associés aux séquences de drainage dans le bac d'essais.....	42
Figure 13 : Schéma du montage et des équipements associés aux séquences de rétrolavage dans le bac d'essais.....	43
Figure 14 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	144
Figure 15 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	245
Figure 16 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	346
Figure 17 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	447
Figure 18 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	548
Figure 19 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ et du drainage	649
Figure 20 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de $0.0055 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$	50
Figure 21 : Courbe de fuite du rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. réalisé le 9 décembre 2008	51
Figure 22 : Profils des charges hydrauliques le 9 décembre 2008 suite au rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et avant le grattage de la surface.....	52

Figure 23 : Débit en fonction du temps le 9 décembre 2008	53
Figure 24 : Profils des charges hydrauliques le 9 décembre 2008 suite au rétrolavage de 0.003 m ³ /s/m ² surf.filt. et après le grattage de la surface – Début de la séquence de drainage 3	54
Figure 25 : Profils des charges hydrauliques à 17h00 le 9 décembre 2008 – Profils intermédiaires lors du colmatage lent	55
Figure 26 : Débit en fonction du temps le 10 décembre 2008	56
Figure 27 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 10h30 – Profils à la fin du colmatage lent	57
Figure 28 : Variation de la turbidité de l’eau circulant dans le bac d’essais en fonction du temps – drainage 3	58
Figure 29 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 11h00 – Profils intermédiaires lors du colmatage provoqué (rapide).....	59
Figure 30 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 11h20 – Profils à la fin du colmatage provoqué (rapide).....	60
Figure 31 : Représentation du phénomène de bouillonnement observé lors des essais de rétrolavage avec un débit de 0.0055 et 0.006 m ³ /s/m ² surf.filt.....	61

1 Contexte et objectifs

L'étude de Leclerc et coll. (2004) recommandait la mise en place d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale dans les sédiments (alluvions) de la rivière Montmorency, secteur des Îlets, pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable durant la période hivernale. Ce système de captage serait plus robuste contre les phénomènes d'embâcle et de frasil qui limitent, en hiver, la capacité de captage des prises d'eau superficielle conventionnelle. La ville de Québec a retenu ce concept et en a confié le développement à la firme de consultants Génio experts-conseils. Lors du design de ce concept, l'INRS-ETE a été consultée pour simuler, via la modélisation, diverses conditions de captage et de rétrolavage (Paniconi et coll., 2005; Racine et Lefebvre, 2006). Les résultats de ces études montrent un potentiel de captage de plus de 70 000 m³/j pour le design proposé de la prise d'eau et la performance des conditions de rétrolavage définies par Génio experts-conseils.

Le présent mandat de l'INRS-ETE est de répondre à des questions relatives à la conception, la mise en œuvre et l'exploitation du système de captage, soulevées par la ville de Québec. Pour ce faire, l'INRS-ETE a élaboré un programme de recherche composé de deux phases de travaux expérimentaux, en colonnes et en bac, qui permettent de répondre aux questions soulevées. Ces phases de travaux sont décrites subséquemment en termes d'objectifs.

Phase 1 : Relevés topographiques et essais en colonnes – Écoulement 1D

- **objectif 1:** documenter l'hydraulique et l'évolution morphologique du cours d'eau pouvant affecter la performance, la mise en œuvre et la sécurité du système;
- **objectif 2:** documenter l'effet du colmatage du lit filtrant adjacent à la conduite sur la performance du système de captage et déterminer les conditions d'opération du rétrolavage qui devront être appliquées pour restaurer la capacité de production initiale du système; et
- **objectif 3:** évaluer la performance initiale du système de captage tel que défini selon les plans et devis initiaux.

Phase 2 : Essais en bac – Écoulement 3D

- **objectif 1:** documenter l'effet du colmatage du lit filtrant adjacent à la conduite sur la performance du système de captage tel que défini selon les plans et devis initiaux et évaluer la performance des conditions d'opération du rétrolavage déterminées dans la phase 1; et
- **objectif 2:** identifier l'instrumentation nécessaire pour suivre de manière adéquate et optimale la performance à long terme du système pleine grandeur.

Ce rapport présente les résultats obtenus des travaux réalisés dans ces deux phases.

L'interprétation des analyses topographiques de 1995, 2003 et 2008 et de la caractérisation du couvert de glace en 2008 réalisée par Michel Leclerc et son équipe fait l'objet d'un rapport distinct de celui-ci (Leclerc et Bérubé, 2008).

2 Phase 1 : Essais en colonnes

Les résultats des essais en colonnes réalisés dans la première phase du programme de recherche en lien avec la mise en place de la prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency, secteur des Îlets, sont présentés dans les prochaines sections du chapitre 2. Ces travaux ont pour objectifs principaux de valider des éléments de conception et d'opération du système pleine grandeur, de documenter le phénomène de colmatage en drainage et d'effectuer une première évaluation de la capacité de captage sans colmatage du système pleine grandeur.

Les essais en colonnes constituent des modèles physiques représentant l'écoulement en 1 dimension à travers un lit filtrant de 1.5 m d'épaisseur au-dessus d'une conduite de captage installée à la base. Ces essais ont permis d'évaluer certains éléments de design, tel le matériel filtrant à mettre en place dans la tranchée de captage, et d'opération, tel le débit de rétrolavage, du concept de prise d'eau horizontale sous-fluviale développé par Génio Experts-Conseils et d'effectuer une première évaluation de la capacité de captage de celui-ci. Lors de ces essais, des cycles de production en drainage et de rétrolavage ont été réalisés et le phénomène de colmatage a été documenté.

2.1 Méthodologie des essais en colonnes

Les essais en colonnes réalisés dans la phase 1 du projet permettent de documenter l'effet du colmatage du matériel filtrant adjacent à la conduite sur la performance du système de captage et de déterminer les conditions d'opération du rétrolavage à appliquer pour restaurer la capacité de captage initiale du système. Au niveau conceptuel, une colonne de sol représente l'écoulement de l'eau en 1D à travers un lit filtrant jusqu'à la crépine qui est à la base de la colonne. Le montage des colonnes est basé sur le design du système de captage datant de janvier 2008 développé par la firme Génio experts-conseils (Denis Pinard, communications personnelles). Les paramètres de conception de la prise d'eau qui ont été considérés dans le montage des colonnes sont les suivants :

- 1.5 m d'épaisseur de matériel filtrant recouvre la conduite;
- en hiver, la colonne d'eau dans la rivière au-dessus des sédiments est de 0.3 m (niveau constant);

-
- le lit filtrant est composé des sédiments de la rivière Montmorency tamisés, de granulométrie étalée, dont les particules de taille inférieure à 315 µm et supérieure à 14 mm ont été enlevées; et
 - écoulement gravitaire

Afin d'évaluer la performance du matériel filtrant proposé dans le design, il est comparé à un matériel filtrant standard (sable de silice grossier uniforme no.20 Témisca, Québec). La [Figure 1](#) montre le schéma du montage expérimental en conditions de drainage. Un premier essai de drainage à l'eau claire a été réalisé pour définir les paramètres hydrauliques des deux matériaux filtrants testés. Subséquemment, des cycles de drainage avec colmatage et rétrolavage ont été opérés. Le but des essais est de faire écouler une eau de turbidité 5 à 10 fois supérieure à la turbidité moyenne de la rivière en hiver à travers le lit filtrant de la colonne afin de produire en accéléré des processus de colmatage et de documenter les changements du milieu poreux induis par le colmatage et les pertes de capacité du système (diminution du débit à la sortie).

L'eau turbide a été produite en mélangeant les particules fines (diamètre inférieur à 80 µm) des sédiments de la rivière Montmorency obtenues par tamisage à de l'eau de l'aqueduc au laboratoire INRS/RDDC-Valcartier. Un concentré est d'abord produit en agitant les particules fines dans un réservoir d'eau de 2000 L, variable selon la concentration voulue ([Figure 1](#)). Ensuite celui-ci est mélangé en ligne dans la conduite d'alimentation en eau pour obtenir la turbidité requise aux entrées des colonnes. Les sédiments prélevés dans le lit de la rivière le 23 janvier 2008 au niveau de la prise d'eau actuelle ont été tamisé au COREM en mars 2008. L'enlèvement de la fraction inférieure à 315 µm et supérieure à 14 mm a permis de produire les sédiments tamisés de la rivière Montmorency qui sont utilisés dans les essais en colonnes et les essais en bac présentés au [Chapitre 3](#).

Lorsque le colmatage induit une perte de capacité de 66%, le rétrolavage à l'eau est opéré pour effectuer l'enlèvement des particules fines à l'origine du colmatage. Les débits et la durée du rétrolavage qui ont été testés dans les colonnes expérimentales sont de 0.004 et 0.008 m³/s/m²surf.filtre sur 15 minutes. La [Figure 2](#) présente un schéma des opérations et des installations en rétrolavage.

Pour s'assurer de la reproductibilité des résultats, deux colonnes pour chacun des matériaux granulaires filtrants évalués ont été montées.

2.1.1 Instrumentation et données mesurées

Afin de suivre les processus de colmatage en drainage et les opérations de rétrolavage dans les colonnes, des mesures de pression, de débit et de turbidité sont enregistrées en continu par un système d'acquisition de données et effectuées manuellement de façon ponctuelle dans le temps.

La [Figure 1](#) montre que la pression est mesurée en cinq points dans les colonnes de sol. Les trois premières mesures à partir de la surface du sol et la dernière sont effectuées par des capteurs de pression dont les données sont enregistrées en continu. Ponctuellement, des données manuelles de pression sont prises en ces cinq points.

Les débits à la sortie (en drainage) et à l'entrée (en rétrolavage) des colonnes sont mesurés en continu par des débitmètres et ponctuellement de façon manuelle.

Plusieurs données de turbidité sont mesurées ponctuellement avec un turbidimètre de table :

- en drainage : à l'entrée et à la sortie des colonnes;
- en rétrolavage, au niveau du trop plein ([Figure 2](#)) : au début du rétrolavage, après 15 minutes, et une donnée intégrée sur 10 minutes (baril de 45 gallons externe au montage); et
- dans le bassin d'eau concentrée en particules fines.

2.2 Résultats des essais en colonnes

Dans les prochaines sections sont présentées les données mesurées lors d'un cycle de drainage à l'eau claire et de sept séquences de drainage avec une eau chargée en particules fines combinées à sept opérations de rétrolavage effectuées sur les colonnes de matériaux filtrants testés, soit les sédiments de la rivière Montmorency tamisés et le sable de silice grossier uniforme.

2.2.1 Résultats du cycle de drainage à l'eau claire – Débits nominaux des colonnes

Lors d'un cycle d'écoulement à l'eau claire, sans particules fines ajoutées à l'eau, le traitement des mesures enregistrées de pression et de débit à la sortie des colonnes a permis d'évaluer la conductivité hydraulique initiale des deux matériaux filtrants évalués. Bien que les sédiments de la rivière Montmorency tamisés de granulométrie étalée présentent un diamètre moyen des particules ($d_{50}=1.4$ mm) légèrement supérieur à celui du sable uniforme grossier ($d_{50}=0.85$ mm), (voir [Figure 3](#) et [Figure 4](#)), la conductivité hydraulique initiale des alluvions tamisés est légèrement inférieure, 5.17×10^{-3} m/s, à celle du sable de silice grossier, 6.8×10^{-3} m/s.

2.2.2 Résultats des cycles de drainage et de rétrolavage

Les quatre colonnes d'essais remplies des matériaux filtrants testés ont subi six à sept cycles de drainage et opérations de rétrolavage et 1 à 2 saturations. Les données mesurées de pressions et de débits, lors des essais sont présentées en graphique, gradients et débits, aux figures 5 à 8. L'unité des débits mesurés montrés dans les graphiques est en gallon par minute (gpm, et 1 gpm = 3.78 Lpm) américain pour permettre une meilleure appréciation visuelle des deux types de données (gradients et débits) sur un même graphique. Les tableaux 1 à 4 donnent des informations complémentaires sur les essais, telles, en drainage, la durée des cycles, les conditions de turbidité de l'eau injectée aux entrées des colonnes et en rétrolavage, la durée des opérations, le débit appliqué et la turbidité de l'effluent de lavage à la fin des opérations.

2.2.2.1 Sédiments de la rivière Montmorency tamisés

Les sédiments de la rivière Montmorency tamisés constituent le matériel filtrant évalué dans les essais réalisés sur les colonnes 1 et 2. La [Figure 5](#) et la [Figure 6](#) montrent qu'à chaque cycle de drainage, le colmatage de la colonne de sédiments s'effectue principalement à la surface du matériel filtrant, montré par le gradient de surface plus élevé, soit 4,5 par rapport aux gradients des sections situées plus en profondeur. Toutefois, aux premières séquences de drainage des colonnes 1 et 2, il est possible d'observer un colmatage également plus profond. Ceci est démontré par une augmentation du gradient associé à la section de sol sous la surface par rapport aux gradients des sections de sol inférieures. Ce type de colmatage se manifesterait très peu dans les deux cycles de drainage suivant le premier pour revenir de manière croissante dans les dernières séquences. À la suite des cycles de drainage, où le colmatage a induit une perte de capacité d'environ 66 %, les opérations de rétrolavage qui ont été réalisées ont permis de retrouver la capacité initiale du matériel filtrant.

Le [Tableau 1](#) et le [Tableau 2](#) montrent que le premier cycle de drainage effectué dans les sédiments de la rivière Montmorency tamisés a duré entre 7 à 9 jours. La turbidité de l'eau lors de ce premier essai a été de 20 NTU. Les cycles de drainage suivants, soumis à une turbidité d'entrée variant de 6 à 11 NTU, ont eu une durée s'étalant de une à trois journées environ. Cependant le troisième cycle de drainage de la colonne 2 a duré plus de 7 jours. Après chaque cycle de drainage, un rétrolavage de $0.008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filtre}$, excepté le premier rétrolavage de la colonne 2 à $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filtre}$, a été appliqué à la sortie des colonnes pour une durée d'environ 15 minutes. À la fin de ces rétrolavages, la turbidité à l'effluent a varié entre 4 à 8 NTU pour la colonne 1 et entre 4 et 25 NTU pour la colonne 2.

2.2.2.2 Sable de silice grossier uniforme

La [Figure 7](#) et la [Figure 8](#) présentent les résultats des essais de colmatage en drainage et de rétrolavage conduits dans les colonnes 3 et 4 remplies de sable de silice grossier uniforme. Il est à noter que le débitmètre à la sortie de la colonne 3 a été défectueux jusqu'à la fin du cinquième cycle de drainage (21 mai 2008). Bien que les données de débit mesurées étaient erronées durant cette période, les variations de débit sont observables sur le graphique. Les figures 7 et 8 montrent qu'à chaque cycle de drainage, la perte de capacité origine d'un colmatage de surface. De plus, suite à plusieurs séquences de drainage, le colmatage s'effectue plus en profondeur. Les observations décrivant ces phénomènes ont été commentées dans la section précédente. À chaque séquence de drainage, lorsque le colmatage a induit une perte de capacité d'environ 66%, un rétrolavage est effectué et la capacité initiale de drainage est retrouvée.

Telles que montrées à la [Figure 7](#) et la [Figure 8](#), les premières séquences de drainage conduites dans les colonnes remplies de sable de silice grossier uniforme se terminent par un colmatage en surface après la cinquième et la sixième journée de l'essai, dont la turbidité moyenne à l'entrée des colonnes était de 20 NTU. Puisque des observations ont indiqué la possibilité de la présence d'air dans les colonnes, une saturation à faible débit a été appliquée dans les colonnes. Suite à cette opération, une faible quantité de fines a été délogée. Le drainage s'est poursuivi pour atteindre un second colmatage après moins d'une journée. Au [Tableau 3](#) et au [Tableau 4](#), les premières séquences de drainage sont représentées en un seul cycle pour chacune des colonnes. Suite aux premiers rétrolavages de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre, un second cycle de drainage à 20 NTU de turbidité d'entrée a été conduit sur les deux colonnes de sable de silice grossier uniforme. Un colmatage de surface a été atteint après 2 jours d'essai.

Les séquences de drainage suivantes ont été soumises à une turbidité d'entrée variant entre 6 à 11 NTU. Les durées de ces séquences de drainage jusqu'à l'atteinte d'un colmatage important (perte de capacité de 66%) ont été de 3 à 6 jours environ. Après chaque cycle de drainage avec atteinte d'un colmatage important, un rétrolavage de $0.008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre, à l'exception du premier de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre pour les deux colonnes et les rétrolavages 2 à 5 de la colonne 3 à $0.013 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre, a été appliqué à la sortie des colonnes pendant 15 minutes en moyenne. À la fin de ces opérations, la turbidité à l'effluent de rétrolavage a été mesurée et elle a varié entre 13.7 à 34.7 NTU pour la colonne 3 et entre 14.6 et 45.9 NTU pour la colonne 4.

2.3 Interprétation des essais en colonnes

2.3.1 Évaluation de la capacité nominale de captage du système pleine grandeur

Lors du cycle de drainage à l'eau claire, le traitement des mesures enregistrées de pression et de débit à la sortie des colonnes a permis d'évaluer les conductivités hydrauliques initiales des deux matériaux filtrants évalués. De ce paramètre hydraulique, il est possible d'effectuer une première estimation de la capacité de captage initiale du système pleine grandeur utilisant ces deux matériaux filtrants.

Certaines hypothèses sont posées dans l'estimation de la capacité de captage initiale du design pleine grandeur.

- hypothèse 1 : l'interférence de captage est négligeable entre les conduites horizontales du design pleine grandeur;
- hypothèse 2 : l'aire ouverte de la crépine à la base des colonnes est équivalente à l'aire ouverte des conduites horizontales du design pleine grandeur; et
- hypothèse 3 : le captage des conduites situées aux extrémités du système de captage pleine grandeur est équivalent aux autres conduites.

L'équation suivante a été utilisée pour calculer le débit de captage initial du système pleine grandeur à partir de la conductivité hydraulique (K m/s) du matériel filtrant employé :

$$Q=KiA(F)$$

où i , le gradient, est égale à 1 en écoulement gravitaire sans colmatage, et A , l'aire de captage est fonction du design, soit 8 conduites de 75 m de longueur de 2 m de largeur de captage ($8 \times 75 \times 2 = 1200 \text{ m}^2$). Le tout est multiplié par un facteur de temps (F) : 86 400 s/j.

De ce calcul, une estimation de la capacité de captage sans colmatage du système pleine grandeur est possible. Si le matériel filtrant de la tranchée de captage est composé des alluvions tamisés de la rivière Montmorency ou de sable de silice grossier uniforme, la capacité de captage initiale est évaluée respectivement à 536 000 m^3/j ou 704 000 m^3/j .

2.3.2 Interprétation des cycles de drainage et de rétrolavage

Les essais réalisés en colonnes pour évaluer la performance des deux matériaux filtrants évalués, soit les sédiments de la rivière Montmorency tamisés et un sable de silice grossier uniforme, présentent des résultats différents. Bien que les conductivités hydrauliques initiales des deux matériaux soient similaires, les changements du milieu poreux au cours des cycles successifs de drainage et de rétrolavage sont distincts. Le [Tableau 5](#) mentionne plusieurs éléments et résultats qui confirment ces différences qui sont attribuables principalement à la granulométrie des deux matériaux, soit étalée pour les sédiments de la rivière Montmorency tamisés ou soit uniforme pour le sable de silice grossier.

Au premier cycle de drainage, la formation d'un colmatage important, en surface, s'effectue en 5 à 6 jours pour le sable de silice grossier, tandis qu'un colmatage important en surface et faible en profondeur s'achève en 7 à 9 jours pour les sédiments tamisés.

À la suite du premier cycle de drainage et de l'opération du rétrolavage, il est possible d'observer par les résultats une modification du milieu poreux dans les deux matériaux filtrants.

Dans les colonnes contenant les sédiments tamisés de la rivière, les seconds cycles de drainage sont très courts variant de 1 à 3 jours, à l'exception du troisième cycle de la colonne 2. Ce phénomène est attribuable à la migration des sables fins du matériel filtrant lors de l'opération du rétrolavage vers le sommet de la colonne de sol. Des analyses granulométriques réalisées sur des échantillons de sédiments pris à différentes profondeurs dans une des colonnes remplies des alluvions tamisés de la rivière Montmorency suite aux cycles de drainage et de rétrolavage confirment cette hypothèse de granoclassement normal, voir [Figure 9](#). La partie supérieure de la colonne est alors composée de sédiments uniformes de petites tailles (sables fins). La capacité filtrante de la surface du sol est alors augmentée et le colmatage accéléré. L'échantillonnage de l'eau à la surface des colonnes de sédiments lors des opérations de rétrolavage a indiqué la présence de sables fins en bouillasse. Ces particules ne s'évacuent pas lors de cette opération et sédimentent rapidement au drainage subséquent. Puisque le colmatage s'effectue rapidement en surface, l'opération du rétrolavage de $0.008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre d'une durée de 15 minutes est amplement suffisante pour soulever les fines à l'origine du colmatage. La turbidité à l'effluent lors des opérations de rétrolavage a été en moyenne pour les colonnes de sédiments tamisés de 8.5 NTU.

Dans les colonnes remplies de sable de silice grossier uniforme, les séquences de drainage suivant le premier cycle ont été d'une durée variant de 3 à 6 jours jusqu'à l'atteinte d'un colmatage important (perte de capacité de 66%). À chacun de ces cycles de drainage, les résultats montrent un colmatage de surface et également un colmatage en profondeur qui s'accroît. Ceci s'explique par l'action du rétrolavage sur le milieu poreux. Comme les essais en colonnes réalisés sur les sédiments de la rivière Montmorency tamisés, le rétrolavage a permis de laver la colonne de sol de sa fraction fine, principalement en surface, et des particules fines à l'origine du colmatage. La surface de sol est alors composée d'une porosité uniforme et plus grande comparativement au premier cycle de drainage. De ce fait, la capacité filtrante à la surface est diminuée et une plus grande section de la colonne de sol est utilisée pour la filtration. La durée pour atteindre un colmatage important est accrue par rapport aux essais réalisés parallèlement sur les sédiments tamisés, et le colmatage peut se retrouver plus en profondeur. Puisque les cycles de drainage sont plus longs, la quantité de fines induisant le colmatage est plus importante. De ce fait, un temps de rétrolavage de 15 minutes à un débit de $0.008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre ne semble pas suffisant pour déloger toutes celles-ci. La turbidité à l'effluent lors des opérations de rétrolavage a été en moyenne pour les colonnes de sable de silice grossier uniforme de 23.7 NTU comparativement à 8.5 NTU lors des essais sur les sédiments tamisés de la rivière Montmorency.

2.3.3 Choix du matériel filtrant pour la suite des travaux de la phase 2- Essais en bac

À la rencontre du 6 juin 2008 entre l'INRS-ETE, la Ville de Québec et la firme Génio Experts-Conseils, il a été décidé que les sédiments tamisés de la rivière Montmorency seraient le matériel filtrant considéré dans la suite des travaux de la phase 2 des essais en bac.

2.4 Conclusion des essais en colonnes

Les essais en colonnes réalisés dans cette étude ont permis de démontrer que le débit de captage attendu de 70 000 m³/j du système pleine grandeur de la prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency pourrait être atteint. Dans le design établi par la firme Génio experts-conseils, les sédiments de la rivière Montmorency tamisés serviront de matériel filtrant placé dans la tranchée aux pourtours des conduites de captage. À la suite de plusieurs séquences de drainage (7) réalisées en colonnes à travers deux lits filtrants composés des sédiments tamisés de la rivière Montmorency, il a été démontré qu'une perte de capacité importante (66%) est provoquée principalement par un colmatage de surface. Toutefois, le rétrolavage avec un débit moyen de 0.008 m³/s/m² surf.filtre et d'une durée de 15 minutes, est efficace pour déloger les fines à l'origine du colmatage et permet au système de retrouver sa capacité de captage initiale. Les résultats de cette étude ont montré également qu'il y a une migration de la fraction fine (sables fins) du matériel filtrant vers la surface du sol qui s'effectue lors des opérations de rétrolavage.

Afin d'évaluer la performance du matériel filtrant proposé dans le design, il a été comparé à un matériel filtrant standard (sable de silice grossier uniforme no.20 Témisca, Québec), dont la conductivité hydraulique est légèrement supérieure à celle des alluvions tamisés de la rivière Montmorency. Les résultats des séquences de drainage et de rétrolavage sur les colonnes de sable de silice grossier ont montré que le colmatage s'effectue principalement en surface mais aussi plus en profondeur que dans les essais réalisés sur les colonnes remplies des sédiments tamisés de la rivière. Bien qu'à la suite des 6 à 7 opérations de rétrolavage effectuées sur les colonnes de sable de silice grossier la capacité de captage initiale a été retrouvée, les turbidités à l'effluent mesurées à la fin des opérations de rétrolavage semblent indiquer que les conditions de rétrolavage définies dans le design ne sont pas adéquates pour déloger les particules fines à l'origine du colmatage localisé plus en profondeur sous la surface.

Les travaux de la phase 2, les essais en bac, permettront de confirmer la performance de captage et l'efficacité de l'opération du rétrolavage du concept de prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments tamisés de la rivière Montmorency, secteur des Îlets.

3 Phase 2 – Essais en bac

Les essais en bac constituent des modèles physiques représentant l'écoulement en 3 dimensions à travers un lit filtrant vers une demi-conduite de captage horizontale implantée à 1.5 m de profondeur dans les alluvions tamisés de la rivière Montmorency. Les essais en bac réalisés dans la phase 2 des travaux ont pour objectifs de documenter des opérations séquentielles de drainage et de rétrolavage et d'évaluer leurs impacts sur le milieu poreux et la performance du système de captage. Ces essais permettent d'effectuer une seconde estimation du débit de captage initial du système pleine grandeur sans colmatage. Également, ces essais permettent de mieux préciser l'instrumentation à mettre en place, afin de réaliser un suivi adéquat des opérations du système pleine grandeur.

3.1 Méthodologie des essais en bac

Au niveau conceptuel, les essais en bac représentent l'écoulement 3D en drainage et en rétrolavage à travers un lit filtrant vers une demi-conduite de captage horizontale implantée à 1.5 m de profondeur dans les alluvions tamisés de la rivière Montmorency, voir [Figure 10](#). Le montage du bac d'essais ainsi que les équipements expérimentaux utilisés lors de ces essais sont montrés à la [Figure 11](#). Le design du bac d'essais de 1 m de largeur, 0.5 m de longueur et de 2.8 m de hauteur est basé sur le concept de la prise d'eau horizontale sous-fluviale développé par la firme Génio Experts-Conseils en date de janvier 2008 (Denis Pinard, communications personnelles) et appuyé sur les principes suivants :

1. Le patron d'écoulement est symétrique de part et d'autre du centre de la conduite horizontale. Le choix d'utiliser une demi-conduite horizontale plutôt qu'une conduite entière dans les essais en bac repose sur une économie du volume d'eau impliqué durant les expériences.
2. Une limite à flux nul à 1 m d'espacement du centre de la conduite est imposée par le mur du bac. Ce choix est appuyé par le fait que les conduites dans le système pleine grandeur sont espacées centre à centre de 2 m, où à 1 m du centre se trouve une limite de partage des eaux.

Ces choix ont orienté le positionnement de la demi-conduite horizontale, soit à l'extrémité droite du bac d'essais sur la largeur. Du côté de la demi-conduite, une vitre de plexiglas a été fixée à la paroi droite du bac d'essais où la hauteur totale des sédiments et de la tête d'eau dans le bac est observable.

Les paramètres de conception de la prise d'eau qui ont été également considérés dans le montage du bac d'essais sont les suivants :

- 0.3 m d'alluvions tamisés de la rivière Montmorency sous le radier de la demi-conduite horizontale, correspondant à la base de la tranchée de captage;
- une demi-conduite horizontale de 30 cm de hauteur (diamètre), de 15 cm de largeur et de 0,45 cm de longueur crépinée (50 µm d'ouverture espacées de 6.35 mm et de 76 mm de longueur);
- 1.5 m d'épaisseur de sédiments tamisés de la rivière Montmorency recouvre la conduite;
- en hiver, la colonne d'eau dans la rivière au-dessus des sédiments est de 0.3 m (niveau constant);
- le lit filtrant est composé des sédiments de la rivière Montmorency tamisés, de granulométrie étalée, dont les particules de taille inférieure à 315 µm et supérieure à 14 mm ont été enlevées;
- écoulement gravitaire; et
- mouvement dans la tête d'eau créé par des agitateurs pour simuler l'effet de courant de la rivière.

Suivant la mise en place des alluvions tamisés dans le bac d'essais, le milieu poreux a été développé afin d'enlever l'air qui a pu être capturée lors de la mise en place des sédiments et de l'eau dans le bac d'essais, et de nettoyer les alluvions tamisés de leur contenu en particules fines. Le développement du milieu poreux permet d'améliorer sensiblement la capacité de captage d'un ouvrage. Le développement a été réalisé par séquences de drainage et de rétrolavage d'une durée de 15 minutes. Le débit du premier rétrolavage était le plus faible, soit $0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ surf. filtre}$. Subséquemment, chaque séquence de rétrolavage avait un débit augmenté de $0.0005 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ surf. filtre}$ jusqu'au dernier rétrolavage dont le débit était de $0.0065 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ surf. filtre}$. Le développement du milieu poreux a effectué un changement dans la structure du matériel filtrant. Un granoclassement normal du matériel filtrant de la base du réservoir jusqu'à la surface des sédiments a été observé. À la base du réservoir jusqu'à 160 cm de hauteur, il y a une dominance de gravier à sable grossier, et de l'élévation 160 à 210 cm de hauteur, il y a une dominance de sable moyen à sable fin.

Un premier essai de drainage à l'eau claire a été réalisé pour définir les paramètres hydrauliques des alluvions tamisés de la rivière Montmorency et de permettre l'évaluation du débit nominal sans colmatage du système de captage testé. Subséquemment à cet essai, des cycles de drainage avec colmatage et de rétrolavage ont été opérés. Le but des essais est de faire écouler par drainage une eau de turbidité 2 fois et plus supérieure à la turbidité moyenne de la rivière en hiver à travers le lit filtrant du bac d'essais. Ceci a pour effet de reproduire en accéléré des processus de

colmatage dans le lit filtrant, surtout au niveau de la surface. Les changements du milieu poreux induis par le colmatage et les pertes de capacité du système (diminution du débit à la sortie de la conduite de captage) sont documentés et analysés lors des essais. La [Figure 12](#) présente un schéma des opérations et des installations en drainage.

L'eau turbide a été produite en mélangeant les particules fines (diamètre inférieur à 80 μm) des sédiments de la rivière Montmorency obtenues par tamisage à de l'eau de l'aqueduc au laboratoire INRS/RDDC-Valcartier. Un concentré est d'abord produit en agitant les particules fines dans un réservoir d'eau de 2000 L, variable selon la concentration voulue ([Figure 12](#)). Ensuite celui-ci est injecté et mélangé dans un second réservoir de 2000 L, où la charge en particules fines dans l'eau correspond à celle qui circule dans le bac d'essais.

Dû au temps limité disponible pour les essais, la durée d'un cycle de drainage visée pour atteindre un colmatage complet de la surface est d'environ 24 heures. Lorsque le colmatage complet n'est pas atteint dans ce délai, la concentration de l'eau en particules fines circulant dans le bac d'essais est augmentée significativement pour provoquer un colmatage complet de la surface.

Lorsque le colmatage induit une perte de capacité de plus de 66% et que le colmatage de la surface du lit filtrant est complété, le rétrolavage à l'eau est opéré pour effectuer l'enlèvement des particules fines à l'origine du colmatage. Les débits et la durée du rétrolavage qui ont été testés dans le bac d'essais sont de 0.002, 0.003, 0.004, 0.0055 et 0.006 $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filtre sur 15 minutes. La [Figure 13](#) présente un schéma des opérations et des installations en rétrolavage. Suivant chaque opération de rétrolavage, la surface des alluvions a été grattée afin d'enlever les sables fins et les particules fines qui ont été entraînés en dehors du milieu poreux par l'action du rétrolavage et qui se sont déposés à la surface. Cette opération s'appuie sur l'hypothèse, qu'en rivière, le courant aurait possiblement entraîné ces particules.

3.1.1 Instrumentation et données mesurées

Afin de suivre les processus de colmatage en drainage et les opérations de rétrolavage dans le bac d'essais, des mesures de pression, de débit et de turbidité sont enregistrées en continu par un système d'acquisition de données et effectuées manuellement de façon ponctuelle dans le temps.

La [Figure 12](#) montre que des mesures de pression manuelles sont prises au droit de la conduite (paroi latérale droite côté vitre) et à 1 m du centre de la conduite (paroi latérale gauche) à huit niveaux d'élévation dans le bac. Ces mesures sont doublées sur la longueur du bac d'essais. Au niveaux d'élévation suivants : 45, 85, 137.5, 190 et 200 cm, les mesures de pression sont effectuées par des capteurs de pression dont les données sont enregistrées en continu. Sur la paroi latérale du côté droit, les capteurs de pression au niveau d'élévation de 45 cm, indiquent la

pression à l'intérieur de la conduite de captage. Les mesures de pression sont prises manuellement à la suite des opérations de rétrolavage avant le grattage de la surface.

Les débits à la sortie de la conduite de captage (en drainage) et à l'entrée (en rétrolavage) sont mesurés par un débitmètre et sont enregistrés en continu.

Plusieurs données de turbidité sont mesurées ponctuellement avec un turbidimètre de table :

- en drainage : dans le réservoir de concentré en particules fines, dans le réservoir principal et dans la tête d'eau du bac d'essais; et
- en rétrolavage, au niveau du trop plein ([Figure 13](#)), durée du rétrolavage 15 minutes, mesure de turbidité au 30 secondes les cinq premières minutes et par la suite au minute. Également, une mesure de turbidité dans le réservoir d'eau claire de rétrolavage.

À la suite de chaque rétrolavage, les sédiments recueillis par le grattage de la surface ont été échantillonnés.

3.2 Résultats des essais en bac

Dans les prochaines sections sont présentées les données mesurées lors d'un cycle de drainage à l'eau claire et de six séquences de drainage avec une eau chargée en particules fines combinées à sept opérations de rétrolavage effectuées dans le bac d'essais.

3.2.1 Résultats du cycle de drainage à l'eau claire – Débit nominal de captage

Un premier cycle de drainage à l'eau claire, sans particules fines ajoutées, a été réalisé afin de déterminer le débit nominal de captage sans colmatage du système de captage à l'essai qui est de $13.6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$

3.2.2 Résultats des cycles de drainage et de rétrolavage

Lors des essais en bac, six séquences de drainage avec atteinte d'un colmatage complet de la surface et sept opérations de rétrolavage ont été réalisées dans l'ordre suivante;

- Séquence 1 : Rétrolavage de $0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et Drainage 1 ([Figure 14](#))
- Séquence 2 : Rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et Drainage 2 ([Figure 15](#))
- Séquence 3 : Rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et Drainage 3 ([Figure 16](#))

-
- Séquence 4 : Rétrolavage de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et Drainage 4 ([Figure 17](#))
 - Séquence 5 : Rétrolavage de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et Drainage 5 ([Figure 18](#))
 - Séquence 6 : Rétrolavage de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et Drainage 6 ([Figure 19](#))
 - Séquence 7 : Rétrolavage de $0.0055 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. ([Figure 20](#))

Dans un premier temps, les résultats des essais ont été résumés sous forme de fiche, voir les Figures 14 à 20. Les éléments contenus dans la fiche sont les suivants;

1. Rétrolavage : Suivi de la turbidité en fonction du temps de rétrolavage
2. Profil des charges hydrauliques après le rétrolavage et avant le grattage de surface
3. Profil des charges hydrauliques après le grattage de surface / début de la séquence de drainage
4. Profil du débit après le rétrolavage
5. Indication sur le drainage suivant le rétrolavage

Durée totale du drainage

Volume d'eau drainé

Durée du colmatage lent lors du drainage et débit associé

Informations sur les quantités de fines ajoutées durant le drainage

Données sur la turbidité de la tête d'eau dans le bac d'essai durant le drainage

Afin de montrer le traitement de données qui a servi à élaborer ces fiches et de présenter des résultats supplémentaires aidant à l'interprétation de ces essais, un exemple complet des résultats et du traitement associé est montré pour la séquence de rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et du drainage 3.

Lors des opérations de rétrolavage, des échantillons d'eau ont été recueillis à différents pas de temps sur 15 minutes. Le suivi des concentrations en fines dans l'eau de rétrolavage en fonction du temps, courbe de fuite, permet d'évaluer à quel moment l'enlèvement de fines du milieu poreux par l'action du rétrolavage est complété ou stable et d'évaluer par l'intégration de la courbe de fuite la quantité de fines qui a pu être extraite par cette opération. La [Figure 21](#) montre la courbe de fuite du rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. réalisé le 9 décembre 2008. La turbidité maximale de 117 NTU est atteinte à 30 secondes de l'opération de rétrolavage. L'efficacité de lavage est minimale après 10 minutes de l'opération, ce qui indique que l'enlèvement de fines à partir de ce temps d'opération est négligeable sur la totalité extraite précédemment. L'aire sous la courbe, $135 \text{ NTU} \cdot \text{min}$ est une donnée qui peut être comparée aux autres séquences de rétrolavage de débits différents. Celle-ci est fonction de la quantité de fines qui a induit le colmatage dans le bac d'essais et de la performance de l'opération de rétrolavage.

Suivant l'opération de rétrolavage et avant le grattage de la surface, le système de captage a été mis en drainage afin de mesurer les pressions aux 32 points de mesure et d'évaluer le débit de

drainage net résultant de l'opération du rétrolavage. Ceci a pour but d'évaluer l'efficacité de cette opération. La [Figure 22](#) et la [Figure 23](#) montrent respectivement les profils des charges hydrauliques et le débit à 11h00 le 9 décembre 2008 suite au rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et avant le grattage de la surface.

Les profils des charges hydrauliques [Figure 22](#) montrent que les plus grandes pertes de charges, au droit de la conduite et à 1 m du centre de la conduite, se produisent à la surface du lit filtrant. Ce qui indique qu'il y a toujours du colmatage à la surface même à la suite de l'opération du rétrolavage. Conséquemment, le débit de drainage suite au rétrolavage de $13.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ est inférieur au débit nominal sans colmatage.

Après le rétrolavage et le grattage de la surface, les profils des charges hydrauliques [Figure 24](#) présentent les conditions hydrauliques initiales de la séquence de drainage suivante qui a débuté à 11h45 le 9 décembre 2008. Les profils des charges hydrauliques montrent que le grattage de la surface a permis de réduire le colmatage surtout du côté de la conduite. Le débit au début de la séquence de drainage est de $13.4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et la turbidité de l'eau circulant de la bac d'essais est de 9 NTU. La [Figure 23](#) montre que le débit de drainage décroît progressivement dans la journée du 9 décembre 2008 causé par le colmatage graduel de la surface. Les profils des charges hydrauliques à 17h00 le 9 décembre 2008 [Figure 25](#) indiquent que le colmatage est initié au droit de la conduite, ce qui signifie que l'écoulement dans le bac d'essais s'effectue principalement dans cette direction lorsqu'il n'y a pas de colmatage de surface. Le 10 décembre 2008 à 10h30, le débit de drainage [Figure 26](#) était de $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et les profils des charges hydrauliques [Figure 27](#) montrent que la surface du lit filtrant au droit de la conduite est colmatée (charges hydrauliques égalent aux pressions d'élévation) et qu'à 1 m du centre de la conduite, la surface est partiellement colmatée. Puisque le temps visé pour une séquence de drainage est de 24 heures, le colmatage complet de la surface a été provoqué en ajoutant des fines dans le réservoir de concentré, soit 492 g et dans le réservoir principal, soit au total 1959 g pour augmenter significativement la turbidité de l'eau circulant dans le bac d'essais, voir [Figure 28](#). À la suite de cet ajout de fines, le débit de drainage chute rapidement, soit en une heure à 11h30 il est de $4.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ La durée totale de la séquence de drainage est alors de 23h30 et le volume d'eau drainé durant l'essai est de $292 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{filtre}$. L'évolution des charges hydrauliques durant la période de colmatage rapide jusqu'à l'atteinte du colmatage complet de la surface est montrée à la [Figure 29](#) et la [Figure 30](#). À cet étape, une opération de rétrolavage est réalisée avec un débit de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$

Les résultats des séquences de drainage et de rétrolavage sont résumés également dans le [Tableau 6](#). Celui-ci contient essentiellement les éléments pertinents afin d'évaluer et de comparer les séquences entre-elles. L'interprétation de ces résultats est présentée et discutée dans la section 3.3. À chaque séquence, les résultats associés au rétrolavage sont présentés avant ceux du drainage, puisque l'effet net d'un rétrolavage sur le milieu poreux est observable dans les résultats du drainage suivant.

Les résultats du [Tableau 6](#) montrent que pour les trois premières séquences étudiées, où le débit de rétrolavage varie de 0.002 à $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$, les cycles de drainage suivants présentent du colmatage de surface au droit de la conduite, le débit de captage ne recouvre pas le débit nominal de $13.6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ et décroît progressivement. Suite aux opérations de rétrolavage dont le débit est de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$, un peu de colmatage à la surface au droit de la

conduite est observé. Toutefois, le débit de captage lors des drainages subséquents est amélioré, moy. $14.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$, par rapport au débit nominal. À la séquence 6, où le débit de rétrolavage est de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$, aucun effet de colmatage est observable à la surface du lit filtrant sur les profils des charges hydrauliques après l'opération. La séquence de drainage suivante présente un débit amélioré de $14.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$, une durée de 71h30 et un volume drainé de $988 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ Puisque le temps visé pour un cycle de drainage est de 24 heures, une grande quantité de fines a été ajoutée à partir de cette période pour accélérer le colmatage. Malgré cet intervention, la durée et le volume total drainés sont environ 2.5 fois supérieurs aux cycles précédents. L'opération de rétrolavage suivant ce drainage présente une aire sous la courbe de fuite de 1564 NTU*min. Ce qui indique qu'une plus grande quantité de fines induisait le colmatage dans le bac d'essais. Pour tous les débits de rétrolavage testés, la durée efficace de lavage varie entre 8 à 10 minutes.

3.3 Interprétation des essais en bac

3.3.1 Évaluation de la capacité nominal de captage du système pleine grandeur

Lors du cycle de drainage à l'eau claire, le débit à la sortie de captage du bac d'essais mesuré est de $13.6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ Ce débit reporté pour le système pleine grandeur, soit une aire de captage de 1200 m^2 (8 conduites x 2 m^2 d'aire d'approvisionnement x 75 m de longueur), est estimé à $391\,000 \text{ m}^3/\text{j.}$ Ce qui est plus de 5 fois la demande d'approvisionnement sécuritaire actuelle de $70\,000 \text{ m}^3/\text{j.}$

Les hypothèses de calcul qui ont été considérées dans l'évaluation du débit nominal du système de captage pleine grandeur à partir des résultats des essais en colonnes, section 2.3.1, l'ont été également dans cette évaluation du débit de captage nominal du système pleine grandeur, à l'exception de l'hypothèse 2. Celle-ci pourrait être modifiée pour les essais réalisés en bac, soit l'aire ouverte de la conduite de captage est équivalente à celle utilisée dans le design pleine grandeur.

3.3.2 Interprétation des cycles de drainage et de rétrolavage

Globalement, les profils des charges hydrauliques en drainage et en rétrolavage indiquent que l'écoulement de l'eau dans le bac d'essais s'effectue principalement au droit de la conduite, où le gradient hydraulique est le plus élevé. Également, c'est à cet endroit où s'initie le colmatage de surface. Subséquemment, le colmatage de surface progresse latéralement vers la paroi gauche à 1 m du centre de la conduite.

Les résultats des séquences de drainage et de rétrolavage [Tableau 6](#) ont démontré que les opérations de rétrolavage de débits inférieurs à $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ ne permettent pas de

nettoyer suffisamment la surface colmatée pour récupérer, au drainage suivant, la capacité nominal du système de captage. Également, les profils des charges hydrauliques suite à ces opérations indiquent que du colmatage à la surface du lit filtrant est toujours existant. D'autre part, les opérations de rétrolavage à des débits supérieurs à $0.004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ ont permis de recouvrir le débit nominal de captage au drainage subséquent et de l'améliorer de 5 %. Une opération de rétrolavage au débit de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ a également permis d'augmenter significativement, environ 2.5 fois, le volume d'eau drainé et la durée du drainage suivant cette opération.

Par les profils des charges hydrauliques, il est possible de dénoter que l'efficacité du rétrolavage est supérieure au droit de la conduite et diminue latéralement. Également, lors des opérations de grattage de la surface suite aux rétrolavages, des particules fines et des sables fins à la surface du bac d'essais sont davantage présents à 1 m du centre de la conduite.

Actuellement, dans le design prévu de la prise d'eau horizontale sous-fluviale réalisé par Génio Experts-Conseils, le débit de rétrolavage basé sur la capacité de la pompe de $907 \text{ m}^3/\text{h}$ (Denis Pinard, Communications personnelles) est d'environ $0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2\text{surf.filt.}$ Selon les essais réalisés en bac, il ne semble pas que ce débit de rétrolavage soit le plus efficace pour enlever suffisamment de particules fines à l'origine du colmatage de surface et de permettre au système de retrouver sa capacité nominale de captage. Un changement du débit de rétrolavage pourrait impliquer des modifications à la conception du système (capacité de la pompe, diamètre des conduites, ajout de valves) et des changements dans le mode opératoire du rétrolavage (opération du rétrolavage en 2 et 3 sections de conduite).

L'interprétation des courbes de fuite lors des rétrolavages montre que l'efficacité de cette opération est contenue dans les 10 premières minutes.

3.3.2.1 Phénomènes physiques observés lors des essais en bac

Les phénomènes physiques qui ont été observés lors des essais en bac présentent différents avantages et désavantages dans l'exploitation de la prise d'eau horizontale sous-fluviale. L'observation des phénomènes physiques décrits subséquentement a pu être effectuée à partir de la fenêtre de plexiglas fixée à la paroi droite du bac d'essais, au droit de la conduite de captage.

Exsolution de l'air dans l'eau

En drainage, lorsque la surface du lit filtrant se colmate initialement au droit de la conduite et puis ensuite latéralement, le milieu poreux sous-jacent à la surface colmatée rentre en tension. La pression négative amène l'air dissout dans l'eau à s'extraire sous forme gazeuse dans le milieu poreux (exsolution), à migrer vers la surface et à s'accumuler sous la zone colmatée. La production de cette phase gazeuse occasionne une diminution progressive de la conductivité hydraulique du milieu poreux.

Lorsque le colmatage de la surface du lit filtrant occasionne une perte de capacité de captage de plus de 66 %, le système est arrêté pour procéder au rétrolavage. Durant l'arrêt de l'écoulement de l'eau dans le bac d'essais, la phase gazeuse migre à travers la surface colmatée et les charges hydrauliques se mettent en équilibre hydrostatique. Cette action occasionne un lavage partiel de la surface colmatée. Lors de l'opération du rétrolavage, la migration de la phase gazeuse se poursuit et induit un brassage de la surface visible à partir de la fenêtre de plexiglas. En mode opérationnel d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale, l'arrêt du système pourrait possiblement

effectuer un lavage partiel d'une zone colmatée et permettre d'allonger la durée du captage avant de requérir une opération de rétrolavage.

Ce phénomène présente un second avantage dans l'opération de rétrolavage. La migration de la phase gazeuse vers la surface du milieu poreux crée des cheminements préférentiels où la vitesse d'écoulement est supérieure au reste du milieu poreux. Ce phénomène permet une migration plus rapide de la fraction fine du lit filtrant, sables fins et fines vers la surface, qui aide à laver le lit filtrant plus en profondeur sous la surface.

Boullance

Durant les opérations de rétrolavage, le phénomène de boullance a été observé pour les débits de rétrolavage de 0.0055 et 0.006 m³/s/m²surf.filt. testés. Lors de ces deux opérations de rétrolavage, la boullance se produisait au droit de la conduite, dans les premiers 50 cm de sol à partir de la surface composés principalement de sable. La boullance occasionnait une expansion du lit filtrant de 2.5 cm, [Figure 31](#).

En mode d'opération de rétrolavage de la prise d'eau horizontale sous-fluviale, il est possible que cet expansion permette un enlèvement partiel du lit filtrant au droit de la conduite. Néanmoins, l'essai de rétrolavage dont le débit était de 0.006 m³/s/m²surf.filt. et où le phénomène de boullance a été observé, a permis possiblement d'améliorer la durée et le volume drainés, d'environ 2.5 fois, dans l'opération du drainage subséquent, [Tableau 6](#).

Migration des sables fins vers la surface

Lors des opérations de rétrolavage, la migration de la fraction des sables fins du lit filtrant vers la surface est observable à chacune des opérations réalisées. Ce phénomène indique qu'une fraction granulométrique (sables fins) dans le matériel filtrant est instable lors des opérations de rétrolavage. Cette migration est occasionnée principalement par les écoulements rapides dans les cheminements préférentiels créés par le déplacement de la phase gazeuse décrit précédemment. Également, lorsqu'il y a phénomène de boullance dans la partie supérieure du lit filtrant, cela induit un granoclassement de cette couche où la fraction des sables fins se positionne à la surface.

La présence d'une couche uniformément composée de sables fins près de la surface de la prise d'eau horizontale sous-fluviale peut avoir un impact important sur la durée de l'opération de captage. Cette couche plus filtrante est susceptible de se colmater plus rapidement. Toutefois, si ces particules pouvaient être reprises entièrement par le courant de la rivière, la migration de cette fraction granulométrique serait bénéfique pour la capacité du système, puisqu'elle permettrait un nettoyage en profondeur sous la surface du lit filtrant. Cependant, la perte constante de cette fraction lors des opérations du rétrolavage diminuerait à long terme le volume du lit filtrant.

4 Conclusions

Les essais en bac ont permis de démontrer que le débit de captage attendu de 70 000 m³/j du système pleine grandeur de la prise d'eau horizontale sous-fluviale implantée dans les sédiments de la rivière Montmorency pourrait être atteint. Suite à un développement adéquat du milieu poreux dans le bac d'essais, le débit de captage du système sans colmatage, reporté à la géométrie du système pleine grandeur, soit 8 conduites de 75 m de longueur espacées de 2 m centre à centre, indique que celui-ci pourrait atteindre 391 000 m³/j en rivière, soit 5 fois la demande sécuritaire d'approvisionnement actuelle.

Lors des essais en drainage, l'alimentation du système à sa surface utilisait une eau chargée en particules fines dont la turbidité était au moins deux fois supérieure à celle de la rivière Montmorency en hiver. L'écoulement de cette eau turbide à travers le matériel filtrant a permis d'induire du colmatage localisé principalement à la surface des matériaux filtrants composés des sédiments tamisés de la rivière Montmorency (>315 µm et <14 mm). Les essais en bac (3D) ont démontré que l'écoulement de l'eau s'effectuait principalement au droit de la conduite où est initié le colmatage de surface. Subséquemment, le colmatage de surface progresse latéralement jusqu'à l'atteinte d'un colmatage complet de la surface disponible à l'écoulement, ce qui induit une perte quasi totale de capacité de captage. La durée moyenne des séquences de drainage était imposée à environ 24 heures grâce à l'ajout d'eau très turbide à la fin de cette période de façon à permettre la réalisation de plusieurs séquences de drainage suivi de rétrolavage.

Les opérations de rétrolavage réalisées lors des essais en bac ont démontré que cette opération était efficace si elle était maintenue pendant 10 minutes à un débit supérieur à 0.004 m³/s/m²surf.filtre, soit 2177 m³/h pour une conduite crépinée (300 mm de diamètre, 50 µm d'ouverture espacées de 6.35 mm et de 76 mm de longueur). Ces conditions permettent de déloger les fines à l'origine du colmatage et augmentent même la capacité nominale de captage de plus de 5 %. L'efficacité de cette opération est plus importante au droit de la conduite et diminue latéralement. L'opération d'un rétrolavage à un débit de 0.006 m³/s/m²surf.filtre a permis d'augmenter le volume cumulatif de captage drainé d'environ 2.5 fois avant d'atteindre le colmatage complet de la surface. Toutefois, l'opération de ce rétrolavage a induit de la boue au droit de la conduite où l'expansion du matériel filtrant en hauteur était de 2.5 cm.

Actuellement, dans le design prévu de la prise d'eau horizontale sous-fluviale réalisé par Génio Experts-Conseils, le débit de rétrolavage basé sur la capacité de la pompe de 907 m³/h (Denis Pinard, communication personnelle) est d'environ 0.002 m³/s/m²surf.filt. Selon les essais réalisés en bac, il ne semble pas que ce débit de rétrolavage soit le plus efficace pour enlever suffisamment de particules fines à l'origine du colmatage de surface et permettre au système de retrouver sa capacité nominale de captage. Un changement du débit de rétrolavage pourrait impliquer des modifications à la conception du système (capacité de la pompe, diamètre des conduites, ajout de valves) et des changements dans le mode opératoire du rétrolavage (opération du rétrolavage en 2 ou 3 sections de conduite).

Lors des opérations de rétrolavage, il y a eu migration de la fraction fine (sables fins) du matériel filtrant vers la surface des sédiments, ce qui indique que cette fraction granulométrique n'est pas stable en conditions de rétrolavage. En faisant l'hypothèse que cette fraction granulométrique serait entraînée hors du milieu poreux à chaque opération de rétrolavage et qu'elle serait reprise entièrement dans le courant, ceci comporterait l'avantage que le milieu poreux se développerait à chacune de ces opérations. Toutefois, il y aurait une perte nette de matériel filtrant au-dessus des conduites. Lorsque la fraction fine du matériel filtrant migre vers la surface en opération de rétrolavage, elle peut augmenter la capacité de filtration de la surface de la tranchée de captage lors du drainage subséquent et donc favoriser un colmatage rapide.

En opération de drainage, lorsque la surface est partiellement colmatée et que la partie supérieure du lit filtrant au droit de la conduite est en tension (charges de pression négatives), il y a exsolution de l'air dissoute dans l'eau et formation d'une phase gazeuse qui migre et s'accumule sous la surface colmatée. Lorsque le système de captage est arrêté, l'air migre à travers la couche colmatée et déloge partiellement le colmatage de la surface. Ensuite, lors du rétrolavage qui suit, la migration de l'air se poursuit et aide au nettoyage de la surface.

4.1 Limitations des essais en bac et aspects à confirmer

Les essais en bac réalisés dans la phase 2 du projet comportent certaines limitations par rapport à l'opération en drainage et en rétrolavage du système de captage pleine grandeur qui sera implanté dans les sédiments de la rivière Montmorency.

Le design des essais comporte quelques limitations à considérer. Le bac constitue un système confiné latéralement, tandis que sur le terrain en opération du rétrolavage, le système sera « ouvert » puisqu'une seule conduite sera fonctionnelle. L'écoulement de l'eau du rétrolavage pourrait éviter de cheminer à travers la couche colmatée et donc diminuer l'efficacité de l'opération.

Dans le système expérimental, il n'a pas été possible de reproduire adéquatement la vitesse horizontale d'écoulement de l'eau à la surface des sédiments et donc d'évaluer précisément le potentiel d'enlèvement des fines entraînées dans la colonne d'eau lors des rétrolavages.

Les résultats interprétés des séquences de drainage et de rétrolavage peuvent représenter uniquement la performance à court terme du système de captage. Dû au temps restreint des essais, il n'a pas été possible d'évaluer l'effet cumulatif à long terme de plusieurs séquences de drainage et de rétrolavage à un même débit sur la capacité du système de captage. Également, les essais réalisés ne représentent pas des modes d'opération normale. Entre autres, l'impact sur la capacité de captage, d'arrêts répétés du système qui serait remis en fonction sans qu'un rétrolavage n'ait été fait au préalable est un exemple d'opération normale qui n'a pas été étudié par les essais en bac.

Il a été remarqué lors des opérations de rétrolavage, qu'une fraction granulométrique du matériel filtrant est instable, soit qu'elle migre vers la surface et accélère les processus de colmatage en drainage ou soit qu'elle est entraînée hors du milieu poreux, ce qui induit une perte du matériel filtrant recouvrant les conduites de captage. La granulométrie optimale du matériel filtrant reste donc à confirmer.

Dû au temps limité des essais, l'effet d'un recouvrement grossier à la surface du matériel filtrant n'a pas été testé. La présence d'un tel recouvrement pourrait limiter l'efficacité du rétrolavage en capturant les particules fines dans ces interstices. En drainage, ce recouvrement pourrait s'ensabler et devenir peu perméable. Les conditions de rétrolavage nécessaires dans de tels cas n'ont pas été évaluées. Advenant que de la boue se produirait en opérant un rétrolavage, les cailloux du recouvrement pourraient aussi s'enfoncer dans le matériel filtrant.

5 Recommandations

En lien avec les conclusions et les limitations des essais en colonnes et en bac, plusieurs recommandations pour le design, la mise en place et l'opération de la prise d'eau horizontale sous fluviale sont présentées dans cette section.

1. Il est recommandé de conserver la capacité totale du système tel que conçu dans le design de Génio Experts-Conseils. Les essais en bac ont démontré que le design actuel du système pleine grandeur pourrait capter 391 000 m³/j, soit 5 fois la demande d'approvisionnement sécuritaire de 70 000 m³/j. Ce dépassement de l'objectif pourra compenser des effets néfastes ponctuels dans l'espace et le temps, tels des bris de conduites, du colmatage, les arrêts requis pour le rétrolavage, la présence de frasil. La surcapacité du système lui confère une grande flexibilité d'opération.
2. Il serait nécessaire d'éliminer la fraction granulométrique instable du matériel filtrant. Pour ce faire, il faudrait identifier adéquatement cette fraction granulométrique fine.
3. Il est recommandé de réaliser des cycles initiaux de drainage/rétrolavage avant la mise en opération du système pour effectuer le développement du milieu poreux. Ceci améliorera sa performance.
4. Il est recommandé de concevoir et d'installer un système qui permettra d'isoler des sections de conduite afin de pouvoir opérer les rétrolavages par sections et atteindre un débit de 0.004 m³/s/m²surf.filt. avec la capacité de pompe actuellement prévue dans le design de 907 m³/h pour une conduite crépinée de 75 m de longueur.
5. L'interprétation des résultats obtenus des essais en bac a permis d'identifier l'instrumentation requise pour réaliser un suivi adéquat de l'opération et de l'entretien du système de captage pleine grandeur. L'instrumentation devrait être reliée à un système d'acquisition de données.
 - Chaque conduite devrait posséder un débitmètre afin de mesurer les débits en drainage et en rétrolavage obtenus dans la conduite; et
 - Une conduite sur deux devrait posséder une série de 4 capteurs de pression enfouis positionnés verticalement au droit de la conduite aux élévations : 45, 85, 135, 185 cm à partir de la base de la tranchée de captage (30 cm plus bas que la base de la conduite). Un capteur devrait être placé dans la conduite (45 cm) afin de détecter des bris potentiels. Un capteur positionné à 40 cm plus haut que le centre de la conduite pourrait permettre de détecter du colmatage près de la conduite. Les capteurs à 135 et 185 cm d'élévation permettraient d'évaluer le colmatage de surface et de sous-surface.

-
- Également, il serait recommandé de placer un capteur de pression dans la rivière pour connaître la charge de pression en temps réel dans la colonne d'eau au-dessus du lit filtrant.
6. En lien avec les limitations des essais en bac, nous recommandons une suite d'essais expérimentaux à réaliser avant et pendant la mise en place du système de captage sous-fluvial dans les sédiments de la rivière Montmorency. Cette suite de travaux est présentée subséquemment à la section 5.1.

5.1 Proposition de travaux complémentaires

L'INRS a réalisé une série d'essais dans un modèle physique pleine grandeur représentant une portion d'un système de captage sous-fluvial. Ce modèle physique est basé sur le design d'un système prévu pour compléter les infrastructures existantes pour l'approvisionnement en eau dans la rivière Montmorency par la Ville de Québec. Ce système doit surtout permettre le captage sous-fluvial en conditions hivernales alors que l'utilisation des infrastructures existantes peut être problématique.

Un programme expérimental complémentaire a été défini de façon préliminaire pour compléter les essais réalisés. Ce programme a pour but de compléter les résultats déjà obtenus, d'affermir certaines conclusions et surtout d'obtenir des résultats plus représentatifs des conditions d'opération réalistes sur une plus longue période. La proposition de recherche complète, échéancier et coûts, est présentée en annexe.

Description des travaux et estimation du temps de réalisation

1. *Objectif : identification des plages granulométriques « stables » comme matériel filtrant à mettre dans la tranchée de captage.*

Travaux : Caractérisation granulométrique du matériel fin entraîné à la surface par le rétrolavage et prélevé lors des essais antérieurs.

Les essais en bac réalisés en 2008 ont démontré qu'une certaine fraction granulométrique du matériel filtrant est nuisible (sables fins) et est entraînée à la surface lors du rétrolavage. Pour évaluer la fraction granulométrique du matériel filtrant qui n'est pas stable, il faut faire analyser par granulomètre laser les échantillons de sol récupérés à la surface après chaque rétrolavage. Les résultats pourront donner une indication de la tranche granulométrique qui est nuisible. Par bilan de masse et comparaison à la distribution granulométrique du matériel filtrant mis en place dans le bac, il sera possible d'évaluer si toute la fraction fine a été enlevée du matériel filtrant présent dans le bac actuellement. Sinon, il sera nécessaire de poursuivre le développement du matériel filtrant par des séquences de drainage / rétrolavage jusqu'à ce que la quantité de cette tranche granulométrique soit négligeable dans le bac d'essais. Ces résultats ont une incidence sur

le choix du matériel à mettre en place dans les tranchées de drainage et ainsi sur les quantités de matériel brut requises pour combler les tranchées, compte tenu de la proportion de fines à enlever de ce matériel brut

2. *Objectifs : Mieux définir l'évolution à long terme de la capacité et du comportement du système suite au rétrolavage et évaluer si l'effet de boullance est nécessaire à l'efficacité du rétrolavage (donc préciser la capacité de pompe requise pour le rétrolavage).*

Travaux : Réaliser plusieurs cycles drainage/rétrolavage, d'abord avec des débits sous le seuil de boullance, puis au-dessus du seuil de boullance.

Les séquences de drainage et rétrolavage réalisés en 2008 représentent des essais à court terme. En réalisant deux séries de 7 à 10 séquences de drainage et de rétrolavage utilisant le même débit de rétrolavage, il sera possible de préciser les effets cumulatifs potentiels et de documenter l'évolution du système de captage à plus long terme. Un débit de 33-35 gpm, inférieur à la valeur critique induisant la boullance, sera d'abord utilisé pour une série de 7 à 10 séquences de drainage / rétrolavage. Un débit de 43-45 gpm, qui induit de la boullance, sera ensuite utilisé pour une deuxième série de 7 à 10 séquences de drainage / rétrolavage. Ces essais vont permettre de déterminer si l'effet de boullance est nécessaire pour obtenir une efficacité optimale du rétrolavage et aussi maintenir la capacité du système. Ces résultats vont permettre de fixer la capacité de la pompe utilisée pour le rétrolavage et de déterminer si les sections de drains du système de captage devront être scindées en petits segments pour permettre un rétrolavage efficace. Ces essais ont ainsi des implications importantes sur la conception finale du système de captage.

3. *Objectif : sélection du débit de rétrolavage.*

Travaux : traitement et analyse des résultats obtenus des essais réalisés à l'étape trois pour déterminer les avantages et désavantages des débits de rétrolavage induisant ou non de la boullance (maintien de la capacité, efficacité de décolmatage, incidences sur les capacités de pompe et la conception du système).

4. *Objectif : Préciser le comportement du système de captage en mode d'opération normale.*

Travaux : Réaliser différentes séquences de drainage et de rétrolavage qui pourraient correspondre aux conditions réelles d'opération du système de captage.

Réaliser d'abord des cycles drainage/arrêt (sans rétrolavage) pour évaluer si la migration des bulles d'air lors de l'arrêt du système permet un décolmatage partiel qui permettrait de maintenir une capacité de captage suffisante à long terme, sans induire de colmatage permanent ou de dégradation de la capacité nominale de captage. Réaliser ensuite des cycles drainage/rétrolavage sans atteindre le colmatage complet de la surface avant de procéder au rétrolavage. Si le temps le permet, il y aura alternance des deux types de séquence, i.e. drainage/arrêt et drainage/rétrolavage avant colmatage complet. Ces travaux vont permettre de mieux prédire l'évolution du système en conditions d'opération

réalistes et de préciser les conditions d'opération qui permettent de maintenir la capacité du système à long terme.

5. *Objectif : Évaluer l'effet de la mise en place d'un matériel de recouvrement grossier à la surface de la tranchée de captage.*

Travaux : Réaliser 30 cycles de drainage/rétrolavage à l'eau claire (sans sédiments) après la mise en place d'un matériel grossier à la surface du bac, similaire à celui envisagé pour le recouvrement de la tranchée de drainage.

Ces essais vont permettre d'évaluer d'abord s'il y a dégradation ou non de la capacité nominale du système suite à la mise en place du matériel de recouvrement. Les cycles vont permettre aussi de déterminer si le matériel grossier mis en surface a tendance à s'enfoncer dans le matériel sous-jacent. Enfin, la récupération ou non du débit après rétrolavage va permettre d'évaluer l'effet à long terme de la couche de recouvrement (par exemple cette couche favorise ou non l'accumulation de fines à la surface). Ces travaux vont permettre de préciser la conception du système pour l'élément critique du choix du matériel de recouvrement.

6 Références

Leclerc, M., B. Morse, S. Bélanger, P. Boudreau, 2004. Mise aux normes de l'eau potable – Analyse des conditions d'implantation d'une prise d'eau dans le secteur des Îlets de la rivière Montmorency. Pour le compte de GENECOR-Civil et la Ville de Québec (Service de l'ingénierie). Rapport INRS-ETE #R-692. Aussi enregistré au Dépt. De Génie civil de l'Université Laval sous le #GCT-04-06. Mars, 51 pages.

Leclerc, M., F. Bérubé, 2008. Mise aux normes de l'eau potable - Évolution topographique et conditions de glace de la rivière Montmorency – Secteur des Îlets. Rapport de recherche INRS-ETE #R1072. 50 pp. Décembre.

Paniconi, C., C. Racine, R. Lefebvre, M. Leclerc, 2005. Mise aux normes de l'eau potable - Secteur Est: Analyse numérique d'un concept de prise d'eau linéaire sous-fluviale dans le secteur des Îlets de la rivière Montmorency. Rapport INRS-ETE R-765 soumis à GENECORCivil et la Ville de Québec (Service de l'Ingénierie), mars 2005, 33 p.

Racine, C., R. Lefebvre, 2006. Simulations des conditions d'écoulement représentatives du rétrolavage pour le concept de captage sous-fluvial de la rivière Montmorency, novembre 2006, 23 pp.

Tableau 1 : Informations complémentaires des essais de la colonne 1

Colonne 1 – Sédiments tamisés de la rivière Montmorency							
Cycle de drainage							
	1	2	3	4	5	6	7
Début	16-04 13h15	05-05 15h00	07-05 14h00	08-05 11h00	13-05 9h40	21-05 11h22	27-05 16h00
Fin-colmatage	25-04 9h30	06-05 12h00	07-05 22h00	11-05 8h00	16-05 16h00	22-05 16h00	29-05 16h00
Durée	8j 20h 15min	21 heures	8 heures	2 j 21 h	3j 6h 40min	1j 4h 38min	2 jours
Turbidité moyenne à l'entrée	20 NTU	7 NTU	8 NTU	11 NTU	8 NTU	7.5 NTU	6 NTU
Rétrolavage							
	1	2	3	4	5	6	7
Durée	8 min	15 min	15 min	15 min	18 min	15 min	15 min
Débit (m ³ /s/m ² surf.filt.)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Turbidité fin du rétrolavage	8 NTU	4.65 NTU	4.52 NTU	5.11 NTU	4.99 NTU	4.08 NTU	7.39 NTU

Tableau 2 : Informations complémentaires des essais de la colonne 2

Colonne 2 – Sédiments tamisés de la rivière Montmorency							
Cycle de drainage							
	1	2	3	4	5	6	7
Début	16-04 13h15	23-04 15h00	05-05 15h00	13-05 11h30	15-05 10h30	21-05 11h22	27-05 16h00
Fin-colmatage	23-04 10h40	25-04 11h00	13-05 11h00	15-05 4h00	16-05 6h00	23-05 14h00	Naa 2 jours
Durée	6j 21h 25min	1j 20h	7j 20h	1j 16h 30min	19h 30min	2j 2h 38min	Naa 2 jours
Turbidité moyenne à l'entrée	20 NTU	20 NTU	9 NTU	8 NTU	8 NTU	7.5 NTU	6 NTU
Rétrolavage							
	1	2	3	4	5	6	7
Durée	21 min	8 min	16 min	20 min	15 min	16 min	15 min
Débit (m ³ /s/m ² surf.filt.)	0.004	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Turbidité fin du rétrolavage	23.3 NTU	10.9 NTU	24.6 NTU	3.93 NTU	4.35 NTU	8.56 NTU	5.8 NTU

* Naa : Non atteint après

Tableau 3 : Informations complémentaires des essais de la colonne 3

Colonne 3 – Sable de silice grossier uniforme							
Cycle de drainage							
	1	2	3	4	5	6	7
Début	16-04 13h15	23-04 14h56	05-05 15h00	09-05 15h50	12-05 15h35	21-05 11h22	27-05 16h00
Fin-colmatage	23-04 4h00	25-04 9h50	09-05 12h00	12-05 13h00	16-05 2h00	Naa 6j 3h	Naa 5j 22h
Durée	6j 14h 45min	1j 18h 54min	3j 21h	2j 21h 10min	3j 10h 25min	Naa 6j 3h	Naa 5j 22h
Turbidité moyenne à l'entrée	20 NTU	20 NTU	9 NTU	11 NTU	8 NTU	7.5 NTU	6 NTU
Rétrolavage							
	1	2	3	4	5	6	7
Durée	21 min	16 min	15 min	15 min	15 min	15 min	16 min
Débit (m ³ /s/m ² surf.filt.)	0.004	0.014	0.013	0.013	0.013	0.008	0.008
Turbidité fin du rétrolavage	23.3 NTU	34.7 NTU	27.1 NTU	21.6 NTU	13.7 NTU	19.4 NTU	19.6 NTU

Tableau 4 : Informations complémentaires des essais de la colonne 4

Colonne 4 – Sable de silice grossier uniforme							
Cycle de drainage							
	1	2	3	4	5	6	7
Début	16-04 13h15	23-04 14h00	05-05 15h00	12-05 10h48	21-05 11h22	27-05-16h00	
Fin-colmatage	23-04 8h00	25-04 11h00	10-05 4h00	Naa 4j 4h	26-05 6h00	Naa 5j 23h	
Durée	6j 18h 45min	1j 21h	4j 13h	Naa 4j 4h	4j 18h 38 min	Naa 5j 23h	
Turbidité moyenne à l'entrée	20 NTU	20 NTU	8.5 NTU	8.5 NTU	8.5 NTU	6 NTU	
Rétrolavage							
	1	2	3	4	5	6	7
Durée	15 min	9 min	15 min	15 min	15 min	15 min	
Débit (m ³ /s/m ² surf.filt.)	0.004	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	
Turbidité fin du rétrolavage	25.1 NTU	45.9 NTU	34.8 NTU	25.1 NTU	17.5 NTU	14.6 NTU	

Tableau 5 : Éléments de comparaison des essais en colonnes réalisés sur les sédiments tamisés de la rivière Montmorency et sur le sable de silice grossier uniforme

Éléments de comparaison-essais en colonnes	Sédiments tamisés de la rivière Montmorency	Sable de silice grossier uniforme
Paramètre intrinsèque du matériel		
Granulométrie	d ₁₀ : 0.425 mm d ₅₀ : 1.4 mm d ₉₀ : 5.8 mm	d ₁₀ : 0.71 mm d ₅₀ : 0.85 mm d ₉₀ : 1.09 mm
En drainage		
Localisation du colmatage	<u>Premier cycle</u> : surface et un peu en profondeur <u>Cycles intermédiaires</u> : surface <u>Derniers cycles</u> : surface et de plus en plus en profondeur	<u>Premier cycle</u> : surface <u>Cycles intermédiaires</u> : surface et de plus en plus en profondeur <u>Derniers cycles</u> : surface et de plus en plus en profondeur
Durée du premier cycle de drainage	7 à 9 jours	5 à 6 jours
Durée moyenne des autres cycles de drainage	1 à 3 jours * excepté 3 ^{ème} cycle de col.2 (7jrs)	3 à 6 jours
En rétrolavage		
Turbidité à l'effluent du rétrolavage après 15 min	4 à 25 NTU moy : 8.5 NTU	13.7 à 45.9 NTU moy : 23.7 NTU

Tableau 6 : Résultats synthétisés des séquences de drainage et de rétrolavage des essais en bac

SÉQUENCE DATE	RÉTRO LAVAGE			DRAINAGE			
	Débit m ³ /s/m ² (m ³ /h/m ²)	Durée efficace min.	Turbidité (aire sous la courbe) NTU*min Indice de la quantité de fines enlevée par le rétrolavage	Info. profils des charges côté conduite après rétro. avant grattage	Info. profil du débit après rétro. m ³ /h/m ² Débit nominal :13.6	Durée totale du drainage	Volume drainé m ³ /m ² surf.filt.
1 (5,6,7,8 déc)	0.0020 6.8	8	80	Colmatage à la surface	13.0 Descendant	26h30	316
2 (8,9 déc)	0.0030 11.3	10	202	Colmatage à la surface	12.3 Descendant	24h00	276
3 (9,10 déc)	0.0030 11.3	10	135	Un peu de colmatage à la surface	13.4 Descendant	23h30	292
4 (10,11 déc)	0.0040 14.5	8	89	Un peu de colmatage à la surface	14.2 Ascendant	23h30	328
5 (11,12 déc)	0.0040 14.5	10	130	Un peu de colmatage à la surface	14.4 Ascendant	25h30	364
6 (12,13,14,15, 16 déc)	0.0060 22.2	9	233	Aucun colmatage	14.3 Ascendant	71h30	988
7 (16 déc)	0.0055 19.5	10	1564	n/a	n/a	n/a	n/a

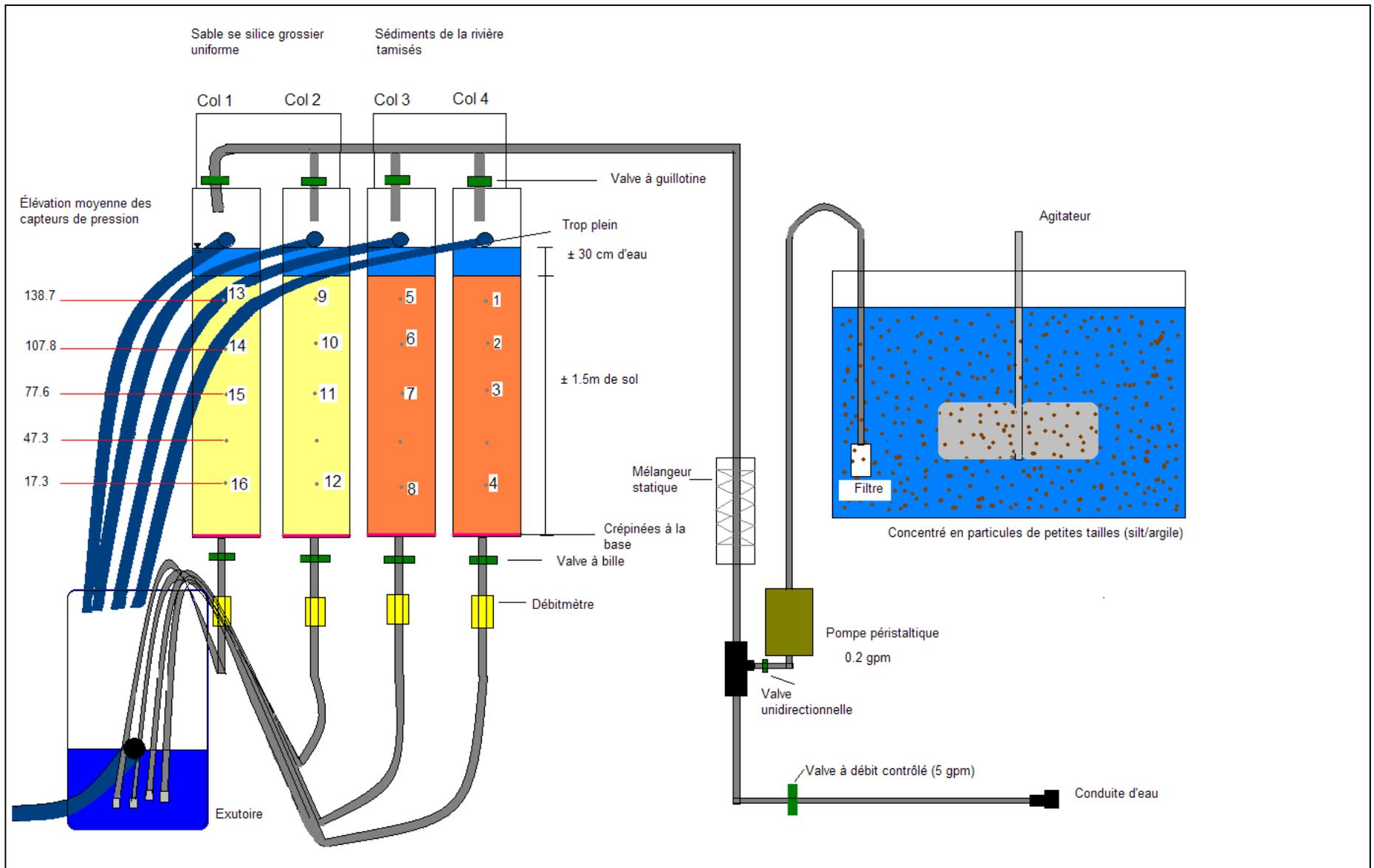


Figure 1 : Schéma du montage expérimental des essais en colonnes en conditions de drainage

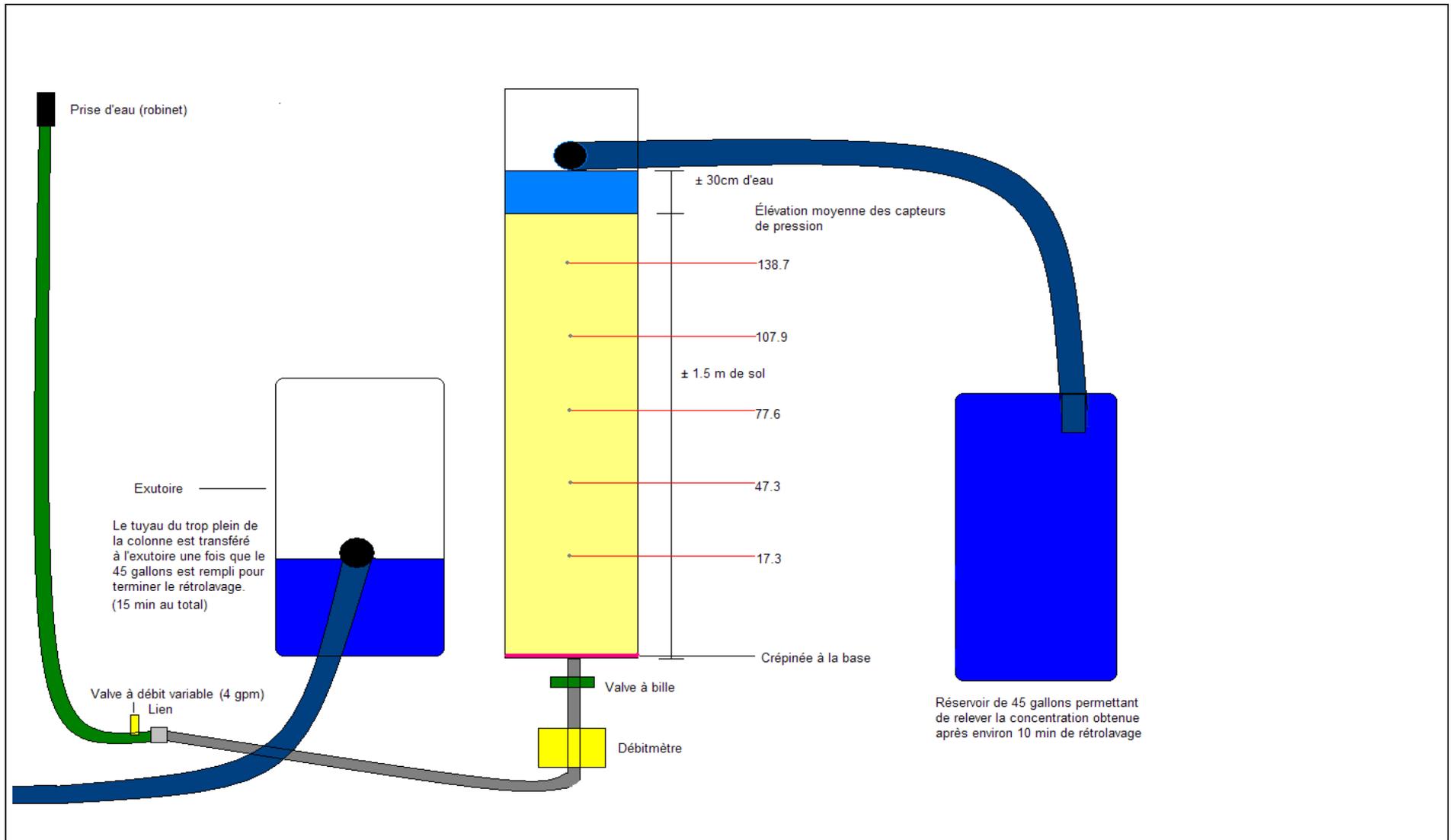


Figure 2 : Schéma du montage expérimental des essais en colonnes en conditions de rétro-lavage

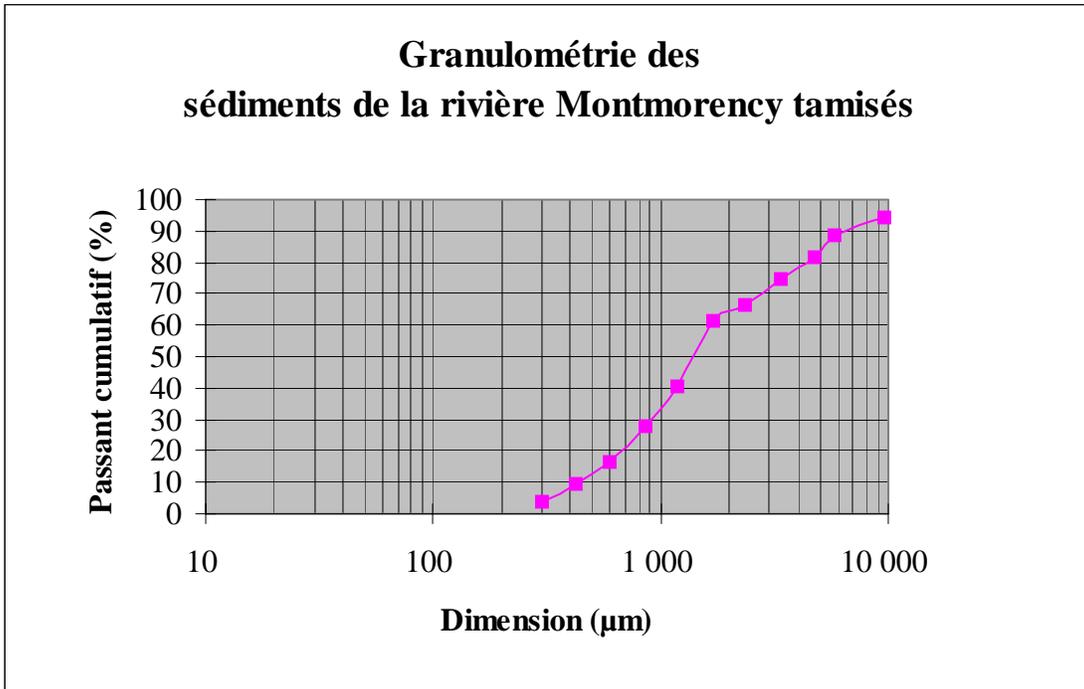


Figure 3 : Courbe granulométrique des sédiments de la rivière Montmorency tamisés

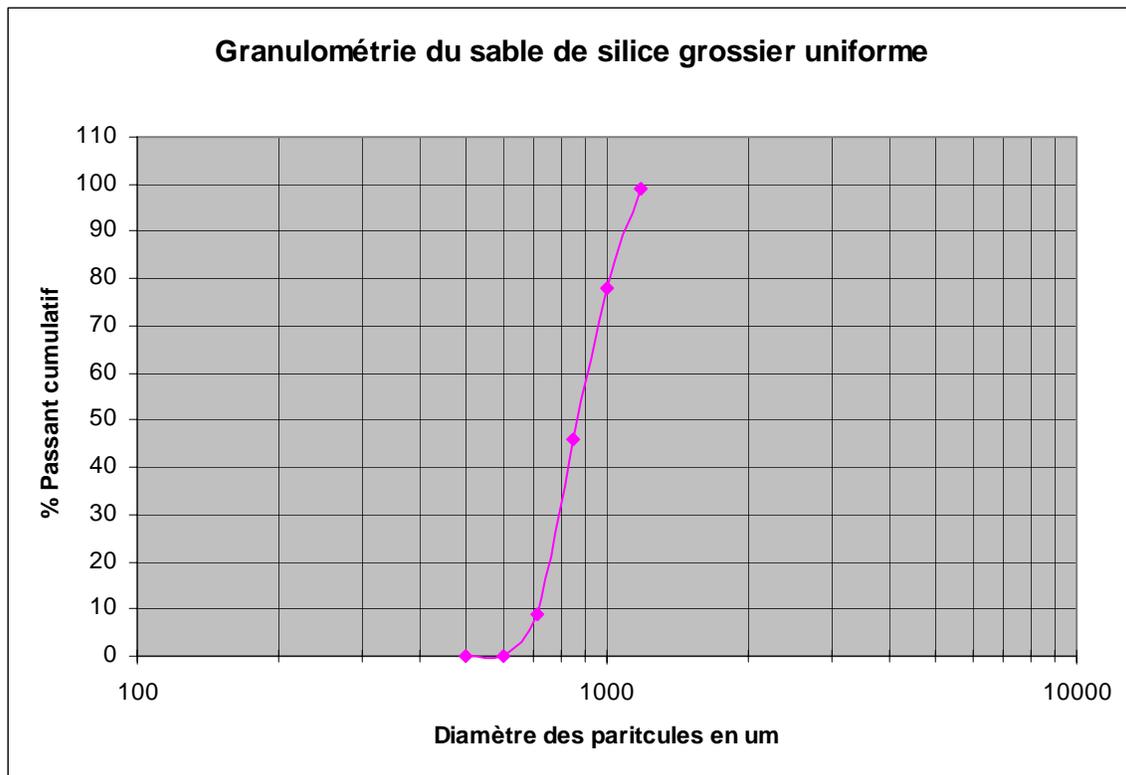


Figure 4 : Courbe granulométrique du sable de silice grossier uniforme

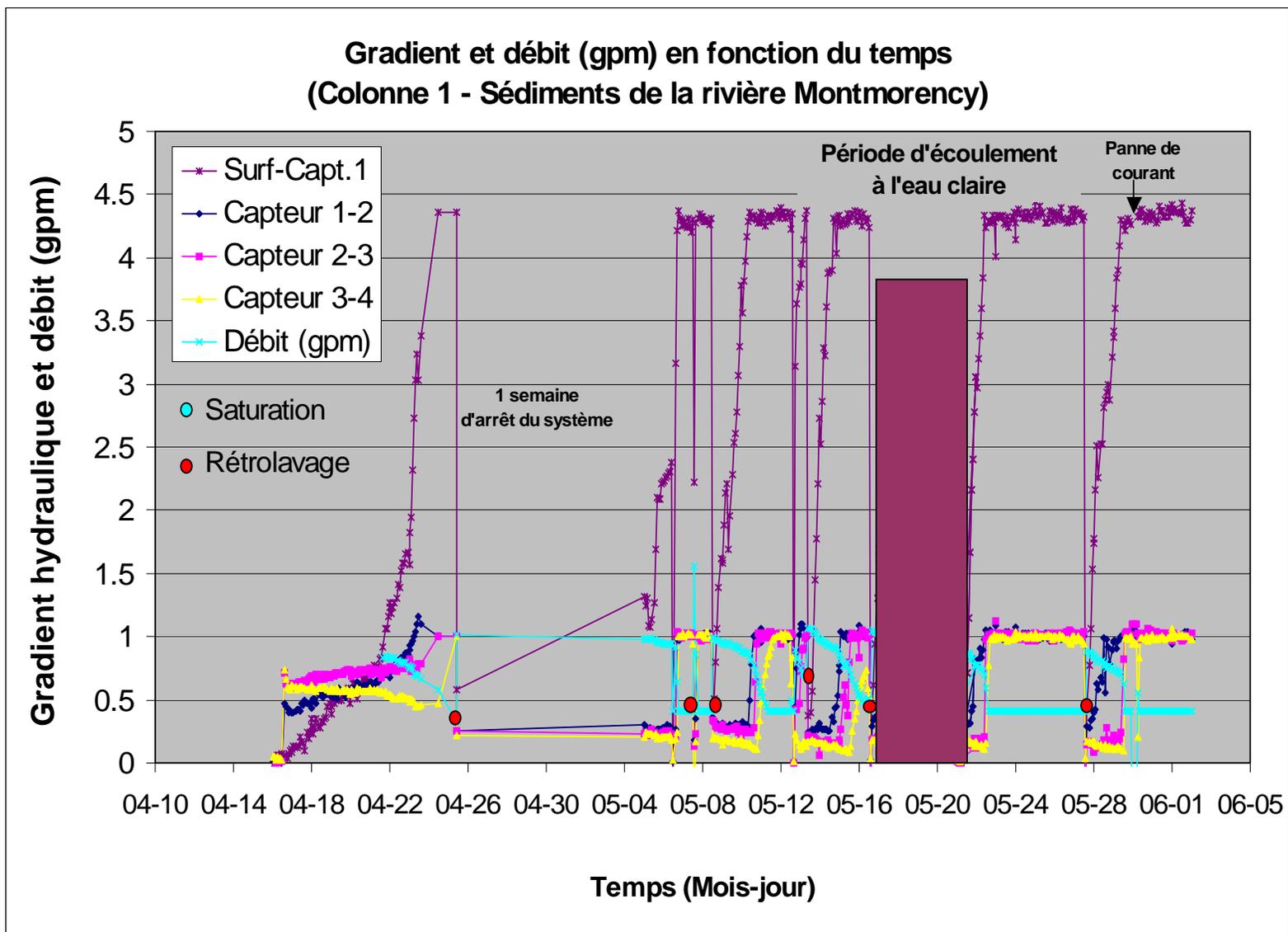


Figure 5 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 1 : Sédiments de la rivière Montmorency

Gradient et débit en fonction du temps (Colonne 2- Sédiments de la Rivière Montmorency)

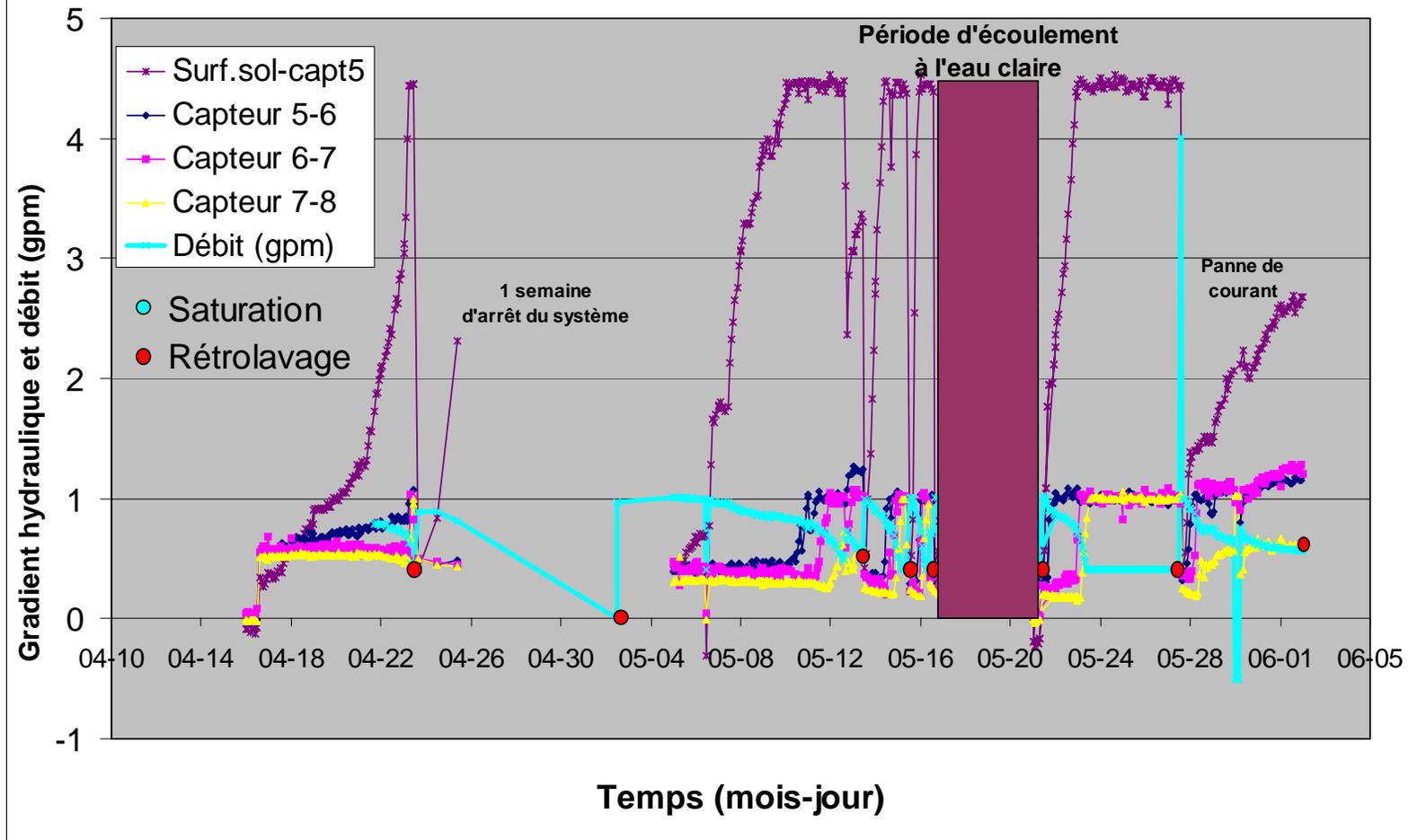


Figure 6 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 1 : Sédiments de la rivière Montmorency

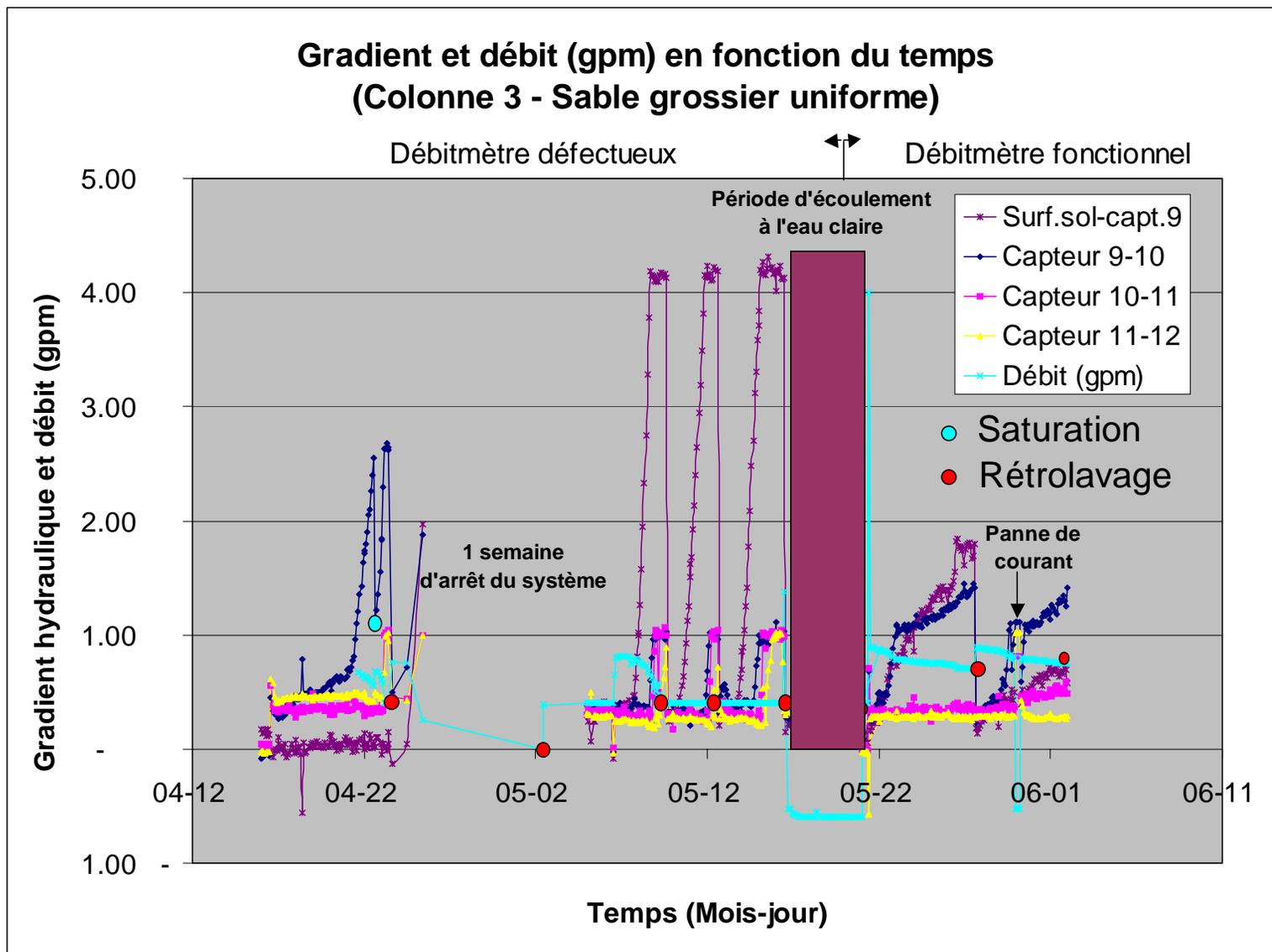


Figure 7 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 3 : Sable de silice grossier uniforme

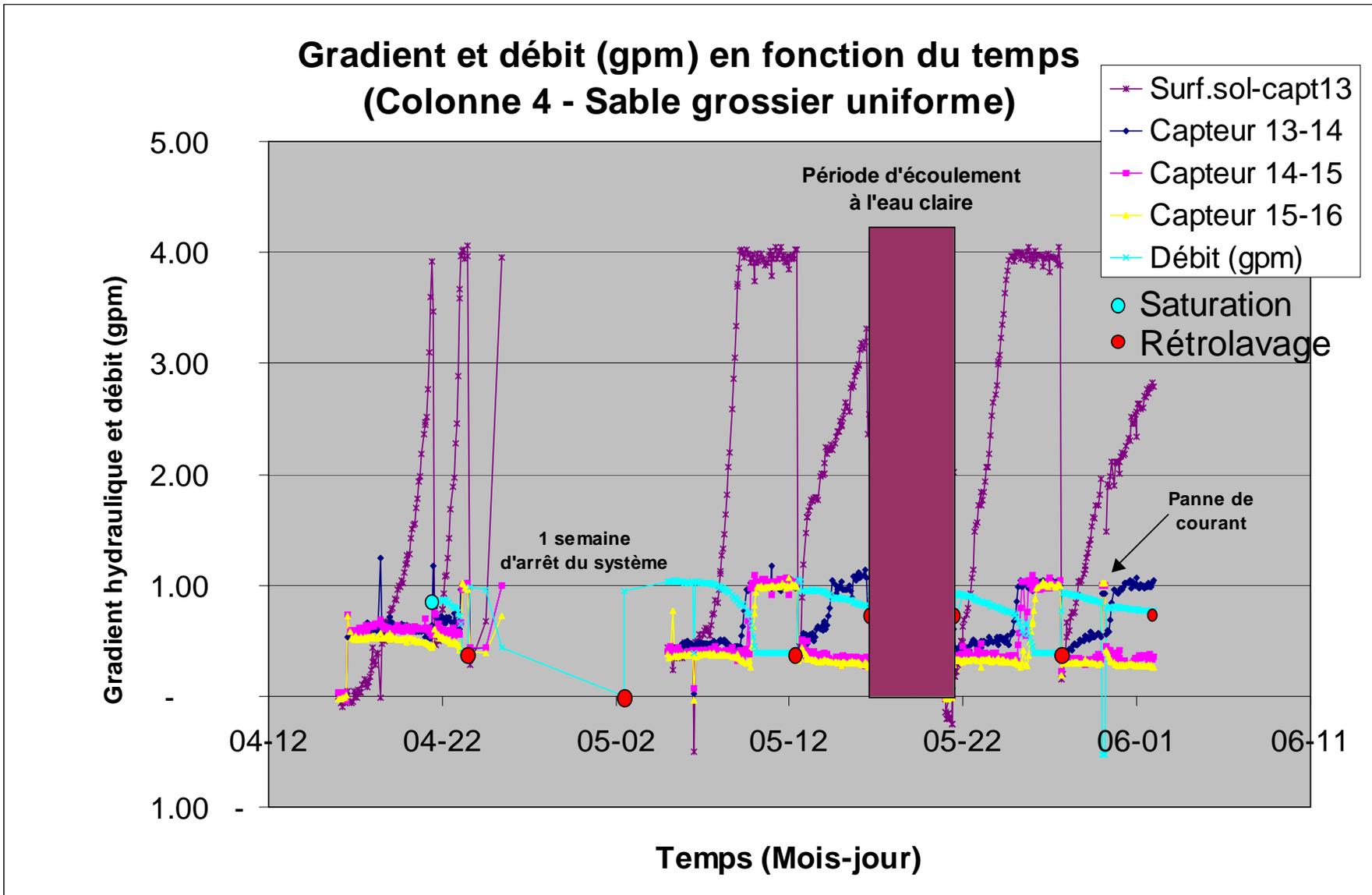


Figure 8 : Gradients et débits en fonction du temps lors des essais de drainage et de rétrolavage de la colonne 4 : Sable de silice grossier uniforme

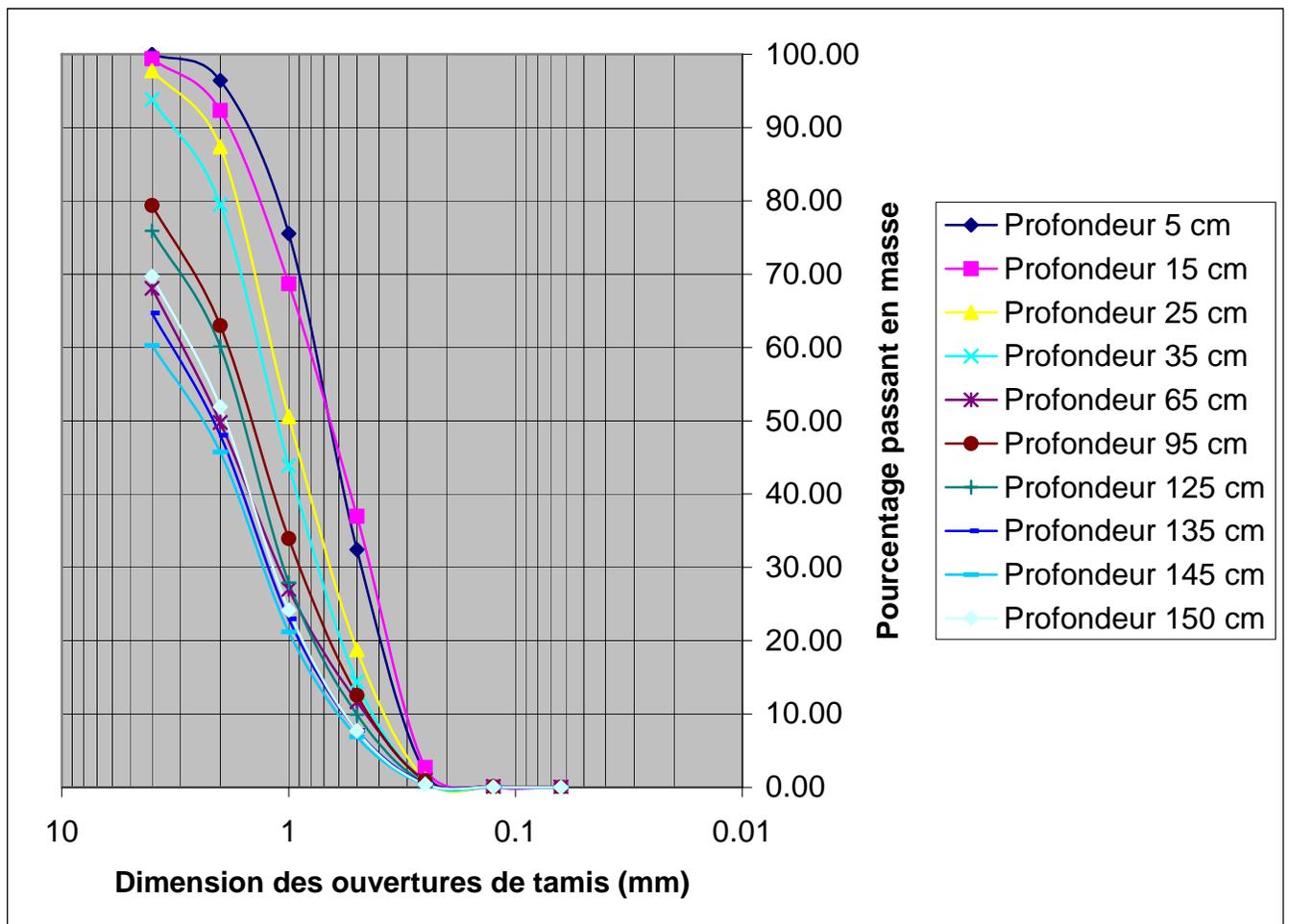


Figure 9 : Analyses granulométriques des échantillons pris à différentes profondeurs dans la colonne 1 des sédiments tamisés de la rivière Montmorency

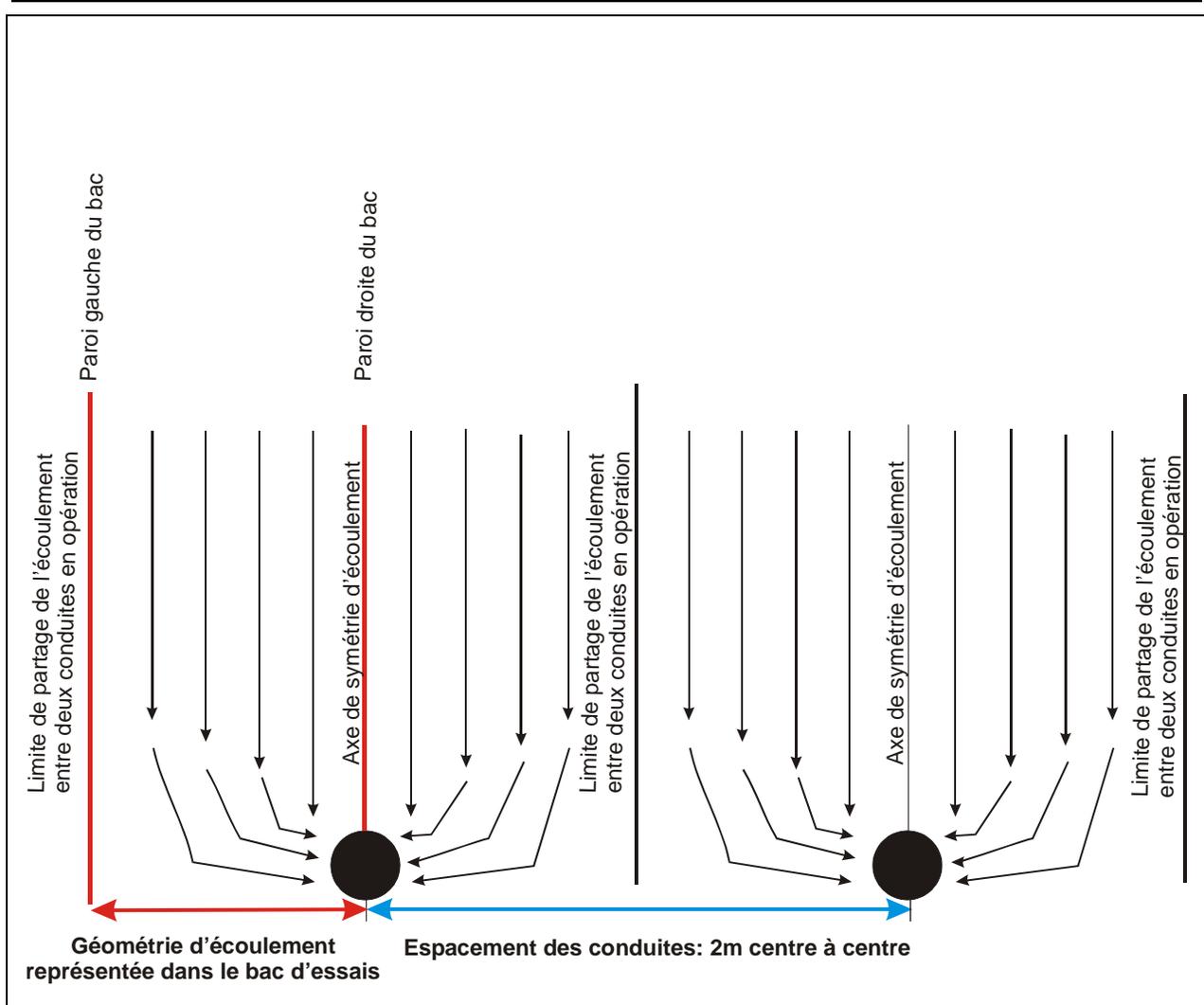


Figure 10 : Écoulement du système pleine grandeur qui est représenté par la géométrie des essais en bac

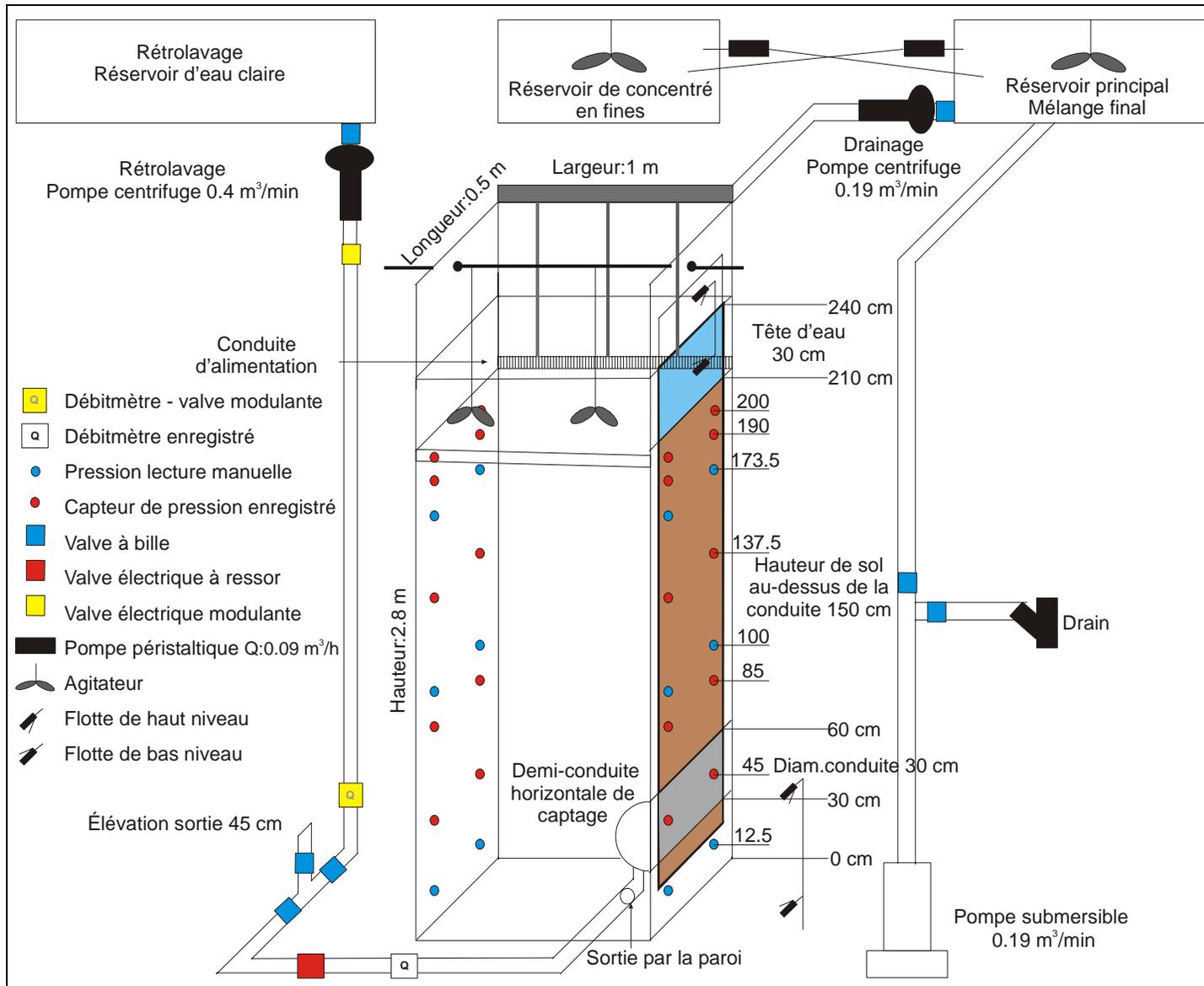


Figure 11 : Montage du bac d'essais et équipements expérimentaux

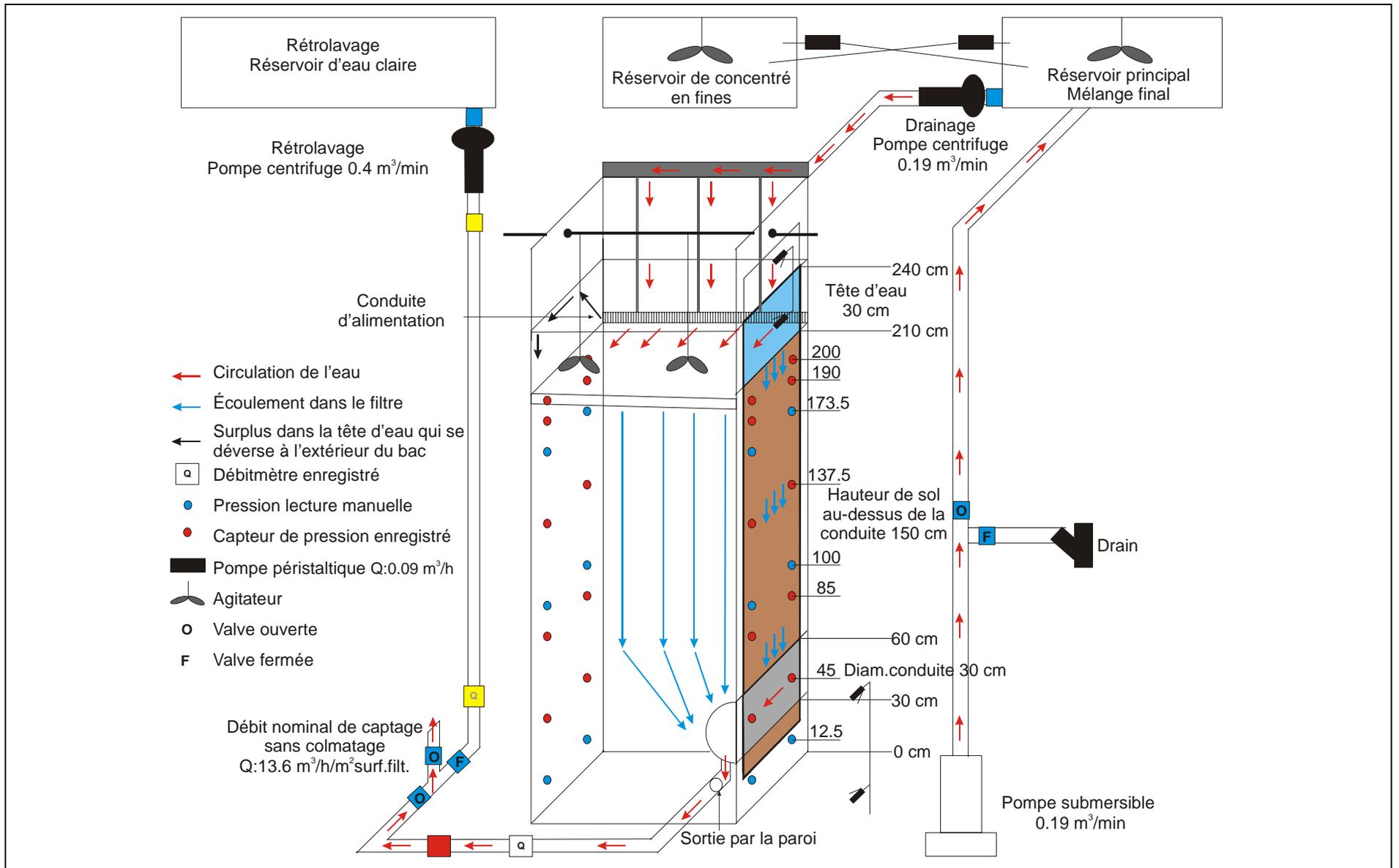


Figure 12 : Schéma du montage et des équipements associés aux séquences de drainage dans le bac d'essais

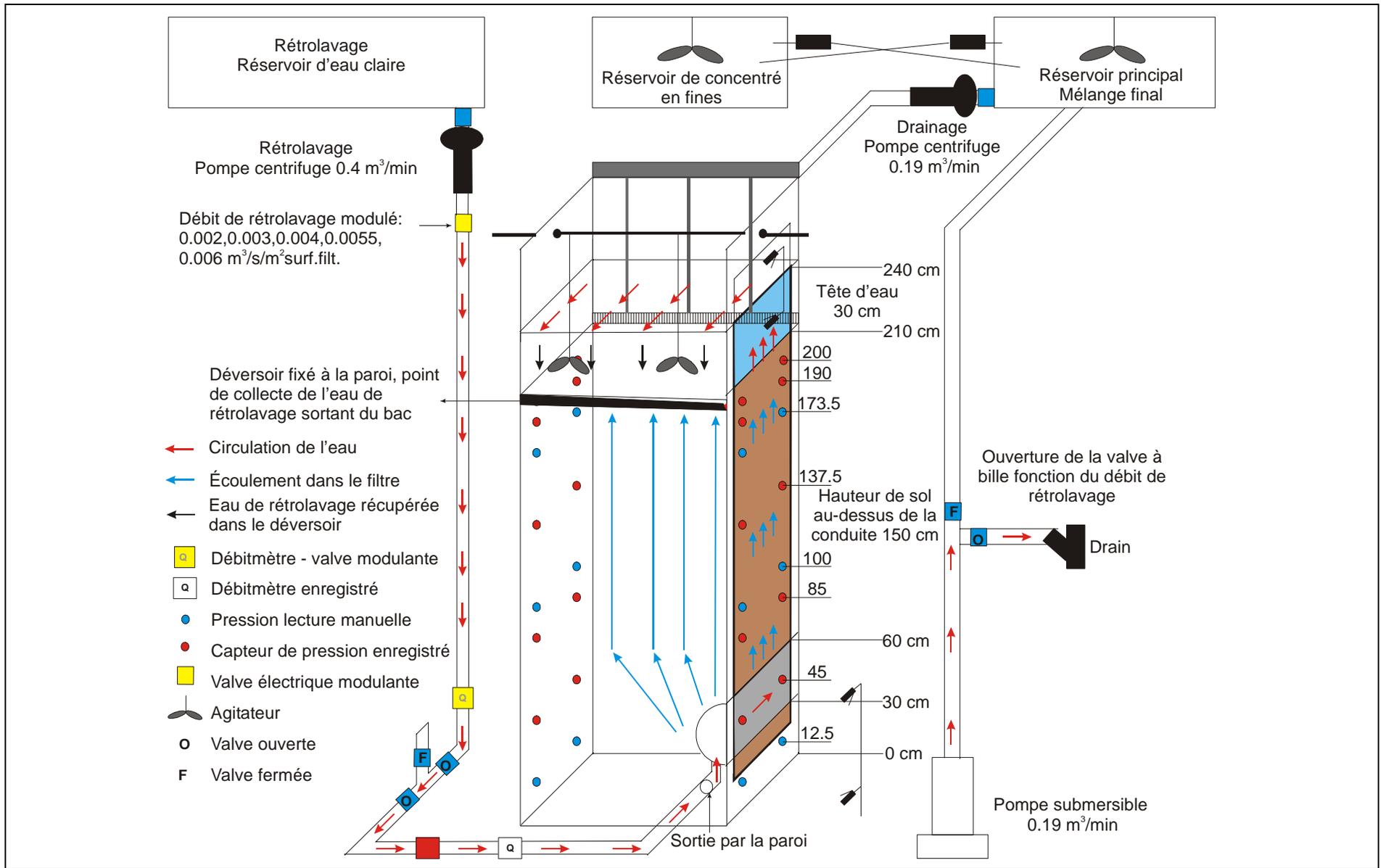


Figure 13 : Schéma du montage et des équipements associés aux séquences de rétrolavage dans le bac d'essais

Vendredi 5 décembre
Rétrolavage de 0.002 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 31.3 NTU à 1 minute
Turbidité stable à 8 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 80.1 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Dans la courbe du côté conduite, la plus grande perte de charge (diff gradient 0,6) se produit à la surface. Du côté sans conduite, il semble y avoir un peu de colmatage (sans conduite : diff gradient 0,2)

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté de la conduite, le colmatage de surface semble s'être atténué (diff gradient 0,24 à 0,33) et du côté sans conduite il semble y avoir du colmatage à la surface surtout du côté de l'alimentation (diff gradient 0,35 à 0,63)

Profil du débit après rétrolavage

Stable à descendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 1

Début : 5 décembre à 11h30 :07
Fin : 6 décembre à 14h00 :07
Durée totale : 26h30
Volume d'eau drainé : 158 m³ et 316 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 1 et débit associé

Début : 5 décembre à 11h30 :07 - Q : 13 m³/h/m²surf.filt.
Fin : 6 décembre à 9h30 :07 - Q : 11 m³/h/m²surf.filt.

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 7.13 NTU
Turbidité min : 4.79 NTU
Turbidité moy : 6 NTU

Figure 14 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.002 m³/s/m² et du drainage 1

Lundi 8 décembre
Rétrolavage de 0.003 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 132 NTU à 1 minute
Turbidité stable à 10 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 202 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Du côté de la conduite, il semble y avoir du colmatage de surface (conduite : diff gradient 0,4).

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté de la conduite et du côté sans conduite il semble y avoir du colmatage de surface (conduite : diff gradient 0,4 à 0,6 et sans conduite : diff gradient 0,6 à 0,9)

Profil du débit après rétrolavage

Descendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 2

Début : 8 décembre à 11h30 :07
Fin : 9 décembre à 11h30 :07
Durée totale : 24h
Volume drainé : 138 m³ et 276 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 2 et débit associé

Début :8 décembre à 11h30 :07 - Q : 12.3 m³/s/m²surf.filt.
Fin : 9 décembre à 6h00 :07 – Q : 11.2 m³/s/m²surf.filt.

Ajout de fines

1 : 8 décembre à 13h00 : concentré : 2727 g, principal : 76 g
2 : 9 décembre à 11h00 : concentré : 1526 g, principal : 61 g

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 8.95 NTU
Turbidité min : 3.77 NTU
Turbidité moy : 6 NTU

Figure 15 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.003 m³/s/m² et du drainage 2

Mardi 9 décembre
Rétrolavage de 0.003 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 117 NTU à 0.5 minute
Turbidité stable à 10 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 135 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Du côté de la conduite, il semble y avoir du colmatage de surface (conduite : diff gradient 0,6) du côté sans conduite, il semble y avoir du colmatage (sans conduite : diff gradient 0,5 à 0,8)

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté sans conduite il semble y avoir du colmatage de surface (sans conduite : diff gradient 0,7). Du côté conduite il y a un peu de colmatage de surface (conduite : diff gradient 0,32)

Profil du débit après rétrolavage

Descendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 3

Début : 9 décembre à 12h00 :07
Fin : 10 décembre à 11h30 :07
Durée totale : 23h30
Volume drainé : 146 m³ et 292 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 3 et débit associé

Début :9 décembre à 12h00 :07 - Q : 13.4 m³/h/m²surf.filt.
Fin : 10 décembre à 10h30 :07 – Q : 12 m³/h/m²surf.filt.

Ajout de fines pour provoquer le colmatage le 10 décembre

1 : 10 décembre à 10h45 : concentré : 1856 g, principal : 103 g
2 : 10 décembre à 11h00 : concentré : 492 g

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 8.54 NTU
Turbidité min : 4.82 NTU
Turbidité moy : 6 NTU
Turbidité provoquée : 13.6 NTU

Figure 16 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.003 m³/s/m² et du drainage 3

Mercredi 10 décembre
Rétrolavage de 0.004 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 119 NTU à 0.5 minute
Turbidité stable à 8 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 89 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Du côté conduite et sans conduite, il semble y avoir un peu de colmatage de surface (conduite diff gradient 0,32, sans conduite diff gradient 0,2)

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté sans conduite il semble y avoir un peu de colmatage de surface surtout près de la conduite d'alimentation (sans conduite : diff gradient 0,3 à 1). Du côté conduite, il y a un peu de colmatage de surface (conduite côté alimentation : diff gradient 0,27)

Profil du débit après rétrolavage

Ascendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 4

Début : 10 décembre à 13h00 :07
Fin : 11 décembre à 12h30 :07
Durée totale : 23h30
Volume drainé : 164 m³ et 328 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 4 et débit associé

Début :10 décembre à 13h00 :07 - Q : 13.6 m³/h/m²surf.filt.
Fin : 11 décembre à 9h30 :07 – Q : 14.2 m³/h/m²surf.filt.

Ajout de fines

1 : 10 décembre à 14h00 : concentré : 590 g, principal : 224 g

Ajout de fines pour provoquer le colmatage le 11 décembre

2 : 11 décembre à 9h48 : concentré : 2226 g, principal : 49 g

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 8.49 NTU
Turbidité min : 5.32 NTU
Turbidité moy : 7 NTU
Turbidité provoquée : 9.1 NTU

Figure 17 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.004 m³/s/m² et du drainage 4

Jeudi 11 décembre
Rétrolavage de 0.004 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 135 NTU à 0.5 minute
Turbidité stable à 10 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 130 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Du côté conduite et sans conduite, il semble y avoir un peu de colmatage de surface (conduite diff gradient 0,26, sans conduite diff gradient 0,18)

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté sans conduite il semble y avoir un peu de colmatage de surface surtout près de la conduite d'alimentation (sans conduite : diff gradient 0,46 à 1). Du côté conduite, il y a un peu de colmatage de surface du côté de l'alimentation (conduite côté alimentation : diff gradient 0,45)

Profil du débit après rétrolavage

Ascendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 5

Début : 11 décembre à 13h00 :07
Fin : 12 décembre à 14h30 :07
Durée totale : 25h30
Volume drainé : 182 m³ et 364 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 5 et débit associé

Début :11 décembre à 13h00 :07 - Q : 13.1 m³/h/m²surf.filt.
Fin : 12 décembre à 9h30 :07 – Q : 14.4 m³/h/m²surf.filt.

Ajout de fines pour provoquer le colmatage le 12 décembre

1 : 12 décembre à 9h45 : concentré : 2630 g, principal : 197 g
2 : 12 décembre à 12h15 : principal : 106 g
3 : 12 décembre à 14h00 : concentré : 1000 g, principal : 201 g

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 12.4 NTU
Turbidité min : 4.89 NTU
Turbidité moy : 9 NTU
Turbidité provoquée : 15.4 NTU

Figure 18 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.004 m³/s/m² et du drainage 5

Vendredi 12 décembre
Rétrolavage de 0.006 m³/s/m²surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 141 NTU à 0.5 minute
Turbidité stable à 9 minutes
Aire sous la courbe de fuite : 233 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Aucun colmatage

Profil des charges de pression après rétrolavage et grattage

Du côté sans conduite il semble y avoir du colmatage de surface surtout du côté de la conduite d'alimentation (sans conduite : diff gradient 0,43 à 0,91).

Profil du débit après rétrolavage

Ascendant

Indication sur le drainage suivant

Drainage 6

Début : 12 décembre à 16h00 :07
Fin : 15 décembre à 19h00 :07 – 3h30
Durée totale : 71h30
Volume drainé : 494 m³ et 988 m³/m²_{filtre}

Durée du colmatage lent lors du drainage 5 et débit associé

Début :12 décembre à 16h00 :07 - Q : 13.8 m³/h/m²surf.filt.
Fin : 15 décembre à 7h00 :07 – Q : 14.3 m³/h/m²surf.filt.

Ajout de fines pour provoquer le colmatage le 15 décembre

1 : 15 décembre à 10h30 : concentré : 5956 g, principal : 700 g
2 : 15 décembre à 11h00 : principal : 765 g
3 : 15 décembre à 12h45 : principal : 1110 g
4 : 15 décembre à 13h12 : principal : 650 g
5 : 15 décembre à 13h56 : principal : 1048 g

Turbidité

Sans colmatage provoqué
Turbidité max : 15.4 NTU
Turbidité min : 2.74 NTU
Turbidité moy : 20 NTU
Turbidité provoquée : 68.1 NTU

Figure 19 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.006 m³/s/m² et du drainage 6

Mardi 16 décembre
Rétrolavage de 0.0055 m³/s/m² surf.filt.

Courbe de fuite

Peak de turbidité : 904 NTU à 0.5 minute

Turbidité stable à 10 minutes

Aire sous la courbe de fuite : 1564 NTU*min

Profil des charges de pression après rétrolavage

Du côté conduite et sans conduite, il semble y avoir un peu de colmatage de surface (conduite diff gradient 0,21, sans conduite alimentation diff gradient 0,21)

Figure 20 : Fiche résumé décrivant les résultats du rétrolavage de 0.0055 m³/s/m²

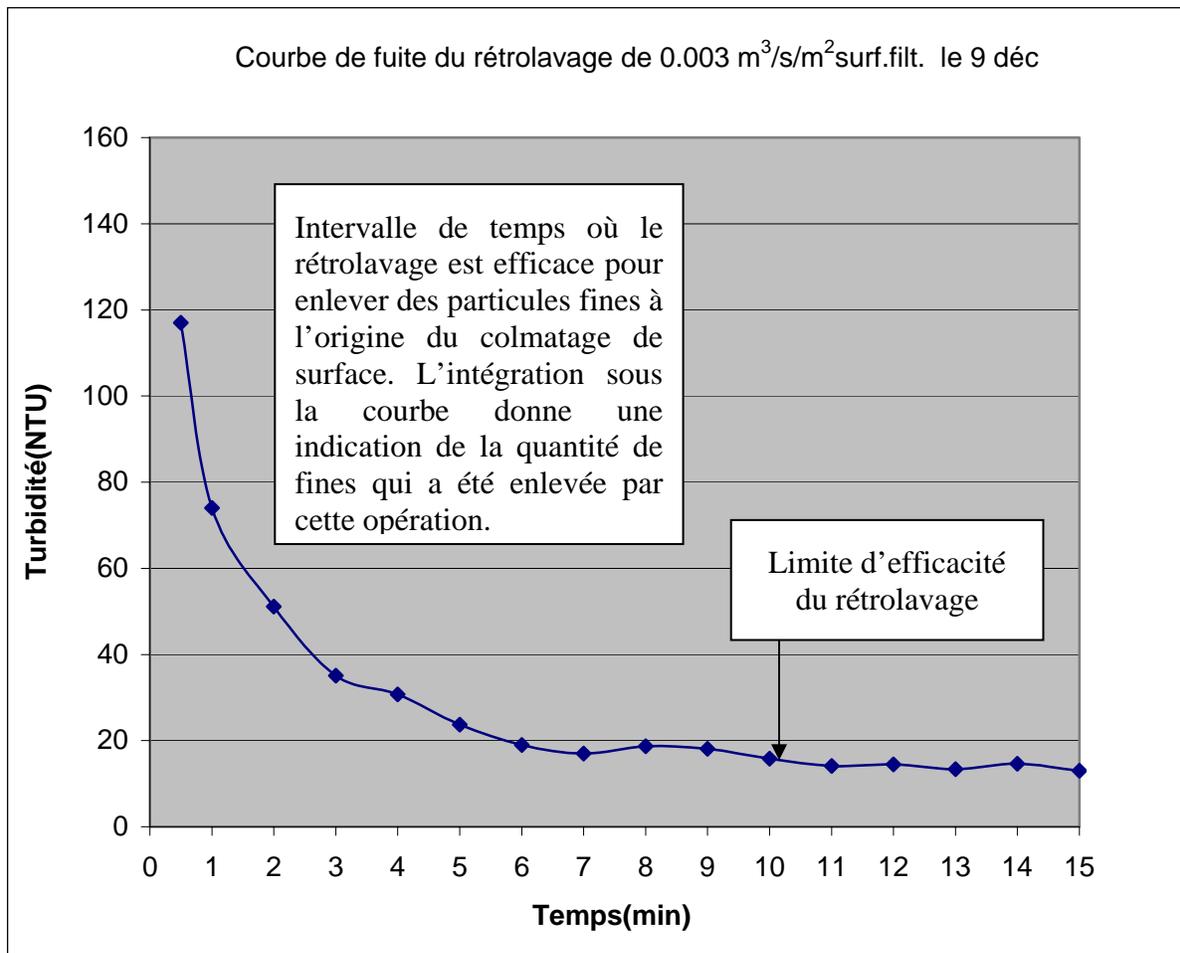


Figure 21 : Courbe de fuite du rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. réalisé le 9 décembre 2008

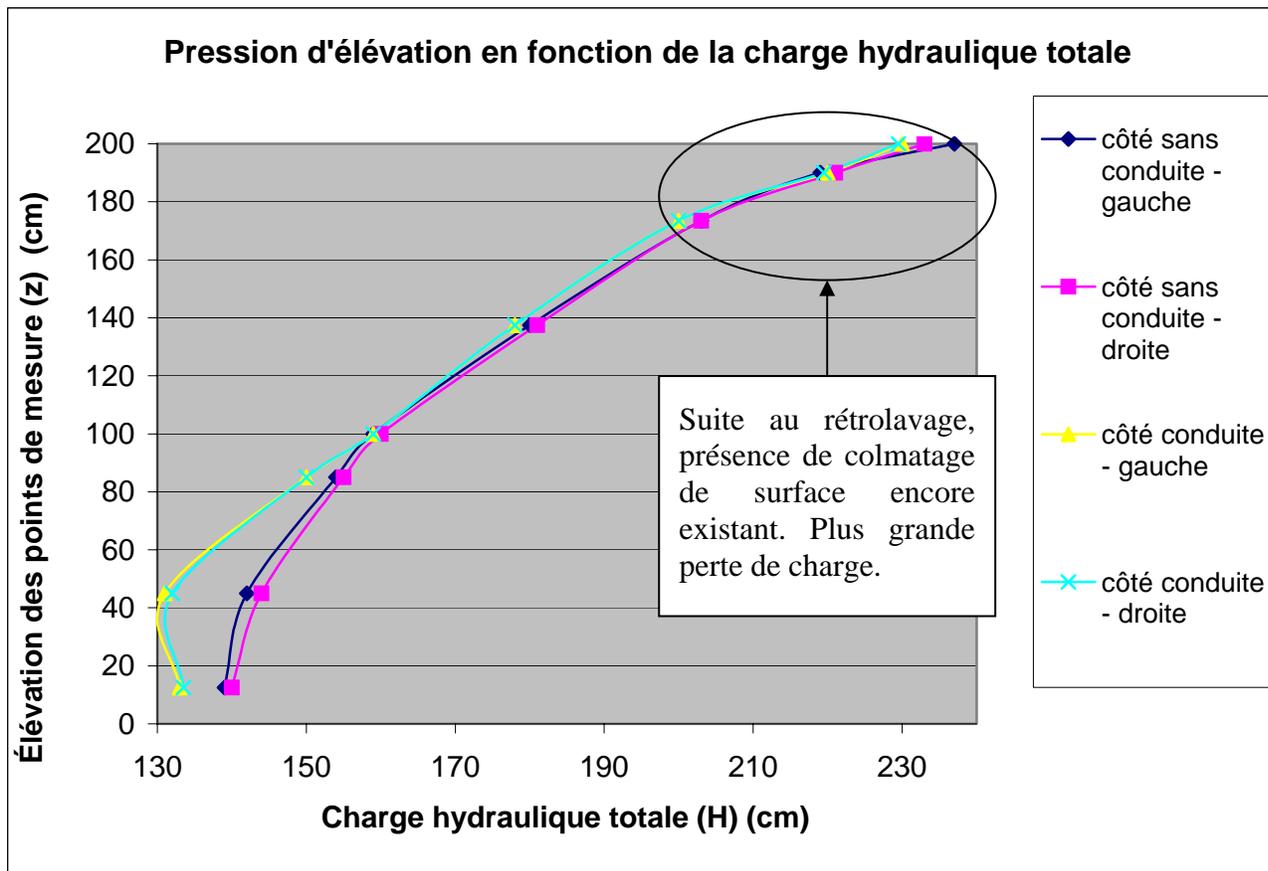


Figure 22 : Profils des charges hydrauliques le 9 décembre 2008 suite au rétrolavage de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ surf.filt. et avant le grattage de la surface

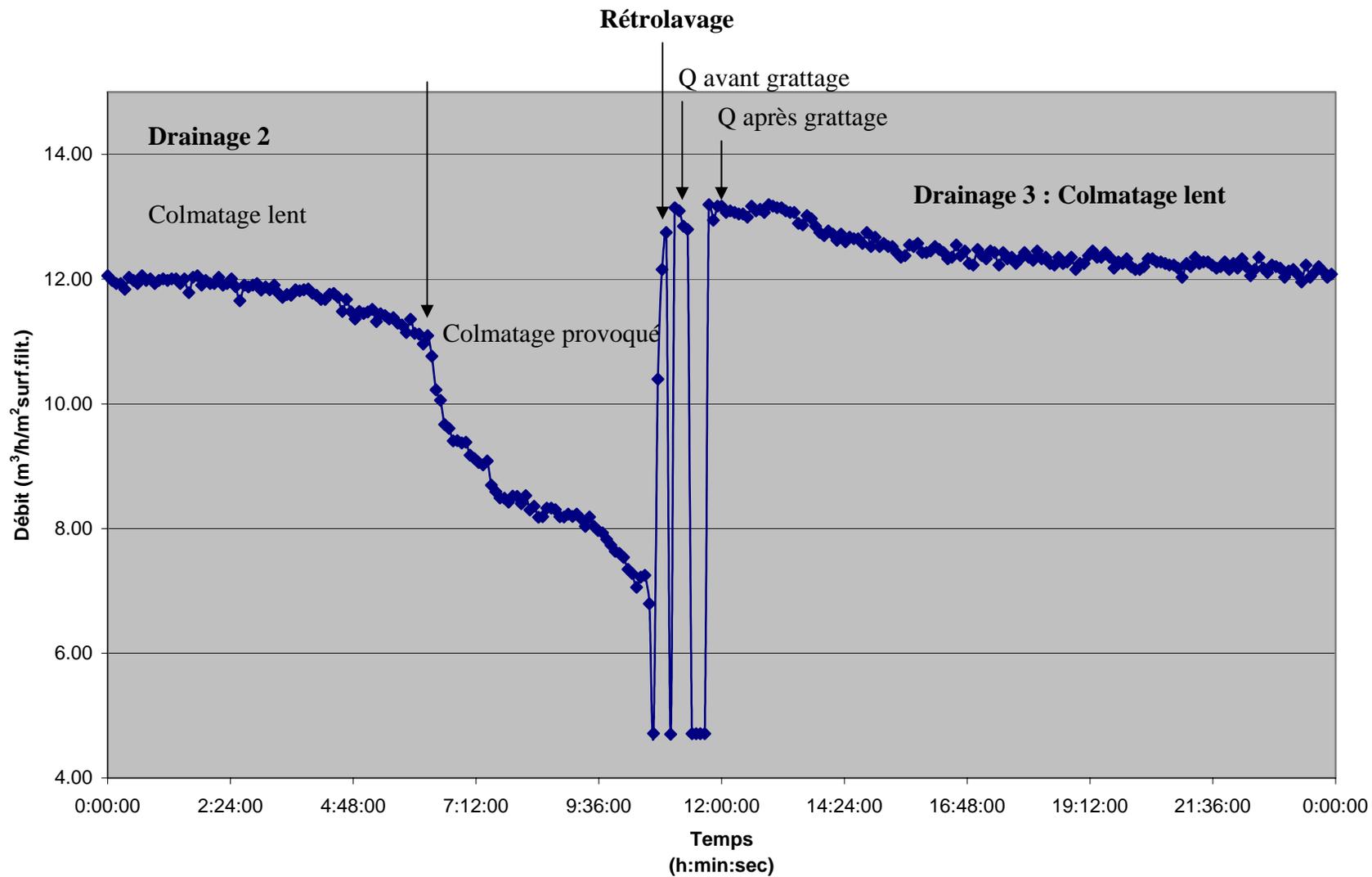


Figure 23 : Débit en fonction du temps le 9 décembre 2008

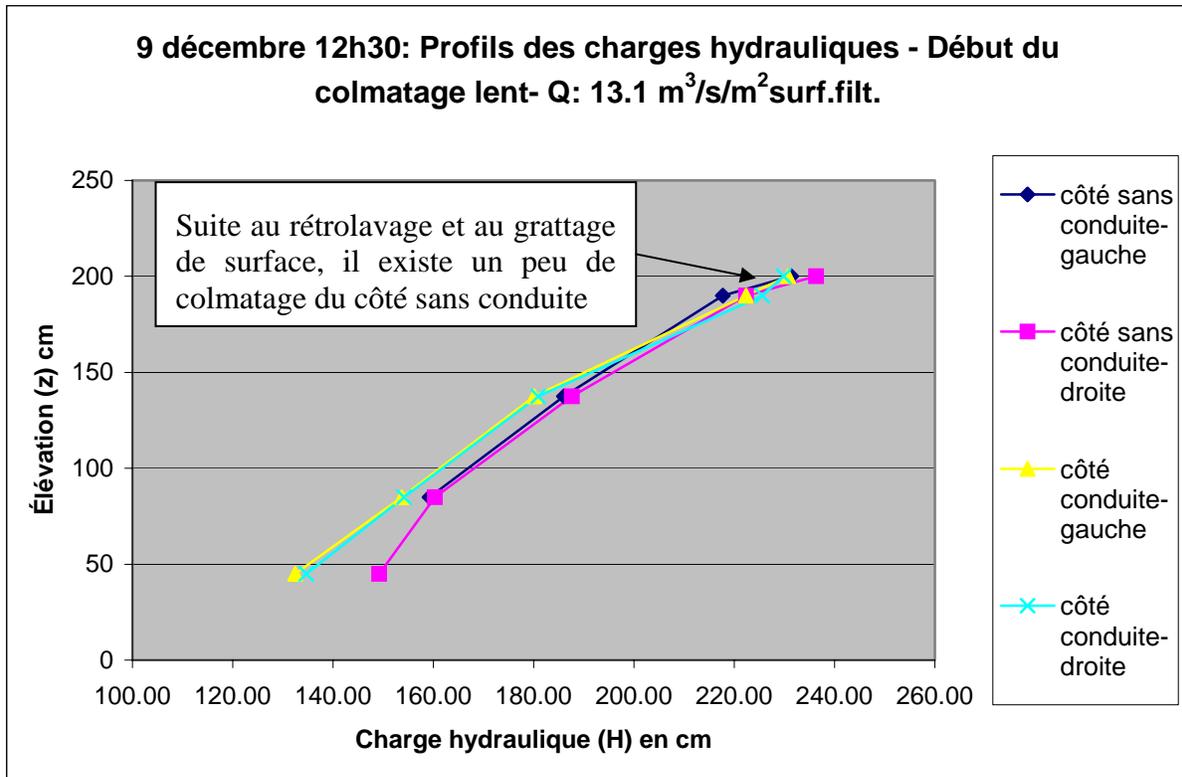


Figure 24 : Profils des charges hydrauliques le 9 décembre 2008 suite au rétrolavage de 0.003 m³/s/m²surf.filt. et après le grattage de la surface – Début de la séquence de drainage 3

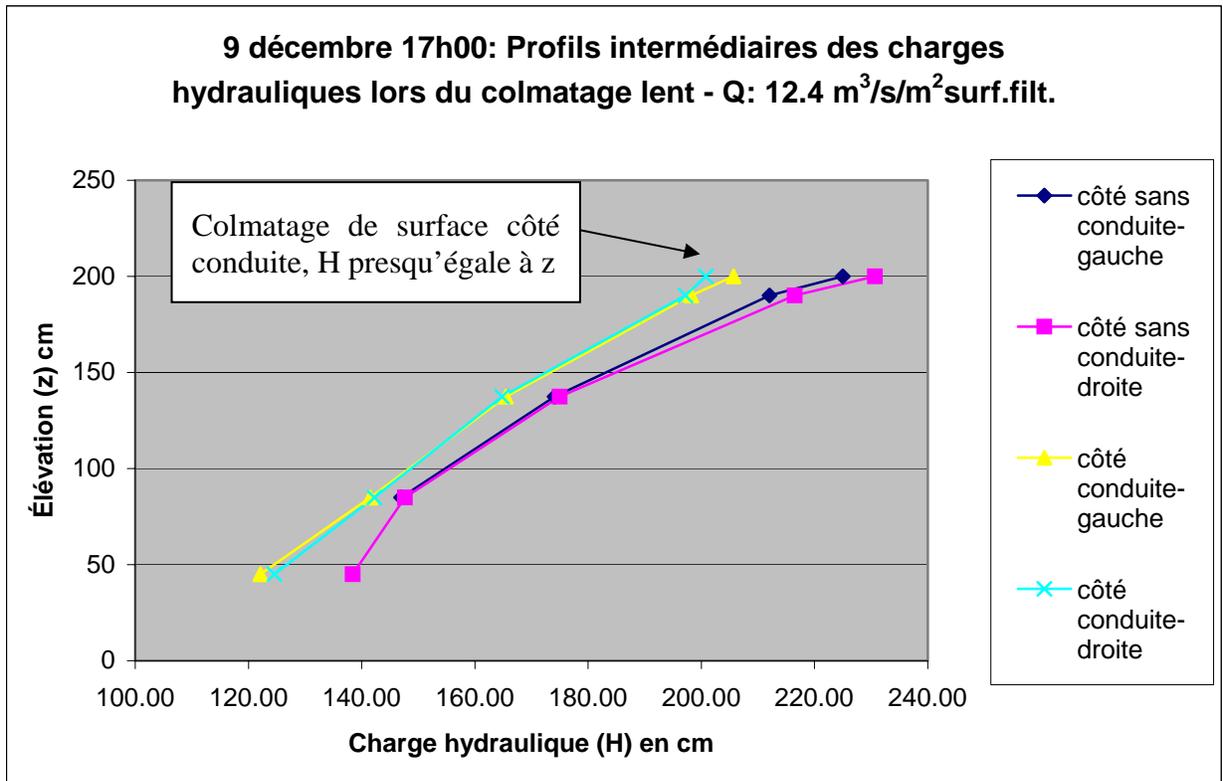


Figure 25 : Profils des charges hydrauliques à 17h00 le 9 décembre 2008 – Profils intermédiaires lors du colmatage lent

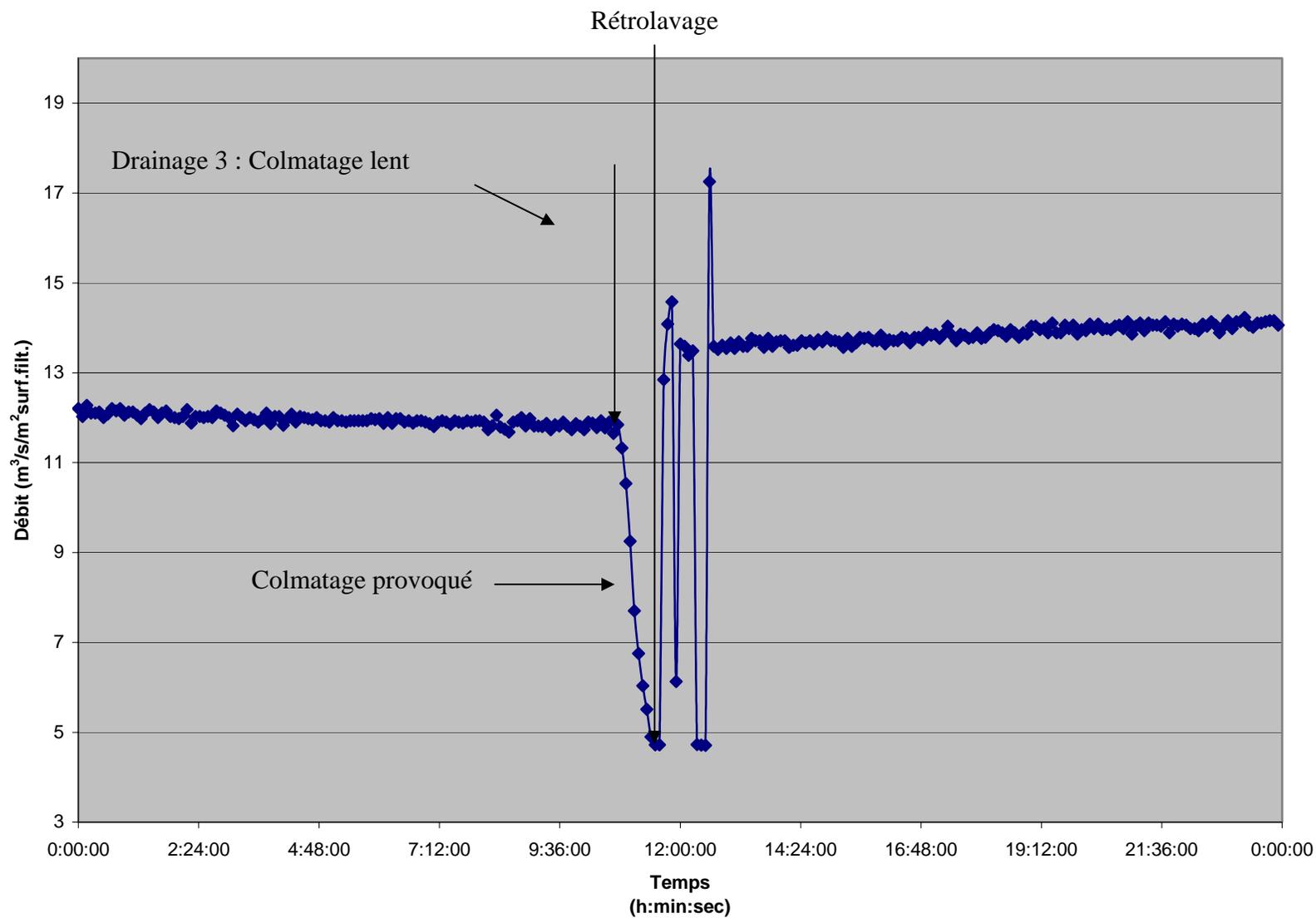


Figure 26 : Débit en fonction du temps le 10 décembre 2008

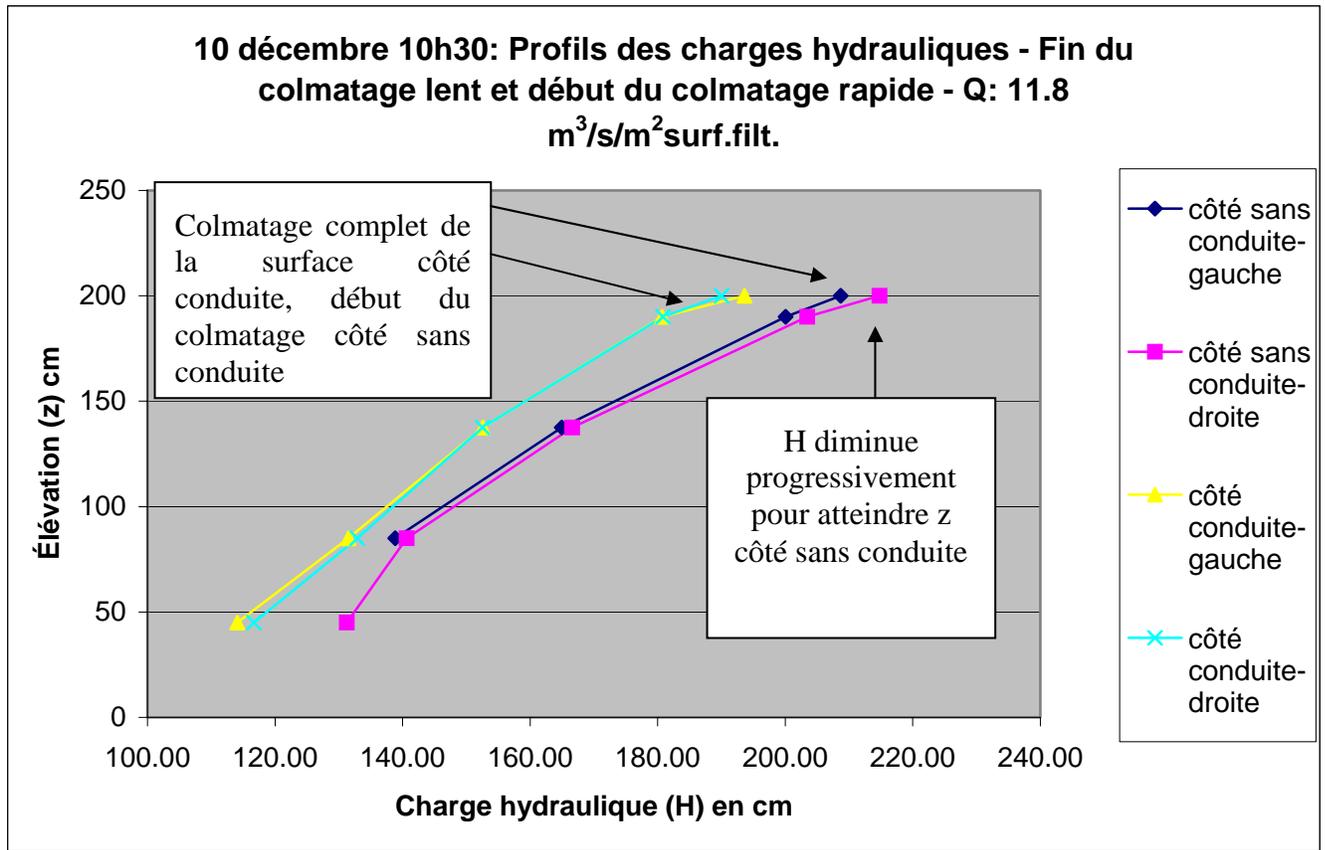


Figure 27 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 10h30 – Profils à la fin du colmatage lent

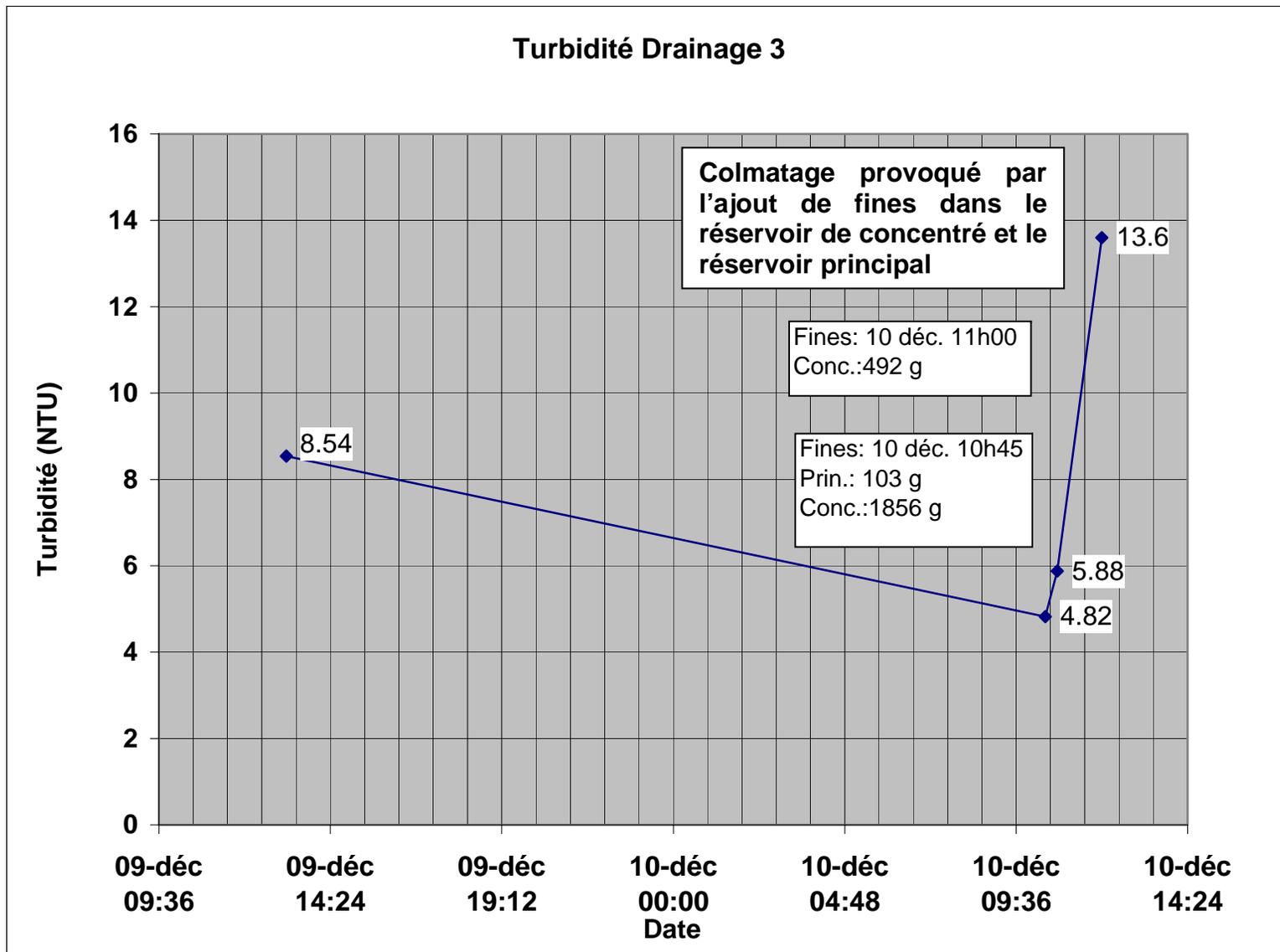


Figure 28 : Variation de la turbidité de l'eau circulant dans le bac d'essais en fonction du temps – drainage 3

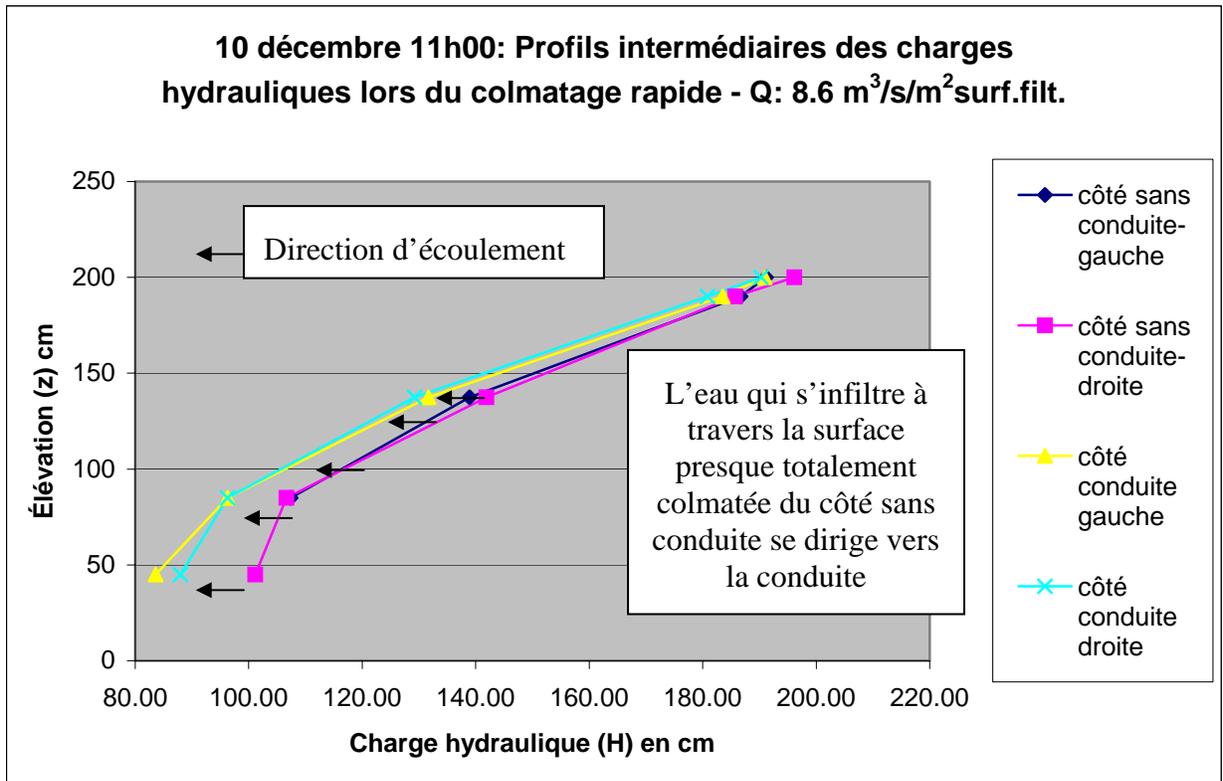


Figure 29 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 11h00 – Profils intermédiaires lors du colmatage provoqué (rapide)

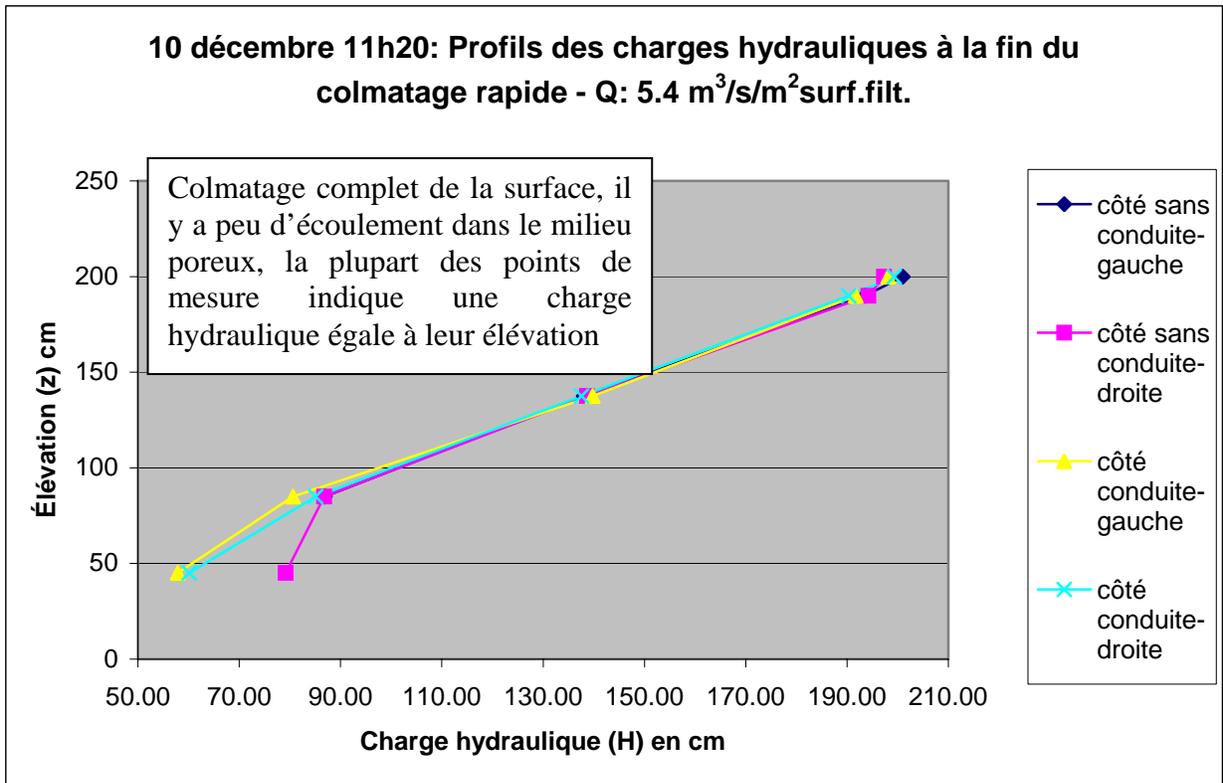


Figure 30 : Profils des charges hydrauliques le 10 décembre 2008 à 11h20 – Profils à la fin du colmatage provoqué (rapide)

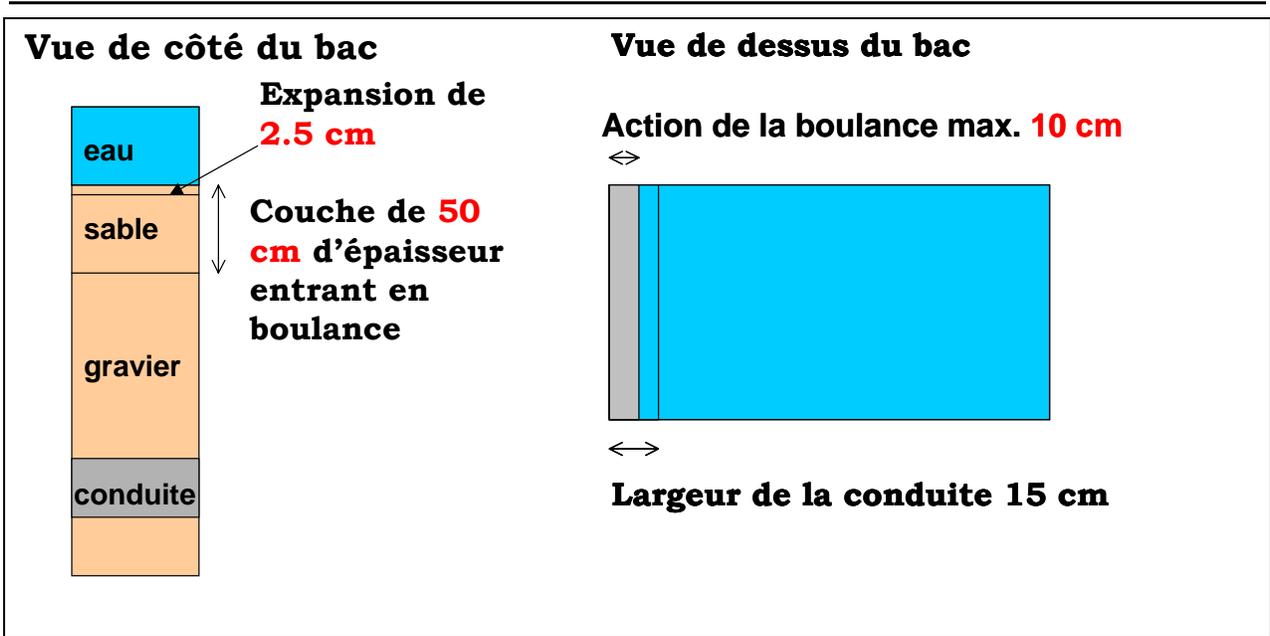


Figure 31 : Représentation du phénomène de boullance observé lors des essais de rétrolavage avec un débit de 0.0055 et 0.006 m³/s/m² surf.filt.