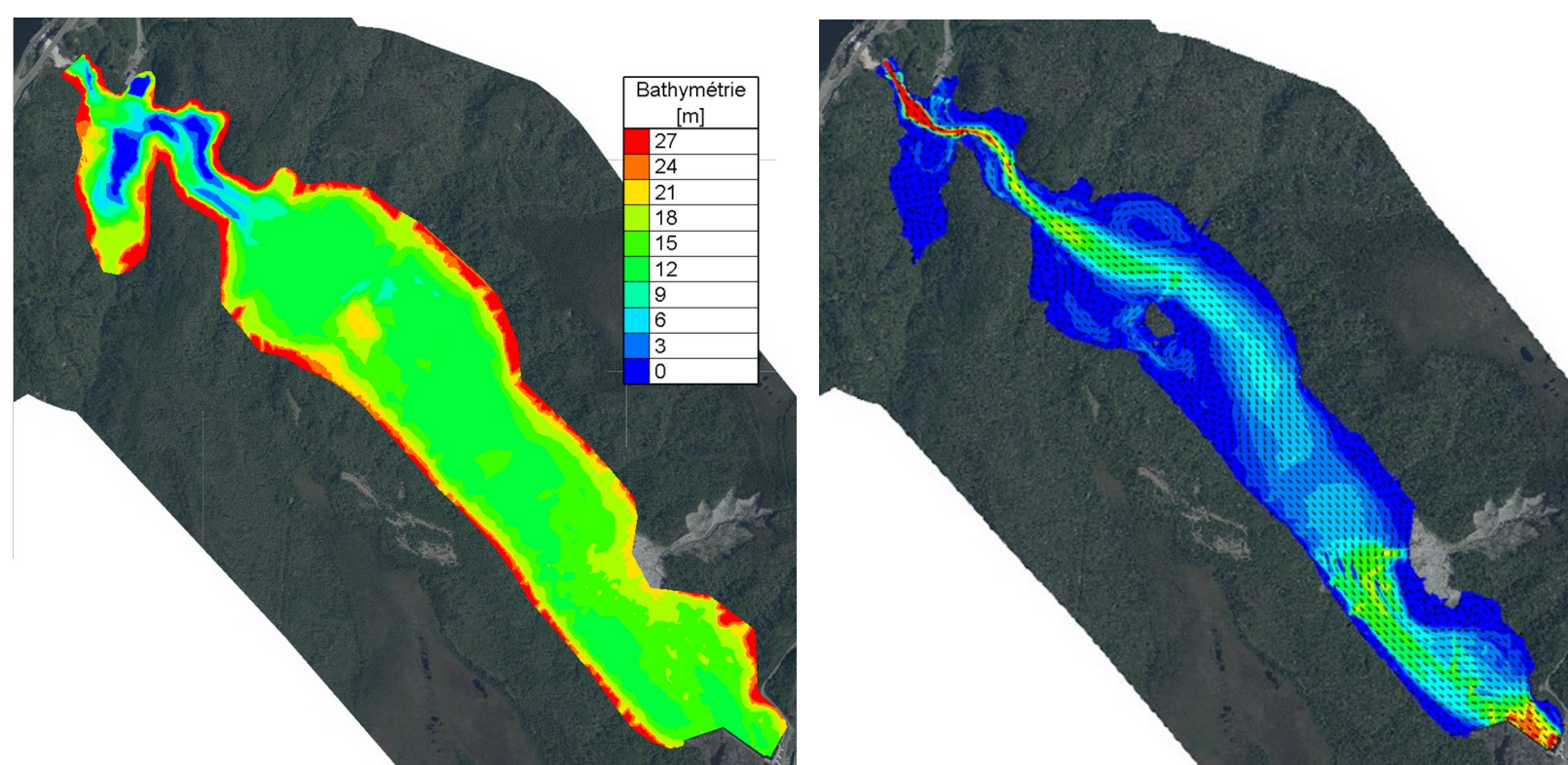




Ajout d'un troisième groupe turbine-alternateur à la centrale Sainte-Marguerite

Étude des conditions hydrauliques en rivière - Tronçon SM-1-SM-2 – 100%

No Logesdes: 4348-70030-017-01-0-BV-L

Préparé par :

Lasalle | NHC Inc.

9620 rue Saint-Patrick

LaSalle, QC H8R 1R8

Tel: 514.366.2970

www.lasallenhc.com

Préparé pour :

Hydro-Québec

75, boul. René-Lévesque Ouest, 3^e étage,

Québec, QC, H2Z 1A4

Au nom de :

Yanni Sodir, ing., MBA. Ing.

75, boul. René-Lévesque Ouest, 3^e étage,

Québec, QC, H2Z 1A4

17 février 2026

R.0735 - Rapport final, Rév. 00

Numéro de référence de Lasalle|NHC : 08008864

SUIVI DU DOCUMENT

Date	Révision No.	Révisé par	Émis pour
2025-11-13	00	Wael Taha et Maryse Bonneau-Lefebvre	Rapport 100% - Préliminaire
2026-02-17	00	Wael Taha et Maryse Bonneau-Lefebvre	Rapport 100% - Final

Rapport préparé par :



Florentin Anne
Candidat à la profession d'ingénieur (CPI)
No OIQ : 6062775

Rapport révisé par :



Maryse Bonneau-Lefebvre, ing., M.Ing.
Chargée de projet
No OIQ : 5003331



Wael Taha, ing., M.Ing.
Associé, Directeur de projet
No OIQ : 133365

Chemin d'accès au fichier LNI : S:\Etudes\! PROJETS_ACTIFS\8008864_Centrale-SM-3_Etude-Hydraulique\8_Rapport\1_Preliminaire\3_Conditions hydraulique en rivière\Rapport_60%\SM2-SM1

CLAUSE DE LIMITATION DE RESPONSABILITÉ

Ce document a été préparé par **Lasalle|NHC** de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif de **Hydro-Québec** et de leurs représentants autorisés dans le cadre spécifique du projet **Ajout d'un troisième groupe turbine-alternateur à la centrale Sainte-Marguerite**.

Le contenu de ce document ne peut être appliqué ou utilisé, en tout ou en partie, par ou à l'avantage d'autres parties sans l'autorisation écrite de **Lasalle|NHC**. Aucune autre garantie, expresse ou tacite, n'est accordée.

Lasalle|NHC et ses directeurs, associés, employés et mandataires n'assument aucune responsabilité à l'utilisation ou au recours du présent document ou de son contenu par des parties autres que **Hydro-Québec**.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
2	CONTEXTE & OBJECTIFS	2
3	DONNÉES	3
3.1	Système de référence et datum	3
3.2	Modèle numérique de terrain (MNT)	3
3.2.1	Données LiDAR	3
3.2.2	Données bathymétriques	3
3.3	Lignes d'eau et débits mesurés	5
3.4	Règles d'opération des aménagements de SM-2 et SM-1	6
3.5	Résistance hydraulique	7
4	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	9
4.1	Maillage	9
4.2	Conditions limites	9
4.3	Schéma numérique	10
5	SCÉNARIOS DE SIMULATION	11
5.1	Calage	11
5.2	Conditions de référence	11
5.3	Conditions futures	12
6	RÉSULTATS	15
6.1	Calage	15
6.2	Résultats de simulation	17
6.2.1	Scénario 1 (Débit de 167,0 m ³ /s)	17
6.2.2	Scénario 2 (Débit de 325,0 m ³ /s)	19
6.2.3	Scénario 3 (Débit de 144,2 m ³ /s)	20
6.2.4	Scénario 4 (Débit de 93,3 m ³ /s)	22
6.2.5	Scénario 5 (Débit de 525,0 m ³ /s)	23
6.3	Analyse de sensibilité	25
6.4	Comparaison des conditions de référence et future	26
6.4.1	Conditions A - module de débit de janvier	26
6.4.2	Conditions B - maximum de débit de la période janvier-février	29
6.4.3	Conditions C - module de débit de la période juin-juillet-août-septembre	31
6.4.4	Conditions D - module de débit de la période octobre-novembre	33
6.4.5	Synthèse des écarts	34
7	CONCLUSION & RECOMMANDATIONS	35

8 RÉFÉRENCES

37

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1	Classes d'utilisation du sol et coefficients de rugosité associés dans la zone d'étude	8
Tableau 2	Scénarios de simulation des conditions de référence	12
Tableau 3	Scénarios de simulation des conditions futures	12
Tableau 4	Conditions limites détaillées des scénarios de simulation	14
Tableau 5	Synthèse des écarts de vitesses d'écoulement et des niveaux d'eau	34

FIGURES

Figure 1	Tronçon SM-2-SM1 à l'étude	2
Figure 2	Localisation des données bathymétriques selon les sources	4
Figure 3	Modèle Numérique de Terrain complet (CGVD28)	5
Figure 4	Courbe de tarage de l'évacuateur de crue de SM-1	7
Figure 5	Limites amont (à gauche) et aval (à droite) du modèle	10
Figure 6	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 - Calage	15
Figure 7	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 - Calage	16
Figure 8	Différence entre les niveaux d'eau simulés et mesurés in situ	17
Figure 9	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 1	18
Figure 10	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 1	18
Figure 11	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 2	19
Figure 12	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 2	20
Figure 13	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 3	21
Figure 14	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 3	21
Figure 15	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 4	22
Figure 16	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 4	23
Figure 17	Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 5	24
Figure 18	Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 5	24
Figure 19	Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénarios 1 et 3	25
Figure 20	Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénarios 1 et 3	26
Figure 21	Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions A	27
Figure 22	Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions A	28
Figure 23	Position de la ligne d'eau	28
Figure 24	Comparaison des niveaux d'eau – Conditions A	29
Figure 25	Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions B	30
Figure 26	Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions B	30
Figure 27	Comparaison des niveaux d'eau – Conditions B	31
Figure 28	Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions C	32
Figure 29	Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions C	32

Figure 30 Comparaison des niveaux d'eau – Conditions C

33

1 INTRODUCTION

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'avant-projet de l'ajout du 3^e groupe Turbine Alternateur (T/A) à la centrale SM-3 située sur la rivière Sainte-Marguerite au PK 76 depuis son embouchure. La centrale de la Sainte-Marguerite-3 a été mise en service en 2002, alors que les centrales de la Sainte-Marguerite-1 et de la Sainte-Marguerite-2, situées en aval, étaient déjà installées et en exploitation sur la rivière. La centrale de SM-3 est principalement utilisée en période de pointe et fonctionne actuellement avec deux groupes T/A (débit d'équipement total actuel de 300 m³/s). Le projet vise l'ajout d'un 3^e groupe, pour un débit additionnel de 200 m³/s.

Le projet de suréquipement de la centrale de la Sainte-Marguerite-3 est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PEEIE) prévue à la section IV.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) et doit faire l'objet d'une autorisation délivrée par le gouvernement du Québec en vertu de l'article 31.5 de la Loi. Ainsi, les effets du projet sur l'environnement en phase d'exploitation sont à évaluer. L'exploitation de la centrale munie d'un 3^e groupe modifiera la gestion du réservoir SM-3 ainsi que la gestion des aménagements en aval.

L'étude des conditions hydrauliques en rivière du tronçon entre SM-2 et SM-1 consiste à évaluer l'impact du suréquipement de SM-3 sur les champs de vitesses et les niveaux d'eau. L'objectif de cette étude est d'alimenter l'EIE qui sera déposée pour le projet. Un modèle numérique bidimensionnel (2D) de ce tronçon a été monté pour cette étude. Il est utilisé pour comparer différents scénarios de simulation en conditions de référence et en conditions futures d'exploitation.

La section 2 présente le contexte et les objectifs du mandat. La section 3 présente les données utilisées pour ce projet. La section 4 décrit l'approche méthodologique. La section 5 expose les différents scénarios de simulation étudiés. La section 6 présente les résultats de simulation et finalement, la section 7 présente les conclusions et les recommandations.

2 CONTEXTE & OBJECTIFS

Le tronçon à l'étude est situé entre le déversoir de la centrale SM-2 et le barrage de la centrale SM-1 (PK 10 à 7) et est présenté dans la figure 1. Ce tronçon s'étend sur environ 2,4 km.



Figure 1 Tronçon SM-2-SM1 à l'étude

La centrale SM-2 a un débit d'équipement beaucoup plus faible (environ 70 m³/s) que la centrale SM-3 (débit d'équipement total actuel de 300 m³/s) et la capacité d'emmagasinement du réservoir de SM-2 entre les niveaux d'opération est faible (niveau minimum d'exploitation de 57,50 m et niveau maximum d'exploitation de 58,00 m en dehors de la période hivernale et niveau minimum d'exploitation de 56,80 m et niveau maximum d'exploitation de 57,55 m durant la période hivernale). Ainsi, des déversements à l'évacuateur de SM-2 sont déjà opérés en hiver et pourraient devenir plus fréquents suivant l'ajout du 3e groupe à la centrale SM-3.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de cette augmentation potentielle des débits déversés à SM-2 sur les champs de vitesses et les niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM-1 pour des périodes spécifiques de l'année. Un modèle numérique 2D de ce tronçon a été monté pour cette étude dans la plateforme de logiciel Telemac2D. Il est utilisé pour comparer différents les scénarios de simulation en conditions de référence et en conditions futures. Les débits liés aux choix des scénarios en conditions de référence et en conditions futures sont fournis par Hydro-Québec.

3 DONNÉES

3.1 Système de référence et datum

L'ensemble des données géographiques est exprimé selon la projection MTM 6 (NAD83). L'ensemble des données altimétriques est exprimé par rapport à la référence (datum) CGVD28.

3.2 Modèle numérique de terrain (MNT)

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) a été élaboré à partir des données bathymétriques et topographiques fournies par Hydro-Québec et est présenté dans cette section.

3.2.1 Données LiDAR

Des données topographiques relevées par LiDAR en octobre 2023 avec une résolution de 0,5 m ont été utilisées pour monter le MNT. Elles couvrent l'ensemble du tronçon SM-2-SM-1.

3.2.2 Données bathymétriques

Différentes sources de données bathymétriques ont été utilisées :

- Des données bathymétriques relevées lors d'une précédente étude menée par Lasalle|NHC (2007) qui couvrent la moitié aval du tronçon et se concentrent sur la retenue à proximité du barrage de SM-1;
- Des données bathymétriques relevées en 2023 qui couvrent majoritairement la zone amont incluant l'évacuateur de crue de SM-2 et la zone de la sortie de la centrale de SM-2;
- Des données bathymétriques relevées en juillet 2024 qui couvrent la majorité du tronçon.

La figure 2 présente la couverture des différentes sources de données bathymétriques. La figure montre que les données bathymétriques sont concentrées en amont et en aval de la zone d'étude. Cependant, puisque la partie centrale est également la plus profonde avec les vitesses plus faibles, une interpolation plus grossière est acceptable. Il faut aussi mentionner que les données de 2007 recoupant celles de 2024 qui ne concordaient pas ont été filtrées pour prioriser celles de 2024.

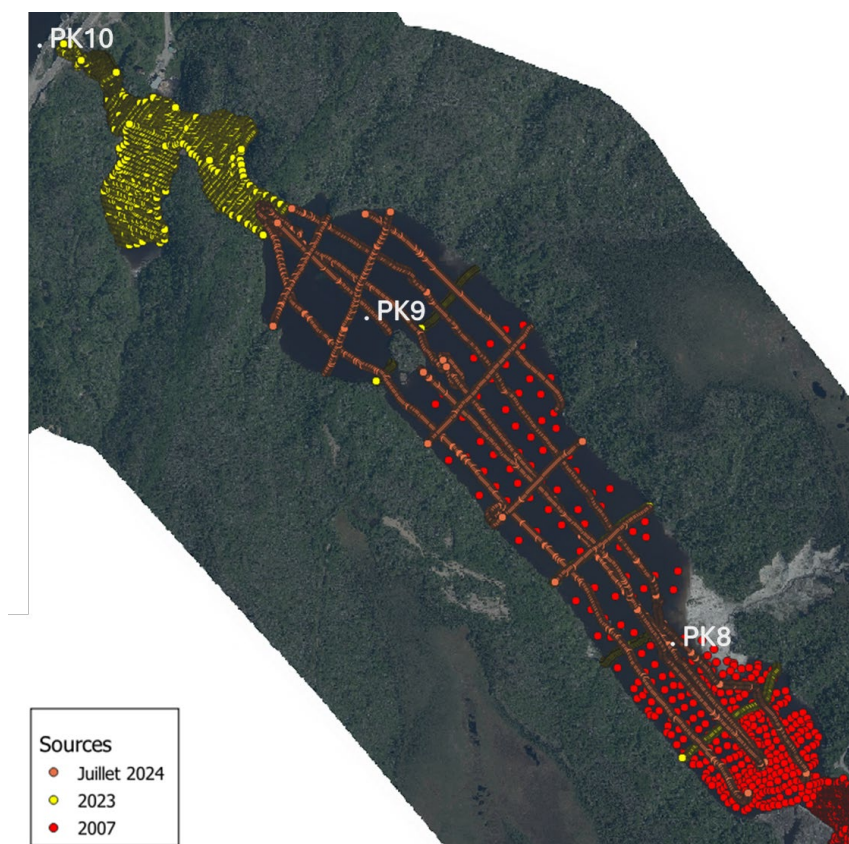


Figure 2 Localisation des données bathymétriques selon les sources

Il faut noter que la zone aval de la centrale de SM-2 n'est pas couverte par les données de 2023. Des points bathymétriques ont donc été ajoutés afin que les vitesses en sortie de cette zone soient les plus faibles possibles. Une valeur du fond dans cette zone de 0 m CGVD28 a été utilisée soit une valeur du même ordre de grandeur que la bathymétrie des zones profondes à proximité du site. Ainsi, cela permet de limiter les vitesses à la sortie de la centrale de SM-2 et de permettre à l'écoulement de se développer avant d'entrer dans la zone d'écoulement principal en assurant la stabilité du schéma numérique.

Une fois les données bathymétriques et topographiques rassemblées dans le même système d'information géographique (MTM zone 6) et rapportées à la référence altimétrique CGVD28, les données ont été importées dans le logiciel de prétraitement de données de BlueKenue. La bathymétrie résultante est illustrée à la figure 3.

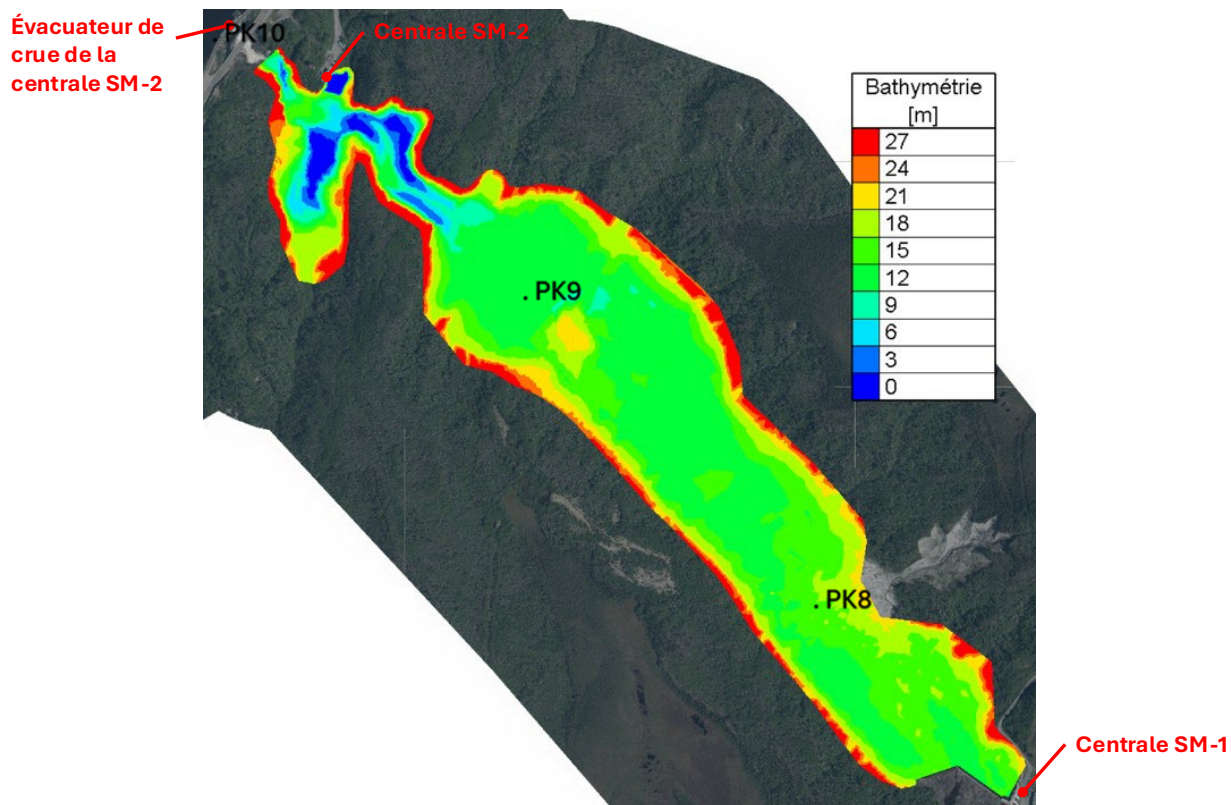


Figure 3 Modèle Numérique de Terrain complet (CGVD28)

3.3 Lignes d'eau et débits mesurés

Des lignes d'eau ont été relevées dans le réservoir de la centrale SM-1 lors de la campagne de mesure de données bathymétriques de juillet 2024. De plus, les débits turbinés et déversés à SM-2 lors de ces mesures ont été fournis par Hydro-Québec. Ces données sont utilisées lors du calage du modèle.

De plus, des mesures de débits turbinés et déversés à la centrale SM-2 ainsi que les niveaux d'eau en aval de SM-2, soit dans la retenue de SM-1, pour la période du 1^{er} juin 2009 au 1^{er} juin 2024 ont été fournies par Hydro-Québec. Ces données sont utilisées pour l'analyse hydrologique du tronçon SM-2-SM-1.

3.4 Règles d'opération des aménagements de SM-2 et SM-1

Les règles d'opérations des aménagements des centrales de SM-2 et SM-1 sont les suivantes:

- Les débits turbinés maximum à la centrale de SM-2 varient de 70 à 79 m³/s avec une moyenne de 75 m³/s. Lorsque les débits sont inférieurs à cette valeur, l'ensemble des débits passera par la centrale. Si les débits sont supérieurs à cette valeur, la portion du débit excédent 75 m³/s est déversée par l'évacuateur de SM-2;
- Le pertuis no. 1 de l'évacuateur de SM-2 est utilisé en priorité l'hiver pour déverser jusqu'à environ 240 m³/s (voir rapport glace, Lasalle|NHC 2024);
- Le débit d'équipement de la centrale de SM-1 est de 190 m³/s avec trois groupes;
- Le premier groupe de la centrale SM-1 a un débit d'équipement de 50 m³/s. À partir des données fournies, il est noté que ce groupe est utilisé en priorité jusqu'à sa pleine capacité avant de démarrer les autres groupes;
- Les deuxième et troisième groupes de SM-1 ont des débits d'équipement de 70 m³/s chacun. Ils sont opérés de telle sorte que le débit turbiné excédant le débit d'équipement du premier groupe soit également réparti entre les deux autres groupes;
- Les ouvrages d'évacuation du barrage de SM-1 visent à maintenir la retenue à un niveau d'eau de 20,0 m jusqu'à un débit d'évacuation de 460 m³/s. Au-delà de ce débit, le niveau augmente suivant une courbe de tarage fournie par Hydro-Québec (voir Plan de gestion des eaux, CIMA 2013) présentée à la figure 4. Ce niveau est contrôlé par :
 - L'évacuateur de crue composé d'une vanne Obermeyer de 120 m de long (20 sections de 6 mètres) avec une crête dont l'élévation entre 18,8 m et 20,0 m;
 - Une rehausse fusible en bois et acier de 81 m de long avec un niveau de déclenchement de 21,2 m et une crête à l'élévation 20,0 ou 18,8 m;
 - Une petite crête déversante fixe en rive droite à l'élévation 20,0 m sur une longueur de 16 m.
- Si l'une ou les deux centrales, soit SM-1 et SM-2, sont à l'arrêt, le débit est intégralement acheminé par les évacuateurs de crue. Selon Hydro-Québec, il n'existe aucune exigence en termes de débit minimal à assurer à l'aval de SM-1. De plus, le SPGER de SM-2 ne mentionne également aucune exigence spécifique en termes de débit minimal (voir SPGER, WSP, 2020).

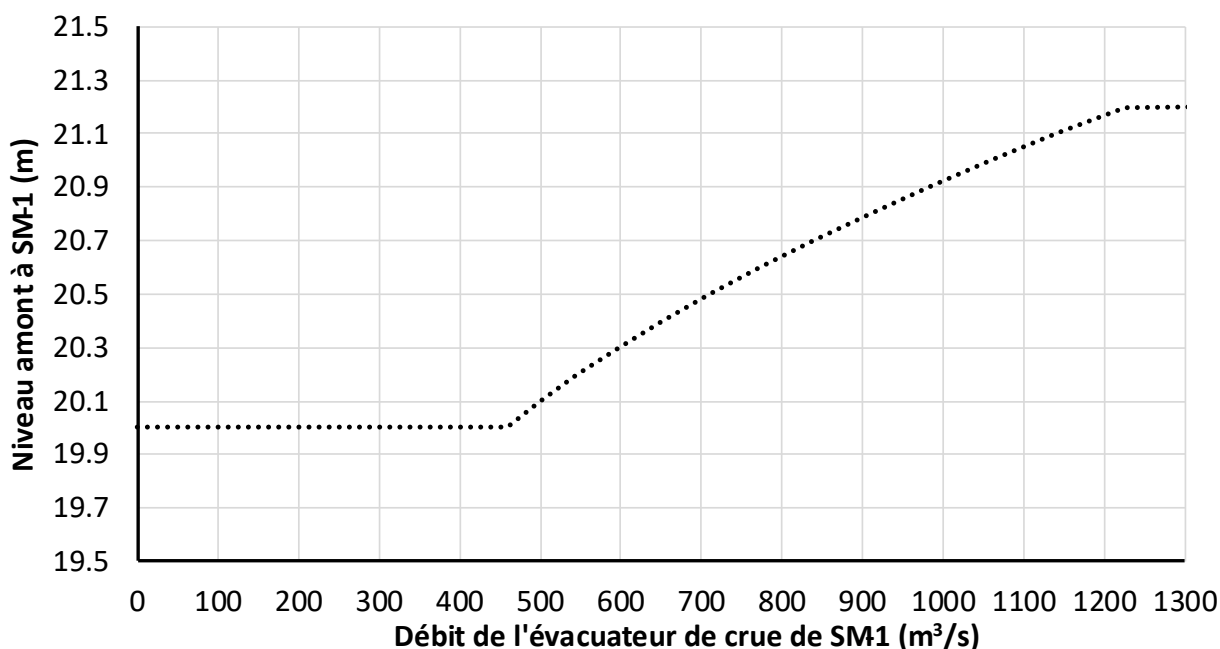


Figure 4 Courbe de tarage de l'évacuateur de crue de SM-1

3.5 Résistance hydraulique

Pour déterminer la résistance hydraulique, la matrice d'utilisation du sol de l'ensemble de la province, obtenue auprès du MELCCFP dans le cadre d'un autre projet, a été convertie en polygones puis révisée afin de correspondre aux informations visibles sur les images satellites de la zone d'étude. Le tronçon modélisé est situé dans une région forestière où l'écoulement est principalement limité au lit de la rivière, sans plaine inondable. Ainsi, la majorité des polygones correspondent à des zones forestières, avec quelques secteurs identifiés comme zones humides, sols nus ou landes.

Le tableau 1 donne les gammes de valeurs de coefficients de rugosité (n de Manning) typiquement utilisées pour les classes d'utilisation du sol résultantes, ainsi que les valeurs appliquées dans le modèle. Le coefficient de Manning attribué initialement à la classe «Aquatique» pour le fond du chenal principal est tiré d'une précédente étude menée par Lasalle|NHC (2007). Le coefficient de Manning de la classe «Forestier» a été attribué au sol de la rive.

Tableau 1 Classes d'utilisation du sol et coefficients de rugosité associés dans la zone d'étude

Classes	Description	n de Manning	
		Gammes recommandées	Valeur appliquée
Forestier	Forêt (dense ou clairsemée)	0,08 – 0,2	0,14
Humide	Tourbière, marais, ou marécage – avec arbustes ou végétation clairsemée	0,05 – 0,085	0,07
Aquatique	Eau, lac, réservoir	0,025 – 0,05	0,033
Sol nu et lande	Sol nu, roc-sol à nu ou dénudé	0,023 – 0,036	0,033

4 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

4.1 Maillage

Les mailles triangulaires du modèle ont une taille caractéristique de 2 m par défaut. Dans les 140 premiers mètres en aval de l'évacuateur de crue de SM-2, les éléments ont une taille caractéristique de 1 m pour mieux résoudre les phénomènes hydrauliques de cette zone de vitesses élevées à l'entrée de la retenue. Le maillage du modèle complet comprend environ 424 000 éléments.

4.2 Conditions limites

La figure 4 illustre les limites de la zone d'étude couverte par le modèle numérique hydrodynamique. Les limites amont et aval présentées sont les suivantes :

- Sortie de la centrale de SM-2;
- Pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2;
- Pertuis no. 2 de l'évacuateur de crue de SM-2;
- Pertuis no. 3 et 4 de l'évacuateur de crue de SM-2;
- Entrée A de la prise d'eau du premier groupe de SM-1;
- Entrée B de la prise d'eau du deuxième groupe de SM-1;
- Entrée C de la prise d'eau du troisième groupe de SM-1;
- Évacuateur de crue de SM-1.

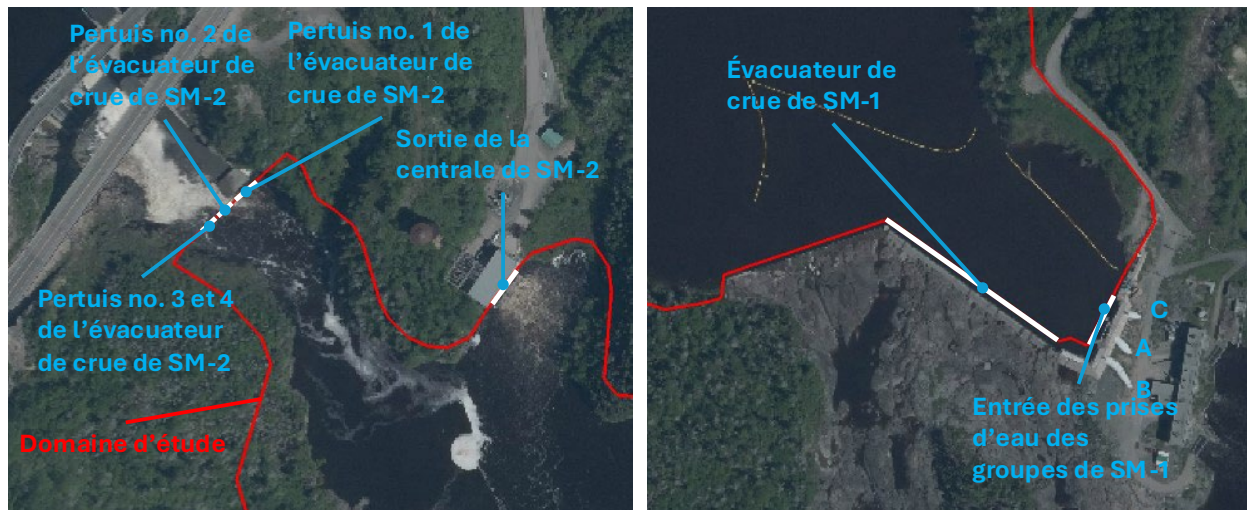


Figure 5 Limites amont (à gauche) et aval (à droite) du modèle

Ces limites sont choisies pour représenter le plus fidèlement possible les conditions d'opérations des aménagements SM-1 et SM-2 décrites dans la section 3.4.

Dans le modèle numérique, une condition de débit est imposée sur toutes les limites amont du modèle. À l'aval du modèle, une condition de niveau d'eau est imposée à l'évacuateur de crue selon la courbe de tarage présentée à la figure 4, tandis qu'une condition de débit est imposée aux entrées A, B et C de la prise d'eau de la centrale SM-1.

4.3 Schéma numérique

Les conditions hydrodynamiques ont été modélisées à l'aide de Telemac 2D, un logiciel de modélisation numérique d'écoulement à surface libre reconnu à l'international résolvant les équations de Saint-Venant.

Il est à noter que le modèle numérique Telemac 2D est bidimensionnel, c'est-à-dire que les vitesses d'écoulement fournies par le modèle sont intégrées sur la verticale, et donc uniformes sur toute la colonne d'eau en un point donné. Le logiciel calcule la vitesse et la profondeur d'eau sur tout le domaine en fonction de la bathymétrie et de la rugosité du fond (nombre de Manning). Ce modèle est ensuite calé à partir de données hydrodynamiques fournies.

Les paramètres de simulations sont les suivants :

- Pas de temps fixe de 0,2 s;
- Temps simulé de 20h permettant d'atteindre un régime développé;
- Modèle de turbulence de Smagorinsky (LES);

5 SCÉNARIOS DE SIMULATION

5.1 Calage

Les conditions de simulation du calage sont extraites à partir des données fournies par Hydro-Québec.

Les lignes d'eau qui ont été prises dans la retenue de la centrale SM-1 lors de la campagne de mesure de données bathymétriques de juillet 2024 sont utilisées pour extraire les niveaux d'eau près de l'évacuateur de crue de SM-1. La moyenne de ces niveaux étant de 19,82 m, cette valeur est utilisée comme condition limite aval du modèle pour la simulation de calage.

La centrale de SM-2 est à l'arrêt durant cette condition tandis que le débit déversé est de 76,3 m³/s. Il est supposé que l'ensemble du débit passe par le pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. En effet, si ce faible débit passait par les autres pertuis de SM-2, les résultats globaux demeureraient inchangés. Ces conditions hydrauliques ont été choisies pour le scénario du calage. Les conditions limites du calage du modèle sont présentées au tableau 4 qui résume les conditions limites du modèle pour les différents scénarios.

Il faut noter que cette faible condition de débit est choisie, car elle est la seule pour laquelle des mesures de niveaux d'eau dans la zone d'étude sont disponibles. Une condition de débit supérieur aurait permis de confirmer que le modèle représente bien la pente hydraulique de la zone d'étude pour une plus large gamme de débit.

5.2 Conditions de référence

Hydro-Québec a fourni les débits saisonniers en conditions de référence sortant de l'aménagement de la centrale de SM-2 présentés dans le tableau 2. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- La condition A du module de débit de janvier de 167,0 m³/s;
- La condition B du maximum de débit de la période janvier-février de 325,0 m³/s;
- La condition C du module de débit de la période juin-juillet-août-septembre de 144,2 m³/s;
- La condition D du module de débit de la période octobre-novembre de 93,3 m³/s.

Il est à noter que certaines conditions hydrauliques proches ont été regroupées dans un même scénario de simulation, car elles devraient produire des résultats similaires. Pour valider cette hypothèse, les résultats des scénarios 1 et 3 sont comparés pour effectuer une analyse de sensibilité aux petites variations de débits (< 25 m³/s).

Les conditions hydrauliques utilisées pour les scénarios de simulation sont en gras dans les tableaux.

Tableau 2 Scénarios de simulation des conditions de référence

Condition	Saisons représentées	Débit à SM-2 (m ³ /s)	Scénario de simulation
A	Module janvier	167,0	1
B	Max janvier-février	325,0	2
C	Module juin-juillet-août-septembre	144,2	3
D	Module octobre-novembre	93,3	4

5.3 Conditions futures

Hydro-Québec a fourni les débits saisonniers en conditions futures sortant de l'aménagement de la centrale de SM-2 présentés dans le tableau 3. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- La condition A du module de débit de janvier de 307,1 m³/s;
- La condition B du maximum de débit de la période janvier-février de 525,0 m³/s;
- La condition C du module de débit de la période juin-juillet-août-septembre de 91,2 m³/s;
- La condition D du module de débit de la période octobre-novembre de 93,0 m³/s.

Tableau 3 Scénarios de simulation des conditions futures

Condition	Saisons représentées	Débit à SM-2 (m ³ /s)	Scénario de simulation
A	Module janvier	307,1	2
B	Max janvier-février	525,0	5
C	Module juin-juillet-août-septembre	91,2	4
D	Module octobre-novembre	93,0	4

Comme les débits associés aux conditions futures A, C et D sont très similaires aux débits associés aux conditions hydrauliques de référence, chaque condition hydraulique future est analysée à partir des résultats du scénario de simulation de référence qui la représente. Par exemple, la condition A future s'apparente à la condition B de référence par leur débit. Elles seront donc toutes

les deux représentées par le scénario 2. Seule la condition future B, qui n'a pas d'équivalent en conditions de référence, est ajoutée comme scénario 5.

En prenant en compte les différentes contraintes d'opération présentées à la section 3.4, les conditions limites des différents scénarios de simulation sont présentées dans le tableau 4. Il faut noter que la différence de débit entre l'entrée du modèle et les prises d'eau des groupes de SM-1 est évacuée par l'évacuateur de crue de SM-1 opéré selon la courbe de tarage de la figure 4.

Tableau 4 Conditions limites détaillées des scénarios de simulation

Scénarios	Débits (m ³ /s)							Niveau à l'évacuateur de crue de SM-1 (m)
	Sortie de la centrale de SM-2	Pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2	Pertuis no. 2 de l'évacuateur de crue de SM-2	Pertuis no. 3 et 4 de l'évacuateur de crue de SM-2	Entrée A de la prise d'eau du premier groupe SM-1	Entrée B de la prise d'eau du deuxième groupe SM-1	Entrée C de la prise d'eau du troisième groupe SM-1	
Calage	0,0	76,3	0,0	0,0	50,0	13,15	13,15	19,82
1	75,0	92,0	0,0	0,0	50,0	58,5	58,5	20,0
2	75,0	250,0	0,0	0,0	50,0	70,0	70,0	20,0
3	75,0	69,2	0,0	0,0	50,0	47,1	47,1	20,0
4	75,0	18,0	0,0	0,0	50,0	21,65	21,65	20,0
5	75,0	280,0	170,0	0,0	50,0	70,0	70,0	20,0

6 RÉSULTATS

6.1 Calage

Les résultats du scénario de calage sont présentés aux figure 6 et figure 7 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement.

Il est noté que l'écoulement à l'amont est concentré dans l'axe du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. De plus, la quasi-totalité de l'écoulement se fait à une vitesse faible ($< 0,2$ m/s) ce qui le rend peu sensible aux modifications de la rugosité du fond.

Il est aussi observé que les niveaux d'eau varient entre 19,825 m à la sortie du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2 et 19,814 m à la prise d'eau de SM-1. Cette faible différence de niveau d'eau de 1,1 cm entre l'amont et l'aval s'explique par les faibles vitesses de l'écoulement générant de très faibles pertes de charge.

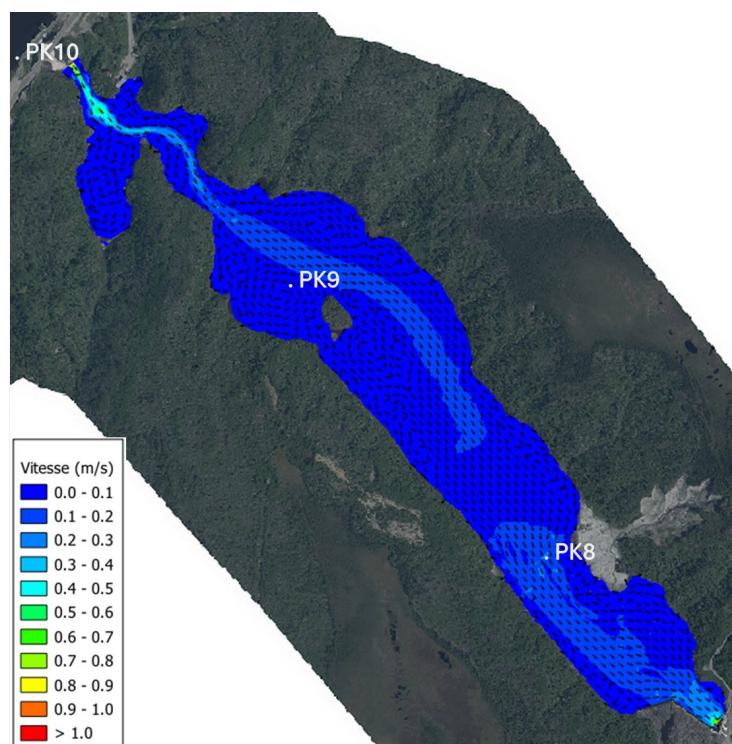


Figure 6 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 - Calage

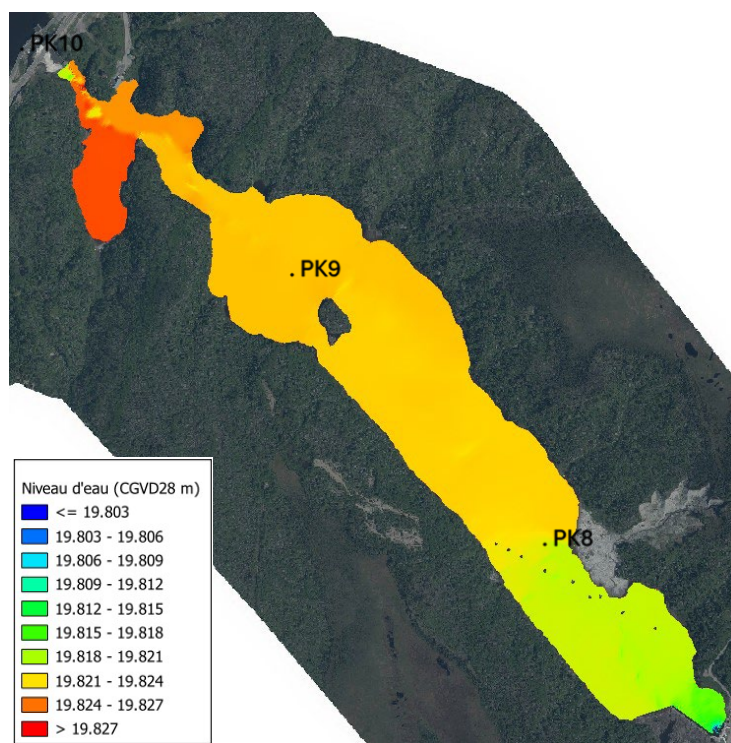


Figure 7 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 - Calage

La figure 8 présente les différences de niveaux d'eau entre le scénario de calage et les mesures in situ aux points de relevés. Cette figure permet d'observer que, à l'exception des zones de mesures potentiellement affectées par des problèmes de réception du GPS (à cause de la topographie et de la végétation en rive), la majorité des niveaux simulés ont un écart absolu inférieur à 2 cm avec ceux mesurés in situ. Le modèle représente donc bien les conditions hydrauliques dans le domaine à l'étude.

Rappelons que cette faible condition de débit est choisie, car elle est la seule pour laquelle des mesures de niveaux d'eau dans la zone d'étude sont disponibles. Une condition avec une valeur de débit supérieure aurait permis de confirmer que le modèle représente bien la pente hydraulique de la zone d'étude pour une plus large gamme de débit.

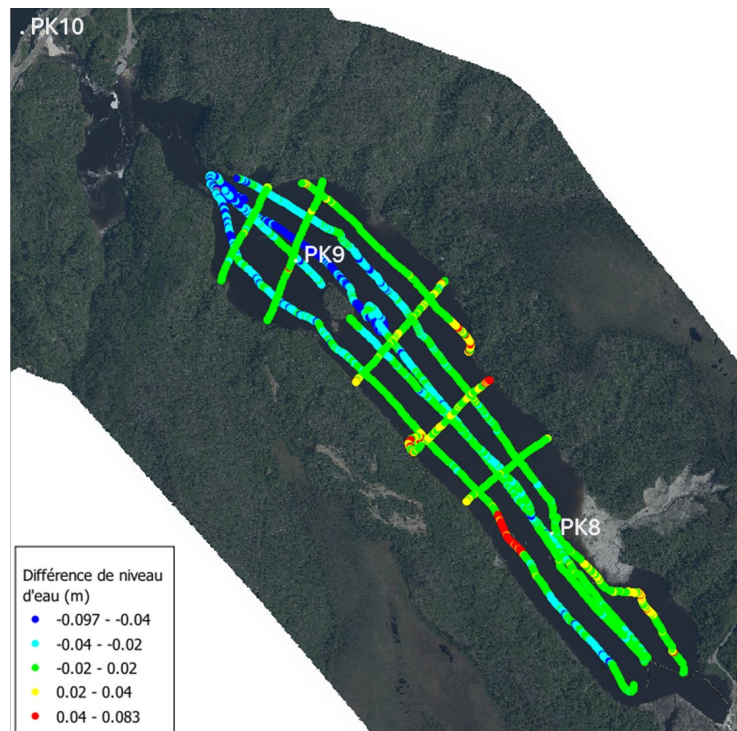


Figure 8 Différence entre les niveaux d'eau simulés et mesurés in situ

6.2 Résultats de simulation

6.2.1 Scénario 1 (Débit de 167,0 m³/s)

Les résultats du scénario 1 sont présentés aux figure 9 et figure 10 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement. Ce scénario représente la condition A de référence.

Il est noté que l'écoulement amont est majoritairement concentré dans l'axe du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. Un chenal préférentiel est noté dans la partie centrale de la retenue avec une accélération à l'approche de la prise d'eau de la centrale de SM-1. De plus, la quasi-totalité de la zone d'écoulement principal se fait à une vitesse inférieure à 0,4 m/s. Un écoulement secondaire est observé dans le bras à droite de l'îlot amont situé immédiatement en aval du PK 9 avec des vitesses très faibles (<0,2 m/s).

Il est aussi observé que le niveau d'eau est de 20,034 m à la sortie de la centrale de SM-2. Cette différence de niveau de 3,4 cm entre l'amont et l'aval s'explique par les faibles vitesses de l'écoulement.

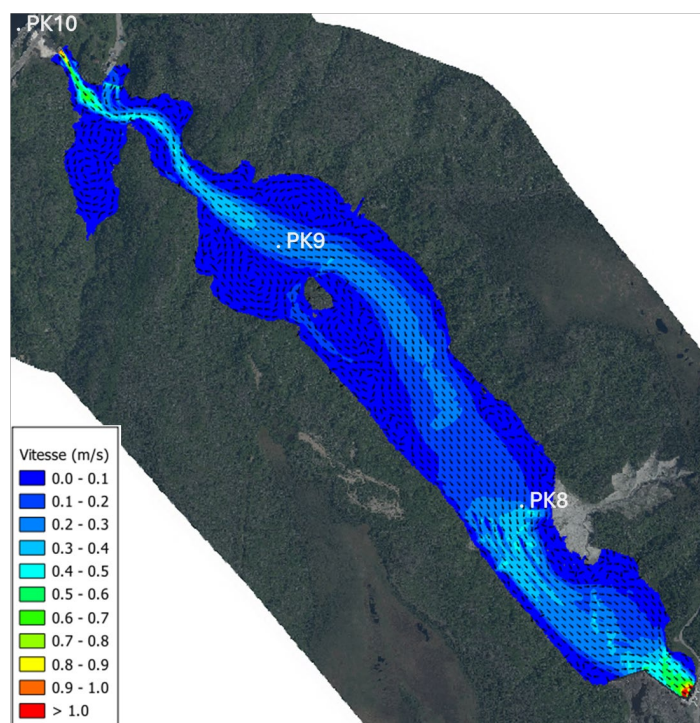


Figure 9 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 1

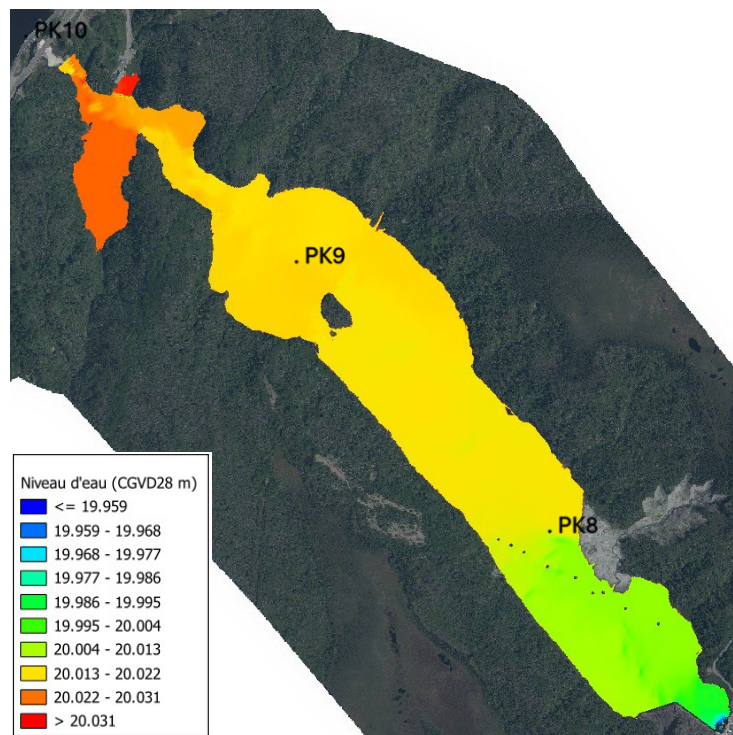


Figure 10 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 1

6.2.2 Scénario 2 (Débit de 325,0 m³/s)

Les résultats du scénario 2 sont présentés aux figure 11 et figure 12 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement. Ce scénario représente la condition B de référence et la condition A future.

Il est noté que l'écoulement amont est majoritairement concentré dans l'axe du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2 avec un chenal préférentiel qui se développe au centre de la retenue. Les vitesses dans ce chenal sont inférieures à 0,8 m/s. Un écoulement secondaire est observé à droite de l'îlot amont situé immédiatement en aval du PK 9 avec des vitesses inférieures à 0,3 m/s. Une restriction est notée à la limite aval de la partie large de la retenue à proximité du PK 8 avec des vitesses qui atteignent 0,7 m/s. En aval de cette restriction, les vitesses ralentissent légèrement puis réaccélèrent à l'approche de la prise d'eau de la centrale de SM-1.

Il est aussi observé que le niveau d'eau est de 20,119 m à la sortie de la centrale de SM-2. Cette différence de niveau d'eau de 11,9 cm entre l'amont et l'aval s'explique par l'augmentation des vitesses d'écoulement, particulièrement dans la restriction sur la partie aval de la retenue. La majorité du gradient de niveau d'eau se retrouve à la restriction de passage sur la partie aval de la retenue. En effet, le niveau d'eau en amont de cette restriction est de 20,095 m ce qui donne une différence de niveau avec l'aval de 9,5 cm.

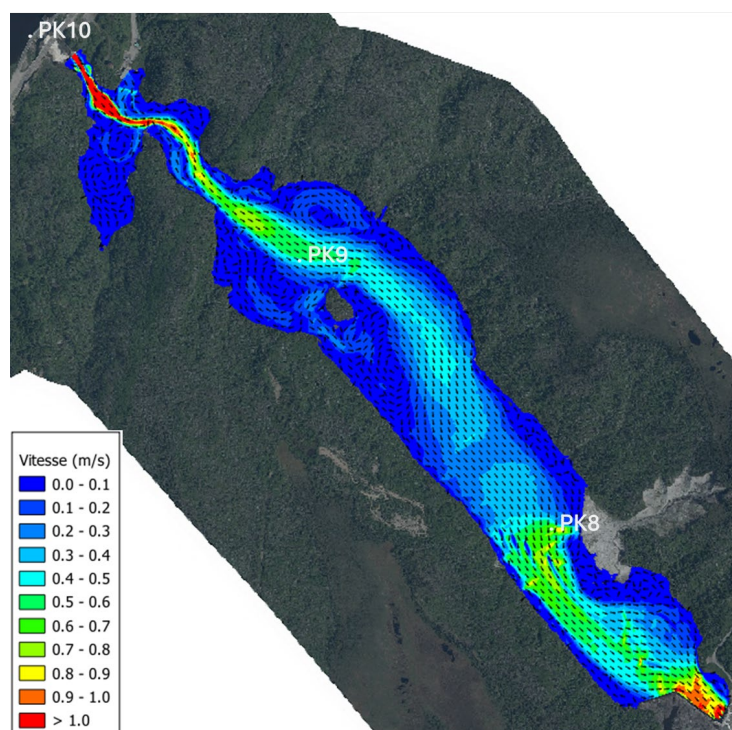


Figure 11 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 2

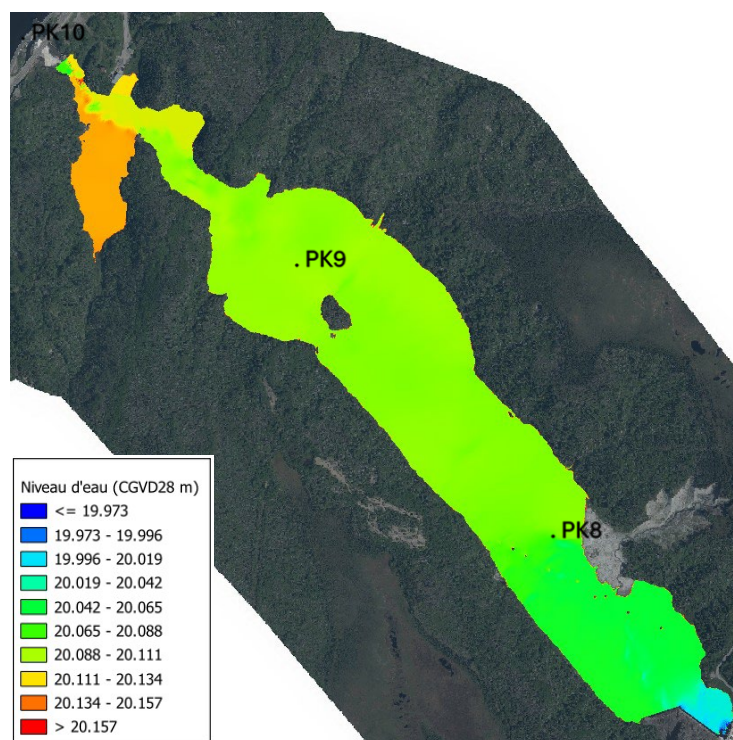


Figure 12 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 2

6.2.3 Scénario 3 (Débit de 144,2 m³/s)

Les résultats du scénario 3 sont présentés aux figure 13 et figure 14 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement. Ce scénario représente la condition C de référence.

Il est noté que l'écoulement amont est majoritairement concentré dans l'axe du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2 avec un chenal préférentiel qui se développe au centre de la retenue. Les vitesses dans ce chenal sont inférieures à 0,4 m/s. Un écoulement secondaire est observé à droite de l'îlot amont situé immédiatement en aval du PK 9 avec des vitesses inférieures à 0,2 m/s.

Il est aussi observé que le niveau d'eau est de 20,025 m à la sortie de la centrale de SM-2. Cette différence de niveau de 2,5 cm entre l'amont et l'aval s'explique par les faibles vitesses de l'écoulement.

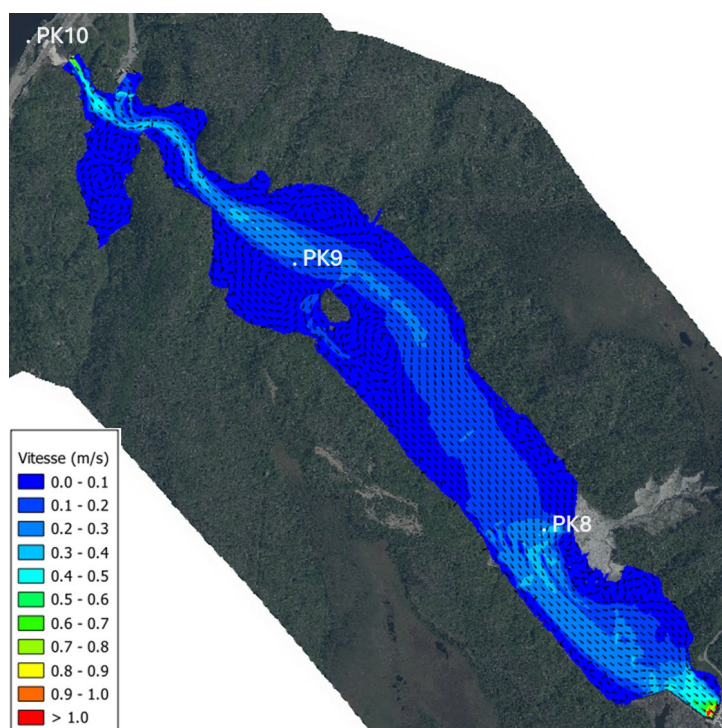


Figure 13 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 3

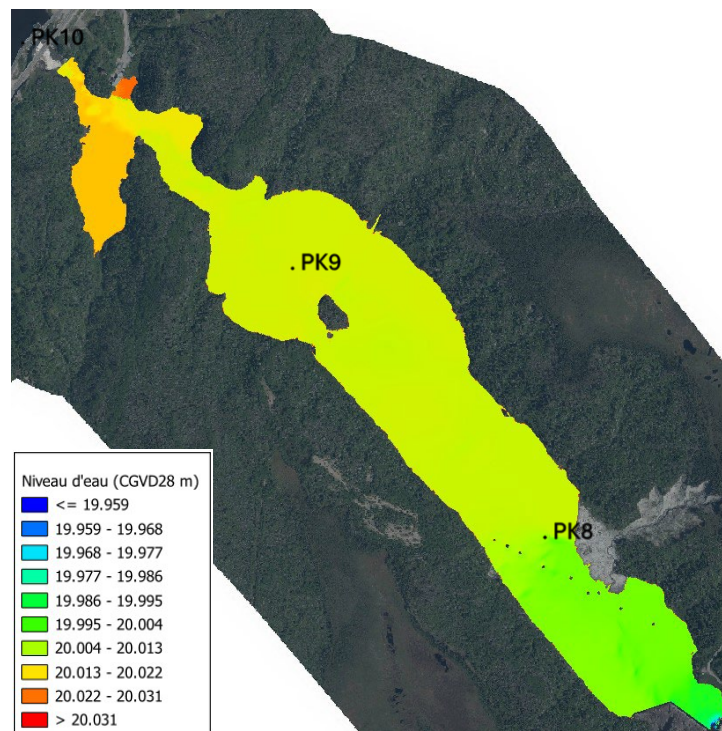


Figure 14 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 3

6.2.4 Scénario 4 (Débit de 93,3 m³/s)

Les résultats du scénario 4 sont présentés aux figure 15 et figure 16 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement. Ce scénario représente la condition D de référence et les conditions C et D futures.

Il est noté que l'écoulement amont est majoritairement concentré à la sortie de la centrale de SM-2 avec un chenal préférentiel qui se développe au centre de la retenue. Les vitesses dans ce chenal sont inférieures à 0,3 m/s. Aucun écoulement secondaire n'est observé à droite de l'îlot amont situé immédiatement en aval du PK 9.

Il est aussi observé que le niveau d'eau est de 20,009 m à la sortie de la centrale de SM-2. Cette différence de niveau négligeable de 0,9 cm entre l'amont et l'aval s'explique par les faibles vitesses de l'écoulement.

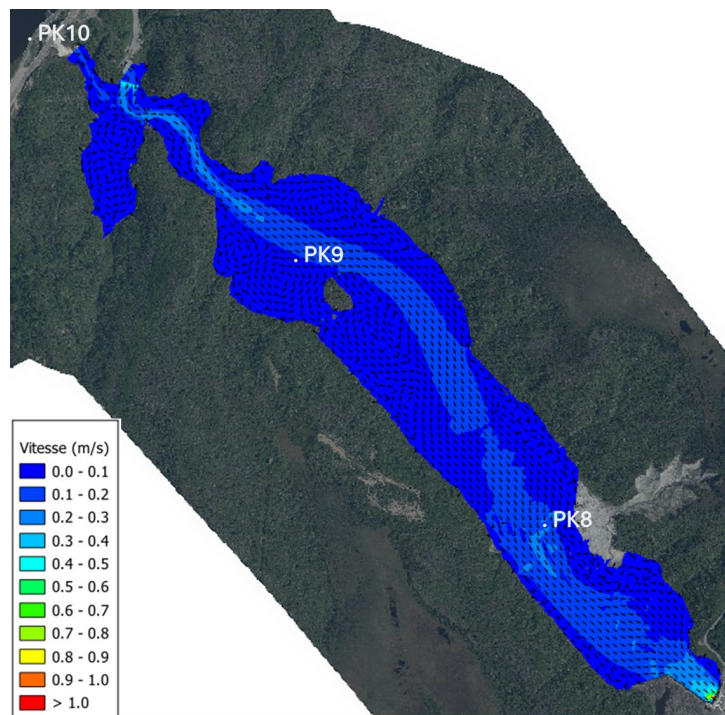


Figure 15 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 4

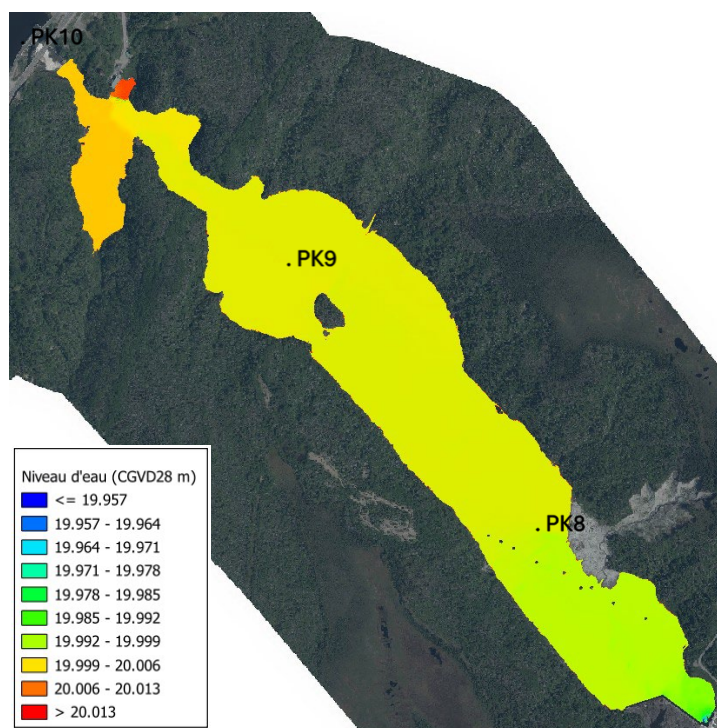


Figure 16 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 4

6.2.5 Scénario 5 (Débit de 525,0 m³/s)

Les résultats du scénario 4 sont présentés aux figure 17 et figure 18 qui illustrent les champs de vitesses et les niveaux d'eau, respectivement. Ce scénario représente la condition B future.

Il est noté que l'écoulement amont est majoritairement concentré dans l'axe du pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2 avec un chenal préférentiel qui se développe au centre de la retenue. Les vitesses dans ce chenal sont inférieures à 1,6 m/s. Un écoulement secondaire est observé à droite de l'îlot amont situé immédiatement en aval du PK 9 avec des vitesses inférieures à 0,6 m/s. Une restriction est notée à la limite aval de la partie large de la retenue à proximité du PK 8 avec des vitesses qui atteignent 1,1 m/s. En aval de cette restriction, les vitesses ralentissent légèrement puis réaccélèrent à l'approche de la prise d'eau de la centrale de SM-1.

Il est aussi observé que le niveau d'eau est de 20,309 m à la sortie de la centrale de SM-2. Cette différence de niveau d'eau de 30,9 cm entre l'amont et l'aval s'explique par l'augmentation des vitesses d'écoulement, particulièrement dans la restriction sur la partie aval de la retenue à proximité du PK 8. La moitié du gradient de niveau d'eau se retrouve à la restriction de passage sur la partie aval de la retenue. En effet, le niveau d'eau en amont de cette restriction est de 20,165 m ce qui donne une différence de niveau avec l'aval de 16,5 cm.

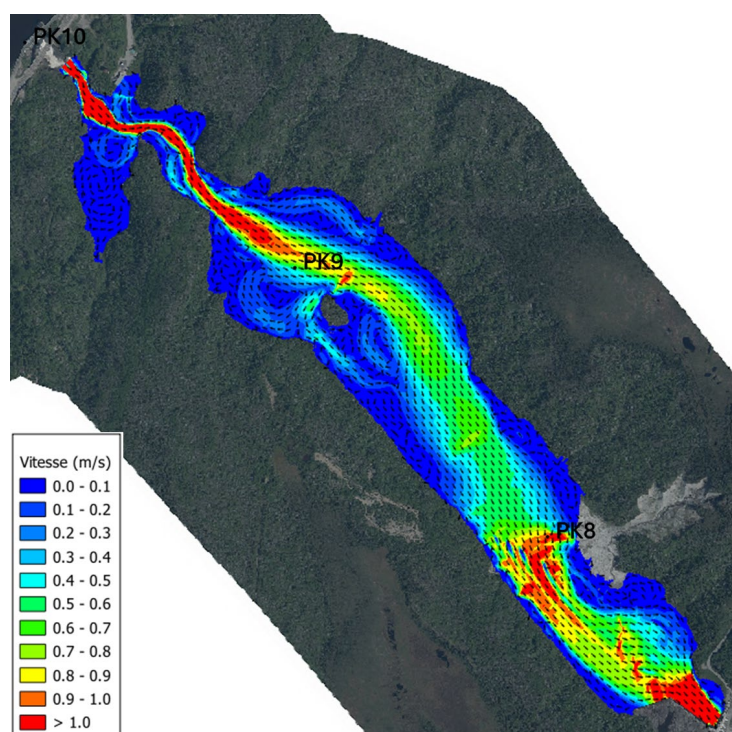


Figure 17 Champs des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 5

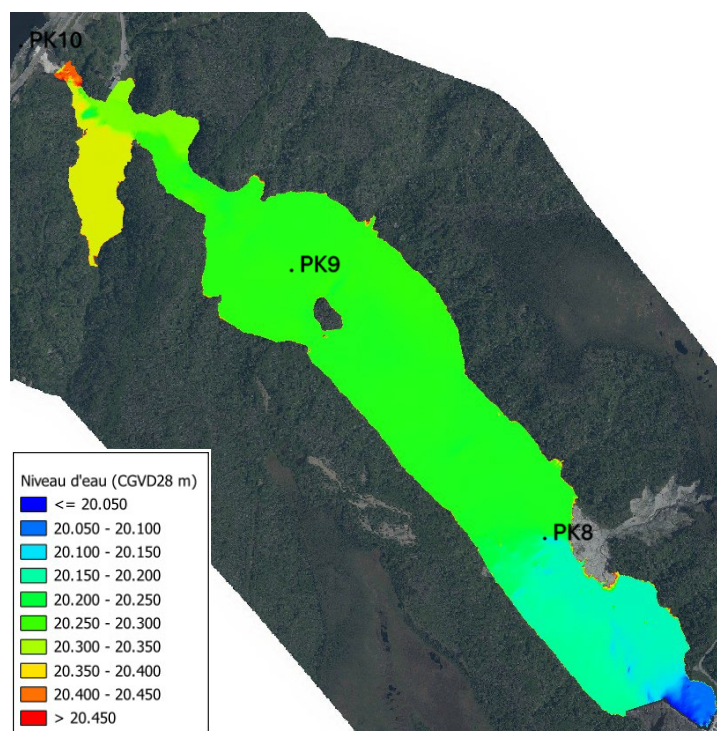


Figure 18 Niveau d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénario 5

6.3 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité aux faibles différences de débits se base sur la comparaison des champs de vitesses et des niveaux d'eau des scénarios 1 et 3. Les différences de leurs vitesses et de leurs niveaux d'eau sont présentées à la figure 19 et à la figure 20 respectivement.

Globalement, les différences de vitesses sont inférieures à 0,08 m/s mis à part en aval de la sortie des pertuis de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2 ainsi qu'en amont de la centrale de SM-1. Cela s'explique par l'augmentation locale de débit de 22,8 m³/s entre le scénario 1 et 3 au pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2 ce qui a pour effet d'augmenter localement les vitesses d'entrée du modèle. Toutefois, cet effet se dissipe lorsque l'écoulement s'élargit en aval de la sortie de la centrale de SM-2. Le même effet explique cette augmentation à la crête déversante de la centrale de SM-1.

Il est noté que, dans l'ensemble, la différence des niveaux d'eau est inférieure à 0,007 m, soit une différence négligeable qui est inférieure au niveau de précision des résultats de modèles numériques.

L'hypothèse de résultats similaires pour des conditions hydrauliques proches est donc confirmée. Des conditions de simulation similaires peuvent donc être regroupées dans un même scénario.

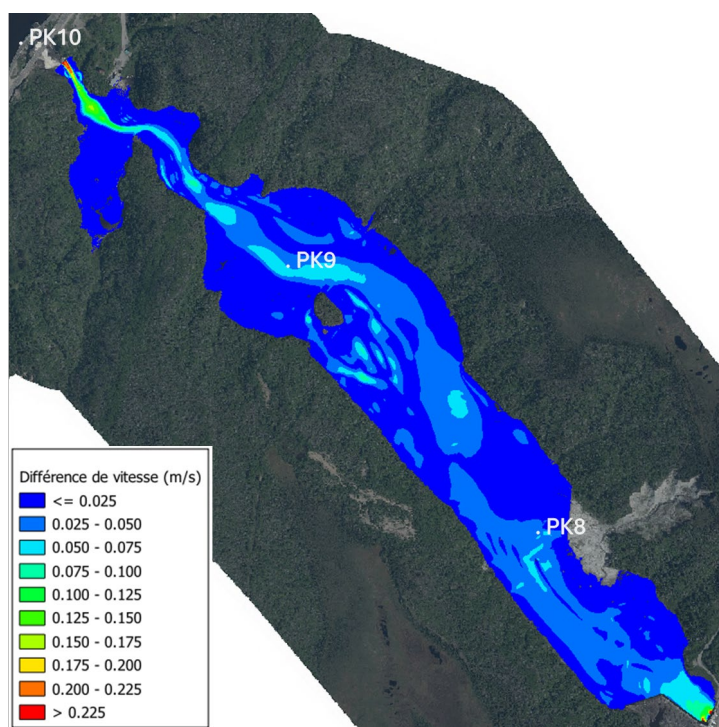


Figure 19 Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénarios 1 et 3

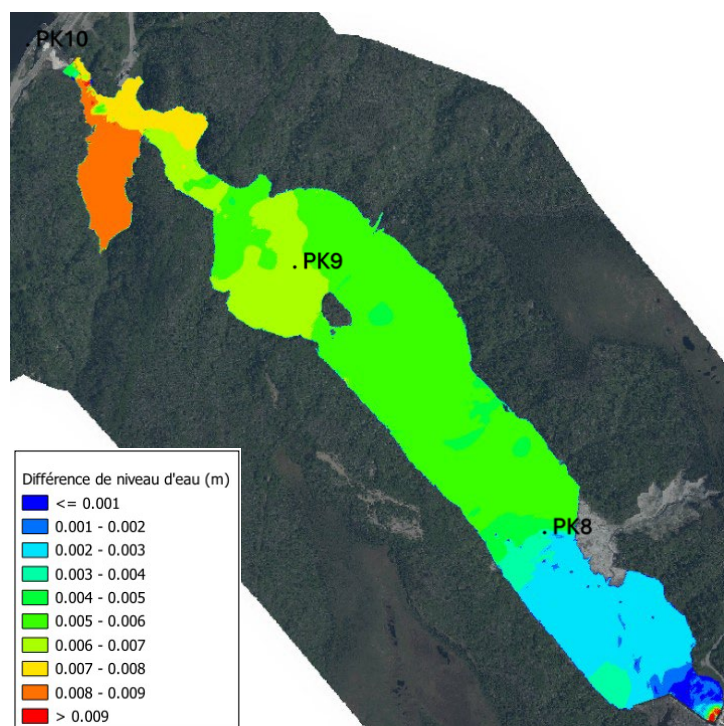


Figure 20 Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Scénarios 1 et 3

6.4 Comparaison des conditions de référence et future

6.4.1 Conditions A - module de débit de janvier

Pour comparer les conditions A de référence et future, des comparaisons des champs de vitesses et des niveaux d'eau des scénarios 1 et 2 sont effectuées. Les différences de leurs vitesses et de leurs niveaux d'eau sont présentées à la figure 21 et à la figure 22, respectivement.

Dans le chenal principal, les vitesses subissent une augmentation variant entre 0,15 m/s et 0,55 m/s dans le chenal principal à cause de l'augmentation du débit total de 167,0 à 307,1 m³/s. La vitesse de courant augmente jusqu'à 1,00 m/s près de la sortie du pertuis no.1 de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2. Cela s'explique par l'augmentation du débit de 158,0 m³/s par le pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. Malgré l'élargissement en aval de la sortie de la centrale de SM-2, cette forte augmentation de débit a un effet notable sur les vitesses dans le reste du réservoir. La restriction de la limite aval de la partie large de la retenue à proximité du PK 8 a aussi un effet sur la différence de vitesses qui peut atteindre 0,40 m/s.

La figure 23 présente la position de la ligne d'eau dans l'axe du chenal préférentiel où sont extraits les niveaux d'eau des différents scénarios. La figure 24 compare les niveaux d'eau des scénarios 1 et 2 ainsi que l'élévation du fond. Dans la majorité de la zone d'étude, l'écart de niveau d'eau varie

entre 0,04 m et 0,09 m. Ces légères augmentations qui débutent en amont de la crête déversante de SM-1 sont causées par l'augmentation des pertes de charge dues aux plus grandes vitesses dans l'ensemble du chenal principal.

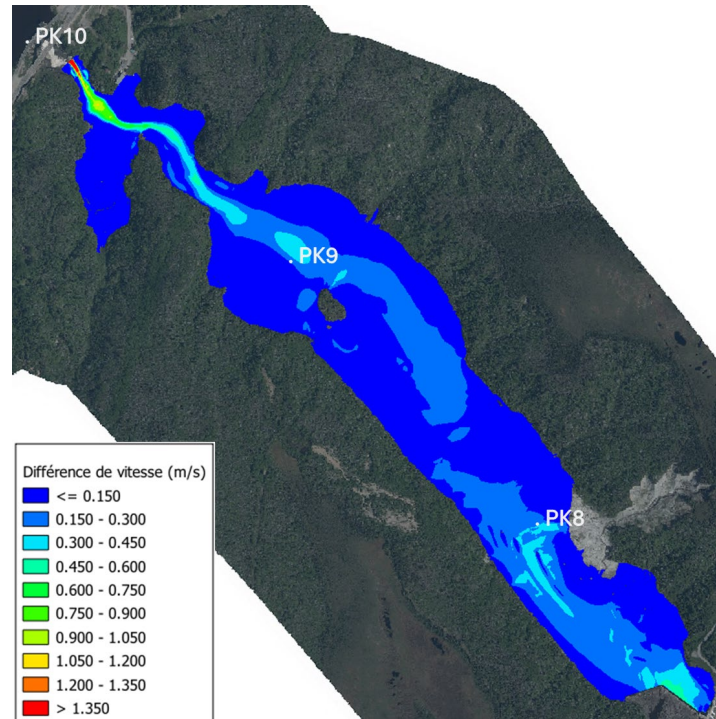


Figure 21 Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions A

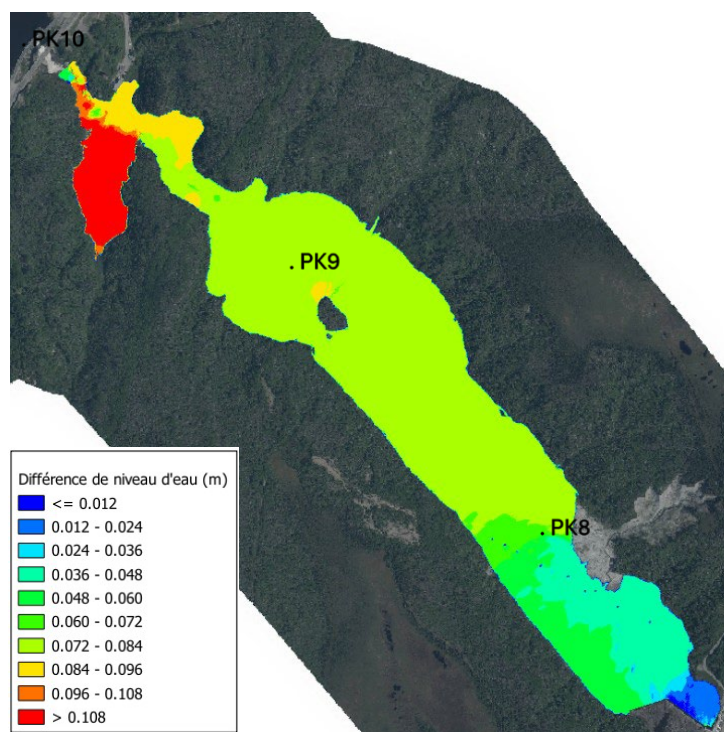


Figure 22 Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions A

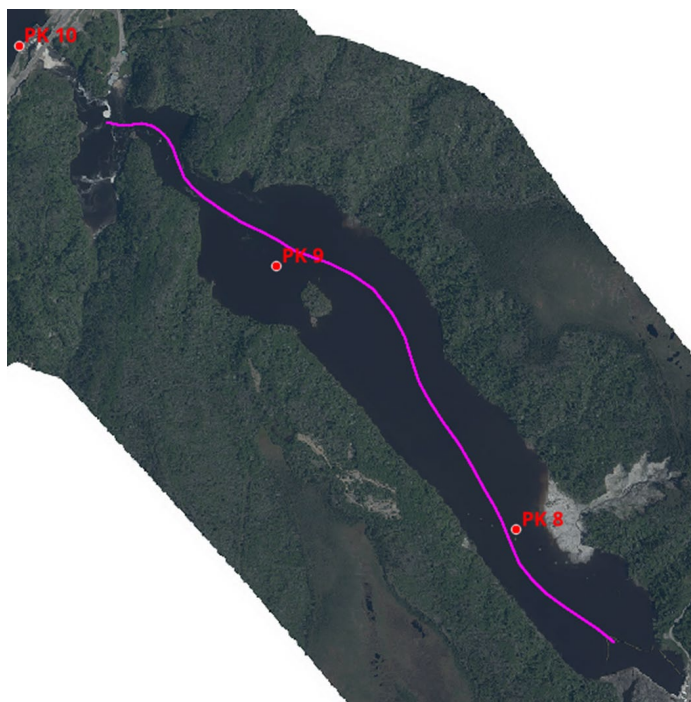


Figure 23 Position de la ligne d'eau

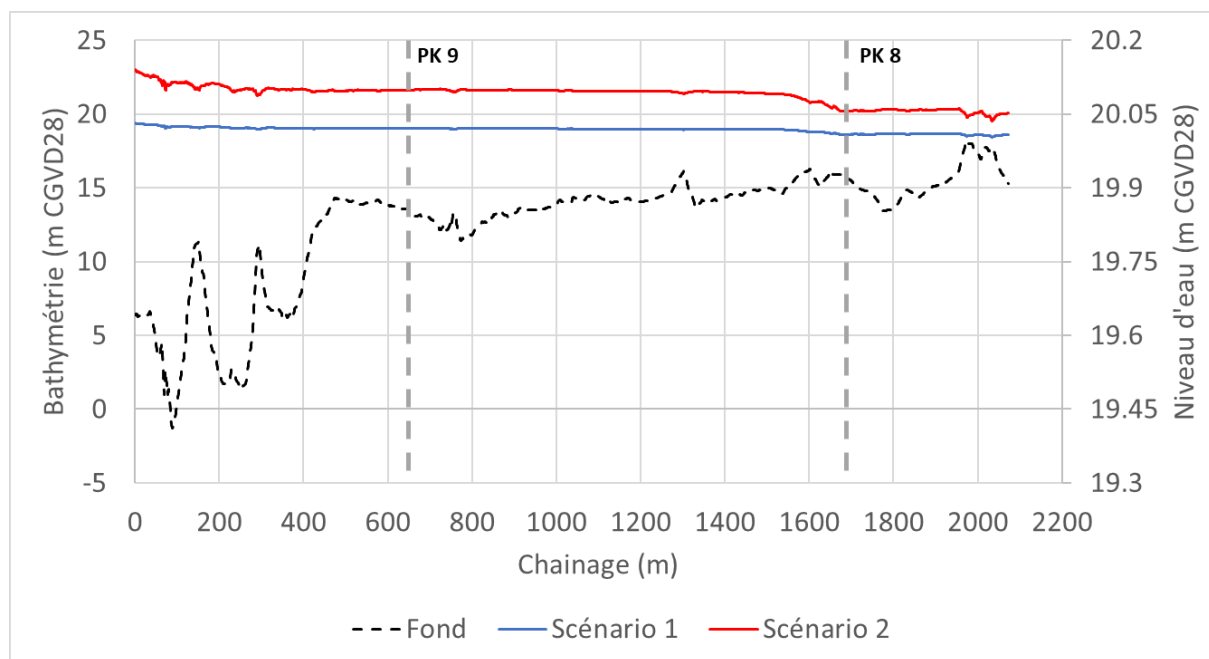


Figure 24 Comparaison des niveaux d'eau – Conditions A

6.4.2 Conditions B - maximums de débit de la période janvier-février

Pour comparer les conditions B de référence et future, des comparaisons des champs de vitesses et des niveaux d'eau des scénarios 2 et 5 sont effectuées. Les différences de leurs vitesses et de leurs niveaux d'eau sont présentées à la figure 25 et à la figure 26 respectivement.

Dans le chenal principal, l'écart de vitesses varie entre 0,20 m/s et 0,60 m/s dans le chenal principal en raison de l'augmentation du débit total qui passe de 325,0 à 525,0 m³/s. Cet écart augmente jusqu'à 0,90 m/s près de la sortie des pertuis de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2. Cela s'explique par l'ajout d'un débit de 170,0 m³/s par le pertuis no. 2 et 30 m³/s par le pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. Malgré l'élargissement en aval de la sortie de la centrale de SM-2, cette forte augmentation de débit entrant dans la zone d'étude de 200 m³/s a un effet notable sur les vitesses dans le reste du réservoir. La restriction de la limite aval de la partie large de la retenue à proximité du PK 8 a aussi un effet sur la différence de vitesses qui peut atteindre 0,43 m/s.

La figure 27 compare les niveaux d'eau le long du chenal préférentiel des scénarios 2 et 5 ainsi que l'élévation du fond. Dans la majorité de la zone d'étude, les différences de niveau d'eau sont entre 0,08 m et 0,20 m. Ces différences perceptibles à partir de la crête déversante de SM-1 sont causées par l'augmentation des pertes de charge dues aux plus grandes vitesses dans l'ensemble du chenal principal.

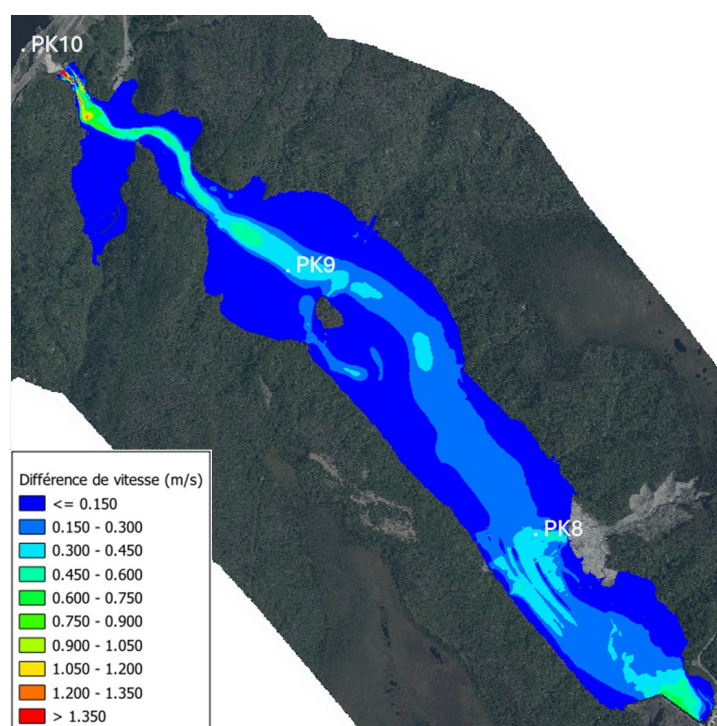


Figure 25 Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions B

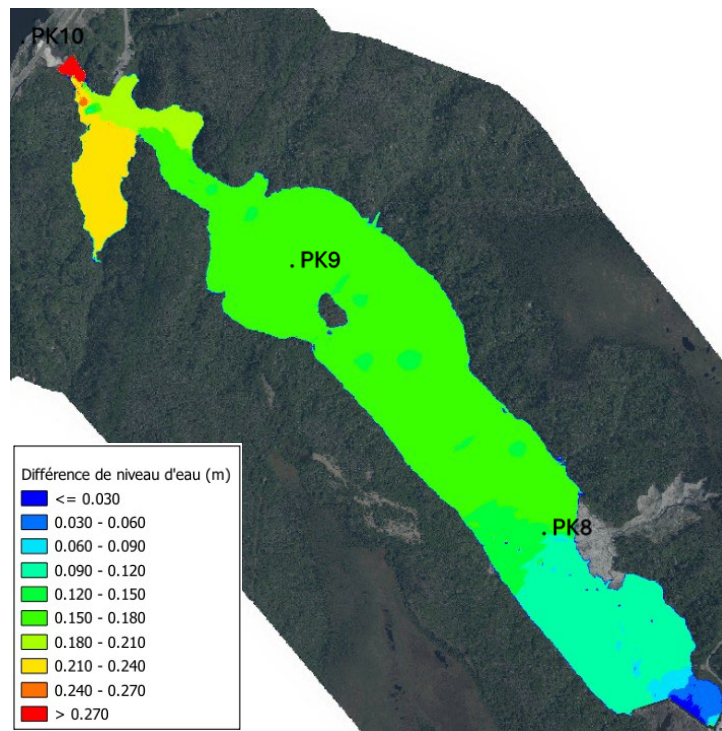


Figure 26 Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions B

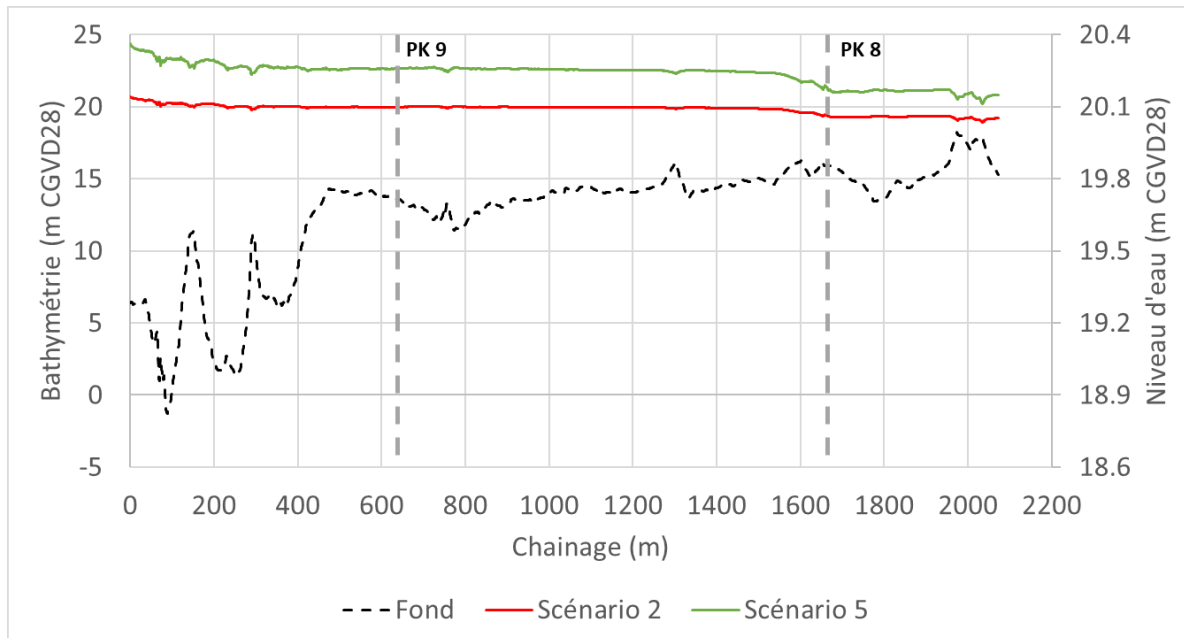


Figure 27 Comparaison des niveaux d'eau – Conditions B

6.4.3 Conditions C - module de débit de la période juin-juillet-août-septembre

Pour comparer les conditions C de référence et future, des comparaisons des champs de vitesses et des niveaux d'eau des scénarios 3 et 4 sont effectuées. Les différences de leurs vitesses et de leurs niveaux d'eau sont présentées à la figure 28 et à la figure 29, respectivement.

Dans le chenal principal, l'écart de vitesses varie entre 0,02 m/s et 0,25 m/s dans le chenal principal en raison de la diminution du débit total qui passe de 144,2 à 91,2 m³/s. Cet écart atteint jusqu'à 0,34 m/s près de la sortie du pertuis no.1 de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2. Cela s'explique par la diminution du débit de 51,2 m³/s par le pertuis no. 1 de l'évacuateur de crue de SM-2. L'élargissement en aval de la sortie de la centrale de SM-2 permet de dissiper cette différence locale de vitesses. La restriction de la limite aval de la partie large de la retenue à proximité du PK 8 a aussi un effet sur la baisse de vitesses qui peut atteindre 0,12 m/s.

La figure 30 compare les niveaux d'eau le long du chenal préférentiel des scénarios 3 et 4 ainsi que l'élévation du fond. Dans la majorité de la zone d'étude, les différences à la baisse de niveau d'eau sont inférieures à 0,01 m, soit une baisse pratiquement négligeable. Ces différences perceptibles en amont de la crête déversante de SM-1 sont causées par la diminution des pertes de charge à cause de plus faibles vitesses dans l'ensemble du chenal principal.

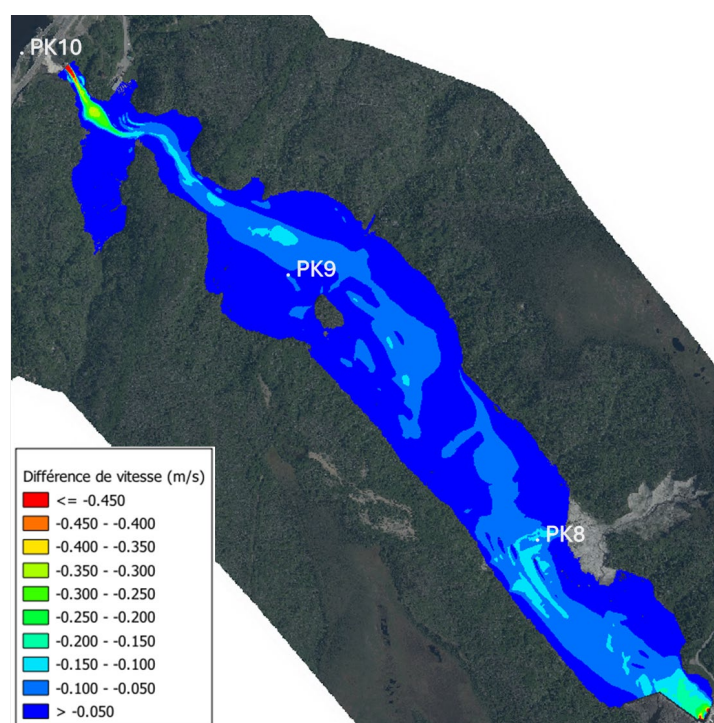


Figure 28 Différence des vitesses dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions C

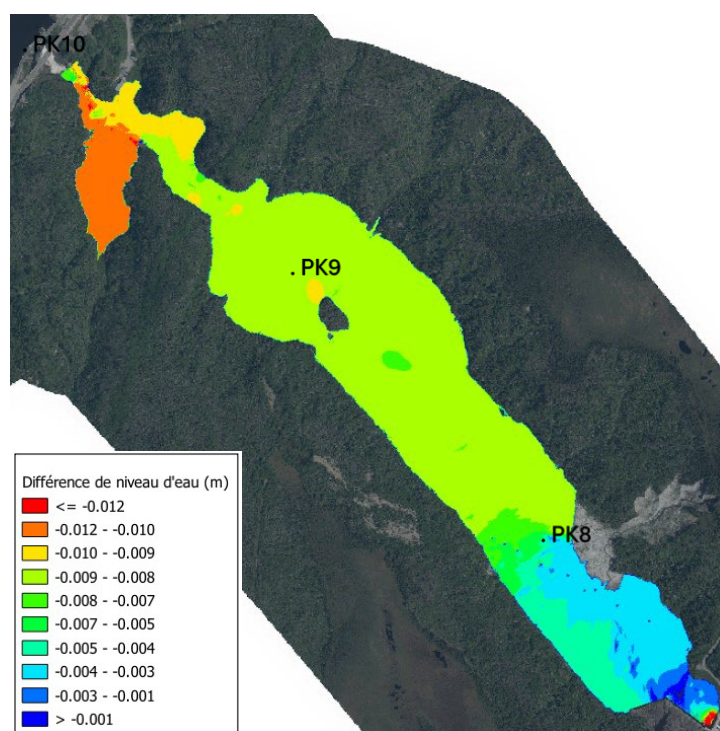


Figure 29 Différence des niveaux d'eau dans le tronçon SM-2-SM1 – Conditions C

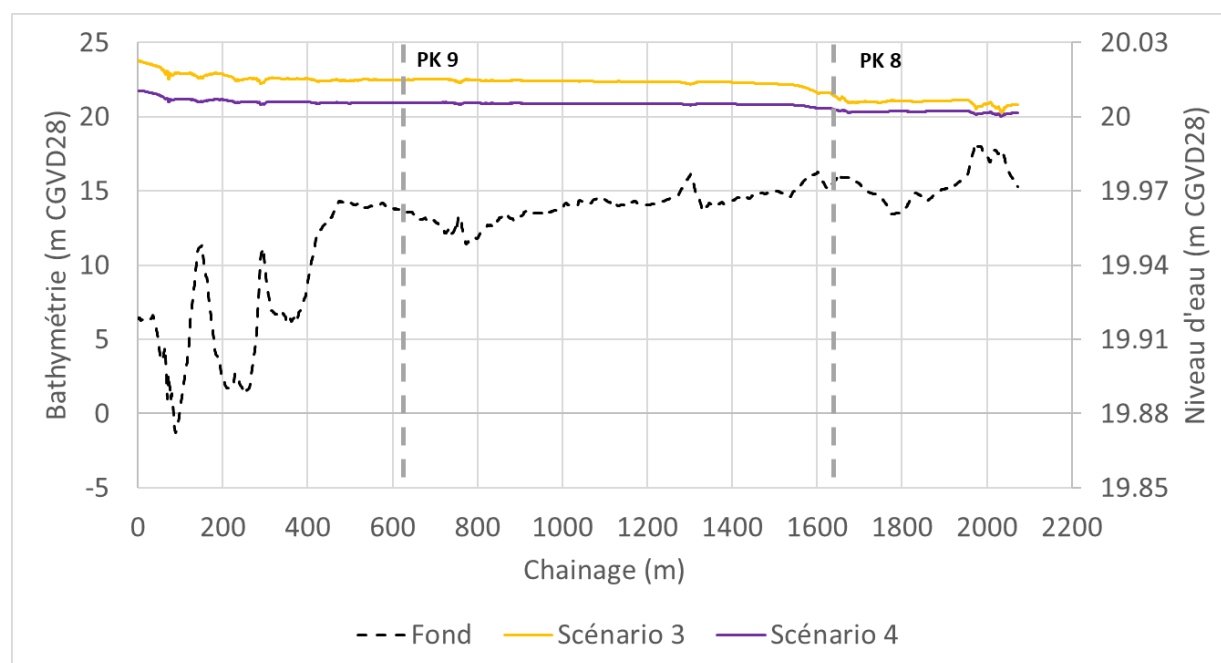


Figure 30 Comparaison des niveaux d'eau – Conditions C

6.4.4 Conditions D - module de débit de la période octobre-novembre

Les conditions de référence et future étant représentées par le même scénario 4 suite à l'hypothèse validée à la section 6.3, aucune différence notable n'est anticipée pour une différence de débit de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.4.5 Synthèse des écarts

Le tableau 5 présente la synthèse des écarts de vitesses d'écoulement et des niveaux d'eau dans le chenal principal pour les différentes conditions étudiées. À noter que le signe « + » indique une augmentation entre les conditions de référence et futures et le signe « - » signifie une diminution.

Tableau 5 Synthèse des écarts de vitesses d'écoulement et des niveaux d'eau

Condition	Saisons représentées	Écart de vitesses dans le chenal principal (m/s)	Écart de vitesses dans le bief aval de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2 (m/s)	Écart de niveaux d'eau (m)
A	Module janvier	+0,15 à +0,55	+1,00	+0,04 à +0,09
B	Max janvier-février	+0,20 à +0,60	+0,90	+0,08 à +0,20
C	Module juin-juillet-août-septembre	-0,02 à -0,25	-0,34	< -0,01
D	Module octobre-novembre	-	-	-

7 CONCLUSION & RECOMMANDATIONS

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'avant-projet de l'ajout du 3^e groupe Turbine Alternateur (T/A) à la centrale SM-3 située sur la rivière Sainte-Marguerite au PK 76 depuis son embouchure. Le projet est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PEEIE) prévue par la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE). Ainsi, les effets du projet sur l'environnement, tant en phase de construction qu'en phase d'exploitation, sont à évaluer. L'exploitation de la centrale munie d'un 3^e groupe modifiera la gestion du réservoir SM-3 ainsi que la gestion des aménagements en aval.

La centrale SM-2 a un débit d'équipement beaucoup plus faible (environ 70 m³/s) que la centrale SM-3 (débit d'équipement total actuel de 300 m³/s) et la capacité d'emménagement du réservoir de SM-2 entre les niveaux d'opération est faible (niveau minimum d'exploitation de 57,50 m et niveau maximum d'exploitation de 58,00 m en dehors de la période hivernale et niveau minimum d'exploitation de 56,80 m et niveau maximum d'exploitation de 57,55 m durant la période hivernale). Ainsi, des déversements à l'évacuateur de SM-2 sont déjà opérés en hiver et pourraient devenir plus fréquents suivant l'ajout du 3^e groupe à la centrale SM-3. L'étude des conditions hydrauliques en rivière du tronçon entre SM-2 et SM-1 a donc été réalisée pour évaluer l'impact du suréquipement de SM-3 sur les champs de vitesses et les niveaux d'eau.

Quatre conditions hydrauliques de référence et futures ont été fournies par Hydro-Québec :

- La condition A du module de débit de janvier;
- La condition B du maximum de débit de la période janvier-février;
- La condition C du module de débit de la période juin-juillet-août-septembre;
- La condition D du module de débit de la période octobre-novembre.

Cinq scénarios hydrauliques représentant ces conditions ont été développés. Il est à noter que certaines conditions hydrauliques proches ont été regroupées dans de mêmes scénarios de simulation, car elles devraient produire des résultats similaires. Cette hypothèse a été validée par une analyse de sensibilité aux faibles variations de débits.

Le modèle numérique 2D a été monté puis calé à partir de mesures in situ fournies par Hydro-Québec. Les résultats de simulation ont permis de conclure que, pour le scénario avec le plus faible des débits (scénario 4), les différences de niveaux d'eau entre l'amont et l'aval sont négligeables (inférieures à 0,9 cm à cause des faibles vitesses de l'écoulement) dans la majorité du domaine à l'étude. Les différences de niveaux d'eau augmentent avec les débits d'entrée jusqu'à atteindre une différence de 30,9 cm pour le scénario avec le débit le plus élevé (scénario 5) avec des vitesses allant jusqu'à 1,6 m/s dans une partie de l'écoulement principal. Il est à noter que la majorité du gradient de niveau d'eau se retrouve à la restriction de passage sur la partie aval de la retenue à proximité du PK 8.

La comparaison des conditions de référence et futures a montré que les augmentations de vitesses les plus élevées sont constatées aux conditions A et B pouvant atteindre 1,0 m/s et 0,90 m/s, respectivement, dans le bief aval de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2. Dans le chenal principal, les écarts de vitesses varient entre 0,15 et 0,55 m/s pour la condition A et entre 0,20 et 0,60 m/s pour la condition B. Sur la majorité du tronçon à l'étude, les augmentations de niveau d'eau pour la condition A sont entre 0,04 m et 0,09 m tandis qu'elles sont entre 0,08 m et 0,20 m pour la condition B.

Pour ce qui est de la condition C, une baisse de vitesse de 0,34 m/s est à prévoir près de la sortie du pertuis no.1 de l'évacuateur de crue de la centrale de SM-2 à cause de la baisse de débit de 51,2 m³/s, mais la baisse de niveau d'eau est plutôt négligeable. Dans le chenal principal, l'écart de vitesse varie entre 0,02 et 0,25 m/s. De plus, aucune différence notable n'est anticipée pour la condition D.

8 RÉFÉRENCES

Groupe-Conseil LaSalle. 2007. R.1672 - Centrale de Sainte-Marguerite 1 - Conception d'un système de rétention des glaces du bassin amont.

Lasalle|NHC. 2024. R.0649 - Ajout d'un troisième groupe turbine-alternateur à la centrale Sainte-Marguerite 3 – Étude du régime des glaces-60%.

CIMA. 2013. Barrage SM-1 (X0003240) - Plan de gestion des eaux.

WSP. 2020. BARRAGE SAINTE-MARGUERITE-2 (X0003239) ET DIGUE OUEST (X2083192) – SOMMAIRE DU PLAN DE GESTION DES EAUX RETENUES.