

Note technique

À : Fred Brisco, Samonix

De : Pierre-Etienne Schneegans, WSP Canada Inc.

C. c. : Olivier Gauvin Tremblay, WSP Canada Inc.
Antoine Papillon, WSP Canada Inc.

Réf. : CA0055667.7820

Date : 2025-12-18

Objet : Samonix – Impact de l'effluent de la ferme piscicole sur les conditions naturelles de la rivière des Outaouais
Version finale

1 Introduction

1.1 Contexte

Dans le cadre de ses activités, Samonix vise à aménager une ferme piscicole à proximité de la rivière des Outaouais. L'élevage du saumon atlantique nécessite l'utilisation d'une eau saumâtre tempérée qui doit être périodiquement renouvelée. Cela implique le rejet d'eau dans le milieu environnant sous des concentrations de chlorure supérieures aux niveaux naturels. Les objectifs environnementaux de rejet (OER) actuels permettent de rejeter l'eau saumâtre à une concentration de 640 mg/l de chlorure. Toutefois, lors de la présentation du projet au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) en vue de l'étude d'impact, des inquiétudes ont été soulevées par le régulateur quant à la dispersion de l'effluent et à l'accumulation potentielle des chlorures en milieu naturel.

1.2 Objectif

L'objectif du mandat est de fournir des résultats de modélisation détaillée permettant de caractériser la dispersion et la dilution de l'effluent. Le modèle devra tenir compte de la courantologie du secteur pour déterminer les limites de la zone de dilution au-delà de laquelle la concentration retombe sous le seuil de toxicité chronique de 120 mg/l et ultimement la zone de dilution nécessaire pour atteindre une concentration proche du niveau naturel d'environ 1,5 mg/l. La température de l'eau et de l'effluent, pouvant mener à des effets de stratification, devra également être considérée.

2 Méthodologie

2.1 Approche générale

Pour réaliser cette étude, le logiciel de modélisation hydrodynamique FLOW-3D HYDRO a été utilisé. Développé par Flow-Science Inc., ce logiciel CFD permet de caractériser le comportement de fluides en 3D dans des applications complexes et de simuler des conditions d'écoulement qui seraient impossibles à représenter de façon précise avec des approches numériques conventionnelles (c.-à-d. 1D, 2D). FLOW-3D utilise les équations de Navier-Stokes combinées à son solveur maison de volume fini (TruVOF) afin de suivre différents paramètres d'écoulement.

Dans ce cas précis, l'utilisation de FLOW-3D a permis une représentation 3D des écoulements au site de rejet et en aval, et en particulier les patrons d'écoulement naturels et le panache d'eau saumâtre à la sortie des effluents, de même que la température et les concentrations de chlorure. Pour cette étude, WSP a utilisé la version de FLOW-3D HYDRO 2024R1.

Le scénario à l'étude a été simulé en trois étapes :

- la première (modèle #1) consiste à établir les conditions naturelles du site, c'est-à-dire déterminer la direction des courants et la vitesse de l'eau au site, en amont et en aval, avant le début des rejets;
- la deuxième (modèle #2) consiste à établir le champ proche de l'effluent, qui intègre les diffuseurs et qui capture la première phase de diffusion et de dilution des chlorures (dont la concentration diminue d'un ordre de 1 :50);
- la troisième (modèle #3) consiste à établir le champ loin, qui représente la dispersion du panache dans la rivière et la dilution des chlorures jusqu'à un niveau près des concentrations naturelles.

Chaque étape est un intrant pour l'étape suivante. Ainsi, les conditions établies avec le modèle #1 servent de conditions initiales au modèle #2 lorsque les effluents se mettent en opération. Le panache généré dans le modèle #2 est ensuite injecté dans la simulation du modèle #3.

2.2 Scénario considéré

Le scénario basé sur les conditions hydrologiques les plus contraignantes est simulé dans le cadre de l'étude. Ce scénario considère des conditions hydrologiques d'étiage pour lesquels les courants naturels de la rivière sont faibles, minimisant la diffusion et la dilution de l'effluent. Le débit retenu pour analyse est le débit minimal moyen sur 7 jours d'une récurrence de 2 ans ($Q_{2,7}$). Pour ce secteur, ces conditions d'étiage sont essentiellement rencontrées vers la fin de l'été. Ainsi, jumelées à la faible hydraulité de la rivière, des conditions de températures élevées sont également considérées en parallèle. Une température de la rivière élevée favorise un différentiel important avec l'effluent et potentiellement des conditions d'équilibrage de ce paramètre, plus étendues dans l'espace.

2.3 Hydrologie

2.3.1 Caractéristiques du site

Le site de rejet projeté est situé sur la rivière des Outaouais, à 6 km en amont de Portage-du-Fort. La superficie du bassin versant à ce point est d'environ 74 500 km². En amont, la rivière des Outaouais se divise principalement en deux bras ceinturant l'île du Grand Calumet. Le site se trouve à la confluence des deux bras, dans le lac du Rocher Fendu. Les débits provenant du bras est sont contrôlés par le barrage de Bryson tandis que ceux du bras ouest sont contrôlés par le barrage du Rocher-Fendu. Les niveaux d'eau au site sont en revanche régularisés par le barrage Chenaux, situé à environ 6 km en aval. Ainsi, la rivière au droit du site se comporte, en partie, comme un réservoir, avec des niveaux d'eau stables, des profondeurs importantes et de faibles vitesses. La Carte 2.1 présente la localisation du site de Samonix et les emplacements d'émissaires considérés pour le rejet au sein de la rivière des Outaouais. L'effluent 3B est celui retenu pour l'étude CFD suite à des analyses préliminaires de la courantologie du site et des relevés de mulettes réalisés sur le terrain.

Le site étant situé à la sortie du chenal provenant du barrage de Bryson, les vitesses et la courantologie sont directement influencées par les débits sortant de Bryson. En période d'étiage, l'analyse des séries chronologiques des barrages en amont montre une répartition d'environ 60/40, en faveur du barrage de Bryson. Suivant une approche sécuritaire, une répartition de 50/50 a été considérée dans l'analyse, sous-estimant légèrement les débits amont à l'approche du site.



2.3.2 Débit moyen

Pour établir le débit moyen au site à l'étude, les données journalières historiques de la station Chenaux sur une période de 25 ans (2000 à 2025) ont été analysées. Cette longue série permet de tenir compte des variations naturelles et des tendances récentes. Le calcul de la moyenne a été effectué pour la période du début juillet à la fin octobre. Le choix de cette période permet d'écartier les conditions hivernales et celles associées à la crue printanière où les débits sont typiquement plus élevés. Le débit moyen obtenu est de 690 m³/s.

2.3.3 Analyse fréquentielle

Pour l'analyse de l'impact des rejets sur les conditions naturelles de la rivière, les conditions d'étiage sont étudiées. Cette approche vise à considérer la période où les débits sont les plus faibles, ce qui constitue un scénario prudent pour évaluer l'impact du projet. Pour déterminer les débits d'étiage au site, une analyse fréquentielle a été menée à l'aide de la série chronologique des débits journaliers mesurés à la station Chenaux (CPRRO, 2025). La série chronologique des niveaux d'eau a également été examinée pour établir un niveau d'eau plausible associé aux conditions d'étiage identifiées (ici le Q_{2,7}). Pour les débits d'étiage, une distribution de type Gamma selon la méthode du maximum de vraisemblance a été jugée la plus représentative. Les résultats de l'analyse sont présentés au Tableau 2.1.

Tableau 2.1 Quantiles d'étiage (en m³/s) pour les débits moyennés sur 7 jours au site à l'étude

Récurrence (ans)	Débit d'étiage (m ³ /s)
2	430
5	340
10	300

2.3.4 Niveau d'eau aval

Le niveau d'eau en aval du site de Samonix est essentiellement régulé par le barrage Chenaux, appartenant à Ontario Power Generation (OPG), situé approximativement à 6 km en aval de la fin du modèle hydraulique. La zone située entre la confluence des deux bras de la rivière (en amont du site) et le barrage se comporte comme un réservoir. Ainsi, les niveaux d'eau mesurés au barrage Chenaux seront utilisés pour l'analyse du site de Samonix. Cette hypothèse a également été vérifiée à l'aide des données LiDAR qui confirme que le niveau d'eau reste constant, de la confluence des deux bras d'écoulement jusqu'au barrage Chenaux.

Afin d'établir le niveau à utiliser en conditions d'étiage estival, une moyenne des niveaux d'eau de la station Chenaux (CPRRO, 2025) a été réalisée au cours des deux dernières années complètes (2023-2024) pendant la période d'étiage déterminée selon l'analyse fréquentielle des débits, soit du début du mois de juillet à la fin du mois d'octobre. Le niveau d'eau ainsi obtenu est de 86,1 m.

Pour ce qui est du niveau d'eau en conditions moyennes, la valeur utilisée est la même que celle pour l'étiage estival, soit de 86,1 m. Effectivement, le scénario en conditions moyennes est voué à représenter un contexte d'opération après la crue printanière et avant l'hiver, soit approximativement sur la même durée que la période considérée pour l'étiage.

2.3.5 Changements climatiques

De façon générale, étant donné la très grande superficie du bassin versant et son caractère fortement régularisé, aucun impact des changements climatiques sur les débits moyens et les débits de crue n'est anticipé. Pour ce qui est des conditions d'étiage, il est difficile d'identifier une tendance. Pour l'ensemble du Québec méridional, l'Atlas hydroclimatique (CEHQ, 2023) prévoit que l'hydraulicité estivale sera plus faible (de -4 % à -16 %). Cette diminution est attribuable à des étés plus chauds et secs, accentuant l'évaporation et réduisant les apports naturels. Toutefois, la rivière des Outaouais possède une grande capacité d'emmagasinement permettant de mitiger l'effet des longues périodes d'étiage. Aucune étude récente n'a permis de déterminer une valeur plus réaliste pour un bassin de ce type et de cette taille. Une prudence est de mise dans le choix des débits considérés, bien qu'une analyse de sensibilité ait montré que la dilution de l'effluent dépend peu des vitesses de courant en deçà d'un certain seuil. En effet, une réduction de 20 % sur les débits, et donc sur les vitesses, induit une réduction d'environ 0,02 m/s en étiage au site de rejet. Cette réduction apparaît négligeable en comparaison avec les vitesses locales autour du site de rejet, qui présentent des variations naturelles de plus ou moins 0,05 m/s dans ces conditions.

Pour ce qui est des niveaux d'eau au site, l'effet sera encore plus faible. Tel que mentionné à la section 2.3.1, le lac du Rocher Fendu, situé en amont du barrage Chenaux, se comporte comme un réservoir. Les niveaux d'eau y sont maintenus stables grâce à la gestion du barrage par OPG. Les analyses des données de Chenaux (2000-2025) démontrent que la moyenne mensuelle des niveaux d'eau pendant la période d'étiage estival est d'environ 86,1 m, avec peu de fluctuations. Même si les débits estivaux diminuent légèrement dans le futur, la régulation par le barrage Chenaux et la grande capacité d'emmagasinement du barrage permettent de compenser ces variations. Ainsi, aucune baisse significative des niveaux d'eau n'est anticipée dans les scénarios climatiques à l'horizon 2050.

Enfin, concernant les températures de l'eau, les projections climatiques pour le Québec méridional (CEHQ, 2023) indiquent une hausse des températures atmosphériques moyennes annuelles et estivales. Selon Ouranos (2023), on prévoit une augmentation de +2 à +3 °C d'ici 2050 et pouvant atteindre +4 °C à l'horizon 2080. Cette hausse se traduit par des étés plus chauds et peut influencer la température de l'eau dans les réservoirs. Cependant, aucune tendance ou indicateur n'est disponible pour quantifier la répercussion des hausses de température de l'air sur celle de l'eau. Dans le contexte du projet, puisque la dynamique du panache dépend davantage de l'écart de température entre l'effluent et la température ambiante et que l'écart est limité par un échangeur de chaleur (voir section 2.4.3), l'impact des changements climatiques sur le comportement du rejet apparaît négligeable.

2.4 Modélisation CFD

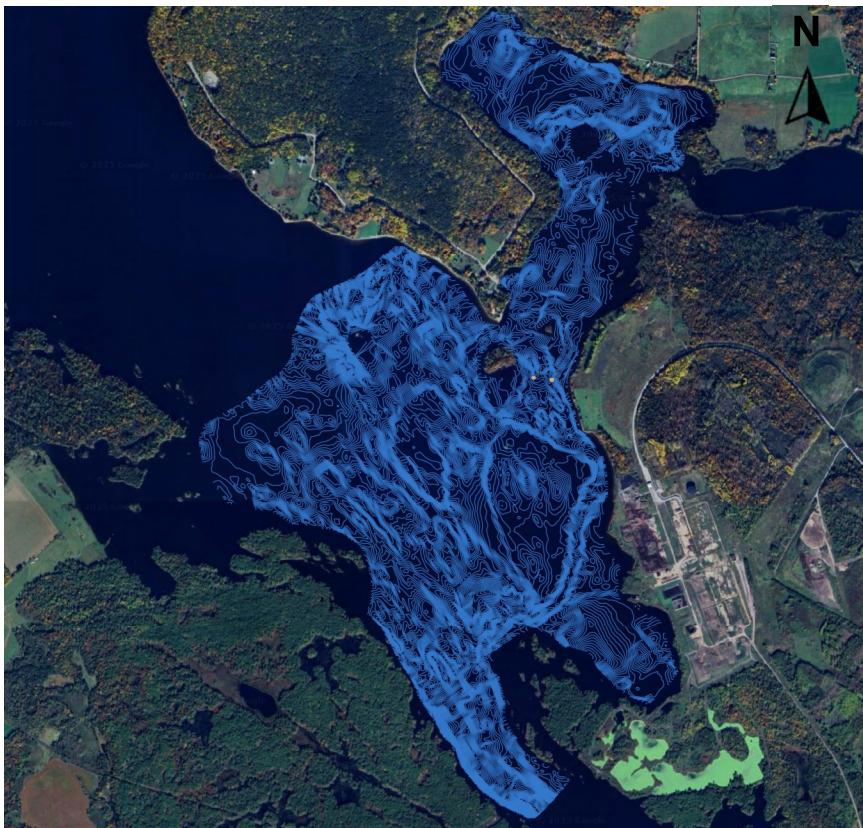
2.4.1 Bathymétrie

Les données topographiques utilisées pour la création du modèle numérique de terrain (MNT) proviennent de données LiDAR issues de la base de données du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario (OMNRF, 2019). Les données relevées ont été acquises par le Groupe Info Consult Inc. pour NRCan entre le 5 et le 25 octobre 2019. Ces dernières couvrent une région de 5 969 km² et incorporent ainsi le site à l'étude. La densité de points pour ces données LiDAR est de 4 points par m².

Les données bathymétriques utilisées pour créer le MNT final proviennent d'une campagne réalisée par WSP les 9 et 10 juillet 2025. Les relevés du site ont été réalisés à partir de données acquises sous forme de transects, comprenant la position GPS et la profondeur mesurée. Un sondeur acoustique monté sur une embarcation a été utilisé pour réaliser ces transects espacés de manière régulière afin de couvrir l'ensemble du plan d'eau.

Les données ponctuelles le long des transects ont été interpolées afin d'obtenir des courbes de niveau mineures et majeures. Chaque courbe vectorielle obtenue selon cette interpolation possède une élévation spécifique qui a été utilisée afin de générer le modèle numérique de terrain en combinant ces dernières avec les données topographiques issues du LiDAR présentées ci-haut. Les coordonnées horizontales du MNT produit ont été converties au système NAD83 SCRS MTM 9 pour la modélisation hydraulique. La Figure 2-1 suivante présente ces courbes de niveau pour l'ensemble de la région couverte par la campagne au site d'intérêt. Les relevés bathymétriques couvrent une bonne partie du lac du Rocher Fendu incorporant la baie Miller et la baie Thompson, qui se situe plus en amont au sein du bras gauche (ouest) de la rivière des Outaouais.

Figure 2.1 Relevés bathymétriques du lac du Rocher Fendu



2.4.2 Géométrie des diffuseurs

La géométrie des diffuseurs retenue par Samonix, à la suite d'une étude d'optimisation confiée à la firme DHI utilisant le logiciel CORMIX, comprend un distributeur à 4 ports espacés de 5 m les uns des autres et configurés de la même façon (voir Figure 2-2). Les ports sont munis de valves Tideflex® permettant de maximiser la vitesse de rejet tout en diminuant les pertes de charge en comparaison avec un diffuseur à ouverture constante. Le Tableau 2.2 résume la géométrie considérée pour l'analyse et la Figure 2-2 présente l'intégration des points de rejet dans le modèle CFD.

Tableau 2.2 Géométrie des diffuseurs telle que modélisée

Caractéristiques	Valeur
Nombre de ports	4
Espacement entre chaque port	5 m
Longueur totale	15 m
Diamètre de chaque port	0,051 m
Angle vertical de rejet	45°
Hauteur du rejet au-dessus du lit de la rivière ¹	0,5 m

¹ La hauteur est la même pour l'ensemble des ports, ce qui implique que la hauteur est basée sur le port le plus près du lit.

Figure 2.2 Configuration schématisée des diffuseurs

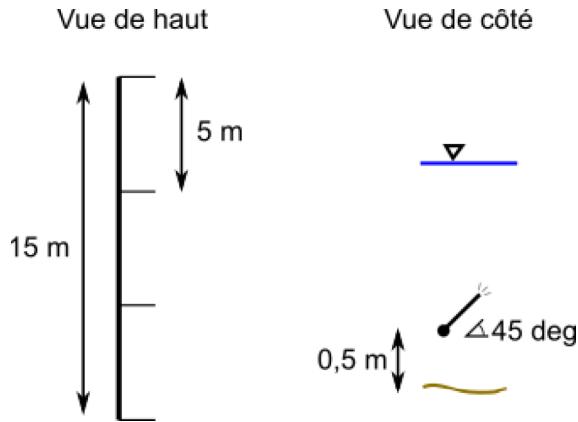
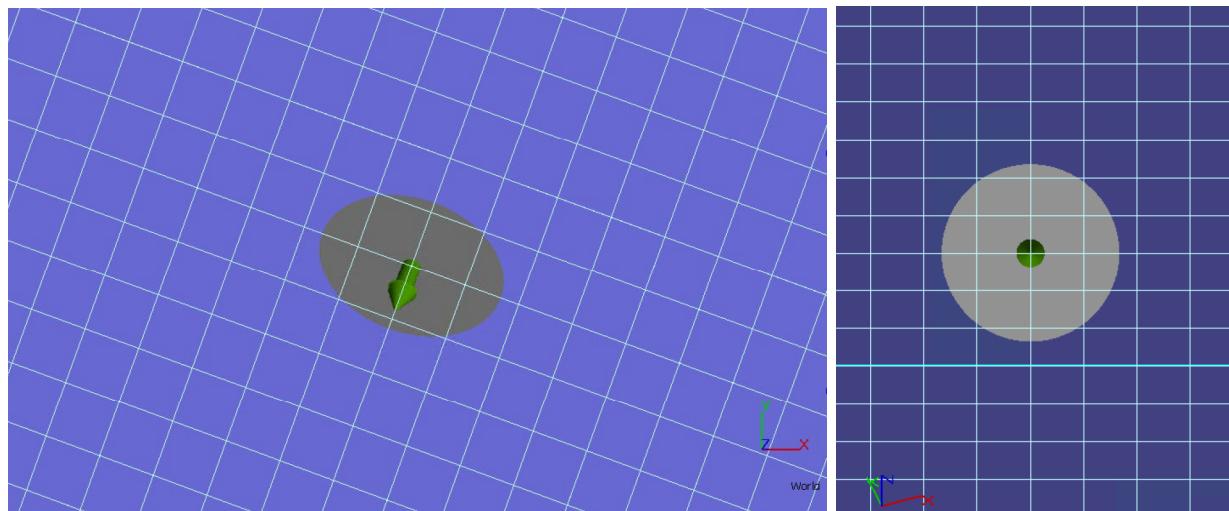


Figure 2.3 Vue de haut (à gauche) et vue de face (à droite) d'un des points de rejet superposé au maillage du modèle CFD



2.4.3 Autres données disponibles

Samonix a réalisé des mesures de salinité près du site potentiel de rejet. La moyenne des mesures indique une valeur de 1,5 mg/l (0,0015 kg/m³). Cette valeur est utilisée comme valeur de référence pour la concentration naturelle de la rivière. Une mesure a également présenté un niveau de 1,9 mg/l, montrant que la valeur de référence présente dans les faits des variations temporelles et possiblement spatiales dépendamment du secteur précis de la rivière. Pour les simulations, une concentration naturelle uniforme dans toute la rivière a été assumée, équivalente à la valeur de référence.

Concernant la température de l'eau, une valeur maximale de température était recherchée afin de maximiser le différentiel de température avec l'effluent (pire cas). Selon l'organisme Garde-rivière des Outaouais (2025), la température maximale enregistrée dans le secteur de Chenaux depuis la décennie 1960 est environ de 26 °C. WSP a également effectué des relevés des températures en juillet 2025. Les relevés, effectués à l'aide d'une sonde CTD à différentes profondeurs et à une quinzaine de sites

différents, ont montré des variations maximales de 1 °C à travers la profondeur. Pour les besoins des simulations, la stratification thermique a été jugée faible et une température uniforme a été considérée en conditions naturelles.

Quant à la température de l'effluent, elle a été préliminairement établie à 20 °C en période estivale. Cette valeur est établie en considérant que l'eau d'élevage se situe entre 12 et 14 °C et que des échangeurs de chaleur permettront de ramener cette température à une valeur intermédiaire entre l'eau d'élevage et l'eau de la rivière.

2.4.4 Paramètres numériques

L'intérêt de l'étude étant davantage porté sur l'état du système une fois qu'il a atteint un régime stationnaire, des schémas d'approximation du deuxième ordre ont été utilisés pour résoudre les termes convectifs (gradients spatiaux) alors que des schémas du premier ordre ont été utilisés pour résoudre les fluctuations temporelles.

Le pas de temps des simulations a été contrôlé automatiquement par le logiciel en fonction des critères de stabilité et de convergence par défaut. Le solveur de pression a utilisé une méthode implicite (GMRES), tandis que les termes convectifs ont été résolus explicitement en utilisant la « Standard Cutcell Representation », méthode adéquate pour représenter des géométries relativement lisses et planaires au niveau des parois solides. Cette formulation est plutôt appropriée dans le cadre de l'étude actuelle qui n'incorpore aucune structure particulière nécessitant une représentation géométrique très précise, et plutôt uniquement le lit de la rivière où se trouve l'écoulement. Ce choix permet d'utiliser la méthode « Immersed Boundary » pour le calcul du flux de quantité de mouvement près des parois. Cette formulation permet d'appliquer des conditions limites plus现实istes près des parois, ce qui améliore le calcul des forces, pressions et pertes d'énergie au sein de la couche limite. Cette méthode ne nécessite également pas un raffinement excessif du maillage, ce qui est très avantageux en considérant l'étendue du domaine de calcul. Pour tenir compte de la turbulence, le modèle k- ϵ RNG est utilisé.

Également, les diffuseurs sont incorporés au sein du modèle #2 en tant que termes sources de quantité de mouvement et de masse. En effet, la géométrie 3D de ces derniers n'est pas incorporée au sein du maillage comme la résolution de l'écoulement interne n'est pas d'intérêt. Tel que présenté à la section 2.4.2, une entité 2D représentant le diamètre de chaque effluent est incorporée pour chaque terme source avec la vitesse et la concentration de chlorure appropriées selon les conditions hydrauliques.

2.4.5 Étendue du domaine de calcul et maillage

FLOW-3D utilise une technique de maillage structuré « libre » (et non moulé à la géométrie) qui permet une implémentation facile et efficace d'un point de vue numérique. Plusieurs blocs de maillage de résolution uniforme, mais différents les uns des autres peuvent être juxtaposés afin d'adapter la résolution à la géométrie sous-jacente et à l'écoulement attendu.

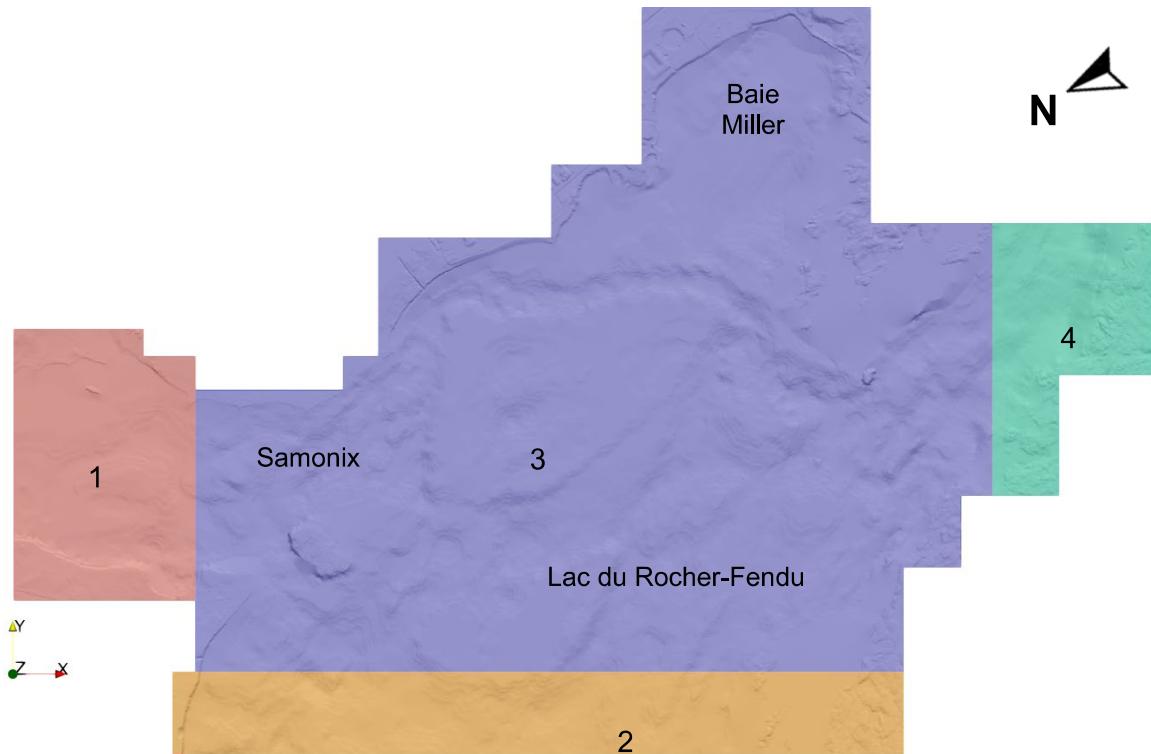
Tel que présenté à la section 2.1, le maillage réalisé est différent pour les trois étapes de calcul associées aux trois modèles différents.

Le premier modèle (#1) consiste à établir les conditions naturelles du site avant le début des rejets. Comme le montre la Figure 2-3, le maillage couvre l'entièreté du site d'influence potentielle du projet de Samonix, débutant juste en aval de la baie Thompson au niveau du bras gauche et incluant également la baie Miller plus en aval du site de rejet. Dans le sens de l'écoulement, le maillage s'étend de 850 m en amont de l'effluent à 2 180 m en aval. La résolution du modèle est de 0,96 m. Basée sur l'expérience de WSP, cette résolution est suffisante pour établir la courantologie appropriée du site et modéliser correctement la distribution verticale de l'écoulement et bien capter les effets 3D et les effets de stratification (salinité et température). Les différents blocs de calcul sont présentés au Tableau 2.3. Il est à noter que ces blocs sont à la base des prismes rectangulaires, soit des boîtes de calcul régulières. Afin d'alléger le maillage, certaines cellules au sein de ces blocs ont été retirées du modèle dans les zones sans écoulement, ce qui explique la forme irrégulière du contour de certains blocs, tel qu'observé à la Figure 2-3. À titre d'exemple, aucune cellule du bloc #2 n'a été retirée.

Tableau 2.3 Résolution spatiale du modèle #1 à travers le domaine de calcul

# bloc	Couverture	Résolution (m)	Type
1	Bras gauche	0,96	2D
2	Bras droit	0,96	2D
3	Lac du Rocher Fendu	0,96	3D
4	Région aval	0,96	2D

Figure 2.4 Blocs de maillage composant le domaine de simulation du modèle #1



Ce premier modèle est d'abord utilisé en 2D lors d'une étape préliminaire afin d'atteindre un régime stationnaire représentant les conditions naturelles, ce qui nécessite 50 000 s d'écoulement (13,88 h). Ce premier résultat est alors utilisé pour effectuer une simulation identique en 3D qui nécessite ensuite 2 000 s afin que la distribution verticale de vitesse se développe et se stabilise pour représenter la courantologie finale en conditions naturelles. Il est important de noter que ce modèle final en conditions naturelles est en fait hybride, c'est-à-dire que certains blocs sont maintenus en 2D alors que d'autres sont convertis en 3D. Effectivement, le bloc #3 est celui converti en 3D, car il représente la zone d'intérêt par rapport à la dilution de l'effluent, alors que les blocs #1, #2 et #4 se retrouvent assez loin pour ne pas influencer le calcul et permettent de diminuer le nombre de cellules total, diminuant ainsi le temps de calcul nécessaire pour atteindre la convergence du modèle.

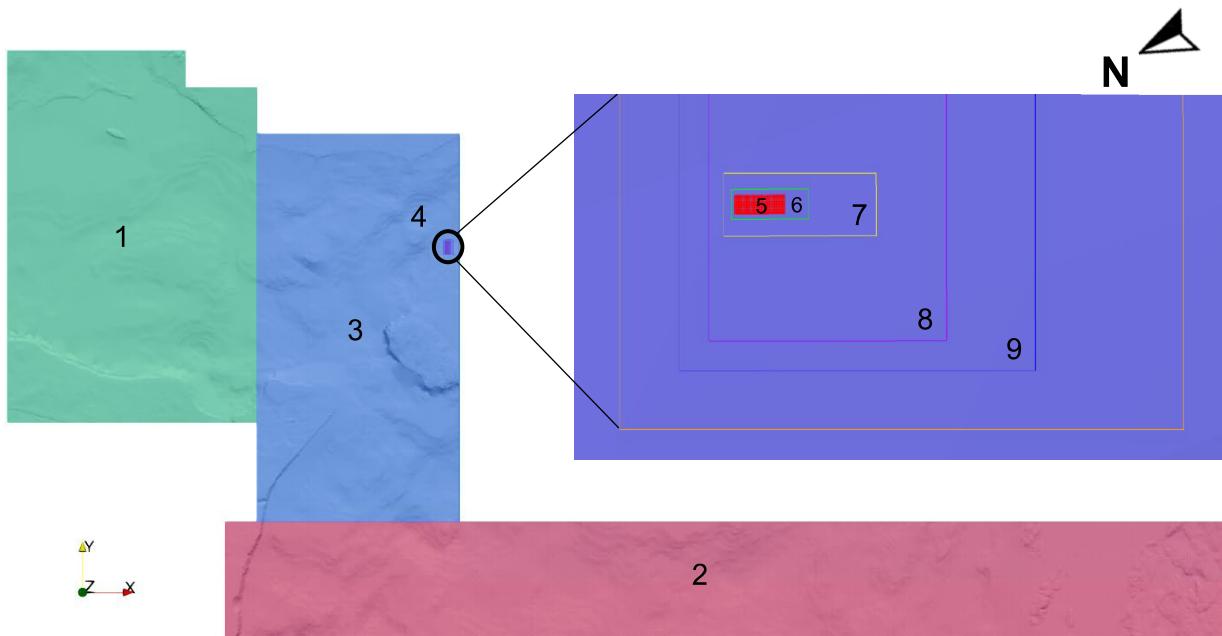
Le deuxième modèle (#2) consiste à établir le régime d'écoulement du champ proche de Samonix à la suite du début des rejets en incorporant des blocs de calcul 2D et 3D. Comme le montre la Figure 2-4, le maillage couvre uniquement une section du lac du Rocher Fendu. En effet, le début de ce modèle est identique à celui du modèle #1, soit en commençant juste en aval de la baie Thompson au niveau du bras gauche et de la fin du bras droit. Au sud (à droite sur la Figure 2-4), le modèle se termine à 26 m en aval des diffuseurs. À l'ouest (en bas de la figure), à une distance de 650 m de ces derniers, le domaine de calcul est conservé sur toute la largeur du bras droit. Cette modification de l'étendue du modèle permet d'optimiser grandement ce dernier en termes de nombre de cellules au sein du maillage et permet ainsi une durée de simulation raisonnable, de l'ordre de quelques jours.

Le Tableau 2.4 présente les différents blocs de calcul pour ce deuxième modèle. Afin de discréteriser le modèle de manière efficace, plusieurs régions de raffinement en 3D sont présentes autour de chaque diffuseur dans la région du site de rejet. La Figure 2-4 présente le bloc #4 représentant la région globale du site de rejet, alors que les blocs #5 à #9 correspondent à un exemple de blocs de raffinement pour un des quatre diffuseurs (celui de droite). Comme le diamètre de ces derniers est de 0,051 m, la résolution du maillage englobant dans l'immédiat ce dernier se doit d'être appropriée en incorporant au moins 3-4 cellules dans chaque direction, tel que vu à la Figure 2-2. La résolution du bloc #5 de 0,015 m représente un bon compromis, permettant de satisfaire ce critère tout en diminuant grandement le nombre de cellules total et rendant ainsi la simulation numérique viable d'un point de vue temps de calcul. Les blocs de calcul suivants permettent de dégrossir progressivement le maillage autour de chaque diffuseur afin de rejoindre la résolution numérique de 0,48 m correspondant au bloc #4 du site de rejets, et par la suite à la résolution globale de la rivière des Outaouais de 0,96 m. Ce processus de raffinement graduel vise à assurer que l'écoulement provenant des diffuseurs se mélange adéquatement à celui de la rivière durant le processus de dilution, tout en préservant les bons gradients de vitesse, de concentration de chlorure et les variations de température.

Tableau 2.4 Résolution spatiale du modèle #2 à travers le domaine de calcul

# bloc	Couverture	Résolution (m)	Type
1	Bras gauche	0,96	2D
2	Bras droit	0,96	2D
3	Lac du Rocher Fendu	0,96	3D
4	Site d'effluent	0,48	3D
5	Raffinement local #1	0,015	3D
6	Raffinement local #2	0,030	3D
7	Raffinement local #3	0,060	3D
8	Raffinement local #4	0,12	3D
9	Raffinement local #5	0,24	3D

Figure 2.5 Blocs de maillage composant le domaine de simulation du modèle #2



Ce deuxième modèle hybride utilisant des blocs 2D pour les régions en amont correspondant à chaque bras de la rivière des Outaouais et des blocs 3D pour la résolution du site de rejets totalise approximativement 15 millions de cellules. Pour obtenir un champ proche réaliste, 60 secondes de simulation d'écoulement physique était nécessaire au minimum, ce qui correspond à environ 5 jours de calcul machine.

Le troisième modèle (modèle #3) consiste à poursuivre la résolution de l'écoulement (toujours en 3D) dans le champ loin, vers la baie Miller et le barrage Chenaux. Comme le montre la Figure 2-5, le

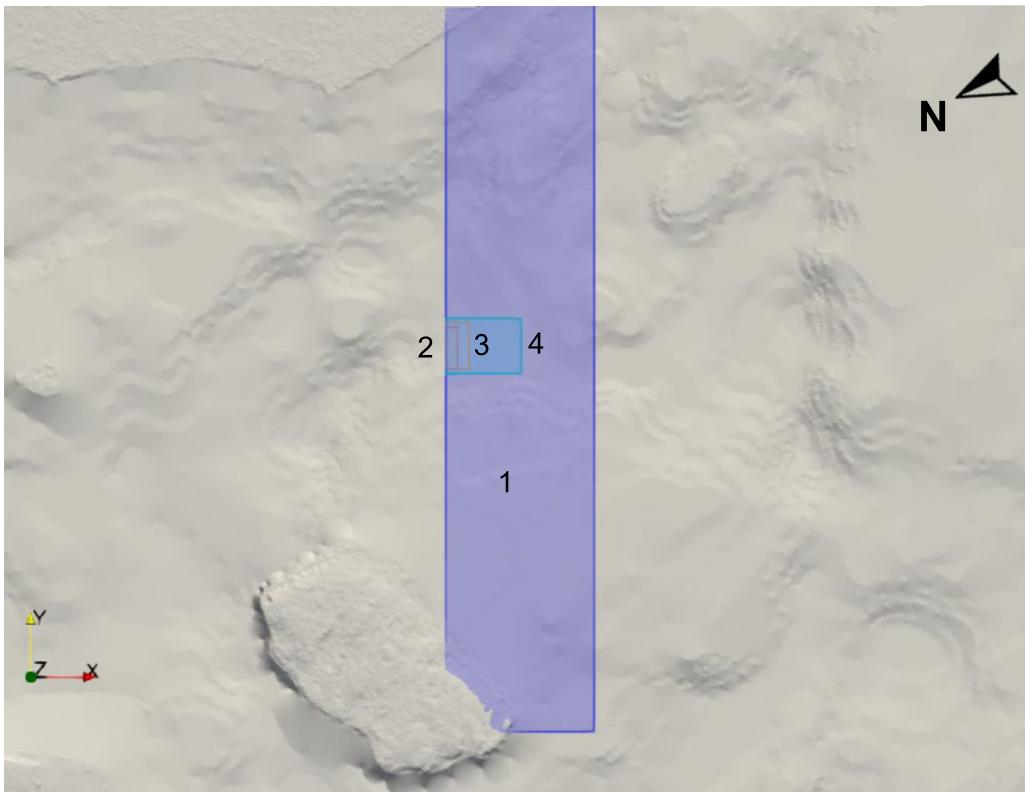
maillage couvre la région débutant à la fin du champ proche ainsi qu'une portion du lac du Rocher Fendu sur une longueur de 95 m. En effet, les conditions d'écoulement à la sortie du champ proche sont injectées à l'entrée de ce modèle pour simuler la dilution finale de l'effluent (champ loin), ce qui prend moins de 100 m et explique ainsi la grandeur du modèle retenue. Cette modification de l'étendue du modèle permet à nouveau d'optimiser grandement ce dernier en termes de nombre de cellules au sein du maillage et permet ainsi une durée de cette simulation finale raisonnable.

Le Tableau 2.5 présente les différents blocs de calcul de ce modèle. Le bloc #1 représente le champ loin global d'une résolution de 0,96 qui se termine à 100 m en aval des diffuseurs. Un certain degré de raffinement issu du champ proche est conservé pour le troisième modèle afin d'aider l'interpolation réalisée par la technique de « Grid Overlay » qui permet d'injecter les conditions hydrauliques de fin du champ proche à l'entrée du champ loin. Ainsi, le panache de rejet est d'abord couvert à son entrée dans le domaine de calcul par le bloc #4 d'une résolution de 0,12 m. La résolution est ensuite relâchée progressivement de la même manière que les blocs du champ proche traités ci-haut. Ce troisième modèle nécessite 50 minutes d'écoulement afin d'atteindre un régime stabilisé à travers le domaine, pour un temps de calcul machine d'environ 1 journée.

Tableau 2.5 Résolution spatiale du modèle #3 à travers le domaine de calcul

# bloc	Couverture	Résolution (m)	Type
1	Champ loin	0,96	3D
2	Diffuseur #4 loin	0,12	3D
3	Diffuseur #5 loin	0,24	3D
4	Site d'effluent loin	0,48	3D

Figure 2.6 Blocs de maillage composant le domaine de simulation du modèle #3



2.4.6 Conditions limites

Tel que mentionné à la section 2.3, pour représenter la courantologie de la rivière des Outaouais au droit du site, l'influence des deux bras en amont est considérée dans le modèle. Cette influence est représentée par deux conditions d'entrée distinctes qui imposent un débit constant dans le modèle #1 et le modèle #2. La répartition du débit total entre les deux conditions limites est de 50/50. Une température uniforme et une concentration en chlorure uniforme équivalente aux valeurs ambiantes (naturelles) sont également imposées. Les valeurs retenues pour les simulations sont présentées au Tableau 2.6.

Pour ce qui est de la représentation des diffuseurs, des sources de masse et de quantité de mouvement sont utilisées dans le modèle CFD. Ces sources sont en fait des plans circulaires de même diamètre que l'ouverture (plan de sortie) des diffuseurs. Une vitesse uniforme de 3 m/s est imposée sur ces plans, avec une température et une concentration de chlorure correspondant à celles de l'effluent (Tableau 2.6). Suivant le diamètre de l'ouverture des diffuseurs, la vitesse imposée implique un débit constant de 0,0266 m³/s. À noter que les diffuseurs ne sont inclus que dans le modèle #2.

Pour l'ensemble des modèles, seul un niveau d'eau constant de 86,1 m est imposé en sortie. Selon des tests préliminaires menés en 2D, le niveau d'eau dans la rivière est essentiellement uniforme en conditions d'étiage et en conditions moyennes, car la rivière se comporte comme un lac.

Tableau 2.6 Conditions limites imposées aux frontières du domaine de calcul et aux effluents

Paramètre	Scénario d'étiage
Débit Bryson	215 m ³ /s
Débit Rocher Fendu	215 m ³ /s
Niveau d'eau	86,1 m
Température ambiante	26 °C
Concentration en chlorure ambiante	1,5 mg/l
Température de l'effluent	20 °C
Concentration en chlorure de l'effluent	640 mg/l
Débit effluent ¹	0,0266 m ³ /s
Vitesse d'éjection de l'effluent	3 m/s

¹ Dans le modèle, le débit n'est pas directement imposé, il est plutôt la résultante de la vitesse imposée en sortie et du diamètre en sortie du diffuseur.

Enfin, il est à noter que le modèle #3 n'impose pas de débit fixe en entrée à proprement parler, mais utilise plutôt une technique de « Grid Overlay ». Cette technique permet de récupérer les résultats d'une autre simulation, ici les résultats du modèle #2, pour les injecter en entrée d'une nouvelle simulation, ici le modèle #3 incorporant le champ loin. Ainsi, le modèle #3 tient compte de l'apport de chacun des bras de la rivière, de l'impact des îles et de la courantologie du secteur amont tout en évitant de simuler le champ proche en même temps que le champ loin, ce qui demande beaucoup de ressources de calcul.

2.4.7 Conditions initiales

Les conditions initiales pour cette étude dépendent du modèle spécifié. Pour ce qui est du modèle #1 associé aux conditions naturelles, une élévation de niveau d'eau constante correspondant à la valeur présentée au Tableau 2.6 est appliquée pour l'ensemble du domaine, ce qui est représentatif du réservoir en amont du barrage Chenaux. Pour ce qui est de la température, la valeur appliquée est également tirée du Tableau 2.6 en négligeant les effets de stratification au sein de la rivière qui sont minimes. La concentration de chlorure de la rivière est également imposée, pour tous les scénarios, à la valeur naturelle de 0,0015 kg/m³ (1,5mg/l). Dû à la courantologie complexe du site de Samonix par la présence de deux bras d'écoulement, aucun champ de vitesse initial n'a été imposé. Ce dernier est obtenu en premier lieu en laissant le modèle développer l'écoulement au sein de l'étape préliminaire des conditions naturelles réalisée en 2D. Les conditions d'écoulement obtenues en 2D sont alors utilisées comme conditions initiales du modèle #1 hybride présenté à la Figure 2-3.

Après avoir atteint un régime permanent pour le modèle #1 représentant les conditions naturelles, les conditions d'écoulement associées sont injectées comme conditions initiales dans le modèle #2 simulant le champ proche. De manière similaire, les conditions d'écoulement finales du champ proche sont finalement utilisées au sein du modèle #3 comme conditions initiales du champ loin.

2.5 Validation du modèle et étude de sensibilité

En l'absence de données d'étalonnage pour le modèle CFD, les bonnes pratiques de Flow-Science et l'expérience pratique des ingénieurs hydrauliciens ont été mises en œuvre. Cette démarche, qui s'inscrit dans le cadre du processus de contrôle qualité de WSP, garantit la conformité des différents paramètres sélectionnés aux normes industrielles.

Puisque l'obtention des résultats se fait en plusieurs étapes, une vérification a tout de même été effectuée en comparant le champ de vitesse du modèle #3 autour du site de rejet et celui obtenu à l'aide d'un modèle 2D afin de s'assurer que le transfert des données d'un modèle à l'autre n'a pas induit d'erreur et que la dynamique du champ loin suit bel et bien la courantologie naturelle.

Enfin, les résultats du champ proche ont également pu être comparés à des résultats de dilution issus d'un modèle Cormix (fourni par Samonix). À 5 m de distance des injecteurs, ce modèle indique des dilutions de 25 :1 pour une vitesse ambiante de 0,06 m/s et de 54 :1 pour une vitesse de 0,13 m/s. À la même distance de 5 m, le modèle #2 (présent modèle) indique une dilution minimale de 21 :1 pour une vitesse ambiante moyenne d'environ 0,09 m/s. Le modèle CFD présente donc des dilutions similaires à celles obtenues avec le modèle Cormix, mais demeure tout de même plus conservateur (rapidité de dilution un peu plus faible).

3 Résultats

Afin de statuer sur l'impact de l'effluent du projet de ferme piscicole sur les conditions naturelles de la rivière des Outaouais au droit du site retenu par Samonix, un scénario basé sur les conditions hydriques les plus défavorables est étudié. Celui-ci considère en particulier des conditions hydrologiques en étiage estival, impliquant les conditions les plus critiques pour la diffusion et la dilution de l'effluent : vitesses d'écoulement faibles et température de l'eau élevée.

Dans un premier temps, la courantologie du secteur a été évaluée en conditions naturelles. La Figure 3-1 présente les vitesses dans le secteur à l'étude dans ces conditions. Malgré une répartition de 50/50 entre les bras est et ouest, les vitesses à la sortie du bras est sont plus élevées. Cela est dû notamment aux plus faibles profondeurs et au chenal plus étroit de ce bras. Au droit du site de rejet à l'étude, les vitesses moyennées dans la profondeur varient entre 0,075 et 0,15 m/s. En un point donné, les vitesses varient également dans la profondeur en fonction du profil de vitesse qui s'y est développé. Ainsi, à la profondeur d'installation projetée des diffuseurs, la vitesse peut atteindre un minimum de 0,06 m/s (voir la Figure 3-2).

Quant à la direction de l'écoulement, les lignes de courant superposées au champ de vitesse à la Figure 3-1 montrent que l'écoulement en provenance des diffuseurs semble d'abord se diriger légèrement vers la rive gauche pour revenir vers la droite avant de se diriger vers le barrage Chenaux. Autrement dit, à grande échelle, **l'écoulement en provenance du site de rejet demeure dans le chenal principal et évite la baie Miller.**

Figure 3.1 Courantologie du site de Samonix en conditions naturelles pour un scénario d'étiage : *en noir les lignes de courant propagées par le modèle à partir d'une section transversale de 15m au droit du site de rejet*

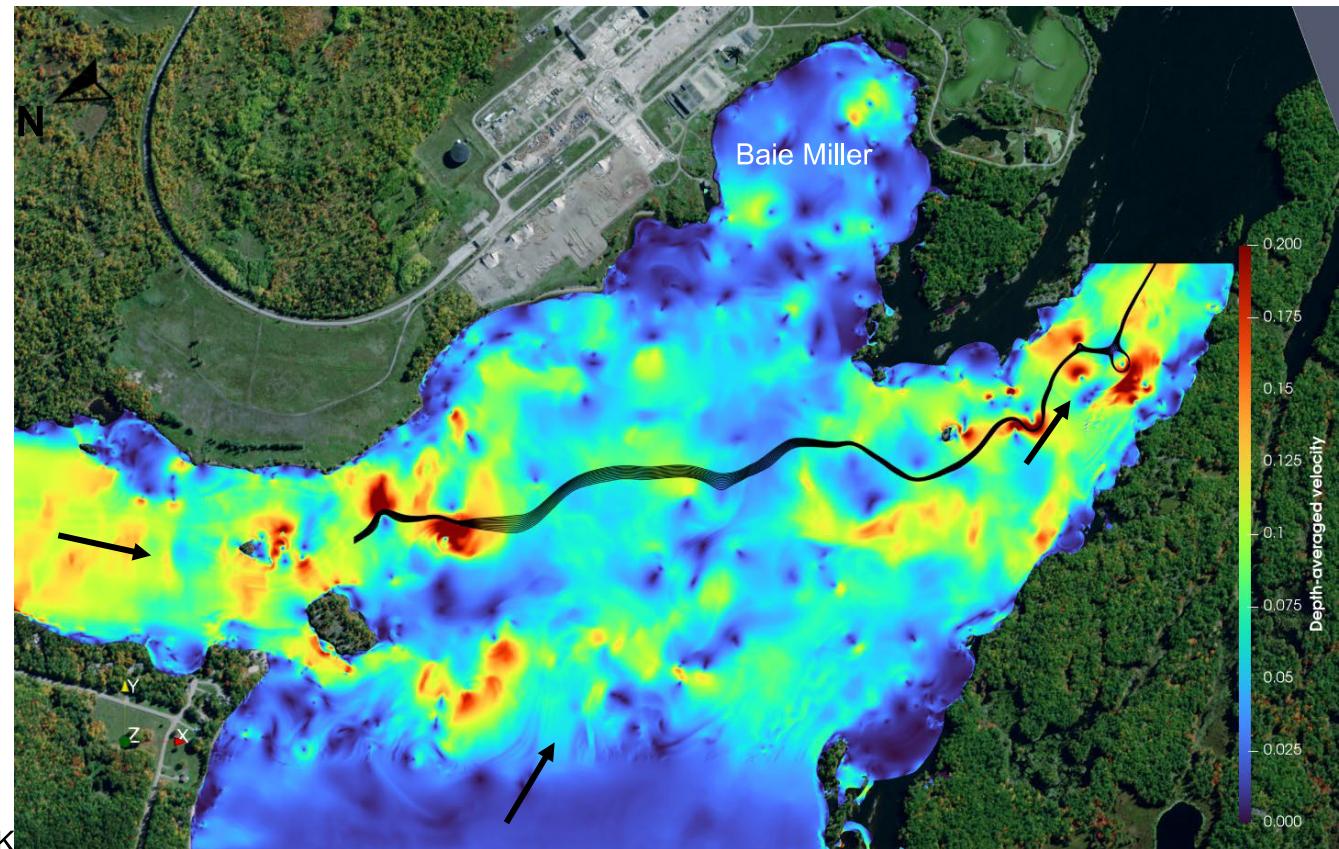
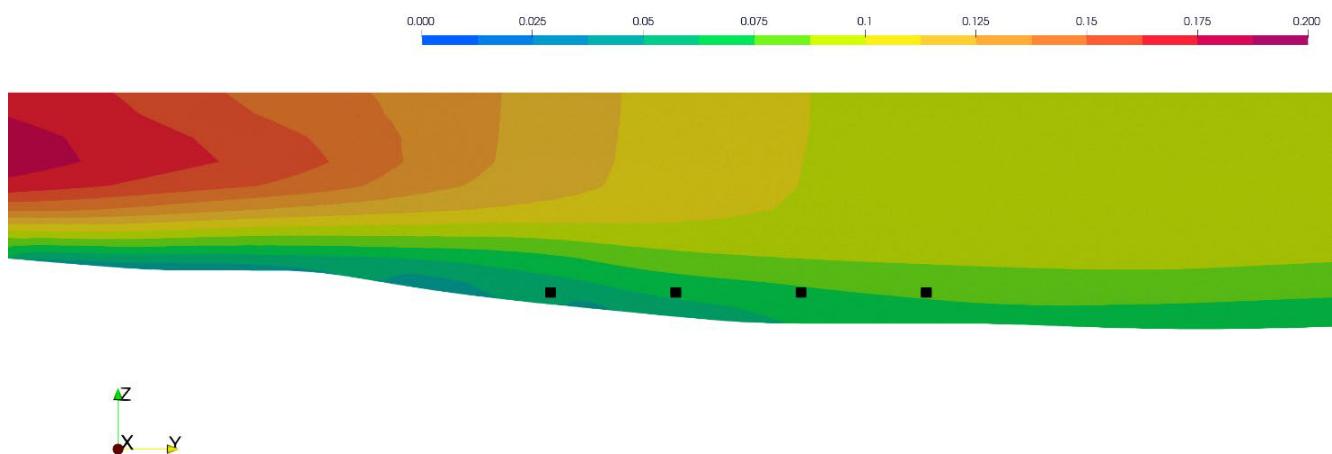


Figure 3.2 Champ de vitesse ambiant vu de l'amont autour des 4 diffuseurs, avec une échelle de couleurs qui décrit les vitesses d'écoulement locales en m/s.



L'intégration des diffuseurs (modèles #2 et #3) permet ensuite de visualiser l'ampleur du panache de rejet dans la rivière. La Figure 3-3 présente les limites (l'enveloppe) de l'effluent à l'intérieur desquelles les concentrations en chlorure sont supérieures à 1,5 mg/l. Cette enveloppe est tracée en reliant les points pour lesquels la concentration déterminée par le modèle est égale à 1,5 mg/l. La dilution proche des concentrations naturelles se fait de façon asymptotique, donc dans les faits les limites du panache

ne sont pas tranchées. Basé sur cette représentation, le panache tel que visible à la Figure 3-3 présente une longueur totale d'environ 90 m à partir des diffuseurs.

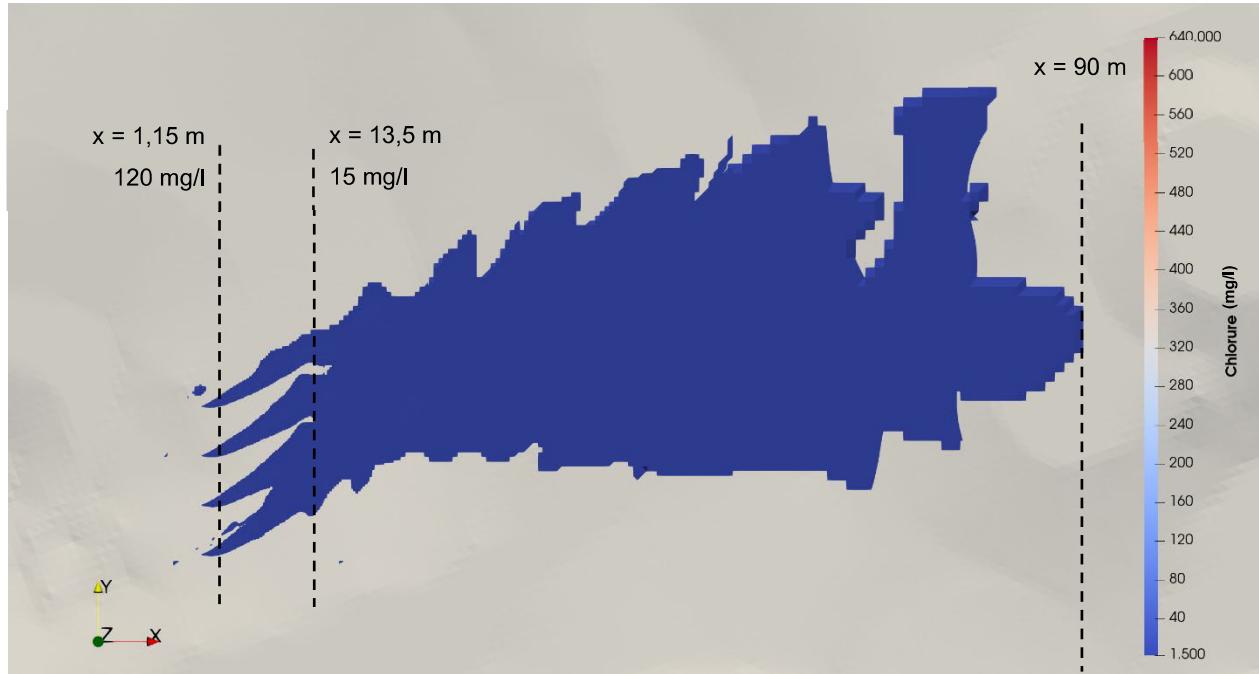
La Figure 3-4, représentant une vue rapprochée du site, indique plus précisément les distances sur lesquelles la dilution s'effectue. Elle montre que les panaches individuels se propagent sur une certaine distance (environ 13,5 m) avant de fusionner ensemble pour former un grand panache. À ce point, la concentration maximale en chlorure est d'environ 15 mg/l et se localise dans le sillage du premier diffuseur, soit celui le plus à l'ouest. Cette concentration maximale est déjà inférieure au seuil de toxicité chronique (120 mg/l). Enfin, le panache finit par se diluer à la concentration en chlorure naturelle de la rivière de 1,5 mg/l à une distance d'environ 90 m tel que mentionné précédemment. L'évolution des concentrations à l'intérieur de l'enveloppe (panache) appuyant ces mesures est illustrée à la Figure 3-5. Cette figure présente une vue d'ensemble de la dilution du panache à travers le champ proche ainsi que le champ loin. Il est observable selon le gradient de concentration en chlorure de cette figure que la dilution du panache se fait très rapidement à l'intérieur des cinq premiers mètres. La Figure 3-6 présente une section du champ proche au centre d'un diffuseur vue de côté afin de mieux visualiser cette dilution rapide.

La température de l'eau suit un comportement similaire. La température initiale de 20 °C sortant des 4 ports se diffuse rapidement et l'effluent rejoint la température de la rivière à une distance de moins de 2,5 m. La Figure 3-6 présente cette évolution.

Figure 3.3 Panache d'écoulement en sortie des diffuseurs pour un scénario d'étiage (voir agrandissement à la Figure 3-4)

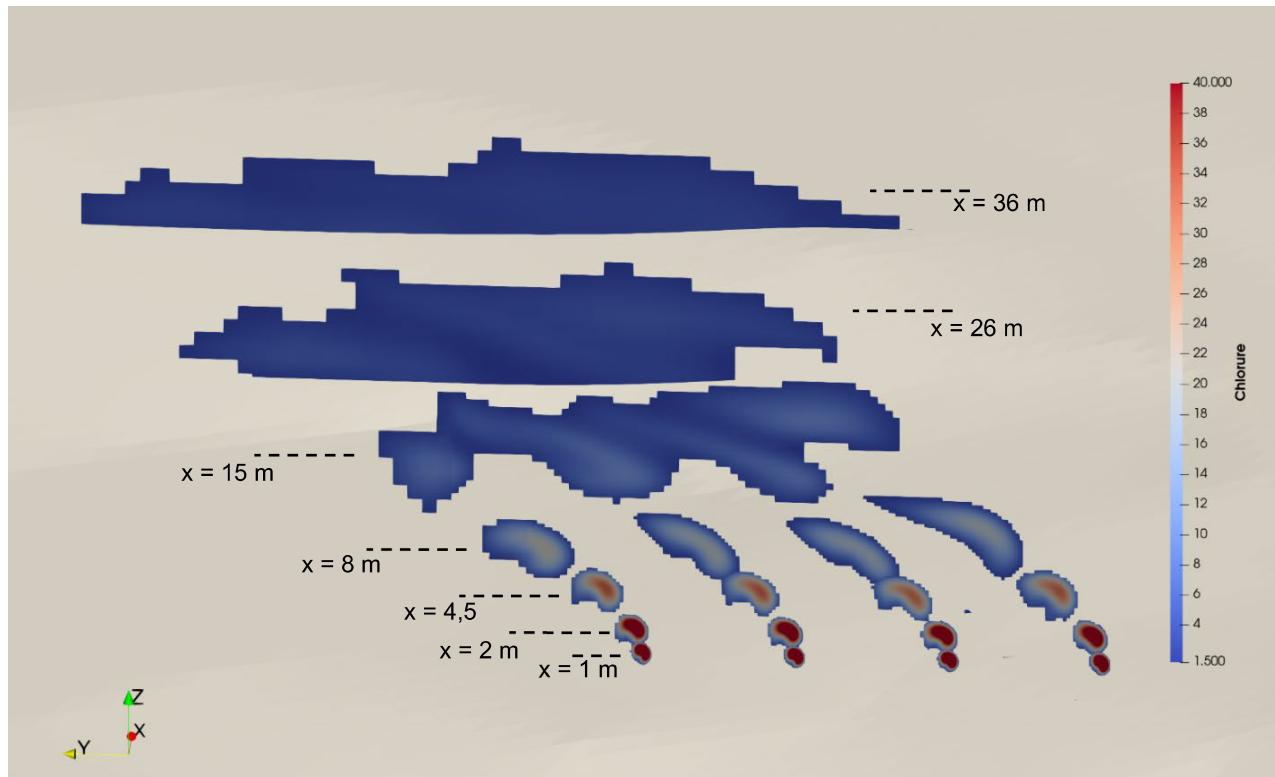


Figure 3.4 Vue agrandie du panache d'écoulement en sortie des diffuseurs



* La figure montre la forme du panache à l'intérieur duquel les concentrations en chlorures sont supérieures à 1,5 mg/l.

Figure 3.5 Sections transversales du panache vue de l'amont montrant l'évolution des concentrations en chlorure (en mg/l) à l'intérieur du panache*



* Il faut comprendre que la figure ci-dessus illustre une superposition de plusieurs étapes d'évolution du panache, pour les distances considérées en x à partir des diffuseurs.

À noter que pour une meilleure visualisation de l'effet de dilution dans l'espace, l'échelle de concentration des chlорures a été réduite à 40 mg/l (la modélisation est cependant basée sur une diffusion de l'effluent à 640 mg/l)

Figure 3.6 Coupe type vue de côté du champ de concentration en chlorure (en mg/l) dans la direction de l'écoulement sortant d'un diffuseur pour un scénario d'étiage

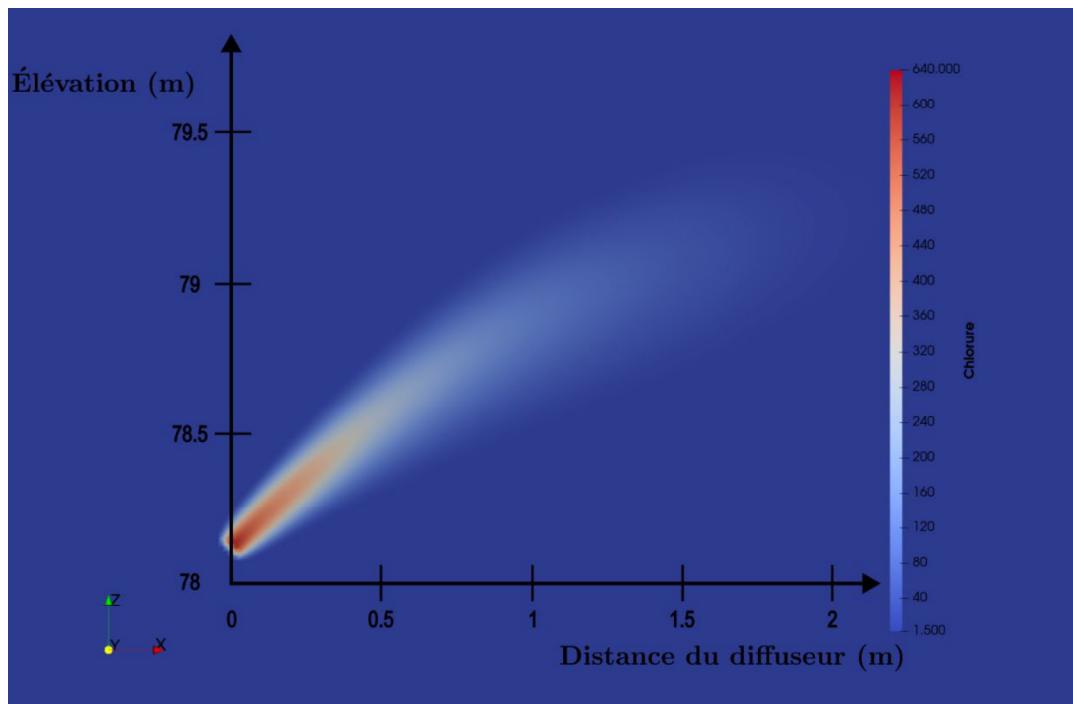
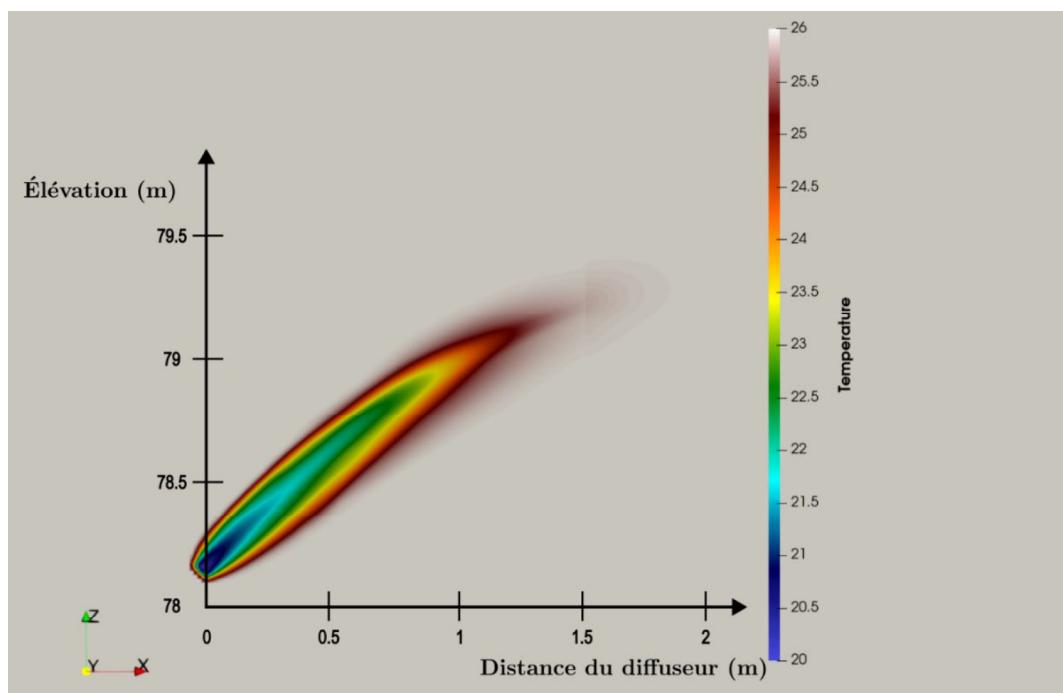


Figure 3.7 Coupe type de côté de champ de température dans la direction de l'écoulement sortant d'un diffuseur pour un scénario d'étiage



4 Conclusion

L'objectif de l'étude était de fournir des résultats de modélisation détaillée permettant de caractériser la dispersion et la dilution de l'effluent du projet de la ferme piscicole de Samonix. Pour ce faire, des simulations hydrodynamiques 3D ont été réalisées avec le logiciel FLOW-3D HYDRO. Ce type de modèle permet de tenir compte de la courantologie du secteur, de la dynamique des jets, de la concentration en chlorure et de la température de l'eau et de l'effluent pouvant mener à des effets de stratification.

Au niveau du panache de dilution, considérant une concentration en chlorure initiale en sortie des diffuseurs de 640 mg/l, les résultats en conditions d'étiage montrent que les concentrations en chlorure tombent sous le seuil de toxicité chronique (120 mg/l) au bout d'un mètre environ. À une distance d'environ 90 m des diffuseurs, la concentration rejoint le niveau naturel de la rivière (1,5 mg/l). La courantologie locale, caractérisée par des vitesses faibles (variant entre 0,07 et 0,15 m/s), joue un rôle dans la direction de propagation du panache. Bien que sortant initialement à une vitesse de 3 m/s au niveau des diffuseurs, le panache adopte rapidement une vitesse de convection équivalente à l'écoulement ambiant.

Il a par ailleurs été vérifié que la veine principale d'écoulement en provenance du site de rejet demeure dans le chenal central de la rivière et évite la baie Miller. Il n'y a de ce fait aucun risque d'accumulation de chlorures dans cette zone d'eau calme.

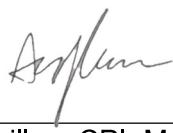
La température de l'effluent de 20 °C se rapproche également rapidement de celle considérée en rivière en période estivale (26 °C max.). Ce processus s'effectue sur une très courte distance en sortie des diffuseurs, soit environ 2,5 m. Les données de terrain ont montré que le champ de température est essentiellement uniforme et les effets de stratification thermique sont jugés négligeables, ce qui facilite le mélange et la dispersion du panache.

En résumé, l'analyse confirme que, dans les conditions simulées, l'effluent de la ferme piscicole ne devrait entraîner aucune accumulation de chlorures ni de perturbation thermique dans la rivière des Outaouais.

5 Références

- Centre de l'expertise hydrique du Québec (CEHQ), (2023). *Atlas hydroclimatique du Québec méridional*.
- Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais (CPRRO), (2025). *Données de la station hydrométrique Britannia*.
- Garde-rivière des Outaouais, (2025). *Étude et surveillance de la santé du bassin versant – Température de l'eau* : <https://garderivieredesoutaouais.ca/ce-que-nous-faisons/initiatives/etude-et-surveillance-de-la-sante-du-bassin-versant/temperature/#donnees>
- Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry (OMNRF), (2019). *Ontario Digital Terrain Model*. Ontario GeoHub.
- Ouranos, (2023). *Phénomènes climatiques – Températures - Changements projetés. Portraits climatiques basés sur CMIP6*.

Préparée par :



Antoine Papillon, CPI, M. Sc.
N° OIQ : 6068357

Préparée et vérifiée par :



2025-12-18

Olivier Gauvin Tremblay, ing., Ph.D.
N° OIQ : 5022458

Vérifiée par :



Pierre-Etienne Schneegans