

Complexe de la Romaine

Suivi environnemental 2019 en phase exploitation

Suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver 2018-2019



Aire d'alevinage du PK 51, 20 février 2019

**UNITÉ CONCEPTION DES AMÉNAGEMENTS DE PRODUCTION, HYDRAULIQUE
ET GÉOTECHNIQUE**

Version finale

Décembre 2019

Complexe de la Romaine

Suivi environnemental 2019 en phase exploitation

Suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de
la centrale de la Romaine-1 – Hiver 2018-2019

Préparé par:

Fanny Houdré, ing.
Conception des aménagements de
production, Hydraulique et Géotechnique

Révision avant émission:

Isabelle Thériault, ing. M. Sc.
Conception des aménagements de
production, Hydraulique et Géotechnique

Marc Barbet, ing. M. Sc. A.
Chef Hydraulique
Conception des aménagements de
production, Hydraulique et Géotechnique

**UNITÉ CONCEPTION DES AMÉNAGEMENTS DE PRODUCTION, HYDRAULIQUE
ET GÉOTECHNIQUE**

Version finale

Décembre 2019



Équipe de réalisation

UNITÉ CONCEPTION DES AMÉNAGEMENTS DE PRODUCTION, HYDRAULIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Fanny Houdré, ingénieure

Isabelle Thériault, ingénieure

UNITÉ SOUTIEN ENVIRONNEMENTAL – EST ET RÉSEAUX AUTONOMES, DIRECTION ENVIRONNEMENT

Maude Richard St-Vincent, coordonnatrice du suivi environnemental

UNITÉ PROJETS ET ÉVALUATIONS ENVIRONNEMENTALES

Pierre Vaillancourt, chargé de projets environnement

UNITÉ EXPERTISE – ENVIRONNEMENT NATUREL ET HUMAIN, DIRECTION ENVIRONNEMENT

Mylène Levasseur, conseillère environnement

UNITÉ GÉOMATIQUE

Guy Bouchard, ingénieur

Pierre Tardif, préposé, captage données géomatique

Marco Landry, journalier, captage données géomatique

SOMMAIRE

Auteur et titre (pour fins de citation):

Hydro-Québec Équipement, 2019. *Complexe de la Romaine – Suivi environnemental 2019 en phase exploitation – Suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 - Hiver 2018-2019. Version finale. Décembre 2019.* Préparé par F. Houdré RA-2019-0018-01. Unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et géotechnique. 64 p. et annexes.

Sommaire:

De nombreux engagements et conditions concernant entre autres la protection de l'environnement et le suivi environnemental doivent être respectés par Hydro-Québec dans le cadre de la réalisation du complexe hydroélectrique de la Romaine. Conformément aux engagements d'Hydro-Québec, un programme de suivi environnemental d'une durée maximale de 31 ans (2009-2040) a été déposé en 2010. L'objectif principal du programme est de vérifier l'évolution du milieu de même que l'efficacité des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation mises en place dans le cadre du projet.

Ce rapport fait partie du suivi environnemental entrepris dans le cadre du projet du Complexe de la Romaine. L'objectif est de préciser les périodes de présence de glace sur les frayères à saumon naturelles (PK 34 et 46) et aménagées (PK 49 et 51) durant la période hivernale afin de valider si les conditions d'écoulement peuvent varier en fonction de ce paramètre uniquement, au droit de celles-ci, et de déterminer la position du front de la couverture de glace sur la rivière.

L'hiver 2018-2019 représente le troisième hiver suivant une année complète d'exploitation de la centrale de la Romaine-1, celle-ci ayant été mise en service en décembre 2015. Il représente également le cinquième hiver suivant la mise en eau du réservoir de la Romaine 2, qui a modifié définitivement le régime thermique de la rivière et en conséquence le régime des glaces dans l'habitat du saumon atlantique.

La description de la formation, de la progression et du départ de la couverture de glace s'appuie sur quatre survols photographiques de l'ensemble de la rivière en aval de Romaine-1 au cœur de l'hiver et au moment du départ des glaces, sur l'analyse d'images satellites ainsi que sur des photographies prises à cadence horaire au droit des frayères (en rive droite aux PK 34 et 46, et en rive gauche au PK 49). Des mesures de la

température de l'air, de l'eau, de niveau et de débit prises en continu à plusieurs endroits en aval de la centrale de la Romaine-1 ont permis de compléter l'information visuelle.

La rigueur de l'hiver glaciologique s'exprime par le cumul des températures de l'air entre le moment où la température passe sous le point de congélation et le moment où elle le dépasse. Le cumul de 1 542°C-jours de gel observé en 2018-2019 place cet hiver en troisième position des hivers les plus froids depuis 2008, après 2014-2015 (1 727°C-jours de gel) et 2013-2014 (1 691°C-jours de gel). L'hiver glaciologique a débuté le 10 novembre 2018 (moment où la température moyenne journalière devient inférieure à 0°C) et s'est terminé le 11 avril 2019.

Un début d'hiver hâtif a favorisé l'apparition d'une couverture de glace dans le secteur aval proche de l'embouchure de la rivière Romaine dès la fin du mois de novembre 2018. Malgré un épisode de redoux le 22 décembre, la couverture de glace est complète d'une rive à l'autre entre les PK 3 et PK 29 au début de janvier. De la glace de rive est présente entre les PK 30 et 45, lors des journées les plus froides et lorsque le débit turbiné à la centrale de la Romaine-1 est proche de 200 m³/s. Les augmentations de débit à 400 m³/s en janvier et février provoquent la désagrégation de cette glace de rive, qui se reforme dès que les conditions sont de nouveau favorables. La réduction du débit turbiné à une valeur stable proche de 150 m³/s fin février 2019 et la rigueur de la fin de l'hiver permettent à la glace de rester présente pendant tout le mois de mars 2019. La glace de rive évolue alors en fonction des conditions de températures de l'eau et de l'air, et du débit turbiné. En avril 2019, l'augmentation du débit turbiné à 200 m³/s pour une période de quelques jours, combinée à un épisode de redoux et de précipitations liquides le 1^{er} avril, entraîne la disparition complète de la glace de rive sur le tronçon en amont du PK 10, et l'ensemble du tronçon en aval de la centrale Romaine-1 devient libre de glace le 10 avril 2019.

Les fluctuations de débits turbinés à la centrale de Romaine-1 durant l'hiver 2018-2019 ont été moins importantes que les deux hivers précédents, et respectent le patron théorique décrit dans la nouvelle directive d'exploitation de la centrale de la Romaine-1 qui a été entendu avec les autorités gouvernementales. Selon l'étude d'impact (Hydro-Québec, 2007), en présence des quatre réservoirs, on prévoyait que le débit d'exploitation du complexe en aval de la centrale de la Romaine-1 varierait typiquement entre 200 et 400 m³/s et que le débit atteindrait très rarement le débit réservé, soit en cas de faible hydraulicité, ou en tout temps advenant un bris des deux turbines. Ainsi, en 2018-2019, le débit turbiné a été stable et maintenu proche de 150 m³/s en décembre et mars afin de s'assurer d'avoir une réserve d'eau suffisante pour turbiner l'hiver lorsque la demande énergétique est grande. Il a varié entre 200 et 415 m³/s pendant les mois de janvier et février, selon la demande. Ces variations de débit provoquent une hausse du niveau d'eau de l'ordre de 1 m dans la rivière Romaine en aval de la centrale, tel que prévu à l'étude

d'impact. Lors des survols du 17 janvier et du 20 février, des traces d'eau ont pu être observées sur le couvert de glace/neige à proximité des rives ou autour des îles à plusieurs endroits sur la rivière, résultant des variations rapides du niveau d'eau. Ce phénomène a toutefois été beaucoup moins souvent observé que les hivers précédents car l'amplitude des variations du niveau d'eau ont été moins importantes.

L'analyse des photos aux sites des frayères naturelles et aménagées et les observations collectées lors des survols hivernaux ont permis d'observer que la glace de rive est présente près des frayères lorsque la température de l'air est très froide et que le débit est maintenu constant pendant plusieurs jours, mais l'emprise demeure restreinte et la glace toujours lisse et mince. Le centre de la rivière est toujours dégagé, quels que soient la température de l'eau, la température de l'air et le débit turbiné. Pour les frayères des PK 51, 49, 46 et 34, le positionnement des nids de saumon inventoriés (automne 2015, 2016, 2017 et 2018) se situe à une profondeur minimale de 0,3 m sous le niveau de l'eau lorsque le débit est à 140 m³/s (WSP, 2016, WSP, 2017, WSP, 2019a et WSP, 2019b). Les survols ont permis de constater l'absence de glace de fond au droit des frayères. Puisque qu'il n'y a pas de glace au-dessus des frayères à saumon naturelles et aménagées ainsi que des aires d'alevinage aménagées, aucune variation significative des conditions d'écoulement associées à ce paramètre uniquement n'est appréhendée sur ces sites, qui auraient pu modifier le régime sédimentologique au droit de l'habitat de reproduction du saumon.

Dans la mesure où les observations aux sites des frayères sont similaires depuis la mise en service des centrales du complexe Romaine (absence de glace qui atteint le substrat, aucune présence de glace de fond), il est recommandé d'interrompre le suivi du régime des glaces sur les sites des frayères à saumon naturelles (PK 34 et 46) et aménagées (PK 49 et 51) prévu aux hivers 2019-2020 et 2020-2021.

TABLE DES MATIÈRES

Complexe de la Romaine	i
Suivi environnemental 2019 en phase exploitation	i
1. Introduction	1
1.1. Mise en contexte	1
1.2. Engagements et conditions de décret	1
1.2.1. Engagements généraux	1
1.2.2. Engagements et obligations spécifiques	2
1.3 Objectifs et zone d'étude	3
2. Conditions à l'état de référence et conditions anticipées	3
2.1. Régime des glaces à l'état naturel	3
2.2. Modifications du régime des glaces prévues à l'étude d'impact.....	4
3. Méthode	9
3.1. Description générale de la rivière	9
3.1.1. Données disponibles	9
3.2. Cas particulier des frayères.....	3
4. Résultats des observations	5
4.1. Mesures des températures de l'eau et de l'air	5
4.2. Débits et niveaux pendant la période hivernale	12
4.3. Observations visuelles	16
4.3.1. Description générale de la rivière	16
4.3.2. Conditions particulière des frayères	32
5. Mesure des épaisseurs de glace	58
6. Conclusion des observations de l'hiver 2018-2019 et comparaison avec les conditions à l'état naturel.....	59
7. Liste des références	63
 Annexe A : Images satellites de l'emprise de la couverture de glace de l'hiver 2017-2018	
 Annexe B : Exploitation du modèle de génération et d'écoulement en présence de glace	

LISTE DES CARTES

Carte 1 :	Zone d'étude	4
-----------	--------------------	---

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Marnages associés aux variations de débit aux PK 51, 34, 16 et 1 de la Romaine.....	6
Tableau 2 :	Emprises de la couverture de glace au moment des différents survols	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Résultats de la modélisation de l'emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 suite à la mise en place des quatre aménagements du Complexe de la Romaine – 15 décembre et 15 janvier	7
Figure 2 :	Résultats de la modélisation de l'emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 suite à la mise en place des quatre aménagements du Complexe de la Romaine – 15 février et 15 mars	8
Figure 3 :	Gel cumulé de l'hiver 2018-2019.....	6
Figure 4 :	Gel cumulé à Havre-St-Pierre depuis 2008	6
Figure 5 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en novembre 2018.....	9
Figure 6 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en décembre 2018.....	10
Figure 7 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en janvier 2019	10
Figure 8 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en février 2019	11
Figure 9 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en mars 2019	11
Figure 10 :	Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en avril 2019	12
Figure 11 :	Débits horaires mesurés à la centrale de la Romaine-1 et sur le cours aval.....	15
Figure 12 :	Niveaux horaires mesurés à différents emplacements en aval du PK 51	15

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 :	Appareil photo installé sur la rive gauche, au PK 2,4.....	9
Photo 2 :	Apparition de glace près de la rive gauche au PK 2,4 le 22 novembre 2018 à 8h	18
Photo 3 :	Couverture de glace s'étendant vers le centre de la rivière au PK 2,4 le 26 novembre 2018 à 10h.....	18
Photo 4 :	Couverture de glace presque complète devant le sentier provincial au PK 2,4 le 21 décembre 2018 à 11h	19
Photo 5 :	Couverture de glace dégradée par la hausse de débit (redoux) au PK 2,4 le 23 décembre 2018 à 8h	19
Photo 6 :	Couverture de glace complète et recouverte de neige au PK 2,4 le 31 décembre 2018 à 13h	20
Photo 7 :	Traces d'eau provoquée par les variations du niveau d'eau au PK 11 le 17 janvier 2019.....	21
Photo 8 :	Limite de la couverture de glace au PK 29 le 17 janvier 2019	22
Photo 9 :	Traces d'eau sur la couverture de glace au PK 11 le 19 février 2019	23
Photo 10 :	Éclaircie dans la couverture de glace au PK 14 le 19 février 2019	24
Photo 11 :	Éclaircie dans la couverture de glace au PK 29,5 le 19 février 2019	24
Photo 12 :	Dégradation de la couverture de glace en amont du PK 37 le 19 février 2019.....	25
Photo 13 :	Dégradation de la couverture de glace et légère accumulation de plaques de glace au PK 39 le 19 février 2019	25
Photo 14 :	Rivière dégagée au PK 43 le 19 février 2019	26
Photo 15 :	Grandes plaques minces dérivant à la surface de l'eau au PK 33 le 2 mars 2019	27
Photo 16 :	Chenal ouvrant la couverture de glace en amont du PK 16 le 25 mars 2019.....	28
Photo 17 :	Glacé très mince se formant à la surface des secteurs plus lents au PK 36 le 25 mars 2019.....	29
Photo 18 :	Eau sur la glace au PK 2,4 le 1 ^{er} avril 2019 à 7h	30
Photo 19 :	Glacé mince et détérioration de la couverture en amont du pont au PK 2,4 le 5 avril 2019 à 14h	31

Photo 20 :	Chenal libre de glace au PK 2,4 le 10 avril 2019 à 18h	31
Photo 21 :	Absence de glace sur la frayère et l'aire d'alevinage du PK 51, le 17 janvier 2019	33
Photo 22 :	Absence de glace sur la frayère et l'aire l'alevinage du PK 51, le 19 février 2019	34
Photo 23 :	Absence de glace sur la frayère et l'aire l'alevinage du PK 51, le 20 février 2019	34
Photo 24 :	Présence de glace mince en surface sur l'aire l'alevinage du PK 51, le 28 mars 2019	35
Photo 25 :	Présence de glace en conditions naturelles au PK 51 (07-02-2011)	35
Photo 26 :	Absence de glace sur la frayère du PK 49 et les aires d'alevinage aménagées, le 17 janvier 2019	37
Photo 27 :	Présence de glace de rive à l'aval de l'aire d'alevinage amont au PK 49, le 19 février 2019.....	37
Photo 28 :	Présence de glace de rive à l'aval de la frayère naturelle du PK 49, et glace mince sur les aires d'alevinage aménagées, le 25 mars 2019.....	38
Photo 29 :	Présence de glace à l'état naturel au PK 49 (2012-02-02)	38
Photo 30 :	Glace de rive au PK 46, le 17 janvier 2019.....	47
Photo 31 :	Glace de rive au PK 46, le 20 février 2019	47
Photo 32 :	Glace de rive au PK 46, le 2 mars 2019	48
Photo 33 :	Glace de rive recouverte de neige au PK 46, le 25 mars 2019.....	48
Photo 34 :	Glace présente en conditions naturelles au PK 46 (2012-02-02).....	49
Photo 35 :	Glace de rive devant la frayère du PK 34, le 17 janvier 2019	55
Photo 36 :	Glace de rive en décomposition devant la frayère du PK 34, le 19 février 2019	55
Photo 37 :	Glace de rive mince devant la frayère du PK 34, le 2 mars 2019	56
Photo 38 :	Glace de rive devant la frayère du PK 34, le 25 mars 2019.....	56
Photo 39 :	Glace présente devant la frayère du PK 34 en conditions naturelles (2014-02-11)	57

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 :	Évolution de la couverture de glace devant les deux aires d'alevinage et la frayère aménagée du PK 49, en novembre et décembre 2018 (vue vers l'amont).....	39
Planche 2 :	Évolution de la couverture de glace devant les deux aires d'alevinage et la frayère aménagée du PK 49, en janvier 2019 (vue vers l'amont)	40
Planche 3 :	Évolution de la couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en novembre et décembre 2018.....	43
Planche 4 :	Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en janvier 2019	44
Planche 5 :	Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en janvier et février 2019	45
Planche 6 :	Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en mars 2019.....	46
Planche 7 :	Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en novembre et décembre 2018.....	52
Planche 8 :	Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en janvier 2019	53
Planche 9 :	Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en janvier 2019 (suite).....	54
Planche B 1 :	Résultats de la modélisation les 21 et 23 décembre 2018 entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1	3
Planche B 2 :	Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 17 janvier 2019	4
Planche B 3 :	Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 19 février 2019	5
Planche B 4 :	Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 25 mars 2019	6
Planche B 5 :	Comparaison des températures de l'eau mesurées et calculées aux PK 46 et 34	7
Planche B 6 :	Comparaison des températures de l'eau mesurées et calculées aux PK 16, 5	8

1. Introduction

1.1. Mise en contexte

Hydro-Québec construit depuis 2009 un complexe hydroélectrique de 1 550 MW sur la rivière Romaine, au nord de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord. À terme, ce complexe sera composé de quatre aménagements hydroélectriques dont la production énergétique moyenne annuelle s'élèvera à 8 TWh par année.

L'aménagement de la Romaine-4, situé à la tête du complexe (Point kilométrique (PK) 191,9 de la rivière Romaine), sera mis en service en 2021. Il sera doté d'une centrale en surface de 245 MW munie de deux groupes. L'aménagement de la Romaine-3 est établi au PK 158,4 de la rivière. La centrale offre une puissance installée de 395 MW et a été mise en service en septembre 2017. L'aménagement de la Romaine-2, construit plus en aval au PK 90,3 de la rivière, a été mis en service en 2014 et produit 640 MW. La mise en eau du réservoir de la Romaine 2 a été complétée en novembre 2014. Enfin, au PK 51,5 se trouve l'aménagement de la Romaine-1, qui comprend une centrale d'une puissance de 270 MW et qui est en exploitation depuis décembre 2015.

1.2. Engagements et conditions de décret

1.2.1. Engagements généraux

De nombreux engagements et conditions concernant entre autres la protection de l'environnement et le suivi environnemental doivent être respectés par Hydro-Québec dans le cadre de la réalisation du complexe hydroélectrique de la Romaine. Le gouvernement du Québec a autorisé le projet en 2009, en vertu du décret n° 530-2009. L'approbation du gouvernement du Canada autorisant l'entreprise à effectuer les travaux a également été transmise en 2009, dont l'autorisation de Pêches et Océans Canada en vertu de la loi sur les Pêches (Autorisation 2015-006).

Conformément aux engagements d'Hydro-Québec, un programme de suivi environnemental d'une durée maximale de 31 ans (2009-2040) a été déposé en 2010. L'objectif principal du programme est de vérifier l'évolution du milieu de même que l'efficacité des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation mises en place dans le cadre du projet.

Un des éléments importants de ce programme de suivi concerne le saumon atlantique, une espèce hautement valorisée, mais dont la population dans la Romaine était peu abondante en conditions naturelles. L'habitat du saumon dans la Romaine se concentre dans le tronçon entre l'embouchure et le point kilométrique 51 de la rivière, site où se trouvait une chute infranchissable pour le saumon et où la centrale de la Romaine-1 a été construite. Ce tronçon a subi une modification de son régime hydrologique susceptible d'affecter le saumon atlantique. Un régime de débit réservé a été instauré, des modalités d'exploitation ont été établies et des frayères ont été aménagées aux PK 49 et 51 pour minimiser les impacts du projet sur cette espèce. À noter que des frayères naturelles sont localisées aux PK 34 et 46.

1.2.2. Engagements et obligations spécifiques

La modification du régime hydrologique et thermique d'une rivière affecte la nature et l'étendue de la couverture de glace. Les conditions d'écoulement en rivière (niveau d'eau et vitesse d'écoulement) peuvent être affectées par la présence d'une couverture de glace. Des modifications aux conditions d'écoulement peuvent en retour affecter le régime sédimentologique et l'habitat du poisson ; le ministère des Pêches et Océans du Canada (MPO) exige donc un suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1.

Ce suivi vise à répondre à la condition 5.1.6 du MPO (n° 2015-009) qui souhaite que la présence de glace soit documentée afin que son influence sur l'intégrité des frayères et de l'habitat du saumon puisse être évaluée.

Condition 5.1.6.2 : Effectuer des relevés physiques des glaces ou toute autre caractéristique permettant d'évaluer l'intégrité des frayères naturelles ou aménagées de même que les aires d'alimentation et d'hivernage aménagées, pendant une période minimale de 5 années soit l'an 1, 2, 3, 4 et 5 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-1.

Les activités de suivi du régime des glaces de la rivière Romaine sont également requises en vertu des engagements et obligations provenant de la section 47.2 au chapitre 47 de l'étude d'impact (Hydro-Québec, 2007).

1.3 Objectifs et zone d'étude

Un troisième suivi du régime des glaces au cours de l'hiver 2018-2019 a été réalisé afin d'observer les changements apportés à l'emprise de la couverture de glace et préciser les périodes pendant lesquelles la glace est présente sur les aires de fraie du saumon atlantique. La section 3 présente ainsi les principales observations concernant les dates de prise des glaces, leurs emprises en fonction des conditions météorologiques et du mode de gestion et les dates de départ des glaces.

La zone d'étude de ce suivi correspond à l'habitat du saumon dans la rivière Romaine, soit le tronçon à l'aval de la centrale de la Romaine-1, entre l'embouchure et le point kilométrique 51 de la rivière (carte 1). Dans le cours principal de la Romaine, on y retrouve deux principales frayères naturelles aux PK 34 et 46. En 2014, Hydro-Québec a procédé à divers aménagements visant à maintenir ou à augmenter la production salmonicole de la rivière Romaine. Dans le secteur du PK 49, les aménagements réalisés incluent une frayère de près de 5 700 m² et deux habitats d'élevage totalisant environ 8 900 m². Plus près de la centrale de la Romaine-1, au PK 51, une autre frayère d'environ 1 550 m² a également été aménagée, de même qu'un habitat d'élevage de 6 300 m² (WSP, 2016).

2. Conditions à l'état de référence et conditions anticipées

2.1. Régime des glaces à l'état naturel

Un suivi de l'évolution de la couverture de glace au cours des cinq hivers précédant la mise en eau du réservoir de la Romaine 2 a permis de définir la variabilité naturelle de ces conditions. Une synthèse de ces observations a été présentée dans le Bilan des activités environnementales de 2014 (Hydro-Québec, 2015). D'après les observations recueillies, la couverture de glace était complète ou presque devant les frayères après un gel cumulé de l'ordre de 250°C-jours. D'après l'historique des températures de l'air mesurées à Havre-St-Pierre depuis 1979, ce moment survenait entre le 7 décembre et le 26 janvier. La couverture de glace restait présente sans interruption pendant l'hiver. Dès la fin de l'hiver glaciologique ou lorsqu'une crue importante survenait durant l'hiver, un chenal se formait au centre de la rivière, mais dépendamment du débit et des températures de l'air pendant le printemps, la glace pouvait rester encore présente près de la rive jusqu'à une ou deux semaines additionnelles. La situation était semblable aux sites retenus pour les deux frayères aménagées, mais une éclaircie restait souvent

présente au centre de la rivière, en raison des vitesses de l'écoulement plus élevées dans le chenal d'écoulement principal.

En conditions naturelles, rappelons que le régime hydrologique de la Romaine était typique des rivières de la Côte-Nord, c'est-à-dire caractérisé par des crues printanières généralement fortes (1 500 m³/s en moyenne) et des étiages hivernaux prononcés (entre 75 et 100 m³/s). L'étiage le plus prononcé survenait en hiver avec un débit minimum variable selon l'année de 35 à 85 m³/s généralement atteint vers la mi-avril.¹

2.2. Modifications du régime des glaces prévues à l'étude d'impact

Le régime hivernal naturel de la rivière Romaine a été remplacé par un régime d'exploitation où le débit minimal est de 140 m³/s pour la période du 16 novembre au 6 juin (Hydro-Québec, 2007). Selon l'étude d'impact, en présence des quatre réservoirs, on prévoyait que le débit d'exploitation du complexe varierait typiquement entre 200 et 400 m³/s et que le débit atteindrait très rarement le débit réservé écologique, soit en cas de faible hydraulité, ou en tout temps advenant un bris des deux turbines (Hydro-Québec, 2007).

Dans l'étude d'impact, il a été prévu que la modification du régime hydrologique et thermique de la rivière affecterait la nature et l'étendue de la couverture de glace. On prévoyait que les frayères seraient parfois recouvertes de glace, mais qu'elle n'atteindrait jamais le substrat car le niveau d'eau hivernal serait plus élevé. Le risque de formation de glace de fond, tout comme celui que la glace s'appuyant sur le substrat seraient amoindris.

D'après les prévisions des conditions avec les quatre centrales en exploitation, la température de l'eau au PK 51 varierait entre 0,3 et 0,6°C au cours d'un hiver de rigueur moyenne, elle diminuerait entre 0,1 et 0,2°C durant les périodes les plus froides de l'hiver et fluctuerait entre 0,6 et 1,7°C durant les épisodes les plus doux de l'hiver. L'eau se refroidirait en progressant vers l'aval et atteindrait 0°C au PK 38 en moyenne. En aval de ce point, l'eau resterait à cette température pendant toute la durée de l'hiver.

Selon la modélisation numérique, le segment de rivière compris entre les PK 51 et 45 demeurerait libre de glace pendant toute la durée de l'hiver alors que la glace se formerait

¹ Le niveau d'eau en présence de glace au débit de 75 m³/s correspond à celui prévalant en l'absence de couverture de glace au débit de 140 m³/s.

par temps froid entre les PK 45 et 38 et disparaîtrait au moindre redoux. En aval du PK 38, la glace commencerait à se former près des rives à partir du 15 décembre. Elle progresserait vers le centre de la rivière. En moyenne, la couverture de glace serait complète d'une rive à l'autre et l'épaisseur effective dépasserait le seuil minimal de 20 cm. Certaines éclaircies demeuraient présentes dans les secteurs des chutes et les rapides pendant toute la durée de l'hiver (PK 2 et PK 16), comme c'était le cas en conditions naturelles, mais elles occuperaient une plus grande surface étant donné l'augmentation de la vitesse de l'écoulement résultant de l'augmentation du débit.

Selon les conditions de débits et températures de l'eau une fois toutes les centrales en service, la modélisation avait révélé que, bien que la couverture de glace s'étendrait normalement de l'embouchure jusqu'au PK 45, elle serait susceptible de reculer jusqu'au PK 35 au moindre redoux en cours d'hiver et plus rarement jusqu'au PK 30. Les figures 1 et 2, tirées de l'étude d'impact, montrent une vue schématique de l'étendue anticipée de la couverture de glace à différents moments au cours de l'hiver suite à la mise en place des quatre aménagements du complexe de la Romaine.

Les prévisions de l'étude d'impact ont été revues à la lumière de deux hivers exceptionnellement doux qui ont eu lieu après le début de la construction en 2009. La couverture de glace a commencé à disparaître dès le début du mois de mars 2010. L'hiver suivant, elle était absente du centre de la rivière à peu près sur l'ensemble du tronçon en aval du PK 51 et n'a pas commencé à se former avant la mi-janvier 2011. Si de tels hivers venaient à se reproduire, en condition aménagée, la glace serait peu présente sur la rivière.

Les marnages associés aux variations de débit en aval de la centrale de la Romaine-1 ont été annoncés à l'étude d'impact et sont reportés dans le tableau 1. Il était prévu que le marnage causé par la variation journalière du débit serait de l'ordre de 1 mètre sur l'ensemble de la rivière (PK 52 à PK 0).

Selon l'étude d'impact, en hiver, en période de grande demande de puissance, il était prévu l'adoption d'une gestion avec deux pointes distinctes par jour si l'état des réserves le permet. Les deux groupes fonctionneraient ainsi à un débit proche du maximum (485 m³/s) durant les heures de forte demande et au débit optimal le reste du temps (400 m³/s). Lorsque la demande serait moins forte, le débit s'établirait à 400 m³/s en heures de pointe

et à 200 m³/s en périodes hors pointe ou les fins de semaine. Les années de faible hydraullicité, le débit serait maintenu près de sa valeur minimale de 140 m³/s.

Tableau 1 : Marnages associés aux variations de débit aux PK 51, 34, 16 et 1 de la Romaine

Point kilométrique (PK)	Marnage (m)	
	Variation du débit journalier de 200 à 400 m ³ /s	Variation du débit horaire de 400 à 480 m ³ /s
51	1,2	0,3
34	0,9	0,2
16	0,8	0,1
1	0,8	0,02

* Ref. Tableau 18-2 de l'étude d'impact (Hydro-Québec, 2007).

La formation de fissures aux endroits où les rives sont escarpées et l'apparition d'eau près de la rive ont été décrites dans la section « régime des glaces » de l'étude d'impact. Les dates devancées de départ des glaces à différents endroits de la rivière ont été présentées dans le volume « milieu physique » de l'étude d'impact.

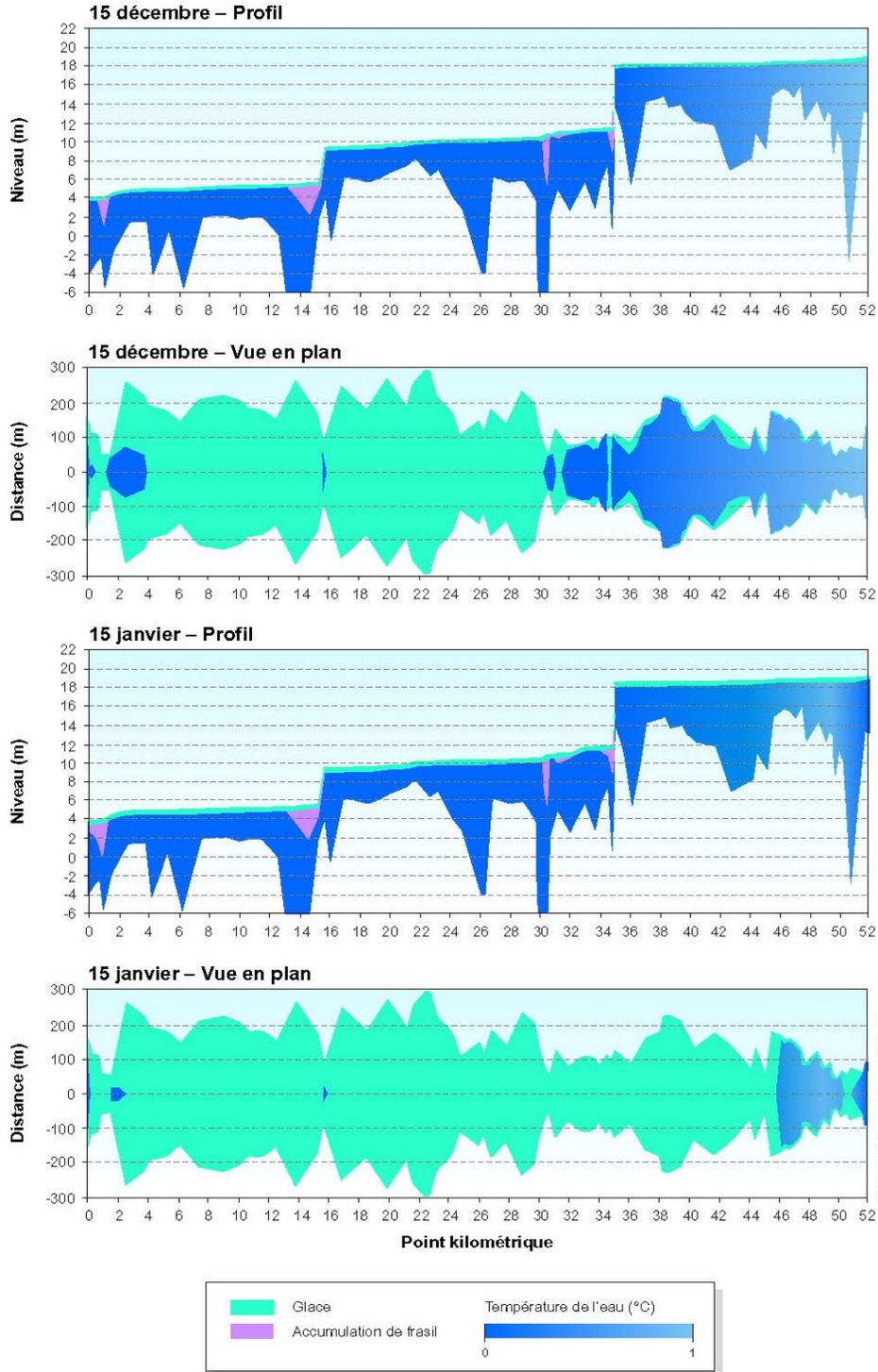


Figure 1 : Résultats de la modélisation de l'emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 suite à la mise en place des quatre aménagements du Complexe de la Romaine – 15 décembre et 15 janvier

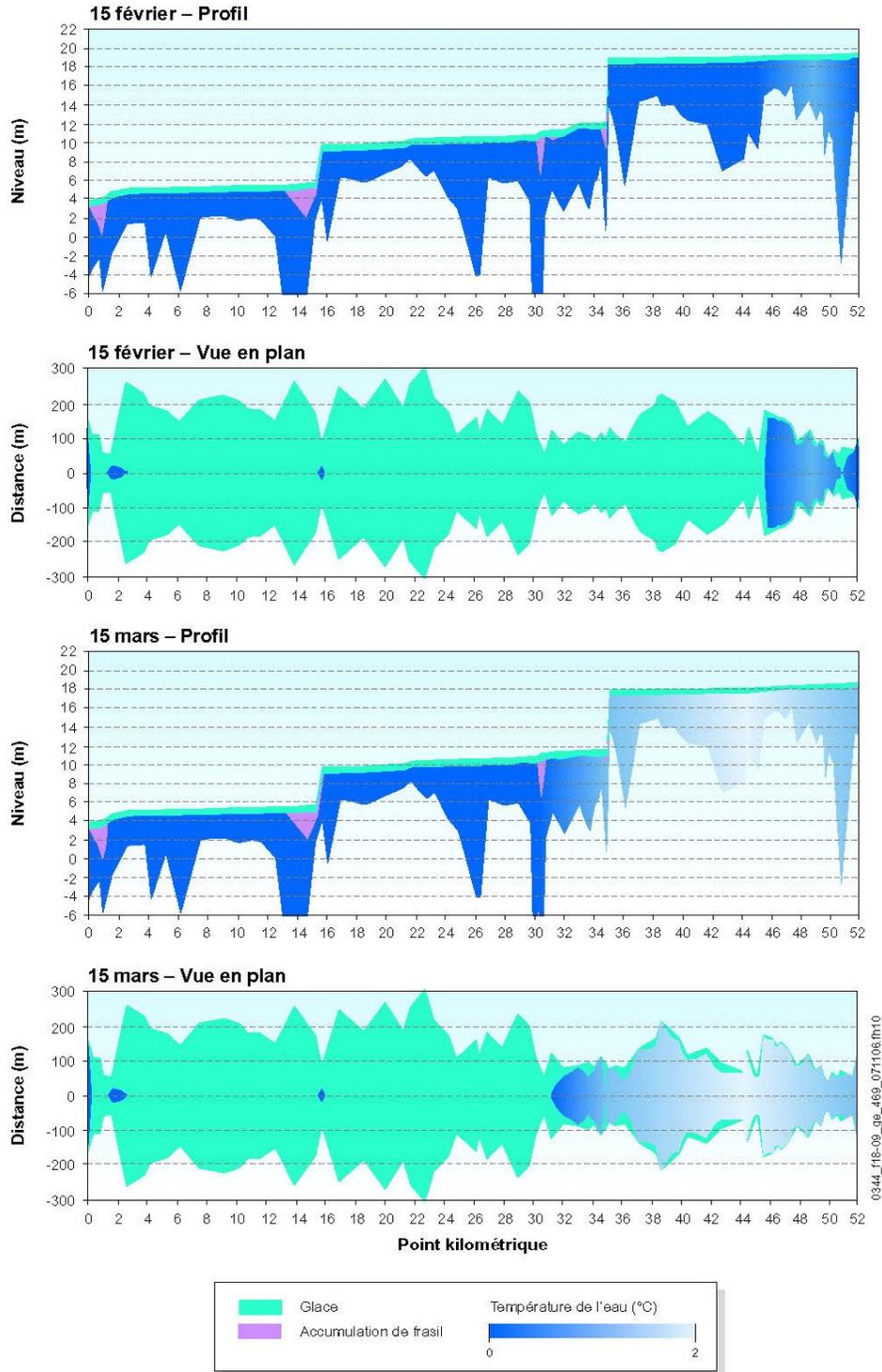


Figure 2 : Résultats de la modélisation de l’emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 suite à la mise en place des quatre aménagements du Complexe de la Romaine – 15 février et 15 mars

3. Méthode

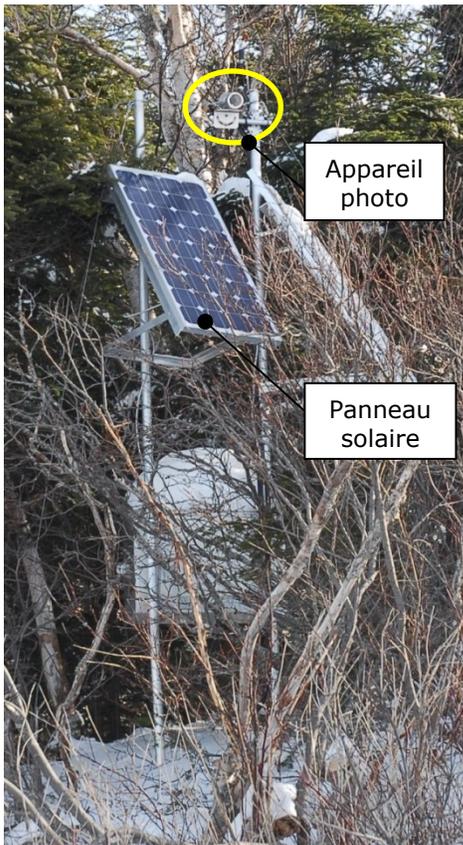
3.1. Description générale de la rivière

3.1.1. Données disponibles

Le suivi de la couverture de glace pour l'hiver 2018-2019 a été réalisé à partir des observations et mesures présentées ci-après.

Quatre survols photographiques ont été réalisés afin d'observer l'emprise de la couverture de glace pendant l'hiver dans la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1, et en particulier sur les sites des frayères naturelles et aménagées des PK 34, 46, 49 et 51. Les survols photographiques ont eu lieu aux dates suivantes :

- 17 janvier 2019 ;
- 19 février 2019 ;
- 2 mars 2019 ;
- 25-27 mars 2019.



Quatre appareils photos installés en bordure de la rivière enregistrent des photos à chaque heure de clarté et permettent de suivre l'évolution de la couverture de glace. Un premier appareil installé au sommet d'un mat sur la rive droite, face au PK 34 de la rivière (frayère naturelle) est en fonction depuis mars 2010. Un second appareil, installé en décembre 2011 sur la rive gauche, en amont du pont de la route 138, au PK 2,4. Il a été réorienté en décembre 2012 afin de mieux saisir la rive droite, là où la glace sur la rivière se referme au début de l'hiver et s'ouvre au printemps. Le troisième appareil a été installé en novembre 2012 sur la rive gauche, face au PK 46 (frayère naturelle). Finalement, un quatrième appareil a été installé en bordure de la nouvelle frayère à saumon aménagée au PK 49.

Photo 1 : Appareil photo installé sur la rive gauche, au PK 2,4

Les appareils situés aux PK 34, 46 et 49 permettent de suivre l'évolution de la couverture de glace au-dessus des deux frayères naturelles à saumon et d'une des deux frayères aménagées et ainsi de répondre à une exigence de Pêche et Océans Canada. La position de ces appareils est montrée sur la carte 1.

À noter que sur les différentes photos et planches de photos présentées dans la section « Résultats », le débit turbiné à la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5) au moment de la prise de vue est indiqué. Le sens de l'écoulement de l'eau y est également spécifié par des flèches noires, blanches ou bleues, selon le cas.

Différentes données hydrologiques et météorologiques ont été disponibles tout au long de l'hiver. Elles sont également présentées car elles influencent l'évolution de la couverture de glace. Ces données permettent de placer en contexte les observations. Les données disponibles sont les suivantes :

- Débit aux endroits suivants :
 - À l'aménagement de la Romaine-1, situé au PK 51,5;
 - À la station ROMA0692, située au PK 16 de la rivière;
 - À la station EROM0690, située au PK 1.
- Température de l'eau mesurée aux stations hydrométriques suivantes :
 - À la station ROMA0986, immédiatement en aval de la centrale de la Romaine-2 (PK 84);
 - À la station ROMA0983, au PK 49;
 - À la station ROMA0944, au PK 46²;
 - À la station ROMA0943, au PK 34³;
 - À la station ROMA0692, au PK 16⁴;
 - À la station ROMA0665, au PK 5.
- Température de l'air mesurée à la station de Havre-Saint-Pierre d'Environnement Canada (station 7043020).

² La station ROMA0944 a arrêté de fonctionner le 6 mars 2019.

³ Les données mesurées au PK 34 sont nettement négatives pendant plusieurs périodes de fin décembre 2018 à mars 2019. La fiabilité des données est ainsi mise en doute.

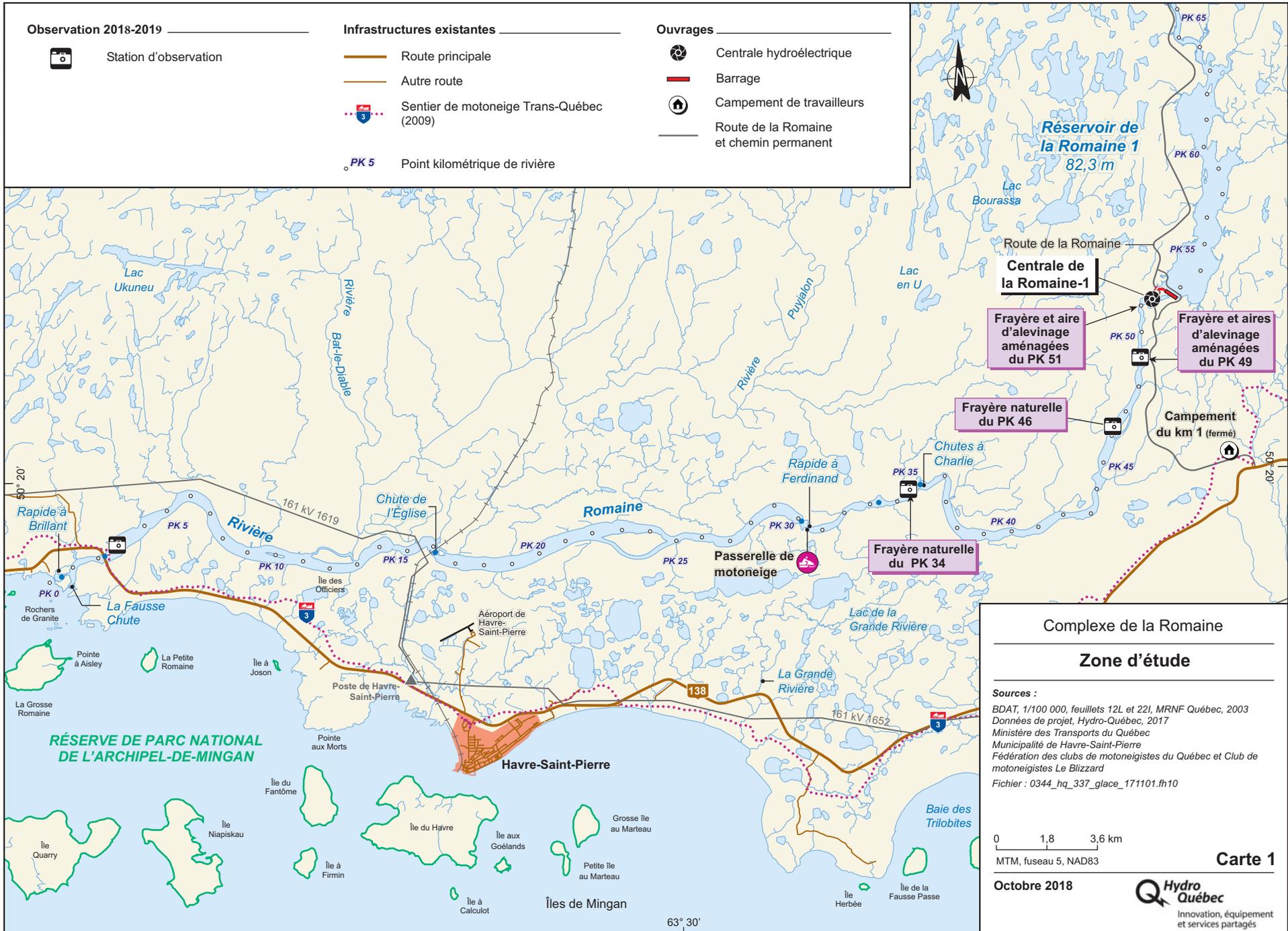
⁴ Sonde défectueuse. Les données mesurées sont nettement négatives pour toute la période hivernale (début décembre 2018 à fin mars 2019). Une correction temporaire a pu être estimée pour cette station et les données présentées sont les données corrigées, toutefois la fiabilité des données est affectée.

- Température de l'air aux stations ROMA0715 (située en bordure de la rivière Romaine Sud-est) et ROMA0967 (sur le bassin versant du réservoir de la Romaine 2) pour combler les données manquantes de la station météorologique de Havre-Saint-Pierre.

Quelques images satellites disponibles sur le site internet du USGS complètent les observations disponibles durant l'hiver. Les images les plus claires sont présentées à l'annexe A.

3.2. Cas particulier des frayères

L'emplacement retenu pour la plupart des appareils de mesure (niveau d'eau, sondes de température, appareils photo) correspond aux sites des frayères naturelles (ROMA0944 : PK 46, ROMA0943 : PK 34) et aménagées (ROMA0983 : PK 49). L'emplacement de ces frayères est montré sur la carte 1. Ces équipements servent à donner une description générale de la rivière, mais ils permettent également de dresser le portrait détaillé du régime thermique et des glaces à l'emplacement des frayères. Les appareils photo étant situés en bordure des frayères, ils permettent de décrire de façon très précise la présence ou non de glace de rive au-dessus de la frayère et sur le cours principal de la rivière devant la frayère. La mesure du niveau d'eau en continu, et l'établissement d'une relation entre le niveau en période d'eau libre et le débit, permettent aussi de statuer s'il y a un effet de la présence de glace en aval des frayères sur le rehaussement du niveau d'eau à l'emplacement même de la frayère.



4. Résultats des observations

4.1. Mesures des températures de l'eau et de l'air

La température de l'air est mesurée à Havre-Saint-Pierre et les données sont fournies par Environnement Canada. La rigueur de l'hiver s'exprime par le cumul des températures de l'air entre le moment où la température passe sous le point de congélation et le moment où elle le dépasse. Elle a atteint 1 542°C-jours de gel en 2018-2019 ce qui est plus froid que la moyenne de 1 400°C-jours enregistrée de 1979 à 2008. Depuis 2008, seuls deux hivers ont présentés une rigueur plus importante : 1 691°C-jours de gel pour l'hiver 2013-2014 et 1 727°C-jours de gel pour l'hiver 2014-2015. La rigueur de début d'hiver, jusqu'à la mi-décembre, a été très froide, ensuite jusqu'au 15 février, la rigueur de l'hiver 2018-2019 était très proche d'une rigueur moyenne, mais la fin de l'hiver a de nouveau été plus rigoureuse que la moyenne. La figure 3 montre comment la rigueur est calculée et la figure 4 compare les rigueurs des dernières années à la moyenne de 1979 à 2008. L'hiver glaciologique a débuté le 10 novembre 2018 (moment où la température moyenne journalière devient inférieure à 0°C) et s'est terminé le 11 avril 2019. Cette date de fin est assez tardive comparé à l'historique disponible, mais la couverture de glace de la rivière Romaine dans la portion aval (PK 2,4) a commencé à se dégrader dès le 1^{er} avril, date qui correspond à un cumul de 1 500 °C-jours de gel.

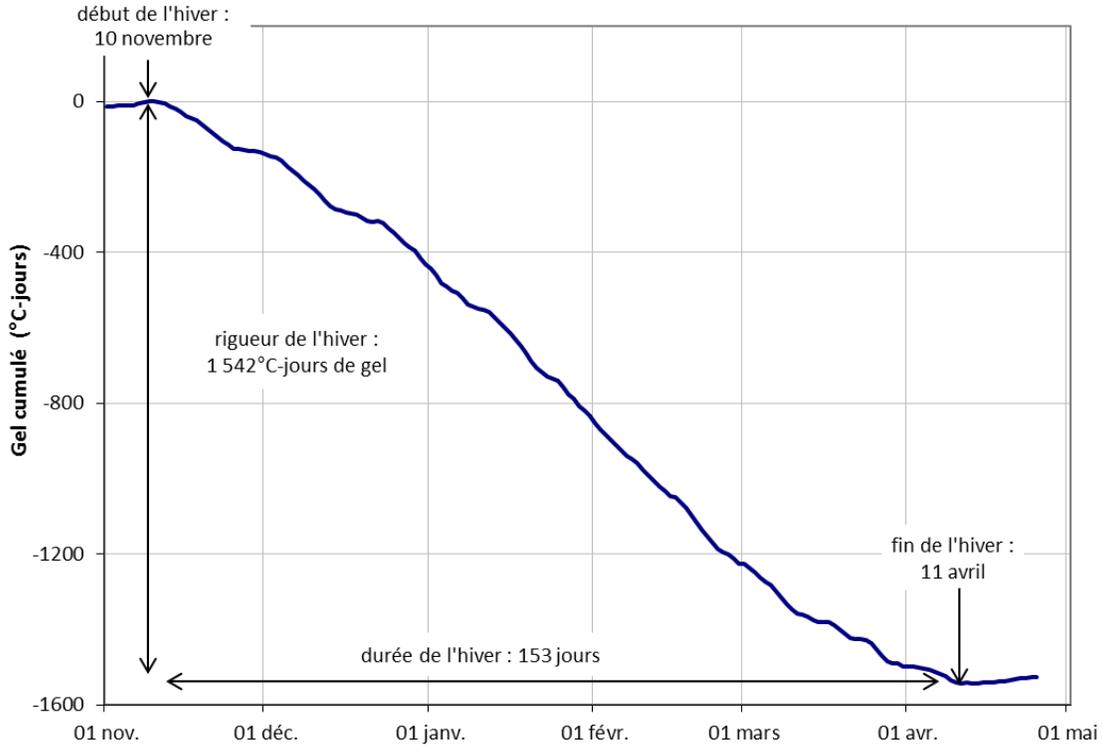


Figure 3 : Gel cumulé de l'hiver 2018-2019

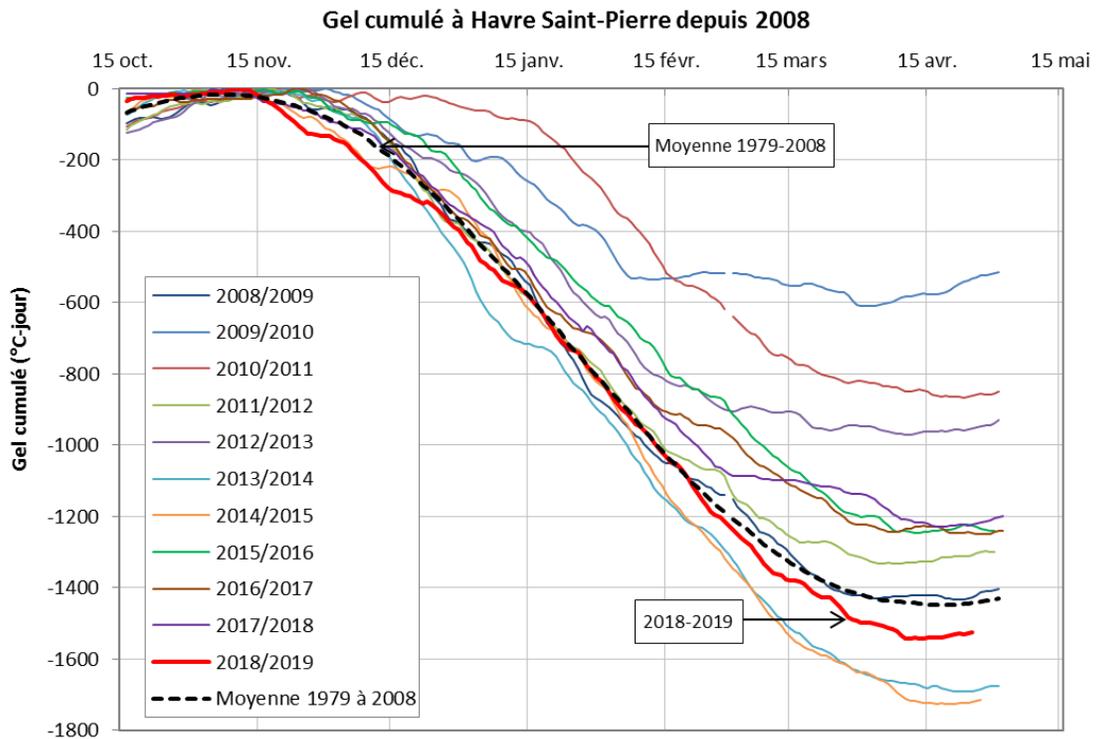


Figure 4 : Gel cumulé à Havre-St-Pierre depuis 2008

La température de l'eau sortant du réservoir de la Romaine 2 est affectée tout au long de l'hiver par la stratification qui s'y établit à partir de l'automne. Dans le réservoir, l'eau atteint le point de congélation en surface, mais elle est de plus en plus chaude à mesure que la profondeur augmente, de sorte que l'eau turbinée à la centrale et restituée en rivière dépasse le point de congélation pendant toute la durée de l'hiver. L'eau se refroidit en s'écoulant vers l'aval, mais elle demeure au-dessus du point de congélation lorsqu'elle atteint la limite amont du réservoir de la Romaine 1. Elle sort de la centrale de la Romaine-1 au-dessus du point de congélation et se refroidit à nouveau en coulant vers l'aval. Dépendamment des températures de l'air, durant les mois de janvier à mars, l'eau atteint le point de congélation entre les PK 16 à 34 et cette position se déplace vers l'aval à mesure que le temps se réchauffe. Les figures 5 à 10 illustrent la température de l'eau à chacun des points de mesure sur le cours aval de la rivière Romaine et la température de l'air mesurée à Havre-St-Pierre.

La température de l'eau turbinée à la centrale de la Romaine-2 dépassait 3°C au début du mois de décembre, puis a diminué jusqu'à 1,1°C, le 13 décembre. Par la suite, la température a oscillé entre 1°C et 1,8°C jusqu'au 25 décembre, puis elle s'est stabilisée autour de 1,3°C à 1,5°C jusqu'au mois d'avril.

On ne dispose pas de mesures de la température de l'eau immédiatement à la sortie de la centrale de la Romaine-1, mais les données de la station située au PK 49 permettent de caractériser les températures de l'eau à l'aval de la centrale pour décrire l'évolution des températures de l'eau d'amont en aval.

En novembre, la température moyenne journalière de l'eau enregistrée au PK 49 a diminué progressivement de 7°C à 1,1°C, ce qui reflète à la fois le refroidissement de l'eau issue de la centrale de la Romaine-2 et la diminution de la température de l'air entre le début et la fin du mois de novembre. En décembre, la température de l'eau au PK 49 tend à osciller entre 1 et 2°C la première moitié du mois, puis diminue progressivement jusqu'à 0,3°C au début du mois de janvier. Pendant les mois de janvier et février, la température enregistrée au PK 49 n'a jamais atteint le point de congélation et a varié entre 0,1 et 1,2°C (entre 0,3 et 0,9°C près de 90% du temps). Les températures les plus chaudes surviennent au mois de janvier suite à plusieurs jours où le débit turbiné à Romaine-1 est plus élevé (voir section suivante), parce que l'eau se refroidit moins sur le parcours depuis la centrale de la Romaine-2. Les températures de l'eau au PK 49 augmentent

progressivement à partir de la mi-mars et dépassent 1,5°C durant le jour à partir du 28 mars, l'eau se réchauffant en coulant vers l'aval.

Les variations de température de l'eau observées au PK 46 sont très proches de celles observées au PK 49, avec une diminution progressive de 6°C à 0,9°C en novembre, des variations entre 0,2 et 1,5°C en décembre et janvier, puis une évolution entre 0 et 0,7°C en février jusqu'à mi-mars. Le point de congélation est atteint pendant environ une semaine début janvier, puis à quelques brèves reprises pendant le mois de février.

Au PK 34, la température moyenne journalière de l'eau diminue progressivement en novembre, comme aux PK 49 et 46. Au début du mois de décembre, la température de l'eau est à 1°C, puis elle fluctue et diminue globalement pendant le mois suivant. Elle atteint le point de congélation une première fois le 13 décembre, puis de nouveau les 19 et 20 décembre, et ensuite à partir du 24 décembre 2018. En janvier et février, la température reste majoritairement au point de congélation, à l'exception de quelques périodes (mi-janvier et vers le 25-27 janvier notamment) au cours desquelles la température de l'eau remonte jusqu'à 0,5 à 0,7°C. Tout comme plus en amont sur la rivière, les températures les plus chaudes surviennent par temps doux, mais elles sont aussi influencées par le débit (voir la section 4.2). À partir du 10 mars, l'eau se réchauffe en suivant les températures de l'air.

Au PK 16, la température moyenne journalière au mois de novembre passe de plus de 6°C au début du mois, à 0,7°C à la fin du mois, avec une période de trois jours au point de congélation du 23 au 26 novembre. La température de l'eau au PK 16 reste positive et varie entre 0,1 et 0,7°C pour les premiers jours de décembre, mais atteint de nouveau le point de congélation à partir du 5 décembre, et y reste jusqu'au 22 mars, à l'exception de trois périodes très brèves au mois de décembre (8 décembre, 10 et 11 décembre, et 23 décembre) pendant lesquelles l'eau se réchauffe autour de 0,1°C. La température de l'eau au PK 16 est de nouveau au point de congélation entre le 25 et le 28 mars, puis les 4 et 5 avril, à la faveur de températures de l'air qui chutent de nouveau sous -5°C. Le réchauffement printanier de la température de l'eau au PK 16 s'enclenche définitivement à partir du 6 avril 2019. On note que les valeurs de température de l'eau indiquées ici tiennent compte d'une correction de +0,29°C appliquée aux données mesurées par la sonde à la station ROMA0962.

L'eau parvient à l'embouchure, aux environs du PK 5, à une température moyenne de 2°C, le 15 novembre. Elle atteint le point de congélation le 22 novembre et y reste jusqu'au 10 avril. Ces dates correspondent à un début d'hiver hâtif et à un réchauffement printanier plutôt tardif. L'eau se réchauffe assez rapidement la semaine suivante du fait des ouvertures dans la couverture de glace à l'amont, et atteint 1,5°C le 12 avril puis 2,1°C le 18 avril. Toutefois, la température de l'eau redescend de nouveau proche du point de congélation pour quelques jours à la fin du mois d'avril, à la faveur de conditions météorologiques hivernales.

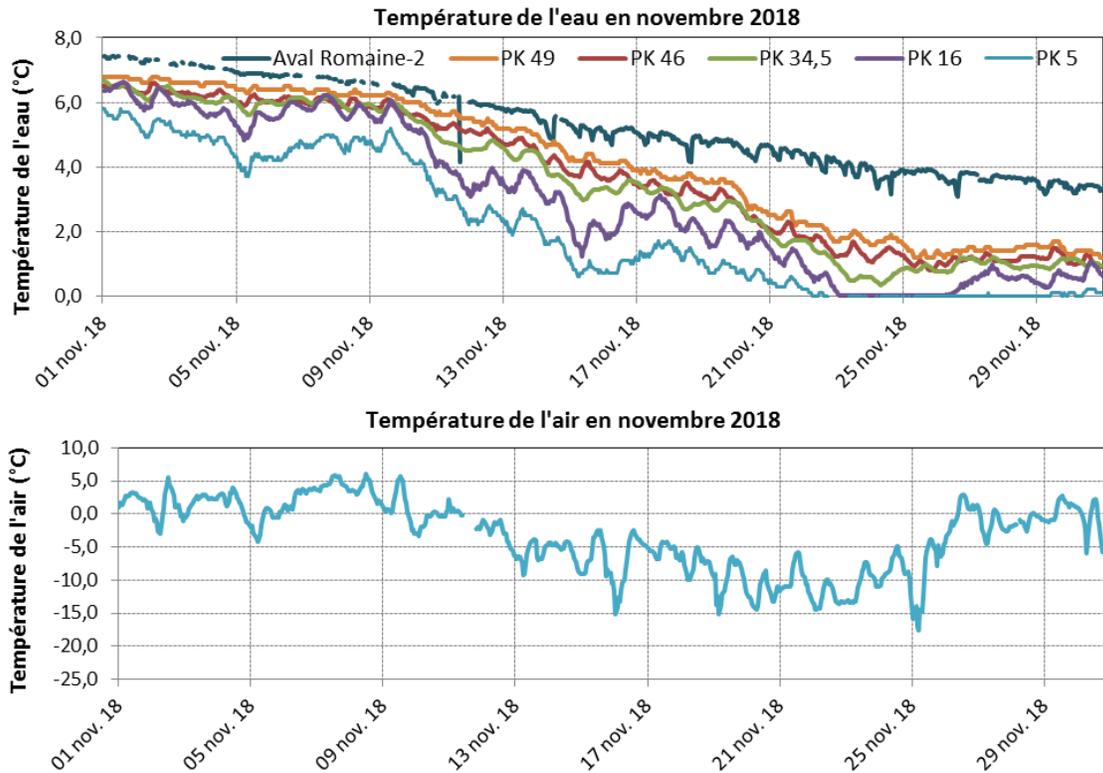


Figure 5 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en novembre 2018

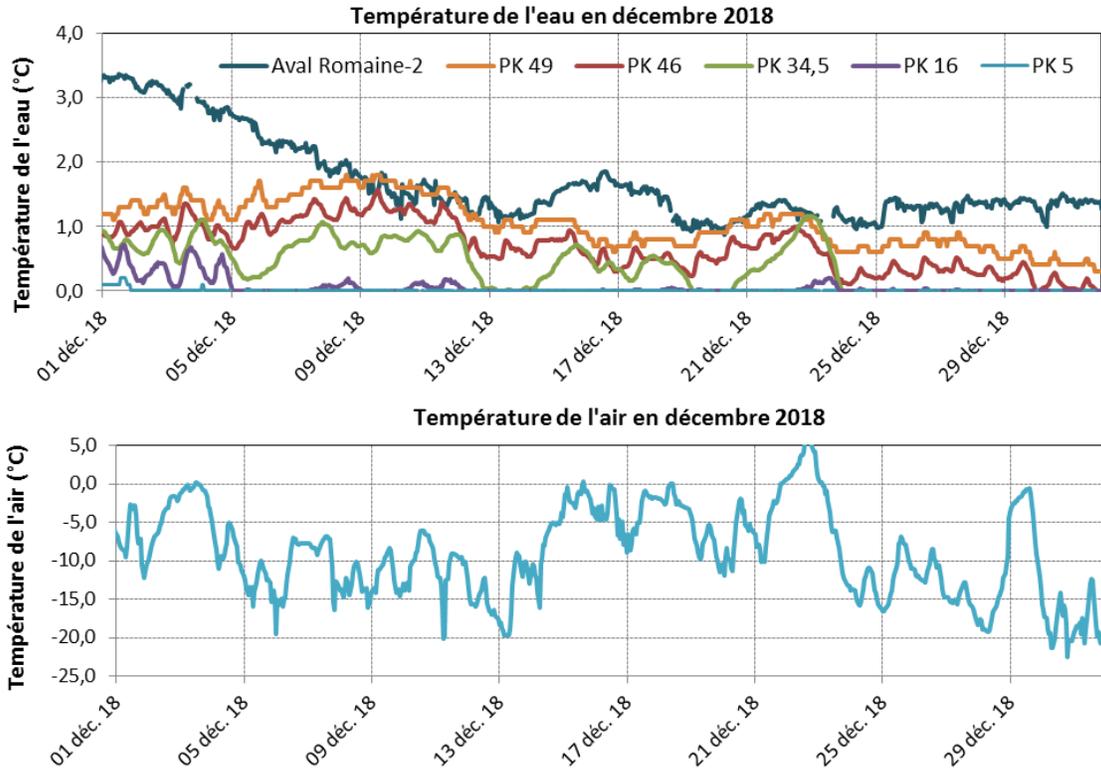


Figure 6 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en décembre 2018

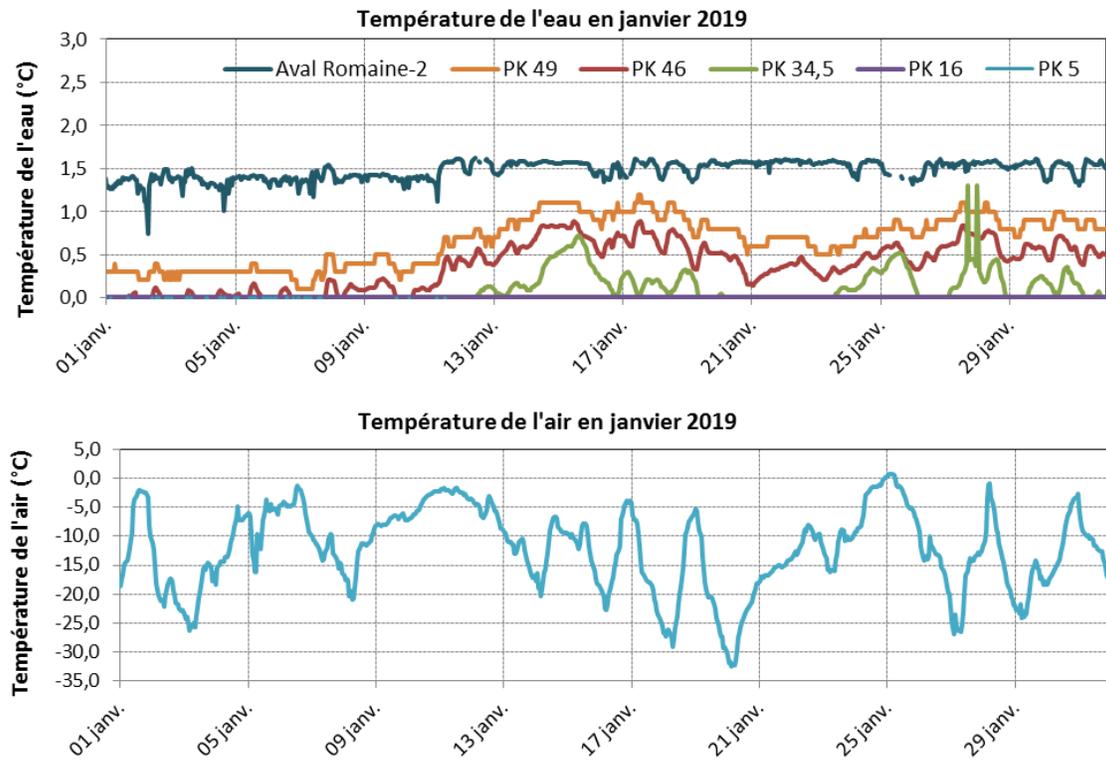


Figure 7 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en janvier 2019

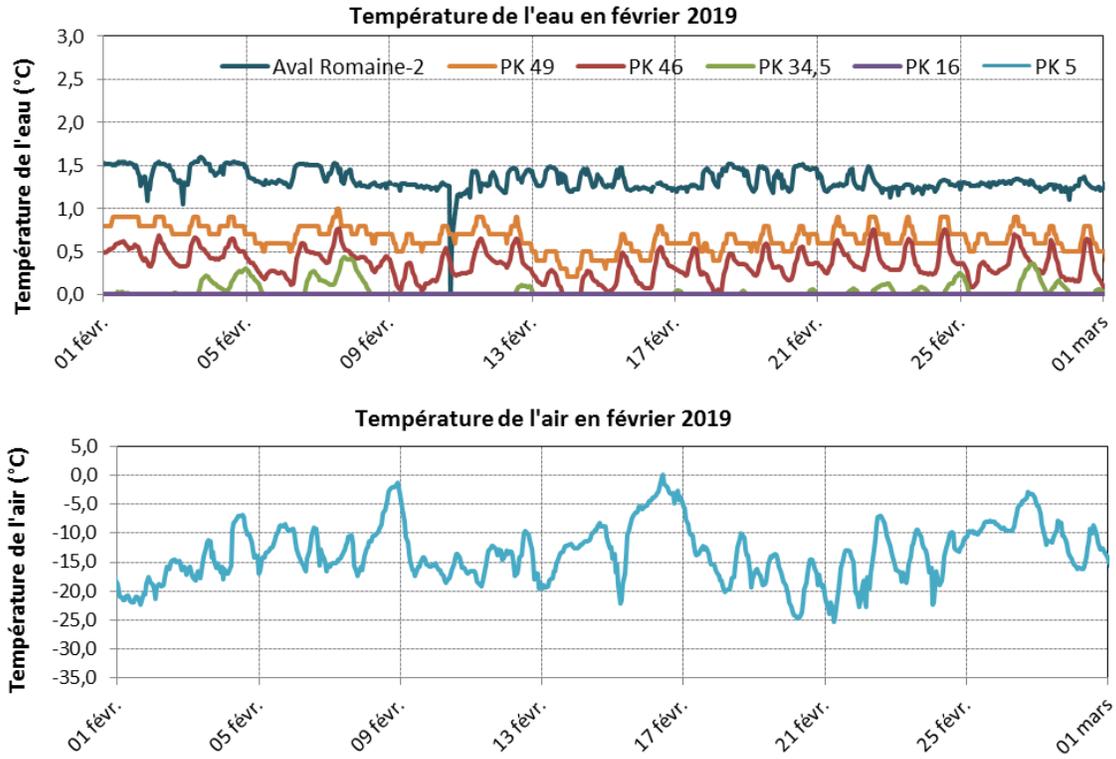


Figure 8 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en février 2019

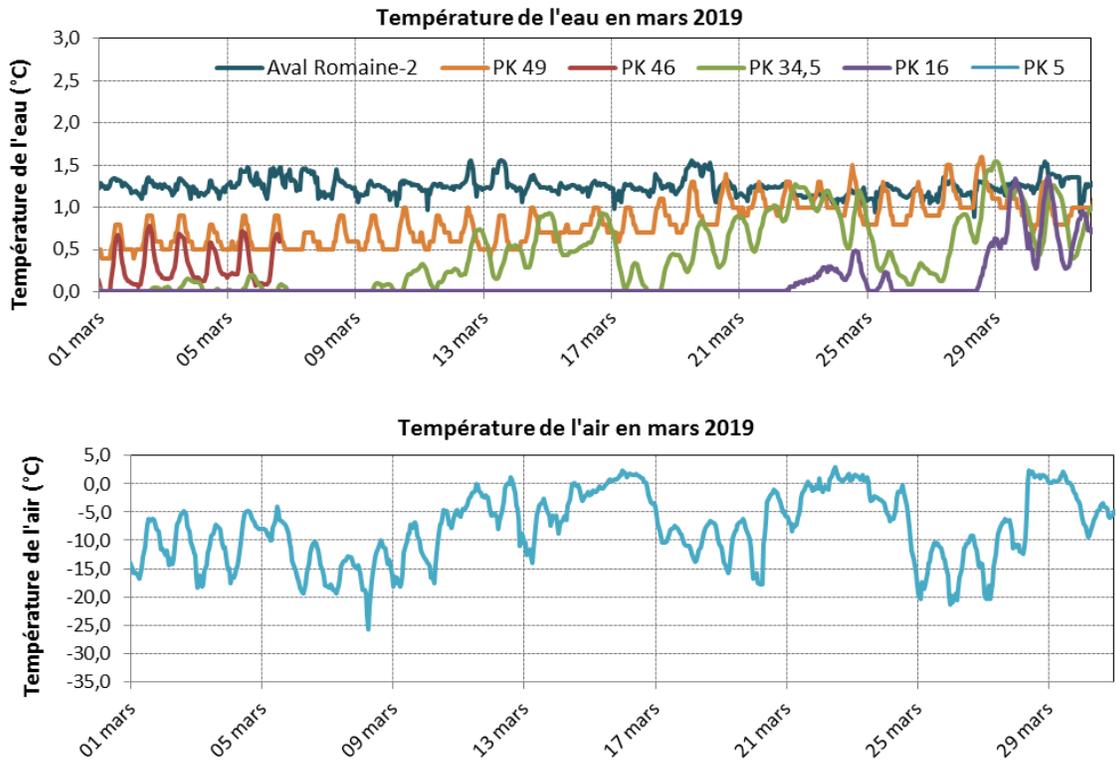


Figure 9 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en mars 2019

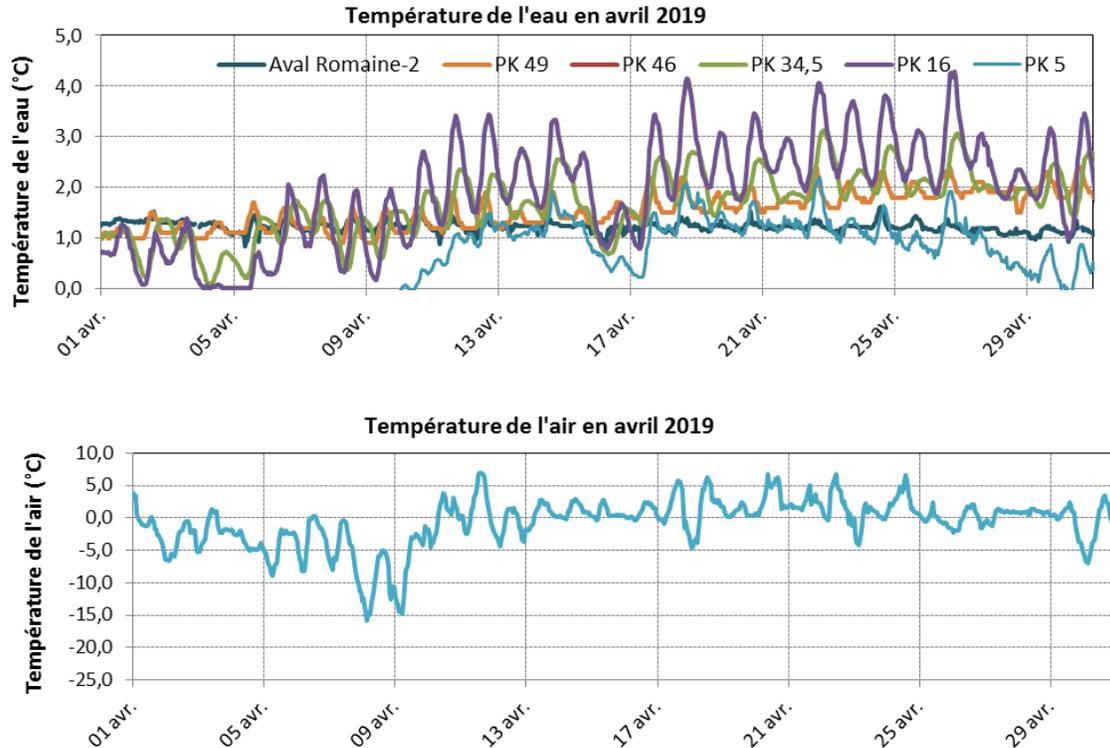


Figure 10 : Température de l'air et de l'eau à cadence horaire en avril 2019

4.2. Débits et niveaux pendant la période hivernale

La figure 11 montre les débits horaires mesurés à différents emplacements en aval de l'aménagement de la Romaine-1. La figure 12 présente les niveaux horaires enregistrés au cours de l'hiver 2018-2019 en aval de la Romaine-1. De fin décembre à début janvier, puis en mars, comme le débit sortant de l'aménagement de la Romaine-1 et celui provenant des tributaires naturels sont demeurés quasi-constant, les variations de niveaux observés aux PK 5 et à l'embouchure dépendent principalement de l'étendue, de l'épaisseur et de la rugosité de la glace. En janvier et février, c'est principalement le débit sortant de la Romaine-1 qui influence la variation de ce niveau. Au début de décembre et en avril, l'étendue de la glace n'est pas suffisamment importante pour affecter le niveau d'eau, mais les événements de précipitations et l'augmentation des débits sur les tributaires qu'ils provoquent peuvent générer des modifications du niveau.

Pendant l'hiver 2018-2019, le débit a beaucoup moins varié que lors de l'hiver précédent.

Les variations ont été principalement observées en janvier et février, et sont restées

comprises entre 200 et 415 m³/s. Contrairement à l'hiver précédent, le débit sortant de Romaine-1 est resté constant à 150 m³/s environ, proche de la capacité d'un groupe à l'optimal (200 m³/s) pour les mois de décembre et mars au complet, de manière à constituer une réserve d'eau suffisante dans les réservoirs pour répondre à la pointe hivernale et pouvoir respecter le débit réservé minimal à l'aval de la centrale de la Romaine-1 jusqu'à la crue printanière. Aucune pointe horaire au-delà de 415 m³/s n'a été observée, le débit maximal instantané (aux 5 minutes) enregistré étant de 417 m³/s en janvier.

Pendant l'hiver 2018-2019, l'aménagement de la Romaine-1 a de nouveau été géré de façon à respecter en tout temps le débit réservé alors que celui de Romaine-2 a servi à transférer le débit qui lui permette de respecter son engagement. La gestion des débits de l'hiver 2018-2019 a favorisé des conditions plus stables et moins de variations importantes du débit turbiné en fonction de la demande et des besoins du réseau électrique, par rapport aux hivers précédents. Pendant les mois de janvier et février, mois typiquement les plus froids et représentant la pointe hivernale, lorsque la demande ne l'exigeait pas, la centrale de la Romaine-1 était exploitée sous un débit d'environ 200 m³/s (dépassant le débit réservé hivernal de 140 m³/s) alors que le débit était augmenté et maintenu à sa valeur maximale (400 m³/s environ) pendant les périodes de forte demande.

Pendant tout le mois de décembre, le débit provenant de la centrale de la Romaine-1 était constant de l'ordre de 150 m³/s, soit légèrement supérieur au débit réservé hivernal. L'augmentation du niveau de l'eau de près de 0,8 m observée le 23 décembre 2018 au PK 5 est attribuable à un événement de précipitation combiné à un réchauffement temporaire de la température de l'air au-dessus du point de congélation (jusqu'à +6°C).

Le débit turbiné horaire a été augmenté à partir du 7 janvier 2019 à 6h, jusqu'à un maximum de 411 m³/s. Le débit a ensuite été ramené à 200 m³/s environ le 7 janvier à 22h. Cette augmentation s'est fait sentir le lendemain matin dans le secteur aval de la rivière Romaine, avec une augmentation du niveau d'eau de 0,5 m au PK 5 et à l'embouchure.

Entre le 11 janvier et le 22 février, des variations du débit turbiné entre 200 m³/s et 415 m³/s ont été fréquemment observées. Le débit turbiné est resté élevé (autour de 400 m³/s) pour des périodes de temps plus longues à plusieurs reprises pendant cette période,

notamment du 13 au 16 janvier, du 19 au 24 janvier, du 26 au 30 janvier, et du 31 janvier au 1^{er} février. Des variations de niveau d'eau de l'ordre de 1 m à l'aval immédiat de la centrale de la Romaine-1 sont observées suite à ces augmentations de débit. Au PK 51, le niveau prend environ 4 heures à se stabiliser après une hausse du débit turbiné à la centrale de la Romaine-1, résultant du démarrage du second groupe et de l'augmentation de la puissance. Elle s'étale sur 8 heures au PK 46, sur 14 heures au PK 34, sur 22 heures au PK 16 et sur une période de 28 à 30 heures au PK 1. Le niveau d'eau au PK 5 est monté autour de 5,2 m à plusieurs reprises au cours de l'hiver pendant les périodes à débit élevé. Le niveau maximal atteint pendant l'hiver était de 5,28 m le 22 janvier entre 17h et 21h. La plus forte hausse est survenue entre les 26 et 28 janvier 2019 lorsque le niveau au PK 5 est passé de 4,5 m à 5,2 m. Le débit à l'embouchure était alors de l'ordre de 480 m³/s. Le niveau maximal observé en février au PK 5 était de 5,21 m le 19 février à 5h.

Après le 22 février, le débit a été maintenu constant à 200 m³/s jusqu'à la fin du mois, puis abaissé à 150 m³/s à partir du 1^{er} mars. Le niveau au PK 5 correspondant était proche de 4,5 m à la fin du mois de février 2019, puis entre 4,3 m et 4,4 m au mois de mars 2019. Le niveau au PK 5 est ainsi resté relativement stable pendant tout le mois de mars, influencé légèrement à la hausse par le frottement sous la couverture de glace.

Les variations rapides du niveau d'eau en janvier et février ont pu faire apparaître des accumulations d'eau en bordure des rives. Ces accumulations s'infiltrèrent toutefois rapidement sous la couverture ou bien gèlent sur place rapidement. Ce phénomène a été moins souvent observé que lors des deux hivers précédents car l'amplitude des variations du niveau d'eau étaient moins importantes.

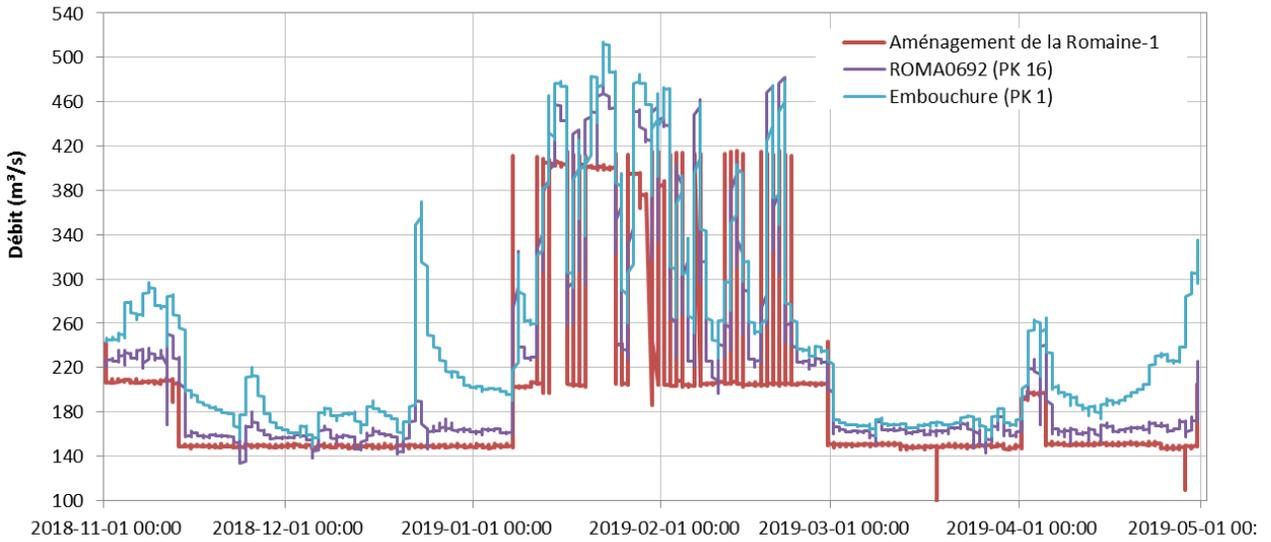


Figure 11 : Débits horaires mesurés à la centrale de la Romaine-1 et sur le cours aval

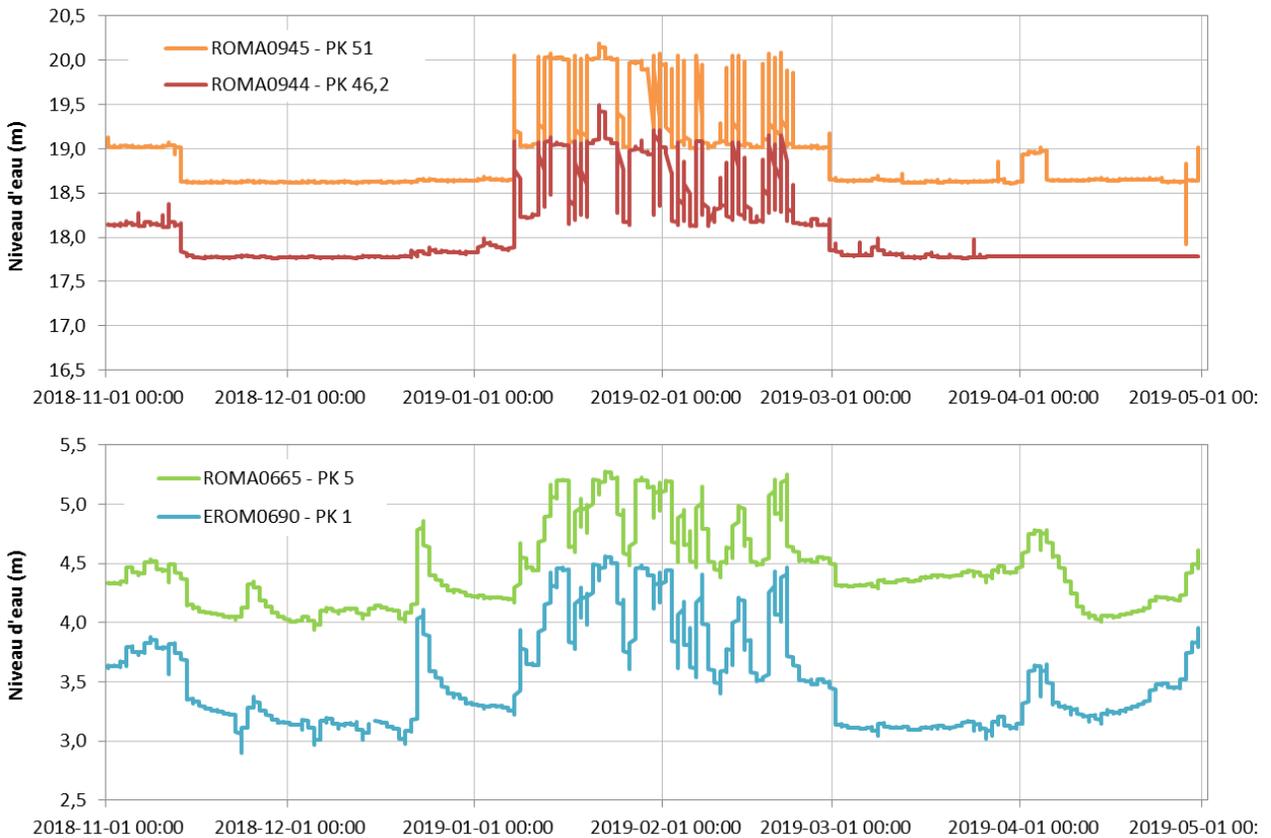


Figure 12 : Niveaux horaires mesurés à différents emplacements en aval du PK 51

4.3. Observations visuelles

4.3.1. Description générale de la rivière

Le tableau 2 résume les principales observations concernant l'étendue de la couverture de glace sur l'ensemble de la rivière Romaine, à différents moments pendant l'hiver. Les sous-sections suivantes décrivent plus en détails les observations à partir des survols, des appareils photos et des images satellites.

Tableau 2 : Emprises de la couverture de glace au moment des différents survols

Tronçons de rivière (points kilométriques)	Glace totalement absente	Glace de rive seulement *	Couverture de glace présente, mais d'aspect mince et comportant plusieurs éclaircies	Couverture de glace complète d'une rive à l'autre à l'exception des rapides
Survol du 17 janvier	PK 51 à 45	PK 45 à 29	PK 3 à 1	PK 29 à 3
Survol du 19 février	PK 51 à 43	PK 35 à 30 PK 43 à 40	PK 40 à 35 PK 30 à 14 PK 3 à 1	PK 14 à 3
Survol du 2 mars ¹	PK 51 à 46	PK 46 à 33 (+ présence de grandes plaques de glace mince)	Tronçon PK 33 à PK 14 non couvert	PK 14 à 3
Survol du 25 mars	PK 51 à 30	PK 30 à 16	-	PK 15 à 3

* Pour tous les survols, la bande de glace de rive est de plus en plus étroite à la limite amont du tronçon désigné.

¹ Le survol du 2 mars 2019 n'a pas couvert le tronçon entre les PK 33 et 14 (voir détails page 26).

Novembre et Décembre

Le temps froid de novembre et les faibles débits turbinés à la centrale de Romaine-1 ont favorisé le début de la formation de la couverture de glace à la fin du mois de novembre (dès le 22-23 novembre 2018) dans le secteur de l'embouchure, au PK 2,5 (photos 2 et 3), mais celle-ci a régressé entre le 27 novembre et le 1^{er} décembre, à la faveur de températures de l'air plus douces et d'un réchauffement de l'eau. La formation de la glace a repris à partir de la nuit du 1^{er} décembre alors qu'on a enregistré -12°C à l'aéroport de Havre St-Pierre. La couverture de glace a progressé dans les jours qui ont suivi, mais elle n'est pas complète devant le sentier provincial de motoneige (TQ-3) en amont du pont de

la route 138 à la mi-décembre. Une bande d'eau libre reste présente à environ 60 m de la rive droite (photo 4).

L'image satellite disponible en date du 8 décembre 2018 (voir annexe A) montre que la rivière reste libre de glace de la centrale jusqu'au PK 30. En aval du PK 30, de la glace de rive est de plus en plus présente vers l'aval, mais un chenal à l'eau libre reste visible entre les PK 30 et 10. Le secteur en aval du PK 10 présente une couverture de glace partielle, avec quelques éclaircies.

Le 22 décembre, un épisode de redoux (température de l'air de 3,3 °C en moyenne pour la journée, et jusqu'à 6,5°C au maximum à 15h) fait disparaître toute la glace de rive déjà formée sur le tronçon du PK 51 au PK 10, et affecte la couverture de glace plus en aval dans le secteur du sentier TQ-3 au PK 2,5, avec la présence d'eau sur la glace en raison du rehaussement des niveaux d'eau (photo 5). De la glace de rive apparaît de nouveau le long du tronçon dès le 24 décembre, alors que les conditions hivernales s'installent à nouveau. La couverture de glace est complète d'une rive à l'autre devant le sentier TQ-3 à partir du 28 décembre. Dès le 29 décembre, une mince couche de neige recouvre la surface, ce qui peut ralentir l'épaississement de la glace (photo 6).

Aux trois sites d'observation où se trouvent des frayères à saumon (PK 34, PK 46 et PK 49), le centre de la rivière demeure dégagé de glace en tout temps, et l'emprise de glace de rive est maximale dans les premiers jours de janvier, avant l'augmentation du débit turbiné à la centrale de Romaine-1 le 7 janvier 2019.



Photo 2 : Apparition de glace près de la rive gauche au PK 2,4 le 22 novembre 2018 à 8h



Photo 3 : Couverture de glace s'étendant vers le centre de la rivière au PK 2,4 le 26 novembre 2018 à 10h



Photo 4 : Couverture de glace presque complète devant le sentier provincial au PK 2,4 le 21 décembre 2018 à 11h



Photo 5 : Couverture de glace dégradée par la hausse de débit (redoux) au PK 2,4 le 23 décembre 2018 à 8h



Photo 6 : Couverture de glace complète et recouverte de neige au PK 2,4 le 31 décembre 2018 à 13h

Janvier et février

À partir du 7 janvier, le débit turbiné est augmenté de 150 m³/s à 200 m³/s, puis subit des variations entre 200 et 415 m³/s lorsque les besoins se feront sentir au courant des mois de janvier et février. Ces variations de débits génèrent une hausse des niveaux d'eau le long du tronçon en aval de la centrale, de l'ordre de 1 m, qui favorise le morcellement de la glace de rive formée dans les différents secteurs, et une dérive de plaques ou blocs de glace peut être observée. Les variations du niveau provoquent également des accumulations d'eau en bordure de rives aux endroits plus escarpés, mais l'eau gèle rapidement.

Un survol hélicoptéré a été réalisé le 17 janvier 2019, sous une température extérieure de -18°C et un débit turbiné de 408 m³/s. Le survol suivait de quelques heures une chute de neige. Outre les éclaircies dans les secteurs où l'écoulement est le plus rapide, la couverture de glace était alors complète, avec un aspect hivernal, entre l'embouchure et le PK 29 (photo 8). De la glace de rive est présente entre les PK 29 et 45, mais elle est de plus en plus étroite vers l'amont, particulièrement en amont du PK 35. Des marques

montrent que l'eau a envahi certaines rives, mais l'eau paraît avoir gelé peu de temps après. Des marques illustrant l'apparition d'eau au moment des hausses de niveau sont également observées dans les secteurs qui demeurent hors de l'eau à bas débit mais qui deviennent recouverts d'une mince couche à haut débit (voir la photo 7). Aucune présence de glace n'est observée aux sites des frayères naturelles et aménagées.



Photo 7 : Traces d'eau provoquée par les variations du niveau d'eau au PK 11 le 17 janvier 2019



Photo 8 : Limite de la couverture de glace au PK 29 le 17 janvier 2019

Un second survol photographique a été réalisé le 19 février 2019. Pendant le survol, le débit à Romaine-1 était de 205 m³/s, mais il était monté à 411 m³/s le matin même pendant les 4 heures précédant le survol. La température de l'air enregistrée à l'aéroport de Havre St-Pierre a varié de -13°C à -15°C. Au moment du survol, la couverture de glace est complète devant la traversée du sentier TQ-3 ; quelques signes d'apparition antérieure d'eau sur la glace sont visibles en rive droite et en rive gauche, cependant ces traces sont de nouveau gelées. En amont du sentier provincial jusqu'au PK 14, la couverture de glace est complète. Des traces d'eau principalement en bordure des rives sont observées, notamment à la confluence de la rivière Puyjalon, ainsi que des signes de dégradation de la couverture de glace notamment dans le secteur du PK 11 (photo 9). Les traces d'eau sur la couverture et/ou les signes de dégradation de la couverture de glace sont de plus en plus présents ensuite jusqu'au PK 30. Des éclaircies sont également observées à plusieurs endroits, notamment aux PK 14, 17, 24 et 29,5 (photos 10 et 11). La glace est majoritairement absente au centre de la rivière entre les PK 30 et 35, et la couverture est en état de dégradation avancé entre les PK 35 et 40 (photo 12), puis la rivière est de nouveau libre de glace en amont, à l'exception de glace de rive encore présente en amont

jusqu'au PK 43 environ (photo 14). La glace de rive est totalement absente sur la portion amont de la rivière. Dans le secteur du PK 39, des plaques de glace sont observées, qui proviennent vraisemblablement de la glace de rive qui se décroche au gré des variations de niveau et débit dans la rivière en lien avec le patron d'exploitation de la centrale de la Romaine-1 (photo 13). Ce phénomène est toutefois beaucoup moins important qu'observé à pareille date l'an passé, alors qu'une grande accumulation de plaques de glace était visible en amont du rétrécissement de la section de rivière au PK 36.

Les frayères sont toutes libres de glace, mais une fine couverture de glace de rive morcelée par les variations récentes de niveau d'eau est observée au PK 34,5. Un second survol des zones de frayères a été réalisé le 20 février 2019. Les conditions de débit à Romaine-1 et de température de l'air étaient alors respectivement de 413 m³/s et -18,5°C. Les frayères des PK 51 et 49 sont toujours libres de glace. À ces sites, le niveau d'eau est plus élevé que lors du survol de la veille. À la frayère du PK 46, une fine couverture de glace de rive est présente.



Photo 9 : Traces d'eau sur la couverture de glace au PK 11 le 19 février 2019



Photo 10 : Éclaircie dans la couverture de glace au PK 14 le 19 février 2019



Photo 11 : Éclaircie dans la couverture de glace au PK 29,5 le 19 février 2019



Photo 12 : Dégradation de la couverture de glace en amont du PK 37 le 19 février 2019



Photo 13 : Dégradation de la couverture de glace et légère accumulation de plaques de glace au PK 39 le 19 février 2019



Photo 14 : Rivière dégagée au PK 43 le 19 février 2019

Mars

À partir du 28 février 2019, le débit turbiné à Romaine-1 est abaissé à 150 m³/s et reste stable pendant tout le mois de mars. Avec l'arrêt des variations du débit à la centrale, la couverture de glace sur la Romaine dans le secteur du sentier provincial TQ-3 a retrouvé un aspect hivernal.

Un survol photographique complémentaire a été réalisé le 2 mars afin de mieux documenter les conditions sur les frayères naturelles et aménagées. Pendant le survol, le débit à Romaine-1 était de 150 m³/s et la température de l'air enregistrée à l'aéroport de Havre St-Pierre a varié de -5°C à -14°C. Aucune information n'est disponible entre les PK 14 et 33 car le secteur n'a pas été couvert par ce survol. Des grandes plaques de glace minces se sont formées sur la rivière entre les PK 33 et 44 (photo 15). Ceci n'avait pas été observé depuis la mise en eau du réservoir de la Romaine 1, et est vraisemblablement provoqué par la combinaison d'un faible débit, stable, de températures de l'air plutôt froides et le rayonnement solaire encore faible (il augmente significativement dès le mois de mars). La glace est présente sur les rives jusqu'au PK 46, mais de plus en plus mince

et étroite vers l'amont. On observe de la glace mince près de la rive devant les frayères naturelles et aménagées, mais celle-ci ne s'appuie pas sur le substrat (voir détails à la section 4.3.2).



Photo 15 : Grandes plaques minces dérivant à la surface de l'eau au PK 33 le 2 mars 2019

Un dernier survol photographique a été réalisé le 25 mars afin de documenter le départ des glaces. Pendant le survol, le débit à la centrale de la Romaine-1 était de 150 m³/s, stable depuis le 28 février et la température de l'air enregistrée à l'aéroport de Havre St-Pierre était -11°C. La couverture de glace entre l'embouchure et le PK 15 de la Romaine présente un aspect hivernal, à l'exception des éclaircies de l'embouchure, sous le pont de la route 138 ou au pied de la Chute de l'Église normalement présentes. La couverture de glace est ensuite ouverte au centre de la rivière en amont du PK 16 (photo 16). L'éclaircie s'élargit vers l'amont et sillonne dans ce qui semble le chenal le plus profond, et il ne reste pratiquement plus de glace de rive en amont du PK 30, même si de la glace mince est encore présente en surface dans les secteurs d'écoulement plus lent (photo 17).

De façon générale, le comportement des glaces en mars diffère significativement de ce qui a été observé les hivers précédents, malgré une rigueur à peine plus élevée. Les faibles débits au début de l'hiver ont favorisé la prise des glaces. Les variations de débit

et de niveau d'eau ont débuté lorsque la glace était bien formée, de sorte qu'elles ont moins affecté la couverture de glace. Les variations de niveau moins importantes que les hivers précédant ont provoqué l'apparition momentanée d'eau sur la rive, mais une fois que cette eau gèle ou s'infiltré sous la glace, elle semble avoir contribué à épaissir la glace. L'amplitude plus faible des variations n'a pas non plus provoqué le décrochement de la glace de rive comme cela a été observé en 2018. Finalement, le débit constant autour de 150 m³/s tout le mois de mars contribue à maintenir la couverture de glace en place dans le secteur du sentier provincial de motoneige puisque celle-ci est encore présente le 28 mars.

Aux sites des frayères, de la glace de rive est également encore présente à cette date.



Photo 16 : Chenal ouvrant la couverture de glace en amont du PK 16 le 25 mars 2019



Photo 17 : Glace très mince se formant à la surface des secteurs plus lents au PK 36 le 25 mars 2019

Avril

Le débit turbiné à Romaine-1 a été augmenté de 148 m³/s à 197 m³/s entre le 1^{er} et le 5 avril 2019, puis il est de nouveau maintenu constant autour de 150 m³/s après le 5 avril.

Une image satellite est disponible pour le 2 avril (voir annexe A), qui confirme l'ouverture d'un chenal à l'eau libre jusqu'au PK 16 de la rivière Romaine. Plus en aval, la couverture de glace dans les chenaux principaux d'écoulement est très mince.

Les photographies disponibles à la station ROMA0970 (PK 2,4) montrent une couverture de glace très mince et de l'eau sur la glace à partir du 1^{er} avril 7h (photo 18). La surface est de nouveau recouverte de neige après la tempête du 4 avril. En date du 5 avril 14h, on observe des zones de glace très mince en amont du pont de la route 138, qui a pu se reformer avec la chute des températures des jours précédents (photo 19) ; il reste une couverture de glace très mince dans les principaux chenaux d'écoulement dans le tronçon entre les PK 10 et 2. L'ensemble du tronçon en aval de la centrale Romaine-1 devient libre de glace le 10 avril 2019, avec l'ouverture d'un chenal dans le secteur du PK 2,4 (photo 20).

L'image satellite du 17 avril 2019 (voir annexe A) montre que les rivières Lechasseur et Mingan, qui ne sont pas influencées par l'exploitation hydroélectrique, sont encore complètement recouvertes de glace à cette date. D'après les images satellites disponibles après le 17 avril, le retrait complet de la couverture de glace sur ces deux rivières est estimé à une date comprise entre le 9 et le 14 mai 2019.



Photo 18 : Eau sur la glace au PK 2,4 le 1^{er} avril 2019 à 7h



Photo 19 : Glace mince et détérioration de la couverture en amont du pont au PK 2,4 le 5 avril 2019 à 14h



Photo 20 : Chenal libre de glace au PK 2,4 le 10 avril 2019 à 18h

4.3.2. Conditions particulière des frayères

Un appareil photographique placé en rive devant les frayères naturelles des PK 34 et 46 et devant la frayère aménagée du PK 49 permet de suivre en tout temps l'évolution de la couverture de glace en fonction de la température de l'eau et de l'air. Une attention particulière a également été apportée à l'emprise et l'état de la glace au moment des survols photographiques réalisés au cours de l'hiver. L'épaisseur de la glace n'a pas pu être mesurée car elle n'apparaissait pas rencontrer les critères de sécurité permettant l'accès à pied.

Frayère et aire d'alevinage aménagées au PK 51

Les survols effectués au cœur de l'hiver soit le 17 janvier 2019 (photo 21), sous une température de l'air de -18°C à Havre-Saint-Pierre et les 19 et 20 février 2019 (photo 22 et photo 23), sous une température de -14 à -19°C , n'ont pas permis de détecter de traces de glaces au PK 51, ni sur la rive, ni sur le fond. La température de l'eau se maintient au-dessus du point de congélation tout l'hiver, généralement au-dessus de $0,5^{\circ}\text{C}$. Ces conditions de température et la turbulence de l'écoulement en provenance de la centrale de la Romaine-1 empêchent toute stratification de la température de l'eau qui pourrait permettre la formation de glace en surface par temps très froid, pour la plage de débit turbiné observé au cœur de l'hiver (200 à $415\text{ m}^3/\text{s}$).

Lors du survol du 28 mars, une fine couche de glace mince en surface en bordure de la rive gauche a été observée sur l'aire d'alevinage à l'aval du PK 51 (photo 24), malgré des températures de l'air légèrement au-dessus du point de congélation. Le débit turbiné à la centrale de Romaine-1 était alors de $150\text{ m}^3/\text{s}$, stable depuis le 1^{er} mars 2019, soit plusieurs semaines. Les observations n'ont toutefois pas permis de détecter de traces de glace sur le fond de cette aire d'alevinage. À titre informatif, il convient de mentionner que le positionnement des nids de saumon inventoriés (automne 2015, 2016, 2017 et 2018) se situe généralement à une profondeur minimale entre 0,3 et 0,5 m sous le niveau de l'eau lorsque le débit est à $140\text{ m}^3/\text{s}$ (WSP, 2016; WSP, 2017; WSP, 2019a et WSP, 2019b).

Les photos prises lors des survols peuvent être comparées à celle prise à l'état naturel (photo 25) qui montre que la couverture était majoritairement présente à cet endroit, à

l'exception d'une éclaircie près de la rive droite due aux vitesses de l'écoulement plus élevées.

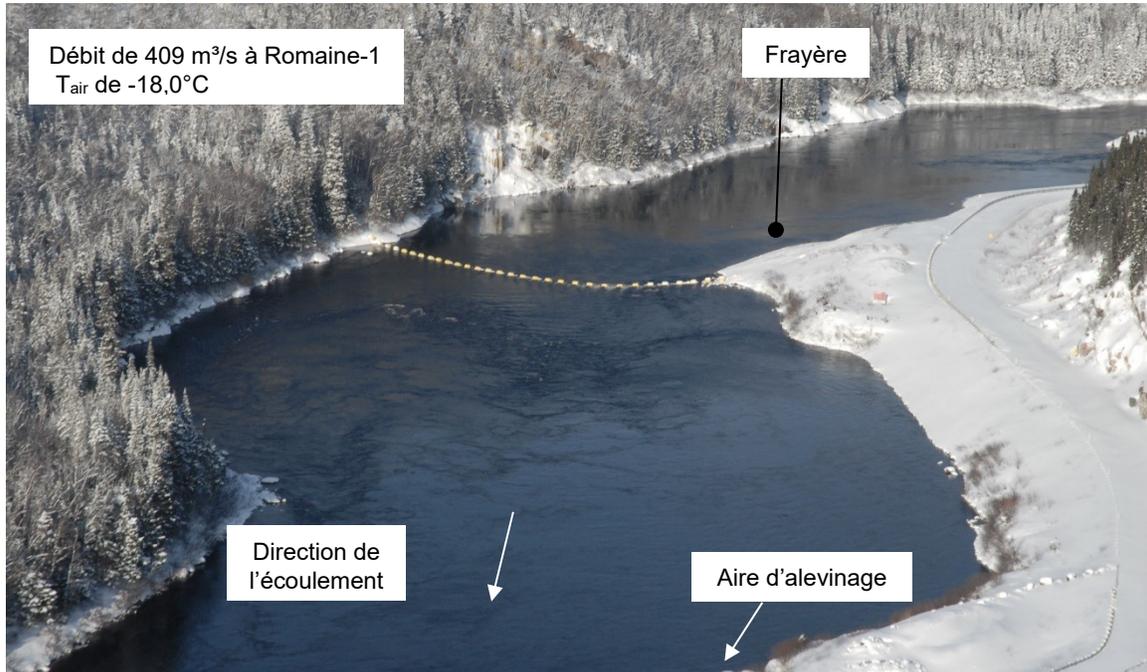


Photo 21 : Absence de glace sur la frayère et l'aire d'alevinage du PK 51, le 17 janvier 2019

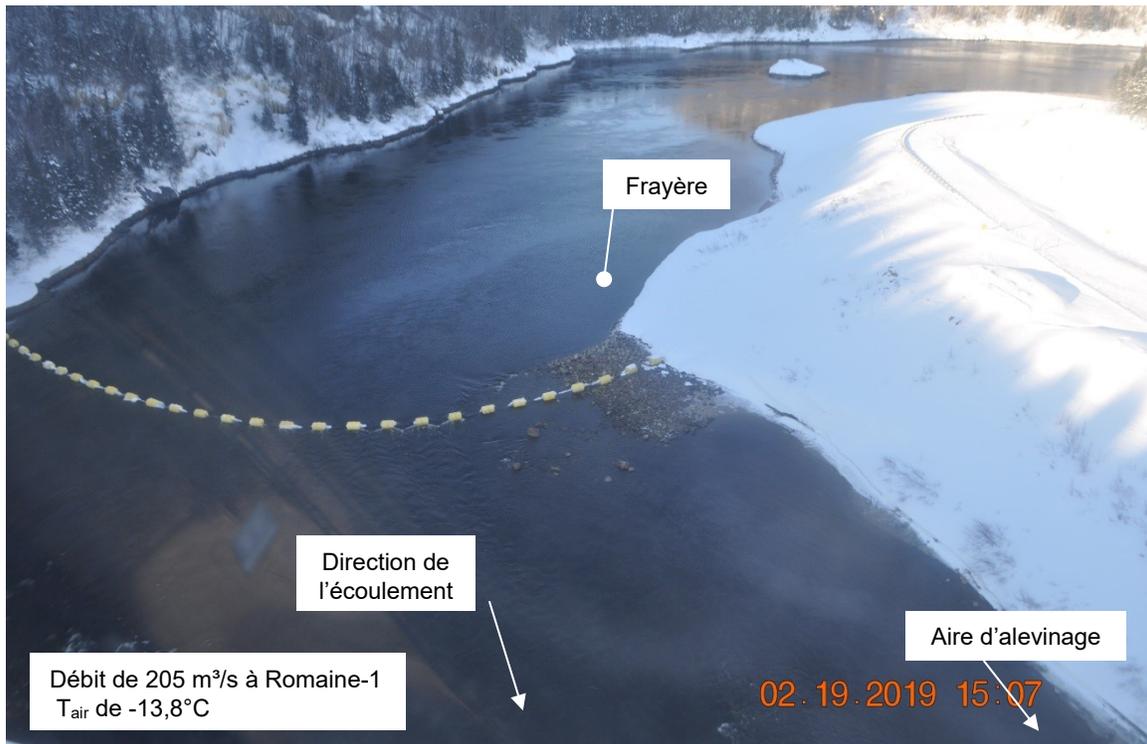


Photo 22 : Absence de glace sur la frayère et l'aire l'alevinage du PK 51, le 19 février 2019



Photo 23 : Absence de glace sur la frayère et l'aire l'alevinage du PK 51, le 20 février 2019



Photo 24 : Présence de glace mince en surface sur l'aire d'alevinage du PK 51, le 28 mars 2019



Photo 25 : Présence de glace en conditions naturelles au PK 51 (07-02-2011)

Frayère et aires d'alevinage aménagées au PK 49

Les données de température de l'eau enregistrées à la station ROMA0983 indiquent que l'eau y est globalement plus chaude qu'aux stations plus en aval et elle se maintient au-dessus du point de congélation tout l'hiver, généralement au-dessus de 0,5°C, sauf pendant deux épisodes, une dizaine de jours au début janvier et quelques jours mi-février où la température de l'eau est descendue proche de 0,2°C. Elle fluctue entre 0,2 et 1,2°C en janvier (0,9°C les $\frac{3}{4}$ du temps), entre 0,2 et 1°C en février (0,8°C les $\frac{3}{4}$ du temps), et entre 0,4 et 1,6°C en mars (1,0°C les $\frac{3}{4}$ du temps).

Les planches 1 et 2 permettent de suivre la formation de la glace près de la rive durant les mois de novembre à début février. À la faveur d'un début d'hiver hâtif, et de l'abaissement du débit turbiné à Romaine-1 de 205 à 150 m³/s le 13 novembre 2018, de la glace de rive apparaît dès la mi-novembre sur l'aire d'alevinage aval. Les conditions de

débit restant stables autour de 150 m³/s jusqu'au 7 janvier 2019, l'emprise de la glace de rive évolue pendant tout le mois de décembre au gré des variations de température de l'air, jusqu'à une emprise maximale le 4 janvier 2019. À cette date, la glace de rive s'étend sur les aires d'alevinages aval et amont, ainsi que sur la frayère aménagée. Dès le 7 janvier, le niveau de l'eau au PK 49 remonte suite à l'augmentation du débit turbiné de 150 à 200 m³/s, et la glace de rive disparaît le 9 janvier. La glace de rive se forme de nouveau ponctuellement durant le mois suivant, notamment à l'extrémité sud de l'aire d'alevinage amont, selon les variations de débit turbiné et les conditions de température de l'air.

Aucune présence de glace n'a été observée sur les sites des frayères (incluant la frayère naturelle au PK 49 en rive droite) et aires d'alevinage aménagées du PK 49 lors du survol du 17 janvier 2019 (photo 26). Par contre, les survols du 19 février et du 25 mars 2019 ont montré la présence de glace de rive mince en bordure des aires d'alevinage, et à l'aval de la frayère naturelle au PK 49 (photos 27 et 28).

Globalement, les conditions de glace au site des aires aménagées d'alevinage et de fraie du PK 49 restent occasionnelles au cœur de l'hiver (janvier et février), lorsque le débit turbiné à Romaine-1 varie entre 200 et 400 m³/s. Pendant cette période, la glace est mince et lisse et se forme par temps très froid, lorsque le débit de la centrale est plus faible, puis disparaît au moindre redoux ou à la moindre augmentation du débit à 400 m³/s, même de très courte durée. Les conditions de début (novembre-décembre) et de fin (mars) d'hiver 2018-2019 ont été caractérisées par des températures de l'air assez froides, et un débit turbiné constant de 150 m³/s. Ceci a favorisé l'apparition de glace mince en surface sur les sites des aires aménagées d'alevinage et de fraie du PK 49.

Le positionnement des nids de saumon inventoriés sur la frayère aménagée (automne 2015, 2016, 2017 et 2018) se situe généralement à une profondeur minimale de 0,3 m et jusqu'à 1,0 m sous le niveau de l'eau lorsque le débit est à 140 m³/sec (WSP, 2016; WSP, 2017; WSP, 2019a et WSP, 2019b).

Tel que prévu à l'étude d'impact, les conditions hivernales diffèrent toutefois des conditions naturelles pour lesquelles la glace se formait après un gel cumulé de l'ordre de 250°C-jours et restait présente jusqu'à la fin de l'hiver glaciologique (photo 29).

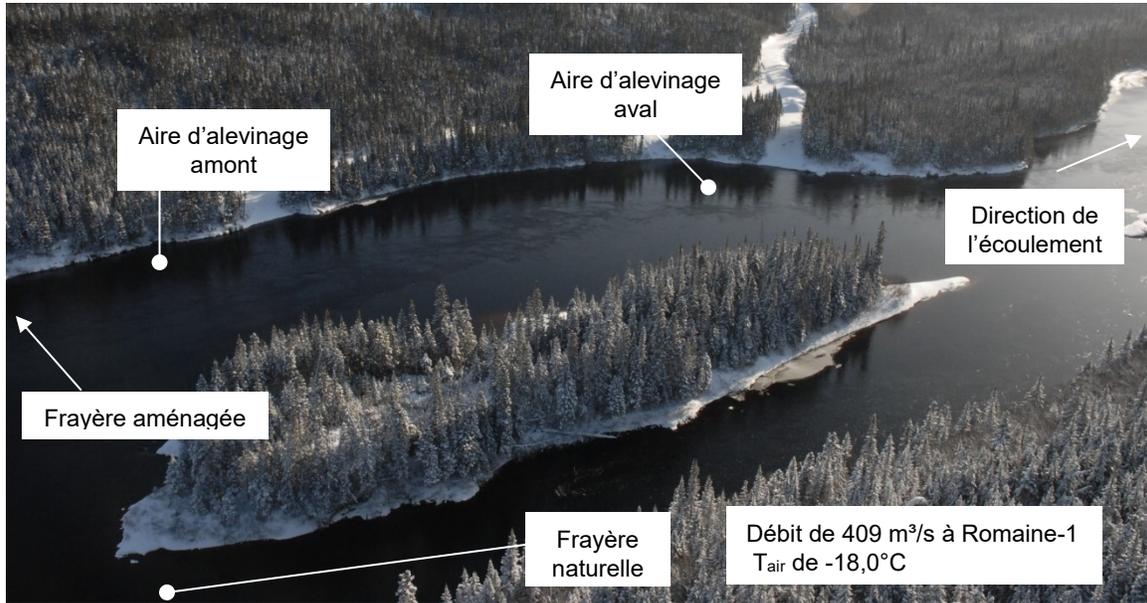


Photo 26 : Absence de glace sur la frayère du PK 49 et les aires d'alevinage aménagées, le 17 janvier 2019



Photo 27 : Présence de glace de rive à l'aval de l'aire d'alevinage amont au PK 49, le 19 février 2019

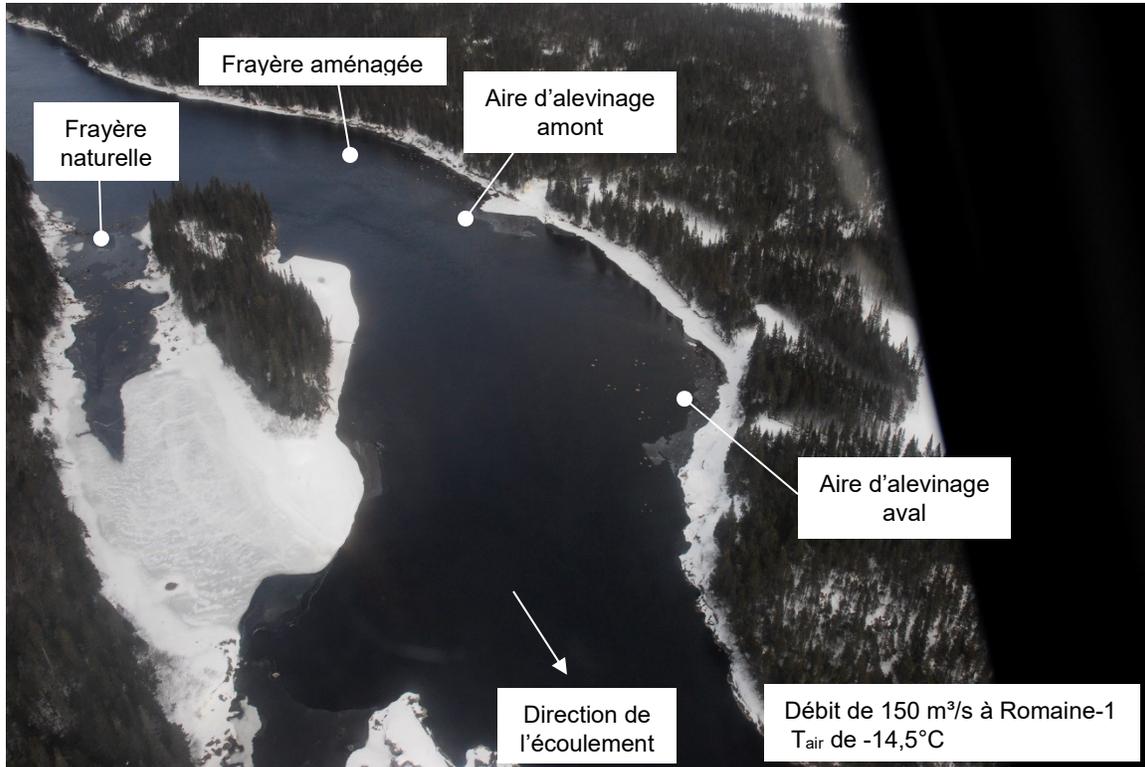


Photo 28 : Présence de glace de rive à l'aval de la frayère naturelle du PK 49, et glace mince sur les aires d'alevinage aménagées, le 25 mars 2019

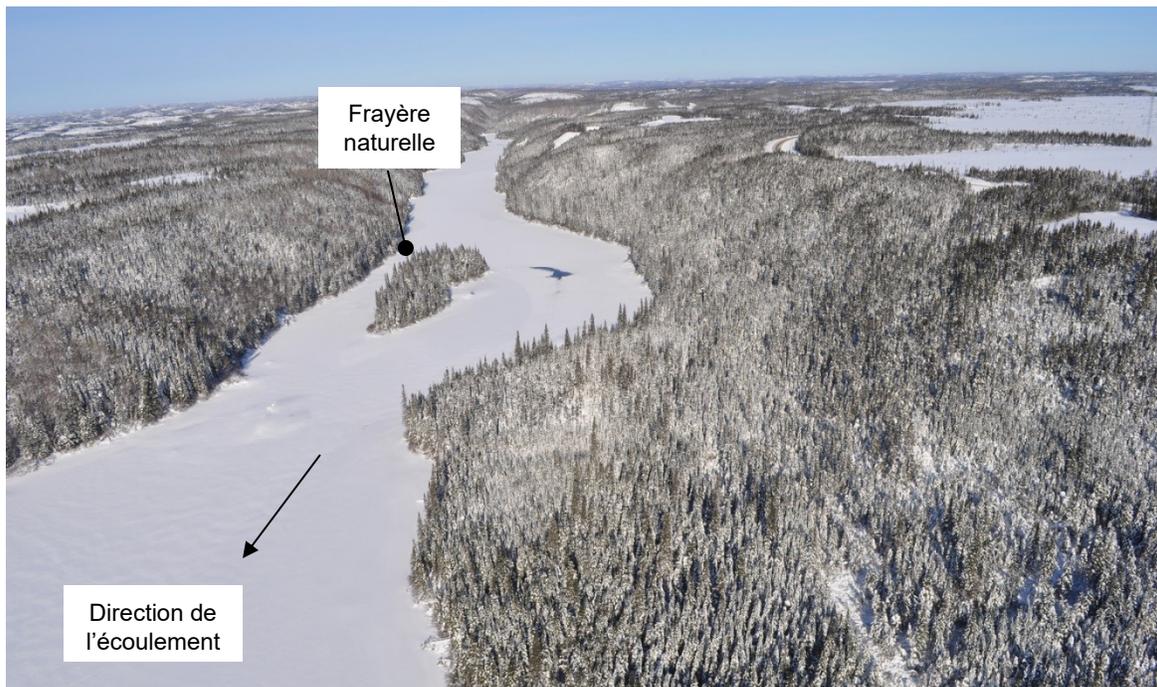


Photo 29 : Présence de glace à l'état naturel au PK 49 (2012-02-02)

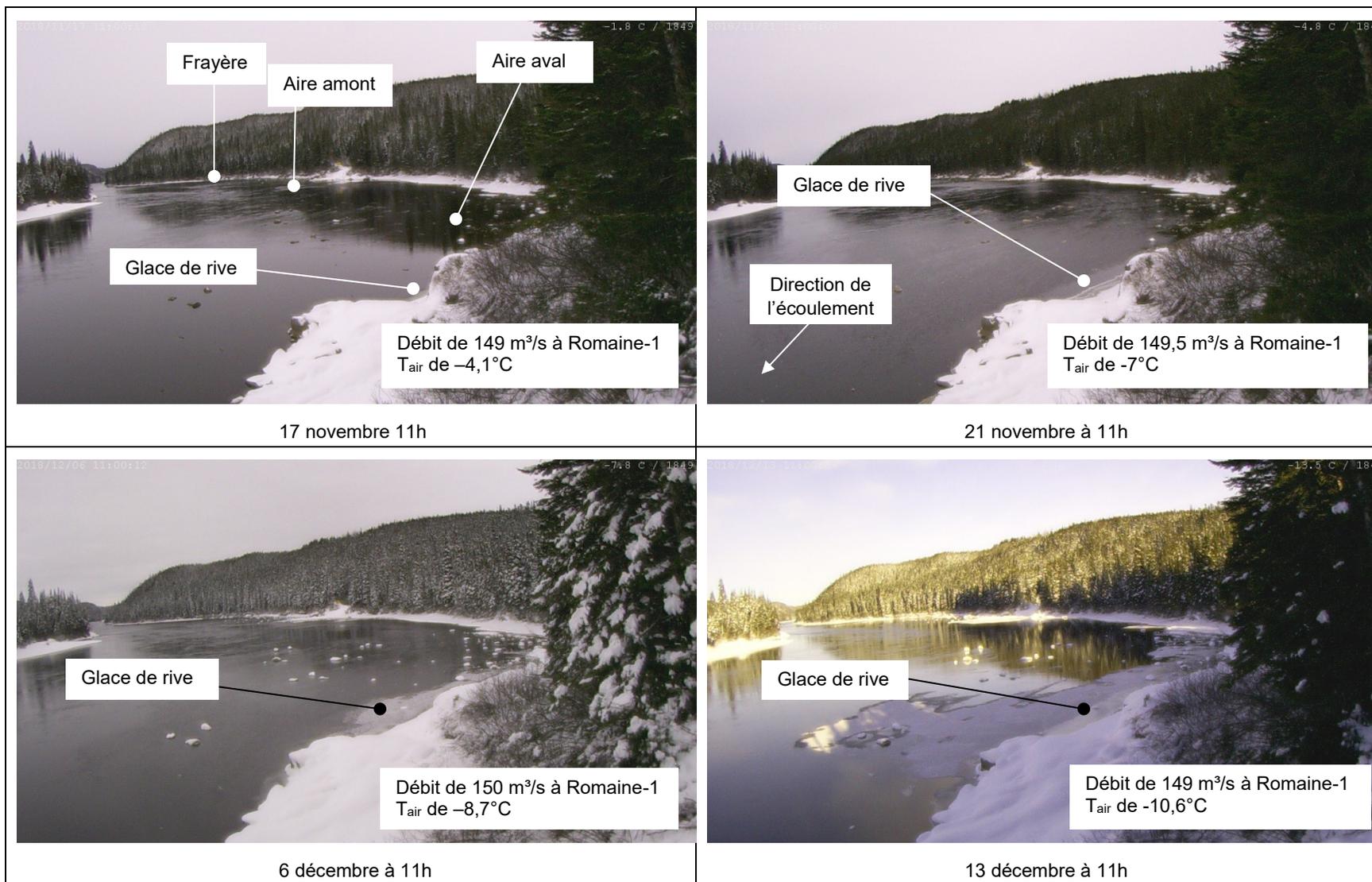


Planche 1 : Évolution de la couverture de glace devant les deux aires d'alevinage et la frayère aménagée du PK 49, en novembre et décembre 2018 (vue vers l'amont)

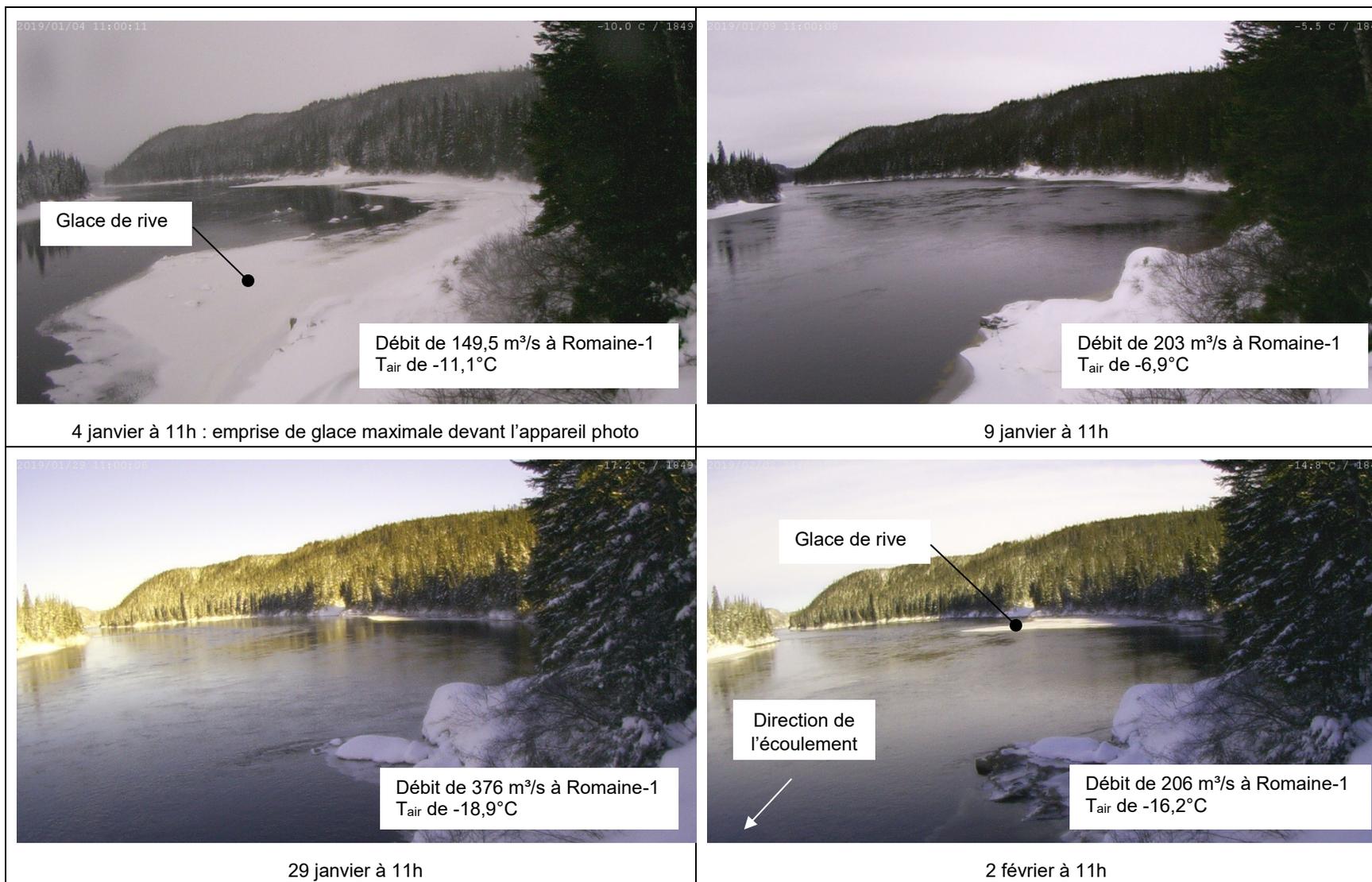


Planche 2 : Évolution de la couverture de glace devant les deux aires d'alevinage et la frayère aménagée du PK 49, en janvier 2019 (vue vers l'amont)

Frayère naturelle du PK 46

Comme pour les autres frayères, la présence de glace au PK 46 est influencée par le débit turbiné à la centrale de la Romaine-1 et la température de l'eau et de l'air.

Les planches 3 à 6 permettent de suivre la formation de la glace près de la rive durant les mois de novembre à mars.

Les premières traces de glace près de la rive apparaissent le 19 novembre (planche 3), alors que le débit turbiné à la centrale de la Romaine-1 est stable à 150 m³/s, qu'une température de l'eau de 3,0°C est enregistrée et que les températures de l'air ont chuté dans les journées précédentes, atteignant -15°C une première fois le 16 novembre, puis de nouveau dans la nuit du 18 au 19 novembre 2018. Cette glace reste mince, la bande étroite est confinée près de la rive. Elle reste présente avec une étendue plus ou moins grande jusqu'au redoux du 22 décembre 2018, avec l'augmentation des températures de l'air qui favorisent l'accumulation d'eau sur la glace et la fonte de la glace de rive (planche 3). Une fine couche se reforme très localement en bordure de la rive le 24 décembre alors que le débit turbiné est maintenu à 150 m³/s, les températures hivernales sont de retour et la température de l'eau chute autour de 0,2°C. Le banc de sable et la glace de rive sont recouverts d'une couche de neige le 29 décembre. L'emprise maximale de glace est observée le 3 janvier 2019 (planche 4), avec une large étendue de la glace en surface vers le centre de la rivière, y compris sur le site de la frayère.

Comme au PK 49, le niveau de l'eau au PK 46 augmente dès le 7 janvier suite à l'augmentation du débit turbiné de 150 à 200 m³/s, et la glace de rive est morcelée en plaques qui dérivent à la surface devant le site de la frayère (planche 4). La glace de rive apparaît et disparaît durant les deux mois suivants, selon les variations de débit turbiné et les conditions de température de l'air et de l'eau. Les photographies des planches 4 et 5 montrent ainsi l'absence de glace de rive lorsque le débit turbiné est proche de 400 m³/s, ensuite la formation de glace de rive lorsque le débit turbiné est proche de 200 m³/s et les températures de l'air hivernales, puis le morcellement de cette glace de rive lorsque le niveau augmente de nouveau suite à une nouvelle variation de débit turbiné.

Pendant toute la durée de l'hiver, le centre de la rivière demeure toujours libre de glace (photo 30). Toutefois, dans les zones soustraites à l'écoulement principal, où les vitesses

d'écoulement sont plus faibles, la température de l'eau peut se refroidir davantage si l'eau est exposée à l'air froid. Ceci explique pourquoi la glace de rive peut se former, malgré des températures de l'eau enregistrées par la sonde placée en eau plus profonde nettement au-dessus du point de congélation (photo 31).

Début mars, le débit turbiné est redescendu à une valeur proche du débit minimal requis, et reste stable pendant tout le mois. On observe de nouveau de la glace de rive mince et très limitée dans l'étendue, qui évolue selon les conditions de températures de l'air et de l'eau (photo 32 et planche 6). Vers la 2^e moitié du mois, la glace de rive est présente le matin, mais se détériore dans l'après-midi à la faveur de l'ensoleillement et des températures de l'air plus élevées.

En somme, la glace demeure toujours confinée près de la rive, mince et d'aspect très lisse et n'atteint pas ou peu le dessus de la frayère naturelle (photo 33). Il est important de mentionner que le positionnement des nids de saumon inventoriés (automne 2015, 2016, 2017 et 2018) se situe à une profondeur minimale de 0,3 m et jusqu'à environ 2,4 m sous le niveau de l'eau lorsque le débit est à 140 m³/s (WSP, 2016; WSP, 2017; WSP, 2019a et WSP, 2019b). De plus, aucun des survols photographiques n'a permis de détecter la présence de glace de fond.

La présence de glace diffère de l'état naturel alors que la glace se formait après 250°C-jours de gel et restait présente jusqu'à la fin de l'hiver (photo 34).

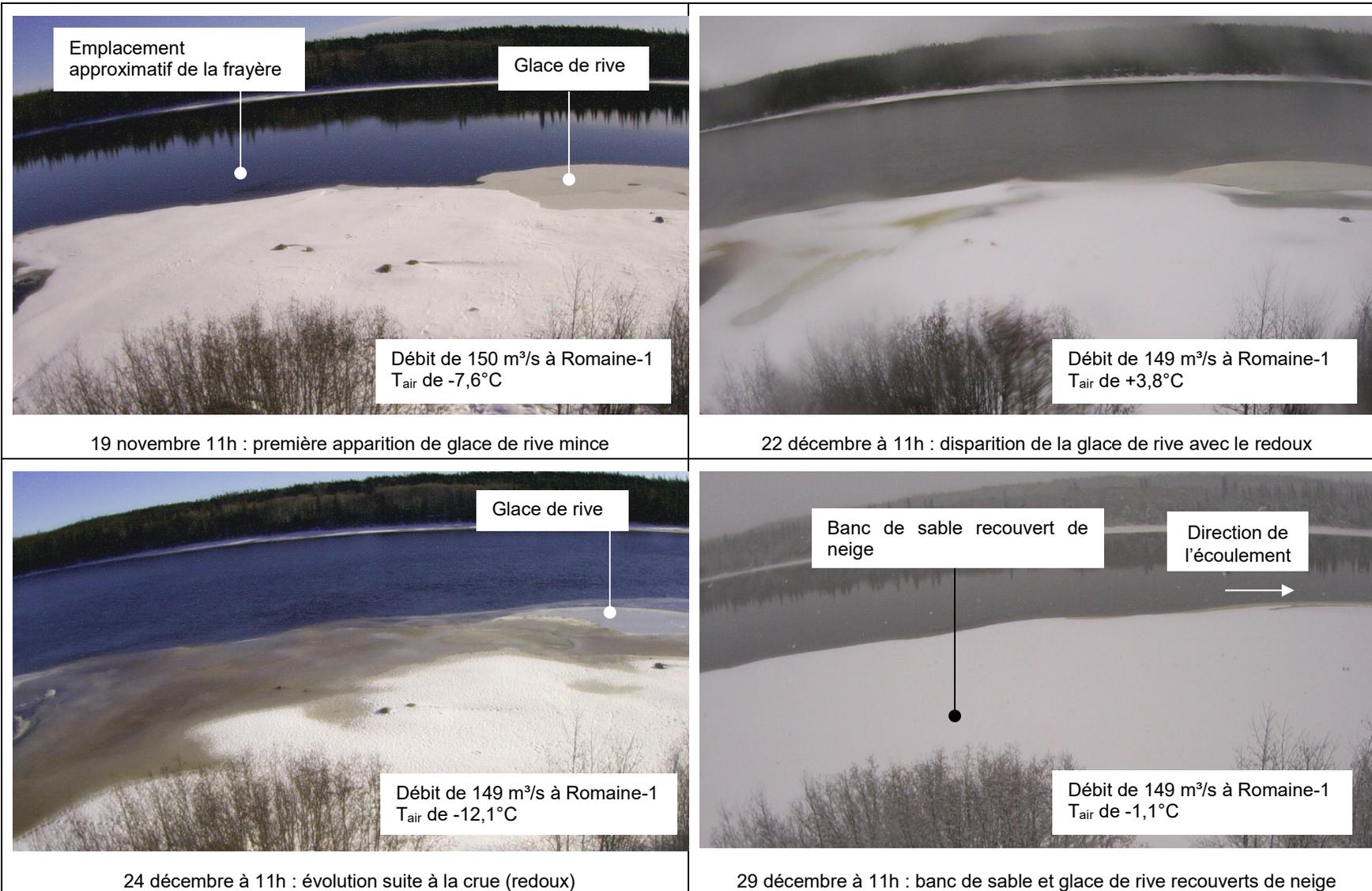


Planche 3 : Évolution de la couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en novembre et décembre 2018

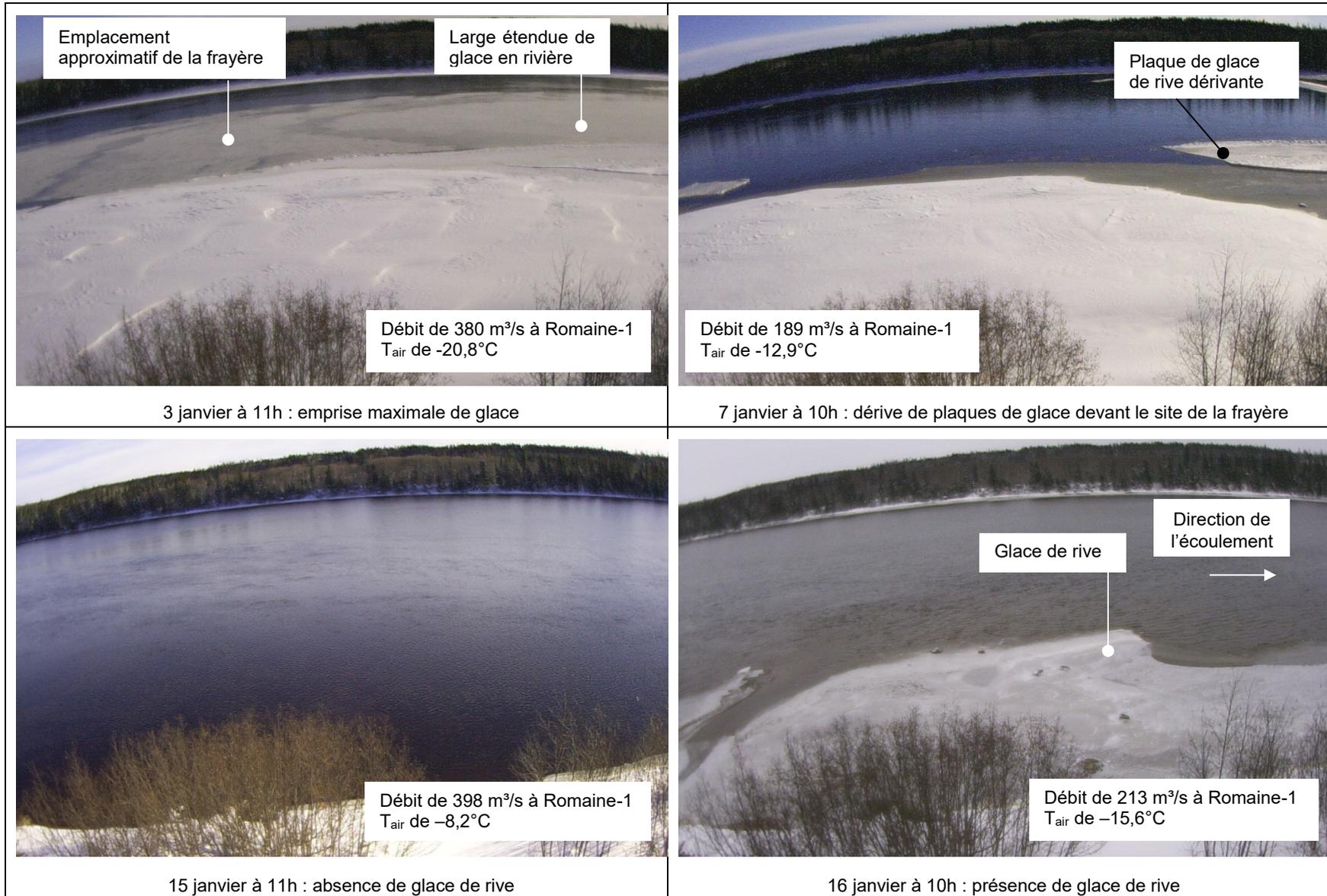
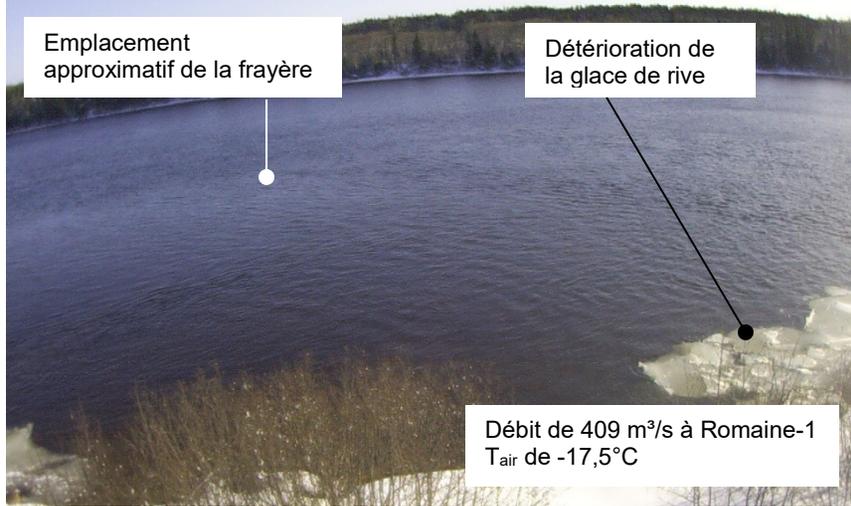


Planche 4 : Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en janvier 2019



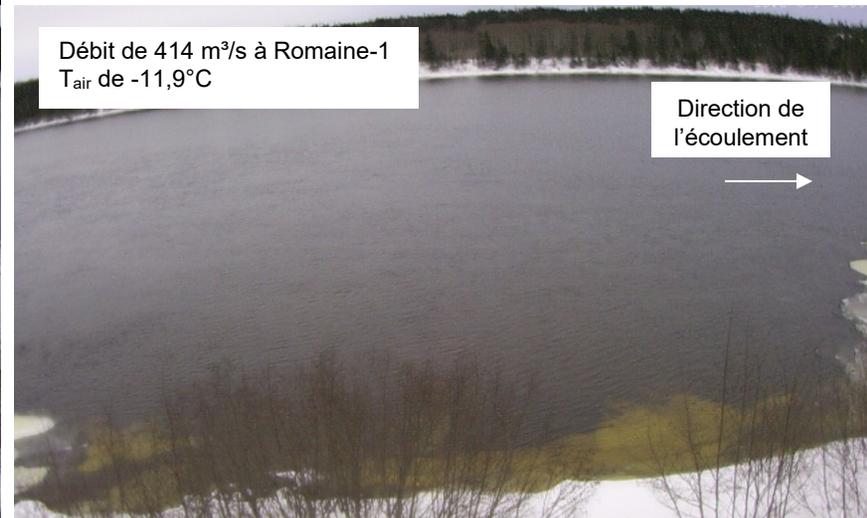
17 janvier 11h : morcellement de la glace de rive avec les variations de débit



10 février à 11h : glace de rive de nouveau formée



11 février à 11h : morcellement de la glace de rive avec les variations de débit



12 février à 11h : disparition de la glace de rive avec les variations de débit

Planche 5 : Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en janvier et février 2019

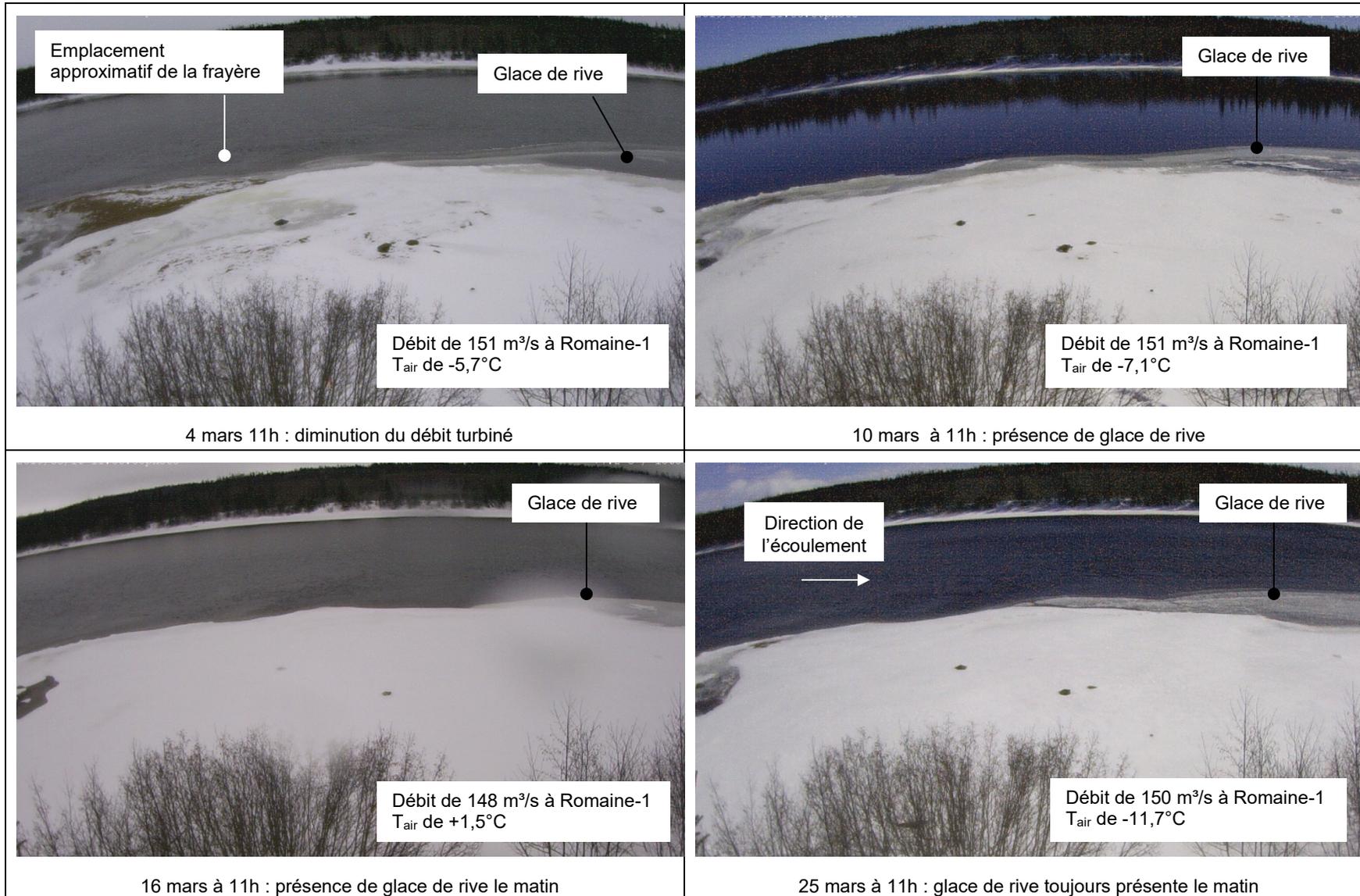


Planche 6 : Couverture de glace au site de la frayère du PK 46 en mars 2019



Photo 30 : Glace de rive au PK 46, le 17 janvier 2019

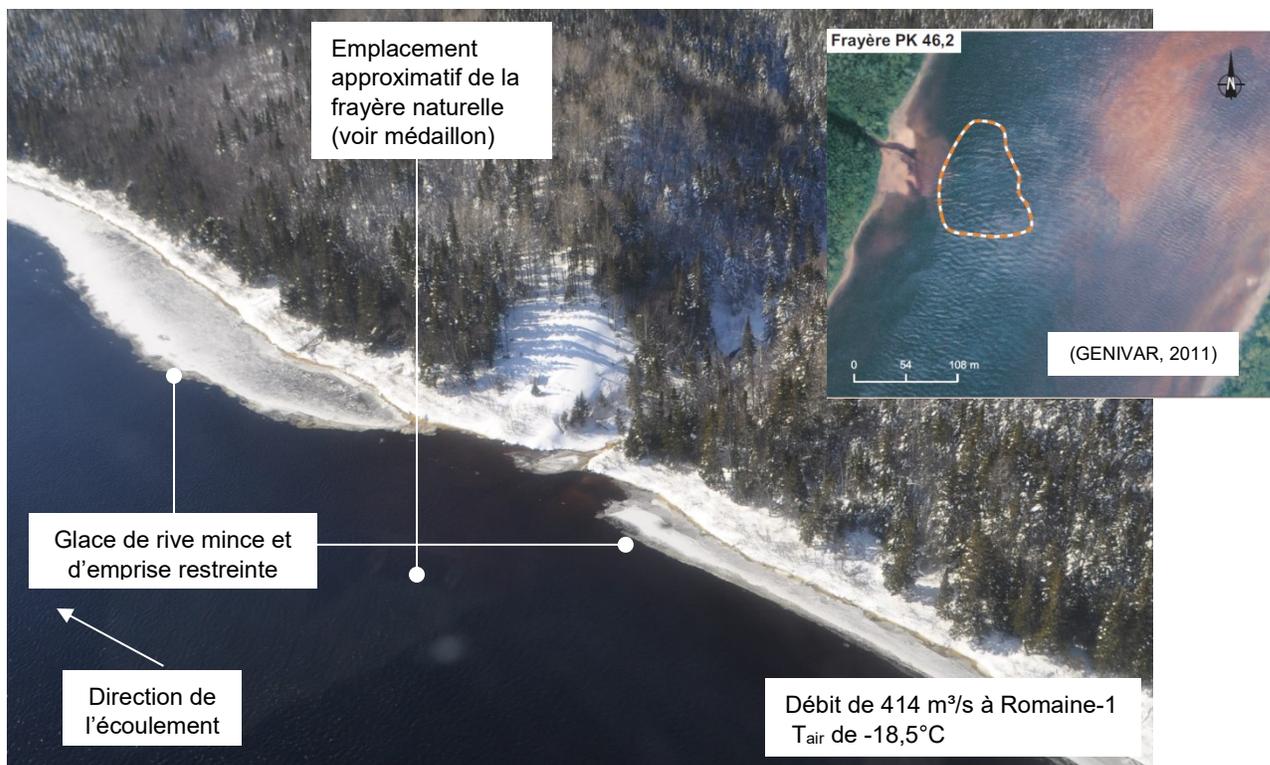


Photo 31 : Glace de rive au PK 46, le 20 février 2019

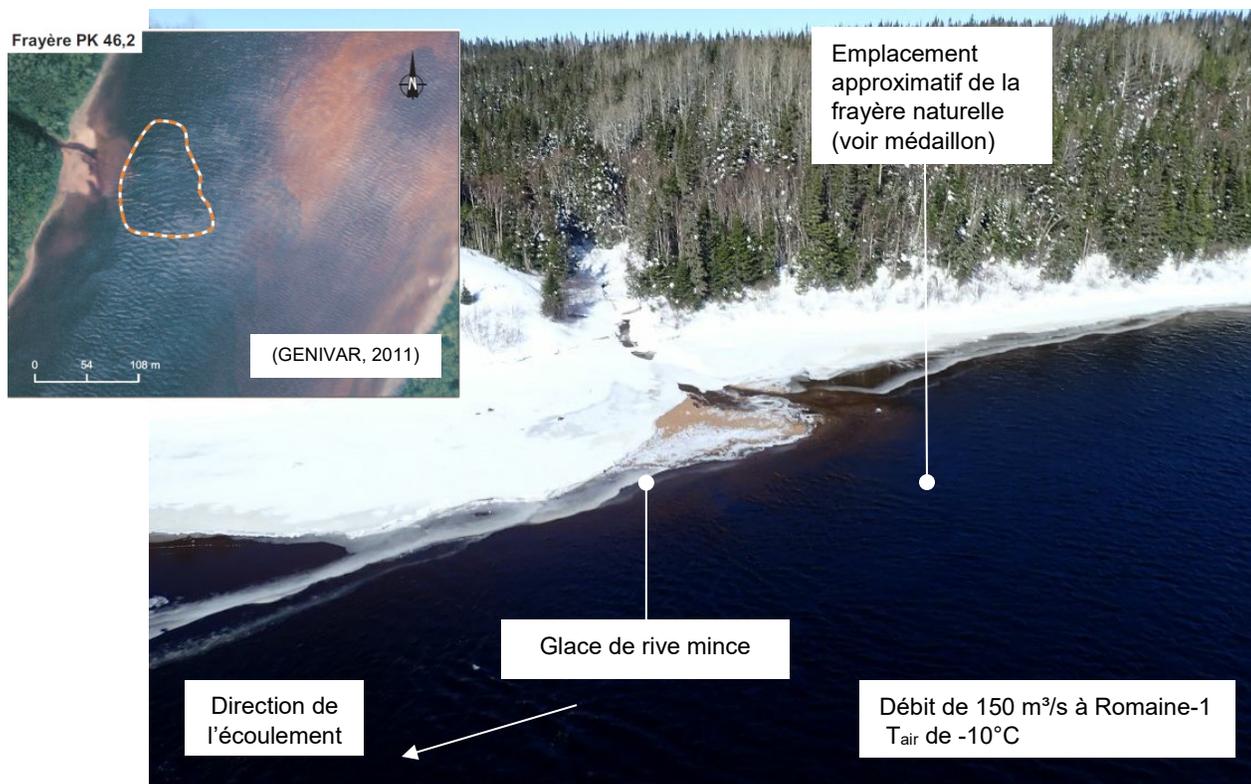


Photo 32 : Glace de rive au PK 46, le 2 mars 2019

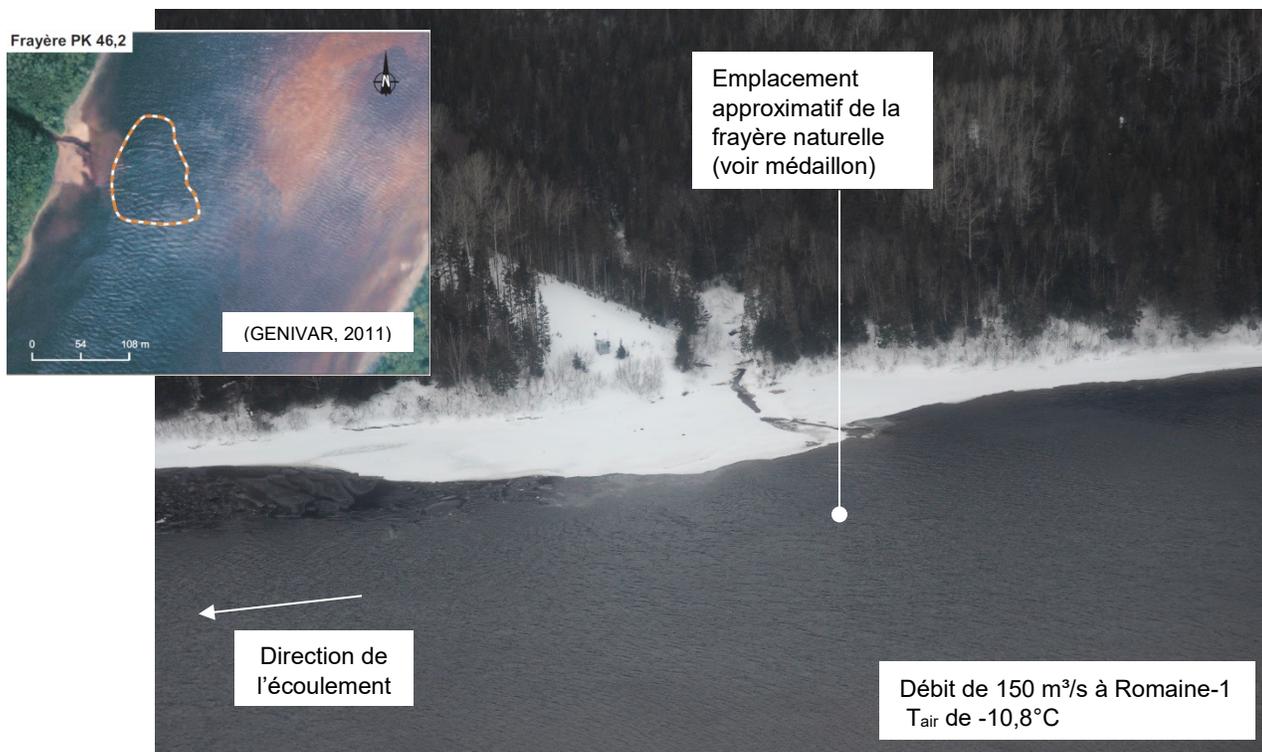


Photo 33 : Glace de rive recouverte de neige au PK 46, le 25 mars 2019

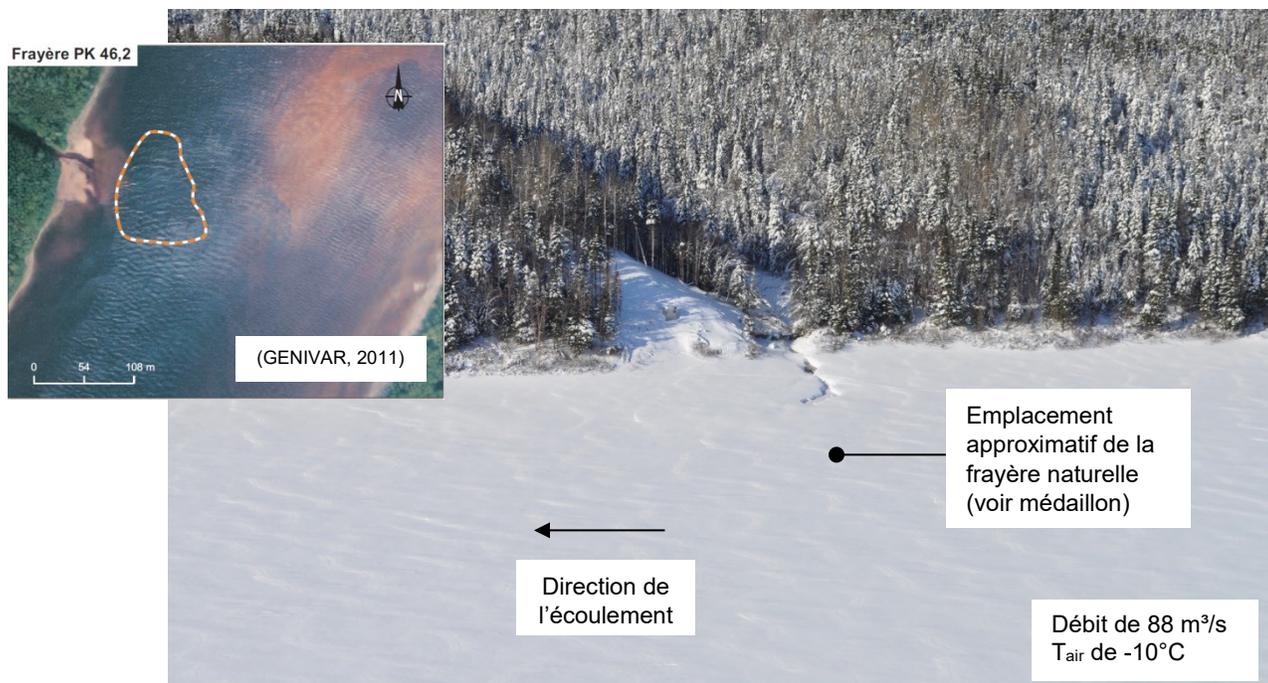


Photo 34 : Glace présente en conditions naturelles au PK 46 (2012-02-02)

Frayère naturelle du PK 34

Cette frayère est la plus en aval de la rivière. Elle est située dans une zone plus profonde, peu affectée par la présence de glace. En hiver, l'eau s'y refroidit davantage et elle atteint le point de congélation à plusieurs reprises pendant des périodes de durée variable (de quelques heures à quelques jours) ou parfois même est sur-refroidie (température sous le point de congélation), comme cela peut survenir dans les rivières naturelles aux endroits où l'écoulement est rapide. On note que les données de températures de l'eau mesurées à la station ROMA0943 sont nettement négatives pendant plusieurs périodes de fin décembre 2018 à mars 2019, la fiabilité de ces données est ainsi mise en doute.

Les planches 7 à 9 permettent de suivre la formation de la glace près de la rive durant les mois de novembre à début février.

Les premières traces de glace de rive apparaissent le 24 novembre. Comme pour les autres frayères, l'emprise de la glace reste limitée aux secteurs très peu profonds près de la rive (planche 7). À partir du 6 décembre, avec la diminution des températures de l'air, l'emprise s'étend un peu plus vers la partie aval de la frayère, mais la glace reste mince et lisse. Comme pour les autres sites de frayères, le redoux du 22 décembre fait disparaître la glace de rive, puis le retour des conditions hivernales et l'atteinte du point de congélation pour la température de l'eau permettent de nouveau la formation de glace de rive dès le 24 décembre (planche 7). L'emprise la plus importante a été observée le 5 janvier, alors que le débit turbiné est toujours de 150 m³/s (planche 8). La photo correspondante montre la glace de rive recouverte de neige.

À partir du 7 janvier, l'augmentation du débit turbiné de 150 à 200 m³/s, puis des pointes à 400 m³/s les jours suivants, génèrent des variations du niveau d'eau au PK 34, et des accumulations d'eau sur la surface de glace en bordure de rive. Ceci est notamment visible lors du survol du 17 janvier (photo 35). Ces variations du niveau d'eau finissent par provoquer la disparition totale de la glace de rive entre le 19 et le 20 janvier (planche 8). Ensuite, l'évolution de la glace de rive fin janvier et en février dépend des conditions de températures de l'air et de l'eau, ainsi que des variations de débit turbiné. On observe ainsi selon les journées une fine pellicule de glace de rive en formation, du frasil ou des blocs de glace dérivant devant le site de frayère du PK 34 (planche 9) ou encore de la glace de rive en décomposition (photo 36). Bien qu'aucune photographie ne soit disponible après le 2 février, les survols des 2 puis 25 mars 2019 montrent que de la glace

de rive est toujours présente tout le mois de mars devant la frayère, bien que son emprise et son épaisseur soit très limitée (photos 37 et 38).

En somme, la glace demeure toujours confinée près de la rive, mince et d'aspect très lisse et n'atteint pas ou peu le dessus de la frayère naturelle et encore moins le substrat de fraie. Il est important de mentionner que les nids sont localisés beaucoup plus en profondeur, plus près du talweg de la rivière et qu'ils se situent généralement environ à 1,2 m, et plus de profondeur, lorsque le débit est à 140 m³/s (WSP, 2016; WSP, 2017 et WSP, 2018). De plus, aucun des survols photographiques n'a permis de détecter la présence de glace de fond. Ces conditions diffèrent de l'état naturel alors que la glace se formait en début d'hiver et restait présente jusqu'à la fin de l'hiver (photo 39).

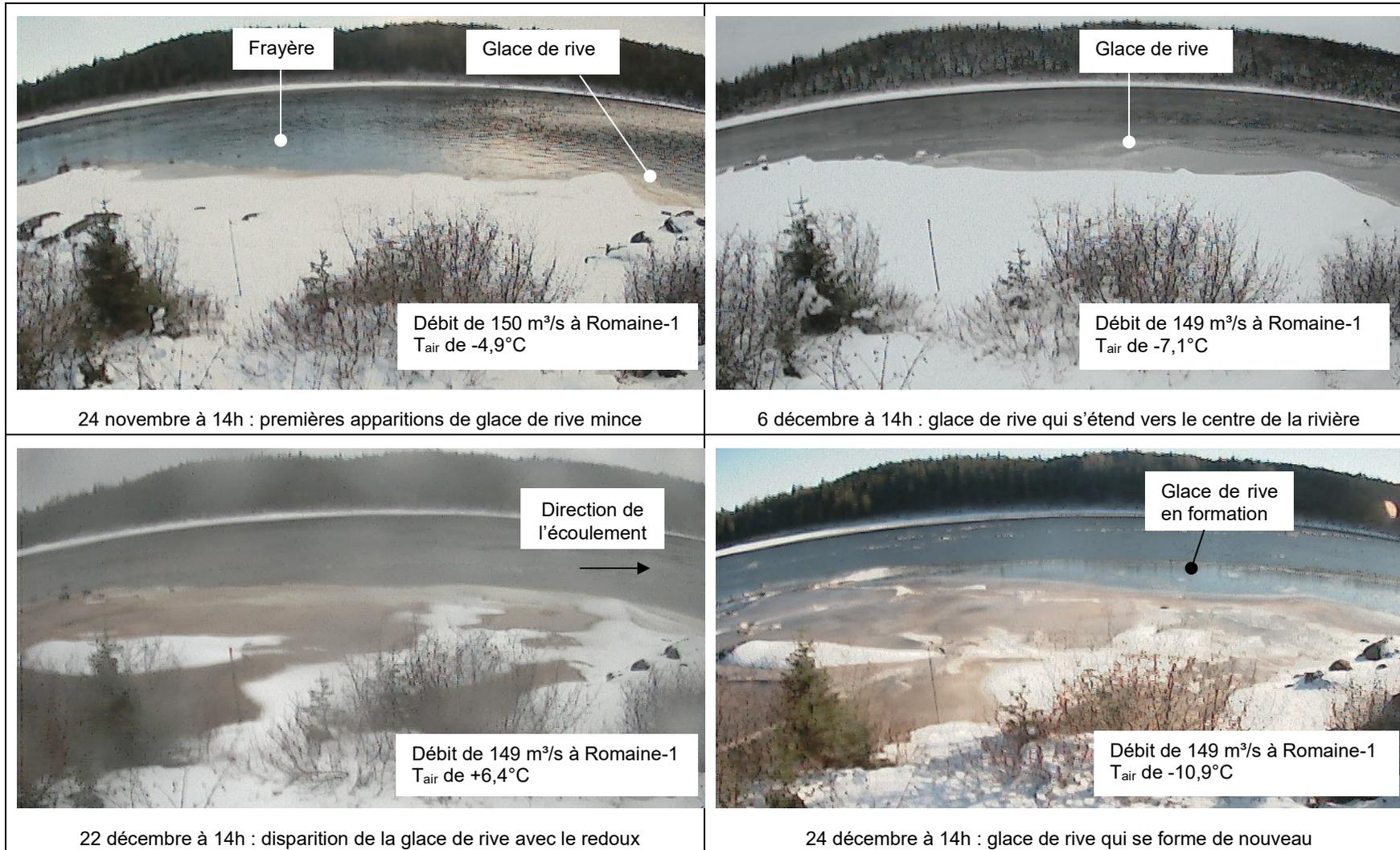


Planche 7 : Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en novembre et décembre 2018

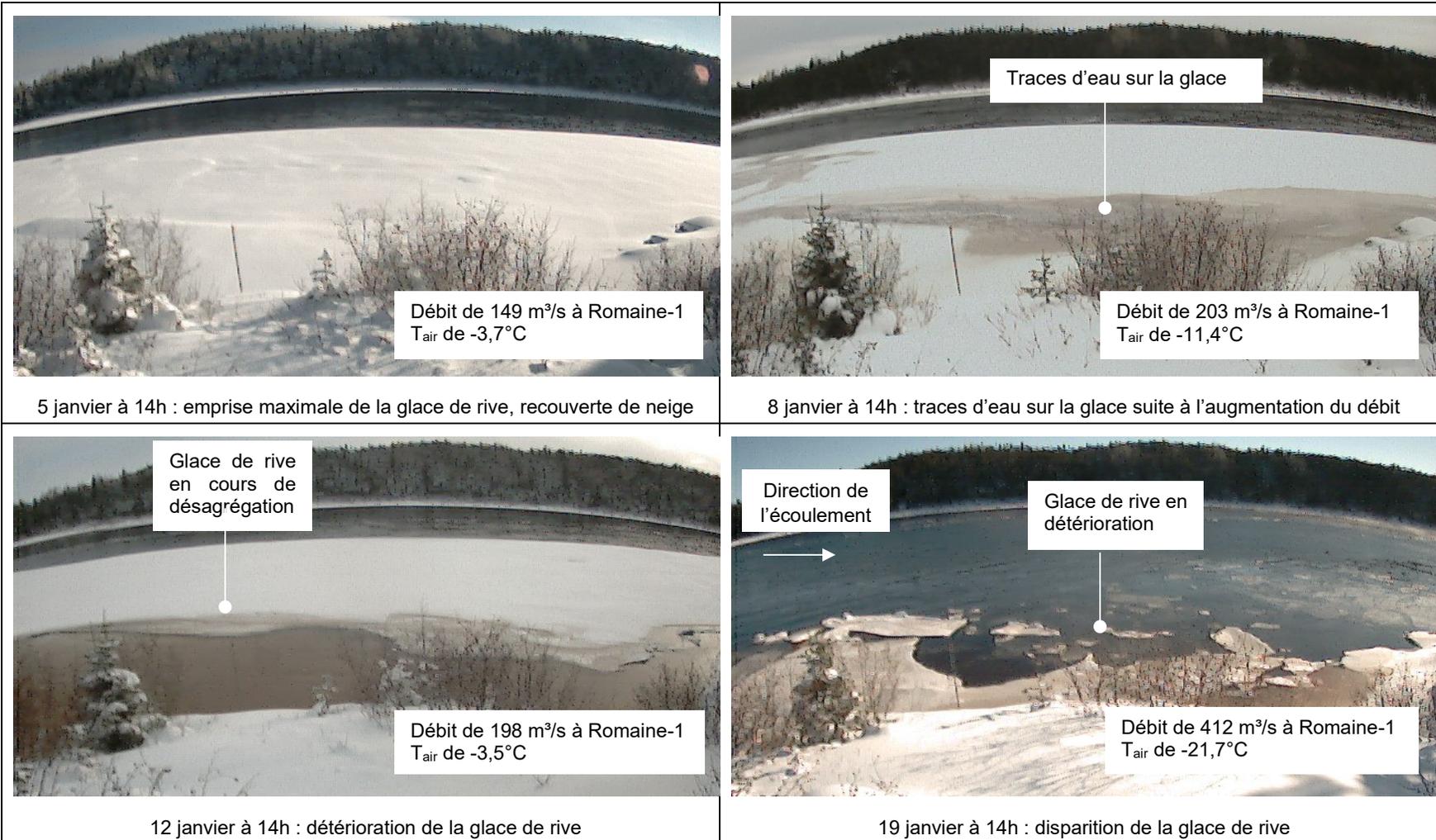


Planche 8 : Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en janvier 2019

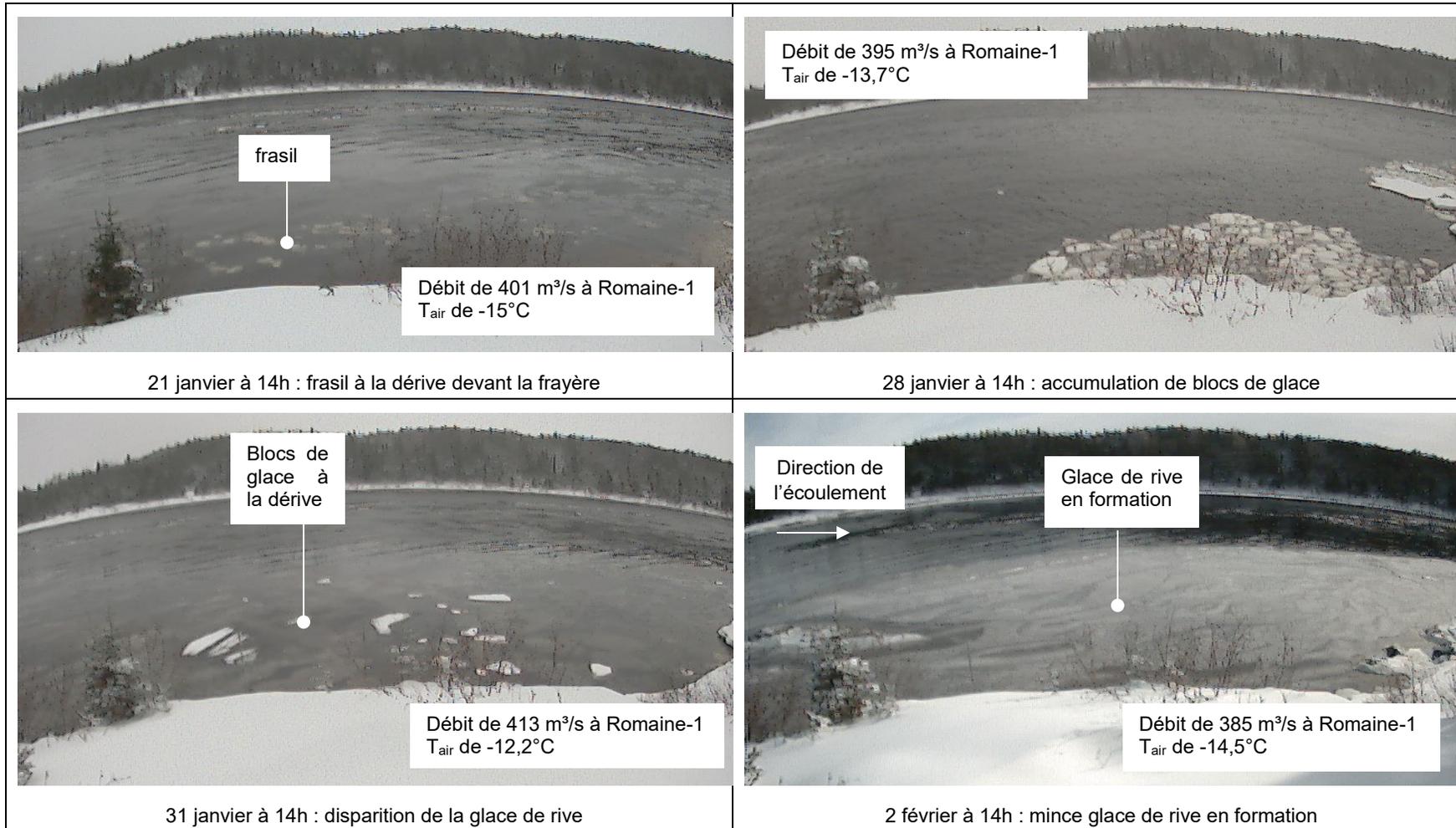


Planche 9 : Évolution de la couverture de glace devant la frayère du PK 34 en janvier 2019 (suite)

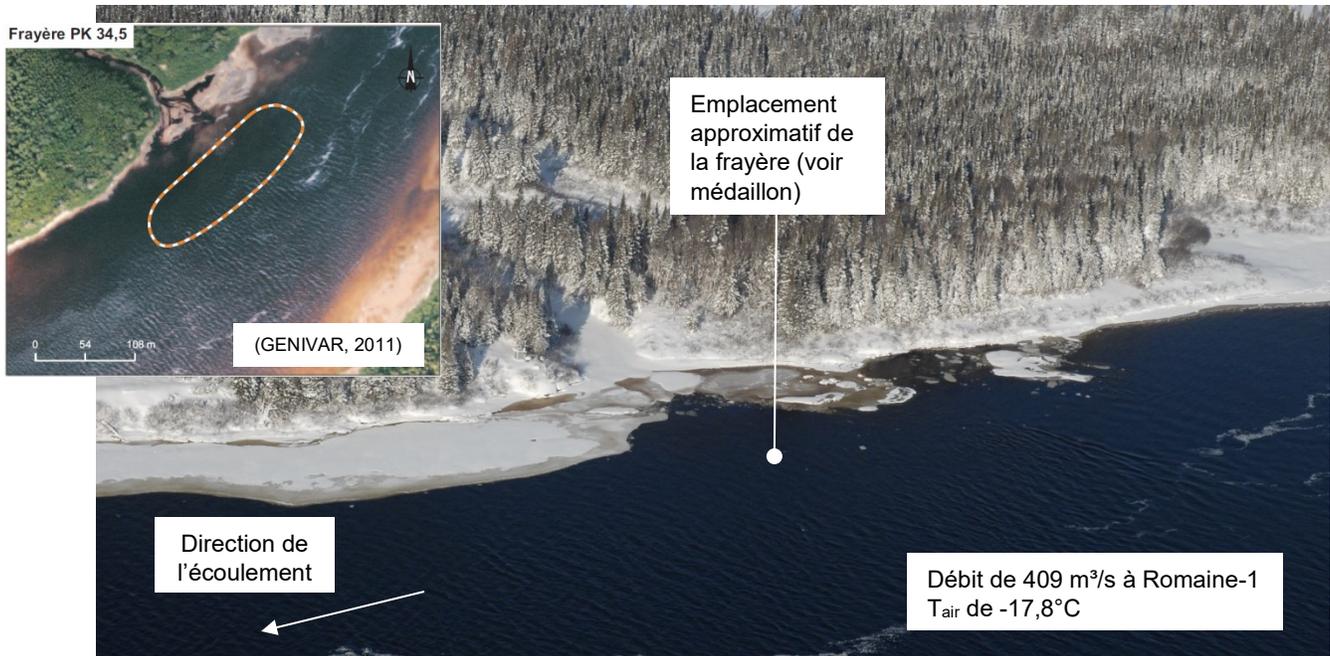


Photo 35 : Glace de rive devant la frayère du PK 34, le 17 janvier 2019



Photo 36 : Glace de rive en décomposition devant la frayère du PK 34, le 19 février 2019

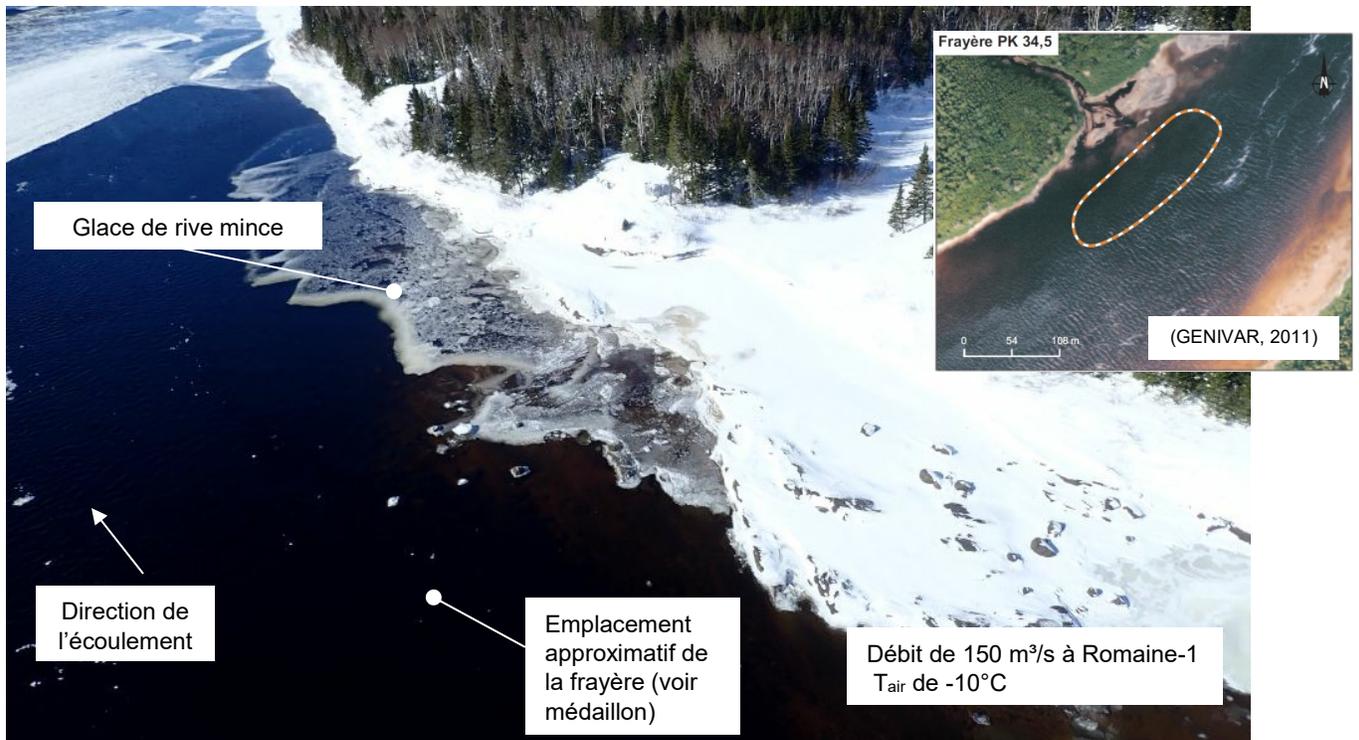


Photo 37 : Glace de rive mince devant la frayère du PK 34, le 2 mars 2019

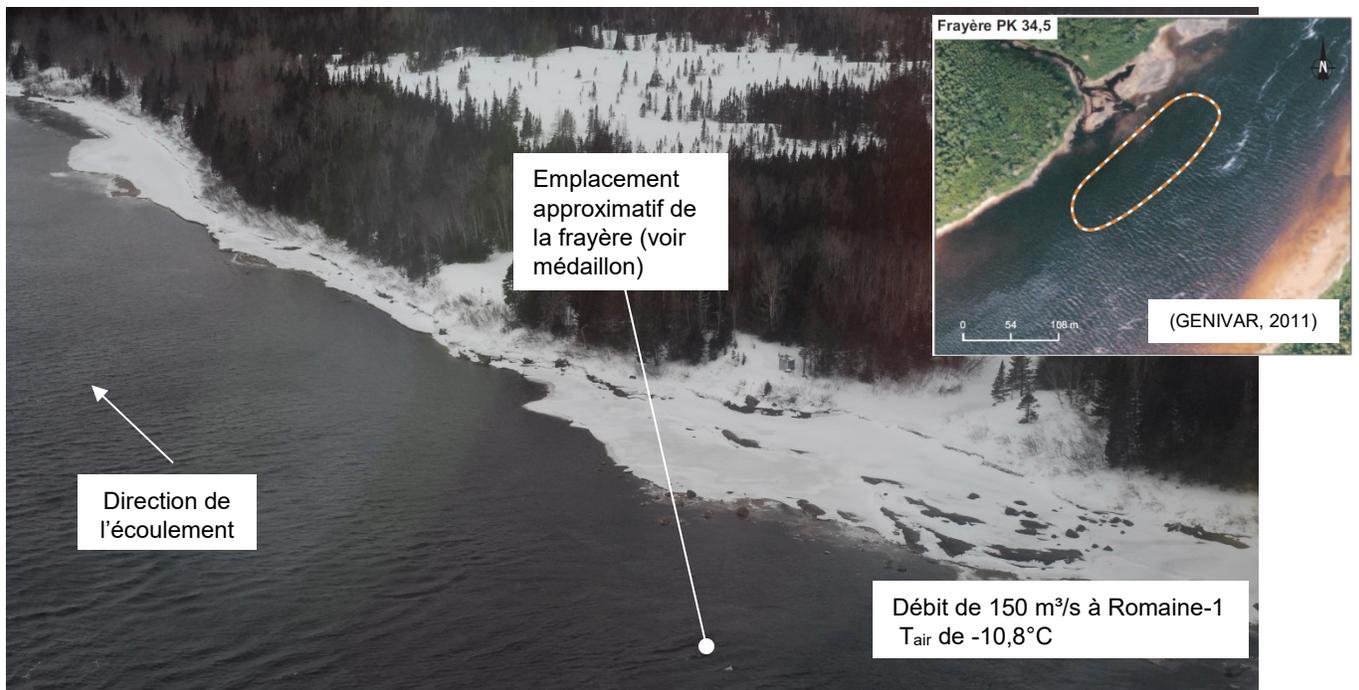


Photo 38 : Glace de rive devant la frayère du PK 34, le 25 mars 2019

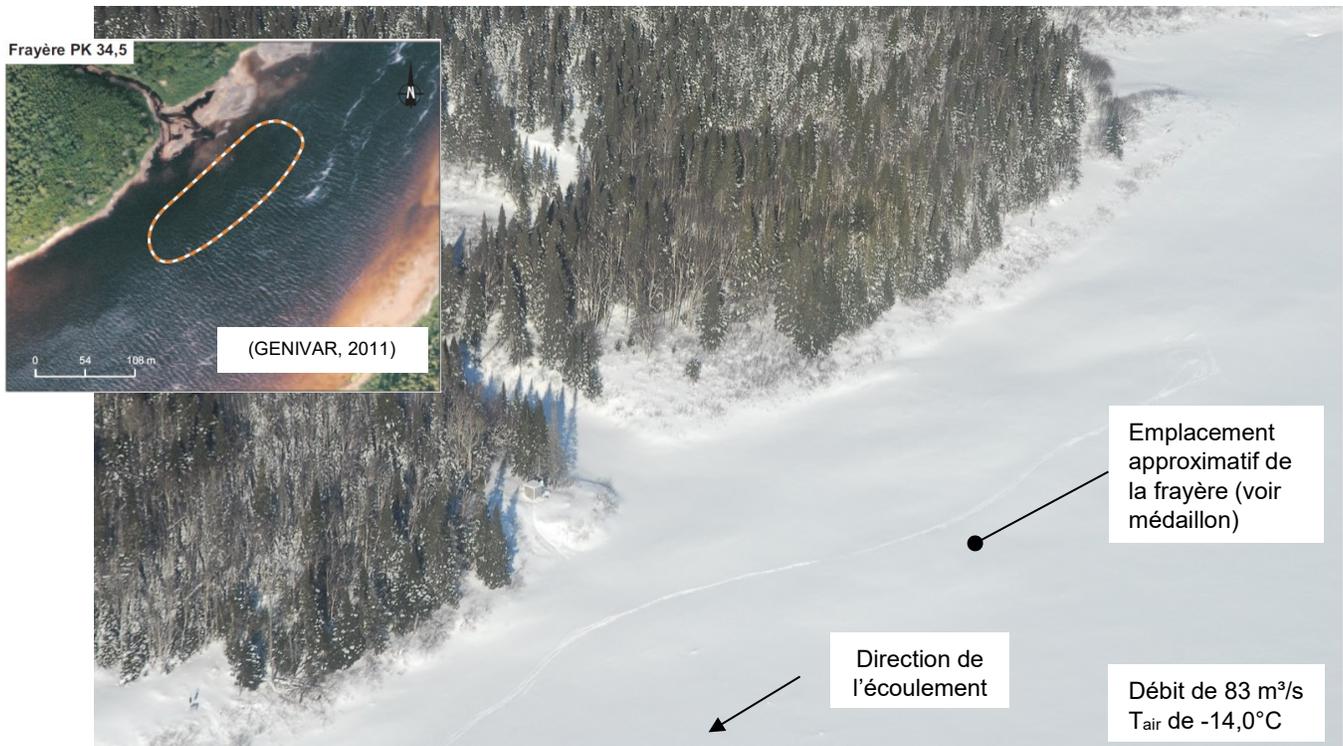


Photo 39 : Glace présente devant la frayère du PK 34 en conditions naturelles (2014-02-11)

En résumé

Globalement, les observations aux sites des différentes frayères concordent avec les prévisions de l'étude d'impact, à savoir que la glace n'envahit pas le substrat des frayères. Pour l'hiver 2018-2019, c'est au début de l'hiver que les étendues maximales de glace de rive sont observées, après plusieurs semaines de débit stable proche du débit minimum requis et alors que les conditions hivernales sont installées (fin décembre-début janvier). Au cœur de l'hiver, en janvier et février, l'augmentation du débit turbiné à Romaine-1 de 150 à 200 m³/s, puis les variations entre 200 et 400 m³/s favorisent le décrochement de la glace de rive qui se reforme lorsque les conditions de températures le permettent. En mars 2019, malgré un retour du débit turbiné à une valeur quasi-constante proche de 150 m³/s, les températures encore froides qui ont perduré ont favorisé la présence de glace de rive en bordure des sites des frayères, situation qui est différente des hivers précédents.

5. Mesure des épaisseurs de glace

Il n'y a eu aucune mesure des épaisseurs de glace à l'emplacement des frayères pendant l'hiver 2018-2019, tout comme pour les hivers précédents. La glace demeure en effet toujours d'aspect très mince et éphémère, d'épaisseur bien inférieure à celle qui est requise pour assurer la sécurité des personnes responsables d'effectuer les relevés.

6. Conclusion des observations de l'hiver 2018-2019 et comparaison avec les conditions à l'état naturel

En conditions naturelles, le régime hydrologique de la Romaine était typique des rivières de la Côte-Nord, c'est-à-dire caractérisé par des crues printanières généralement fortes (1 500 m³/s en moyenne) et des étiages hivernaux prononcés (entre 75 et 100 m³/s). L'étiage le plus prononcé survenait en hiver avec un débit minimum variable selon l'année de 35 à 85 m³/s généralement atteint vers la mi-avril⁵. Ce régime hivernal est maintenant remplacé par un régime d'exploitation où le débit minimal est de 140 m³/s pour la période du 16 novembre au 6 juin (Hydro-Québec, 2007). Selon l'étude d'impact, en présence des quatre réservoirs, on prévoyait que le débit d'exploitation du complexe varierait typiquement entre 200 et 400 m³/s et que le débit atteindrait très rarement le débit réservé écologique, soit en cas de faible hydraulité, ou en tout temps advenant un bris des deux turbines (Hydro-Québec, 2007).

En conditions naturelles, la température de l'eau atteignait le point de congélation dès le début de l'hiver et le restait jusqu'à la fin de l'hiver glaciologique sur l'ensemble du tronçon entre le PK 51 et l'embouchure. La couverture de glace se formait d'abord dans le tronçon entre l'embouchure et le PK 30, puis entre les PK 35 et 38, puis entre les PK 38 et 45. La couverture entre les PK 30 à 35 et entre les PK 45 à 51 devenait complète d'une rive à l'autre le plus tardivement, en raison des vitesses de l'écoulement plus élevées dans ces secteurs ; c'était donc le cas des deux frayères naturelles, situées aux PK 34 et 46. D'après les observations recueillies en conditions naturelles, la couverture de glace était complète ou presque devant les frayères après un gel cumulé de l'ordre de 250°C-jours, qui survenait entre le 7 décembre et le 26 janvier selon l'historique des températures de l'air mesurées à Havre-St-Pierre depuis 1979. La couverture de glace restait présente sans interruption pendant l'hiver. Dès la fin de l'hiver glaciologique ou lorsqu'une crue importante survenait durant l'hiver (redoux), un chenal se formait au centre de la rivière, mais dépendamment du débit et des températures de l'air pendant le printemps, la glace pouvait rester encore présente près de la rive jusqu'à une ou deux semaines additionnelles.

⁵ Le niveau d'eau en présence de glace au débit de 75 m³/s correspond à celui prévalant en l'absence de couverture de glace au débit de 140 m³/s.

Un début d'hiver hâtif a favorisé l'apparition de glace de rive, notamment aux sites des frayères des PK 34, 46 et 49, et d'une couverture de glace dans le secteur aval proche de l'embouchure de la rivière Romaine dès la fin du mois de novembre 2018. Les conditions de glace évoluent en début d'hiver selon les variations de températures de l'air et de l'eau, y compris lors d'un épisode de redoux le 22 décembre qui fait disparaître presque toute la glace.

Aux trois sites de frayères (PK 34, PK 46 et PK 49), le centre de la rivière demeure dégagé de glace en tout temps, et l'emprise de glace de rive est maximale, mais d'apparence lisse et mince, dans les premiers jours de janvier, avant l'augmentation du débit turbiné à la centrale de Romaine-1 le 7 janvier 2019.

En janvier 2019, la couverture de glace est complète d'une rive à l'autre entre les PK 3 et 29, à l'exception des secteurs de vitesses d'écoulement plus rapides, comme les chutes, qui restaient aussi libres de glace en conditions naturelles. De la glace de rive est présente entre les PK 45 et 30, ainsi qu'aux sites des frayères des PK 34, 46 et 49, lors des journées les plus froides et lorsque le débit turbiné à la centrale de la Romaine-1 est proche de 200 m³/s. Les augmentations de débit à 400 m³/s en janvier et février provoquent la désagrégation de cette glace de rive, qui se reforme dès que les conditions sont de nouveau favorables.

En janvier et février, plusieurs zones avec des traces d'eau sont observées sur la couverture de glace, qui résultent de résurgences d'eau par des microfissures dans la couverture de glace après une variation rapide du niveau d'eau.

La réduction du débit turbiné à une valeur stable proche de 150 m³/s fin février 2019 et la rigueur de la fin de l'hiver permettent à la glace de rester présente pendant tout le mois de mars 2019 pour le tronçon en aval du PK 15. La glace de rive est encore présente jusqu'au PK 30 et évolue alors en fonction des conditions de températures de l'eau et de l'air.

En avril 2019, l'augmentation du débit turbiné à 200 m³/s pour une période de quelques jours, combinée à un épisode de redoux et de précipitations liquides le 1^{er} avril, entraîne la disparition complète de la glace de rive sur le tronçon en amont du PK 10, et l'ensemble du tronçon en aval de la centrale Romaine-1 devient libre de glace le 10 avril 2019, avec

l'ouverture d'un chenal dans le secteur du PK 2,4, soit quasiment simultanément avec la fin de l'hiver glaciologique (le 11 avril 2019).

Comparativement aux conditions prévalant à l'état naturel, la glace est absente tout l'hiver au site de la frayère et de l'aire d'alevinage du PK 51. La glace de rive est présente de façon marginale dans le secteur des frayères des PK 49, 46 et 34 lorsque le débit turbiné est faible et la température de l'air très froide. Elle reste toujours d'apparence mince et lisse et n'atteint pas ou peu le dessus des frayères. Aucune présence de glace de fond n'a été observée sur les quatre frayères. Puisque la couverture de glace n'est jamais complète d'une rive à l'autre devant les frayères, on ne peut pas établir de corrélation entre le moment où la couverture est complète et celui où la température de l'eau atteint le point de congélation. Pour les frayères des PK 51, PK 49, 46 et 34, le positionnement des nids de saumon inventoriés (automne 2015, 2016, 2017 et 2018) se situe à une profondeur minimale de 0,3 m sous le niveau de l'eau lorsque le débit est à 140 m³/s (WSP, 2016; WSP, 2017; WSP, 2019a et WSP, 2019b).

Comme déjà observé lors des hivers précédents, les températures de l'eau en aval de la centrale et sur le tronçon entre le PK 51 et l'embouchure diffèrent de ce qu'elles étaient en conditions naturelles et affectent le régime des glaces. Contrairement aux deux hivers précédents, les variations de débit à la centrale de la Romaine-1 ont été minimisées pendant l'hiver, concentrées uniquement pendant les mois de janvier et février et maintenues entre 200 et 415 m³/s. Le débit turbiné au mois de décembre et au mois de mars est resté stable autour de 150 m³/s. Ces conditions d'exploitation, associées à une rigueur de début d'hiver (jusqu'à la mi-décembre) très froide, et une fin d'hiver également plus rigoureuse que la moyenne, a permis à la glace de se maintenir tard jusqu'en avril (couverture de glace présente dans le secteur du PK 2,4 jusqu'au 10 avril, et glace de rive mince encore visible en bordure des sites des frayères à la fin mars). Pendant l'hiver 2018-2019, de nouveau, aucune présence de glace de superficie et d'épaisseur significatives n'a été observée au-dessus des frayères à saumon naturelles et aménagées ainsi qu'au droit des aires d'alevinage aménagées. Aucune variation significative des conditions d'écoulement associées à ce paramètre uniquement n'est donc appréhendée sur ces sites, qui auraient pu modifier le régime sédimentologique au droit de l'habitat de reproduction du saumon. Notons que les suivis en cours portant sur la population de saumon atlantique et, spécifiquement celui traitant de la qualité granulométrique des

frayères naturelles, permettront d'ajouter des informations complémentaires à ces résultats afin d'en bonifier l'analyse.

Dans la mesure où les observations aux sites des frayères sont similaires depuis la mise en service des centrales du complexe Romaine (absence de glace atteignant le substrat, aucune présence de glace de fond), il est recommandé d'interrompre le suivi du régime des glaces sur les sites des frayères à saumon naturelles (PK 34 et 46) et aménagées (PK 49 et 51) prévu aux hivers 2019-2020 et 2020-2021.

7. Liste des références

Groupe-conseil LaSalle. 2007. *Projet du complexe de la Romaine. Réévaluation du régime des glaces de la rivière Romaine avant et après aménagement*. Rapport n° R-1661. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Groupe-conseil LaSalle. 46 p. et annexe.

Hydro-Québec. 2007. *Complexe Romaine. Étude d'impact sur l'environnement*. Hydro-Québec Production. 10 volumes.

Hydro-Québec. 2010. *Aménagement de la Romaine-1. Observation de la couverture de glace en aval du PK 51 – Hiver 2009-2010*. Rapport RA-2010-011-01. Préparé par I. Thériault. 26 p.

GENIVAR. 2011. *Complexe de la Romaine. Dynamique sédimentaire à l'échelle du nid de saumon. Période d'incubation 2010-2011*. Préparé par F. Hardy et J. Therrien pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. Montréal, GENIVAR. 67 p.

Hydro-Québec. 2015. *Complexe de la Romaine Bilan des activités environnementales 2014*. Juillet 2015. 148 p.

WSP. 2016. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2015 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Version finale. Rapport de WSP Canada Inc. pour Hydro-Québec Production. 91 pages et annexes.

Hydro-Québec. 2017. *Complexe de la Romaine. Bilan des activités environnementales 2016*. Juillet 2017. 141 p.

Hydro-Québec. 2017. *Complexe de la Romaine. Suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver 2016-2017*. Décembre 2017. Rapport RA-2017-013-01. Préparé par I. Thériault. 70 p.

Hydro-Québec. 2018. *Complexe de la Romaine – Suivi environnemental 2018 en phase exploitation – Suivi du régime des glaces de la rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver 2017-2018*. Décembre 2018. Rapport RA-2018-0006-01. Préparé par F. Houdré et I. Thériault. 60 p. et annexes.

WSP. 2017. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2016 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique.* Version finale. Préparé pour Hydro-Québec Production. 104 p. et annexes.

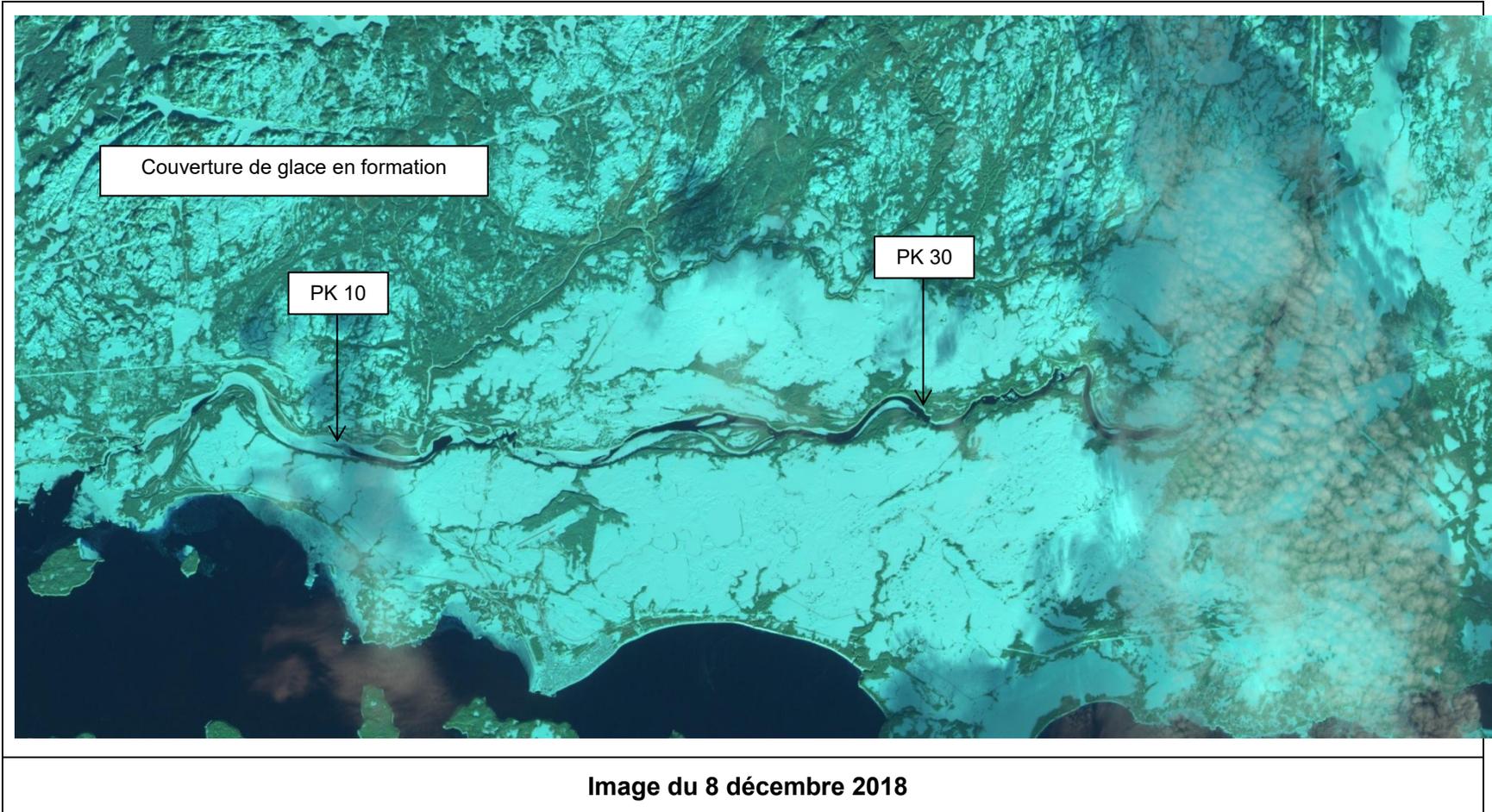
WSP. 2019a. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2017 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique.* Préparé pour Hydro-Québec. 123 p. et annexes. Version finale.

WSP. 2019b. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2018 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique.* Préparé pour Hydro-Québec. 126 p. et annexes. Version préliminaire.

ANNEXE A

IMAGES SATELLITES DE L'EMPRISE DE LA COUVERTURE DE GLACE

HIVER 2018-2019



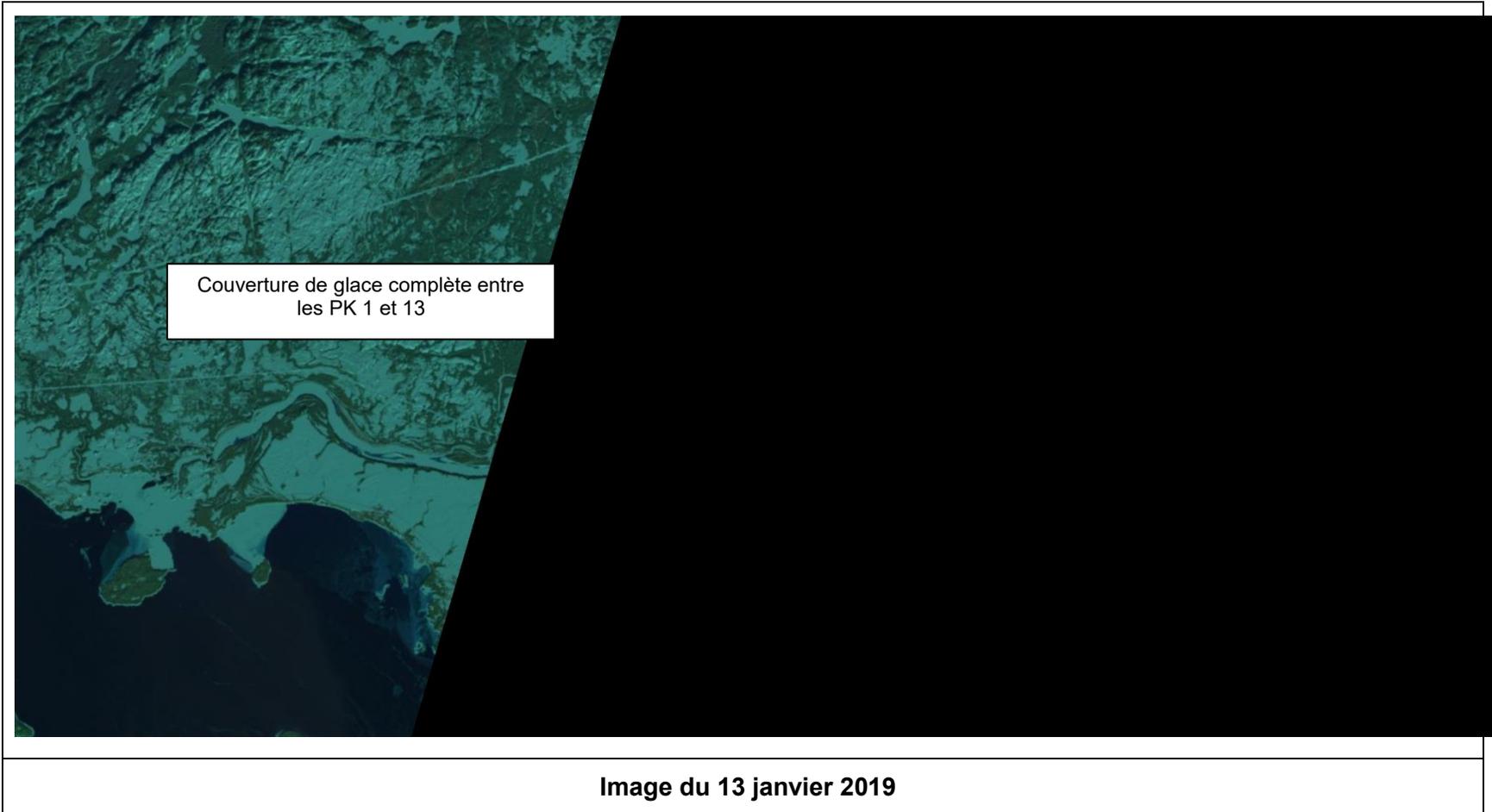
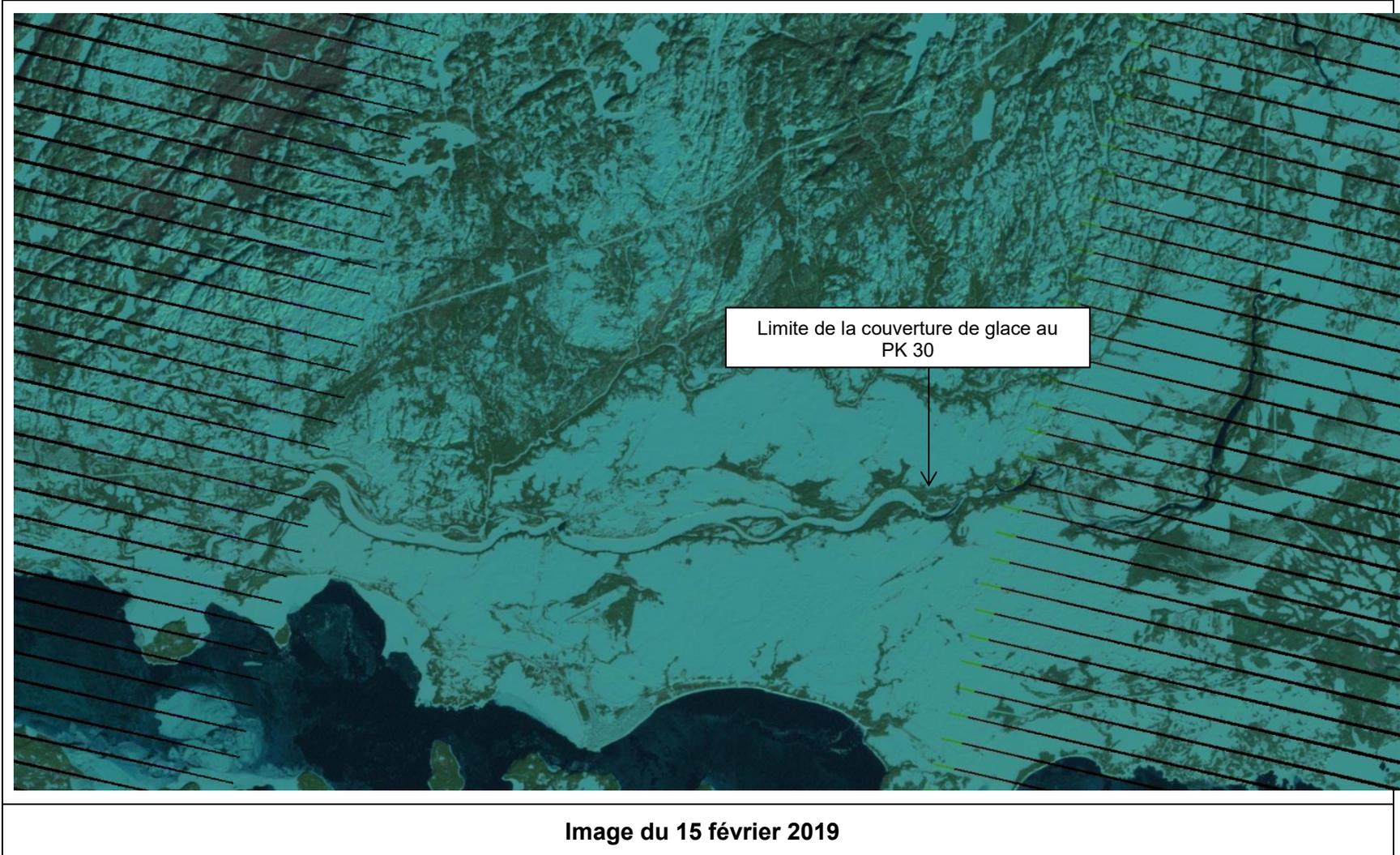
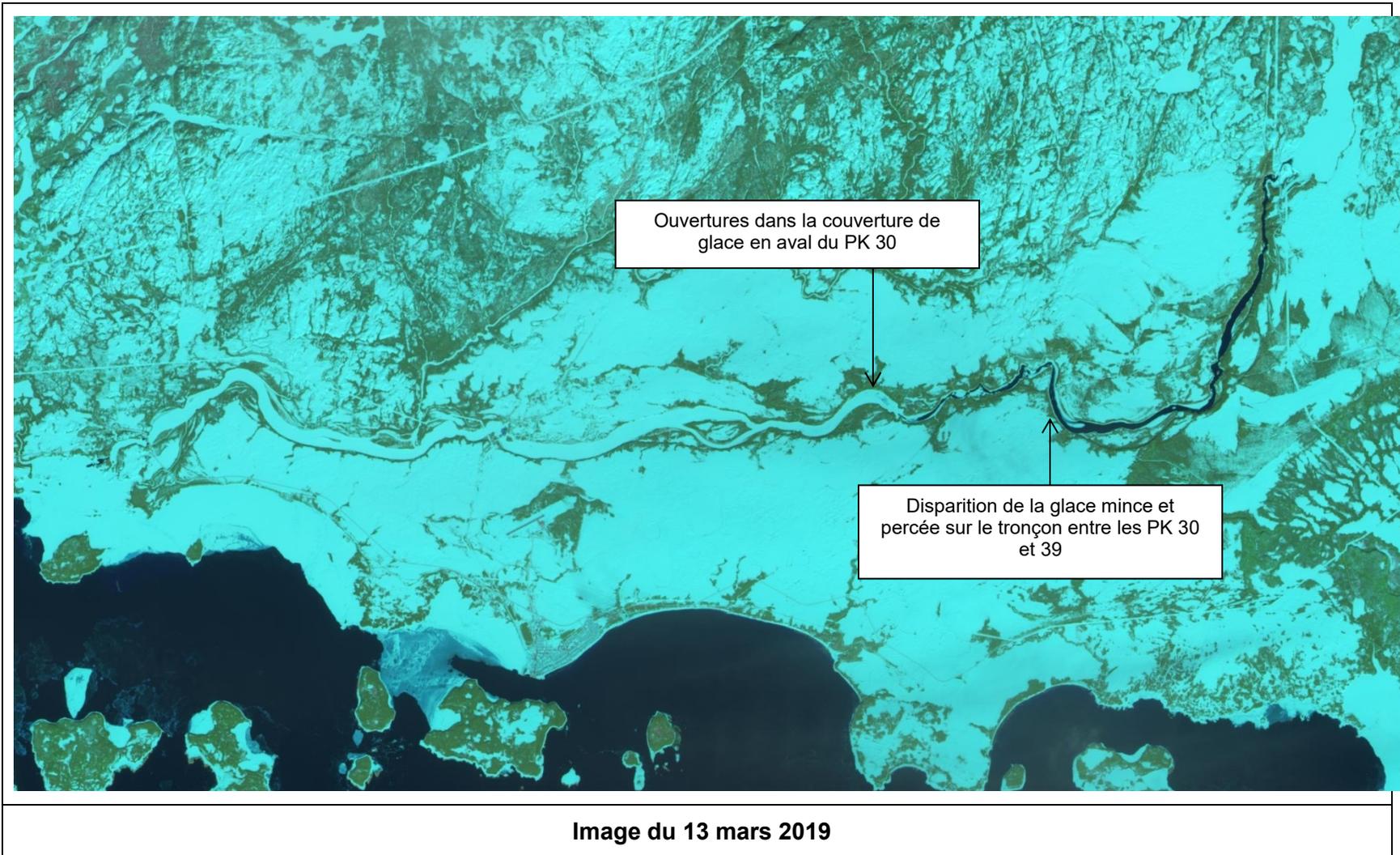
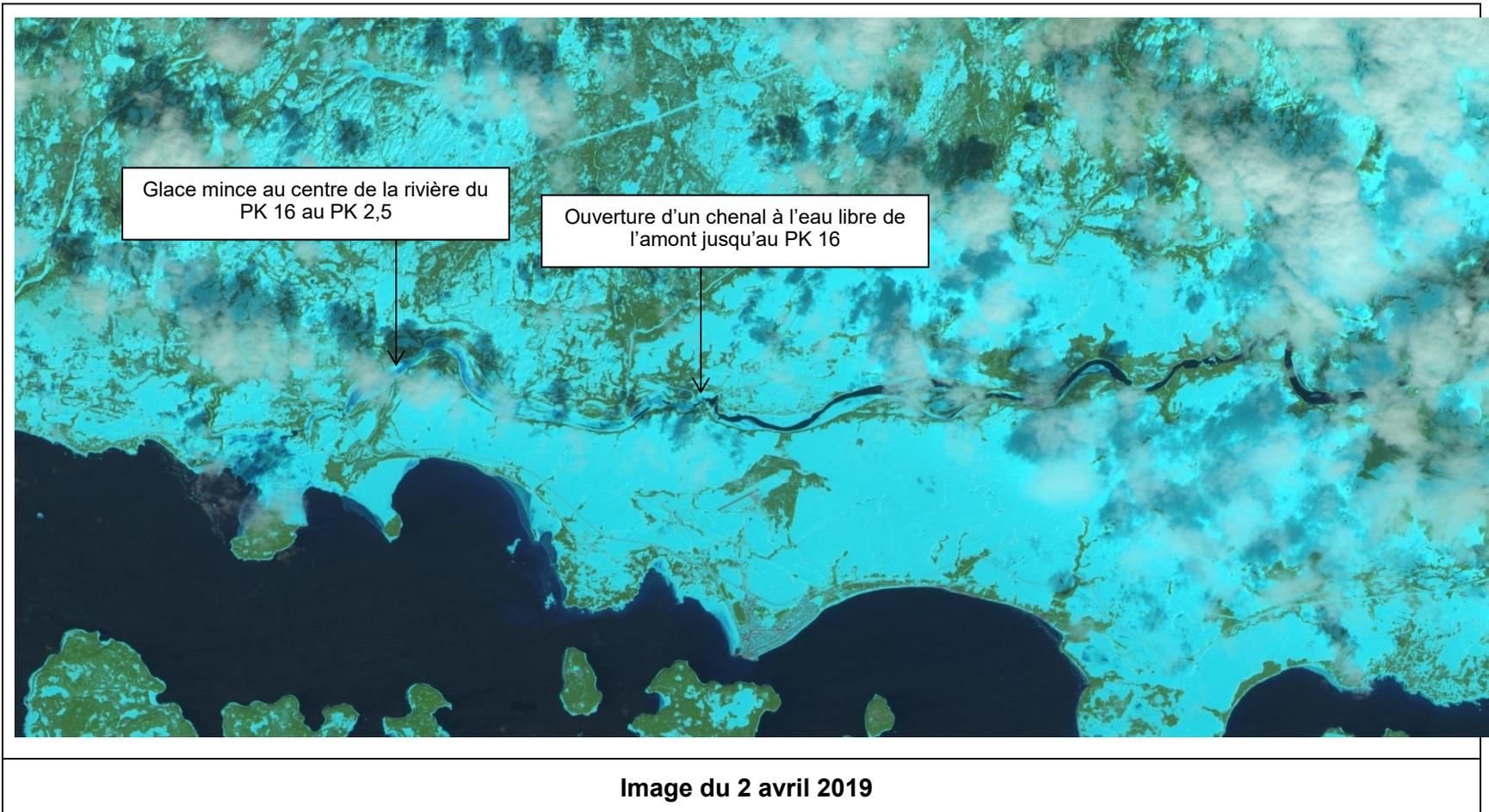


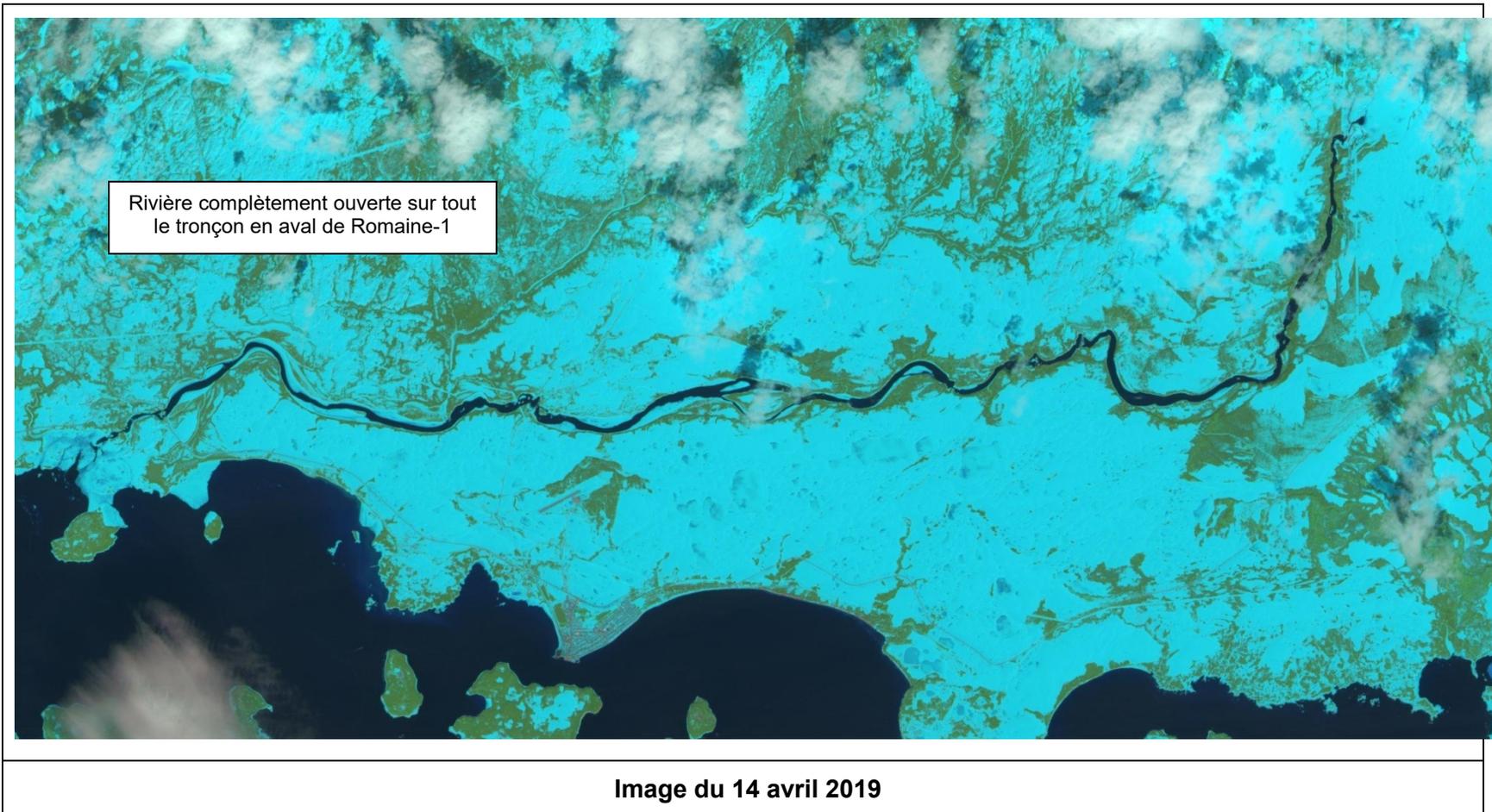


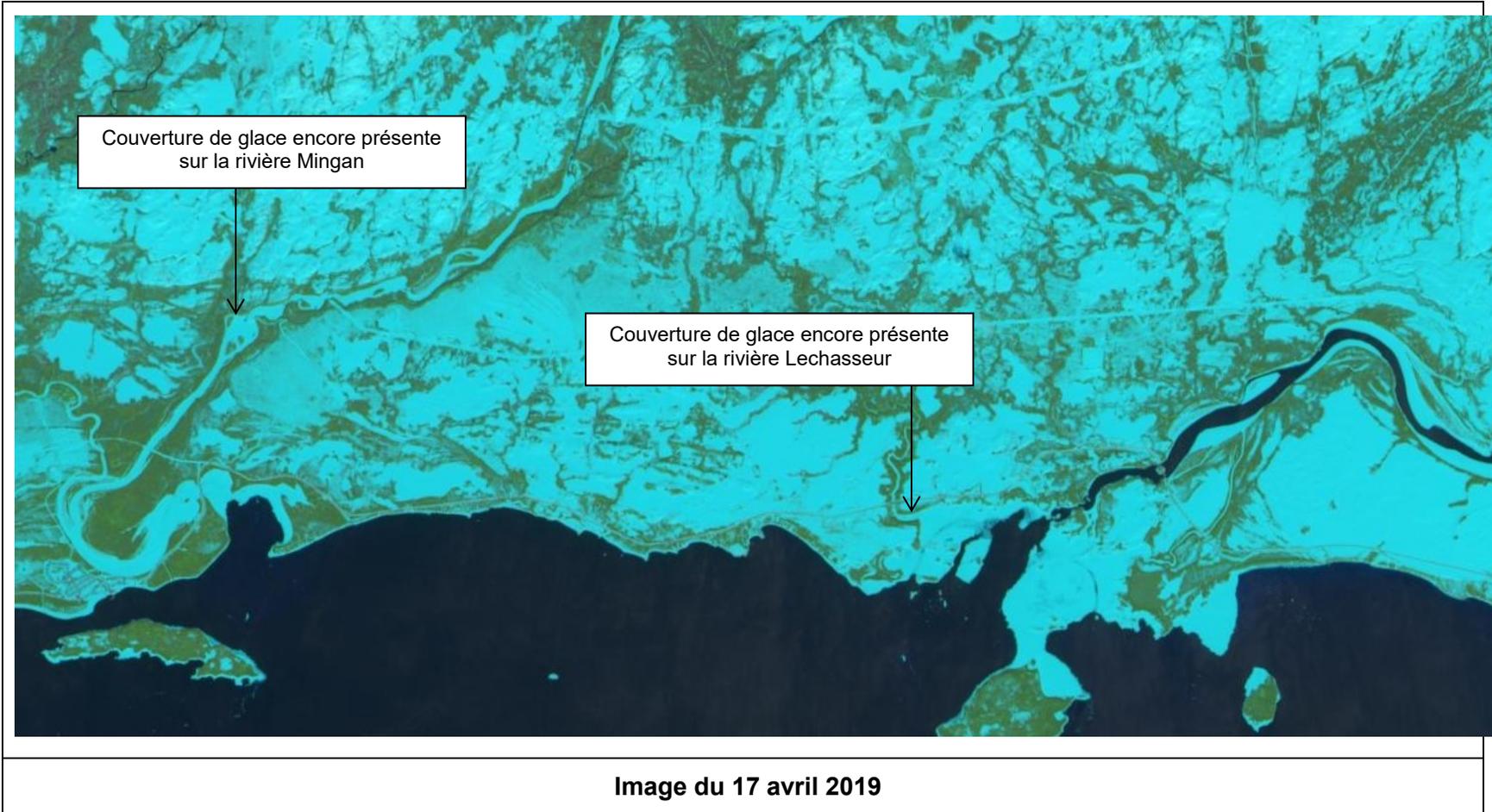
Image du 7 février 2019











ANNEXE B

EXPLOITATION DU MODÈLE DE GÉNÉRATION ET D'ÉCOULEMENT EN PRÉSENCE DE GLACE

Comme les années précédentes, le modèle Mike-Ice développé pour simuler le régime des glaces de la rivière Romaine à l'aval de la centrale de la Romaine-1 est exploité afin de prévoir le comportement de la couverture de glace en fonction des températures de l'air observées et des prévisions météorologiques.

Les paragraphes qui suivent permettent de comparer les résultats du modèle pour l'hiver 2018-2019 avec les mesures de températures ou observations de l'emprise des couverts obtenues grâce aux survols photographiques, aux photos prises en bordure de la rivière et aux images satellites.

Les résultats du modèle (planches B1 à B4) sont présentés sous forme de vue en plan de la rivière, toutes les courbes de la rivière étant redressées. Les secteurs couverts de glace apparaissent légèrement grisés alors que les secteurs foncés ou blancs sont à l'eau libre. La couleur de l'eau dépend de sa température. Une eau proche de 0°C est représentée en noir alors qu'elle est de plus en plus bleue, voir magenta, à mesure que sa température augmente.

La planche B1 présente les résultats du modèle le 21 décembre à 8h, puis le 22 décembre à 23h, et montre que le modèle reproduit bien la fonte de la glace (disparition de la glace de rive dans le tronçon à l'amont du PK 16, et diminution de l'emprise de la couverture de glace dans le tronçon aval) provoquée par le redoux et l'augmentation des températures observée à cette date.

La planche B2 compare les résultats du 17 janvier 2019 avec les observations prises lors du survol. Les résultats du modèle en terme de bord frontal de la couverture de glace coïncident globalement avec les observations, le secteur en amont du PK 29 étant majoritairement libre de glace jusqu'à la centrale, à l'exception de glace de rive. Dans le secteur du PK 11, le modèle présente une éclaircie, alors que les observations ont montré la présence de traces d'eau sur la couverture de glace. Les éclaircies présentes dans les chutes et rapides sont intégralement reproduites.

Les résultats du modèle coïncident globalement avec la plupart des observations prises lors du survol du 20 février 2019, dans la partie amont du tronçon de la rivière Romaine du PK 30 au PK 51 (planche B3), soit :

- Le secteur en amont du PK 30 présente un chenal libre de glace;
- Dans le secteur du PK 37, le modèle simule la présence d'un couvert de glace ; les observations ont montré une dégradation de cette couverture;
- À l'amont du PK 43, la rivière est complètement dégagée;

Pour le secteur entre les PK 11 et 30 par contre, des traces d'eau et éclaircies ont été observées ponctuellement lors du survol à plusieurs endroits, mais ceci n'est pas reproduit par le modèle.

Enfin, la planche B4 montre les résultats du modèle le 25 mars, et ces derniers correspondent bien à ce qui a pu être observé lors du survol à cette date, notamment la limite amont du couvert de glace au PK 16.

La comparaison des températures de l'eau mesurées et modélisées constitue également un outil de validation de la modélisation. De façon générale, le modèle reproduit très bien la température de l'eau (Planches B6 et B7). Le modèle reproduit particulièrement bien les variations de température au cours de l'hiver et les fluctuations de températures entre le jour et la nuit qui apparaissent au moment du départ de la couverture de glace. Au PK 34, le modèle reproduit parfaitement l'augmentation de la température de l'eau à partir du 10 mars, tandis qu'au PK 16 le modèle est en phase avec la date de réchauffement à partir du 22 mars, mais les températures journalières du modèle semblent surestimées de près de 1°C. Au PK 5, le modèle devance de plusieurs jours (près d'une semaine) le réchauffement des températures de l'eau en comparaison avec les données mesurées.

Le modèle reproduit de façon assez fiable, à quelques écarts près, l'évolution de l'emprise du couvert de glace pendant l'hiver en utilisant les débits et températures de l'air qui ont été enregistrées. Toutefois, l'expérience a montré que la séquence exacte des débits turbinés à venir dépend de la demande horaire en énergie et elle ne peut être connue de façon fiable à l'avance, ce qui rend difficile toute prévision concernant l'évolution de la couverture de glace au cours de l'hiver avec cet outil.

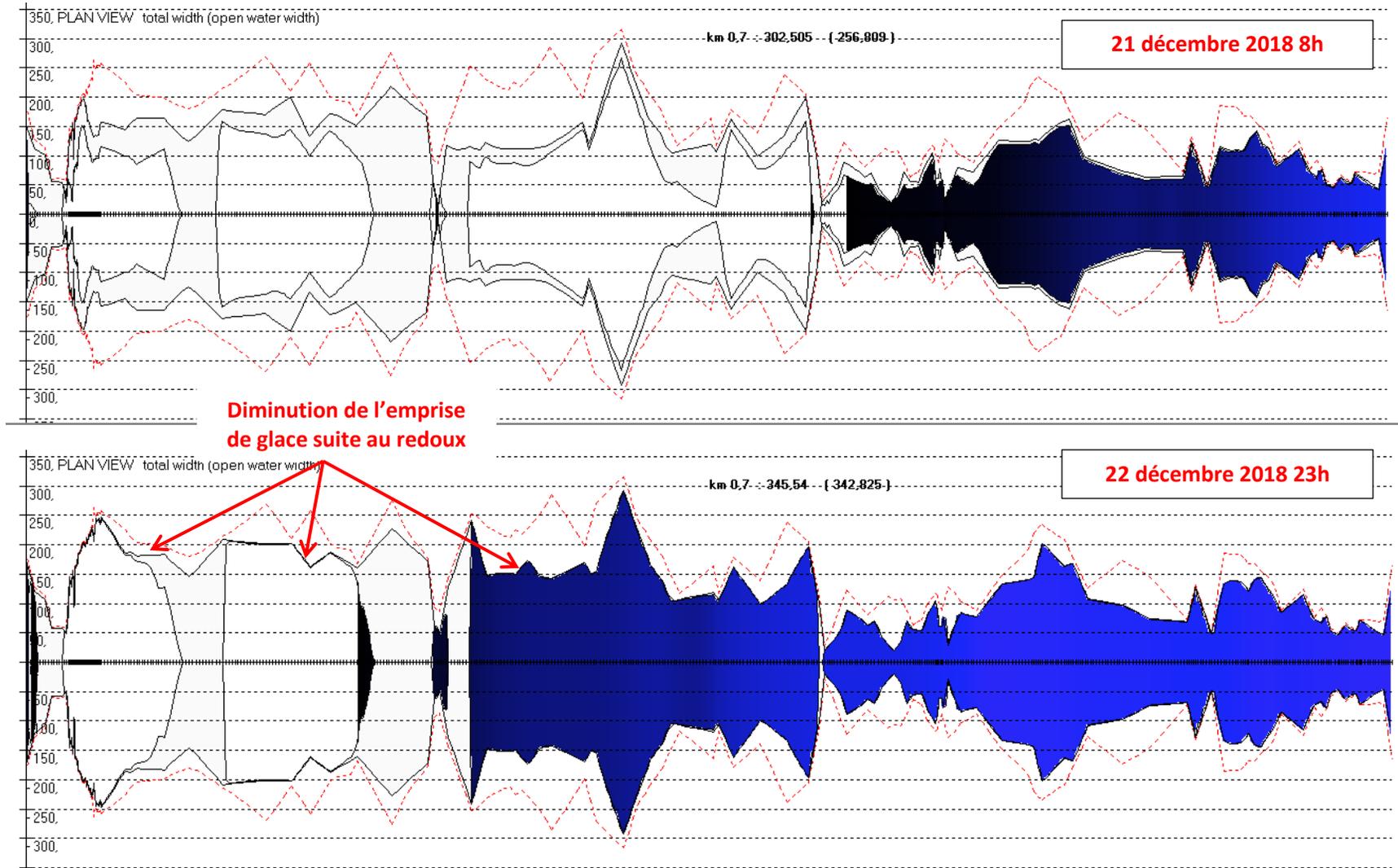


Planche B 1 : Résultats de la modélisation les 21 et 23 décembre 2018 entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1

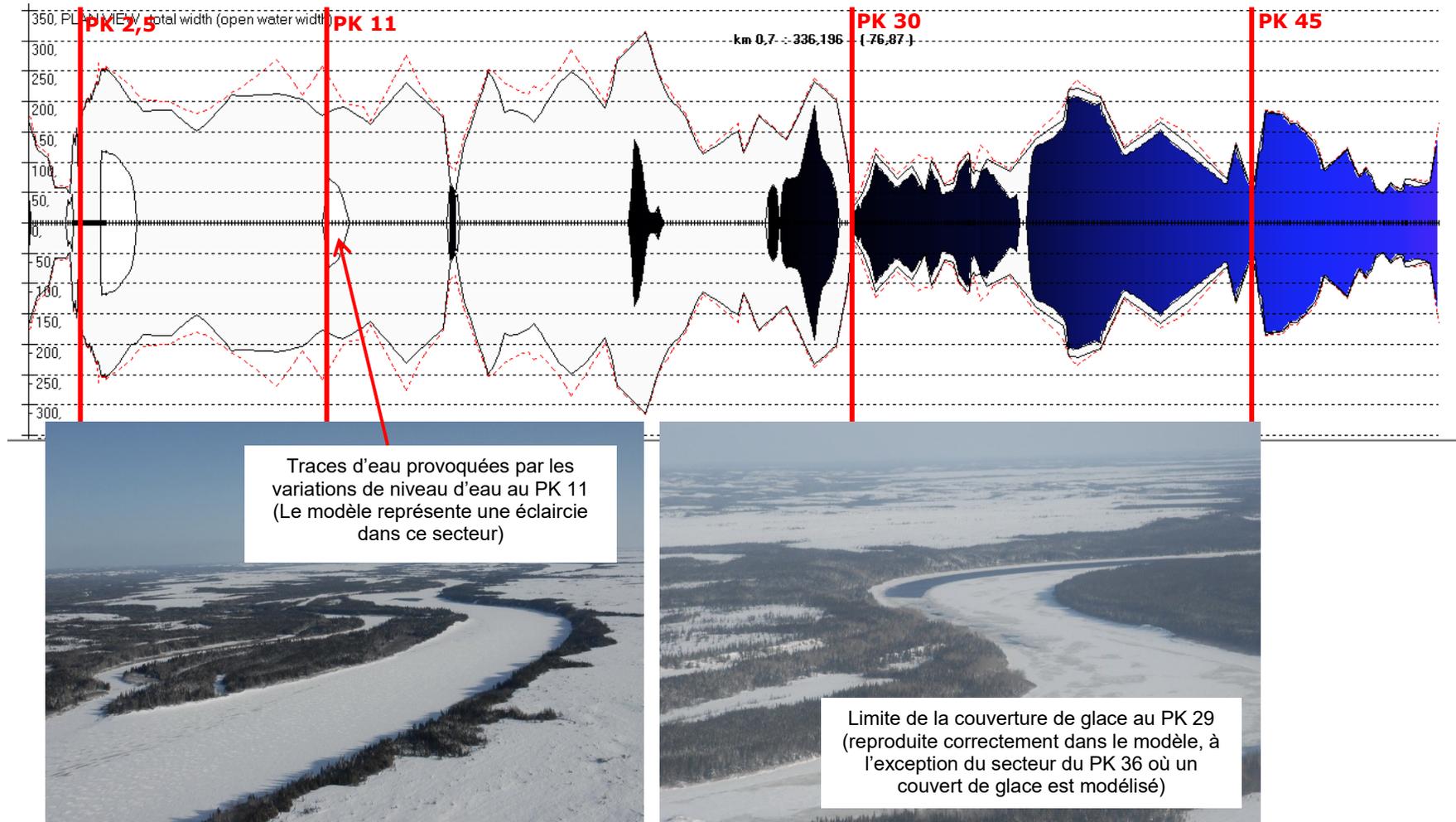


Planche B 2 : Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 17 janvier 2019

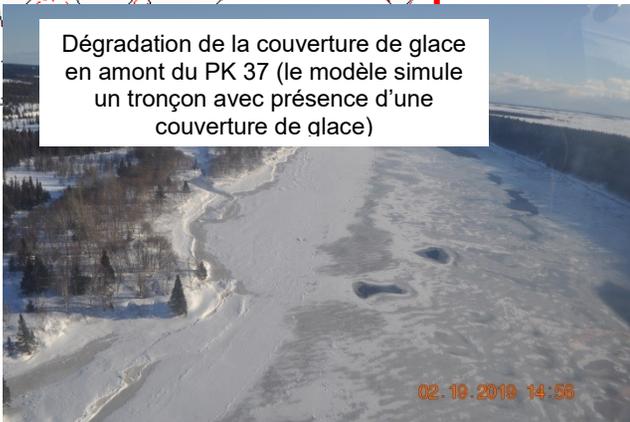
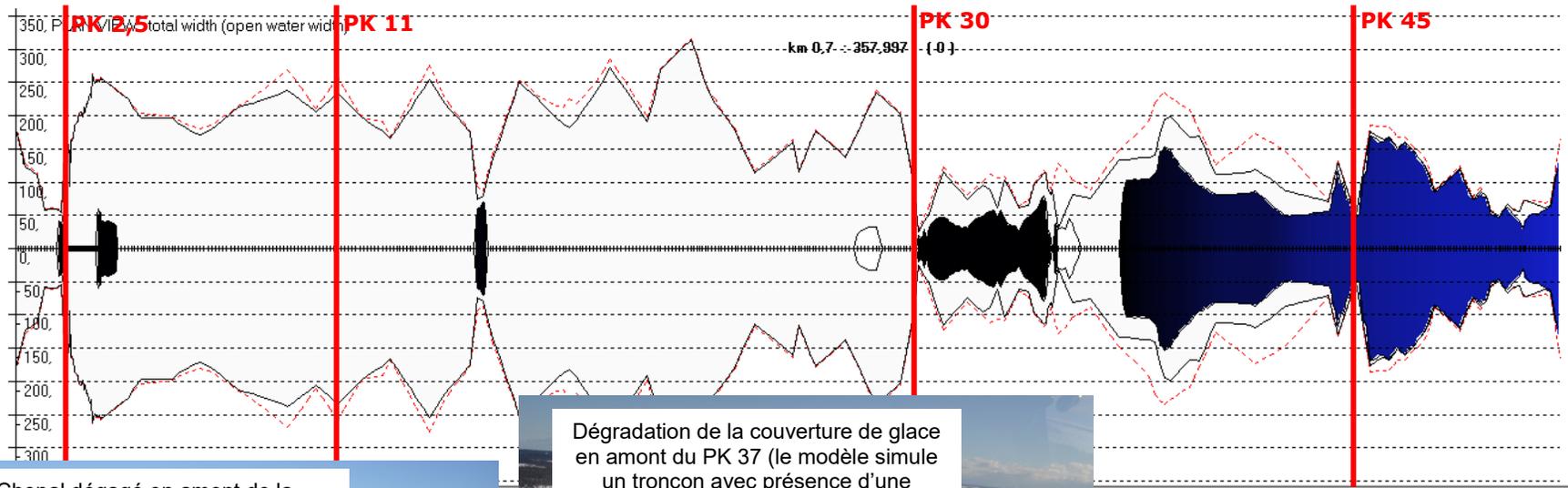


Planche B 3 : Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 19 février 2019

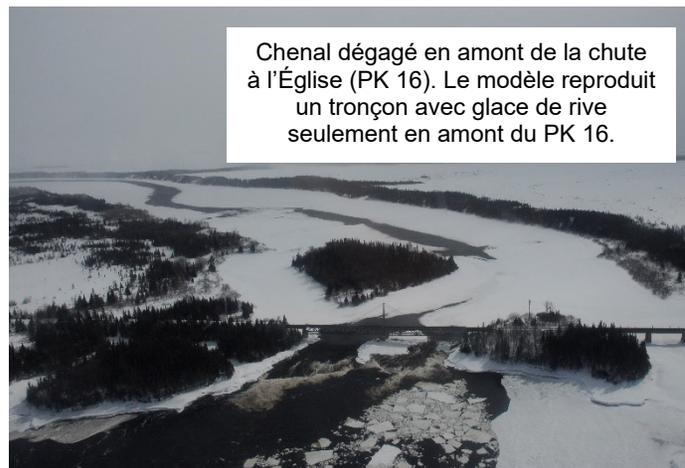
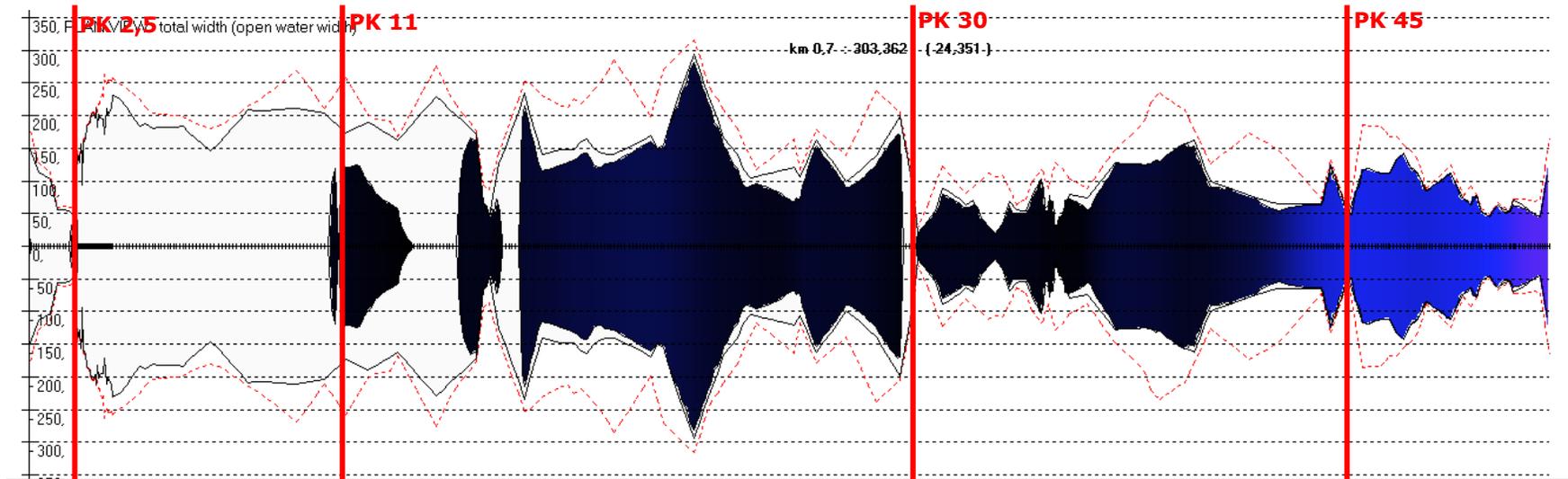


Planche B 4 : Résultats de la modélisation entre l'embouchure et la centrale de la Romaine-1 et observations du 25 mars 2019

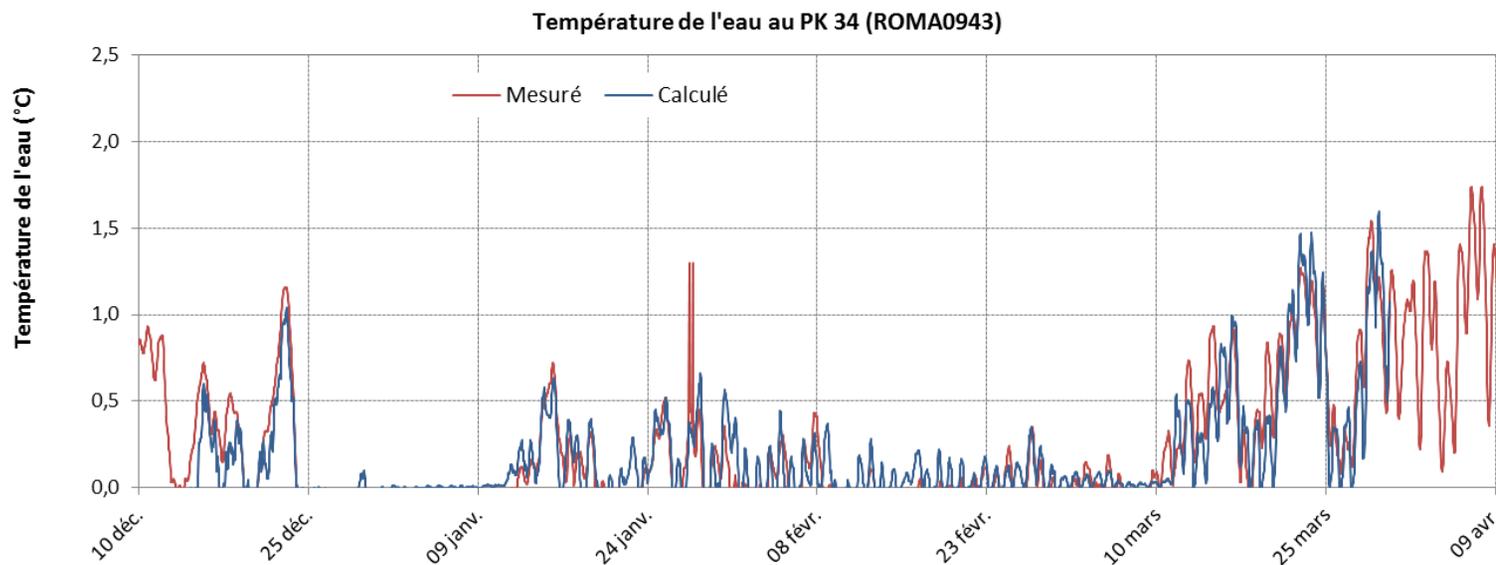
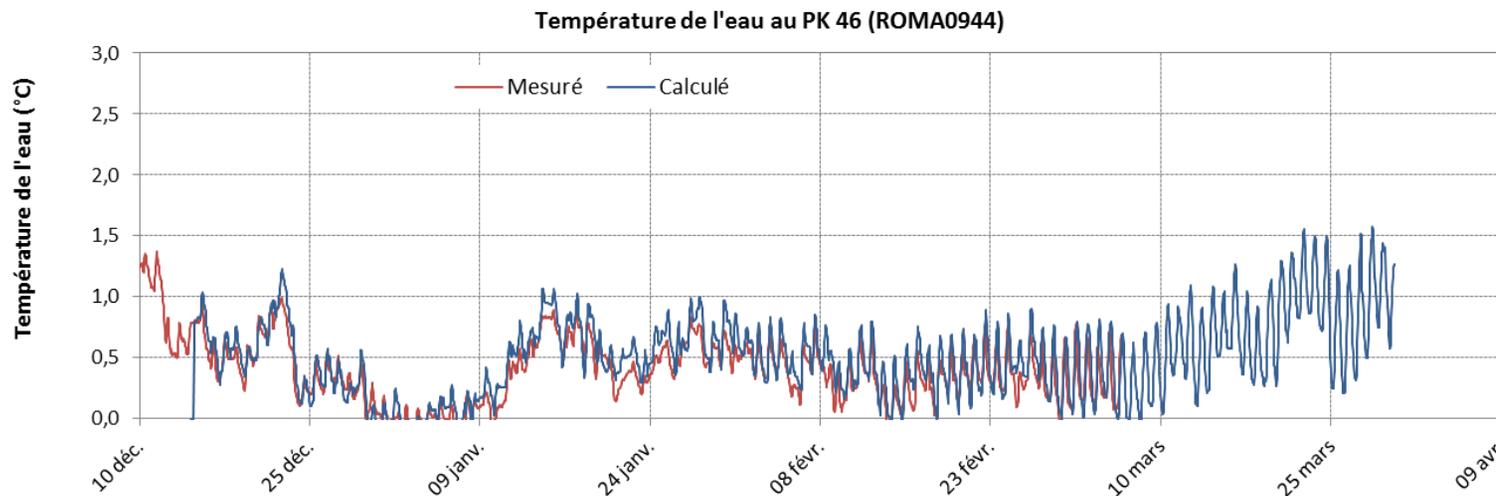


Planche B 5 : Comparaison des températures de l'eau mesurées et calculées aux PK 46 et 34

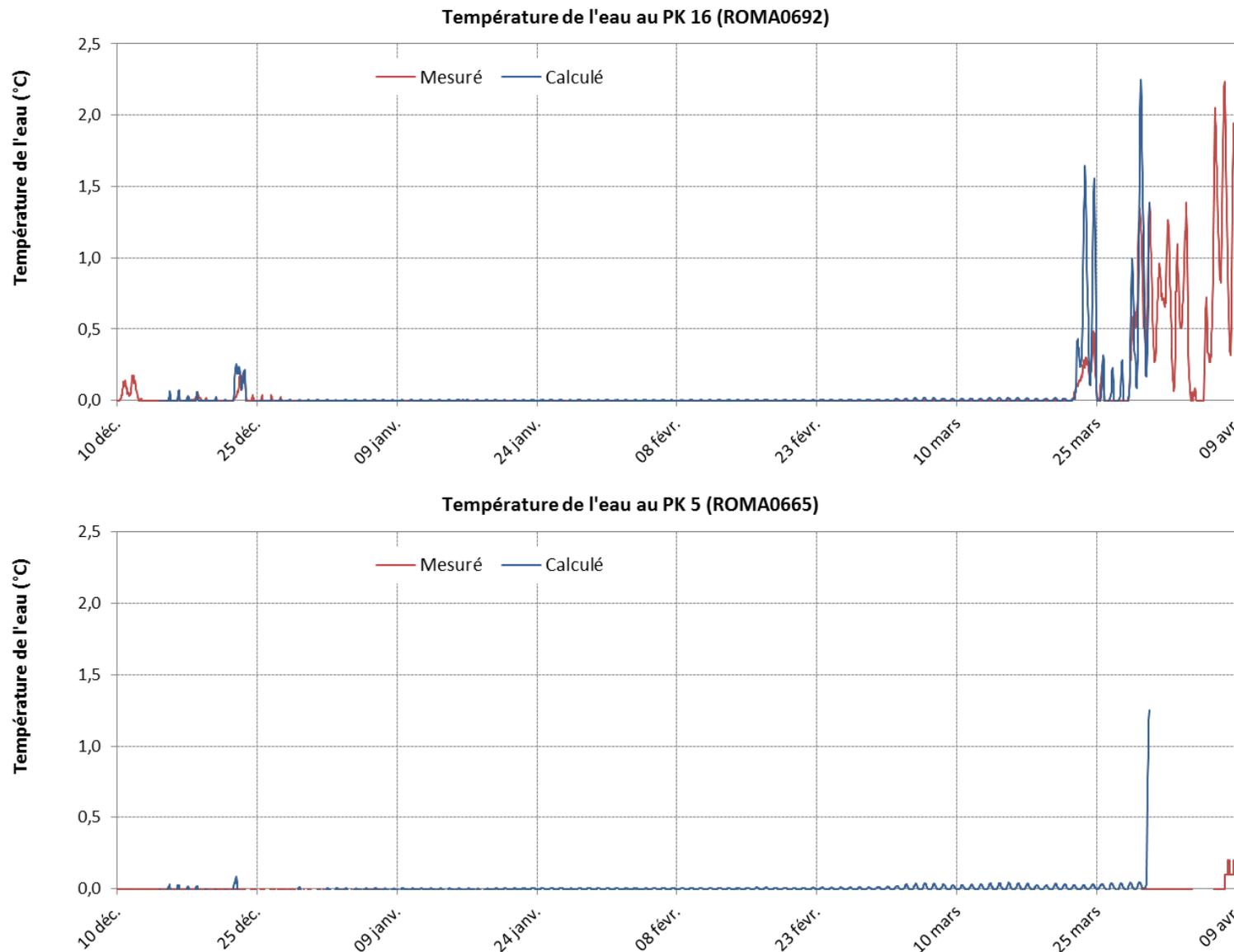


Planche B 6 : Comparaison des températures de l'eau mesurées et calculées aux PK 16, 5

Conception des aménagements de production, Hydraulique et géotechnique
Direction principale Expertise – Direction Ingénierie de production
Hydro-Québec Innovation, équipement et services partagés
Division d'Hydro-Québec

