



Ecofish Research Ltd.
Suite 906 – 595 Howe Street
Vancouver, B.C. V6C 2T5

Téléphone: 604-608-6180
Fax: 604-559-6180
info@ecofishresearch.com
www.ecofishresearch.com

Englobe
1001, rue Sherbrooke, bureau
600, Montréal (Qc) H2G 2S2
englobecorp.com

3.4 NOTE TECHNIQUE

À: Marie-Ève Lemieux, Directrice, Environnement et Hugues Paris, Directeur principal, projet Laurentia, Administration portuaire de Québec

De: Isabelle Girard, M.Sc., R.P. Bio., Deborah Lacroix, M.Sc., R.P. Bio., Ecofish Research Ltd. et Jean Carreau, M.Sc., Philippe Charest-Gélinas, B.Sc., Englobe

Date: Mars 25, 2021

Dossier: 1455-03

Objet: Note technique 3.4 - Nouvelles informations et optimisation du projet Laurentia depuis le 1er janvier 2021

1. INTRODUCTION

En septembre 2020, Pêches et Océans Canada (MPO) a soumis un avis à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AEIC) concernant le projet Laurentia et son impact potentiel sur les poissons et leurs habitats (MPO 2020). En réponse à cet avis, l'Administration portuaire de Québec (APQ) a immédiatement commencé à travailler pour répondre aux enjeux soulevés par le MPO, notamment en initiant des rencontres de travail avec le MPO pour donner plus d'informations sur les travaux de construction, écouter et comprendre les inquiétudes du MPO, et proposer des solutions.

En décembre 2020, un mémoire a été déposé par l'APQ à l'AEIC contenant de nouvelles informations ainsi que des améliorations aux mesures d'évitement, d'atténuation et de compensation, afin de résoudre les enjeux du MPO relatifs aux impacts résiduels du projet sur les poissons et leurs habitats (APQ 2020). L'impact résiduel, sous la définition la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE) 2012 (GC 2012), est considéré comme l'impact qui subsiste après la prise en compte des mesures d'atténuation et qui comprend également les mesures compensatoires.

Depuis janvier 2021, l'APQ a continué à récolter de nouvelles informations et à optimiser le projet Laurentia afin de résoudre les enjeux soulevés par le MPO. L'APQ peut ainsi conclure avec confiance

que les impacts résiduels du projet seront non significatifs sur les poissons et leurs habitats. L'objectif de cette note technique est de mettre en évidence ces nouvelles informations et optimisations réalisées depuis janvier 2021.

2. CONCEPTION DU PROJET

2.1. Électrification des transports

L'APQ a maintenant l'intention d'offrir l'électricité à quai aux navires qui accosteront au port et d'encourager son utilisation (ex : taux préférentiels, incitation financière, etc.). Cette initiative devrait diminuer l'utilisation des moteurs des navires lors de leurs séjours à quai, contribuant ainsi à la réduction du niveau sonore subaquatique. En effet, une étude menée au port de Vancouver, où l'électrification à quai est offerte, a démontré que cette initiative diminuait le niveau sonore d'environ 5.8 dB pour les navires porte-conteneurs et 7.8 dB pour les bateaux de croisières (VFPA 2019). Ainsi, cette réduction du bruit subaquatique pourrait bénéficier aux poissons en diminuant leur dérangement durant la phase d'opération du projet.

3. MESURES D'ATTÉNUATION

3.1. Mesures d'atténuation identifiées par le MPO

Dans son avis, le MPO a identifié 19 mesures d'atténuation standard qui devraient s'appliquer durant la construction du projet Laurentia. L'APQ s'est engagée à mettre en place toutes ces mesures identifiées par le MPO (et applicables au projet Laurentia) lors de la construction du projet. Certains de ces engagements ont été pris lors de l'étude d'impacts, tandis que les autres ont été pris depuis l'avis du MPO en septembre 2020. Pour plus de détails, se référer au tableau en Annexe A.

Les mesures suivantes (parmi les mesures identifiées par le MPO dans son avis) ont été mises de l'avant depuis septembre 2020 :

- *Réaliser les interventions en eau entre le 1er octobre et le 30 avril, soit en dehors de la période sensible pour les poissons, notamment pour le bar rayé, l'esturgeon noir, l'esturgeon jaune, l'aloise savoureuse et l'éperlan arc-en-ciel, et limiter au maximum la durée des travaux en milieu aquatique. Lorsque des travaux doivent être effectués en eau, isoler la zone des travaux de façon à travailler à sec ou de limiter l'apport de sédiments dans le milieu aquatique (ex. batardeaux, endiguement et pompage, dérivation temporaire, rideau de turbidité).*
 - La séquence des travaux a été revue pour respecter cette exigence. Seuls les travaux essentiels pour assurer la stabilité des caissons de béton pourraient être réalisés durant la période de restriction. Ces travaux, ainsi que toutes les activités à faible impact devant être réalisées durant la période de restriction, seront identifiés dans la demande de permis en vertu de la Loi sur les pêches et seront accompagnés de mesures d'atténuation spécifiques. Entre autres, le remblayage de l'arrière-quai se fera en

situation confinée pour éviter la remise en suspension de matières en suspensions (MES) dans l'habitat du poisson.

- *« Lorsque des travaux en eau doivent être effectués, isoler la zone des travaux de façon à travailler à sec ou à limiter l'apport de sédiments dans le milieu aquatique (ex. : batardeaux, endiguement et pompage, dérivation temporaire, rideau de turbidité). »*
 - En effet, l'aire de remblayage de l'arrière-quai sera désormais endiguée, avant de commencer les travaux de remblayage généraux. Des laminoirs d'évacuation des eaux seront aménagés de façon à contrôler la concentration des MES à la sortie. Un bassin de sédimentation est aussi prévu pour assurer un temps de repos des sols dragués suffisant pour réutiliser les sols de manière optimale et dont la conception permettra un temps de rétention suffisant pour éviter de dépasser les seuils de concentration en MES.
- *Favoriser l'utilisation de rideaux de turbidité pour ceinturer la zone des travaux afin d'y confiner les sédiments en suspension. Déployer le rideau de manière à limiter l'emprisonnement des poissons à l'intérieur de l'enceinte.*
 - Les rideaux de turbidité seront utilisés pour les travaux essentiels (remblayage de l'arrière des caissons) et condition qu'ils se montrent efficaces.
- *Favoriser l'utilisation d'ouvrages qui limitent au maximum les empiètements dans l'habitat du poisson.*
 - Il importe de rappeler que l'APQ a conçu le projet Laurentia dans une approche permettant d'éviter, d'atténuer et de compenser les impacts sur le milieu aquatique (Englobe, 2020). Ainsi, les optimisations successives du projet ont permis de réduire la zone de dragage de 26% (42 230 m² sur 166 055 m²; Englobe 2020) et l'empreinte du quai au fleuve de 35% (73 450 m² sur 211 890 m²; Englobe 2020), comparées aux plans initiaux qui comprenaient notamment une recharge de plage et un brise-lame. La maximisation de l'arrière-quai et du terrain existant a également été une priorité pour l'APQ. De plus, la réduction significative de l'aire de dragage lors des optimisations du projet en 2020 (43% de réduction de la superficie de dragage), en raison du besoin d'un poste à quai au lieu de deux, représente une atténuation importante des effets potentiels du projet sur le milieu aquatique. Tout comme pour la conception du projet, tous les ouvrages, infrastructures temporaires et interventions lors du chantier seront effectués de manière à limiter au maximum les empiètements sur l'habitat du poisson.
- *Dans le cas de l'utilisation de matériaux en enrochement, construire ceux-ci à l'aide de matériaux propres.*
 - L'APQ prend l'engagement d'utiliser des matériaux exempts de particules fines (utilisation du 10-300 mm au lieu de 0-300 mm) pour construire l'enrochement

nécessaire à la construction du terminal. De plus amples détails sont fournis dans la note technique de SNC-Lavalin (2021) (Annexe B).

- *Traiter les eaux provenant de l'intérieur de l'enceinte des digues avant qu'elles ne retournent dans le milieu aquatique afin d'y limiter l'apport de sédiments.*
 - Une surveillance constante sera mise en place afin de s'assurer que la concentration en MES ne dépasse pas les limites établies. Pour y parvenir, de l'échantillonnage périodique sera réalisé à la sortie du seuil temporaire aménagé dans la digue de confinement. Des bouées munies de turbidimètres seront également positionnées à des endroits stratégiques afin de pourvoir surveiller les augmentations potentielles de la concentration en MES dans le milieu aquatique du secteur du projet.
- *Récupérer délicatement tous les poissons captifs dans les sections confinées ou isolées du chantier et les remettre immédiatement dans le milieu aquatique dans un secteur favorisant leur survie, afin d'éviter toute mortalité de poissons. Si des espèces en péril sont susceptibles d'être présentes dans le secteur des travaux, le transfert des poissons pourrait nécessiter un permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril.*
 - Comme présenté brièvement dans l'étude d'impact environnemental et social, plusieurs méthodes de récupération des poissons pouvant se trouver prisonniers de l'enceinte visant à confiner la zone de travail en eau seront utilisées afin d'éviter leur mort. Une fois capturés, les spécimens seront identifiés et dénombrés, puis remis à l'eau dans le milieu aquatique dans le secteur de la plage de la baie de Beauport. Les détails de cette surveillance seront présentés dans le plan de gestion de la construction (CEMP).

Le mémoire déposé en décembre 2020 (APQ 2020) ainsi que la note technique de SNC Lavalin présentée à l'Annexe B fournissent de nouveaux détails sur la façon dont ces mesures d'atténuation seront implémentées.

Ainsi, la mise en place de ces nouvelles mesures d'atténuation aura pour effet de diminuer davantage les impacts du projet Laurentia sur les poissons et leurs habitats identifiés par le MPO lors de son avis de septembre 2020 (MPO 2020). En combinaison avec le plan de compensation bonifié (voir APQ 2020, annexe 3), l'APQ est confiante que le projet présenté n'aura pas d'impacts résiduels significatifs sur les poissons et leurs habitats.

3.2. Détection par sonar à balayage latéral

La mortalité d'esturgeons due au dragage est possible, mais généralement considérée comme faible d'après les études rapportant des mortalités (Buell 1992, Reine et Clarke 1998, Reine et coll. 2014, Envirowest 2017, Balazik et coll. 2020). Aux États-Unis par exemple, on constate que l'esturgeon noir est relativement peu affecté par les programmes de dragage, avec une moyenne de 0,6 esturgeon noir

tué par année dans les programmes de dragage du pays (Reine et coll. 2014). Cependant, les esturgeons peuvent également être dérangés par le dragage et voir leurs habitats affectés de façon temporaire ou permanente (voir Section 4.4 pour plus de détails).

Le projet Laurentia compte faire environ 90% de dragage hydraulique et 10% de dragage mécanique, ce qui pourrait potentiellement causer un dérangement des poissons et une faible mortalité. L'APQ propose donc d'ajouter une nouvelle mesure d'atténuation pour minimiser les impacts du dragage sur l'esturgeon, en réalisant des suivis à l'aide d'un sonar à balayage latéral dans la zone de dragage pour déterminer la présence de poissons tels que les esturgeons et ensuite réagir pour réduire les effets potentiellement négatifs de cette activité.

Ce type de sonar est efficace pour détecter individuellement les poissons d'une taille de plus de 0,5 m, comme les esturgeons, ainsi que les bancs de plus petits poissons (Bai and Bai 2019). Cette technique a été utilisée dans d'autres projets pour détecter la présence d'esturgeons et d'autres poissons, notamment dans le fleuve Fraser (Colombie-Britannique) avant le début d'activités de dragage et, lorsqu'applicable, permettre la mise en place de mesures d'atténuation supplémentaires. Ce type de sonar peut également être utilisé pour effectuer une surveillance durant les travaux afin de déterminer si des poissons sont encore présents dans l'aire de dragage et ainsi éviter de les affecter (Keystone 2018, MoTI 2017, LGL 2015; 2017).

À la suite de la détection de poissons de forte taille dans l'aire de dragage, l'entrepreneur mettra en œuvre des actions ou mesures supplémentaires qui devraient inclure:

- Retarder ou arrêter le dragage si des poissons se trouvent à l'intérieur de la zone de dérangement (ex : une distance de 100 m semble raisonnable en se basant sur la revue de littérature des impacts du dragage sur les esturgeons de la Section 4.4).
- S'assurer que les individus quittent la zone de dérangement et évaluer si des mesures supplémentaires sont requises.
- Commencer lentement les travaux et surveiller le mouvement des individus une fois le dragage amorcé.
- Si les poissons détectés ne quittent pas la zone de dérangement, utiliser si nécessaire des mesures d'effarouchement.

Avec la mise en œuvre de cette méthode de détection, combinée aux autres mesures d'atténuation et à une approche adaptative, le risque de mortalité et de dérangement des esturgeons par le dragage sera réduit davantage, et ainsi les impacts potentiels du projet sur l'esturgeon seront également réduits.

Il convient de noter que les mesures d'effarouchement seront mises en œuvre afin de permettre le déplacement des poissons détectés dans la zone de dragage vers des secteurs où les travaux ne devraient pas les affecter. Si toutefois des poissons devaient demeurer dans le rayon d'influence de la

dragage après l'effarouchement, les travaux pourront reprendre. Ces informations seront compilées dans le rapport du programme de surveillance afin de documenter l'efficacité de telles techniques.

4. INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES

4.1. Rareté de l'habitat

Une revue de littérature a été effectuée depuis l'avis du MPO en septembre 2020 (MPO 2020), afin de mieux comprendre l'impact historique des activités du port de Québec sur l'habitat du poisson aujourd'hui considéré par le MPO comme rare et de grande qualité pour le poisson (MPO 2020). Les résultats confirment que cet habitat est artificialisé et a été créé notamment par la construction du port de Québec et des empiètements successifs réalisés dans le fleuve depuis le début de l'industrialisation. Il ne s'agit donc pas d'un habitat naturel rare. De plus, l'APQ estime que le projet Laurentia permettra de conserver ces habitats artificialisés ainsi que leurs fonctions.

La figure 1 présente une carte de l'estuaire de la rivière Saint-Charles tel qu'il était entre 1775 et 1776, soit avant l'ère industrielle. À cette époque, l'estuaire de la rivière était naturel et prenait la forme d'un delta peu profond (canaux multiples entrecoupés de bancs de sable), soit la forme typique de plusieurs exutoires de grandes rivières se jetant dans un fleuve. La baie de Beauport dans sa configuration actuelle n'était donc pas présente.

Ce secteur a ensuite vécu plusieurs changements anthropiques liés à l'activité portuaire et industrielle. Les premiers empiètements majeurs dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles ont eu lieu entre 1850 et 1900, lors de la construction du quai de la pointe-à-Carcy et le bassin Louise (PQ 2021). Ils ont été suivis par la construction de quais en eaux profondes, ainsi que de terrepleins à l'arrière des quais au début des années 1960, forçant la configuration actuelle de la baie de Beauport et incluant la plage récréotouristique (Labrecque 2015).

Les empiètements successifs et les activités portuaires ont fortement affecté le secteur, mais sont également responsables de la création de nouveaux habitats. Les habitats particuliers trouvés actuellement dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles (fosses profondes) et au niveau de la pointe portuaire (plage de sable, présence de courants importants et zone de cisaillement) sont directement liés à l'installation des infrastructures du port de Québec. La zone profonde fréquentée intensivement par l'esturgeon jaune et l'esturgeon noir (Englobe 2020) est artificielle et est le résultat d'un dragage régulier permettant l'accès des navires accostant aux différents quais. L'actuelle baie de Beauport quant à elle est probablement un habitat relique de ce que devait être l'estuaire de la rivière Saint-Charles avant l'ère industrielle. Bien que ces habitats aient été fortement modifiés au cours des 240 dernières années, une riche communauté ichtyenne fréquente l'estuaire de la rivière Saint-Charles et la baie de Beauport. Bien que la composition de cette communauté soit forte probablement différente de celle de l'ère préindustrielle, de nombreuses espèces de poisson valorisées utilisent toujours intensivement les habitats modifiés (Englobe 2020).

Les empiètements liés au projet Laurentia s’ajouteront au passif du site et permettront toutefois de conserver les nouvelles fonctions d’habitat clairement identifiées dans l’étude d’impact (Englobe 2020) et mises en évidence dans les préoccupations du MPO, sans pour autant causer de pression supplémentaire sur les habitats reliques et sensibles situés à l’intérieur de la baie de Beauport.

Figure 1. Extraits du plan « *Environs de la ville de Québec. Blocus américain du 8 décembre 1775 au 13 mai 1776* » présentant l’estuaire de la rivière Saint-Charles lors du blocus américain de la ville de Québec entre 1775 et 1776 (Le Rouge 1777).



4.2. Bar rayé

4.2.1. Expertise du bar rayé

En février 2021, plusieurs professionnels œuvrant dans le domaine de la recherche et/ou de la gestion de populations de bars rayés dans les provinces maritimes du Canada et aux États-Unis ont été contactés afin d’obtenir leur avis d’expert sur des questions ciblées sur la biologie du bar rayé durant la période de frai. Malgré le fait que les habitats utilisés et les périodes de frai varient en fonction de la population et ne sont donc pas directement comparables, plusieurs aspects de la biologie de reproduction sont similaires et peuvent donc être comparés. Par exemple, à l’exception de certaines populations introduites dans des réservoirs aux États-Unis, les œufs de bar rayé sont toujours libérés dans le courant et doivent être soumis à une certaine vitesse de courant afin de survivre et se développer. Ainsi, des questions concernant des éléments comparables entre les différentes populations ont été soumises aux professionnels contactés. Un compte-rendu détaillé des réponses obtenues auprès de ces professionnels est fourni en Annexe C, tandis qu’un résumé est présenté ci-dessous.

En tout, 10 experts du bar rayé ont partagé leurs expériences et connaissances sur la fraie du bar rayé en Amérique du Nord (voir Annexe C, Tableau 1). En résumé, ces experts ont indiqué que :

- Le bar rayé fraie plutôt sur de grandes sections de rivière couvrant de 2 à 66 km, plutôt que dans des zones localisées de ≤ 1 km de rivière.
- Les frayères sont généralement délimitées par de multiples observations compilées sur plusieurs années, soit : l'étendue des rassemblements récurrents et sur plusieurs semaines de géniteurs matures, un ratio des sexes déséquilibrés, l'activité de surface des adultes (clapotis), la capture d'œufs et de larves, la présence de taches huileuses liées à la présence d'œufs brisés et des profils de salinité compatibles avec la fraie.
- Bien que les zones principales de fraie soient généralement similaires année après année, l'étendue des frayères peut varier annuellement en fonction du débit et de la température de l'eau, de la salinité et des concentrations de zooplancton. Cependant, dans certains systèmes, les changements de conditions ont tendance à influencer les périodes de frai, mais pas les limites géographiques de la frayère identifiée.
- Le bar rayé fraie dans une grande diversité d'habitats. Ces habitats incluent aussi bien des sections de rivière aux débits très contrastés que des estuaires soumis à des mascarets. Les frayères sont généralement situées en eau douce ou dans des habitats ayant une salinité très faible, dans des sections à haute énergie du chenal ($\geq 0,3$ m/s) en amont des habitats d'élevage et du front salin.
- Les sites de rassemblement sont généralement situés près (≤ 18 km en aval) ou directement sur les frayères, comme cela a été démontré dans les rivières Saint-Jean, Miramichi, Stewiacke et dans plusieurs systèmes américains. Toutefois, ces distances peuvent dans certains cas atteindre 200 km.
- Les œufs et les larves dépendent des réserves limitées du sac vitellin et doivent rester en suspension en eau douce lors de la migration vers les habitats d'alevinage. Les larves doivent atteindre les zones de forte densité de zooplancton au début de l'alimentation exogène. Les distances doivent être suffisamment grandes pour permettre l'éclosion des œufs (généralement 30 à 80 heures, selon la température de l'eau). Cependant, des distances trop importantes augmentent le risque que les œufs et les larves soient transportés en dehors des habitats de croissance optimaux. Ceci serait lié à l'accroissement de l'influence des fluctuations des débits et des courants de marée.

4.2.2. Menace du dragage

Le MPO a fait part de ses inquiétudes concernant l'impact sur le bar rayé du dragage qui sera réalisé lors de la construction et l'opération du projet Laurentia (MPO 2020). En réponse à ces inquiétudes, une analyse a été réalisée en février 2021 en complétant : (1) une revue de littérature afin de mieux cibler cette menace au fil du temps, et (2) une analyse comparative entre les surfaces de dragage du

projet Laurentia et le dragage d'entretien réalisé par la garde côtière près du projet Laurentia et dans l'habitat du bar rayé.

4.2.2.1. Revue de littérature sur le dragage

La revue de littérature a démontré que le dragage est identifié par le Comité sur la Situation des Espèces en Périls au Canada (Cosepac) comme une menace pour la nouvelle population introduite de bar rayé dans le fleuve Saint-Laurent (Cosepac 2012). Cependant, le Cosepac conclut également que « *le dragage représente une menace faible* » pour l'établissement de cette nouvelle population (Cosepac 2012).

La qualification du dragage comme menace a probablement les mêmes causes que celles retenues pour expliquer la disparition de la population indigène de bar rayé du fleuve Saint-Laurent dans les années 1960. En effet, la disparition du bar rayé aurait été causée en partie par les travaux de dragage pour élargir et approfondir la Traverse du Nord (voir la note technique 3.2 pour plus de détails). Ces travaux auraient provoqué la perte d'au moins 360 ha d'habitat supplémentaire dans le tronçon compris entre le pont de Québec et le pont de l'île d'Orléans (Robitaille et coll. 1988), en plus de la perte d'habitat liée au dragage d'entretien.

Cependant, les méthodes de dragage ont changé depuis l'époque de la disparition du bar rayé. Aujourd'hui, seuls des travaux d'entretien de la voie maritime sont réalisés et les matériaux dragués sont désormais déposés dans des sites désignés. Ces sites sont situés en eau profonde plutôt qu'en bordure des rives, et loin des aires d'alimentation des bars rayés juvéniles de l'ancienne population (au sud de l'île Madame; Robitaille et coll. 2011, Cosepac 2012). Cosepac (2012) note d'ailleurs que « *le délestage de déblais de dragage se poursuit, mais la situation (ampleur et étendue du déclin) semble s'améliorer depuis dix ans* » (Cosepac 2012). Ceci expliquerait probablement pourquoi le programme de rétablissement a conclu « *que le dragage représente une menace faible* » (Cosepac 2012). Par ailleurs, en 2019, le Cosepac a conclu qu'il est possible d'atténuer ou d'éviter la menace liée au dragage en encadrant cette activité et en choisissant attentivement les sites de dépôt de remblais (Cosepac 2019). Depuis l'adoption de bonnes pratiques, le dragage se poursuit annuellement dans le fleuve Saint-Laurent et génère un volume moyen annuel de 450 000 m³ (Sodes 2021, Cosepac 2012). C'est dans ce contexte que la nouvelle population de bar rayé a été introduite avec succès, continuant son expansion tant en abondance qu'en distribution (PDSL 2019).

4.2.2.2. Analyse comparative du dragage

La Traverse du Nord, représentant la plus grande section draguée du fleuve Saint-Laurent, est située en plein cœur de la zone d'utilisation de la nouvelle population de bar rayé (Englobe 2020). Le dragage d'entretien pour la Traverse représente environ 53 000 m³ chaque année sur une partie de la superficie globale de 1 011 ha (GC comm. pers. 2021). En 2020, une superficie de 11,2 ha a été draguée (GC comm. pers. 2021), cependant celle-ci varie annuellement et touche différents secteurs de la Traverse du Nord. En comparaison, le dragage prévu pour le projet Laurentia sera plus volumineux

durant la phase de construction (450 000 m³), mais sur une superficie limitée de 7,69 ha (Englobe 2020). Cette dernière représente moins de 1% de la surface totale de la Traverse du Nord et seulement 69% de la surface draguée à l'intérieur de celle-ci en 2020. Par ailleurs, le dragage pour le projet Laurentia sera réalisé sans délestage de déblais en milieu marin puisque ceux-ci seront employés comme matériel de remblais pour l'arrière-quai. Rappelons que pour prévenir la remise en suspension, une digue temporaire sera aménagée afin de complètement fermer la zone des travaux durant la construction et d'éviter la libération de MES dans le milieu aquatique.

En période d'opération, le dragage annuel pour le port de Québec, incluant le projet Laurentia, serait limité à un entretien d'environ seulement 250 m³. Contrairement à l'entretien de la Traverse du Nord, ce dragage sera exclusivement réalisé sans délestage. Ainsi les déblais générés seront gérés selon les normes en vigueur dans une zone de dépôt terrestre.

4.2.2.3. Conclusion

En conclusion, d'après la revue de littérature et l'analyse de dragage, il semble clair que la menace que représente le dragage sur le bar rayé a fortement diminué. Ceci est dû à l'amélioration des méthodes de dragages et la petite superficie draguée pour le projet. La conclusion du Cosepac comme quoi « *le dragage représente une menace faible* » pour la nouvelle population de bar rayé (Cosepac 2012) supporte ce constat. Ainsi, le projet Laurentia, qui nécessitera un dragage sur une petite superficie et sans aucun délestage en milieu aquatique, ne devrait pas poser de menace pour la survie ou l'établissement de la nouvelle population de bar rayé du fleuve Saint-Laurent.

4.2.3. Dérive des œufs

Pour que le recrutement de bar rayé de la nouvelle population introduite soit assuré, il est nécessaire que la reproduction puisse avoir lieu dans les conditions optimales permettant d'assurer que les œufs et larves puissent atteindre des habitats adéquats pour leur bon développement. Deux frayères de bar rayé ont été identifiées dans la proposition d'un programme de rétablissement pour le bar rayé (GC 2019), dont une dans le secteur de la baie de Beauport (MPO 2020). Cependant, il est à noter que ce document est préliminaire et risque de changer lorsque les nouvelles données récoltées sur le bar rayé depuis les dernières années y seront intégrées. Le MPO mentionne d'ailleurs dans son avis (MPO 2020) l'existence d'indices témoignant de la présence de sites de fraie en amont de Québec.

Des travaux menés en 2020 entre Sorel et Québec suggèrent que la fraie a bel et bien lieu en amont de Québec (APQ 2020, annexe 1). Des œufs de bars rayés ont en effet été capturés en quantités appréciables dans tous les secteurs répertoriés entre la rivière Richelieu et Cap-Rouge. Cependant, le MPO mentionne que les conditions de croissance des larves y sont probablement sous-optimales et que les abondances de larves y sont donc très faibles. Selon le MPO, ceci témoigne de la contribution négligeable d'évènements de fraie ayant lieu dans le tronçon amont du fleuve (MPO 2020).

Une revue de littérature a été réalisée depuis le dépôt de l'avis du MPO (MPO 2020) afin de pouvoir déterminer le potentiel de contribution des frayères en amont de Québec sur la population introduite de bar rayé dans le fleuve Saint-Laurent. En somme, il apparaît que plusieurs indices trouvés dans la littérature et présentés ci-dessous suggèreraient que ces frayères pourraient contribuer au recrutement de l'espèce.

Tout d'abord, dans le fleuve Saint-Laurent, les zones permettant la plus forte croissance pour les jeunes bars rayés sont situées dans la portion aval de l'estuaire, soit dans la zone de turbidité maximale (ZTM) (Vanalderweireldt et coll. 2020). Il est nécessaire de considérer que le courant du fleuve agit tel un convoyeur et que, ne possédant pas de capacité natatoire, une majorité des œufs et larves de bar rayé pondus dans le tronçon amont est naturellement entraînée vers les secteurs de plus fortes productivités en aval. Il est très plausible qu'avec le courant moyen du fleuve, incluant une vitesse plus lente dans le lac Saint-Pierre, ainsi que la période d'incubation des œufs de bar rayé de 48 heures (peu parfois durer plus longtemps; Robitaille et coll. 2011), les œufs pondus à l'exutoire de la rivière Richelieu pourraient potentiellement dévaler sur de très grandes distances et rejoindre aisément des habitats propices au développement des larves, contribuant ainsi efficacement au recrutement. De plus, Paquet (1993; cité dans L'Italien et coll. 2020) indique que dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent, le déplacement net de l'eau est d'environ 25 km par jour vers l'aval. Ainsi, selon L'Italien et coll. (2020), des larves de bar rayé pondues à Trois-Rivières pourraient atteindre la ZTM après une dérive d'environ sept jours. Ceci indique que les œufs pondus en amont du secteur de Beauport pourraient dériver pour rejoindre les habitats de croissance optimaux en aval, et ainsi contribuer à la productivité de la population dans le fleuve Saint-Laurent. Par conséquent, les frayères du secteur de Beauport et de la rivière du Sud à Montmagny ne seraient pas les seules frayères de l'espèce du fleuve participant à la croissance de la population.

Ce phénomène a aussi été observé dans le fleuve Hudson et le détroit de Long Island (Dennis et coll. 2009). Dans le fleuve Hudson, la fraie a généralement lieu à l'intérieur de deux sections du cours d'eau situées entre 80 et 200 km de son embouchure (Secor et coll. 2020). Selon les années et en fonction du débit du fleuve, l'abondance de jeunes de l'année dans le détroit serait liée au transport de larves depuis les zones de fraie situées en amont. De plus, une modélisation réalisée par Massoudieh et coll. (2011) a démontré que les œufs et larves de bar rayé dans l'estuaire des rivières Sacramento-San Joaquin pouvaient se déplacer sur une distance d'au moins 72 km afin de se retrouver sur des aires de croissance.

En somme, il semble que les œufs relâchés en amont de la région de Québec puissent se rendre aux habitats de croissance près de l'île d'Orléans et ainsi contribuer à la production de la population de bar rayé introduite dans le fleuve Saint-Laurent. Cette analyse de la dérive des œufs est bien entendu préliminaire et pourrait être suivie d'une modélisation en bonne et due forme complétée par Lasalle | NHC. Cette modélisation, réalisée à l'aide d'un modèle global du fleuve Saint-Laurent, aurait pour objectif d'apprécier, en termes de durée, la dérive d'œufs et de larves dans le tronçon amont du

fleuve (amont de Québec) jusqu'aux habitats de croissance productifs des jeunes situés dans le secteur de l'île d'Orléans, tout en considérant les complexités associées aux débits du fleuve, incluant le lac Saint-Pierre et les effets de marée (Villeneuve comm. pers. 2021). Ce travail permettra de mieux comprendre la contribution des frayères du tronçon amont à la productivité de la population de bar rayé du fleuve Saint-Laurent.

Néanmoins, il est nécessaire de rappeler que des indices directs de la contribution des événements de fraie amont au recrutement de la population sont déjà disponibles. En effet, 86 jeunes de l'année ont été capturés en 2020 dans le tronçon du fleuve Saint-Laurent entre Bécancour et le pont de Québec, ce qui suggère que des sites de croissance viables existent également en amont du secteur de Beauport (APQ 2020, annexe 1).

L'APQ est également en communication avec le MPO et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) pour mettre en place un groupe de travail au cours de l'année 2021. Ce groupe de travail aurait pour mission de rassembler l'expertise sur le bar rayé afin d'encadrer le développement des grands projets d'infrastructures dans le fleuve Saint-Laurent, tout en s'assurant de préserver la nouvelle population de bar rayé introduite. La réalisation de la modélisation mentionnée ci-dessus sera discutée durant ces rencontres.

En conclusion, les informations disponibles à ce jour suggèrent que le projet Laurentia ne touchera qu'une superficie minimale des habitats potentiellement utilisés par le bar rayé lors de son rassemblement et sa reproduction, et ne devrait donc pas avoir d'impacts résiduels significatifs sur le recrutement de la population introduite dans le fleuve Saint-Laurent. Telle que décrite par les spécialistes interrogés (Section 4.2.1), l'espèce s'adapte à des changements de courants et peut ajuster la sélection des habitats de reproductions en fonction des changements annuels, tout en frayant à l'intérieur de secteurs vastes de plusieurs kilomètres.

4.2.4. Modifications de courant

Sur la base des documents déjà déposés dans le cadre de l'étude d'impact, le MPO a jugé que le projet induirait des modifications significatives sur les courants (MPO 2020). En effet, il a indiqué que *« Le projet impliquerait des modifications de courant qui seraient observées dans des habitats variés et utilisés par une multitude d'espèces de poisson. Ces modifications sont significatives selon certains secteurs et phases de marée et affecteraient plusieurs dizaines d'hectares »*.

Dans le contexte de l'étude d'impact, les changements dans le patron d'écoulement avaient été illustrés de façon statique pour certaines phases du cycle de marée. Afin de pouvoir mieux apprécier les effets de la mise en place du nouveau quai et l'impact des changements de courants durant les marées, Lasalle| NHC a procédé depuis le dépôt de l'avis du MPO (MPO 2020) à une nouvelle analyse dynamique (Annexe D) de la modélisation des courants initialement présentée dans le cadre de l'étude d'impact (Englobe 2020). Cette analyse a consisté à calculer sur un cycle complet de marées de 24 heures (début juin, soit représentatif de la période du frai du bar rayé), en considérant les superficies

disponibles pour les poissons par tranche de vitesse de 0,2 m/s (à l'exception de la dernière classe englobant les vitesses de 1,3 à 2 m/s), avant et après la mise en place du nouveau quai. Ces calculs ont été réalisés à l'intérieur des limites de l'aire de rassemblement du bar rayé de 280 ha (Kernel 50%), établie à l'aide des données de télémétrie de 2018 (Englobe 2020). Il a été décidé d'utiliser cette superficie en raison de son étendue, permettant d'estimer les impacts de façon plus vaste.

Les figures en Annexe E présentent la variation de superficies disponibles par classe de vitesse, sur un cycle complet de marée. En interprétant ces figures, il est nécessaire de considérer que le domaine modélisé en conditions futures est légèrement plus petit (10 ha), ceci en raison du retrait de la portion située sous le quai. Ainsi, une partie des diminutions des surfaces est attribuable à cette différence. Malgré tout, il est ainsi possible de constater que les changements engendrés par la mise en place du quai sont de faible ampleur. Lors du flux, on observe de légères augmentations de superficies dans les classes de faibles courants (0 à 0,3 m/s et 0,3 à 0,5 m/s) ainsi que des augmentations d'une ampleur moindre dans la gamme de vitesses extrêmes (1,3 à 2,0 m/s). Durant le reflux, la répartition des superficies est généralement très similaire. Durant le deuxième quart de ce cycle, il est toutefois possible d'observer que la mise en place du projet causera une légère augmentation des superficies dans la classe de vitesse de 0 à 0,3 m/s, et une réduction dans les classes de 0,3 à 0,5 m/s et 0,5 à 0,7 m/s.

À l'aide de cette nouvelle analyse, on peut maintenant constater que les changements induits par la mise en place du projet Laurentia à l'intérieur de la zone de rassemblement de 280 ha des bars rayés sur l'ensemble d'un cycle de marée sont mineurs. Les principaux changements qui seront observés seront de courte durée (moins de 2h). Le milieu est très dynamique et des changements drastiques surviennent naturellement à l'intérieur de chaque cycle de marée. Cette dynamique sera toujours présente, même à la suite de la mise en place du nouveau quai. En d'autres termes, les habitats actuels seront toujours présents, bien que légèrement déplacés. Ainsi, ils présenteront toujours des caractéristiques similaires aux conditions requises pour les poissons visés.

Par ailleurs, le bar rayé est un poisson versatile habitué à faire face à ce genre de conditions (ex : voir l'expertise du bar rayé démontrant l'habileté de ces poissons à se déplacer pour frayer selon les marées et les courants (Section 4.2.1)). La fraie du bar rayé peut se dérouler dans une vaste gamme de conditions d'écoulement (entre 0,3 et 1,24 m/s selon Crance 1984 et >0,3 m/s selon les experts; voir section 4.2.1). Les observations effectuées par Englobe en 2018 dans la rivière du Sud ont permis de corroborer cette variation de gamme de courants entre les événements de fraie (Englobe 2020). Ainsi, aucun impact résiduel significatif sur la fraie du bar rayé n'est anticipé en lien avec le projet Laurentia.

Néanmoins, afin d'adopter une approche conservatrice, les superficies de modification de courant telles qu'identifiées par le MPO dans son avis (50 ha pour le bar rayé et 20 ha pour l'esturgeon) ont été compensées dans le plan de compensation bonifié proposé par l'APQ en décembre 2020 (voir APQ 2020, annexe 3). Ainsi, les changements de courants induits par le projet ne devraient pas

avoir d'impact résiduel significatif sur la reproduction du bar rayé ou sur l'utilisation de l'habitat par l'esturgeon (jaune et noir).

4.3. Alose savoureuse – rassemblement

Dans son avis, le MPO indique que le secteur de la pointe portuaire est un site important dans le processus de reproduction de l'alose, particulièrement pour ce qui est du rassemblement de reproducteurs (MPO 2020). Cette inquiétude provient probablement des 69 individus capturés par le MFFP dans le secteur du projet sur une période de quatre ans (Englobe 2020). En conséquence, une revue de littérature a été réalisée en février 2021 afin de mieux comprendre l'écologie de l'alose savoureuse, et plus spécifiquement ce qui a trait au comportement de rassemblement de l'espèce lors de la reproduction.

Les résultats de cette revue de littérature¹ indiquent que lors de leur migration vers les sites de reproduction, les géniteurs d'alose savoureuse doivent se maintenir dans des eaux saumâtres pendant quelques jours (2 ou 3 jours), afin de permettre à leur corps de s'adapter au changement de salinité (osmorégulation) avant de poursuivre leur migration amont vers les habitats de fraie situés en eau douce lorsque la température est propice. Ainsi, des rassemblements pourraient être observés en aval de l'île d'Orléans (et de Beauport) sur de grandes surfaces d'habitats. Toutefois, rappelons que l'eau du fleuve au niveau de la péninsule portuaire de Beauport est douce, et qu'ainsi ce type de rassemblement lié à l'osmorégulation ne devrait pas y avoir lieu. Par ailleurs, parmi toute la littérature consultée, outre les besoins en salinité, aucune mention n'a été trouvée en ce qui concerne les caractéristiques d'habitat spécifiques recherchées lors de cette phase de la migration. Ainsi, le projet Laurentia ne devrait pas avoir d'impact résiduel significatif sur le rassemblement de l'alose savoureuse.

4.4. Esturgeon – impacts du dragage

Une revue de littérature sur les impacts du dragage sur l'esturgeon jaune et noir a été réalisée en février 2021. Les résultats de cette revue de littérature sont présentés ci-dessous pour mettre en perspective l'impact potentiel du dragage anticipé lors de la construction et de l'opération du projet Laurentia.

Même si cela semble plutôt rare, le dragage peut engendrer la mortalité d'esturgeons. À titre d'exemple, l'esturgeon noir est relativement peu affecté par les programmes de dragage, avec une moyenne de 0,6 esturgeon noir tué par année dans les programmes de dragage aux États-Unis (Reine et coll. 2014). Le dragage cause également une perte directe d'habitat pour l'esturgeon, pouvant toucher des zones de déplacement, d'alimentation, de fraie et d'élevage (Hatin et coll. 2007). En particulier, les panaches de sédiments et la turbidité résultant des activités de dragage peuvent perturber la production

¹ Maltais et coll. (2010), Green et coll. (2009), Maltais (2009), Robitaille et coll. (2008), Bilodeau et Massé (2005), LCFRB (2004), Bilkovic et coll (2002), Robitaille (1997), Limburg (1996), Facey et Van Den Avyle (1986), Marcy (1972), Massman (1952), Leim (1924)

d'invertébrés benthiques et donc l'alimentation des esturgeons (Wenger et coll. 2017). Hatin et coll. (2007) ont constaté que les esturgeons noirs adultes étaient plus négativement impactés par l'élimination des sédiments que les esturgeons jaunes adultes, à l'intérieur et en aval des sites d'élimination du fleuve Saint-Laurent. Cependant, les impacts du dragage sur l'utilisation de l'habitat par les esturgeons peuvent varier, comme indiqué par les études suivantes :

- La télémétrie a été utilisée dans la rivière James, en Virginie, aux États-Unis, pour suivre les déplacements de plus de 100 esturgeons noirs adultes et juvéniles, y compris pendant les périodes du frai, en relation avec le dragage à cisaille hydraulique dans cette rivière (Balazik et coll. 2020, Reine et coll. 2014). Les résultats indiquent que de nombreux esturgeons adultes ont effectué des centaines de déplacements dans la zone active de dragage sans différence de comportement de nage notable entre les moments où la drague était active ou inactive, et ce même à moins de 100 m de la drague (Balazik et coll. 2020). Des études en cours sur les esturgeons juvéniles indiquent également qu'ils nagent et se nourrissent à proximité de la drague sans incident ni mortalité (à quelques centaines de mètres) (Balazik et coll. 2020).
- Golder (2011) a réalisé une étude sur l'esturgeon jaune indiquant que, bien que les effets du dragage sur l'esturgeon jaune ne soient pas bien documentés, il a été démontré que l'esturgeon jaune adulte utilisait encore des zones de dragage comme habitat d'été (Friday and Chase 2010).
- Moser et Ross (1995) ont indiqué que les esturgeons noirs juvéniles occupaient à la fois des zones non perturbées et régulièrement draguées, y compris pendant les opérations de dragage.

Différentes juridictions ont donc mis en place des créneaux de temps pour le dragage, afin de réduire le potentiel d'impact du dragage sur les populations d'esturgeon (Reine et coll. 2014). Le MPO a d'ailleurs clairement indiqué dans son avis sur le Projet Laurentia que les activités en eaux devraient se faire en dehors de la période sensible pour les poissons du fleuve Saint-Laurent, incluant l'esturgeon jaune et noir, soit entre le 1er octobre et le 30 avril (MPO 2020). Ainsi, l'APQ s'est engagé à réaliser ces activités en dehors de la période sensible identifiée (voir p. 93 de APQ 2020 et Annexe B).

En ce qui concerne les dépôts de sédiments associés au dragage, Hatin et coll. (2007) ont démontré que les prises par unité d'effort d'esturgeon noir diminuaient considérablement dans les zones impactées par le dépôt des déblais de dragage (c.-à-d., 5,8 à 0,8 poisson/station-jour), ainsi qu'en aval des sites de dépôt. L'esturgeon noir semble donc éviter les zones d'élimination et de dispersion des sédiments. Cependant, cette problématique sera évitée par le projet Laurentia puisque les déblais de dragage ne seront pas délestés dans le fleuve durant les phases de construction ou d'opération.

En somme, l'APQ est confiante que les impacts potentiels du dragage sur l'esturgeon seront minimes dû à la faible superficie de dragage (7,69 ha), l'habituation potentielle des esturgeons au dragage et la rare mortalité associée à cette activité. De plus, des mesures d'atténuation seront mises de l'avant pour minimiser les impacts du dragage (c.-à-d., dragage en dehors de la période sensible établie par le MPO pour le poisson (en particulier l'esturgeon)), aucun délestage de sédiments dans le milieu aquatique,

utilisation des matériaux de dragage dans un lieu complètement isolé à l'aide d'une digue temporaire, et utilisation d'un sonar dans la zone de dérangement lors du dragage pour identifier et réagir à la présence d'esturgeons, Sections 3). Combiné aux mesures de compensation bonifiées (quatre projets pour compenser les impacts sur l'espèce, dont trois nouveaux projets depuis septembre 2020, voir APQ 2020, annexe 3), il est anticipé que le projet Laurentia n'aura pas d'impacts significatifs sur cette espèce.

5. CONCLUSION

Depuis janvier 2021, l'APQ a continué à récolter de nouvelles informations et à optimiser le projet Laurentia afin de répondre aux enjeux énoncés par le MPO dans son avis du 4 septembre 2020 (MPO 2020). Ces travaux, en lien avec la conception du projet, les impacts du projet sur les espèces de poisson valorisées (le bar rayé, les esturgeons jaune et noir et l'aloise savoureuse) et l'implantation de nouvelles mesures d'atténuation, sont résumés dans la note technique 3.1 et détaillés dans les notes techniques 3.2, 3.3 et la présente note (3.4).

L'APQ est confiante que l'amélioration des mesures d'atténuation et la mise en place de nouvelles mesures, conjointement à la bonification du plan de compensation (APQ 2020, annexe 3), permettent de proposer un projet qui n'aura pas d'impacts résiduels significatifs sur les poissons et leurs habitats. Il faut cependant noter que le travail continuera avec le MPO, les groupes autochtones et le public au cours des prochains mois, puisque l'APQ est dédiée à la mise en œuvre d'un projet respectueux de l'environnement.



Cordialement,

Ecofish Research Ltd.

Préparé par :

Signé

Isabelle Girard, M.Sc., R.P.Bio., P.Biol.

Biologiste aquatique senior

Révision :

Signé

Deb Lacroix, M.Sc., R.P.Bio.

Écologiste senior et conseillère règlementaire

Signé

Jean Carreau, M.Sc.

Biologiste

Englobe Corp.

Signé

Philippe Charest-Gélinas, Biol.

Directeur de projet

Englobe Corp.

Clause de non-responsabilité :

Les informations contenues dans ce mémorandum reflètent le meilleur jugement d'Ecofish Research Ltd. et d'Englobe à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation. Toute utilisation de ce mémorandum par un tiers, ou tout recours ou décision prise sur la base de celui-ci sont de la responsabilité du tiers. Ecofish Research Ltd. et Englobe n'accepteront aucune responsabilité pour les dommages-intérêts, s'il en est, subis par un tiers à la suite de décisions ou d'actions fondées sur ce mémorandum. Ce mémorandum est un document contrôlé. Toute reproduction de ce mémorandum est incontrôlée et peut ne pas être la révision la plus récente.

RÉFÉRENCES

- APQ 2020. (Administration portuaire de Québec) 2020. Mémoire de l'Administration portuaire de Québec déposé à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada dans le cadre de la phase de la consultation sur le Rapport provisoire d'évaluation environnementale du projet de Terminal Laurentia, 16 décembre 2020, 152 p.)
- Bai, Y and Q. Bai. 2019 in Science Direct. 2021. Sidescan Sonar: Summary of Information. Available online at: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/sidescan-sonar>. Accessed: March 2021.
- Balazik, M., M. Barber, S. Altman, K. Reine, A. Katzenmeyer, A. Bunch, and G. Garman. 2020. Dredging activity and associated sound have negligible effects on adult Atlantic sturgeon migration to spawning habitat in a large coastal river. PLoS ONE. 15(3): e0230029.
- Bilkovic, D. M., J. E. Olney et C. H. Hershner. 2002. Spawning of American shad (*Alosa sapidissima*) and striped bass (*Morone saxatilis*) in the Mattaponi and Pamunkey rivers, Virginia. Fishery Bulletin 100(3): 632-640.
- Bilodeau, P. et H. Massé. 2005. Étude de la reproduction de l'alose savoureuse (*Alosa sapidissima*) du Saint-Laurent par l'écoute des clapotements. Longueuil, ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 33 p.
- Buell J. 1992. Fish entrainment monitoring of the Western-Pacific Dredge R.W. Lofgren during operations outside the preferred work period. Prepared for the Western-Pacific Dredging Company by Buell and Associates, Inc., Portland, OR.
- Cosepac (Comité sur la Situation des Espèces en Périls au Canada). 2019. Bar rayé (*Morone saxatilis*) Rapport de situation du Cosepac Addenda 2012. Disponible en ligne : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/evaluations-rapports-situations-cosepac/bar-raye-addenda-2012.html>. Accédé le 24 février 2021.
- Cosepac (Comité sur la Situation des Espèces en Périls au Canada). 2012. Évaluation et Rapport de situation du Cosepac sur le Bar rayé (*Morone saxatilis*) au Canada. 105 p. Disponible en ligne : https://www.sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/cosewic/sr_bar_raye_striped_bass_1213a_f.pdf. Accédé le 8 février 2021.
- Crance, J. H. 1984. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: inland stocks of striped bass. Western Energy and Land Use Team, Division of Biological Services, Research and Development, Fish and Wildlife Service, U.S. Dept. of the Interior. FWS/OBS-82/10.85. 61 p.

- Dennis J. Dunning, Quentin E. Ross , Kim A. McKown & Julia B. Socrates (2009) Effect of Striped Bass Larvae Transported from the Hudson River on Juvenile Abundance in Western Long Island Sound, *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 1:1, 343-353, DOI: 10.1577/C08-008.1
- Englobe. 2020. Feuillet 12 – Faune aquatique et ses habitats. Rapport déposé à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). 387 p. + annexes.
- Envirowest Consultants Inc. (Envirowest). 2017. Fish related dredging impacts and mitigation VFPA project and environmental review. Annacis Island Wastewater Treatment Plant New Outfall - Annieville Channel, Fraser River. Prepared for Metro Vancouver.
- Facey DE, Van Den Avyle MJ (1986) Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (South Atlantic) – American shad. *US Fish Wildl Serv Biol Rep* 82(11.45): 1-18
- Friday, M.J. and M. Chase. 2010. The migratory and reproductive response of spawning Lake Sturgeon to controlled flows over Kakabeka Falls on the Kaministiquia River, 2008. Upper Great lakes Management Unit. Lake Superior. Technical Report 2008-01. 13 p.
- GC (Gouvernement du Canada). 2019. Bar rayé (*Morone saxatilis*) : programme de rétablissement et plan d'action 2019 (proposition). Disponible en ligne : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especesperil/retablissement/bar-raye-2019-proposition.html>. Accédé le 17 mars 2021.
- GC (Gouvernement du Canada). 2012. Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012) - L.C. 2012, ch. 19, art. 52. Disponible en ligne : <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/Lois/C-15.21/page-1.html>. Accédé le 15 mars 2021.
- Golder Associates Ltd. 2011. Recovery Strategy for Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*) - Northwestern Ontario, Great Lakes-Upper St. Lawrence River and Southern Hudson Bay-James Bay populations in Ontario. Ontario Recovery Strategy Series. Prepared for the Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario. vii + 77 p.
- Greene, K. E., J. L. Zimmerman, R. W. Laney et J. C. Thomas-Blate. 2009. Atlantic Coast Diadromous Fish Habitat: A Review of Utilization, Threats, Recommendations for Conservation, and Research Needs, p. 153-194. Disponible en ligne https://www.asmf.org/files/Habitat/HMS9_Diadromous_Habitat_2009.pdf Accédé le 3 mars 2021
- Hatin, D., S. Lachance, and D. Fournier. 2007. Effect of Dredged Sediment Deposition on Use by Atlantic Sturgeon and Lake Sturgeon at an Open-Water Disposal Site in the St. Lawrence Estuarine Transition Zone. *American Fisheries Society Symposium*. 56:235-255.

- Keystone (Keystone Environmental). 2018. Side-Scan Sonar Surveys to Mitigate Impacts to Sturgeon. Available online at: <https://keystoneenvironmental.ca/side-scan-sonar-surveys-to-mitigate-impacts-to-sturgeon/>. Accessed: March 2021.
- Labrecque, M. 2015. Historique de création et d'utilisation de la plage au secteur portuaire de Beauport. 10 p. Disponible en ligne : <https://iaac-aeic.gc.ca/050/documents/p80107/116782F.pdf>. Accédé le 3 mars 2021.
- Lasalle | NHC. 2020. Réponses aux questions de l'Agence cadienne d'évaluation environnementale. Port de Québec, Projet Laurentia. Document préparé pour l'Administration portuaire de Québec.
- LCFRB (Lower Columbia Fish Recovery Board). 2004 LOWER COLUMBIA SALMON AND STEELHEAD RECOVERY AND SUBBASIN PLAN-Technical Foundation Volume III Other Species, Chapter 6 American Shad. Disponible en ligne: <https://www.nwcouncil.org/sites/default/files/Vol. III Ch. 6 American Shad.pdf>. Accédé le 9 mars, 2021.
- Leim, A.H. 1924. The life history of the shad (*Alosa sapidissima*, Wilson) with special reference to the factors limiting its abundance. Contributions to Canadian Biology and Fisheries, Vol 2. 161-284 pp
- Le Rouge, G. 1777. Environs de Quebec: Bloque par les Américains du 8 décembre au 13 mai 1776. Paris, Chez le Rouge. [Map] Retrieved from the Library of Congress, Disponible en ligne: <https://www.loc.gov/item/gm71000971/>. Accédé en mars 2021.
- LGL (LGL Limited). 2015. Lake Eric Connector Project: Fish and Fish Habitat Assessment of the HVDC Underwater Route on the Canadian Side of Lake Erie. Submitted to The Secretary, National Energy Board. Disponible en ligne: <https://docs2.cerrec.gc.ca/lleng/llisapi.dll?func=ll&objId=2824342&objaction=download&viewType=1>. Accédé en mars 2021.
- LGL (LGL Limited). 2017. Side-scan Sonar Surveys of Potential White Sturgeon (*Acipenser transmontanus*) Spawning Areas in the Lower Fraser River, 2016. Disponible en ligne: http://frasersturgeon.com/wp-content/uploads/2019/01/Fraser-River-Sidescan-Sonar-Report2016_22Jan2017_final_26Jan2017_2220_dk-4.pdf. A.cédé en mars 2021
- Limburg, K E. 1996. Growth and migration of 0-year American shad (*Alosa sapidissima*) in the Hudson River estuary: otolith microstructural analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 53, no 1, p. 220-238.
- L'Italien, L., J. Mainguy ET E. Valiquette. 2020. Dynamique et habitats de reproduction de la population réintroduite de bars rayés (*Morone saxatilis*) dans le fleuve Saint-Laurent, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, XVI + 123 p.

- Maltais, E., G. Daigles, G. Colbeck G et J.J. Dodson. 2010. Spawning dynamics of American shad (*Alosa sapidissima*) in the St. Lawrence River, Canada–É.-U. *Ecology of Freshwater Fish* 19(4): 586–594.
- Maltais, E. 2009. La reproduction de l’alose savoureuse (*Alosa sapidissima*) dans le fleuve Saint-Laurent. Département de biologie de la Faculté des sciences et de génie. Université Laval. Québec. 64 p.
- Marcy, B. C. 1972. Spawning of the American Shad, *Alosa sapidissima* in the Lower Connecticut River. *Chesapeake Sci.* 13(2):116-119.
- Massman, W H. 1952. Characteristics of Spawning Areas of Shad, *Alosa Sapidissima* (Wilson) in some Virginia Streams, *Transactions of the American Fisheries Society*, 81:1, 78-93 pp.
- Massoudieh, A., E. Loboschefskey, T. Sommer, T. Ginnb, K. Rose and F. Loge. 2011. Spatio-temporal modeling of striped-bass egg, larval movement, and fate in the San Francisco Bay–Delta. October 2011. *Ecological Modelling*, vol. 222: 1-13.
- Moser, M. L., & Ross, S. W. (1995). Habitat Use and Movements of Shortnose and Atlantic Sturgeons in the Lower Cape Fear River, North Carolina. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124(2), 225–234.
- MoTI (Ministry of Transportation and Infrastructure). 2017. PATTULLO BRIDGE REPLACEMENT PROJECT EAC APPLICATION PART B SECTION 4.3 FISH AND FISH HABITAT. Disponible en ligne: <https://projects.eao.gov.bc.ca/api/document/5b73431b5bc7e60024dc0fba/fetch>. Accédé en mars 2021.
- MPO (Pêche et Océans Canada). 2020. Avis final du MPO – Projet Laurentia. Avis soumis à l’Agence d’évaluation d’impact du Canada. 24 p.
- PDSL (Plan d’action Saint-Laurent 2011-2026). 2019. La réintroduction réussie du bar rayé dans le fleuve Saint-Laurent : des premiersensemencements au suivi de la population. Disponible en ligne http://planstlaurent.qc.ca/fr/suivi_de_letat/les_fiches_de_suivi/la_reintroduction_reussie_du_bar_raye_dans_le_fleuve_saint_laurent_des_premiers_ensemencements_au_suivi_de_la_population.html. Accédé le 24 février 2021.
- PQ (Port Québec) 2021. Administration portuaire – d’hier à aujourd’hui. Disponible en ligne : <https://www.portquebec.ca/a-propos-du-port/administration-portuaire/historique>. Accédé le 3 mars 2021.
- Reine, K., D. Clarke, M. Balazik, S. O’Haire, C. Dickerson, C. Frederickson, G. Garmin, C. Hager, A. Spells, and C. Turner. 2014. Assessing impacts of Navigation Dredging on Atlantic Sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*). US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development

- Center. ERDC/EL TR-14-12. Disponible en ligne <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5064.6565> Accédé le 3 mars 2021.
- Reine, K., and Clarke, D. 1998. "Entrainment by hydraulic dredges-A review of potential impacts." Technical Note DOER-EL U.S. Army Corps of Engineers, Environmental Laboratory, Vicksburg, MS.
- Robitaille, J., M. Bérubé, A. Gosselin, M. Baril, J. Beauchamp, J. Boucher, S. Dionne, M. Legault, Y. Mailhot, B. Ouellet, P. Sirois, S. Tremblay, G. Trencia, G. Verreault et D. Villeneuve. 2011. Programme de rétablissement du bar rayé (*Morone saxatilis*), population de l'estuaire du Saint-Laurent, Canada. Série des programmes de rétablissement publiés en vertu de la Loi sur les espèces en péril. Ottawa : Pêches et Océans Canada. xi + 52 p.
- Robitaille, J.A., M. Legault, P. Bilodeau, H. Massé et V. Boivin. 2008. Reproduction de l'aloise savoureuse *Alosa sapidissima* dans le Saint-Laurent : répartition et croissance des larves et des juvéniles. Rapport du Bureau d'écologie appliquée et du ministère des ressources naturelles et de la Faune présenté à la Fondation de la faune du Québec, à la Fondation Héritage Faune et à la Société Hydro-Québec. 60 p.
- Robitaille, J.A. 1997. Rapport sur la situation de l'aloise savoureuse (*Alosa sapidissima* Wilson) au Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats. 93 p.
- Robitaille, J.A., Y. Vigneault, G. Shooner, C. Pomerleau et Y. Mailhot. 1988. Modifications physiques de l'habitat du poisson dans le Saint-Laurent de 1945 à 1984 et effets sur les pêches commerciales. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1608:45 p.
- Secor, D. H., O'Brien, M. H. P., Gahagan, B. I., Fox, D. A., Higgs, A. L., Best, J. E. 2020. Multiple spawning run contingents and population consequences in migratory striped bass *Morone saxatilis* PloS one 15 (11), e0242797.
- Sodes. 2021. Le dragage. Disponible en ligne : <https://www.st-laurent.org/bim/connaitre-lindustrie-maritime/environnement/reglementation-et-exigences-environnementales/le-dragage/>. Accédé le 20 février 2021.
- Vanalderweireldt, L., Winkler G., Forget-Lacoursière, E. L., Mingelbier, M., Sirois, P. 2020. Habitat use by early life stages of the re-established striped bass and conspecific fish species along the St. Lawrence estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 237 : 106696.
- VFPA (Vancouver Fraser Port Authority). 2019. Burrard Inlet underwater noise study: 2019 final report – ECHO program study summary. Disponible en ligne: <https://www.portvancouver.com/wp-content/uploads/2020/10/Burrard-Inlet-2019-Year-1-Final-Report-with-framing-document.pdf>. Accédé Mars 8 2021.

Wenger, A. S., Harvey, E., Wilson, S., Rawson, C., Newman, S. J., Clarke, D., Evans, R. D. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish and Fisheries*, 18(5), 967–985.

ZLSP (Comité Zip du Lac St-Pierre). 2021. Navigation commerciale, de plaisance et autochtone durables au lac Saint-Pierre. Fiche synthèse. Disponible en ligne : http://comiteziplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/TCR/TCRLSP/PLAN_DE_GESTION_INTEGREE_REGIONAL/5.%20Navigation%20commerciale%2C%20de%20plaisance%20et%20autochtone%20durables%20-%20Fiche%20synthese%5B2020-02-25%5D.pdf. Accédé le 3 mars 2021.

Communications personnelles

GC (Garde côtière). 2021. Communication personnelle de l'APQ avec Pierre Dion, Division des Aides à la navigation et Voies navigables, le 10 février 2021.

Villeneuve, M. 2021. Ingénieur – Président chez Lasalle | NHC, Montréal, Qc. Communication par courriel avec Jean Carreau d'Englobe le 16 février 2021.



ANNEXES

Annexe A. Tableau de concordance entre les mesures d'atténuation identifiées par le MPO dans leur Avis de septembre 2021 et les mesures d'atténuation applicables qui seront mises en place par l'APQ lors de la construction du projet Laurentia

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Tableau de concordance entre les mesures d’atténuation identifié par le MPO dans leur Avis de septembre 2021 et les mesures d’atténuation applicables qui seront mis en place par l’APQ lors de la construction du projet Laurentia.....1

Tableau 1. Tableau de concordance entre les mesures d'atténuation identifiées par le MPO dans leur Avis de septembre 2021 et les mesures d'atténuation applicables qui seront mises en place par l'APQ lors de la construction du projet Laurentia.

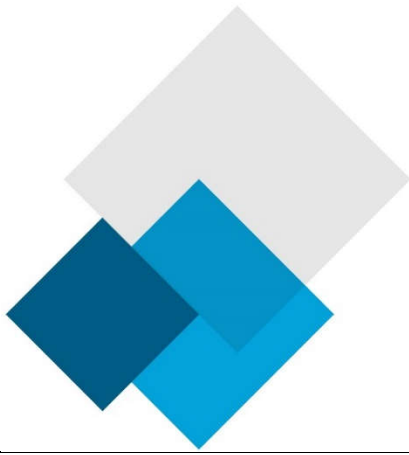
Type de mesures d'atténuation du MPO	Mesures d'atténuation	Sera appliqué par l'APQ	Application de la mesure	Référence
Calendrier de projet	Réaliser les interventions en eau entre le 1er octobre et le 30 avril, soit en dehors de la période sensible pour les poissons, notamment pour le bar rayé, l'esturgeon noir, l'esturgeon jaune, l'alose savoureuse et l'éperlan arc-en-ciel, et limiter au maximum la durée des travaux en milieu aquatique.	X	La séquence des travaux a été revue pour respecter cette exigence. Seuls les travaux essentiels pour assurer la stabilité des caissons de béton pourraient être réalisés durant la période de restriction. Ces travaux, ainsi que toutes activités à faible impact devant être réalisées durant la période de restriction, seront identifiés dans la demande de permis en vertu de la Loi sur les pêches et seront accompagnés de mesures d'atténuation spécifiques. Entre autres, le remblayage de l'arrière-quai se fera en situation confinée pour éviter la remise en suspension de MES dans l'habitat du poisson.	APQ (2020) et SNC-Lavalin (2021)
Contrôle de l'érosion et du transport des sédiments	Limiter au minimum requis le déboisement de part et d'autre de la ligne des hautes eaux et conserver le couvert végétal le plus longtemps possible avant le début des travaux.	X	Dans le cadre du projet Laurentia, le déboisement sera minimal puisque le site est principalement constitué d'une friche industrielle plus ou moins entretenue. Près de la rive, dans le secteur du bassin de décantation des sédiments non contaminés, se trouvent quelques arbres et arbustes qui devront être abattus avant le début des travaux. Puisque ce secteur devra être préparé tôt dans le calendrier des travaux pour faire place au bassin, le déboisement sera effectué rapidement au début du chantier. Néanmoins, l'entrepreneur devra conserver toute autre végétation le plus longtemps possible, notamment les herbacées des friches afin de limiter l'érosion des sols dans les secteurs qui devront être décapés.	Chapitre 10 - Englobe (2020)
	Limiter au strict nécessaire le décapage, déblaiement, terrassement et nivellement des aires de travail.	X	L'APQ s'engage à respecter cette mesure comme en fait foi la planification des travaux de décapage, de déblaiement, de terrassement et de nivellement proposée dans le chapitre 07 des réponses à la deuxième demande d'informations supplémentaires de l'AEIC. De plus amples mesures d'atténuation permettant de réduire le plus possible les impacts de ces activités y sont d'ailleurs présentés.	Chapitre 07 - Sols et eau souterraine (Englobe, 2020)
	Mettre en place des mesures efficaces pour limiter l'apport de sédiments provenant du chantier vers le milieu aquatique et assurer leur entretien (ex : barrière à sédiments, bermes, trappe à sédiments, bassin de sédimentation, stabilisation temporaire des talus, déviation des eaux vers des zones de végétation). Les mesures doivent demeurer efficaces lors des périodes de crues, lors de fortes pluies ou en période de gel.	X	Ces mesures sont effectivement prévues par l'APQ afin de réduire les impacts des travaux du chantier sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Les principales mesures proposées sont présentées dans le chapitre 06 des réponses à la deuxième demande d'informations supplémentaires de l'AEIC. Ce document évoque également le programme de surveillance qui permettra de valider l'efficacité des mesures et veillera à assurer un entretien régulier des infrastructures et équipements mis en place.	Chapitre 06 - Qualité de l'eau de surface (Englobe, 2020)

Type de mesures d'atténuation du MPO	Mesures d'atténuation	Sera appliqué par l'APQ	Application de la mesure	Référence
	Disposer les matériaux de déblais à l'extérieur de la ligne des hautes eaux. Si nécessaire, confiner ou stabiliser ces matériaux (ex : toile imperméable, barrière à sédiments) de façon à prévenir l'apport de sédiments vers le milieu aquatique.	X	Tous les matériaux de déblais seront disposés à l'extérieur de la ligne des hautes eaux. Plusieurs mesures d'atténuation sont prévues afin de confiner ou de stabiliser ces matériaux (voir les chapitres 06 et 07 des réponses à la deuxième série de demandes d'informations supplémentaires de l'AEIC). Autant pour la réduction des impacts potentiels sur la qualité de l'air que sur la qualité de l'eau de surface, les matériaux de déblais seront gérés de façon à ce qu'ils soient exposés le moins longtemps possible et le programme de surveillance veillera au respect et à l'efficacité des mesures mises en place.	Chapitre 07 – Sols et eau souterraine (Englobe, 2020) et Chapitre 06 – Qualité de l'eau de surface (Englobe, 2020)
	Lorsque des travaux en eau doivent être effectués, isoler la zone des travaux de façon à travailler à sec ou à limiter l'apport de sédiments dans le milieu aquatique (ex : batardeaux, endiguement et pompage, dérivation temporaire, rideau de turbidité).	X	L'aire de remblayage de l'arrière-quai sera d'abord endiguée, avant de commencer les travaux de remblayage généraux. Des laminoirs d'évacuation des eaux seront aménagés de façon à contrôler la concentration des MES à la sortie. Un bassin de sédimentation est aussi prévu pour assurer un temps de repos des sols dragués suffisant pour réutiliser les sols de manière optimale et dont la conception permettra un temps de rétention suffisant pour éviter de dépasser les seuils de concentration en MES.	APQ (2020)
	Favoriser l'utilisation de rideaux de turbidité pour ceinturer la zone des travaux afin d'y confiner les sédiments en suspension. Déployer le rideau de manière à limiter l'emprisonnement des poissons à l'intérieur de l'enceinte.	X	Les rideaux de turbidité seront utilisés seulement pour des travaux essentiels (remblayage de l'arrière des caissons) et à la condition qu'ils se démontrent efficaces.	APQ (2020) et SNC Lavalin (2021)
Gestion des débris	Ne rejeter aucun débris dans le milieu aquatique. Tous les débris introduits accidentellement devront être retirés dans les plus brefs délais.	X	L'APQ s'engage à ne rejeter aucun débris dans le milieu aquatique et à retirer tout débris qui pourraient être y introduit de façon accidentelle.	Chapitre 06 - Qualité de l'eau de surface (Englobe, 2020)
Ouvrages temporaires	Concevoir et stabiliser les ouvrages temporaires afin qu'ils résistent aux crues susceptibles de survenir pendant la période des travaux et afin d'éviter des problèmes d'érosion au niveau des berges ou du lit.	X	Le bassin de sédimentation permettra de recevoir les sédiments dragués non-contaminés. Il sera situé partiellement en milieu aquatique et sera muni de géotrupes. De plus, les ouvrages et infrastructures temporaires seront aménagés de façon à résister aux crues susceptibles de survenir durant les travaux, limitant également les problèmes d'érosion potentiels.	Voir les infrastructures temporaires prévues au chantier (feuillelet optimisation du projet Laurentia de janvier 2020) et l'ÉIE d'avril 2018 déposé dans le cadre de la première série de questions
Assèchement à l'intérieur des digues et traitement des eaux	Favoriser l'utilisation d'ouvrages qui limitent au maximum les empiètements dans l'habitat du poisson.	X	Il importe de rappeler que l'APQ a conçu le projet Laurentia dans une approche permettant d'éviter, de minimiser et de compenser les impacts sur le milieu aquatique (Englobe, 2020). Ainsi, les optimisations successives du projet ont permis de réduire la zone de dragage de 26% (42 230 m ² sur 166 055 m ² ; Englobe 2020), et l'empreinte du quai au fleuve de 35% (73 450 m ² sur 211 890 m ² ; Englobe 2020) par rapport aux plans initiaux qui comprenaient notamment une recharge de plage et un brise-lame. La maximisation de l'arrière-quai et du terrain existant a également	Englobe (2020) et SNC-Lavalin (2021)

Type de mesures d'atténuation du MPO	Mesures d'atténuation	Sera appliqué par l'APQ	Application de la mesure	Référence
			été une priorité pour l'APQ. De plus, la réduction significative de l'aire de dragage lors des optimisations au projet en 2020 (43% de réduction de la superficie de dragage) en raison du besoin d'un poste à quai au lieu de deux représente une atténuation importante des effets potentiels du projet sur le milieu aquatique. Tout comme pour la conception du projet, tous les ouvrages, infrastructures temporaires et interventions lors du chantier seront effectués de manière à limiter au maximum les empiètements dans l'habitat du poisson.	
	Dans le cas de l'utilisation de matériaux en enrochement, construire ceux-ci à l'aide de matériaux propres.	X	L'APQ prend l'engagement d'utiliser des matériaux exempts de particules fines (utilisation du 10-300 mm au lieu de 0-300 mm) pour construire l'enrochement nécessaire à la construction du terminal. De plus amples détails sont fournis dans la note technique de SNC-Lavalin (2021).	SNC-Lavalin (2021)
	Traiter les eaux provenant de l'intérieur de l'enceinte des digues avant qu'elles ne retournent dans le milieu aquatique afin d'y limiter l'apport de sédiments.	X	Une surveillance constante sera mise en place afin de s'assurer que la concentration en MES ne dépasse pas les limites établies. Pour y parvenir, de l'échantillonnage périodique sera réalisé à la sortie du seuil temporaire aménagé dans la digue de confinement. Des bouées munies de turbidimètres seront également positionnées à des endroits stratégiques afin de pouvoir surveiller les augmentations potentielles de la concentration en MES dans le milieu aquatique du secteur du projet.	SNC-Lavalin (2021)
	Récupérer délicatement tous les poissons captifs dans les sections confinées ou isolées du chantier et les remettre immédiatement dans le milieu aquatique dans un secteur favorisant leur survie, afin d'éviter toute mortalité de poissons. Si des espèces en péril sont susceptibles d'être présentes dans le secteur des travaux, le transfert des poissons pourrait nécessiter un permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril.	X	Comme présenté brièvement dans l'étude d'impact environnemental et social, plusieurs méthodes de récupération des poissons pouvant se trouver prisonniers de l'enceinte visant à confiner la zone de travail en eau seront utilisées afin d'éviter leur mort. Une fois capturés, les spécimens seront identifiés et dénombrés, puis remis à l'eau dans le milieu aquatique dans le secteur de la plage de la Baie de Beauport. Les détails de cette surveillance seront présentés dans le plan de gestion de la construction (CEMP).	APQ (2021) et SNC-Lavalin (2021)
Enfoncement de pieux ou de palplanches	Lors de la mise en place de pieux, récupérer et disposer en milieu terrestre les boues de forage.	NA	Les pieux seront enfoncés dans les matériaux de remblais d'arrière-quai constitués de tout-venant (sans les particules fines).	
	Préconiser l'utilisation de vibrofonçage ou de forage pour la mise en place de pieux ou de palplanches. L'enfoncement par battage devrait être employé uniquement lorsque les autres techniques ne peuvent pas être utilisées.	X	À noter qu'il n'y a pas de palplanche dans le projet Laurentia. Comme présenté dans les chapitres 03 et 08 des réponses aux questions de la deuxième série de demande d'informations de l'AEIC, l'utilisation de la technique générant le moins d'impact sonore sera privilégiée. Toutefois, selon les premières évaluations, seule une technique par battage est possible en raison des contraintes techniques liées aux pieux. À noter qu'il n'y a pas de palplanche dans le projet Laurentia.	Chapitre 03 - Environnement sonore (Englobe, 2020) et chapitre 08 - Environnement sonore subaquatique (Englobe, 2020)

Type de mesures d'atténuation du MPO	Mesures d'atténuation	Sera appliqué par l'APQ	Application de la mesure	Référence
	Débuter les travaux d'enfoncement de pieux ou de palplanches de façon progressive afin de permettre aux poissons de quitter la zone immédiate des travaux. Le démarrage doit débuter avec la puissance minimale de l'appareil, puis augmenter de façon progressive vers la puissance optimale.	X	L'APQ s'engage à respecter la mesure annoncée dans le chapitre 08 des réponses aux questions de la deuxième série de demandes d'informations de l'AEIC, c'est-à-dire : <ul style="list-style-type: none"> Pour les travaux de battage de pieux, démarrer les opérations de façon graduelle et continue, sur une période de 20 à 30 minutes, en augmentant graduellement la hauteur du marteau afin de créer un dérangement initial sous les seuils d'effets physiologiques et ainsi permettre à la faune aquatique de s'éloigner sans danger de la source de bruit. 	Chapitre 03 - Environnement sonore (Englobe, 2020) et chapitre 08 - Environnement sonore subaquatique (Englobe, 2020)
	Si un arrêt de plus de 20 minutes est anticipé entre deux périodes d'enfoncement de pieux ou de palplanches, effectuer à nouveau la procédure de démarrage progressif.	NA	Les pieux sont situés en arrière-quai et ne seront pas problématiques au niveau des sons subaquatiques (les caissons de béton et l'imposant remblai constitueront un bouclier avant d'atteindre le milieu aquatique).	
Fermeture temporaire de chantier	Stabiliser et protéger temporairement les sols perturbés présentant un risque d'érosion et de transport des sédiments vers le milieu aquatique à l'aide de méthodes adaptées au site, à la durée de la fermeture du chantier et à la période de l'année.	X	Des mesures sont effectivement prévues par l'APQ afin de réduire les impacts des travaux du chantier sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Les principales mesures proposées sont présentées dans le chapitre 06 des réponses à la deuxième demande d'informations supplémentaires de l'AEIC. Ce document évoque également le programme de surveillance qui permettra de valider l'efficacité des mesures et veillera à assurer un entretien régulier des infrastructures et équipements mis en place.	Chapitre 07 - Sols et eau souterraine (Englobe, 2020) et Chapitre 06 - Qualité de l'eau de surface (Englobe, 2020)
	S'assurer que les mesures mises en place pour limiter l'apport de sédiments provenant du chantier vers le milieu aquatique fonctionnent adéquatement et que leur entretien est effectué avant la fermeture du chantier.	X	Des mesures sont effectivement prévues par l'APQ afin de réduire les impacts des travaux du chantier sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Les principales mesures proposées sont présentées dans le chapitre 06 des réponses à la deuxième demande d'informations supplémentaires de l'AEIC. Ce document évoque également le programme de surveillance qui permettra de valider l'efficacité des mesures et veillera à assurer un entretien régulier des infrastructures et équipements mis en place.	Chapitre 06 - Qualité de l'eau de surface (Englobe, 2020)

Annexe B. Note technique de SNC Lavalin fournissant les détails de certaines mesures d'atténuation qui seront mises en place lors de la construction du projet Laurentia



Administration Portuaire de Québec

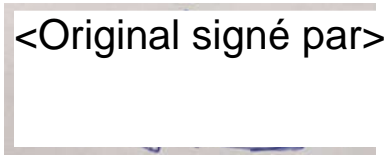
Laurentia – Terminal de conteneurs en eaux profondes
Secteur Beauport, Québec

Projet J-4177

NOTE TECHNIQUE MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Dossier 651596-0000-40EN-0010_00

Le 22 Mars 2021

<i>Préparée par:</i>	Gabriel Mercier Drouin, ing., MBA <i>Chargé de projets, Ingénierie des infrastructures – Est du Canada Ingénierie, conception et gestion de projet</i>	Signature  <Original signé par>
<i>Révisée et Approuvée par :</i>	René Laviolette, ing. Directeur de projet, Responsable Portuaire et Maritime <i>Ingénierie des infrastructures – Est du Canada Ingénierie, conception et gestion de projet</i>	Signature

LISTE DES RÉVISIONS

Révision				Pages Révisées	Remarques
No.	Par	App.	Date		
PA	G.M.D.	R.L.	04/03/2021		Émis pour coordination interne
PB	G.M.D.	R.L.	05/03/2021		Émis pour commentaires client
PC	G.M.D.	R.L.	17/03/2021		Émis pour commentaires client
00	G.M.D.	R.L.	22/03/2021		Émission finale

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	PORTÉ DU MANDAT	1
3.	PRINCIPAUX ENJEUX ET SOLUTIONS PROPOSÉES	1
3.1.	RÉDUCTION DES MES (Matière en suspension) LORS DE LA CONSTRUCTION.....	1
3.1.1.	Modification de la granulométrie des matériaux d’emprunt	1
3.1.2.	Utilisation d’écrans bulles d’air (ABS: Air Bubble Screen).....	5
3.1.3.	Séquence de construction et stratégie de confinement lors de la construction	7
3.1.4.	Mesures d’atténuation concernant le poisson et son habitat	10

FIGURES

Figure 1-Noyau de la digue de retenue	2
Figure 2-Remblai à l’arrière des caissons et séquence de construction	2
Figure 4 -Confinement des matériaux de remblai de l'arrière -quai.....	4
Figure 5-Convoyeur mobile avec chute.....	4
Figure 6-Fonctionnement du rideau à bulles	6
Figure 7-Rideau à bulles placé entre deux caissons	7
Figure 8-Combinaison de deux rideaux à bulles	7
Figure 9 --Séquence de construction des ouvrages de confinement.....	8
Figure 10 --Arrangement général du bassin de rétention des matériaux dragués	8

ANNEXES

Annexe A – Tableau résumé des remblais-déblais

Annexe B - Section type caisson

1. INTRODUCTION

L'Administration Portuaire de Québec (APQ) a mandaté SNC Lavalin inc. (SNCL) pour réaliser les plans et devis pour soumission de la partie maritime et civil dans le cadre du projet de construction du nouveau terminal de conteneurs en eau profonde Laurentia.

Suite à l'émission des différents livrables et dans le cadre du processus de bonification du projet, l'APQ a entrepris des consultations avec le Ministère des Pêches et Océans pour s'assurer que les concepts mis de l'avant tiennent compte des meilleures pratiques de construction à déployer pour atténuer au maximum les impacts du projet sur l'habitat du poisson. À travers les sessions de consultation, certains éléments d'amélioration ont été suggérés.

Ainsi, l'APQ, SNCL et les différents consultants spécialisés en habitat du poisson ont travaillé en collaboration et apporté des modifications au concept original pour réduire les impacts lors de la construction.

2. PORTÉ DU MANDAT

Le présent document a pour but d'aborder les différentes pistes de solutions évaluées pour réduire la mise en suspension des sédiments (MES) lors de la construction dans l'habitat aquatique et pour éviter au maximum les effets sur les poissons. L'approche générale suggérée consiste à :

- Revoir la séquence des travaux pour réaliser les travaux en eaux à l'extérieur de la période de restriction évoquée par le MPO (travaux permis entre le 1er octobre et le 30 avril) ;
- Confiner la zone de remblayage à l'aide d'une digue temporaire pour isoler le milieu aquatique des travaux de remblayage de l'arrière-quai ;
- Revoir la granulométrie des matériaux déposés dans le milieu aquatique pour en retirer les éléments les plus fins ;
- Mettre en œuvre des mesures de mitigations efficaces pour faire le remblayage arrière des caissons pour en assurer la stabilité suite à leur mise en place dans la période d'avril à décembre. Ces travaux pourraient être réalisés durant la période de restriction.

Pour l'ensemble des travaux en eaux, il importe de préciser que l'APQ réitère son engagement d'éviter les périodes sensibles associées à la reproduction du bar rayé et la présence de jeunes poissons de l'année, c'est-à-dire à ne réaliser aucun travail sur fond marin entre le 18 mai et le 15 juin, puis du 1er au 31 juillet.

3. PRINCIPAUX ENJEUX ET SOLUTIONS PROPOSÉES

3.1. RÉDUCTION DES MES (Matière en suspension) LORS DE LA CONSTRUCTION

3.1.1. Modification de la granulométrie des matériaux d'emprunt

Les deux principaux matériaux d'emprunts sujets à générer des MES lors de la construction sont le noyau de la digue de retenue (0-300mm) ainsi que les matériaux de remblai à l'arrière des caissons (0-150mm). Les figures suivantes présentent des vues en coupe des éléments en question.

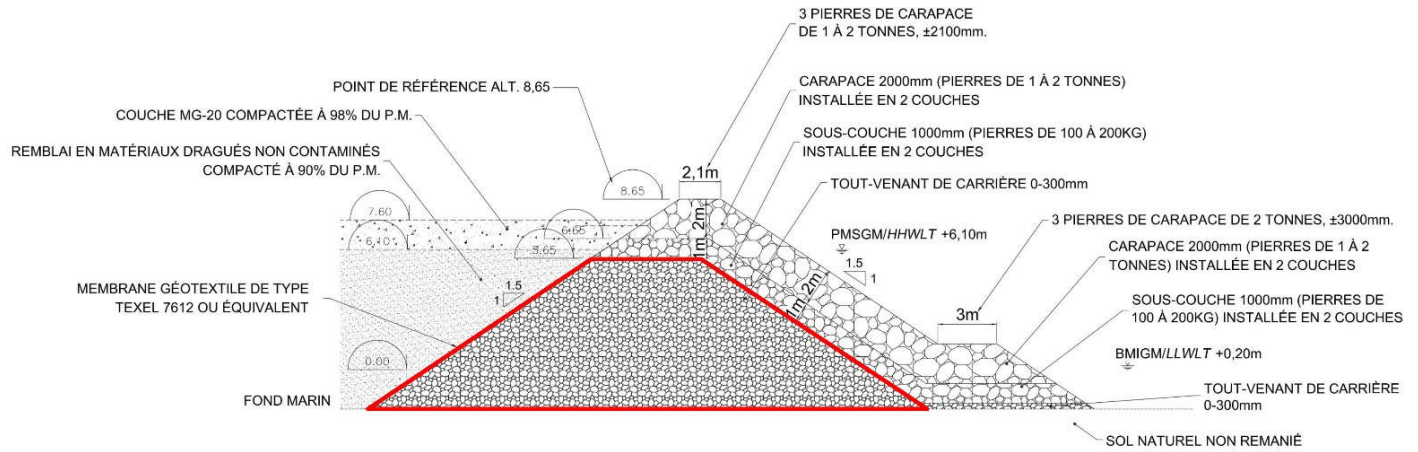


Figure 1-Noyau de la digue de retenue

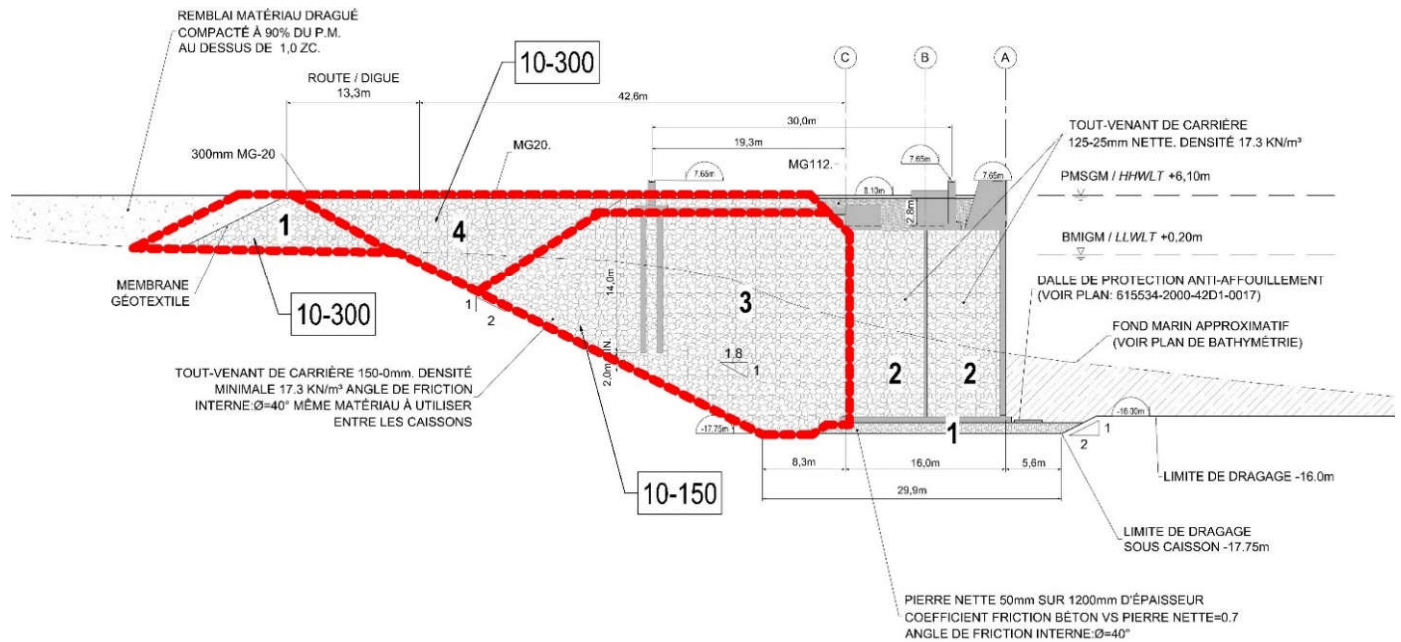


Figure 2-Remblai à l'arrière des caissons et séquence de construction

Nous recommandons de modifier la granulométrie de ces matériaux pour limiter la proportion de particules fines susceptibles de créer un panache et une sédimentation. On préconise l'utilisation de matériaux avec une taille minimale de 10 mm, soit du 10-300mm pour le noyau de la digue et du 10-150mm pour le remplissage arrière des caissons. On peut s'attendre à ce qu'il y reste un faible résidu de particules fines (poussière) à la surface des granulats. Des essais en laboratoire sur des échantillons représentatifs pourraient être faits pour déterminer le volume de particules fines associées.

Enfin, au point de vue structural et technique, si la granulométrie est bien étalée, sans discontinuité et avec un coefficient d'uniformité (D_{60}/D_{10}) ≥ 8 , les propriétés et fonctions de ces ouvrages n'en seront pas affectés.

La séquence de construction montrée à la figure 2 se détaille comme suit :

1. Installation du lit de pierre nette 50mm et construction de la digue de retenue temporaire en matériaux 10-300mm
2. Remblai des cellules des caissons de béton en matériaux 25-125mm.
3. Remblais à l'arrière des caissons des matériaux 10-150mm
4. Remblais de la zone résiduelle de l'arrière quai avec des matériaux 10-300mm

Il est important de noter que les zones 3 et 4 doivent être remblayées avant la mise en place des pieux.

La méthode de mise en place des matériaux au chantier a un impact sur la génération de MES. Celle-ci doit être choisie et contrôlée de façon à limiter la vitesse de mise en place des agrégats composant les matériaux techniques constituant les ouvrages. Un équilibre entre productivité et taux de MES devra être continuellement surveillé par l'entrepreneur pour assurer le respect de la limite acceptable fixée.

Afin de limiter le soulèvement des sédiments créant les MES, il est proposé que les matériaux soient déchargés sur la partie haute de la digue, au-dessus du niveau de l'eau, et poussés vers l'avant avec un bélier mécanique. Ainsi, les matériaux 10-300 mm pour la construction du noyau de la digue seront acheminés par camions et mis en place à l'aide de béliers mécaniques.

Cette méthode de construction réduit la vitesse de dépôt des matériaux dans l'eau et fond marin et par le fait même la turbidité. On estime une productivité d'environ 3 000 m³/jour.

La période de réalisation de ces travaux est prévue d'octobre à décembre.

La majorité des matériaux 10-150 mm utilisés pour le remblayage à l'arrière des caissons ainsi que pour la digue de retenue temporaire seront placés de la même façon que les matériaux 10-300 mm, soit transportés par camion et placés à l'aide de béliers mécaniques.

Pour la mise en place à l'arrière des caissons, l'entrepreneur a aussi la possibilité d'acheminer les matériaux par voie maritime à l'aide de barges ou bateaux. Advenant le cas, celui-ci devra utiliser un dispositif qui permet de déposer les matériaux le plus près possible du fond marin pour réduire la vitesse de chute et ainsi limiter la turbidité. Il pourrait s'agir d'un convoyeur avec un dispositif de chute qui dirige les matériaux en profondeur.

Aussi, dans la séquence imposée par l'ingénieur concepteur, l'entrepreneur doit remblayer l'arrière du caisson une fois que celui-ci est positionné et rempli afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage. Ainsi, la zone de remblai

entre la digue de retenue temporaire et l'arrière des caissons sera remblayée graduellement suivant l'avancement de l'installation des caissons. De cette façon, les matériaux de remblai se trouvent à être confinés entre la digue et le caisson ce qui limite la dispersion des sédiments.

En complément, nous proposons l'ajout d'un rideau de bulle d'air à l'exutoire de la zone confinée de manière à réduire la dispersion des MES. La section 3.1.2 explique en détail les caractéristiques techniques de l'utilisation du rideau de bulle pour réduire la propagation de la turbidité. Des essais pourront aussi être faits une fois que nous aurons un échantillon représentatif de la carrière qui fournira les matériaux. La production journalière pour cette activité est estimée à environ 2 500 à 3 000 m³/jour.

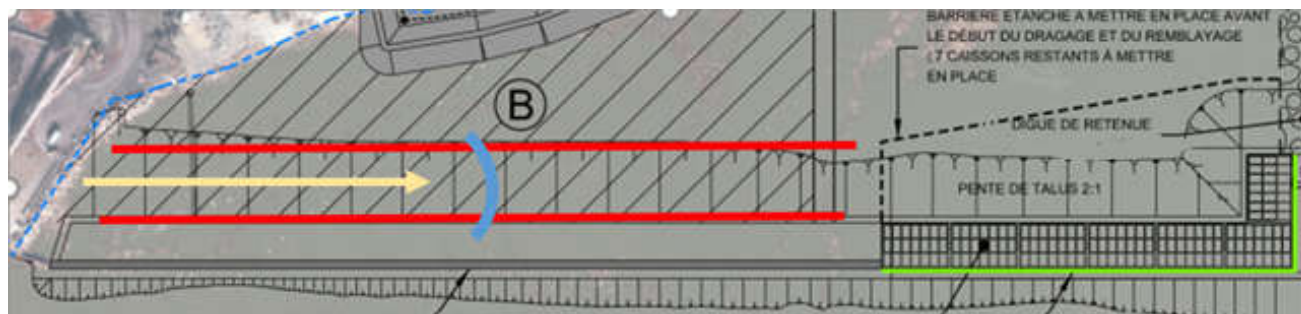


Figure 3 -Confinement des matériaux de remblai de l'arrière -quai

L'échéancier de réalisation prévoit que ces travaux seront exécutés d'avril à novembre, en respectant les périodes de restriction du 18 mai au 15 juin, puis du 1er au 31 juillet.

Le remplissage à l'intérieur des cellules des caissons de béton avec de la pierre 25-125 mm devra être fait de façon à limiter la possible formation d'un panache causé par la remise en suspension des résidus de particules fines en surface de la pierre nette. Plusieurs méthodes de construction sont envisageables par l'entrepreneur pour le remplissage des cellules, pour les fins de l'analyse nous avons considéré que les matériaux pourraient être apportés par barge et qu'un convoyeur avec un dispositif de chute permettant la mise en place des matériaux près du fond marin pourraient être utilisés. Pour les fins de compréhension du lecteur, la figure suivante présente le type d'équipement qui pourrait potentiellement être utilisé.



Figure 4-Convoyeur mobile avec chute

Aussi, l'entrepreneur pourra se munir d'un système pour gérer le débit d'eau sortant des cellules lors du remplissage si les critères de turbidité ne peuvent être respectés. Si nécessaire, l'eau sortant des cellules pourra être pompée à l'intérieur de la zone confinée pour permettre la sédimentation des particules plus fines. On évalue la productivité de remblai à environ 2 000 m³/jour.

D'autre part, l'entrepreneur devra prendre les dispositions nécessaires pour réduire le soulèvement des MES lors de la mise en place de la fondation en pierre nette 50mm sous les caissons de béton. Encore une fois, ces matériaux seront acheminés par barge et mise en place à l'aide d'un dispositif de convoyeur à chute pour placer la pierre au fond avec la plus faible énergie possible. L'opération pourrait aussi être faite avec une pelle hydraulique en prenant soins de déposer finement la pierre sur le fond marin. On évalue la productivité de remblai à environ 1 000 m³/jour.

Le tableau de l'annexe A présente un résumé de la nouvelle granulométrie proposée pour chaque type de composantes, les volumes, les méthodes de construction ainsi que les productivités associées. Aussi, on présente à l'annexe B une section type du quai et de l'arrière-quai.

3.1.2. Utilisation d'écrans bulles d'air (ABS: Air Bubble Screen)

Les activités de dragage et de remblai peuvent produire une augmentation temporaire de la turbidité locale dans l'eau environnante. La turbidité et la sédimentation accrues sur le fond pourraient avoir des impacts sur l'écosystème aquatique.

Des rideaux à bulles (Air Bubble Screen : ABS) ont été proposés comme technique pour contrôler le transport des sédiments associé aux opérations de dragage et de remblai pourraient présenter certains avantages par rapport aux rideaux à sédiments traditionnels en permettant le passage des navires et une maintenance plus faible.

Dans le cas d'une propagation d'un panache turbide, l'utilisation d'un ABS induit une circulation forcée avec une remontée du bas vers la surface, séparant ainsi les deux masses d'eau lorsque les bulles d'air s'élèvent et se dilatent à mesure que la pression hydrostatique diminue. La colonne d'air montante provoque un débit d'eau vers le haut. Lorsque l'eau qui remonte atteint la surface, elle est détournée à l'horizontale, ce qui provoque un courant de surface s'étendant dans les deux directions loin du flux vertical de bulles. Ce courant de surface généré redirige efficacement les sédiments en suspension loin des zones sensibles. Par conséquent, l'ABS réduit la dispersion du panache alors que l'advection du flux sédimentaire est diminuée par le courant de remontée au niveau de l'ABS.

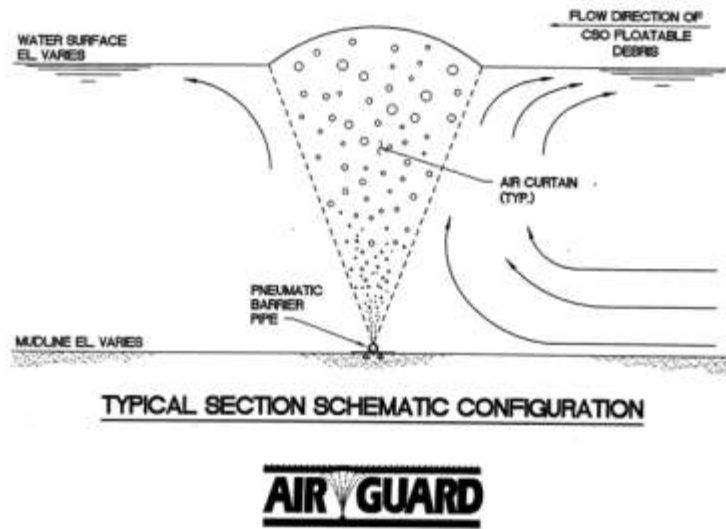


Figure D-2. Typical Bubble Screen Schematic Configuration

Figure 5-Fonctionnement du rideau à bulles

Dans un système ABS, l'ajustement du flux d'air sera fonction de la différence de densité, de la largeur d'ouverture des trous du boyau, de la hauteur de la colonne d'eau et de la vitesse d'écoulement. Les conditions du milieu vont donc déterminer la puissance et la capacité requises pour obtenir un ABS performant. Cependant, à partir d'un certain point, les conditions du milieu (principalement la vitesse du courant, mais aussi l'effet du vent) pourront devenir un facteur limitant l'efficacité de l'ABS.

Par rapport aux rideaux à sédiments, un ABS a l'avantage d'être praticable par les navires, est simple à installer (déploiement requérant moins de main d'œuvre), à utiliser et à entretenir, et son efficacité peut être ajustée en régulant le flux d'air hors du compresseur.

De plus, l'augmentation de l'oxygène dissous qui résulte peut aider à améliorer les conditions de vie dans un plan d'eau fortement pollués.

Toutefois, il a été noté que l'application d'un ABS peut être limitée ; une colonne verticale de bulles d'air n'est générée que pour des vitesses de courant relativement faibles. Inversement, pour les vitesses de courant plus importantes, la colonne de bulle d'air devient inclinée et l'efficacité du rideau à contrôler la dispersion des sédiments en suspension diminue.

Le bon débit d'air nécessaire pour former une barrière efficace est lié aux trois facteurs suivants :

- 1) Le courant de surface maximal nécessaire pour surmonter les forces du vent et les courants de marée naturels.
- 2) La quantité d'air pour surmonter la perte par les orifices de tuyaux.
- 3) La quantité d'air pour surmonter la perte de frottement.

Une revue rapide la littérature indique que des rideaux d’une longueur atteignant 920 m ont été utilisés avec succès. L’application la plus courante observée, montre l’utilisation des rideaux à bulles pour fermer des entrées de port ou de bassins.

Fig. 3 Schematic representation of the positioning of the instrumentation used to realize the air bubble screen (ABS): a positioning of the pipe by a tug and b pipe positioned on the sea bottom and connected to the compressor and the vent valve on the caissons

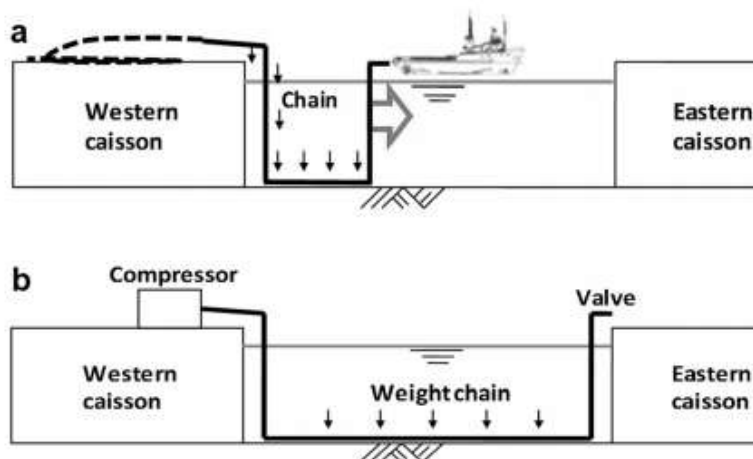


Figure 6-Rideau à bulles placé entre deux caissons

L’efficacité du système semble également être améliorée en combinant deux ABS.

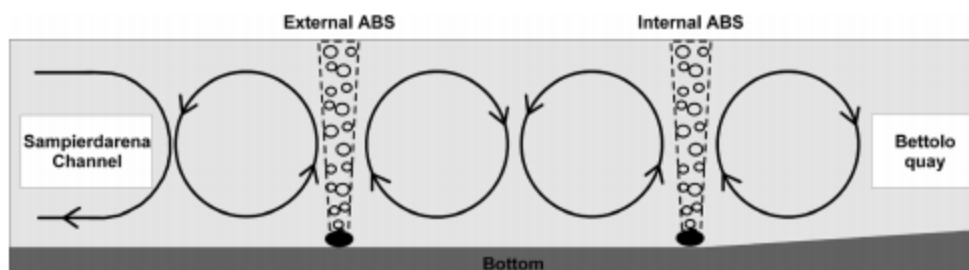


Figure 7-Combinaison de deux rideaux à bulles

Finalement, l’utilisation de l’air comprimé comme barrière de turbidité est nouvelle mais pratique, extrêmement respectueuse de l’environnement et presque sans entretien. Cependant, il y a des limites à son efficacité. S’il y a un fort courant dominant, alors l’efficacité de la barrière est réduite. Le USGS a établi que le rideau à bulle perdait en efficacité avec des vitesses de courant de l’ordre de 0,5m/s ou plus. Cette solution appert adéquate et efficace pour le remblai à l’arrière des caissons, tel que montré à la figure 3. Dans cette configuration, la zone est enclavée et l’énergie des courants est réduite significativement par la présence des caissons. Une étude hydrodynamique pourrait être envisagée pour valider ces hypothèses et évaluer l’impact des courants occasionnés par les marées.

3.1.3. Séquence de construction et stratégie de confinement lors de la construction

La séquence de construction est repensée pour limiter les MES lors des travaux. La figure 8 présente une vue d’ensemble qui illustre la stratégie d’exécution pour la mise en place des remblais.



Figure 8 --Séquence de construction des ouvrages de confinement

Voici les principales étapes proposées si le projet commençait à l'été 2022:

- a. Mobilisation de l'entrepreneur en juillet 2022, construction d'un bassin de décantation d'une capacité approximative de 141 000 m³. La quantité de stockage pourrait être augmentée à 200 000 m³ en faisant une mise en pile avec un angle de dépôt de 20 °. La figure 33 présente une vue générale de l'aménagement du bassin.

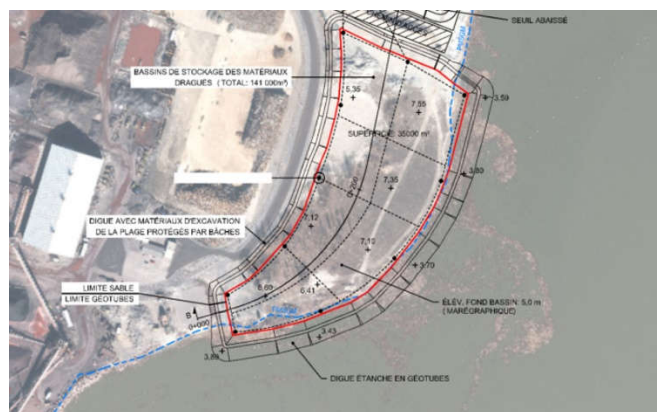


Figure 9 --Arrangement général du bassin de rétention des matériaux dragués

- b. Début des travaux de dragage sous les caissons d'octobre à la mi-décembre 2022. Quantité approximative de dragage à gérer de 200 000 m³. Le matelas de pierre nette peut suivre la séquence et se poursuivre en avril de l'année suivante en période de moindre restriction avant le placement des premiers caissons.

c. Construction en parallèle de la digue de retenue ainsi que de la digue de confinement temporaire légèrement décalée vers l'intérieur par rapport à la digue-route prévue initialement. La figure 4 montre de manière schématique l'emplacement de la digue de retenue temporaire. Aussi, on propose l'aménagement d'un seuil temporaire à l'extrémité de la digue pour permettre le libre passage de l'eau. L'emplacement du seuil reste à préciser pour éviter les habitats sensibles. Des mesures en MES seront prises régulièrement pour limiter le panache et le potentiel de sédimentation. Les seuils seront établis suivant les essais permettant de déterminer les courbes MES-Turbidité. La fermeture complète de la digue est prévue à l'hiver 2023.

Les avantages de décaler la digue de confinement vers l'intérieur sont :

- ✓ Le remblai de la digue de confinement temporaire peut se faire indépendamment du dragage et donc le premier automne.
- ✓ Les volumes de remblai pour compléter la digue temporaire jusqu'à la digue de retenue sont plus faibles et donc on peut compléter la digue d'encerclément plus rapidement. Volume approximatif de 90 000 m³ à 2500 m³/jour = +-36 jours (2 mois) vs 160 000m³ (64 jours-3 mois) avec la digue-route initiale.

Les inconvénients de décaler cette digue vers l'intérieur sont :

- ✓ On doit ajouter un volume de +- 50 000 m³ de 10-300 mm. Le matériel de dragage excédentaire, environ 50 000 m³, devra être utilisé en remblai au-dessus du niveau 6,1m.

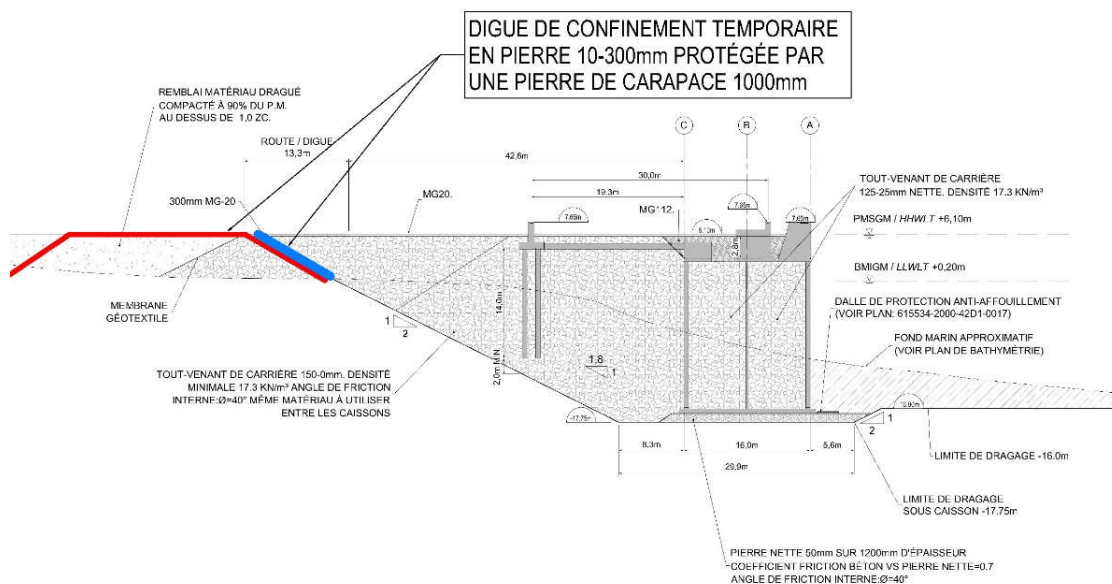


Figure 10 – Illustration de la digue de confinement temporaire

d. Placement de 8 caissons à l'année 2023 et de 7 caissons à l'année 2024 (opération d'avril à décembre).

La séquence est :

- i. Positionnement du caisson
- ii. Remblai à l'intérieur du caisson avec pierre 25-125 mm ($\pm 160\ 000\ m^3$)
- iii. Remblai à l'arrière des caissons avec pierre 10-150 mm ($\pm 400\ 000\ m^3$)

Comme mentionné au préalable, des mesures particulières seront prises pour limiter les MES lors du remblai à l'arrière des caissons en période de restriction (sauf de la mi-mai à la mi-juin et juillet au complet selon engagement de l'APQ). L'utilisation de rideaux de bulles d'air et/ou de rideaux de turbidité à l'extrémité de la ligne de caissons permettront de contrôler les MES à des niveaux bas. Les turbidimètres seront disposés en conséquence et les seuils de détection ajustés afin de tenir compte de cette période de sensibilité accrue. La mesure de contingence est simple et visera à ajuster le rythme de remblayage pour ne pas franchir le seuil de préalerte.

Finalement, un plan global de gestion des MES sera exigé de l'entrepreneur considérant la sensibilité de l'habitat aquatique.

3.1.4. Mesures d'atténuation concernant le poisson et son habitat

Afin de limiter les effets sur le poisson et son habitat, certaines mesures d'atténuation seront mises en œuvre. Entre autres, notamment en vertu de l'article 34.4 de la Loi sur les pêches, des initiatives permettant de diminuer les risques de mort du poisson sont proposées et adaptées à l'actuel scénario de construction du terminal.

Rappelons que dans le cadre des réponses à la deuxième série de question de l'AÉIC dans le cadre de l'étude d'impact, la mesure d'atténuation suivante avait été proposée¹ :

- *Réaliser des pêches d'effarouchement (booming) et de relocalisation avant la fermeture de l'enceinte de l'arrière-quai afin de limiter les mortalités de poissons à cet endroit. De plus, avant son remplissage, une vidange finale des poissons sera aussi effectuée.*

Ainsi, dans la nouvelle séquence de travaux en eau visant à mettre en place les caissons et la digue de retenue, en plus de procéder au remblayage de l'arrière-quai, cette mesure d'atténuation est à nouveau proposée. Elle devra toutefois être adaptée afin de procéder à la vidange du grand bassin sachant que l'objectif est de fermer la zone de travaux le plus rapidement possible afin de limiter des activités de remblais dans l'eau en étant exposé au milieu aquatique. Il faudra aussi tenir compte de la période hivernale.

Selon la profondeur d'eau, la granulométrie des digues et la nature des sédiments en place, diverses techniques pourront être mises à profit afin de capturer les poissons qui auraient pu être enfermés. Des techniques comportant l'utilisation d'une seine de rivage et de quelconques filets maillants pourront être utilisées afin de capturer les poissons. Peu importe l'engin, une technique similaire à l'utilisation d'une seine

¹ Englobe. 2020. *Feuillet 12 – Faune aquatique et ses habitats*. Rapport déposé à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). 367 p. + annexes.

de rivage (déploiement du filet puis referment en un point afin d'encercler les poissons) sera privilégiée. Des pêches électriques sont aussi possibles dans la mesure où la profondeur d'eau ne dépasse pas les trois mètres. Plusieurs passes pourraient être nécessaires et seront répétées jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucun poisson de capturé dans deux coups de filet ou autre effort de pêche successifs.

Une fois capturés, les spécimens seront identifiés et dénombrés, puis remis à l'eau dans le milieu aquatique dans le secteur de la plage de la Baie de Beauport. Les résultats de ces pêches seront intégrés aux rapports ou bilan de la surveillance environnementales et seront fournies aux autorités. Dans la mesure où d'espèces à statut particulier sont capturées, ces mentions seront transmises au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et au ministère de Pêches et Océans Canada (MPO).

Tout poisson retrouvé mort sera signalé au surveillant environnemental. Des photographies permettant l'identification de l'espèce seront prises et ces informations seront colligées dans le rapport de surveillance.

Fin de document

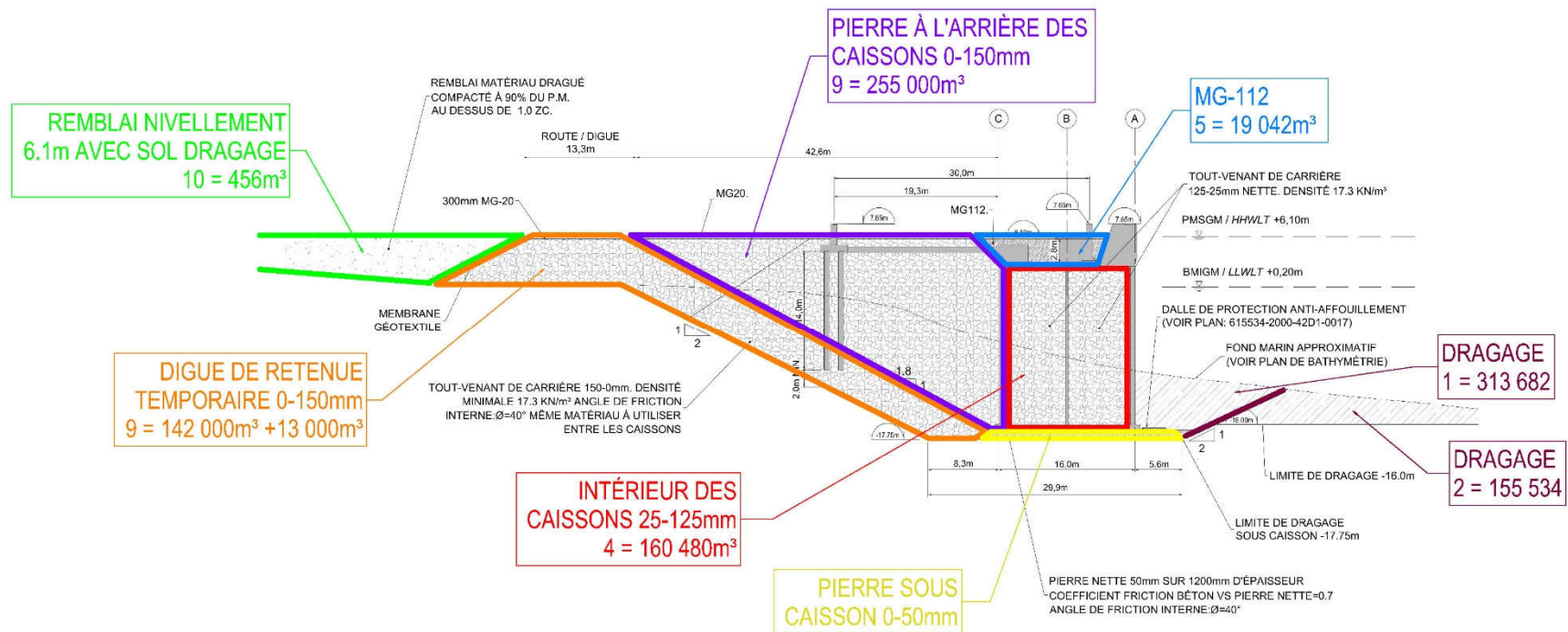
Annexe A – Tableau résumé des remblais-déblais

Annex A – Tableau résumé des remblais

ID	Types d'ouvrages	Granulométrie actuelle	Potentiel de générer des fines	Granulométrie proposée	Quantité approx. (m3)	Méthode de construction	Productivité (m³/h)	Mesure de mitigation	Potentiel de génération des fines post- mitigation	Période visée de réalisation des travaux
1	Noyau digue de retenu	0-300 mm	Élevé	10-300mm	110 000	Transport par camion et bélier mécanique	300	Modifier la granulométrie pour éviter les granulats fins	Moyen	Octobre à avril
2	Sous-Couche de la digue de retenu	1000 mm	Faible	Idem	15 000	Transport par camion et pelle hydraulique	100	Aucune	Faible	Octobre à avril
3	Pierre de carapace digue de retenu	2000 mm	Faible	Idem	30 000	Transport par camion et pelle hydraulique	100	Aucune	Faible	Octobre à avril
4	Fondation sous les caissons	50 mm nette	Faible	Idem	12 500	Transport par barge et dépôt au fond avec équipement spécialisé	100	Aucune	Faible	Octobre à avril
5	Pierre à l'intérieur des caissons	25-125 mm	Faible	Idem	160 000	Transport par barge et dépôt au fond avec équipement spécialisé	200	Méthodes de travail appropriées pour assurer de déposer dans les cellules	Faible	Avril à décembre
6	Pierre à l'arrière des caissons	0-150 mm	Élevé	10-150mm	410 000	Transport par barge et dépôt au fond avec équipement spécialisé	300	Modifier la granulométrie + confinement + Rideaux de bulles d'air	Moyen	Avril à Décembre
7	Digue de retenu temporaire	0-300 mm	Élevé	10-300mm	90 000	Transport par camion et bélier mécanique	300	Modifier la granulométrie pour éviter les granulats fins	Moyen	Octobre à avril
8	Pierre de carapace temporaire	1000 mm	Faible	Idem	9 600	Transport par camion et Pelle hydraulique	100	Aucune	Faible	Octobre à avril
9	Matériaux de dragage (remblayage)	Sable	Élevé	Idem	469 000	Dragage hydraulique et mécanique	Hydraulique (200) Mécanique (75)	Bassin de décantation +Confinement complet avec digue de retenue temporaire	Faible	Avril à décembre

Annexe B - Section type caisson

Coupe type montrant la section actuelle avant les mesures de mitigation.



Annexe C. Sommaire de l'expertise sur les populations de bars rayés des maritimes et des États-Unis fourni par les biologistes et chercheurs ayant de l'expérience avec cette espèce

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Détails concernant les professionnels consultés ayant de l'expérience sur le bar rayé en Amérique du Nord.....4

En février 2021, plusieurs professionnels œuvrant dans le domaine de la recherche et/ou de la gestion de populations de bars rayés au Canada et aux États-Unis ont été contactés afin de leur poser quelques questions ciblées sur la biologie du bar rayé durant la période de frai. Le retour de ces 10 professionnels est détaillé ci-dessous, incluant le **Tableau 1**.

Quelle est la taille moyenne des frayères du bar rayé ? Limitent-ils la fraie à une petite zone définie ou la frayère couvre-t-elle généralement des grandes sections de cours d'eau de plusieurs kilomètres ?

Les frayères de bar rayé varient largement en taille, couvrant généralement plusieurs kilomètres de rivière, et ne se limitent pas à de petites zones définies (Davin Jr. et coll. 1999, Damer comm. pers. 2021). Les frayères de l'estuaire de la rivière Miramichi dans le nord-ouest du Nouveau-Brunswick sont estimées à environ 11 km de rivière (Douglas, comm. pers. 2021), tandis que celles d'autres systèmes canadiens (c.-à-d. la rivière Saint-Jean au Nouveau-Brunswick et les rivières Shubenacadie et Stewiacke en Nouvelle-Écosse) couvrent environ 2 à 6 km de rivière (Andrews, comm. pers. 2021, Duston, comm. pers. 2021). La superficie des frayères des populations américaines varie également considérablement. Dans le cas des populations de la baie Chesapeake et de la Géorgie, les zones de fraie peuvent s'étaler sur environ 66 km (Davin Jr. et coll. 1999, Damer, comm. pers. 2021, Jennings, comm. pers. 2021, Uphoff, comm. pers. 2021).

Comment les frayères du bar rayé sont-elles délimitées (ex : clapotis en surface, capture d'œufs/larves, ratios mâle-femelle des géniteurs déséquilibrés) ? Peuvent-elles vraiment être délimitées avec précision ?

Les frayères du bar rayé peuvent être délimitées avec précision en évaluant plusieurs sources de données sur plusieurs années d'observation (Andrews, comm. pers. 2021, Uphoff, comm. pers. 2021, Rulifson, comm., pers, 2021). Les frayères sont délimitées par les éléments suivants: rassemblements récurrents et prévisibles de géniteurs mature sur plusieurs semaines, ratios mâle-femelle des géniteurs déséquilibrés, activité de surface des adultes (clapotis), capture d'œufs et de larves en grande quantité, présence de taches huileuse en surface provenant d'œufs brisés et profils de salinité de l'eau compatible avec la fraie (Davin Jr. et coll. 1999, Andrews, comm. pers. 2021, Damer, comm. pers. 2021, Douglas, comm. pers. 2021, Duston, comm. pers. 2021, Jennings, comm. pers. 2021, Uphoff, comm. pers. 2021, Rulifson, comm. pers. 2021).

Les lieux de fraie du bar rayé sont-ils les mêmes chaque année ou varient-ils en fonction du débit d'eau et/ou d'autres facteurs ?

L'emplacement des frayères du bar rayé peut varier d'une année à l'autre en fonction des conditions environnementales telles que le débit, la température de l'eau et la salinité, bien que les limites générales demeurent similaires au fil des ans (Davin Jr. et coll. 1999, Secor et coll. 2020, Andrews, comm. pers. 2021, Damer, comm. pers. 2021, Douglas, comm. pers. 2021, Duston, comm. pers. 2021, Rulifson, comm. pers. 2021). Par exemple, les frayères ont tendance à se déplacer en amont des rivières pendant les années de faible débit et en aval pendant les années à débit

plus élevé (Uphoff, comm. pers. 2021, Rulifson comm. pers. 2021). L'étendue des frayères peut également changer en fonction de la proximité des sources de zooplancton ou des changements des conditions physiques et hydrauliques dus à des perturbations naturelles ou anthropiques telles que des inondations majeures ou des opérations de barrage, comme cela a été noté sur la rivière Roanoke en Caroline du Nord (Rulifson, comm. pers. 2021). Cependant, dans certains systèmes, les changements de conditions environnementales ont tendance à influencer les périodes de frai, mais pas leur emplacement (Duston, comm. pers. 2021, Jennings, comm. pers. 2021).

Quelles sont les principales caractéristiques physiques pour identifier les frayères du bar rayé (ex : débit, salinité) ? Connaissez-vous un indice de qualité de l'habitat pour la fraie de cette espèce autres que ceux de Bain et Bain (1982) et Crance (1984) ? Sinon, quelle est l'amplitude de courants connue que cette espèce utilise pour frayer (est-elle large ou très restrictive) ?

Les bars rayés utilisent une diversité d'habitats pour la reproduction allant des rivières lentes aux systèmes de mascarets, avec des populations adaptées aux conditions hydrologiques spécifiques de chaque rivière (Paramore 1998, Andrews, comm. pers. 2021). D'autres ont noté des variations dans les lieux de fraies, au sein d'une même population, ce qui a entraîné un recrutement soutenu dans des conditions variables (Secor 2000, Secor et coll. 2020, Best, comm. pers. 2021). Cette variabilité rend difficile l'identification précise des caractéristiques physiques propices aux frayères. Néanmoins, les frayères sont généralement situées dans de l'eau douce ou à faible salinité dans les sections à haute énergie du chenal de la rivière (courant $\geq 0,3$ m/s), en amont des fronts salés (Andrews, comm. pers. 2021, Jennings. comm. pers. 2021).

La densité des œufs (et donc leur flottabilité) de chaque population de bars rayés est adaptée aux conditions spécifiques à chaque rivière pour maximiser la fraie. Ainsi, la fraie a lieu dans des secteurs spécifiques de rivière possédant les conditions hydrauliques recherchées pour assurer le transport des œufs vers les habitats d'élevage situés en aval (Manooch et Rulifson 1989, Paramore 1998, Andrews et coll. 2020). Cependant, certaines populations peuvent avoir des plages de conditions hydrauliques favorables au transport des œufs étroites. De ce fait, des écarts dus à d'importantes perturbations naturelles et anthropiques peuvent entraîner une diminution importante du succès de la reproduction (Andrews, comm. pers. 2021, Rulifson, comm. pers. 2021). Par conséquent, les modèles de qualité d'habitat propres à une population (c.-à-d. Bain et Bain 1982, Crance 1984) sont d'une pertinence limitée pour d'autres populations adaptées à des conditions hydrologiques différentes (Andrews, comm. pers. 2021).

Quelle est la distance potentielle entre les sites de rassemblement et les sites de fraie ? Ces zones sont-elles très proches ou peuvent-elles être séparées par de grandes distances ?

Les sites de rassemblement sont généralement situés près (≤ 18 km en aval) ou directement sur les frayères, comme cela a été démontré dans les rivières Saint-Jean, Miramichi, Stewiacke et dans plusieurs systèmes américains (Douglas et coll. 2009, Andrews et coll. 2020), bien que les distances puissent atteindre 200 km dans d'autres cas (O'Brien, comm. pers. 2021, Rulifson, comm. pers. 2021).

Une fois les œufs libérés, avez-vous vu des circonstances dans lesquelles les œufs et/ou larves parcourent de longues distances et atteignent tout de même des habitats productifs utilisés pour l'élevage, contribuant ainsi à la productivité de la population de manière significative ? En d'autres termes, la fraie à plusieurs kilomètres en amont des habitats d'élevage est-il une perte de temps pour le bar rayé ou ces œufs peuvent-ils encore contribuer à la productivité globale ?

Ce sont les conditions environnementales propres au système telles que le débit, la vitesse de courant, la température, l'oxygène dissous, la salinité et la pollution qui déterminent le sort des œufs et des larves dérivants, plutôt que les distances directes entre les frayères et l'habitat d'élevage (Dadswell 1976; Secor et Houde 1995; Rutherford et Houde 1995; Houde et Secor 1996; Carmichael et coll. 1998; North et Houde, 2003; Shoji et coll. 2005; Shideler et Houde 2014). Les œufs et les larves doivent rester en suspension dans l'eau douce lors de la migration vers les habitats d'alevinage. Ils dépendent des réserves limitées du sac vitellin et doivent atteindre les zones de fortes densités de zooplancton au début de l'alimentation exogène (Peterson et coll. 1996, Chick et Van Den Avyle, 1999, Jennings pers. comm. 2021). Les distances doivent être suffisamment grandes pour permettre l'éclosion des œufs (généralement 30 à 80 heures, selon la température de l'eau; Jennings, comm. pers. 2021), néanmoins, des distances plus importantes augmentent les risques liés aux changements de débit et de courants de marée transportant les larves au-delà des habitats d'élevage optimaux, en particulier dans les grands estuaires (Blumberg et coll. 2004; Dunning et coll. 2006, Andrews comm. pers. 2021).

Tableau 1. Détails concernant les professionnels consultés ayant de l'expérience sur le bar rayé en Amérique du Nord.

Nom	Titre	Lieu de Travail	Expérience avec le bar rayé
Cecil Jennings	Adjunct Professor, USGS Georgia Cooperative Fish & Wildlife Unit Leader	Warnell School of Forestry & Natural Resources, University of Georgia, Georgia, USA	A étudié les populations des rivières de la Georgie aux États-Unis
Carol Hoffman	Biologist 2 (Marine)	New York State Department of Environmental Conservation	Travail sur la population de bar rayé de la rivière Hudson aux États-Unis
Jessica Best	Fisheries Biologist, Hudson River Estuary Program/Cornell University	New York State Department of Environmental Conservation	A réalisé des relevés de terrain sur le bar rayé lors de la fraie et l'alevinage dans la rivière Hudson aux États-Unis
Jim Duston	Professor	Department of Animal Science and Aquaculture, Dalhousie University, Nova Scotia	Étudie la population de bar rayé de la rivière Stewiacke en Nouvelle Écosse
Jim Uphoff	Fisheries Biologist	US Department of Natural Resources - Maryland, USA	Expériences avec la population de bar rayé de Chesapeake Bay dans le Maryland aux États-Unis
John Damer	Field biologist	Wildlife Resources Division, Georgia Department of Natural Resources	Gère la population de bars rayés du upper Coosa River Basín (UCRB) en Georgia aux États-Unis
Michael O'Brien	Professor	Chesapeake Biological Laboratory, University of Maryland Center for Environmental Science	Expérience plus générale du bar rayé aux États-Unis
Roger Rulifson	Distinguished Professor Emeritus	Department of Biology, East Carolina University, USA	Étudie les populations de bars rayés de la côte est du Canada et des États-Unis
Samuel Andrews	Post Doc Position	Canadian Rivers Institute, University of New Brunswick	A publié plusieurs études sur le bar rayé des rivières Saint-Jean et Miramichi au Nouveau Brunswick
Scott Douglas	Aquatic Science Biologist	Fisheries and Oceans Canada, New Brunswick	Expérience avec la population de bar rayé de la rivière Miramichi

RÉFÉRENCES

- Andrews, S.N., Linnansaari, T., Leblanc, N., Pavey, S. A., Curry, R. A. 2020. Interannual variation in spawning success of striped bass (*Morone saxatilis*) in the Saint John River, New Brunswick. *River Res Applic.* 2020; 36: 13– 24.
- Bain, M. B. and J. L. Bain. 1982. Habitat suitability index models : coastal stocks of striped bass. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. FWS/OBS-82/10.1. 29 p.
- Blumberg, A. F., Dunning, D. J., Li, H., Heimbuch, D. G., Geyer, W. R. 2004. Use of a particle-tracking model for predicting entrainment at power plants on the Hudson River. *Estuaries*, 27: 515–526.
- Carmichael, J. T., Haeseker, S. L., Hightower, J. E. 1998. Spawning Migration of Telemetered Striped Bass in the Roanoke River, North Carolina, *Transactions of the American Fisheries Society*, 127(2), 286-297.
- Chick, J.H. and Van Den Avyle, M.J. 1999. Zooplankton variability and larval striped bass foraging: evaluating potential match/mismatch regulation. *Ecological Applications*, 9: 320-334.
- Crance, J. H. 1984. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: inland stocks of striped bass. USFWS FWS/OBS-82/10,85, August 1984, p. 65.
- Dadswell, M. J. 1976. Notes on the biology and research potential of striped bass in the Saint John Estuary. In *Baseline survey and living resource potential study of the Saint John River estuary. Volume III. Fish and invertebrates.* Huntsman Marine Laboratory, St. Andrews, New Brunswick.
- Davin Jr., W., J. Hodges and C. Hoffman. 1999. Evidence of Striped Bass Spawning in the Upper Coosa River Basin, Georgia. *Proc. Annu. Conf. Southeast. Assoc. Fish and Wildl. Agencies* 53:170-179.
- Douglas, S.G., Chaput, G., Hayward, J., and Sheasgreen, J. 2009. Prespawning, spawning, and postspawning behavior of striped bass in the Miramichi River. *Trans. Am. Fish. Soc.* 138: 121-134.
- Dunning, D. J., Ross, Q. E., Blumberg, A. F. and Heimbuch, D. G. 2006. “Transport of striped bass larvae out of the lower Hudson River Estuary.”. In *Hudson River fishes and their environment, Symposium 51* Edited by: Waldman, J. R., Limburg, K. E. and Strayer, D. S. 273–286. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Houde, E. D., Secor, D. H. 1996. Episodic water quality events and striped bass recruitment: larval mark-recapture experiments in the Nanticoke River: final report to Maryland Department of Natural Resources, Chesapeake Bay research and Monitoring Division. University of Maryland, Maryland, USA.

- Manooch, C.S., III and R.A. Rulifson (eds.). 1989. Roanoke River Water Flow Committee Report: A recommended water flow regime for the Roanoke River, North Carolina, to benefit anadromous striped bass and other below-dam resources and users. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC- 216.
- North, E. W. and Houde, E. D. 2003. Linking ETM physics, zooplankton prey, and fish early-life histories to striped bass *Morone saxatilis* and white perch *M. americana* recruitment. Marine Ecology Progress Series, 260: 219-236.
- Paramore, L., 1998. Age, growth, and life history characteristics of striped bass, *Morone saxatilis*, from the Shubenacadie-Stewiacke River, Nova Scotia. Master's Thesis. East Carolina University, Greenville, NC.
- Peterson, R. H., Martin-Robichaud, D. J., Berge, O. 1996. Influence of temperature and salinity on length and yolk utilization of striped bass larvae. Aquaculture International 4, 89–103.
- Rutherford, E. S., Houde, E. D. 1995. The influence of temperature on cohort-specific growth, survival and recruitment of larval striped bass, *Morone saxatilis*, in Chesapeake Bay. Fishery Bulletin 93:315–332.
- Secor, D., M. O'Brien, B. Gahagan, D. Fox, A. Higgs and J. Best. 2020. Multiple spawning run contingents and population consequences in migratory striped bass *Morone saxatilis*. PLoS ONE 15(11): e0242797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242797>.
- Secor, D. H. 2000. Spawning in the nick of time? Effect of adult demographics on spawning behaviour and recruitment in Chesapeake Bay striped bass. – ICES Journal of Marine Science, 57: 403-411.
- Secor, D. H., Houde, E. D. 1995. Temperature effects on the timing of striped bass egg production, larval viability, and recruitment potential in the Patuxent River (Chesapeake Bay). Estuaries 18 (3), 527-544.
- Shoji, J., E. W. North, and E. D. Houde. 2005. The feeding ecology of white perch *Morone americana* (Pisces) larvae in the Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum: the influence of physical conditions and prey concentrations. Journal of Fish Biology 66: 1328-1341.
- Shideler, A.C., Houde, E.D. 2014. Spatio-temporal Variability in Larval-Stage Feeding and Nutritional Sources as Factors Influencing Striped Bass (*Morone saxatilis*) Recruitment Success. Estuaries and Coasts 37, 561–575.

Communications personnelles

- Andrews, S. 2021. Post Doc at the Canarian Rivers Institute, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 3 mars 2021.

- Best, J. 2021., Fisheries Biologist, Hudson River Estuary Program/Cornell University - Division of Marine Resources, New York State Dept. of Environmental Conservation, New Paltz, NY, USA. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 2 mars 2021.
- Damer, J. 2021. Fisheries Biologist, Wildlife Resources Division, Georgia Dept. of Natural Resources, Armuchee, GA. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 3 mars 2021.
- Douglas, S. 2021. Aquatic Science Biologist chez Pêches et Océans Canada, Moncton, New Brunswick. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 26 février 2021.
- Duston J., Professor at Dept. of Animal Science and Aquaculture, Dalhousie University, Halifax, NS, Canada. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 25 février 2021.
- Jennings, C. 2021. Adjunct Professor, USGS Georgia Cooperative Fish & Wildlife Unit Leader, Warnell School of Forestry & Natural Resources, University of Georgia, Georgia, USA. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 3 mars 2021.
- O'Brien M., 2021. Professor, Chesapeake Biological Laboratory, University of Maryland Center for Environmental Science, Solomons, Maryland, USA. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 3 mars 2021.
- Rulifson, R. 2021. Distinguished Professor Emeritus, Department of Biology, East Carolina University, Greenville, NC, USA. Conversation téléphonique avec Englobe en janvier 2021.
- Uphoff, J. 2021. Fisheries Biologist, Project Leader, US Department of Natural Resources, Maryland, USA. Communication par courriel avec Isabelle Girard d'Ecofish Research Ltd. le 3 mars 2021.

Annexe D. Note technique de Lasalle "Port de Québec – Projet Laurentia - Modélisation hydraulique – Analyse des vitesses d’écoulement pré- et post-aménagement dans la zone de frai du bar rayé – Référence Lasalle 08006499 - Rapport R0341"



Lasalle | NHC Ref. No. 08006499

3 mars 2021

Englobe

1001, rue Sherbrooke, bureau 600
Montréal (Qc)
H2G 2S2

Attention: **Jean Carreau, Biologiste**
Professionnel senior en environnement

Via email: Jean.Carreau@englobecorp.com

Re: Port de Québec – Projet Laurentia - Modélisation hydraulique – Analyse des vitesses d'écoulement pré- et post-aménagement dans la zone de frai du bar rayé – Référence Lasalle 08006499 - Rapport R0341

1. SIMULATION HYDRODYNAMIQUE

Les résultats de modélisation de la marée de vive-eau de début juin 2019 réalisée dans le cadre d'un mandat antérieur ont été utilisés afin de calculer les statistiques de superficie et de vitesse présentées dans cette note technique. Plus précisément, une fenêtre de 12.5 h (cycle de marée) s'étalant de 4h15 à 16h45 le 5 juin 2019 (HNE) est considérée pour les calculs statistiques. À cet effet, ces calculs ont été réalisés en utilisant les résultats de modélisation en conditions actuelles en premier lieu, puis en conditions futures en second lieu.

2. STATISTIQUES DE SUPERFICIE ET DE VITESSE D'ÉCOULEMENT

Tel qu'illustré sur la figure 1, deux zones de frai du bar rayé sont considérées dans le calcul statistique. Une petite portion de la deuxième zone de frai est d'ailleurs chevauchée par l'extension portuaire en conditions futures. Ces délimitations des zones de frai proviennent du shapefile :

- Englobe_MOSA_Kernel_50_2018

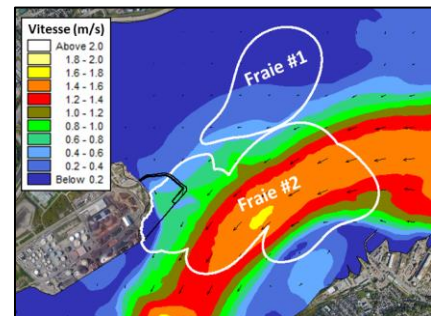


Figure 1 : Zones de fraie du bar rayé

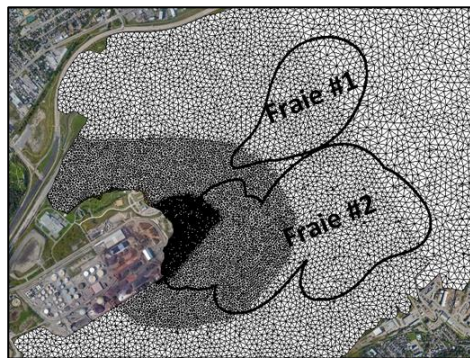


Figure 2 : Maillage du modèle

En premier lieu, seule les mailles du modèle localisées dans la première zone de frai sont considérées pour le calcul statistique. Pour un pas de temps donné en conditions actuelles, les mailles respectant un critère de vitesse minimum sont identifiées, puis comptabilisées afin de calculer la superficie de la zone de frai qui respecte un critère de vitesse minimale. Ce même calcul est ensuite répété en considérant divers seuils de vitesse minimale (0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 et 2 m/s). Une telle opération permet de déduire des superficies occupées par diverses gammes de vitesse (0.3 à 0.5 m/s par exemple).

Les calculs de superficie par gammes de vitesse sont ensuite répétés pour la totalité des pas de temps (intervalle de 5 minutes) entre 4h15 et 16h45 et ce, à l'aide d'un code Matlab. Ce même procédé est ensuite répété en utilisant les résultats de modélisation de la condition future, soit en présence de l'extension portuaire. Par la suite, l'ensemble des étapes sont répétées pour la deuxième zone de frai (en conditions actuelles et futures). Finalement, les résultats obtenus pour la zone #1 et ceux de la zone #2 sont additionnés pour obtenir un dernier jeu de résultats combinant ces deux zones de frai.

3. RÉSULTATS

Les figures 3 à 5 permettent de comparer les superficies par gammes de vitesse entre les conditions actuelles et futures :

- Figure 3 : Comparaison entre les conditions actuelles et futures pour la zone de frai #1
- Figure 4 : Comparaison entre les conditions actuelles et futures pour la zone de frai #2
- Figure 5 : Comparaison entre les conditions actuelles et futures pour le cumulatif des zones de frai #1 et #2

Il est à noter que la superficie occupée par l'extension portuaire en conditions futures n'est pas comptabilisée dans les statistiques de superficie de gammes de vitesses (puisque cette zone est toujours exondée). Pour cette raison, une différence d'environ 8 ha existe entre la superficie occupée par la zone de frai #2 en conditions actuelles par rapport à celle occupée par cette même zone en conditions futures.

Les figures 3 à 5 montrent que les différences au niveau des superficies par gamme de vitesse sont plus significatives dans la zone de frai #1 (figure 3) que dans la zone #2 (figure 4). Ces différences sont somme toute relativement faibles au niveau du cumulatif des zones de frai #1 et #2 (figure 5).

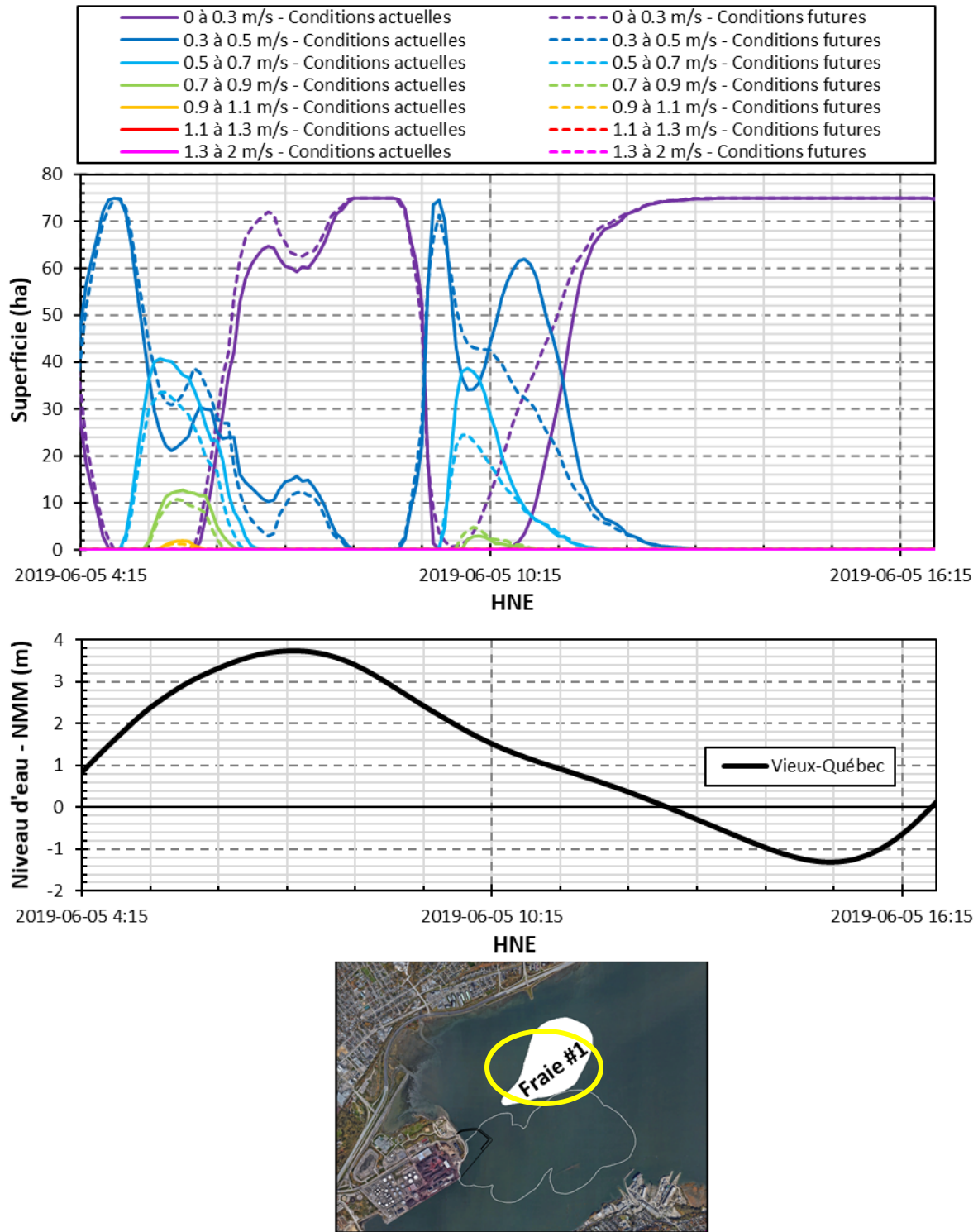


Figure 3 : Résultat de superficie par gammes de vitesse – Zone de fraie #1

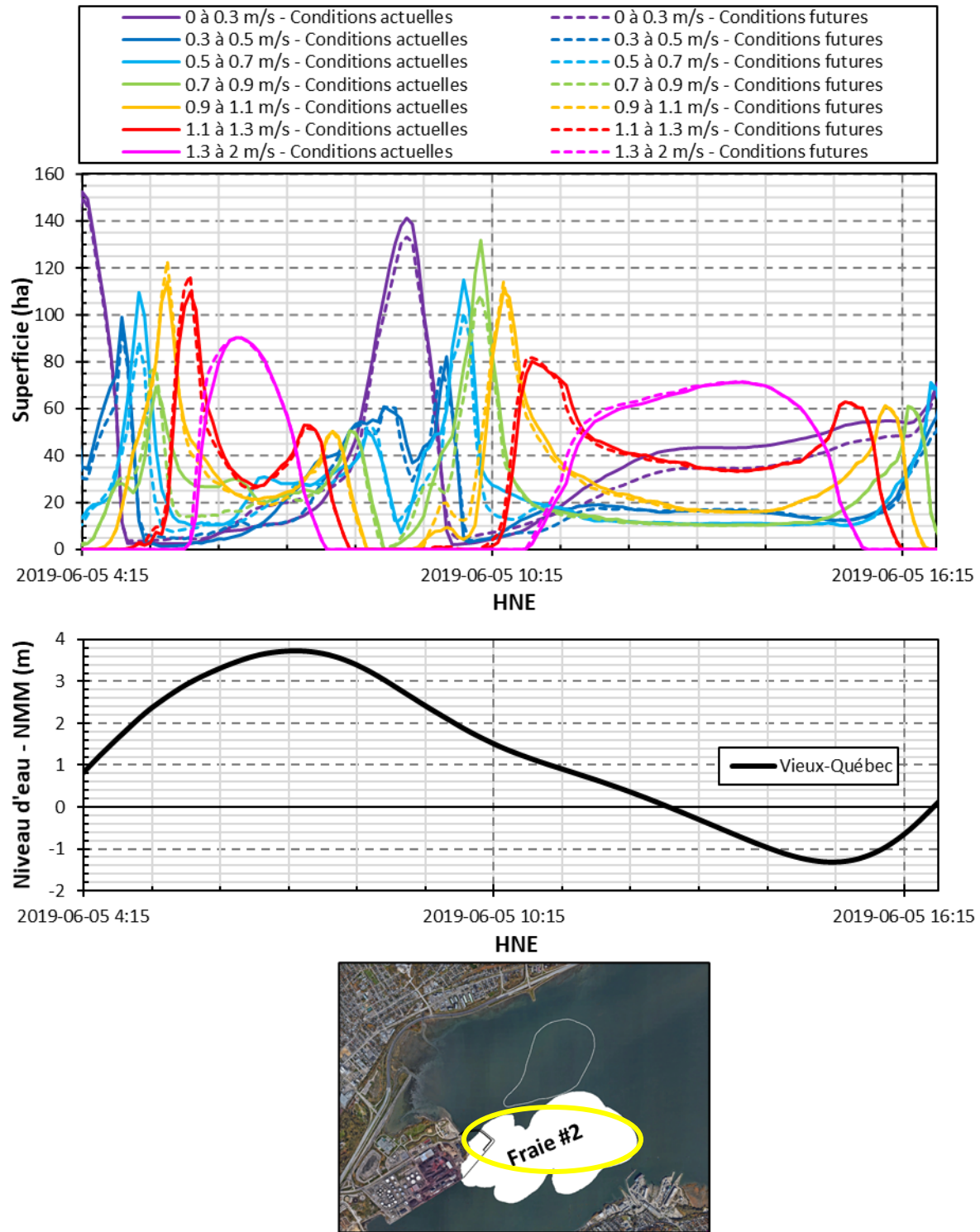


Figure 4: Résultat de superficie par gammes de vitesse – Zone de fraie #2

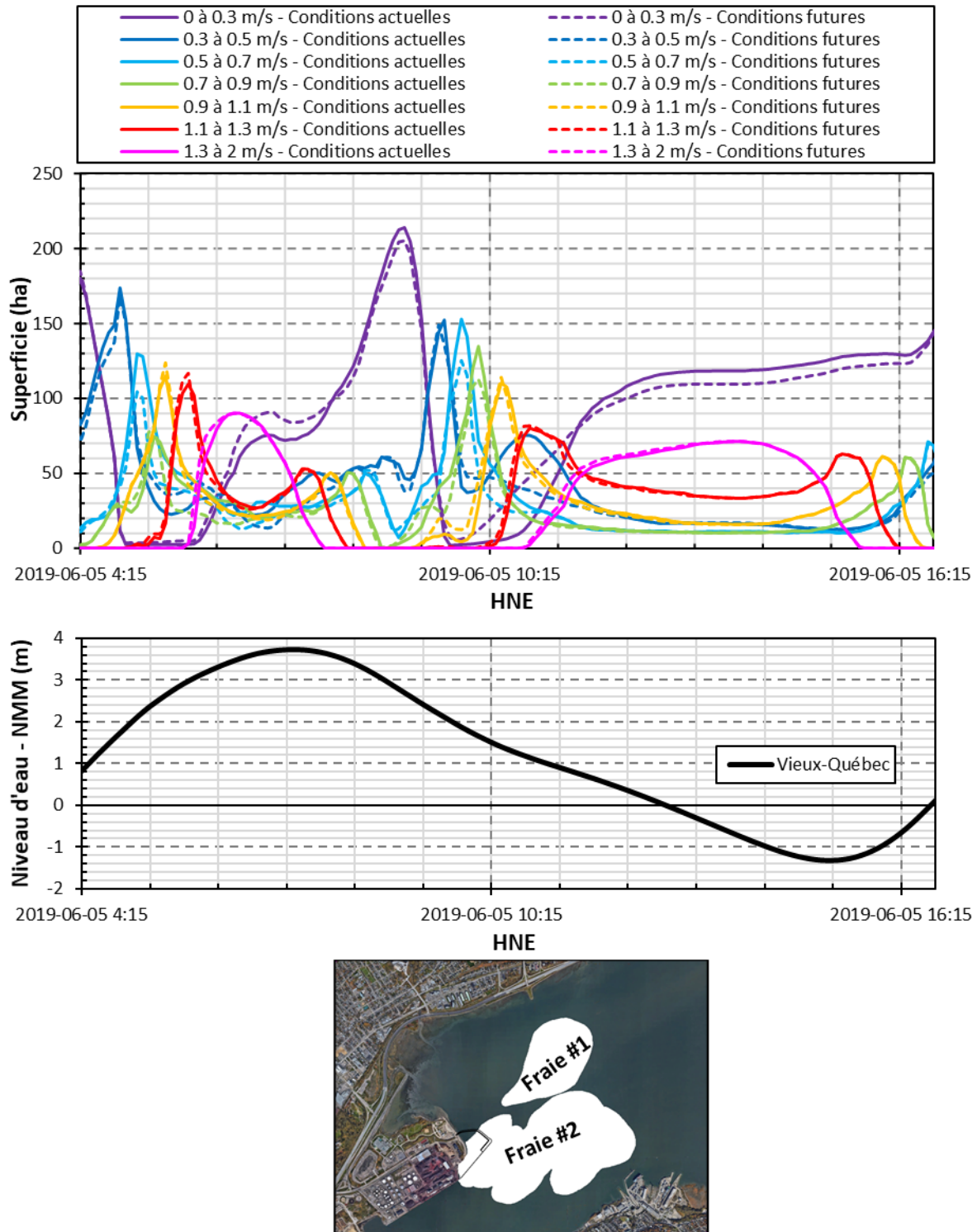


Figure 5: Résultat de superficie par gammes de vitesse – Zones de fraie #1 & #2

Annexe E. Variation de superficies disponibles sur un cycle complet de marée de 24 heures le 5 juin 2019, par classe de vitesse de 0,2 m/s (à l'exception de la classe 1,3 à 2 m/s) avant (conditions actuelles) et après la mise en place du projet Laurentia (conditions futures)

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Variation de superficies disponibles sur un cycle complet de marée de 24 heures le 5 juin 2019, par classe de vitesse de 0,2 m/s (à l'exception de la classe 1,3 à 2 m/s) avant (conditions actuelles) et après la mise en place du projet Laurentia (conditions futures)...2
- Figure 2. Zone de modélisation hydraulique dans la pointe portuaire de Québec.....3

Figure 1. Variation de superficies disponibles sur un cycle complet de marée de 24 heures le 5 juin 2019, par classe de vitesse de 0,2 m/s (à l'exception de la classe 1,3 à 2 m/s) avant (conditions actuelles) et après la mise en place du projet Laurentia (conditions futures).

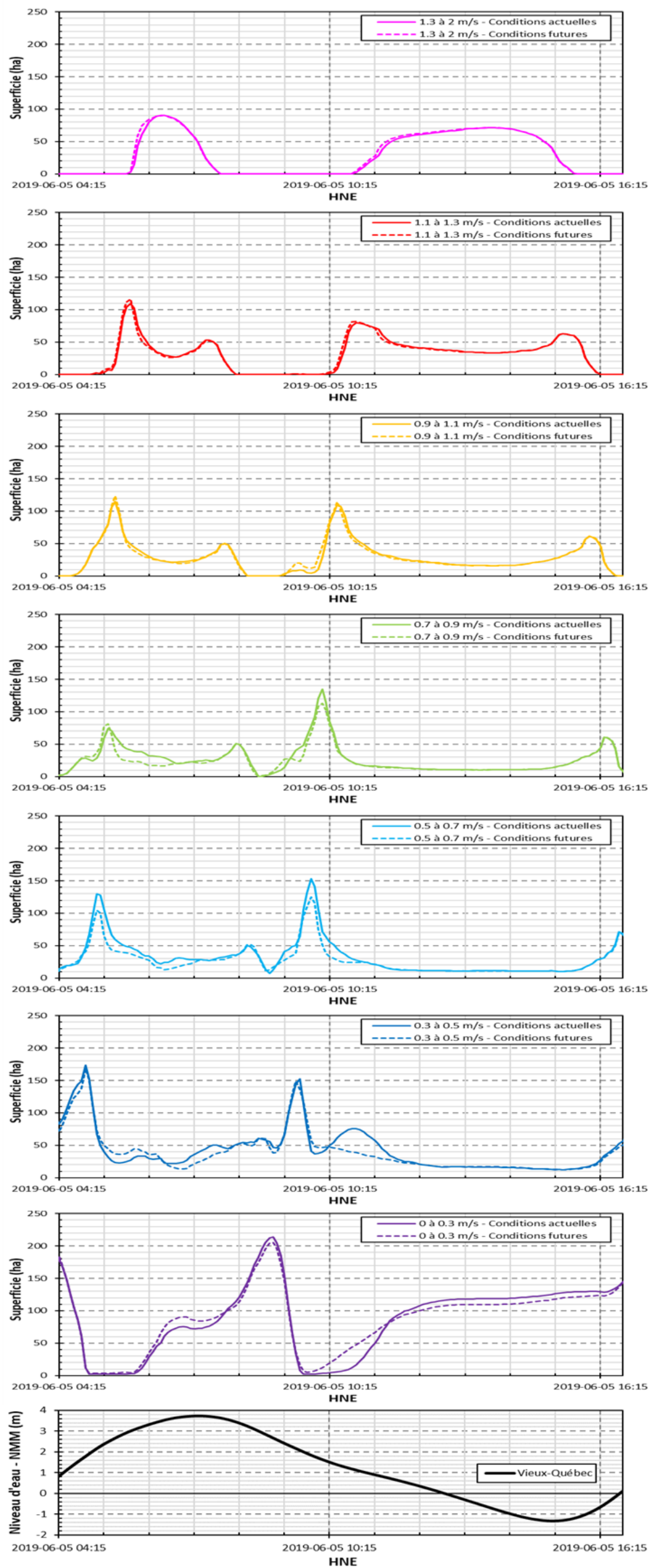


Figure 2. Zone de modélisation hydraulique dans la pointe portuaire de Québec.

