

Modélisation multi-agent de la navigation de plaisance dans l'habitat estival du béluga du Saint-Laurent

Date début du projet : Trimestre Hiver 2020 (Janvier 2020)

Date de fin prévue : Trimestre Automne 2023 (Décembre 2023)

Mise en contexte/résumé :

En période estivale, l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent ainsi que le Saguenay satisfont grand nombre de plaisanciers naviguant à travers ce milieu. Durant cette même période, la population de bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) se concentre également au même endroit. Les activités humaines, telle que la navigation de plaisance, interagissant avec des composants naturels, telle que la population de bélugas de l'ESL, décrivent le couplage des systèmes sociaux et écologiques. En effet, la navigation de plaisance introduit une pression supplémentaire dans l'habitat estival du béluga, notamment par la production de bruit sous-marins. Ces bruits produits peuvent résulter en un masquage auditif, ce qui affecte le comportement des bélugas. Les modèles multi-agents constituent un outil permettant d'améliorer la compréhension des systèmes socio-écologiques (SSE), offrant un cadre efficace pour représenter les interactions dynamiques entre les agents du système. De plus, ils permettent d'établir des prédictions donnant lieu à une gestion réfléchie et adaptée du système. Bien que plusieurs études aient mis en évidence les impacts de la navigation commerciale au sein du Saguenay Saint-Laurent (SSL), la navigation de plaisance est le segment le moins bien documenté. De ce fait, le projet a pour but principal de comprendre le comportement des plaisanciers sur le SSL et les facteurs entrant en jeu dans leur prise de décision afin de conceptualiser puis d'élaborer un modèle multi-agent représentant les déplacements de ces derniers au sein du SSL. Pour cela, plusieurs étapes essentielles permettront d'alimenter le modèle tout au long du projet. Tout d'abord, le premier objectif consistera à conceptualiser le modèle multi-agent représentant les plaisanciers, en définissant la structure du modèle et des agents qui le composent et en identifiant les facteurs et les théories sous-jacentes, notamment à la prise de décision, afin de les incorporer dans le modèle. Le second objectif visera à déterminer des archétypes de plaisanciers et leurs comportements. De plus, à travers le troisième objectif, les impacts acoustiques des activités de plaisance ainsi que les interactions des plaisanciers avec les bélugas dans les aires de haute résidence (AHR) seront identifiés et caractérisés. Enfin, le dernier chapitre consistera à paramétrer et valider le modèle multi-agent, puis à l'inclure dans la plateforme de simulation 3MTSim représentant les mouvements des bélugas et des quatre espèces de grands rorquals les plus fréquents dans la région ainsi que les différents segments de la navigation. En plus de fournir une vision complète du système, les impacts liés aux différents segments de la navigation pourront être évalués. Enfin, des scénarios visant à atténuer ces impacts pourront être testés.

Problématique :

Le tourisme est un moteur majeur de l'économie locale de plusieurs communautés côtières du Saguenay et de l'estuaire du Saint-Laurent (SSL) (Parrott et al., 2011). La demande croissante d'activités de loisirs de qualité exerce une pression considérable sur les ressources naturelles et leurs gestions (Romeril, 1989). Ce problème est aggravé par un manque de compréhension des interactions entre les personnes et l'environnement (Deadman et al., 1999). En effet, les activités anthropiques, comme la navigation de plaisance, peuvent être perçues par les animaux comme des stimuli menaçants, et ces derniers tenteront de minimiser leur exposition à de telles

activités ou les éviter (Semeniuk et al. 2013), ce qui peut conduire à un abandon potentiel d'habitat (Tyne et al., 2018 ; Vergara, 2019). De plus, le pic des activités de plaisance dans l'habitat essentiel du béluga du Saint-Laurent se concentrent pendant la saison estivale (juillet-août), période à laquelle les femelles mettent bas et prennent soin des nouveau-nés (Ménard et al., 2014).

Objectif général :

L'objectif général de ce projet est de développer un modèle multi-agent valide représentant les activités de plaisance dans l'habitat estival du béluga du SSL et de l'intégrer à la plateforme 3MTSim pour guider la gestion durable de ces activités. Le développement du MMA est transversal dans le projet. Tous les chapitres visent à nourrir ou valider le modèle.

Objectifs spécifiques et résultats attendus (hypothèses et prédictions) :

Tout d'abord, le premier objectif spécifique (*Chapitre 1*) consiste à conceptualiser le MMA représentant les plaisanciers. Lors de cette première étape, en plus de présenter la structure du modèle, le système et les agents seront étudiés de telle sorte que les facteurs ainsi que les théories sous-jacentes à incorporer dans le modèle soient identifiés. Les interactions entre les agents seront également conceptualisées. Les déplacements des plaisanciers au sein du SSL sont influencés par les conditions environnementales du système (*Hypothèse*). Ainsi, les conditions environnementales telles que la température, les vents, les conditions de mer, notamment les vagues et les courants seraient des variables essentielles à inclure dans le modèle multi-agent. De plus, ces variables influenceraient d'une part le nombre d'embarcations de plaisance naviguant sur le SSL (*Prédiction*) et de l'autre leurs trajectoires (*Prédiction*) et plus particulièrement celles des embarcations à voile (*Prédiction*).

Le second objectif spécifique (*Chapitre 2*) vise à déterminer des archétypes de plaisanciers et leurs comportements. En effet, il est nécessaire de créer des typologies d'agents partageant des comportements similaires afin d'obtenir une représentation plus réaliste du système. De plus, les mécanismes de prise de décision des plaisanciers seront exposés à travers ce chapitre, permettant une compréhension des facteurs influençant leurs déplacements dans les eaux du SSL. Plus précisément, les processus cognitifs entrant en jeu dans le comportement des plaisanciers seront présentés. En plus d'être définis selon les types d'embarcations utilisées, ces archétypes dépendront également des profils psychologiques des plaisanciers notamment de leurs expériences mais aussi de leurs aspirations et intentions (*Hypothèse*). De ce fait, les trajectoires des plaisanciers ayant conscience des pressions anthropiques que subissent les mammifères marins faisant partie du système, minimiseraient les impacts envers ces derniers, en s'éloignant des individus aperçus par exemple (*Prédiction*). Au contraire, les plaisanciers ayant une attitude prônant l'« anti-autorité » n'appliqueraient pas le règlement du Parc Marin du Saguenay Saint-Laurent (PMSSL) notamment le maintien d'une vitesse constante entre 5 et 10 nœuds lorsqu'un groupe de béluga est à moins d'un demi-mille marin (DORS/2016-257, art. 15) (*Prédiction*).

Le troisième objectif spécifique de ce projet (*Chapitre 3*) est d'identifier les impacts acoustiques liés aux activités de plaisance ainsi que les interactions entre bélugas et plaisanciers dans les AHR, zones présentant un habitat bénéfique pour les individus les visitant (Lefebvre et al., 2012). En fait, il est nécessaire d'identifier les zones de fortes cooccurrences entre plaisanciers et bélugas afin de déterminer le degré de chevauchement de ces derniers pour être en mesure d'évaluer les impacts, notamment sonores, liés à ces interactions. Les bélugas ont tendance à

augmenter leur temps de plongée et/ou à quitter la zone lorsque des embarcations à moteur naviguent à proximité (*Hypothèse*) (Krasnova et al., 2020). Par conséquent, une faible densité de bélugas devrait être observée dans des zones présentant de fortes activités de plaisance (*Prédiction*). De même, un effet d'évitement ou d'abandon temporaire des bélugas peut être observé lorsque la présence d'embarcations de plaisance augmente. Le type d'embarcation étant probablement un facteur influençant ces départs (*Prédiction*). De plus, la cohésion ainsi que la dynamique de déplacement au sein d'un groupe semblent être influencées par la présence d'embarcation (*Hypothèse*) (Blane et Jaakson, 1994). Les groupes de bélugas seraient alors plus soudés à l'approche d'un navire de plaisance (*Prédiction*) et adopteraient une vitesse de déplacement plus élevée (*Prédiction*) afin de fuir le dérangement.

Enfin, le quatrième et dernier objectif spécifique du projet (*Chapitre 4*) consiste tout d'abord à paramétrer et valider le modèle multi-agent en utilisant l'approche de modélisation par patrons (POM), puis à l'inclure dans la plateforme de simulation 3MTSim. Ensuite, des simulations seront effectuées afin d'évaluer les impacts sonores liés à la navigation de plaisance ainsi que les impacts cumulatifs de l'ensemble des segments de la navigation sur les bélugas du SSL. Le modèle permettra d'estimer quel pourcentage du bruit perçu par les bélugas provient de la plaisance. Divers scénarios, tels que la création d'aire(s) marine(s) protégée(s) inaccessible(s) pour la plaisance ou encore l'implémentation de nouvelles limitations de vitesses seront présentés et testés dans le but d'atténuer les impacts sonores reçus par les bélugas. Chaque segment de la navigation présent au sein du SSL contribue aux impacts sonores reçus par les bélugas (*Hypothèse*). La mise en place d'une aire marine protégée inaccessible pour la navigation de plaisance permettrait une diminution de la contribution sonore de ce segment de la navigation (*Prédiction*). De plus, une simulation présentant une forte concentration d'embarcations de plaisance dans une certaine zone au sein du SSL impliquerait un abandon temporaire de ce territoire de la part de la population de béluga initialement présente (*Prédiction*).

Méthodologie :

Le système socio-écologique ainsi que ses composants seront définis en suivant le cadre proposé par Ostrom (2007) et actualisé par McGinnis et Ostrom (2014). En plus de s'appuyer sur la littérature, différentes sources de données collectées depuis plusieurs années seront utilisées pour identifier les variables propres au système afin de développer le modèle multi-agent (*Chapitre 1*).

Concernant la détermination des archétypes de plaisanciers et de leurs comportements (*Chapitre 2*), un sondage mené par le ROMM en 2018 constitue une première base de données précieuse quant aux préférences et habitudes de navigation des plaisanciers du SSL. Afin d'être en mesure d'estimer ces variations, un jeu sérieux sera élaboré au moyen de la plateforme de simulation GAMA. Il sera alors possible de comprendre les mécanismes de prise de décisions du plaisancier par l'intermédiaire de choix exposés à ce dernier.

Afin d'évaluer les impacts acoustiques des activités de plaisance et leurs interactions avec les bélugas sur leurs AHR (*Chapitre 3*), des observations terrestres seront menées sur des sites connus pour présenter des cooccurrences entre bélugas et plaisanciers, et peu de navigation commerciale. Les observations seront menées à l'aide d'une station totale (Leica TS06) et de jumelles équipées d'un réticule télémétrique ainsi que d'un compas (7x50 Bushnell). L'utilisation d'une station totale permet l'enregistrement d'angles de dépression (angles de déviation verticale) et d'azimut (angles de déviation horizontale) qui, par la suite, rendent

possible l'obtention de la position exacte de l'objet visé à la surface de l'eau par l'intermédiaire de calculs trigonométriques prenant en considération la courbure terrestre et les variations de marées (Würsig et al., 1991).

Enfin, en plus des données utilisées et acquises lors des précédents chapitres permettant le développement du modèle multi-agent des plaisanciers du SSL, une collecte de données sera menée tout au long du projet faisant appel à la participation volontaire de plaisanciers.

Références :

Blane, J. M., & Jaakson, R. (1994). The impact of ecotourism boats on the St Lawrence beluga whales. *Environmental conservation*, 21(3), 267–269.

Deadman, P. J. (1999). Modelling individual behaviour and group performance in an intelligent agent-based simulation of the tragedy of the commons. *Journal of Environmental Management*, 56(3), 159–172.

Krasnova, V. V., Prasolova, E. A., Belikov, R. A., Chernetsky, A. D., & Panova, E. M. (s. d.). Influence of boat tourism on the behaviour of Solovetskiy beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Onega Bay, the White Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.

Lefebvre, S. L., Michaud, R., Lesage, V., & Berteaux, D. (2012). Identifying high residency areas of the threatened St. Lawrence beluga whale from fine-scale movements of individuals and coarse-scale movements of herds. *Marine Ecology Progress Series*, 450, 243–257.

McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework : Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2).

Ménard, N., Michaud, R., Chion, C., & Turgeon, S. (2014). Documentation of maritime traffic and navigational interactions with St. Lawrence estuary beluga (*Delphinapterus leucas*) in calving areas between 2003 and 2012. *Canadian Science Advisory Secretariat Ottawa, Canada*.

Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, no 39, p. 15181–15187.

Parrott, L., Chion, C., Martins, C. C., Lamontagne, P., Turgeon, S., Landry, J.-A., Zhens, B., Marceau, D. J., Michaud, R., & Cantin, G. (2011). A decision support system to assist the sustainable management of navigation activities in the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1403–1418.

Romeril, M. (1989). Tourism and the environment—Accord or discord? *Tourism management*, 10(3), 204–208.

Semeniuk, C. A., Musiani, M., Birkigt, D. A., Hebblewhite, M., Grindal, S., & Marceau, D. J. (2014). Identifying non-independent anthropogenic risks using a behavioral individual-based model. *Ecological Complexity*, 17, 67–78.

Tyne, J. A., Christiansen, F., Heenehan, H. L., Johnston, D. W., & Bejder, L. (2018). Chronic exposure of Hawaii Island spinner dolphins (*Stenella longirostris*) to human activities. *Royal Society open science*, 5(10), 171506.

Vergara, V. (2019). Framework for Noise-Related Metrics Ecologically Relevant for Beluga Whales, with Special Emphasis on the St Lawrence Estuary Beluga Population. *Ocean Wise Conservation Association Marine Mammal Research Program*.

Würsig, B., Cipriano, F., & Würsig, M. (1991). Dolphin movement patterns: Information from radio and theodolite tracking studies. *Dolphin Societies: discoveries and puzzles*. University of California Press, Los Angeles, CA, 79–112.



Photo 1. Matériel d'observation (Station totale à gauche et jumelles sur trépied à droite) ; photo prise au bout du quai de Rivière-du-Loup, été 2020.



Photo 2. Groupe de bélugas faisant surface au large de Rivière-du-Loup (Photo prise par Jaclyn Aubin, été 2020).

**VOUS NAVIGUEZ DANS LES EAUX DU
SAINT-LAURENT ET DU SAGUENAY ?
PARTICIPEZ À NOTRE ENQUÊTE AFIN
DE PRÉSERVER CE MILIEU NATUREL !**



REJOIGNEZ-NOUS sur la page
Navigation de plaisance - Saguenay, St. Laurent



SCANNEZ !



Votre participation volontaire permettra d'apporter des réponses au vide de connaissance concernant la plaisance, segment de la navigation très peu documenté. Toutes vos informations seront utilisées à des fins de recherche et traitées de manière confidentielle. Vous aurez également la possibilité de vous retirer à tout moment. Pour plus d'informations, n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse suivante: Plaisance.StLaurent@gmail.com

Photo 3. Affiche faisant appel à la participation volontaire des plaisanciers, disposée à tous les points de mise à l'eau bordant le Saint-Laurent et le Saguenay (*Scannez le code en bas à droite pour être dirigé vers le site internet expliquant la marche à suivre pour participer !*)

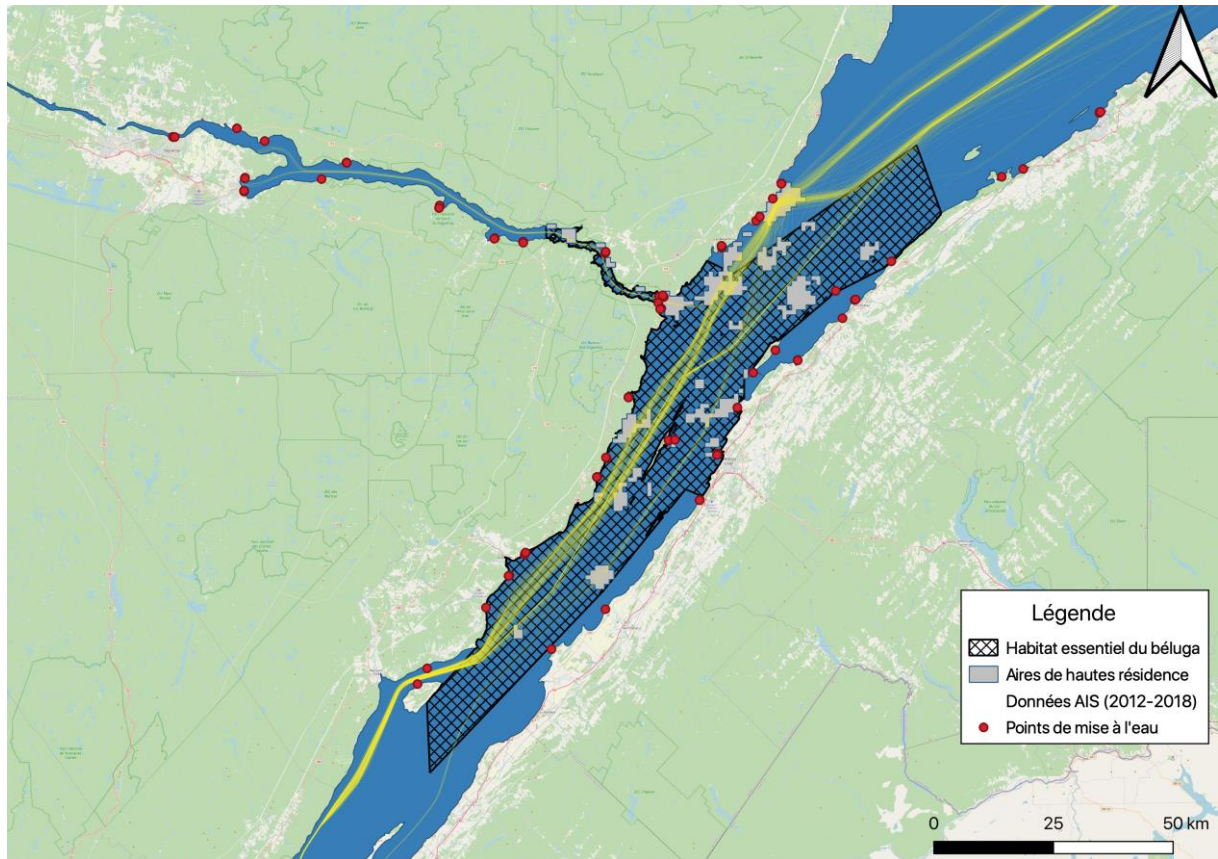


Figure 1. Zone d'étude au Québec, Canada, montrant l'habitat essentiel du béluga, ses aires de hautes résidences ainsi que les routes de navigation commerciale et les points de mise à l'eau (*mettant en lumière le chevauchement entre les activités nautiques et l'habitat essentiel du bélugas*).

Membres du labo impliqués dans le projet :

- Clément Chion en tant que superviseur du projet.
- Florence Tauc, dans le développement du jeu sérieux.

Partenaires impliqués dans le projet :

- ROMM (Réseau d'Observation des Mammifères Marins)
- GREMM (Groupe de Recherche et d'Éducation sur les Mammifères Marins)
- Ministre des Pêches, des Océans et de la Garde côtière canadienne
- Parcs Canada
- Agence Spatiale Canadienne

Organisme de financement :

Ce projet est financé par le MFFP (Ministère de la Faune, de la Flore et des Parcs).