

Modèle de qualité de l'habitat pour le hibou des marais (*Asio flammeus*) dans le Québec méridional

Septembre 2021

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS



Photographie de la page couverture :

Hibou des marais, © Claudia Siano

La version à jour de ce document est accessible à l'adresse suivante :

mffp.gouv.qc.ca/documents/faune/RA_modele-qualite-habitat_hibou_marais.pdf

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2021

ISBN (PDF) 978-2-550-90353-6

Équipe de production

Rédaction

Marie-Hélène Hachey, biologiste, M. Sc.

QuébecOiseaux

Jérôme Lemaître, biologiste, Ph. D.

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs,
Service de la conservation de la biodiversité et des
milieux humides (MFFP, SCBMH)

Collaboration

Patrick Charbonneau, biologiste, M. Sc.

MFFP, SCBMH

Révision

Guillaume Tremblay, technicien de la faune

MFFP, SCBMH

Christine Dumouchel, biologiste, M. Env.

MFFP, SCBMH

Anne-Marie Gosselin, biologiste
Chef d'équipe – Division de la biodiversité

MFFP, SCBMH

Remerciements

Le projet dont il est ici question fait suite aux inventaires du hibou des marais qui ont été faits dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean. Un merci particulier à Matthieu McCann et Sophie Hardy du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), ainsi qu'à Christine Gagnon, du Zoo sauvage de Saint-Félicien, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué aux inventaires. Nous tenons également à remercier Robert LeBrun et Julie Loubier pour leur participation au projet. Enfin, merci à toutes les personnes qui ont révisé le présent document.

Référence à citer

HACHEY, M.-H., et J. LEMAÎTRE (2021). *Modèle de qualité de l'habitat pour le hibou des marais (Asio flammeus) dans le Québec méridional*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune, Service de la conservation de la biodiversité et des milieux humides, Québec, 33 p. + annexe.

Résumé

Le hibou des marais (*Asio flammeus*) est un des hiboux le plus largement répartis dans le monde. Toutefois, plusieurs indices laissent entendre que ses effectifs sont à la baisse. Il subsisterait moins d'une centaine de couples dans le sud du Québec et l'espèce figure sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec (LEMV) (RLRQ, c. E-12.01). Malgré les efforts déployés pour mieux connaître les causes du déclin du hibou des marais, nous manquons d'information, notamment sur les habitats préférentiels de l'espèce en période de nidification. Un modèle de qualité de l'habitat (MQH) a été conçu avec le logiciel Maxent dans le but de déterminer les zones les plus propices à l'espèce dans le sud du Québec. À notre connaissance, cette modélisation pour le hibou des marais est une première dans l'est de l'Amérique du Nord. Les résultats montrent une répartition modélisée dont le *gain* (équivalent de la justesse) était neuf fois plus élevé que celui d'une répartition aléatoire. Les régions les plus propices au hibou des marais seraient le Saguenay–Lac-Saint-Jean, l'Abitibi et le Bas-Saint-Laurent. L'altitude, le pourcentage de milieu agricole et le pourcentage de milieu forestier ont été, respectivement, les variables environnementales retenues pour expliquer le mieux la probabilité de présence de l'espèce. Celle-ci a augmenté avec le pourcentage de milieu agricole et a diminué avec l'altitude et le pourcentage de milieu forestier. Certaines variables plus précises comme le type de culture gagneraient à être introduites dans les versions subséquentes du modèle. Les résultats obtenus nous permettent tout de même d'avoir confiance en sa robustesse. L'approche développée ici servira d'outil d'aide à la décision au moment de la préparation d'inventaires de l'espèce, en ciblant les secteurs considérés comme les meilleurs pour les effectuer.

Table des matières

Introduction.....	1
Matériel et méthodes	2
Aire d'étude.....	2
Données de présence.....	3
Variables environnementales	5
Pourcentage occupé par les habitats et la pente.....	6
Milieux agricoles	7
Friches.....	8
Milieux forestiers	9
Milieux humides	10
Milieux habités	11
Pente	12
Eau surfacique et Saint-Laurent.....	13
Altitude, température et précipitations moyennes.....	15
Altitude.....	15
Température annuelle moyenne et précipitations.....	16
Paramétrage de Maxent.....	17
Maxent.....	18
Résultats	19
Contribution des variables environnementales.....	19
Courbes de réponse	20
Cartes des résultats	23
Discussion	27
Enjeux de modélisation	28
Conclusion et recommandations.....	30
Bibliographie.....	31
Annexe 1 Indices de nidification	34

Liste des tableaux

Tableau 1. Variables environnementales retenues originellement pour l'analyse.....	5
Tableau 2. Valeur minimale et maximale, moyenne et écart-type des données dans un rayon de 400 m des points de présence et pour l'ensemble de l'aire d'étude.	6
Tableau 3. Contribution relative des variables environnementales au modèle.....	19

Liste des figures

Figure 1.	Contour de l'aire d'étude utilisée pour élaborer le MQH du hibou des marais dans le Québec méridional.	3
Figure 2.	Points de présence du hibou des marais retenus à partir de la banque SOS-POP pour produire la modélisation de qualité de l'habitat de l'espèce dans le Québec méridional.	4
Figure 3.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux agricoles. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	7
Figure 4.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des friches. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.	8
Figure 5.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux forestiers. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	9
Figure 6.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux humides. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	10
Figure 7.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux habités. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	11
Figure 8.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par une pente nulle. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	12
Figure 9.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par de l'eau surfacique. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	13
Figure 10.	Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par le Saint-Laurent. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	14
Figure 11.	Altitude moyenne dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	15
Figure 12.	Moyenne de la température annuelle dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	16
Figure 13.	Moyenne des précipitations annuelles dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.....	17
Figure 14.	Performance des variables environnementales selon la procédure jackknife pour les données d'entraînement (utilisées pour bâtir le modèle). Pour chaque variable modélisée isolément, les barres bleues montrent le gain apporté au modèle, les barres turquoise montrent la perte de gain si cette variable est exclue du modèle et la barre rouge montre le gain du modèle global.....	20
Figure 15.	Probabilité de présence du hibou des marais en fonction de chaque variable environnementale prise isolément. L'axe des x indique la valeur de la variable (de 0 à 100 pour le pourcentage) et l'axe des y, la probabilité d'observer l'espèce.	21
Figure 16.	Probabilité d'observer un hibou des marais pendant la période de nidification selon les résultats de notre modélisation. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques, soit de 0, qui correspond à aucune probabilité d'observation, à 1 qui correspond à 100 % de probabilité d'observation : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).....	23
Figure 17.	Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais au Lac-Saint-Jean pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).....	24

- Figure 18. Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais en Abitibi pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice)..... 25**
- Figure 19. Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais au Bas-Saint-Laurent pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice)..... 26**

Introduction

Le hibou des marais (*Asio flammeus*) est un des hiboux le plus largement répartis dans le monde. Il niche sur presque tous les continents dans de vastes milieux ouverts, qu'il utilise pour chasser et effectuer sa parade nuptiale (Environnement Canada, 2016). Même si NatureServe (2019) le considère comme « répandu et non en péril », plusieurs indices laissent voir qu'à l'échelle mondiale, ses effectifs sont à la baisse (BirdLife International, 2016). Cette diminution, également constatée à l'échelle de l'Amérique du Nord et du Canada, touche durement les populations du Québec méridional¹. Depuis le milieu des années 1980, le hibou des marais a connu un déclin important et il subsisterait moins d'une centaine de couples dans le sud du Québec (Shaffer, 2019).

La principale menace qui pèse sur le hibou des marais serait la perte et la dégradation de son habitat, notamment par la transformation de prairies naturelles en terres agricoles (Booms et coll., 2014) ou en zones domiciliaires (Wiggins et coll., 2006). Dans le Québec méridional, l'espèce niche souvent dans les pâturages et les champs de foin (Gagnon et coll., 2015). Or, depuis les années 1980, ces habitats ont largement été convertis en cultures annuelles (telles que le maïs et le soya), que l'espèce évite (Shaffer, 2019). Le hibou des marais niche également dans les hauts marais et les marais, deux habitats qui ont perdu du terrain depuis plusieurs décennies (Pellerin et Poulin, 2013).

Devant le déclin de ses populations, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a d'abord désigné l'espèce, en 1994, comme étant une espèce « préoccupante » et, en 2012, l'espèce est inscrite comme « préoccupante » dans l'annexe 1 de la Loi sur les espèces en péril (LEP) (L.C. 2002, ch. 29). En mai 2021, le COSEPAC a réévalué cette espèce en la considérant comme « menacée » (COSEPAC, 2021). Au Québec, le hibou des marais figure, depuis 2003, sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec (LEMV) (RLRQ, c. E-12.01).

Les efforts déployés pour mieux connaître les problèmes liés au hibou des marais se heurtent à plusieurs obstacles. Les méthodes traditionnelles de suivi des oiseaux comme le Relevé des oiseaux nicheurs de l'Amérique du Nord ou le Recensement des oiseaux de Noël, qui se déroulent de jour, sont mal adaptées à cette espèce crépusculaire (Booms et coll., 2014). Le hibou des marais est difficilement détectable du fait qu'il émet peu de sons (Clark, 1975), que son plumage est cryptique et qu'il niche au sol au sein d'une épaisse végétation (Rivard et coll., 2011). Dans le sud du Québec, sa rareté complique davantage son suivi.

En 2012, le MFFP, en collaboration avec le Zoo sauvage de Saint-Félicien, a élaboré un protocole d'inventaire spécifique du hibou des marais, puis son efficacité a été testée dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean (Gagnon et coll., 2015). Alors que plusieurs hiboux ont été détectés en 2012, les années subséquentes montraient de faibles abondances. En conséquence, il était difficile de déterminer si l'espèce était réellement absente ou si cela représentait un biais méthodologique. C'est pourquoi il est

¹ Dans le présent document, l'appellation « Québec méridional » se rapporte à la portion du Québec située au sud de la latitude 50,5 ° N. L'expression « sud du Québec » est utilisée dans le même sens.

devenu nécessaire d'identifier, *a priori*, les habitats les plus propices à l'espèce en vue de maximiser la probabilité de détection dans les inventaires et de mieux documenter son occupation du territoire.

L'objectif du présent rapport consiste à élaborer un modèle de qualité de l'habitat (MQH) du hibou des marais pour le Québec méridional. Ce MQH a pour but de déterminer, pour le sud du Québec, les zones les plus propices à l'espèce et les composantes les plus importantes de son habitat. À notre connaissance, cette modélisation est une première, pour le hibou des marais, dans l'est de l'Amérique du Nord. Le modèle sera utilisé de pair avec le protocole d'inventaire du hibou des marais dans le Québec méridional (MFFP, 2021). Il permettra de mieux orienter les inventaires de l'espèce en vue de documenter sa présence et, possiblement, sa nidification sur le territoire.

Matériel et méthodes

Un modèle de qualité de l'habitat (MQH) est une approche statistique de modélisation qui permet d'estimer la probabilité d'observation d'une espèce en associant les sites où elle a été détectée à différentes variables environnementales (Blanchette et Landry, 2015). Les sections suivantes décrivent les différentes méthodes utilisées pour élaborer notre MQH.

Aire d'étude

Nous avons déterminé les contours de notre aire d'étude à partir des points de présence connus du hibou des marais au Québec (pour la description du jeu de données, voir la section « Données de présence »). Ainsi, nous avons conçu une zone tampon de 100 km de rayon autour de chaque point de présence, ce qui correspondait à une zone d'occupation probable par l'espèce à l'échelle du Québec méridional. Ce faisant, nous avons exclu de l'aire d'étude de grands pans d'habitats principalement forestiers, inhospitaliers pour l'espèce. Dans le même ordre d'idées, nous avons également exclu toutes les cellules composées, en totalité, d'eau. Nous avons ensuite fusionné les zones favorables à l'espèce pour constituer notre aire d'étude (figure 1).

La superficie totale de l'aire d'étude était de 400 000 km². Pour élaborer notre MQH, nous nous sommes basés sur des unités d'analyse de 64 ha soit des cellules de 800 m de côté. Cette superficie est une estimation assez conservatrice de la taille du territoire d'un hibou des marais (Environnement Canada, 2016; Wiggins et coll., 2006). Ainsi, pour chacune des cellules, notre MQH fournissait une probabilité d'occurrence du hibou des marais, allant de 0, soit aucune probabilité de trouver l'espèce dans la cellule, à 1, soit 100 % de probabilité de l'y trouver.

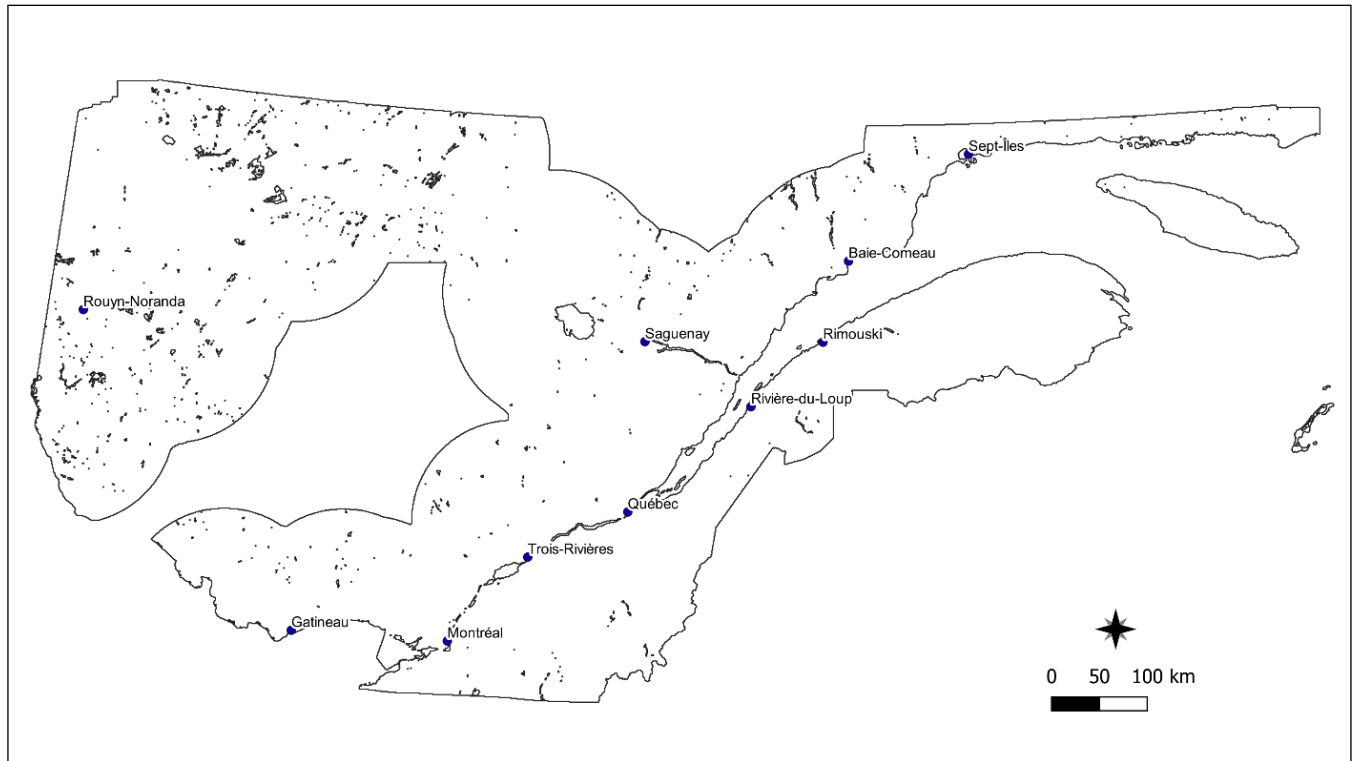


Figure 1. Contour de l'aire d'étude utilisée pour élaborer le MQH du hibou des marais dans le Québec méridional.

Données de présence

Les logiciels utilisés pour réaliser un MQH font usage, traditionnellement, des données de présence (sites visités où l'espèce a été détectée) et des données d'absence (sites visités où l'espèce n'a pas été détectée). Nos données (les sites SOS-POP²) ne comportant aucune donnée d'absence, nous avons opté pour préparer notre MQH avec le logiciel Maxent (Dudik et coll., 2007), qui fonctionne uniquement à partir des points de présence d'une espèce et qui se compare avantageusement aux logiciels traditionnels (Elith et coll., 2006).

Le processus de sélection des sites retenus dans la banque SOS-POP s'est fait en deux étapes. D'abord, toutes les observations du hibou des marais ont été extraites de la banque de données SOS-POP. Ensuite, nous avons conservé, exclusivement, les données suivantes :

- 1) les données datant de 1994 à 2019 (inclusivement), parce qu'une période plus longue augmentait le risque d'un changement important pour ce qui est de l'habitat, ce qui aurait pu fausser les résultats, et parce qu'une période plus courte (par exemple, dix ans) restreignait trop la taille de l'échantillon;
- 2) les données provenant de la même délimitation du Québec méridional que celle utilisée pour l'*Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional* (sous les 50,5 degrés de latitude), pour pouvoir établir des comparaisons entre les résultats dudit atlas et les résultats du MQH, et parce

² SOS-POP, ou « Suivi des populations d'oiseaux en péril » est un programme dont l'objectif consiste à repérer et à effectuer le suivi des sites importants pour la conservation des oiseaux en péril du Québec.

que la situation du hibou des marais y est très différente de celle qui a cours dans le nord du Québec;

- 3) les données dont la localisation était la plus précise possible soit, idéalement, à la seconde (< 150 m), ou à la minute (< 1,5 km), vu l'importance de repérer correctement l'habitat qui entoure le site;
- 4) les données associées à un site où au moins un indice de nidification³ avait été rapporté (puisque le MQH portait sur l'aire de nidification du hibou des marais);
- 5) les données récoltées durant la période de nidification. Pour ce dernier critère, étant donné que la nidification peut débuter plus tôt dans le sud que dans le nord de l'aire d'étude, nous avons choisi une plage de dates d'inventaire assez large, soit du 1^{er} avril au 31 août.

Pour nous assurer d'exclure les individus en situation de migration, seules les mentions de nidification probables ou confirmées ont été conservées au début (du 1^{er} avril au 7 mai) et à la fin (du 8 août au 31 août) de cette période, ce qui constitue des dates de nidification moyennes pour le sud du Québec (F. Shaffer, communication personnelle). Pour la période allant du 8 mai au 7 août, nous avons également considéré les mentions de nidification possible (pour les codes de nidification, voir l'annexe 1). Nous avons ensuite associé à différents sites SOS-POP les observations retenues. Après élimination des doublons, les données de présence du hibou des marais (n = 159 sites SOS-POP; figure 2) ont été transformées en un fichier CSV, le format requis par Maxent.

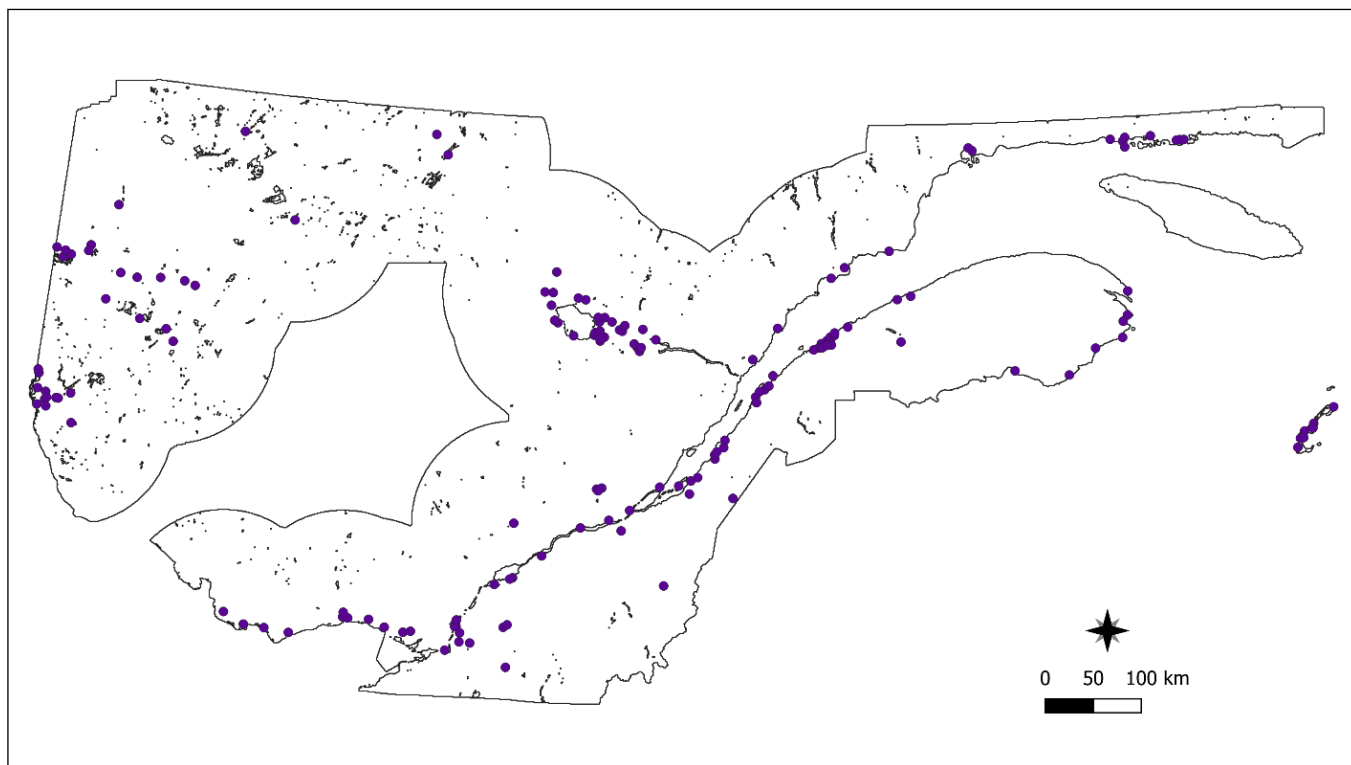


Figure 2. Points de présence du hibou des marais retenus à partir de la banque SOS-POP pour produire la modélisation de qualité de l'habitat de l'espèce dans le Québec méridional.

³. Soit tous les indices de nidification présentés à l'annexe 1, à l'exception des indices « 0 » et « G ».

Variables environnementales

Nous avons, *a priori*, sélectionné quatorze variables environnementales d'importance pour l'espèce (tableau 1) en nous basant sur les connaissances à propos de son écologie (voir les explications plus bas) et sur un MQH conçu par Miller et coll. (2018) pour l'ouest des États-Unis. Parmi les variables, cinq représentaient le type d'habitat en pourcentage d'occupation de la cellule de 800 m de côté et ont été définies à partir des données des cartes écoforestières du quatrième décennal (recueillies à partir de 2003); deux variables représentaient la surface occupée par l'eau, deux étaient liées à la topographie (pente et altitude) et le reste était lié à des variables météorologiques (température moyenne et précipitations), téléchargées à partir de la base de données WorldClim – Global Climate Data.

Tableau 1. Variables environnementales retenues originellement pour l'analyse.

Variable environnementale	Source
Pourcentage de milieu agricole	MFFP; Carte écoforestière (4 ^e décennal)
Pourcentage de friches	MFFP; Carte écoforestière (4 ^e décennal)
Pourcentage de milieu forestier	MFFP; Carte écoforestière (4 ^e décennal)
Pourcentage de milieu humide	MFFP; Carte écoforestière (4 ^e décennal)
Pourcentage de milieu habité	MFFP; Carte écoforestière (4 ^e décennal)
Pourcentage de pente nulle	MFFP; Classes de pente
Pourcentage d'eau surfacique	MERN; Base de données géographiques et administratives à l'échelle de 1/1 000 000
Pourcentage du Saint-Laurent	MERN; Base de données géographiques et administratives à l'échelle de 1/1 000 000
Altitude	Ressources naturelles Canada; Modèle numérique d'élévation du Canada, 1945-2011
Température annuelle moyenne	WorldClim – Global Climate Data, 1970-2000
Précipitations annuelles moyennes	WorldClim – Global Climate Data, 1970-2000
Altitude moyenne (écart-type)	Ressources naturelles Canada; Modèle numérique d'élévation du Canada, 1945-2011
Température annuelle moyenne (écart-type)	WorldClim – Global Climate Data, 1970-2000
Précipitations annuelles moyennes (écart-type)	WorldClim – Global Climate Data, 1970-2000

Pour séparer les couches environnementales selon le même quadrillage que celui de l'aire d'étude, nous avons réalisé leur intersection avec ArcGIS 10.6.1 Advanced. Nous avons traité les couches pour que toutes aient les mêmes limites spatiales et la même résolution, ce qui constitue une exigence de Maxent. Les couches vectorielles ont été rastérisées selon le format requis par Maxent (ASCII).

Pourcentage occupé par les habitats et la pente

Pour chacune des cellules, nous avons calculé la superficie occupée par les variables suivantes : milieu agricole, friches, milieu forestier, milieu humide, milieu habité, eau surfacique « terrestre » (lacs et grands cours d'eau), Saint-Laurent et pente nulle. Nous avons ensuite traduit en pourcentage la superficie occupée par ces milieux. À l'échelle de l'aire d'étude, les valeurs minimales et maximales de pourcentage étaient les mêmes (de 0 à 100 %), à l'exception des friches, de l'eau surfacique et du Saint-Laurent (tableau 2).

Tableau 2. Valeur minimale et maximale, moyenne et écart-type des données dans un rayon de 400 m des points de présence et pour l'ensemble de l'aire d'étude.

Variable environnementale	Points de présence				Ensemble de l'aire d'étude			
	Min.	Max.	Moy.	Écart-type	Min.	Max.	Moy.	Écart-type
Pourcentage de milieu agricole (en %)	0	100	36,5	35,7	0	100	6,2	19,2
Pourcentage de friches (en %)	0	57	7,7	12,6	0	73	1,0	4,1
Pourcentage de milieu forestier (en %)	0	94	21,4	24,8	0	100	66,6	30,4
Pourcentage de milieu humide (en %)	0	95	9,5	22,7	0	100	7,9	15,8
Pourcentage de milieu habité (en %)	0	100	10,2	20,3	0	100	1,6	9,0
Pourcentage de pente nulle (en %)	0	100	72,5	30,9	0	100	35,7	34,8
Pourcentage d'eau surfacique (en %)	0	99	7,5	24,1	0	99	6,2	15,3
Pourcentage du Saint-Laurent (en %)	0	99	7,5	24,1	0	99	0,6	6,4
Altitude moyenne (en m)	1	425	118	113	-18	1078	325	157
Température annuelle moyenne (en °C)	-0,6	6,9	2,8	1,6	-1,8	7,1	1,6	1,7
Précipitations annuelles moyennes (en mm)	825	1497	991	114	807	1596	1035	138

Milieux agricoles

Les milieux agricoles (figure 2) constituaient la première variable sélectionnée puisqu'en période de nidification, ils sont très fréquentés par le hibou des marais (Miller et coll., 2018). L'espèce sélectionne surtout les cultures pérennes comme les champs de foin (Gagnon et coll., 2015). Dans nos données, le pourcentage de milieu agricole était beaucoup plus élevé aux points de présence que dans l'ensemble de l'aire d'étude (tableau 2). Toutefois, la couche « milieu agricole » ne faisait pas de distinction entre les cultures pérennes et les cultures annuelles.

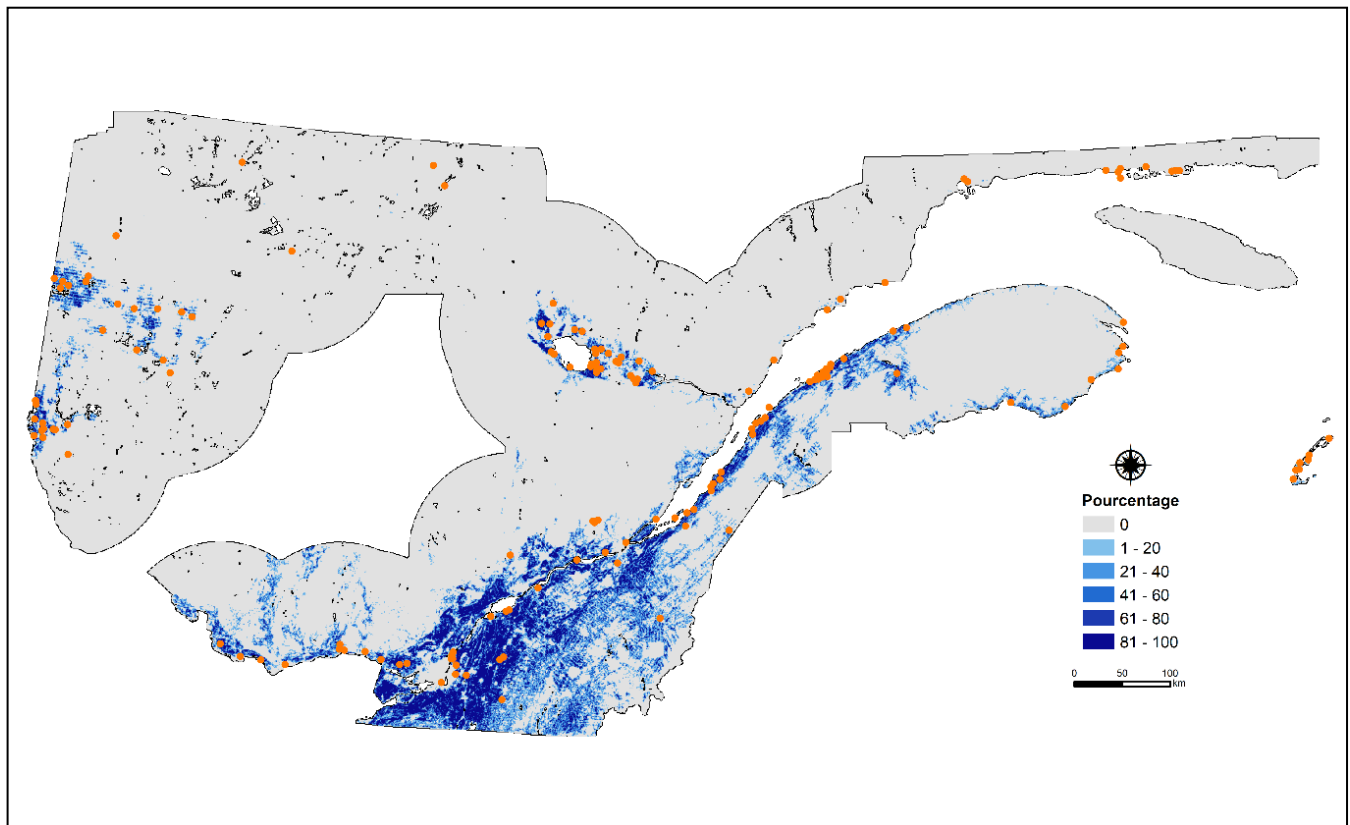


Figure 3. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux agricoles. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Friches

Nous avons choisi les friches puisque le hibou des marais prise cet habitat qui présente des attributs comparables aux champs, tout en ayant l'avantage de ne pas s'accompagner du dérangement résultant des activités agricoles (Miller et coll., 2018; figure 4). Cependant, ce milieu évolue rapidement et, au fur et à mesure que des arbres commencent à y croître, il peut devenir moins propice. Les friches étaient l'habitat dont le pourcentage maximal d'occupation des cellules était le plus faible autant dans l'aire d'étude (de 0 à 73 % ; moy. = 1 %) qu'aux points de présence (de 0 à 57 % ; moy. = 7,7 %) (tableau 2).

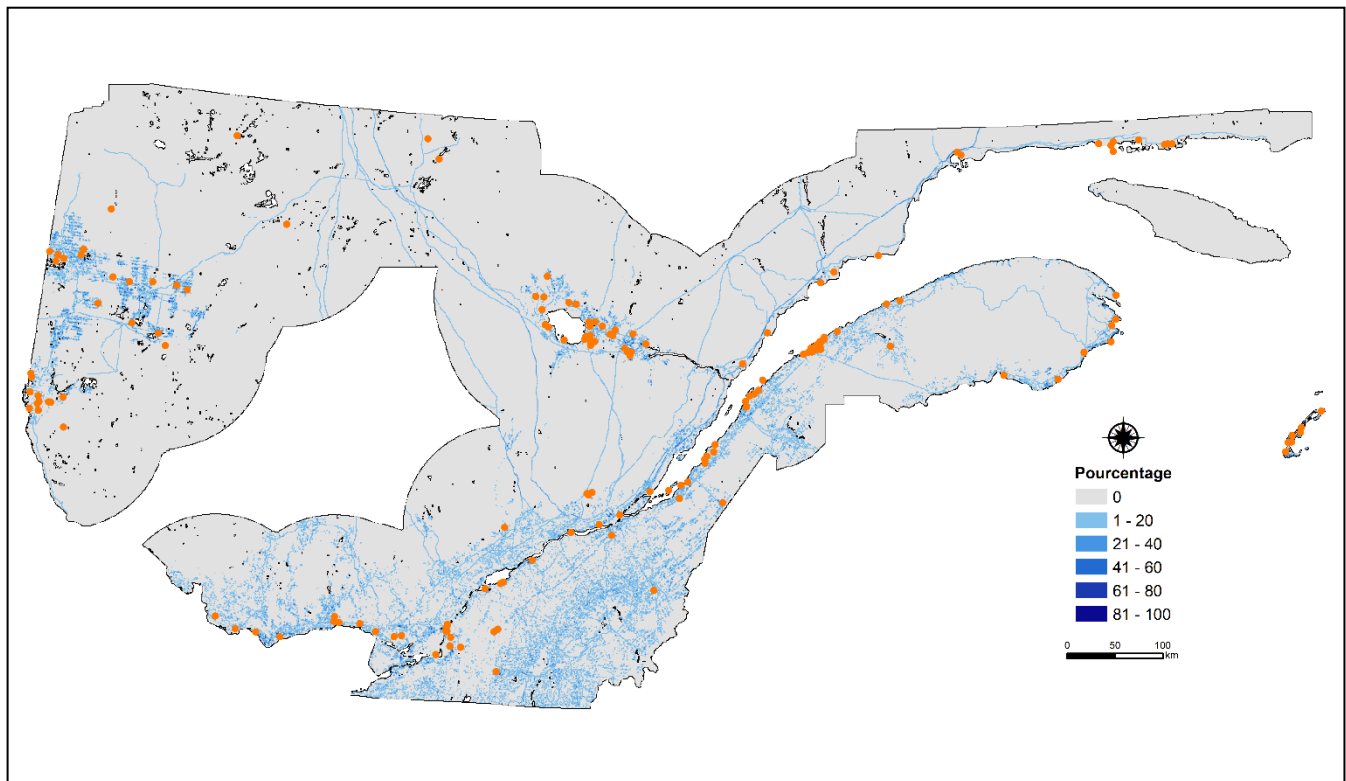


Figure 4. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des friches. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Milieux forestiers

Le hibou des marais étant connu pour éviter les zones forestières (Booms et coll., 2014), nous avons ajouté les milieux forestiers à nos variables (figure 5). Le pourcentage moyen était plus faible aux points de présence que dans l'aire d'étude (21,4 % contre 66,6 %) (tableau 2).

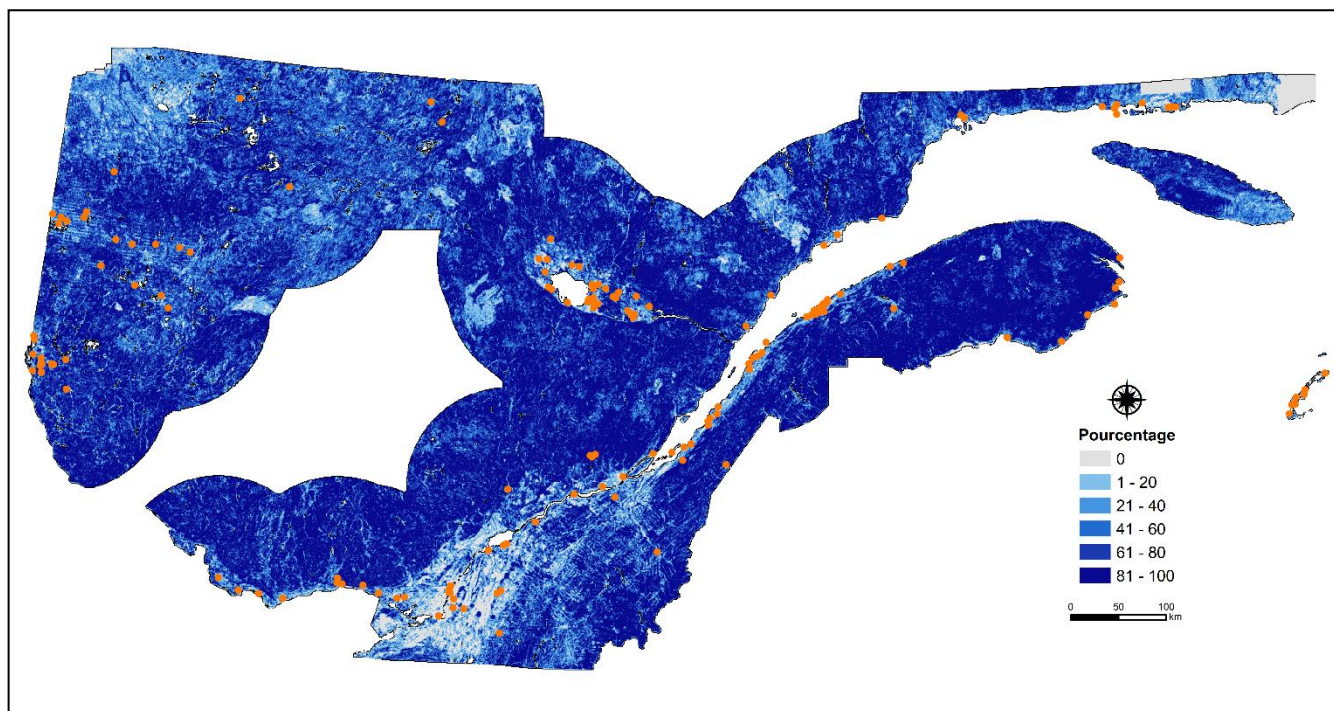


Figure 5. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux forestiers. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Milieux humides

Le hibou des marais niche souvent dans les milieux humides, qui sont rarement perturbés par l'homme et qui offrent une grande diversité de proies (Miller et coll., 2016; figure 6). Le pourcentage moyen aux points de présence et pour l'aire d'étude était similaire (7,5 % contre 9,5 %) (tableau 2).

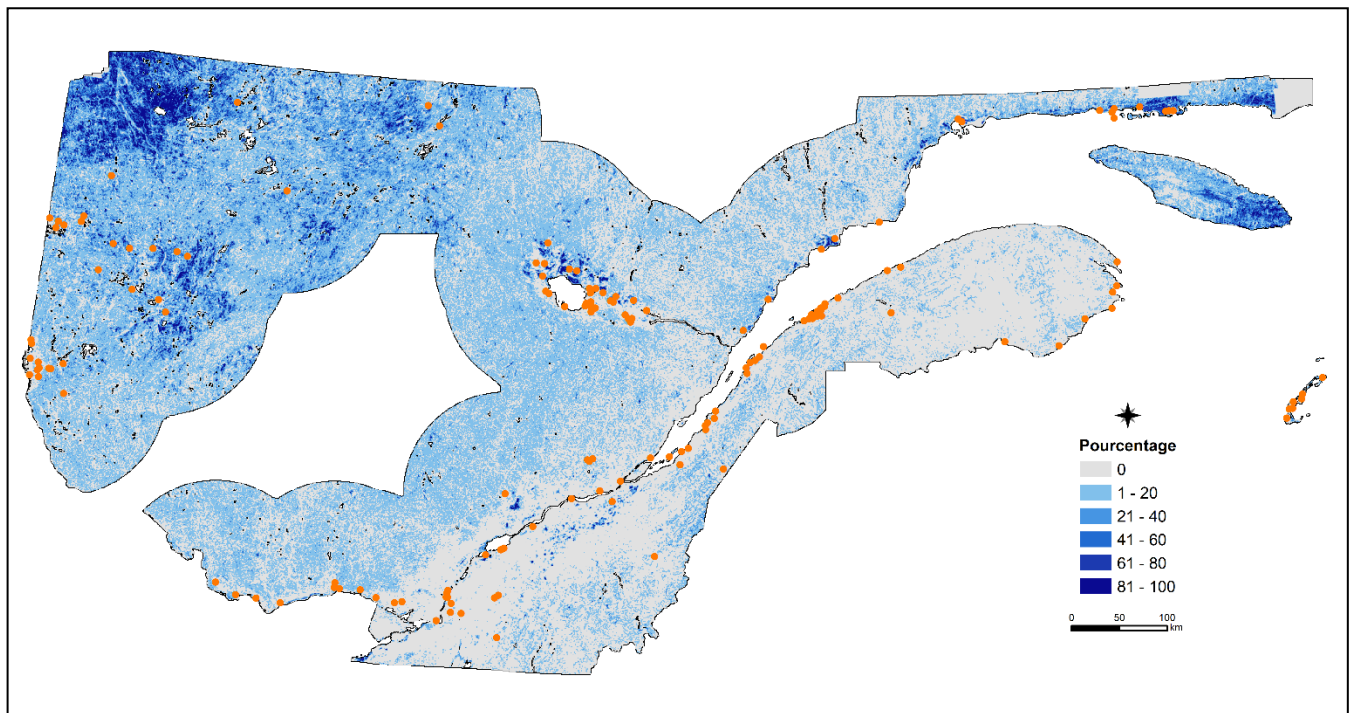


Figure 6. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux humides. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Milieux habités

Le hibou des marais évite les zones où le dérangement humain est important (Cramp, 1985). Toutefois, le pourcentage moyen de milieu habité était de dix fois plus élevé aux points de présence que dans l'ensemble de l'aire d'étude (10,2 % contre 1,6 %) (tableau 2). La couche utilisée comprenait tous les types d'occupation humaine, allant des fermes isolées jusqu'aux métropoles (figure 7).

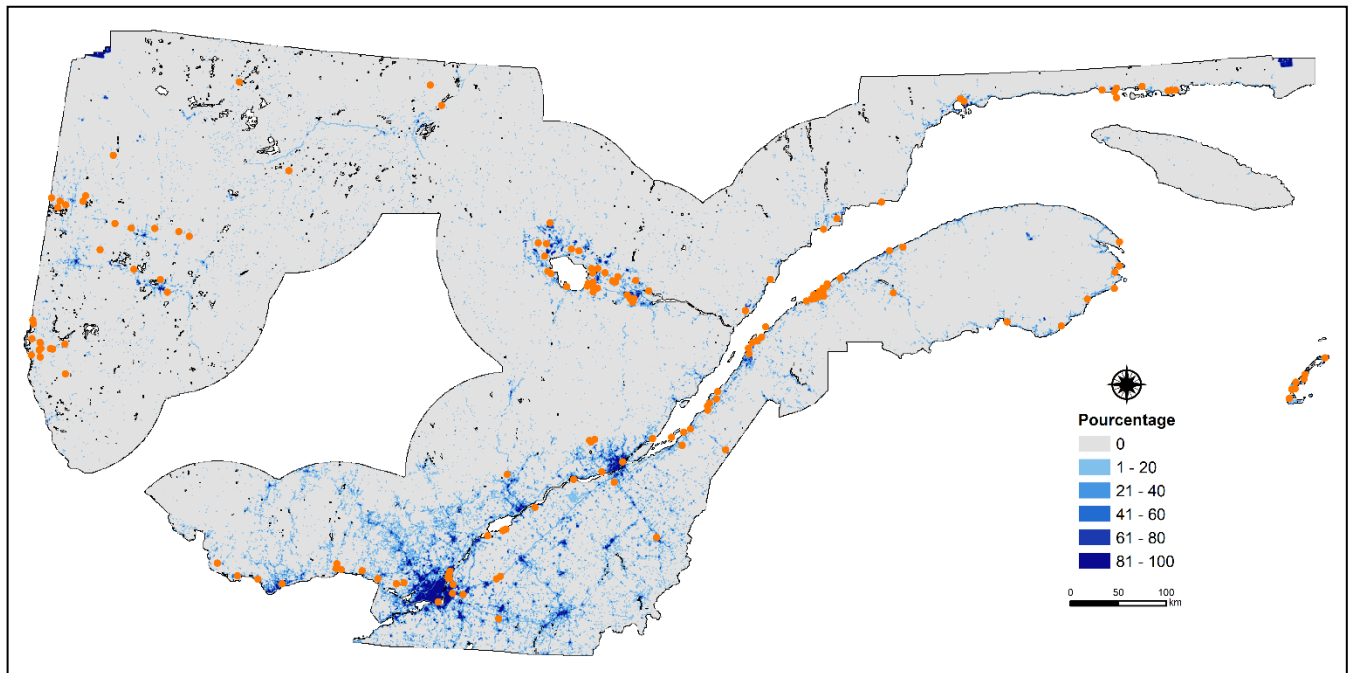


Figure 7. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par des milieux habités. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Pente

Nous avons également choisi le pourcentage d'une pente nulle puisque le hibou des marais niche, généralement, en terrain plat (Government of Saskatchewan, 2015) (figure 8).

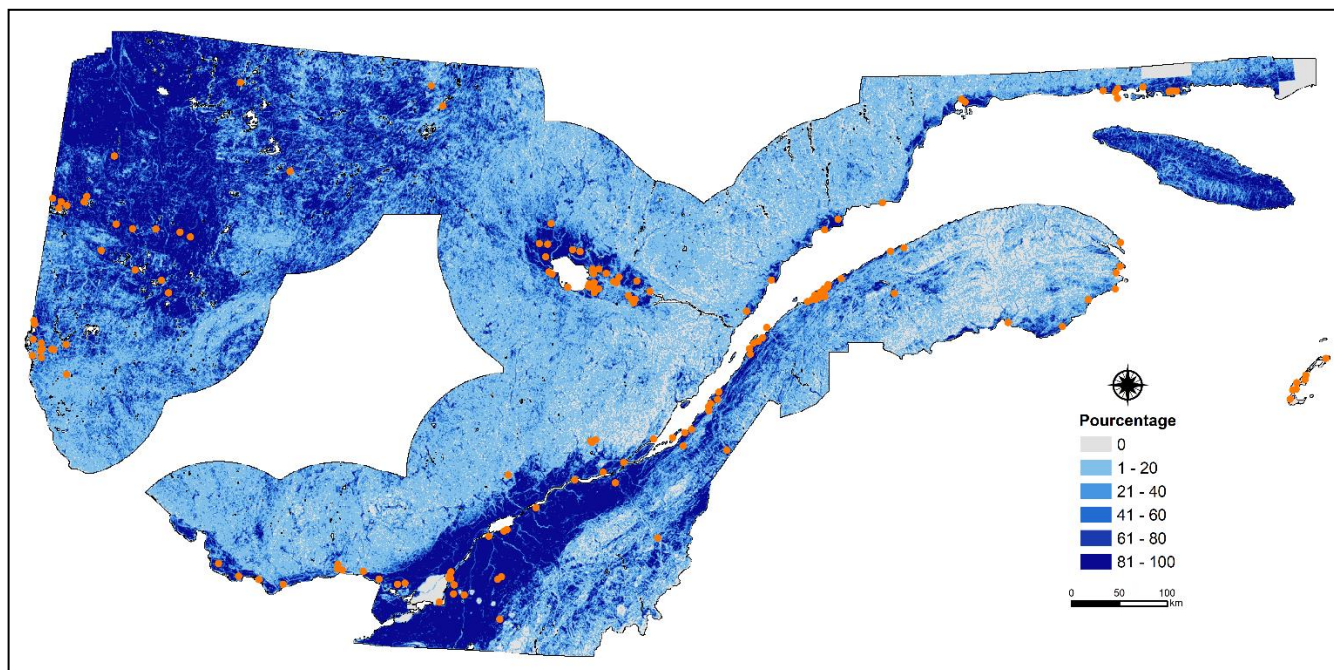


Figure 8. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par une pente nulle. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Eau surfacique et Saint-Laurent

Puisque l'espèce niche souvent près de l'eau, notamment dans les marais côtiers (Shaffer, 2019), l'eau surfacique « terrestre » et le Saint-Laurent ont également été inclus. Pour ces deux variables, la valeur maximale était de 99 % puisque, lors de la détermination de l'aire d'étude, nous avons retiré toutes les cellules couvertes entièrement par de l'eau (tableau 2). En ce qui a trait à l'eau surfacique (figure 9), aucune différence notable n'existait entre l'aire d'étude et les points de présence mais, pour le Saint-Laurent (figure 10), le pourcentage moyen était plus élevé aux points de présence.

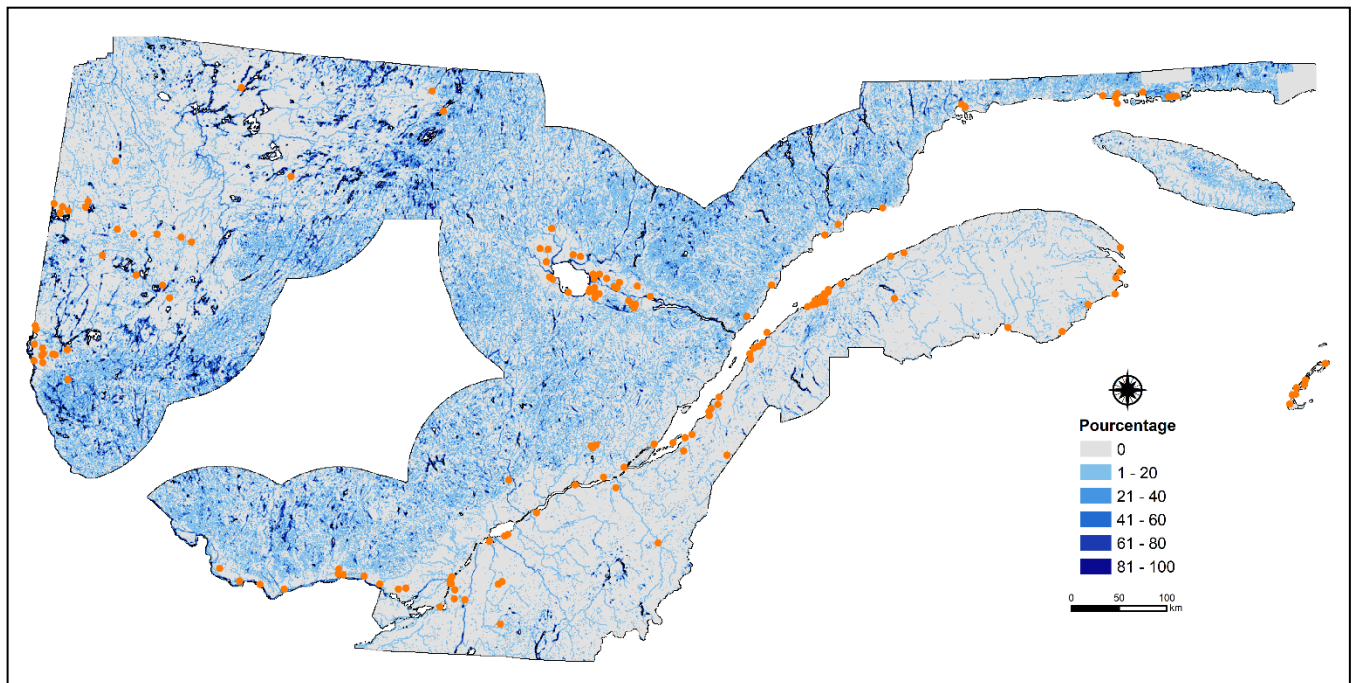


Figure 9. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par de l'eau surfacique. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

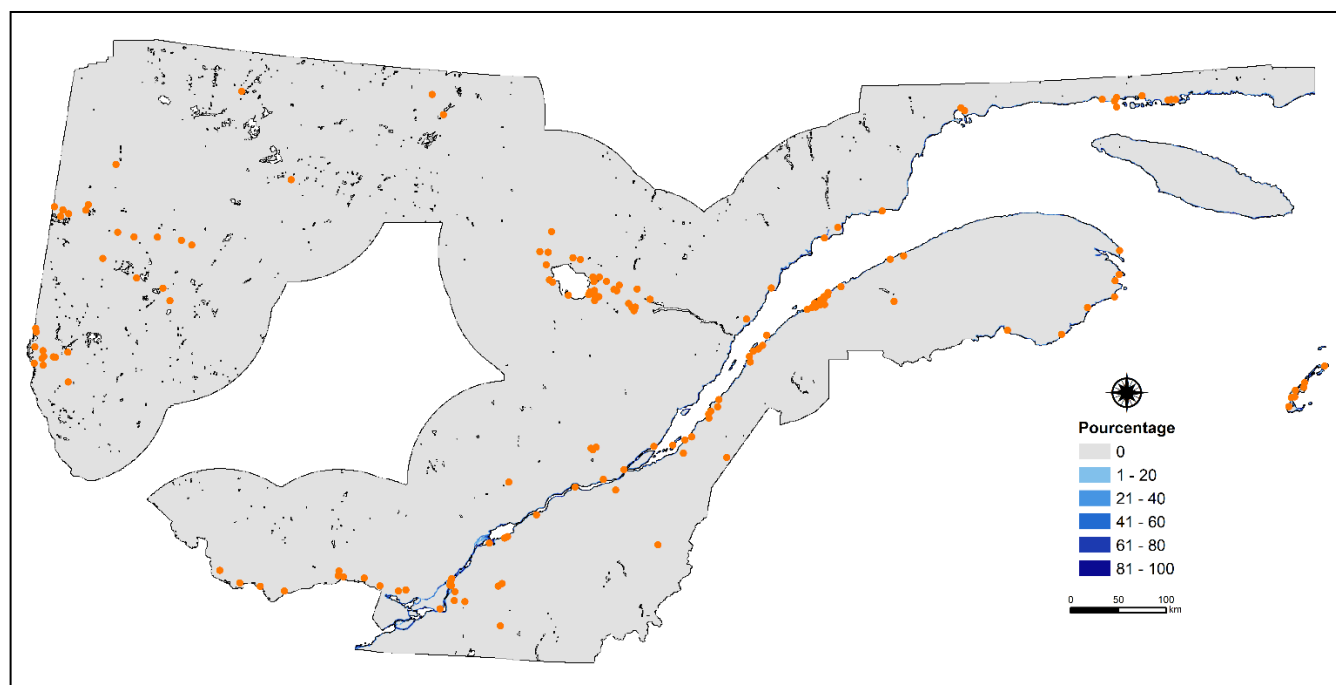


Figure 10. Pourcentage des cellules de 800 m de côté occupé par le Saint-Laurent. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Altitude, température et précipitations moyennes

Pour chacune des cellules, nous avons calculé la moyenne et l'écart-type de l'altitude, de la température annuelle moyenne et des précipitations annuelles moyennes. Le calcul a été fait à l'aide de l'outil « Statistiques zonales (tables) » de Spatial Analyst.

Altitude

Nous avons sélectionné l'altitude parce que la probabilité de trouver le hibou des marais est plus élevée là où l'altitude est plus basse (Miller et coll., 2018). L'altitude moyenne était plus faible aux points de présence que dans l'ensemble de l'aire d'étude (respectivement 118 m contre 325 m) (tableau 2; figure 11).

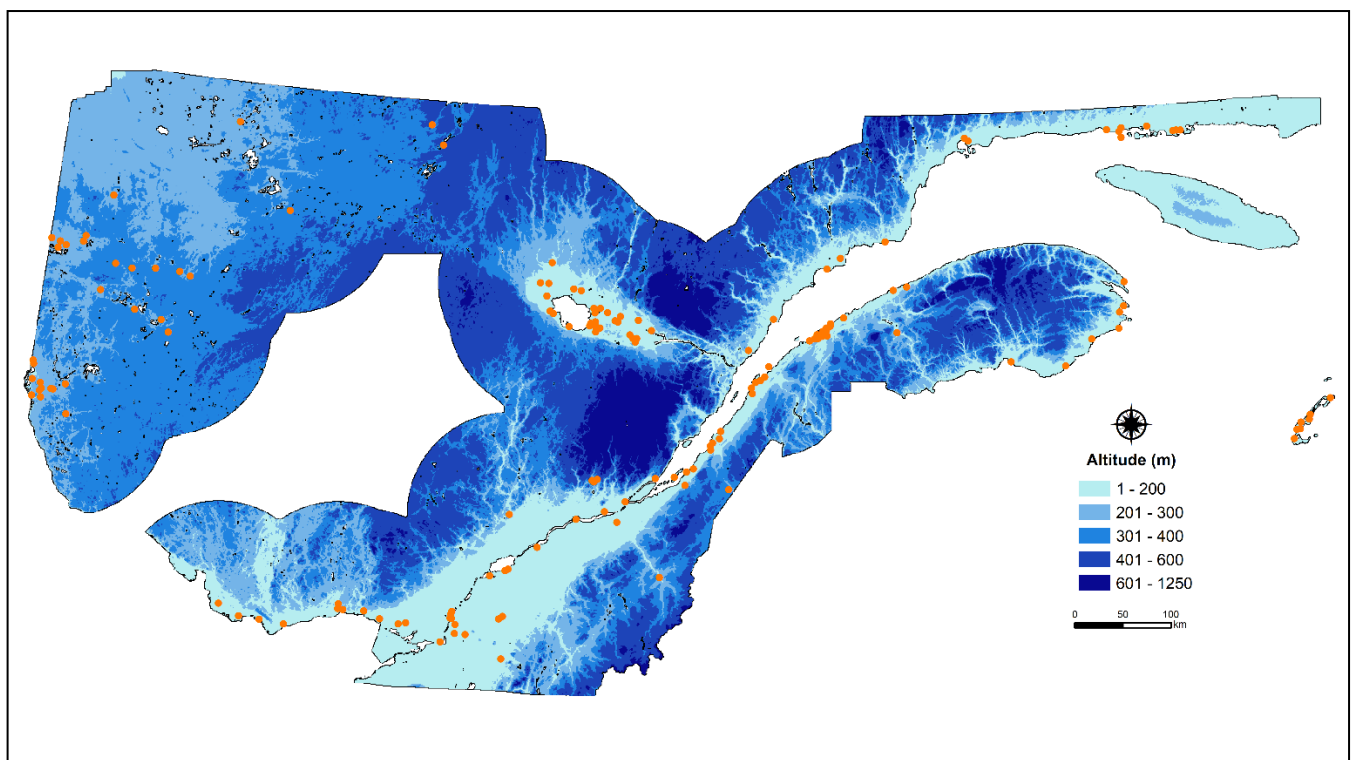


Figure 11. Altitude moyenne dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

Température annuelle moyenne et précipitations

Finalement, nous avons choisi la température annuelle moyenne (figure 12) et les précipitations annuelles moyennes (figure 13). Selon Miller et coll. (2018), la probabilité de présence du hibou est plus élevée lorsque la température est modérée et les précipitations, plus importantes. La température aux points de présence était plus élevée d'un degré Celsius et les précipitations étaient très semblables aux points de présence et dans l'ensemble de l'aire d'étude (tableau 2).

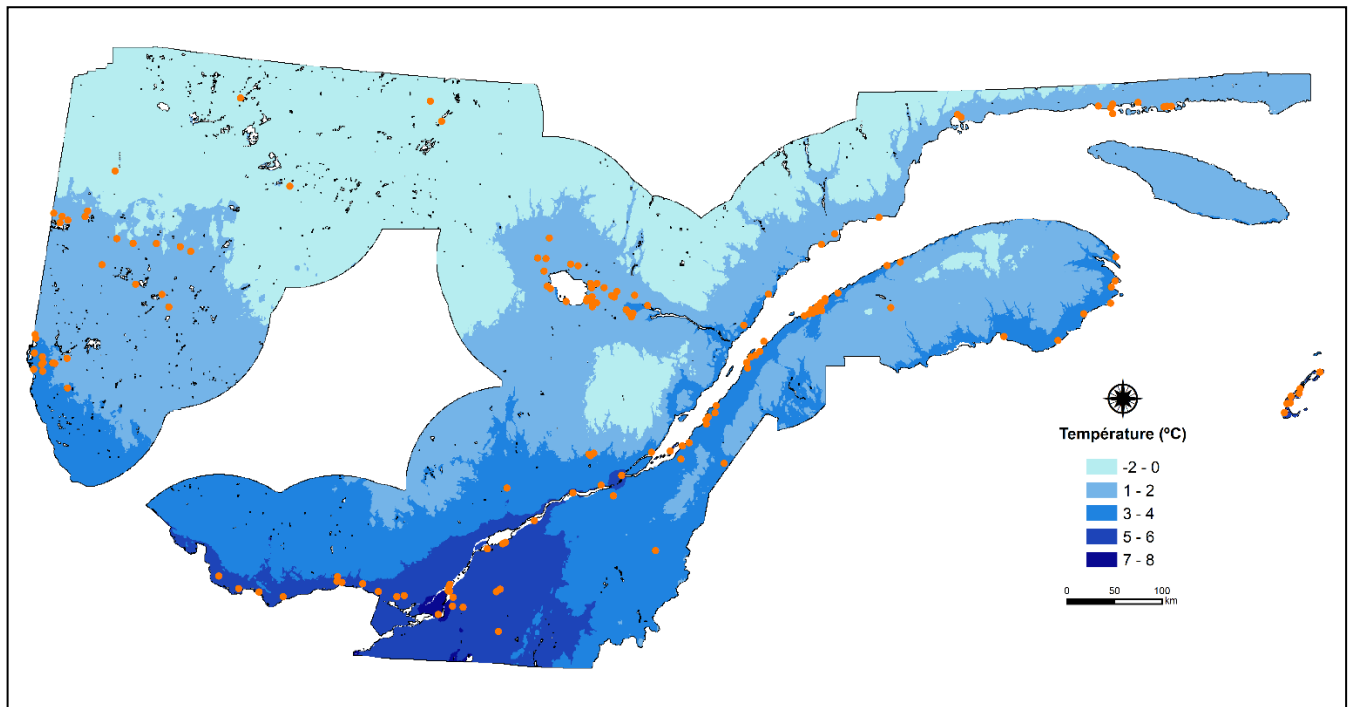


Figure 12. Moyenne de la température annuelle dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

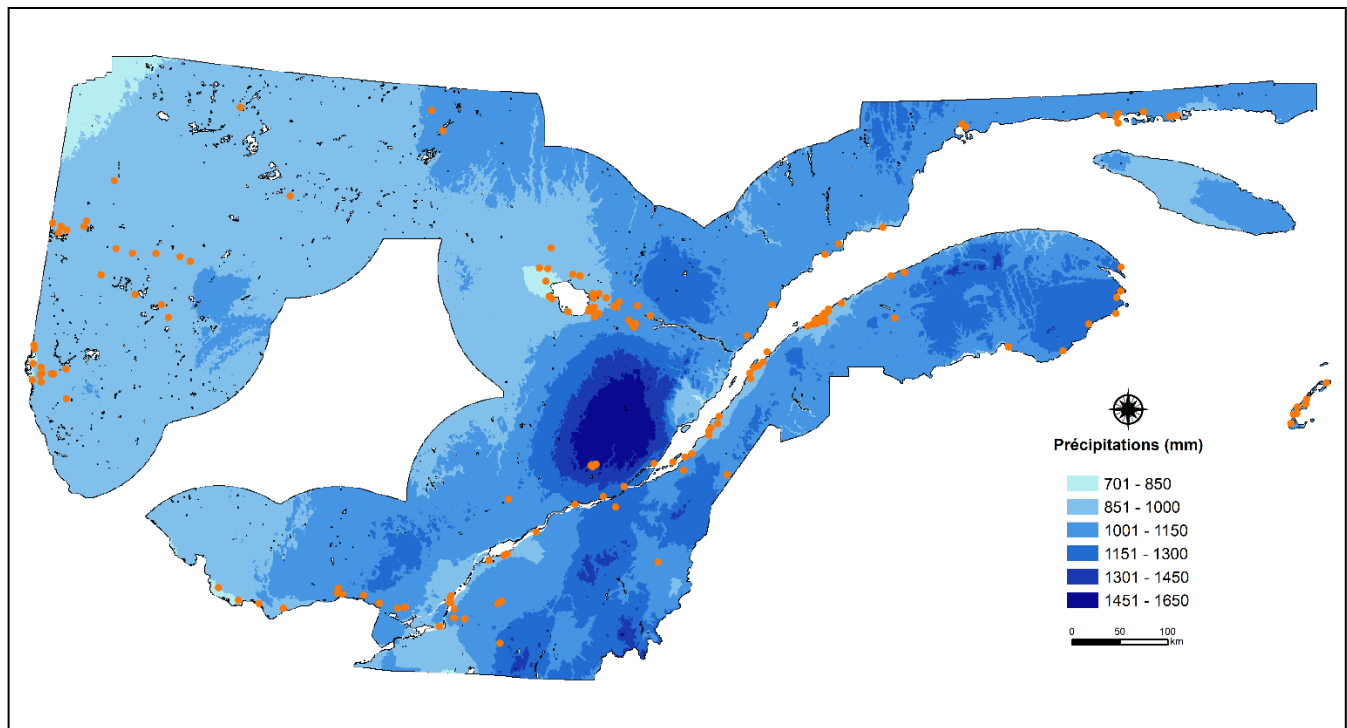


Figure 13. Moyenne des précipitations annuelles dans les cellules de 800 m de côté. Les points de présence sont représentés par la couleur orange.

En dernier lieu, nous avons fait une analyse de corrélation de l'ensemble des variables sur toutes les cellules de l'aire d'étude.

Paramétrage de Maxent

Pour paramétrer Maxent, nous avons suivi les recommandations de Young et coll. (2011) et Merrow et coll. (2013), qui conseillent de modifier certaines valeurs proposées par défaut en vue d'améliorer les performances du modèle. D'abord, nous avons mis de côté 20 % de nos données pour tester le modèle (données de validation). Ensuite, nous avons fait passer le nombre d'itérations de 500 (valeur par défaut) à 5 000 pour permettre au modèle d'avoir suffisamment de temps pour converger; si ce temps est insuffisant, le modèle peut estimer de mauvaise manière la force des relations entre les variables (Young et coll., 2011). Finalement, nous avons utilisé le format de sortie brut (*raw*)⁴ au lieu de la sortie *cloglog*, proposée par défaut. Nous avons utilisé la sortie *cloglog* seulement pour cartographier les résultats, puisque la valeur de la probabilité de présence de l'espèce s'échelonne de 0 à 1, ce qui facilite l'interprétation des résultats (Blanchette et Landry, 2015).

⁴. Maxent comporte quatre formats de sortie : brut (*raw*), cumulatif, logistique et *cloglog*. Merrow et coll. (2013) recommandent d'utiliser la sortie *raw* parce que la sortie *cloglog*, utilisée par défaut, assume que la probabilité de présence de l'espèce dans une cellule est de 0,5.

Maxent

De plus en plus utilisé en écologie, notamment en raison de la facilité de son emploi, le logiciel Maxent permet d'estimer la probabilité qu'une espèce se trouve dans un secteur donné à partir de points de présence ainsi que d'un certain nombre de variables environnementales sélectionnées par l'utilisateur. Son algorithme recherche la répartition la plus uniforme possible compte tenu des « contraintes » dérivées des variables environnementales observées aux points de présence⁵ (Phillips, 2017).

Une fois qu'il est lancé, Maxent propose une distribution uniforme de l'espèce dans l'aire d'étude, puis l'améliore à l'aide de nombreuses itérations jusqu'à un certain seuil de convergence (Phillips et coll., 2006). Son algorithme attribue, de manière aléatoire, un coefficient à chacune des variables environnementales et conserve les coefficients qui améliorent la justesse du modèle (« gain » dans le langage de Maxent). Le *gain* est une fonction exponentielle équivalant à la fonction de vraisemblance maximale (Blanchette et Landry, 2015) qui indique à quel point le modèle est concentré autour des points de présence⁶.

Le concept de *gain* permet de mesurer, pour le modèle, l'importance relative de chaque variable, au moyen d'une marche à suivre dite « jackknife ». Chaque variable environnementale est exclue tour à tour du modèle qui est recréé uniquement avec les variables restantes. Maxent reprend ensuite la même variable et l'utilise seule pour créer un nouveau modèle. Finalement, un modèle comportant toutes les variables est élaboré. Les résultats du *jackknife* permettent de repérer les variables qui contribuent le plus au modèle, soit en faisant sensiblement augmenter le *gain* quand les variables sont prises individuellement, soit en le faisant diminuer quand elles sont exclues. Par exemple, on pourrait supposer que la variable dont le retrait réduit le plus le *gain* est celle qui contient le plus d'information qui n'est pas présente dans les autres variables.

Maxent évalue la performance d'un modèle en calculant l'aire sous la courbe ROC⁷, ou, plus simplement, l'AUC. L'AUC est une mesure couramment utilisée pour mesurer la précision de la prédiction pour un modèle donné et pour comparer la performance d'un modèle avec celle d'un autre (Young et coll., 2011). Sa valeur varie de 0 à 1 et elle est fonction du degré de rapprochement à un modèle parfait. Une valeur de 0,5 signifie que la prédiction n'est pas différente d'une prédiction issue du hasard et une valeur de 1 équivaut au modèle parfait (Elith et coll., 2006).

⁵. C'est le principe dit « d'entropie maximale ».

⁶. Si le *gain* d'un modèle est de 3, cela signifie que la répartition modélisée est exp(3) ou 20 fois plus élevée que celle d'une répartition aléatoire (Phillips, 2017).

⁷. Courbe de receveur-opérateur (threshold-independent receiver operating characteristic, ou ROC).

Résultats

Dans le but de mesurer la contribution de chacune des variables au MQH, nous avons réalisé quinze réplicats d'un modèle composé de douze variables environnementales. Au préalable, nous avons retiré l'écart-type de la température annuelle moyenne et celui des précipitations annuelles moyennes, qui étaient corrélés aux autres variables ($r > 0,6$). Après avoir examiné les résultats préliminaires, nous avons décidé d'écarter quatre variables supplémentaires, soit les milieux humides, l'eau surfacique, le Saint-Laurent et l'écart-type de l'altitude moyenne, puisque ces variables apportaient moins de 2 % de contribution au modèle. Le retrait de ces variables a eu un effet négligeable sur l'AUC⁸ du modèle. Nous avons créé quinze nouveaux réplicats avec les huit variables restantes. Comme la contribution des milieux habités à ce nouveau modèle ne dépassait pas 2 %, nous les avons écartés à leur tour. Finalement, nous avons gardé sept variables pour bâtir notre MQH : les milieux agricoles, les friches, les milieux forestiers, la pente, l'altitude, la température et les précipitations. Aucune de ces variables n'était fortement corrélée à une autre ($r < 0,6$), un élément important dans l'interprétation de la contribution des variables au MQH (Phillips et coll., 2006).

Le modèle à sept variables présentait une AUC d'entraînement de 0,958 et une AUC de validation de 0,937. Le *gain* du modèle était de 2,238, ou $\exp(2,238)$, ou 9 fois plus élevé que celui d'une répartition aléatoire.

Contribution des variables environnementales

Parmi les variables environnementales, c'est l'altitude moyenne qui apportait la plus forte contribution relative au modèle (29,2 %); elle était suivie du pourcentage de milieu agricole (27,7 %) et de milieu forestier (23,3 %). Ensemble, ces trois variables comptaient pour 80,2 % de la variation totale du modèle. Les friches et la température annuelle moyenne apportaient une contribution beaucoup moindre, tandis que les précipitations annuelles moyennes et le pourcentage de pente nulle avaient une influence négligeable (tableau 3).

Tableau 3. Contribution relative des variables environnementales au modèle.

Variable environnementale	Contribution relative au modèle (en %)
Altitude moyenne	29,2
Pourcentage de milieu agricole	27,7
Pourcentage de milieu forestier	23,3
Pourcentage de friche	8,6
Température annuelle moyenne	6,6
Précipitations annuelles moyennes	2,5
Pourcentage de pente nulle	2,1

⁸. Voir l'encadré « Maxent ».

L'altitude moyenne était la variable environnementale qui améliorait le plus le modèle lorsqu'elle était utilisée seule (barre bleue; figure 14). De même, c'est la variable dont le retrait affectait le plus le modèle (barre turquoise). L'altitude était donc à la fois la variable qui contenait l'information la plus utile et celle qui contenait le plus d'information qui n'était pas présente dans les autres variables. Le milieu forestier jouait également un rôle important dans l'amélioration du modèle. Cependant, son retrait l'affectait beaucoup moins que le retrait du milieu agricole. Finalement, le pourcentage de friches et la température annuelle moyenne exerçaient un rôle moindre, alors que le pourcentage de pente nulle (« de classe A ») et les précipitations annuelles moyennes n'avaient qu'une importance négligeable.

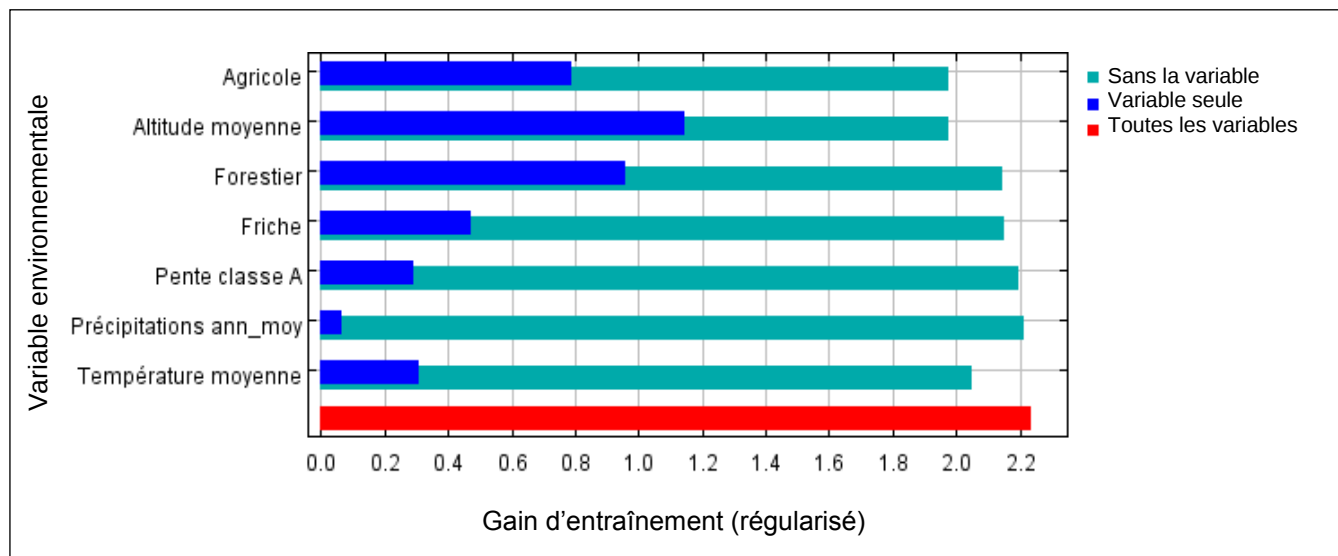


Figure 14. Performance des variables environnementales selon la procédure *jackknife* pour les données d'entraînement (utilisées pour bâtir le modèle). Pour chaque variable modélisée isolément, les barres bleues montrent le *gain* apporté au modèle, les barres turquoise montrent la perte de *gain* si cette variable est exclue du modèle et la barre rouge montre le *gain* du modèle global.

Courbes de réponse

Les trois variables qui contribuaient le plus au modèle influençaient de manière différente la probabilité de présence du hibou des marais (figure 15). En ce qui a trait à l'altitude, la probabilité était maximale à 1 m d'élévation (la valeur la plus faible dans notre jeu de données) et décroissait ensuite abruptement pour devenir nulle ou presque nulle à partir de 400 m. La proportion de milieux agricoles faisait augmenter la probabilité de présence du hibou des marais jusqu'à ce que le pourcentage atteigne environ 70 % ; au-delà de ce seuil, on observait une diminution. Pour sa part, le pourcentage de milieu forestier affectait négativement la probabilité de présence, qui avoisinait zéro quand celui-ci approchait de 100 %.

Parmi les variables dont la contribution était plus faible, les pourcentages de friches et de pente nulle étaient positivement liés à la probabilité de présence, de même que la température annuelle moyenne jusqu'à un seuil de 5,4 °C; cependant, au-delà de ce seuil, la probabilité chutait. Finalement, les précipitations annuelles moyennes avaient un effet négatif sur la probabilité de présence du hibou.

La valeur des probabilités affichée dans la figure 15 est très faible puisque, dans un format de sortie *raw*, c'est la somme des valeurs assignées à chacune des cellules qui est égale à un (Phillips, 2017).

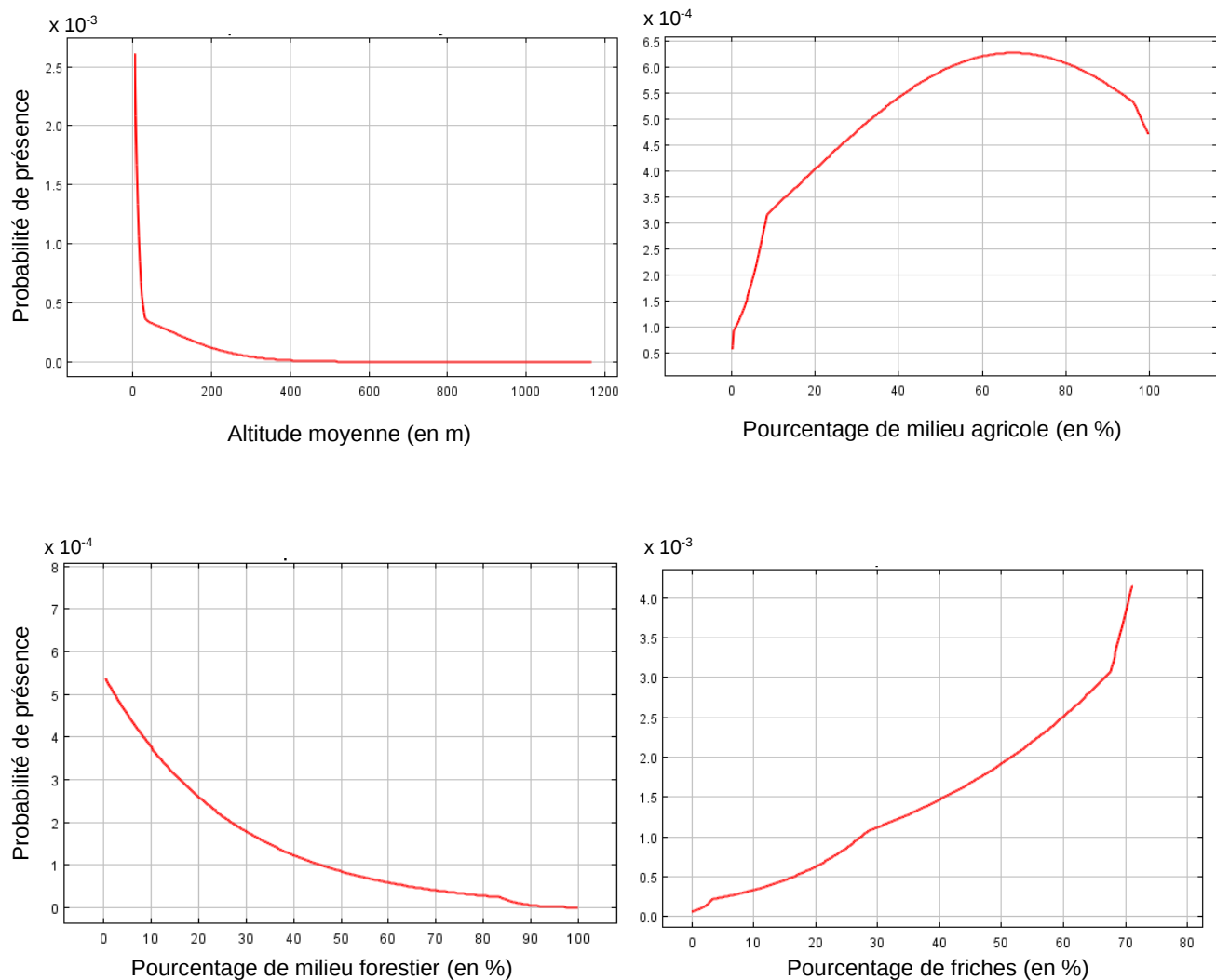


Figure 15. Probabilité de présence du hibou des marais en fonction de chaque variable environnementale prise isolément. L'axe des x indique la valeur de la variable (de 0 à 100 pour le pourcentage) et l'axe des y, la probabilité d'observer l'espèce.

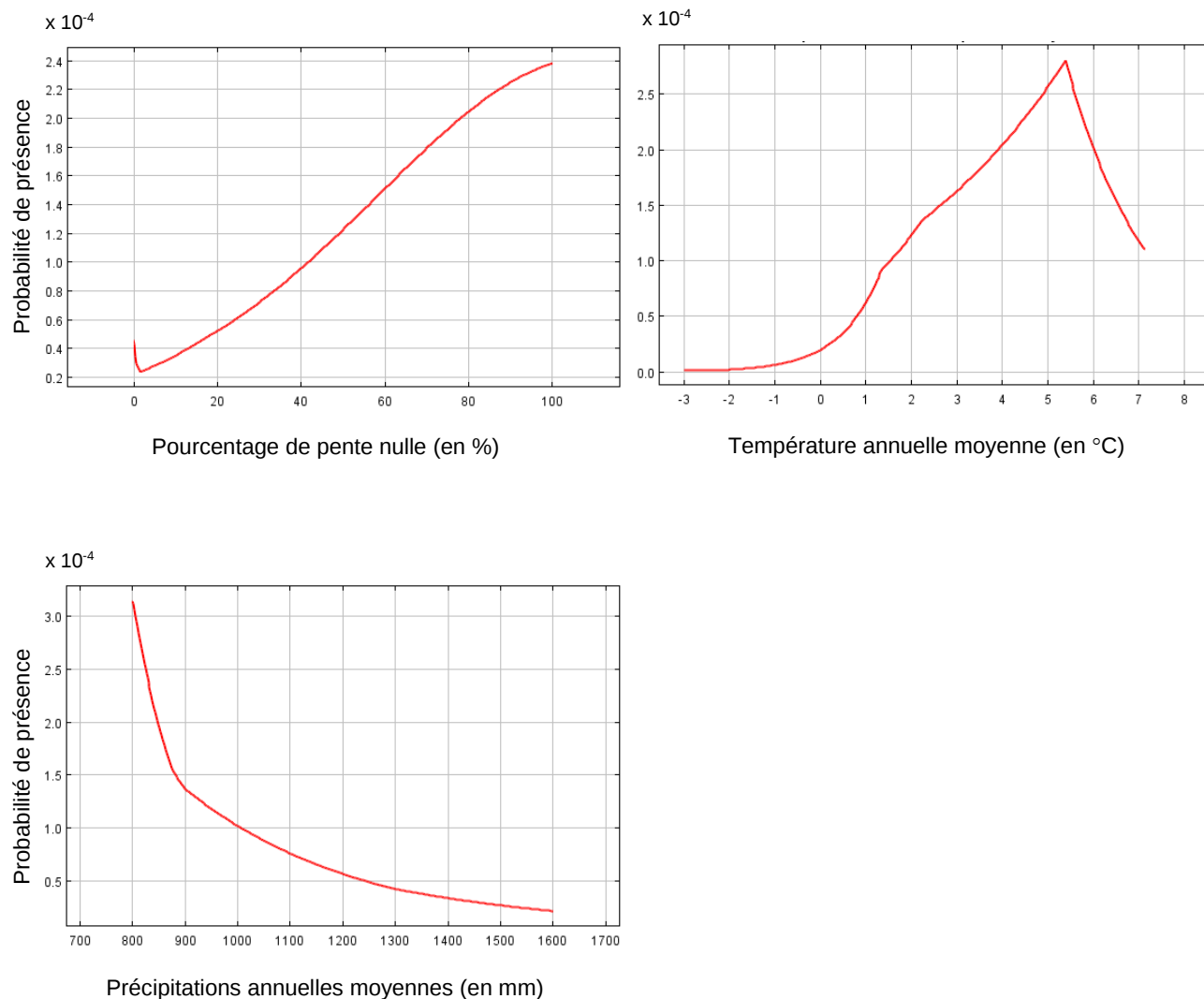


Figure 15 (suite). Probabilité de présence du hibou des marais en fonction de chaque variable environnementale prise isolément. L'axe des x indique la valeur de la variable (de 0 à 100 pour le pourcentage) et l'axe des y, la probabilité d'observer l'espèce.

Cartes des résultats

À l'échelle de l'aire d'étude, plusieurs régions du Québec semblent fournir des habitats propices à la nidification du hibou des marais (figure 16). C'est au Lac-Saint-Jean qu'on trouve la plus large zone d'habitat très propice, particulièrement au nord-ouest du lac, entre Girardville et Roberval. L'Abitibi présente également plusieurs secteurs très propices, quoique ceux-ci soient plus morcelés qu'au Lac-Saint-Jean. Le long du Saint-Laurent, on observe plusieurs zones propices ou très propices. Sur la rive sud, les plus larges se trouvent, notamment, au lac Saint-Pierre, à La Pocatière, à L'Isle-Verte et à Sainte-Luce. Sur la rive nord, on les observe à Baie-Saint-Paul et sur la Pointe-aux-Outardes. Finalement, on trouve des zones propices dans la baie des Chaleurs et aux Îles-de-la-Madeleine.

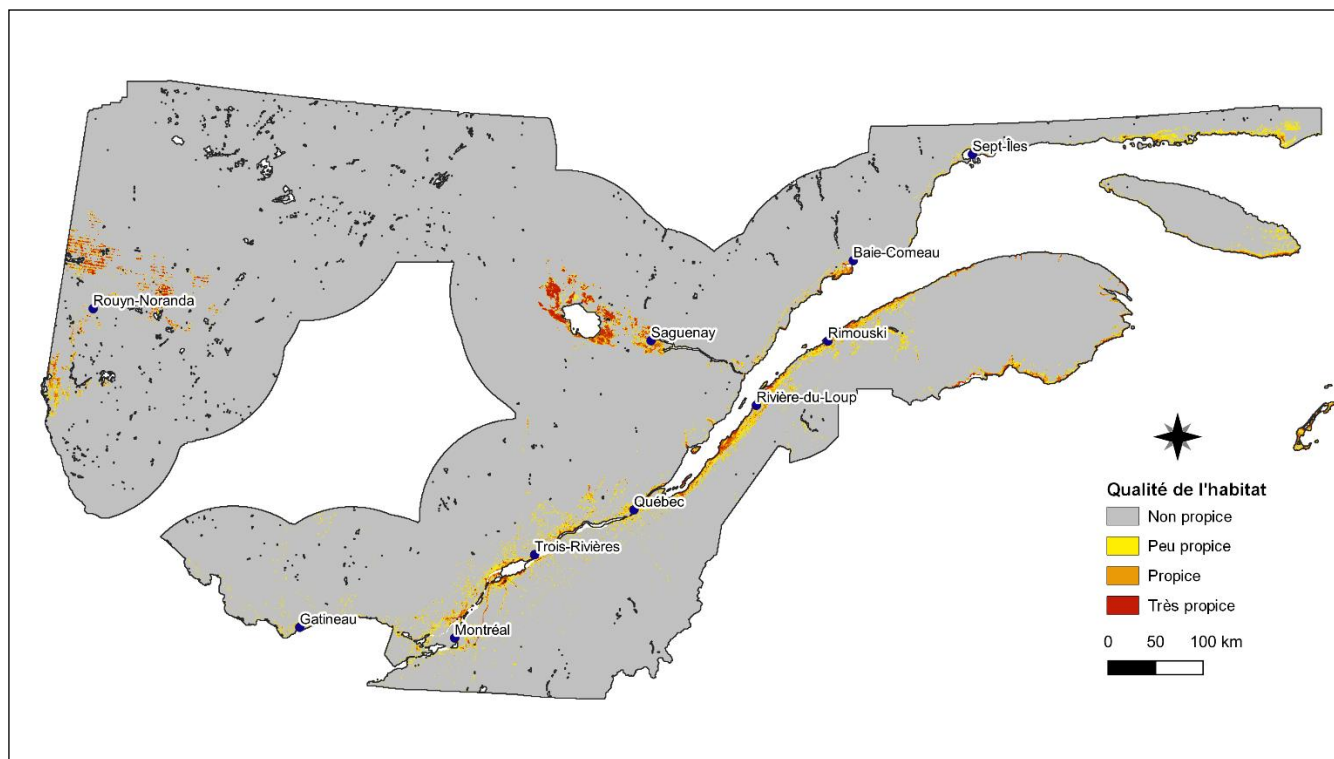


Figure 16. Probabilité d'observer un hibou des marais pendant la période de nidification selon les résultats de notre modélisation. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques, soit de 0, qui correspond à aucune probabilité d'observation, à 1 qui correspond à 100 % de probabilité d'observation : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).

Au Lac-Saint-Jean, la probabilité de présence du hibou des marais est élevée dans les basses terres situées au nord-ouest du lac, particulièrement autour de Normandin et au sud de Saint-Félicien, où l'habitat est très propice (figure 17). Le secteur situé entre Hébertville et Alma est également très favorable.

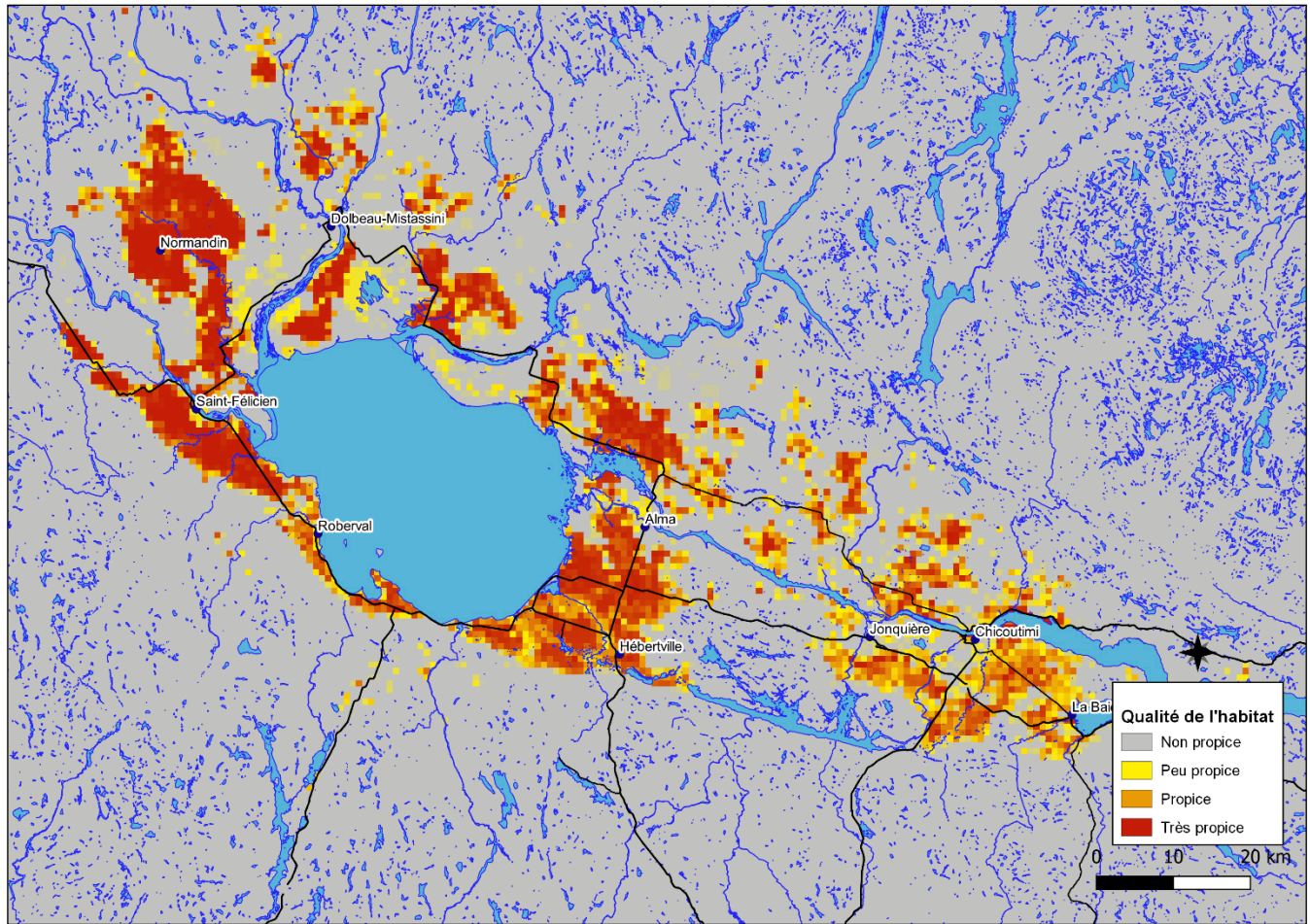


Figure 17. Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais au Lac-Saint-Jean pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).

En Abitibi (figure 18), deux secteurs sont dignes de mention, soit l'ouest et le sud de La Sarre et le sud-est d'Amos. Ces deux secteurs sont composés d'une mosaïque de terres agricoles très propices au hibou des marais.

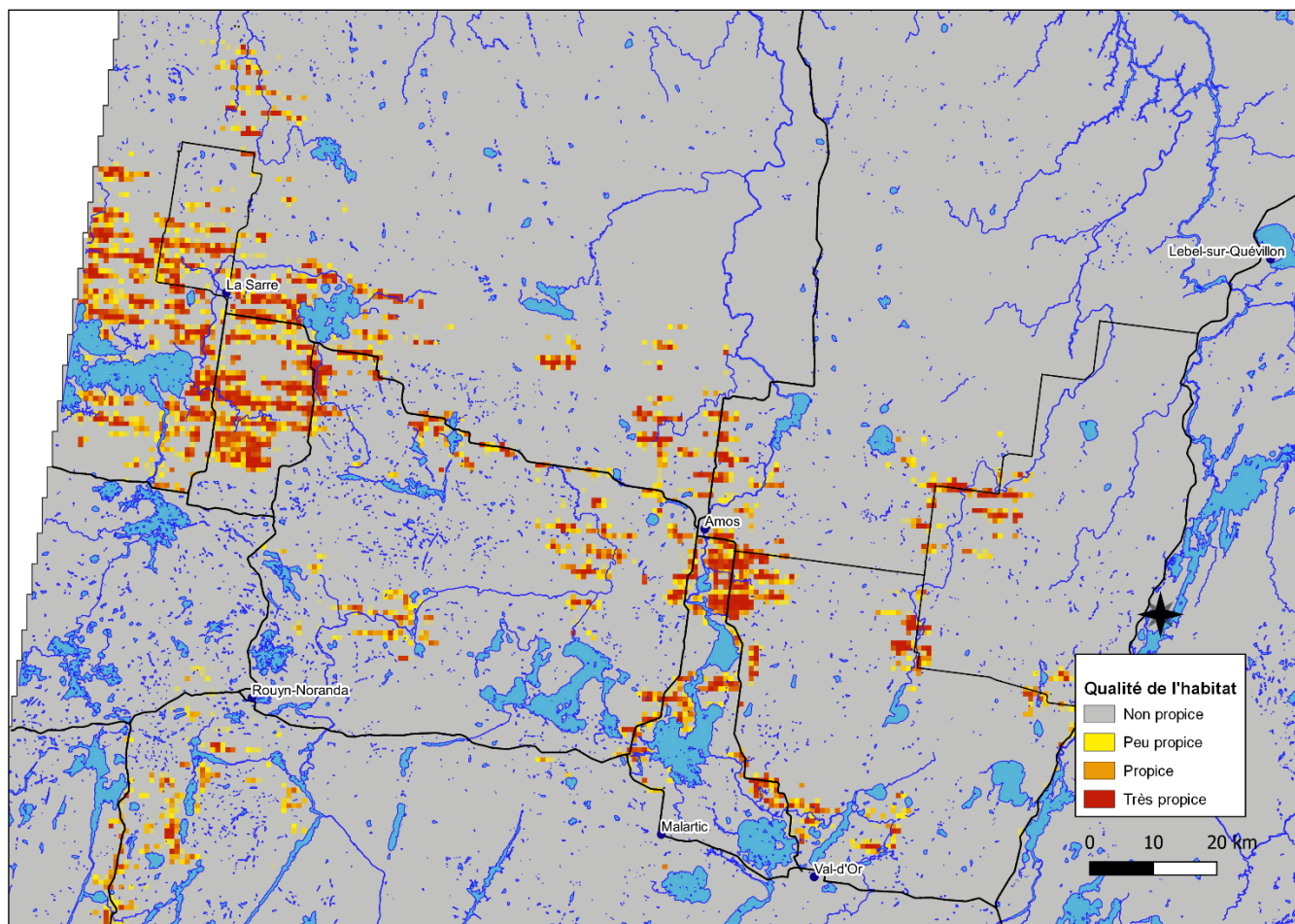


Figure 18. Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais en Abitibi pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).

Pour sa part, le Bas-Saint-Laurent comporte une zone très propice entre La Pocatière et Saint-Pascal (figure 19). Dans cette région, on voit que la probabilité de présence du hibou des marais est, en général, plus forte en bordure du Saint-Laurent qu'à l'intérieur des terres.

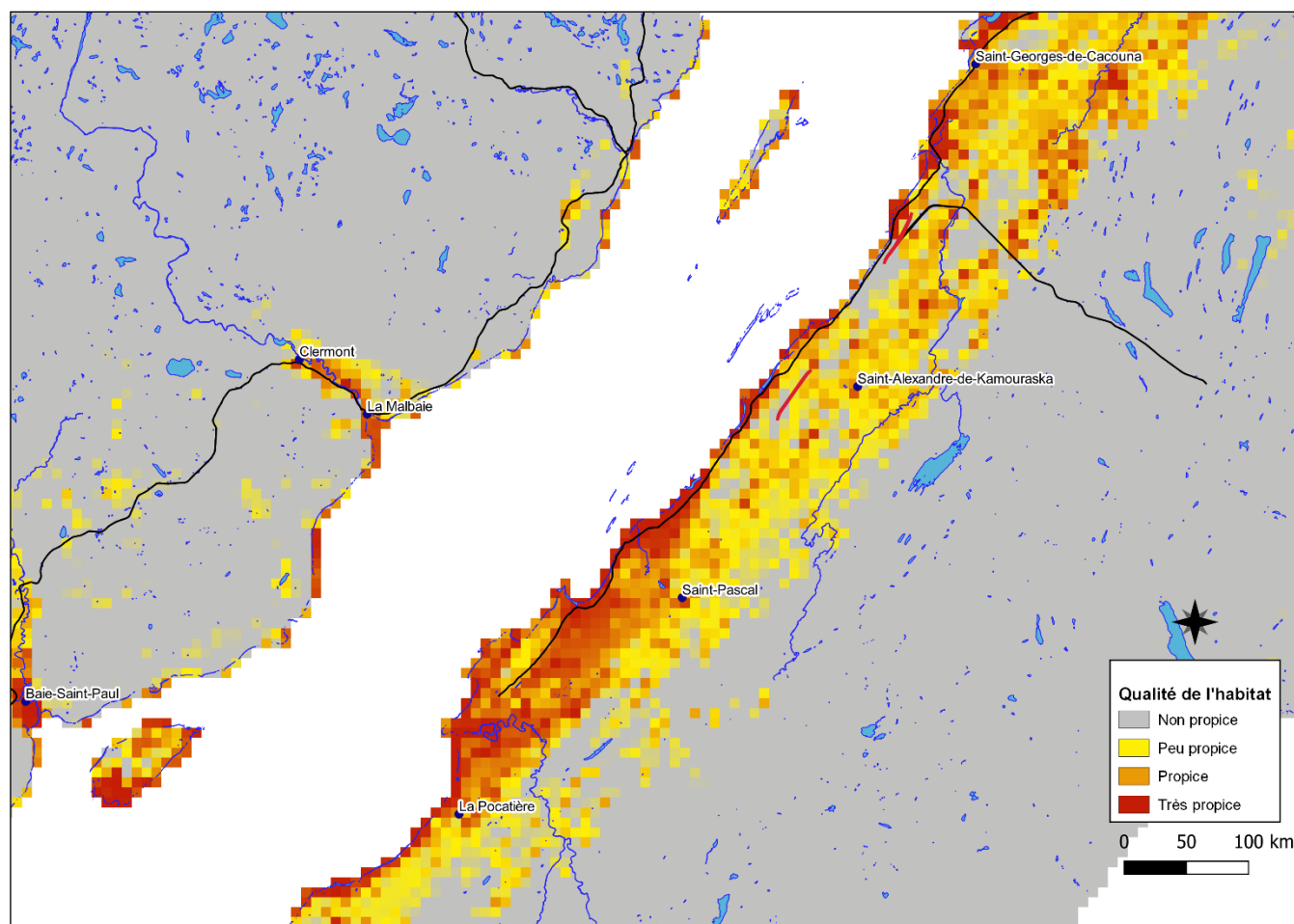


Figure 19. Probabilité modélisée d'observation du hibou des marais au Bas-Saint-Laurent pendant sa période de nidification. La probabilité est exprimée en valeurs logistiques : 0-0,24 (gris; non propice), 0,25-0,49 (jaune; peu propice), 0,50-0,74 (orange; propice) et 0,75-1 (rouge; très propice).

Discussion

Le but du présent rapport était de mettre au point un modèle de qualité de l'habitat (MQH) du hibou des marais en vue de déterminer les zones les plus propices à la détection de l'espèce. Le modèle élaboré présentait une AUC de 0,958, ce qui indique un modèle performant. Comme notre modèle ne comprenait pas de données d'absence, la valeur de l'AUC doit être interprétée avec une certaine prudence. En effet, l'AUC est utilisée normalement pour évaluer la performance rendement de modèles construits avec des données de présence et des données d'absence; dans le cas de modèles comprenant uniquement des données de présence, l'AUC devrait être utilisée pour comparer deux modèles entre eux (Yackulic et coll., 2013). Le *gain* du modèle était de 2,238, soit 9 fois celui d'une répartition aléatoire, ce qui signifie que le modèle avait un bon pouvoir prédictif.

L'altitude, le pourcentage de milieu agricole et le pourcentage de milieu forestier étaient les variables environnementales les plus importantes de notre modèle. L'altitude venait en premier, sans doute parce que la probabilité de présence du hibou des marais était beaucoup plus élevée le long du Saint-Laurent et dans les zones à vocation agricole qui, généralement, sont situées à faible altitude. La probabilité de présence chutait de façon draconienne avec une augmentation de l'élévation, ce qui concorde avec les résultats de Miller et coll. (2018).

Le pourcentage de milieu agricole était la deuxième variable en ce qui concerne la contribution au modèle. La probabilité de présence du hibou des marais augmentait de façon marquée avec le pourcentage de milieu agricole, mais elle fléchissait ensuite. Il est possible que malgré l'importance des milieux agricoles pour le hibou des marais (Herkert et coll., 1999; Miller et coll., 2018; SOS-POP, 2020), l'espèce cherche une certaine diversité d'habitats pour nicher. Cette hypothèse concorde avec les résultats de Miller et coll. (2018) qui ont observé que la probabilité de présence du hibou diminue quand la proportion de milieux agricoles, de friches et de prairies atteint 100 % dans un rayon de 150 m.

Troisième variable en importance, le pourcentage de milieu forestier était inversement proportionnel à la probabilité de la présence du hibou des marais. L'espèce étant spécialiste des milieux ouverts, il va de soi qu'elle évite les forêts (Booms et coll., 2014; Miller et coll., 2016; Shaffer, 2019).

La proportion de friches était positivement liée à la probabilité de présence du hibou des marais, ce qui concorde avec la littérature (Holt et coll., 1999; Wiggins et coll., 2006; Shaffer, 2019). Cependant, les friches apportaient une contribution moindre que ce à quoi on aurait pu s'attendre : cet habitat est souvent considéré comme important pour le hibou des marais (Bélanger et Bombardier, 1995; Holt et coll., 1999; Miller et coll., 2018). Une explication pourrait résider dans la nature même des friches, qui constituent un milieu transitoire; ainsi, certaines friches cartographiées lors des premières années des inventaires du quatrième décennal (2003-) ont pu évoluer jusqu'à devenir de jeunes forêts et ne plus répondre aux besoins du hibou des marais dix ou quinze ans plus tard. Cela dit, puisque les inventaires du quatrième décennal remontent, dans le pire des cas, à seize ans, seules les mentions les plus récentes pourraient être touchées et ces dernières étaient minoritaires dans le jeu de données (19 % des mentions ont été récoltées à partir de 2013).

La relation entre la température annuelle moyenne et la probabilité d'observer le hibou des marais montre que cette dernière augmentait de façon linéaire jusqu'à ce que la température atteigne un seuil d'environ

5,4 °C, pour chuter rapidement par la suite. Il est possible que cela résulte du fait que peu de points de présence se trouvent dans la grande région de Montréal, où la température annuelle moyenne est parmi les plus élevées au Québec (environ 7 °C ; figure 12). Or, dans cette région, le développement résidentiel et commercial a fait disparaître, depuis un quart de siècle, plusieurs sites régulièrement fréquentés par le hibou des marais, notamment sur la rive sud de Montréal (P. Bannon, communication personnelle). La baisse de la probabilité de présence du hibou des marais lorsque la température annuelle moyenne est élevée pourrait tirer son origine d'une importante perte d'habitat plutôt que d'une préférence de l'espèce.

Les précipitations annuelles moyennes avaient une faible influence négative sur la probabilité de présence du hibou des marais. La valeur moyenne des précipitations aux points de présence était de 991 mm (± 114), alors qu'elle était de 1 035 mm (± 138) dans l'ensemble de l'aire d'étude.

Finalement, le pourcentage de pente nulle était directement proportionnel à la probabilité de présence du hibou des marais, une espèce connue pour nicher sur des terrains plats (Miller et coll., 2018). Le pourcentage moyen de pente nulle dans un rayon de 400 m autour des points de présence était de 72,5 % ($\pm 30,9$). Toutefois, cette variable n'avait, elle aussi, que peu d'influence sur le modèle.

Enjeux de modélisation

Évidemment, comme les MQH sont une approximation de la réalité, ils comportent des limites. D'abord, le choix des variables environnementales pour l'analyse Maxent est limité par certaines contraintes. Par exemple, la période à laquelle se rattachent ces variables doit correspondre, le plus fidèlement possible, à celle durant laquelle les points de présence ont été récoltés. Or, les données disponibles ne répondent pas toujours à ce critère. Par exemple, les couches météorologiques ont été créées à partir des données WorldClim (1970-2000), alors que les données de présence ont été récoltées à partir de 1994. Bien que l'on puisse supposer que la température et les précipitations suivent, à peu près, les mêmes tendances partout dans l'aire d'étude, des données couvrant le même intervalle que celui des données de présence auraient été préférables. Cependant, ce décalage est plus problématique avec les couches d'habitats puisque certaines de leurs composantes peuvent changer brusquement ou nettement disparaître, par exemple à la suite d'une coupe forestière ou après la transformation, en culture agricole, d'un milieu humide. Les couches utilisées pour notre MQH ont été produites à partir de données datant de 2003, une différence de neuf ans avec nos données de présence les plus anciennes. Il est donc possible que des changements dans la nature de l'habitat soient survenus dans l'intervalle, ce qui a pu fausser certains résultats du modèle.

Par ailleurs, comme il a été mentionné précédemment, notre couche de milieux agricoles ne faisait pas de distinction entre les cultures pérennes et les cultures annuelles. À notre connaissance, seule la Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD) de la Financière agricole du Québec contient des données précises sur les types de cultures pratiquées dans le sud du Québec. Cependant, parce que les types de cultures peuvent changer d'une année à l'autre, ces données sont valides sur une base annuelle seulement, alors que nos données de présence étaient étalées sur une période de vingt-cinq ans. Nous avons tenté de comparer les données de la BDPPAD avec les points de présence annuels, mais cette comparaison réduisait considérablement la taille de notre échantillon. De plus, dans la moitié des cas, il n'existait aucun chevauchement entre un rayon de 400 m autour des

points de présence et les polygones de la BDPPAD. Finalement, la couche de la BDPPAD comprenait seulement une partie de notre aire d'étude, ce qui contrevenait aux exigences de Maxent.

En période de nidification, le hibou des marais évite les cultures annuelles. En conséquence, d'une année à l'autre, un secteur propice à la nidification du hibou des marais peut devenir non propice (par exemple, si un pâturage est transformé en champ de maïs). De 1993 à 2014, la superficie des terres occupées par les cultures annuelles est passée de 33 % à 66 % sur le territoire agricole québécois (Drapeau et coll., 2019). Cela représente une perte d'habitat importante dont notre modèle ne peut rendre compte, puisque les terres en question ont conservé une vocation agricole.

En dernier lieu, il se peut que la très faible influence des milieux humides – un milieu que prise le hibou des marais – sur le modèle provenait du fait que les tourbières de l'intérieur du territoire font rarement l'objet d'inventaires (COSEPAC, 2008).

Conclusion et recommandations

Le but du présent rapport était de modéliser la qualité de l'habitat du hibou des marais pour déterminer les zones les plus favorables à l'espèce dans le Québec méridional. Notre MQH jette une lumière nouvelle sur les éléments qui influent sur la répartition du hibou des marais ainsi que sur leur importance relative. Nous espérons qu'il servira d'aide à la décision dans le suivi de l'espèce dans le sud du Québec. Nous recommandons que l'exercice soit répété dans le futur en utilisant, si possible, des données d'habitat plus précises. Ce nouveau MQH pourrait être construit soit à l'aide de Maxent, soit à l'aide d'un autre logiciel plus flexible quant au choix des variables. Nous suggérons du même coup que des mesures soient prises pour améliorer la précision des données recueillies en ce qui a trait aux habitats de nidification. Cela pourrait être fait, par exemple, en adaptant le protocole SOS-POP pour que la prise de données soit faite de la même manière que celle utilisée dans le nouveau protocole du MFFP. Dans les années à venir, les résultats de ces nouveaux inventaires permettront de valider et d'améliorer le MQH. En conclusion, nous espérons que notre modèle permettra de mieux connaître l'espèce et de mieux la protéger.

Bibliographie

- BÉLANGER, L., et M. BOMBARDIER (1995). « Hibou des marais », p. 610-613, dans J. Gauthier et Y. Aubry (sous la direction de), *Les Oiseaux nicheurs du Québec : Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional*, Association québécoise des groupes d'ornithologues, Société québécoise de protection des oiseaux, Service canadien de la faune, Environnement Canada, région du Québec, Montréal, 1 295 p.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2016). *Asio flammeus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22689531A93234548 [En ligne] [<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22689531A93234548.en>].
- BLANCHETTE, P., et F. LANDRY (2015). *Modèle de répartition spatiale du dindon sauvage au Québec : présentation d'une méthode et de son application*, Direction de la faune terrestre et de l'avifaune, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Secteur de la faune et des Parcs, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 58 p.
- BOOMS, R. H., G. L. HOLDROYD, M. A. GABHAUER, H. E. TREFRY, D. A. WIGGINS, D. W. HOLT, J. A. JOHNSON, S. B. LEWIS, M. D. LARSON, K. L. KEYES et S. SWENGEL (2014). "Assessing the status and conservation priorities of the Short-eared Owl in North America", *Journal of Wildlife Management*, vol. 78, p. 772-778.
- CLARK, R. J. (1975). "A field study of the Short-eared Owl, *Asio flammeus* (Pontoppidan), in North America", *Wildlife Monographs*, vol. 47, p.1-67.
- COSEPAC (2008). *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le Hibou des marais (Asio flammeus) au Canada – Mise à jour*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, 28 p.
- COSEPAC (2021). *Évaluations des espèces sauvages du COSEPAC (version détaillée), mai 2021*. [En ligne] [<https://www.cosewic.ca/index.php/fr/processus-d-evaluation/version-detaillee-mai-2021.html>] (Consulté le 6 juillet 2021).
- CRAMP, S. (1985). *The birds of the Western Palaearctic*, vol. 4, Oxford, Oxford University Press, 960 p.
- DRAPEAU, P., A. LEDUC, B. JOBIN, L. IMBEAU et M. DESROCHERS (2019). « Changements d'habitat et de répartition des oiseaux nicheurs d'un atlas à l'autre », p. 35, dans M. Robert, M.-H. Hachey, D. Lepage et A. R. Couturier (sous la direction de), *Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional*, Regroupement QuébecOiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Études d'Oiseaux Canada, Montréal, 694 p.
- DUDIK, M., S. J. PHILLIPS et R. E. SCHAPIRE (2007). "Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling", *Journal of machine learning research*, vol. 8, p. 1217-1260.

- ELITH, J., C. H. GRAHAM, R. P. ANDERSON, M. DUDÍK, S. FERRIER, A. GUIBAN et J. LI (2006). "Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data", *Ecography*, vol. 29, n° 2, p. 129-151.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2016). *Plan de gestion du Hibou des marais (Asio flammeus) au Canada [Proposition]*, Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril, Environnement Canada, Ottawa, 38 p.
- GAGNON, C., J. LEMAÎTRE, G. LUPIEN et J. TREMBLAY (2015). « Mise en place d'un inventaire spécifique du hibou des marais pour le Québec », *Le Naturaliste canadien*, vol. 139, n° 1, p. 12-16.
- GOVERNMENT OF SASKATCHEWAN (2015). *Species detection survey protocols. Short-eared Owl surveys*, Fish and Wildlife Branch Technical Report No. 2015-6.0, May 2015, 8 p.
- HERKERT, J. R., S. A. SIMPSON, R. L. WESTEMEIER, T. L. ESKER et J. W. WALK (1999). "Response of Northern Harriers and Short-eared Owls to grassland management in Illinois", *The Journal of wildlife management*, p. 517-523.
- HOLT, D. W., R. BERKLEY, C. DEPPE, P. L. ENRIQUEZ-ROCHA, P. D. OLSEN, J. L. PETERSEN, J. L. RANGEL-SALAZAR, K. P. SEGARS et K. L. WOOD (1999). Strigidae species accounts, p. 153-242, dans J. del Hoyo, A. Elliott et J. Sargatal (sous la direction de), *Handbook of the birds of the world*, vol. 5, Barcelone, Lynx, 759 p.
- MERROW, C., M. J. SMITH et J.A. SILANDER JR. (2013). "A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter", *Ecography*, vol. 36, p. 1058-1069.
- MFFP (2021). *Protocole standardisé d'inventaire du hibou des marais dans le Québec méridional*, Québec, gouvernement du Québec, 27 p. et annexes.
- MILLER, R. A., N. PAPROCKI, M. STUBER, C. MOULTON et J. CARLISLE (2016). "Short-eared Owl (*Asio flammeus*) surveys in the North American Intermountain West: utilizing citizen scientists to conduct monitoring across a broad geographic scale", *Avian Conservation and Ecology*, vol. 11, n° 1.
- MILLER, R. A., C. BATTISTONE, H. HAYES, M. D. LARSON, C. TOMLINSON, E. ARMSTRONG, N. PAPROCKI, J. B. BUCHANAN, Z. NELSON, J. D. CARLISLE et C. MOULTON (2018). *Western Asio flammeus Landscape Study (WAfLS) Annual Report Version 1.0*, 27 p. et annexes.
- NATURESERVE (2019). *NatureServe Explorer v 7.1* [En ligne]
[<http://explorer.natureserve.org/servlet/NatureServe?searchSciOrCommonName=short-eared%20owl>].

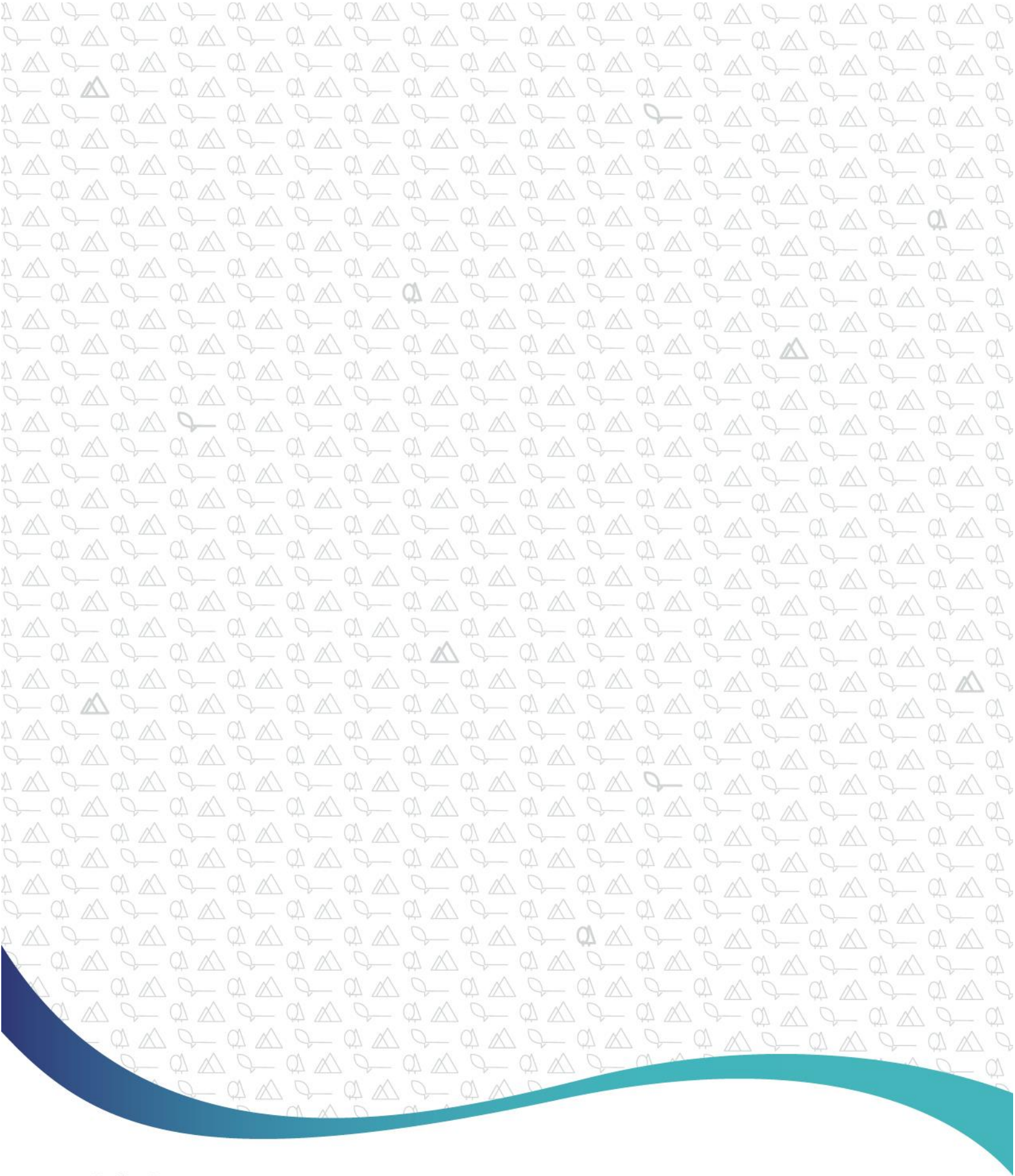
- PELLERIN, S., et M. POULIN (2013). Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable, rapport final pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 104 p.
- PHILLIPS, S. J., R.P. ANDERSON et R.E. SCHAPIRE (2006). "Maximum entropy modeling of species geographic distributions", *Ecological modelling*, vol. 190, n^{os} 3 et 4, p. 231-259.
- PHILLIPS, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent*, [En ligne] [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/].
- RIVARD, A., F. SHAFFER et G. FALARDEAU (2011). *Suivi de la nidification des espèces d'oiseaux en péril à l'île aux Grues et l'île aux Oies, été 2007*, rapport inédit, Service canadien de la faune, région du Québec, Québec, 49 p.
- SHAFFER, F. (2019). « Hibou des marais », p. 312-313 dans M. Robert, M.-H. Hachey, D. Lepage et A. R. Couturier (sous la direction de), *Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional*. Regroupement QuébecOiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Études d'Oiseaux Canada, Montréal, 694 p.
- SOS-POP (2020). *Banque de données sur les populations d'oiseaux en situation précaire au Québec [septembre 2019]* du Regroupement QuébecOiseaux, Montréal.
- WIGGINS, D. A., D. W. HOLT et S. M. LEASURE (2006). "Short-eared Owl (*Asio flammeus*), version 2.0", dans A. F. Poole (sous la direction de), *The Birds of North America*, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca [En ligne] [<https://doi.org/10.2173/bna.62>].
- YACKULIC, C. B., R. CHANDLER, E. F. ZIPKIN, J. A. ROYLE, J. D. NICHOLS, E. H. CAMPBELL GRANT et S. VERAN (2013). "Presence-only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences?", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 4, n^o 3, p. 236-243.
- YOUNG, N., L. CARTER et P. EVANGELISTA (2011). *A MaxEnt Model v3.3.3c Tutorial (ArcGIS v10)*, Colorado State University.

Annexe 1 Indices de nidification

Indices de nidification

Ordre croissant de certitude	Code	Catégorie	Description
0	0	s. o.	Absence d'individus
1	G	s. o.	Rassemblement d'individus dans une aire de concentration
2	H	Nidification possible	Espèce observée pendant sa période de reproduction dans un habitat de nidification propice
3	S	Nidification possible	Individu chantant ou sons associés à la reproduction dans un habitat de nidification propice
4	M	Nidification probable	Au moins sept individus produisant des sons liés à la reproduction entendus lors d'une même visite
5	P	Nidification probable	Couple observé pendant la période de reproduction de l'espèce dans un habitat de nidification propice
6	T	Nidification probable	Territoire présumé sur la base de l'audition de sons associés à la reproduction ou sur celle de l'observation d'un adulte au cours de deux journées différentes à au moins une semaine d'intervalle
7	C	Nidification probable	Comportement nuptial entre un mâle et une femelle ou comportement agonistique entre deux individus
8	V	Nidification probable	Oiseau visitant un site probable de nidification pendant la période de reproduction dans un habitat de nidification propice
9	A	Nidification probable	Comportement agité ou cris d'alarme de la part d'un adulte pendant la période de reproduction de l'espèce dans un habitat de nidification propice
10	B	Nidification probable	Plaque incubatrice ou protubérance cloacale
11	N	Nidification probable	Construction d'un nid par un troglodyte ou excavation d'une cavité par un pic
12	NU	Nidification probable	Nid ancien (occupé il y a > 1 an)

Ordre croissant de certitude	Code	Catégorie	Description
13	CN	Nidification confirmée	Construction d'un nid par un troglodyte ou excavation d'une cavité par un pic
14	DD	Nidification confirmée	Oiseau tentant de détourner l'attention du nid ou des jeunes en simulant une blessure ou en utilisant une autre parade de diversion
15	NU	Nidification confirmée	Nid vide ayant été utilisé dans la période de l'Atlas ou coquilles d'œufs pondus dans cette même période
16	JE	Nidification confirmée	Jeune ayant récemment quitté le nid (espèces nidicoles) ou jeune en duvet (espèces nidifuges) incapable d'un vol soutenu
17	NO	Nidification confirmée	Adulte occupant, quittant ou gagnant un site probable de nidification et dont le comportement révèle un nid occupé
18	FE	Nidification confirmée	Adulte transportant un sac fécal
19	AT	Nidification confirmée	Adulte transportant de la nourriture pour les jeunes
20	NF	Nidification confirmée	Nid contenant un ou des œufs
21	NJ	Nidification confirmée	Nid contenant un ou des jeunes



**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 