



**ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR L'ABONDANCE ET
LA RÉPARTITION DES ÉTANGS VERNAUX
SUR LE TERRITOIRE FORESTIER GASPÉSIEN**

Mars 2015

Rédaction

Antoine Richard, biologiste M. Sc., Direction des opérations intégrées
Jacques Ouellet, technicien forestier, Direction des opérations intégrées

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Walter Bertacchi, Yohann Dubois, Sébastien Nadeau et Steve Faccio pour le généreux partage de leurs connaissances sans lequel ce projet n'aurait pu voir le jour.

Réalisation

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction générale de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine
195, boulevard Perron Est
Caplan (Québec)
G0C 1H0
Téléphone : 418 388-2125
Télécopieur : 418 388-2444

Photographie

Antoine Richard, biologiste M. Sc., MFFP

Diffusion

Cette publication est accessible en ligne uniquement à l'adresse :

mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/etangs-vernaux-gaspesie.pdf

Résumé

Les étangs vernaux (EV) sont des milieux particulièrement riches sur le plan de la biodiversité et jouent un rôle important dans l'écosystème forestier. Leur prise en compte dans la planification forestière est toutefois limitée par l'absence de cartographie précisant leur localisation et la difficulté de les trouver en saison sèche ou hivernale. Ce projet d'acquisition de connaissances visait à pallier ces lacunes.

En tout, 82 400 ha de forêt ont été photo-interprétés, ce qui a permis de localiser 490 étangs vernaux. La majorité des étangs répertoriés se situe dans le nord-est de la péninsule. Il est estimé que le nombre total d'étangs vernaux sur le territoire forestier gaspésien se situerait entre 6 944 et 21 802, selon les méthodes d'estimation utilisées.



Table des matières

Introduction	1
Méthodologie.....	3
Site d'étude.....	4
Méthode et critères pour la photo-interprétation	7
Validation sur le terrain	8
Extrapolation du nombre et de la répartition des EV	8
Résultats	10
Photo-interprétation	10
Validation sur le terrain	10
Extrapolation du nombre et de la répartition des EV	15
Discussion et conclusion	17
Bibliographie	19
Annexe 1 Détermination des niveaux de confiance	20
Annexe 2 Table AICc.....	21
Annexe 3 Distribution de fréquence des niveaux de confiance attribués aux EV	22
Annexe 4 Sortie du meilleur modèle	23

Liste des tableaux

Tableau 1	Variables indépendantes intégrées dans la modélisation de la probabilité de trouver un EV dans une tesselle	8
Tableau 2	Résultats de la photo-interprétation pour chaque unité de paysage et caractéristiques permettant d'évaluer le nombre total d'EV trouvés dans chaque unité de paysage	15

Liste des figures

- Figure 1** Exemple d'un étang vernal tel qu'il a été observé sur les photos de 2013 et de 2012. L'assèchement du milieu est bien visible. 3
- Figure 2** Territoire forestier public de la Gaspésie..... 4
- Figure 3** Répartition des 4 400 tesselles sélectionnées pour la photo-interprétation Ces tesselles sont réparties dans la couverture photographique du printemps 2013 en fonction des unités de paysage (nombres en noirs sur la couche)..... 6
- Figure 4** Répartition spatiale des 490 étangs vernaux répertoriés lors de la photo-interprétation de 82 400 ha 12
- Figure 5** Distribution de fréquence des tailles des 490 EV répertoriés lors de la photo-interprétation. 13
- Figure 6** Distribution du nombre d'étangs par unité de paysage. Le compte des étangs associés à l'unité de paysage régional est indiqué au-dessus de la bande correspondante. Calculé sur la base des 306 étangs. 14
- Figure 7** Probabilité de trouver des EV selon les prédictions du modèle logistique. D'après les analyses de sensibilité et de spécificité, les trois dernières classes de probabilité (en vert) peuvent être considérées comme contenant des EV. 16

Introduction

Les étangs vernaux, qui parsèment le sol de la forêt gaspésienne, sont des milieux particulièrement riches sur le plan de la biodiversité. On définit les EV comme de petites nappes d'eau de faible profondeur qui apparaissent au printemps à la suite de la fonte des neiges et qui s'assèchent complètement au cours de l'été (la fréquence d'assèchement peut s'étirer sur plus d'un an). Cette dernière caractéristique, jumelée au fait qu'ils sont normalement isolés du réseau hydrographique, fait des étangs vernaux des écosystèmes uniques, puisqu'ils sont exempts de poissons. Ainsi, les EV supportent un riche assemblage d'invertébrés (Colburn et coll., 2008) et d'amphibiens (Semlitsch et Skelly, 2008), dont certains dépendent des EV pour achever leur cycle vital. En Gaspésie, la grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*), la salamandre maculée (*Ambystoma maculatum*), la salamandre à points bleus (*Ambystoma laterale*) et les crevettes éphémères (*Eubbranchipus* spp.) se reproduisent exclusivement, sinon prioritairement, dans les EV.

En plus de soutenir une faune unique, les EV jouent plusieurs rôles clés dans l'écosystème forestier. En effet, comme les autres milieux humides de la forêt gaspésienne, les EV fournissent un habitat riche en biomasse qui attire une variété d'oiseaux, de mammifères et de reptiles (Mitchell et coll., 2008). Les étangs vernaux jouent un rôle essentiel dans la connectivité des milieux humides en servant de foyer de dispersion aux espèces fauniques à petit domaine vital, une fonction particulièrement importante en Gaspésie où les autres types de milieux humides occupent une faible proportion du territoire (2 % de la région). De plus, le quiscle rouilleux (*Euphagus carolinus*), une espèce à statut précaire (susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable par le gouvernement du Québec et préoccupante pour le gouvernement fédéral) présente en Gaspésie, est connu pour fréquenter ces milieux (Powell et coll., 2010). Les étangs vernaux constituent également un habitat riche en insectes qui attire conséquemment les chauves-souris (Francl, 2005), dont la majorité des espèces gaspésiennes se trouve sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables. Soulignons également que ces milieux sont couramment utilisés par l'orignal, une espèce vedette de la forêt gaspésienne, dont la chasse engendre d'importantes retombées sociales et économiques. Conséquemment, bien qu'ils soient généralement de petite taille (< 1 ha et souvent < 0,1 ha), les étangs vernaux participent, à plusieurs égards et de façon très importante, à la richesse de l'écosystème.

Les étangs vernaux constituent donc des écosystèmes uniques et particulièrement riches de notre forêt. Leur prise en compte dans l'aménagement du territoire forestier gaspésien constitue une occasion de conserver la biodiversité locale et régionale et permet d'appliquer l'article 2 de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (LADTF) qui précise que l'aménagement durable des forêts contribue plus particulièrement à la conservation de la diversité biologique.

Le Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI), tout comme le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts (RADF), ne prévoit aucune forme de protection pour ces milieux humides. On peut attribuer cette lacune au fait que la reconnaissance de l'importance des EV pour la biodiversité n'est que très récente. De plus, en raison de leur petite taille et de leur nature saisonnière, la majorité des EV n'apparaît pas sur les outils cartographiques du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). D'ailleurs, la norme de stratification écoforestière (quatrième inventaire écoforestier du Québec méridional, 2013) n'envisage pas de les incorporer à la cartographie écoforestière. On ne connaît conséquemment pas leur nombre ni leur distribution sur le territoire gaspésien. Finalement, les EV ne sont pas toujours facilement identifiables au moment des travaux, surtout s'ils sont asséchés ou sous la neige.

L'objectif principal de cette étude est de développer et de tester une méthode de localisation des étangs vernaux afin d'entamer la cartographie de ces milieux humides sur le territoire gaspésien. L'atteinte de cet objectif permettra d'évaluer l'abondance et la distribution des EV en Gaspésie, première étape de leur considération dans la planification forestière.

Méthodologie

Nous avons utilisé une combinaison de photographies aériennes pour cartographier les étangs vernaux. Bien que cette méthode comporte certains désavantages (Carpenter et coll., 2011), notamment en ne permettant pas de distinguer les étangs qui se trouvent sous le couvert forestier, elle demeure très utile pour la localisation d'EV sur une grande superficie. C'est d'ailleurs cette méthode qui a été utilisée pour cartographier les EV du Maine, du New Jersey (Lathrop et coll., 2005) et du Massachusetts (Burne, 2001). Plus précisément, nous avons utilisé les orthophotographies prises en 2013 par le MFFP. Ces photos, normalement prises à la fin de l'été alors que les EV sont asséchés, ont été prises au printemps en 2013, ce qui permet de localiser de petites dépressions remplies d'eau. La résolution de ces images, de 30 cm, permet de trouver de très petits étangs. De plus, en consultant les photos des années précédentes, il était possible de confirmer l'assèchement des étangs répertoriés (figure 1).

Bien que les photos prises par le Ministère visent normalement à couvrir les travaux de récolte réalisés l'année précédente, par leur taille, elles couvrent également la forêt environnante. L'utilisation de ces photos a donc permis de localiser des étangs situés dans des secteurs de coupe, mais également dans la forêt résiduelle.



Figure 1 Exemple d'un étang vernal tel qu'il a été observé sur les photos de 2013 et de 2012. L'assèchement du milieu est bien visible.

Site d'étude

Le territoire à l'étude est celui de la région forestière publique de la Gaspésie (figure 2), soit un territoire de 1 701 046 ha. La zone couverte par les orthophotographies de 2013 est de 651 117 ha, soit d'environ 38 % de la superficie occupée par le territoire forestier public gaspésien (figure 3).

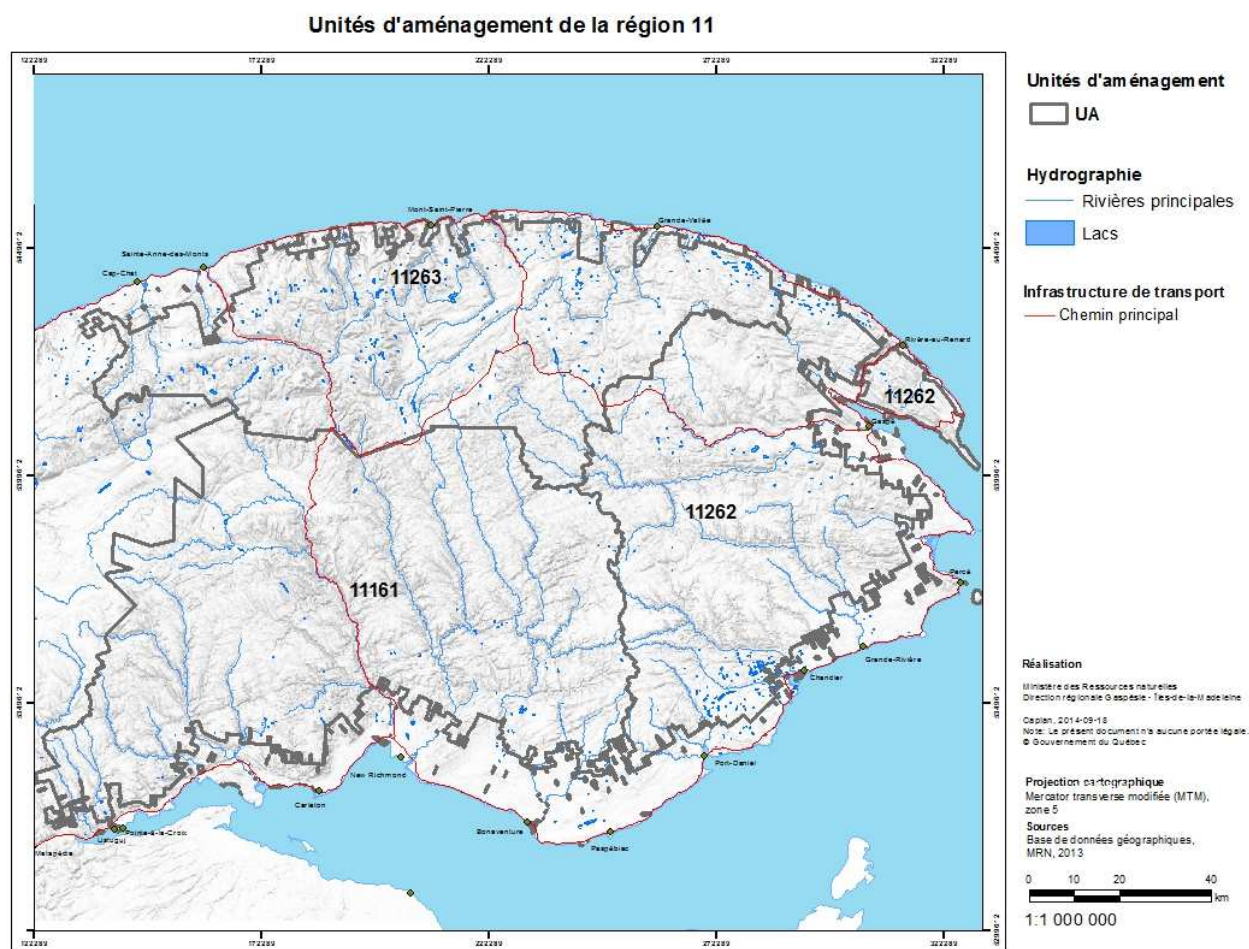


Figure 2 Territoire forestier public de la Gaspésie

Considérant les ressources disponibles pour effectuer la photo-interprétation, il n'était pas possible de balayer l'ensemble des photos de 2013 à la recherche d'étangs vernaux. De plus, puisque les photos de 2013 n'étaient pas réparties de manière aléatoire sur le territoire, nous avons voulu répartir au mieux les secteurs à photo-interpréter. La sélection des secteurs à interpréter s'est effectuée selon la séquence suivante :

1. Une mosaïque constituée de tesselles de 305 m sur 464 m (≈ 14 ha) a été appliquée sur l'ensemble du territoire forestier public gaspésien couvert par les orthophotographies de 2010 à 2013 (pour voir les mares remplies d'eau [2013] et confirmer si elles s'assèchent [2010 à 2012]). La grandeur des tesselles a été choisie pour qu'on puisse aisément localiser les EV lorsqu'une tesselle entière était affichée à l'écran.
2. Ces tesselles ont ensuite été classées selon l'unité de paysage régional (UP) dans laquelle elles se trouvaient. L'UP est un niveau du système de classification écologique du territoire du MFFP. Les UP englobent des portions de territoire caractérisées par une organisation récurrente des principaux facteurs permanents du milieu et de la végétation. Ces principaux facteurs sont le type de relief, l'altitude moyenne, la nature et l'importance des principaux dépôts de surface. À ceux-ci s'ajoutent l'hydrographie, la nature et la distribution des types écologiques ainsi que la répartition de certaines essences à caractère indicateur du climat. Ces facteurs constituent un ensemble, cependant, certains peuvent parfois prendre une importance prépondérante. Ces facteurs pouvant vraisemblablement influencer l'existence des EV, une répartition de l'effort de photo-interprétation basée sur les UP permet de mieux estimer la répartition des EV en Gaspésie (échantillonnage stratifié). La région forestière gaspésienne est composée de 11 UP.
3. Pour chaque UP, 400 tesselles ont été sélectionnées aléatoirement. De cette façon, 4 400 tesselles bien réparties sur le territoire (en fonction des zones couvertes par les photos), soit en tout 61 647 ha, ont été sélectionnées pour l'étape de photo-interprétation (figure 3).

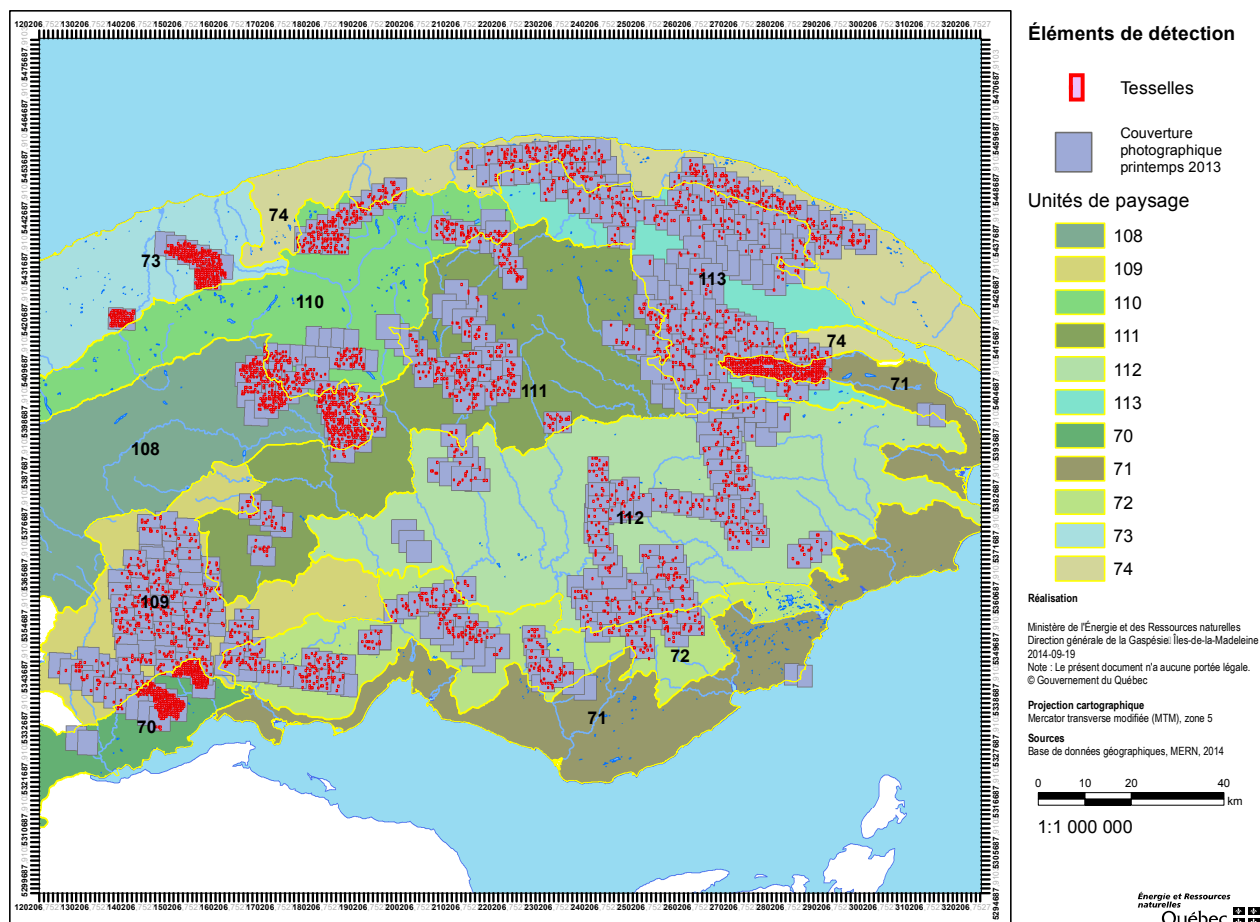


Figure 3 Répartition des 4 400 tesselles sélectionnées pour la photo-interprétation. Ces tesselles sont réparties dans la couverture photographique du printemps 2013 en fonction des unités de paysage (nombres en noirs sur la couche).

Méthode et critères pour la photo-interprétation

La recherche d'EV s'effectuait en balayant du regard chaque tesselle. Lorsqu'un élément prometteur était perçu, il était agrandi afin d'en préciser la nature. Pour qu'un élément soit désigné comme étang vernal, les critères suivants devaient être réunis :

- présence d'eau;
- superficie < 2 ha;
- non connecté au réseau hydrographique (par un cours d'eau permanent);
- ne correspond pas à un autre type de milieu humide déjà cartographié (par exemple, une mare).

Les EV découverts étaient consignés dans une base de données géographiques (BDG) sous forme de polygones. Les renseignements suivants étaient également notés dans la BDG :

- connexion avec un ruisseau intermittent selon la carte des milieux humides et riverains (MHR) de la Gaspésie (oui/non);
- années où l'étang était asséché et années où il était inondé (en consultant les photos des années précédentes);
- niveau de confiance (la confiance que l'élément considéré est effectivement un étang vernal. Le niveau de confiance pouvant varier de bas [L], moyennement bas [ML], moyen [M], moyennement haut [MH] et haut [H]) (voir annexe 1 pour plus de détails);
- autres notes sur l'étang.

Finalement, la superficie de chaque étang était calculée automatiquement dans ArcMap. Si un EV était fortuitement observé à l'extérieur d'une tesselle présélectionnée, ce dernier était tout de même intégré à la BDG et la tesselle le contenant était scrutée au complet afin d'y trouver d'autres étangs. Ces tesselles n'ont pas été comptabilisées dans les analyses de distribution des mares par unité de paysage régional ni à l'étape de l'extrapolation.

Validation sur le terrain

Afin de valider l'efficacité de notre méthode de détection, 34 sites répertoriés comme EV à l'étape de la photo-interprétation ont été visités au printemps 2014. Ces sites s'étaient fait attribuer un niveau de confiance variant de bas à haut et étaient répartis dans différents secteurs de la péninsule. La sélection des sites visités a été principalement basée sur leur accessibilité. Cette étape visait à préciser le taux de faux positifs associé à la méthode. Aucun effort n'a été consenti pour établir le taux de faux négatifs.

Extrapolation du nombre et de la répartition des EV

Le nombre et la répartition des EV à l'échelle du territoire forestier gaspésien ont été estimés de deux façons : 1) en extrapolant les résultats des tesselles situées dans une unité de paysage à l'ensemble de ce territoire; et 2) par la mise en place d'un modèle logistique permettant de prédire, à l'échelle de la tesselle, la probabilité d'y trouver un EV. Pour cette dernière approche, la sélection du modèle le plus informatif s'est faite en confrontant 28 modèles (voir annexe 2 pour la liste complète des modèles testés) qui ont été classés selon le critère AICc (Burnham et Anderson, 2002). Les variables indépendantes comprises dans ces modèles étaient une combinaison des variables présentées dans le tableau 1 (et de leurs interactions pertinentes).

Tableau 1 Variables indépendantes intégrées dans la modélisation de la probabilité de trouver un EV dans une tesselle

Variable	Définition	Source
Dépôt de surface	Dépôt de surface dominant dans la tesselle.	Carte écoforestière (4 ^e déc.)
Classe de drainage	Classe de drainage dominante dans la tesselle. Seule la classe de drainage est considérée, les codes modificateurs ne sont pas pris en compte.	Carte écoforestière (4 ^e déc.)
Type écologique	Type écologique dominant dans la tesselle.	Carte écoforestière (4 ^e déc.)
Classe de pente	Classe de pente dominante dans la tesselle.	Couche de pentes numériques, données forestières, DIF, MFFP
Géologie	Type géologique dominant dans la tesselle.	Nouvelle carte géologique du Québec, MERN
Distance du plan d'eau le plus proche	Distance minimale entre le centroïde de la tesselle et le centroïde d'un lac, étang ou mare de la classification des milieux humides gaspésiens.	Carto MHR Gaspésie
Unité de paysage régional	Unité de paysage régional dominante dans la tesselle.	Couche des districts écologiques, données forestières, DIF, MFFP

Une fois le meilleur modèle sélectionné, nous avons calculé l'aire sous la courbe ROC (*receiver operating characteristic*) afin d'en mesurer la performance diagnostique et de déterminer le seuil permettant de prédire l'existence d'EV dans une tesselle tout en minimisant les faux positifs et les faux négatifs.

Appliqué à des tesselles couvrant l'ensemble du territoire forestier public de la Gaspésie, ce modèle nous a permis de créer une carte présentant les sites où l'existence d'EV est la plus probable et d'ainsi déterminer des zones plus riches en EV.

Résultats

Photo-interprétation

Au total, 5 436 tesselles entières ont été photo-interprétées, soit 77 290 ha. À ce nombre s'ajoute la photo-interprétation de 730 tesselles qui n'étaient que partiellement couvertes par les photos de 2013. Si l'on considère qu'en moyenne 50 % de ces tesselles étaient couvertes par les photos, ces tesselles représentent 5 110 ha supplémentaires, portant la superficie totale de la zone photo-interprétée à 82 400 ha. Le temps qui a été nécessaire pour balayer cette superficie est estimé à 128 heures, ce qui se traduit par une productivité approximative de 640 ha interprétés par heure.

En tout, 490 EV ont été répertoriés lors de cet exercice (figure 4). La méthodologie utilisée a permis de localiser des étangs aussi petits que 0,003 ha. La superficie moyenne des EV répertoriés est de 0,087 ha (écart type = 0,129 ha; minimum = 0,003 ha; maximum = 1,822 ha). La figure 5 présente la distribution de fréquence de la superficie des EV répertoriés. La majorité (52 %) des EV trouvés ont été associés à un niveau de confiance élevé ou moyennement élevé (annexe 3).

En tenant compte seulement des EV trouvés dans les 4 400 tesselles présélectionnées, le nombre d'EV trouvés est de 306. Ces étangs sont répartis inégalement dans les différentes unités de paysage gaspésien (figure 6). En effet, la densité observée d'EV passe de 0,07 EV/km² dans l'UP 112 à 1,79 EV/km² dans l'UP 74 (tableau 2). Fait intéressant, un tiers des EV a été répertorié dans l'unité de paysage 74, situé dans le nord-est de la péninsule, dans la région de Cloridorme.

Validation sur le terrain

Sur les 34 sites visités, 30 abritaient bel et bien un EV. Conséquemment, on peut estimer que notre méthode de détection est associée à un taux de faux positif de l'ordre de 12 %. Les quatre éléments désignés à tort comme EV correspondaient à de petites ouvertures du couvert forestier ayant créé, sur les photos, une ombre qui a été prise pour de l'eau au moment de la photo-interprétation. Il est à noter que ces quatre faux positifs se trouvent tous dans le même secteur, ce qui suggère que des caractéristiques propres à ce dernier pourraient expliquer ces erreurs (p. ex., un ombrage important) et que le taux de faux positifs à l'échelle de la Gaspésie serait beaucoup moins important. D'ailleurs, aucune erreur de photo-interprétation n'a été relevée dans le secteur de Cloridorme, là où la grande majorité des EV a été trouvée.

Lors de la validation sur le terrain, nous avons trouvé certains EV sous couvert qui n'avaient pas été répertoriés lors de la photo-interprétation. Ces observations ont été faites de manière fortuite et ne nous permettent pas d'établir un taux de faux négatifs, mais elles nous rappellent toutefois que la méthode utilisée ne permet pas de trouver les EV recouverts par la canopée.

Toujours lors de ces visites, nous avons pu confirmer que les EV de la Gaspésie sont utilisés comme habitat de reproduction par la grenouille des bois, la salamandre maculée et la salamandre à points bleus. En effet, 75 % des étangs visités montraient au moins un signe de reproduction pour au moins une de ces trois espèces.

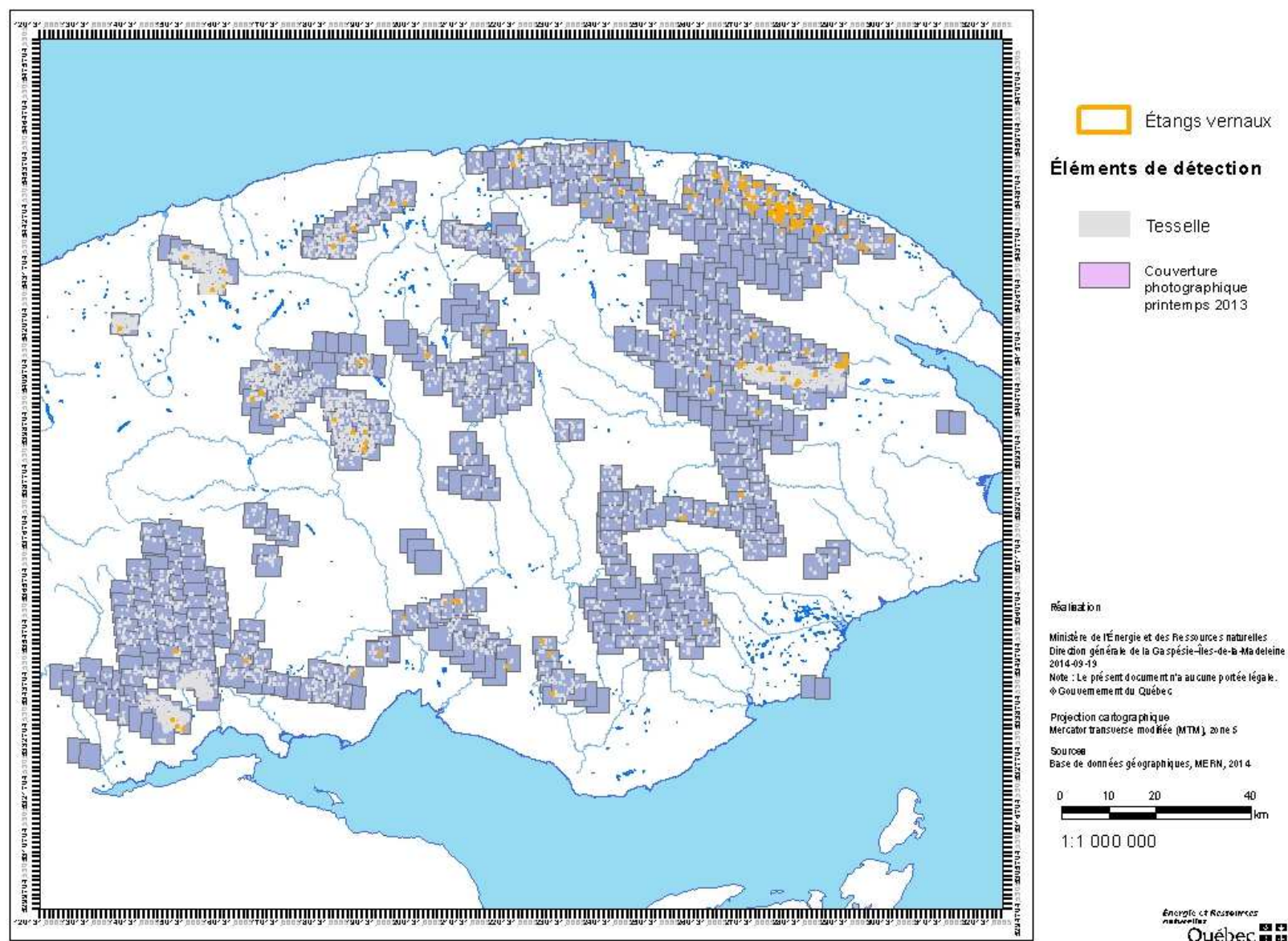


Figure 4 Répartition spatiale des 490 étangs vernaux répertoriés lors de la photo-interprétation de 82 400 ha.

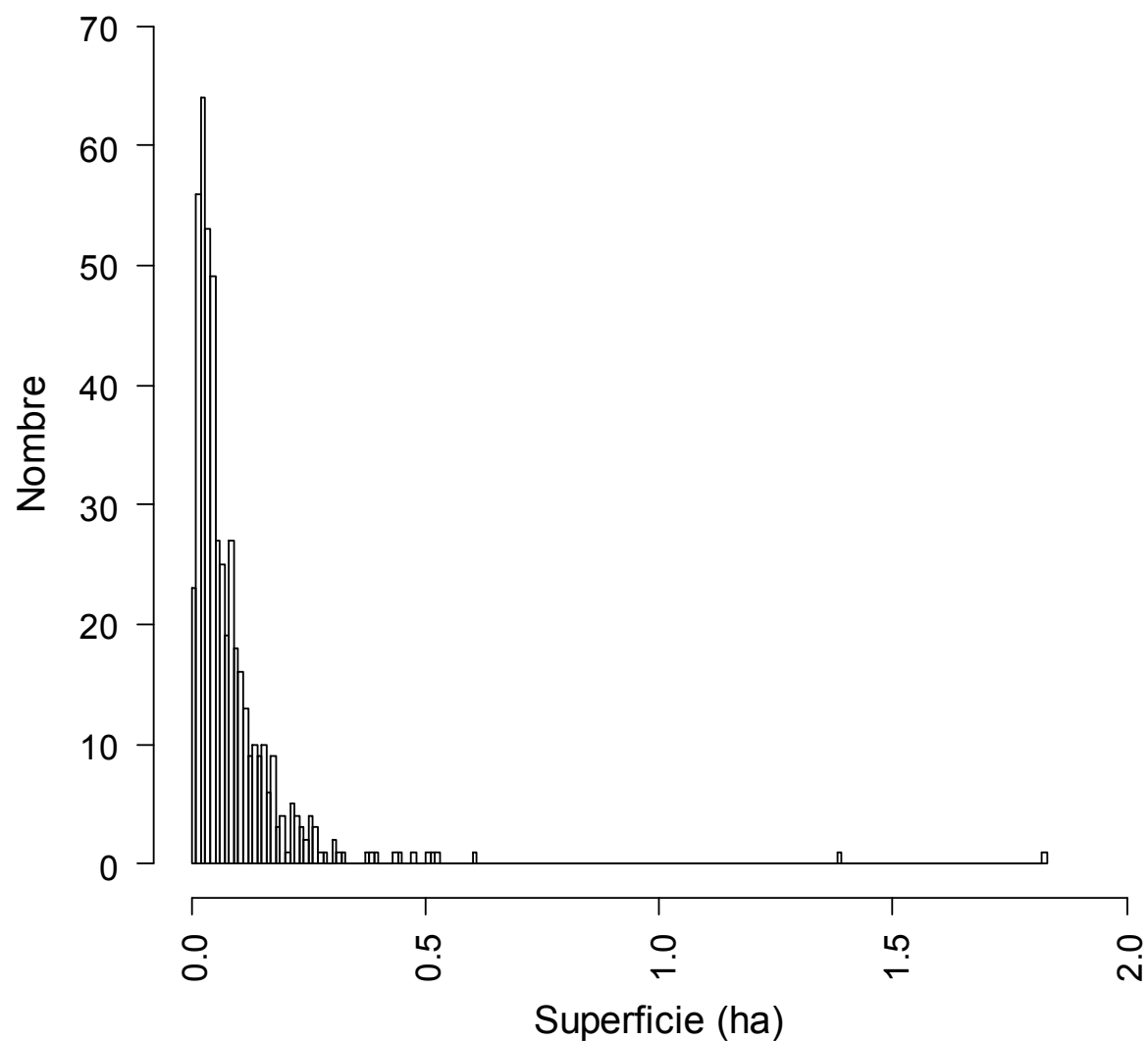


Figure 5 Distribution de fréquence des tailles des 490 EV répertoriés lors de la photo-interprétation.

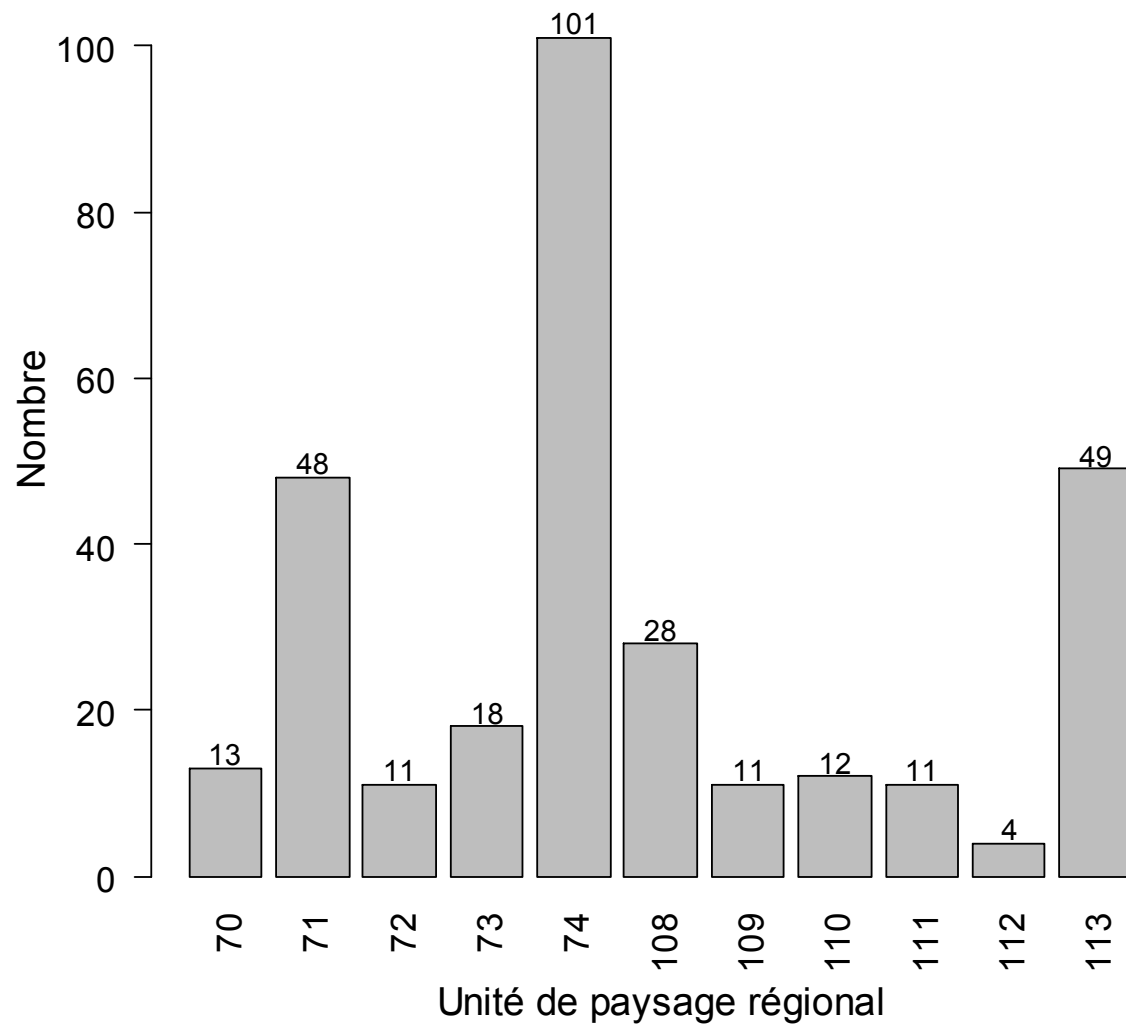


Figure 6 Distribution du nombre d'étangs par unité de paysage. Le compte des étangs associés à l'unité de paysage régional est indiqué au-dessus de la bande correspondante. Calculé sur la base des 306 étangs.

Extrapolation du nombre et de la répartition des EV

En extrapolant le nombre d'EV trouvés dans les tesselles photo-interprétées d'une unité de paysage à la totalité de la superficie de ce territoire, on obtient un nombre estimé de 6 944 EV pour l'ensemble du territoire forestier public gaspésien (tableau 2).

Tableau 2 Résultats de la photo-interprétation pour chaque unité de paysage et caractéristiques permettant d'évaluer le nombre total d'EV trouvés dans chaque unité de paysage

Unité de paysage	Superficie totale* (ha)	Superficie couverte [†] (ha)	Proportion couverte (%)	Nombre d'EV	Densité (EV/km ²)	Extrapolation du nombre possible d'EV
70	27506,53	5746,04	20,89	13	0,23	62
71	56923,86	5671,57	9,96	48	0,85	482
72	139879,37	5718,95	4,09	11	0,19	269
73	33430,90	5656,93	16,92	18	0,32	106
74	141792,31	5636,06	3,97	101	1,79	2541
108	68839,26	5682,80	8,26	28	0,49	339
109	137524,11	5743,70	4,18	11	0,19	263
110	167583,31	5656,51	3,38	12	0,21	356
111	312450,57	5675,95	1,82	11	0,19	606
112	425134,38	5704,62	1,34	4	0,07	298
113	187078,01	5651,73	3,02	49	0,87	1622
Total R11	1698143	62545	3,68	306	0,49	6944

* Superficie totale comprise dans le territoire forestier public.

† Superficie couverte par les tesselles photo-interprétées.

À l'échelle de la tesselle, il ressort de nos analyses que ce sont l'unité de paysage, le type géologique, la distance au plus proche plan d'eau et la classe de pente dominante qui sont les variables influençant le plus la probabilité de présence des EV. En effet, le modèle ayant la plus faible valeur AICc est le modèle composé de ces quatre variables indépendantes (annexe 2). Selon ce modèle, la probabilité de trouver des EV est moins élevée dans les tesselles en pente ($\geq$ classe C), alors que certains UP et types géologiques (situés majoritairement dans le nord de la péninsule), ainsi que la proximité d'un plan d'eau, sont favorables à la formation d'EV (annexe 4). L'aire sous la courbe ROC de 0,80 nous indique que le modèle permet de bien distinguer les tesselles avec EV des tesselles sans EV. Ce modèle a donc été appliqué à l'ensemble des tesselles couvrant la région forestière publique de la Gaspésie, ce qui a permis de produire la carte présentée dans la figure 7. En appliquant le seuil diagnostique proposé par les analyses de sensibilité et de spécificité (0,056) aux prédictions du modèle sélectionné, on obtient un nombre prédit d'EV de 21 802 pour l'ensemble de la région.

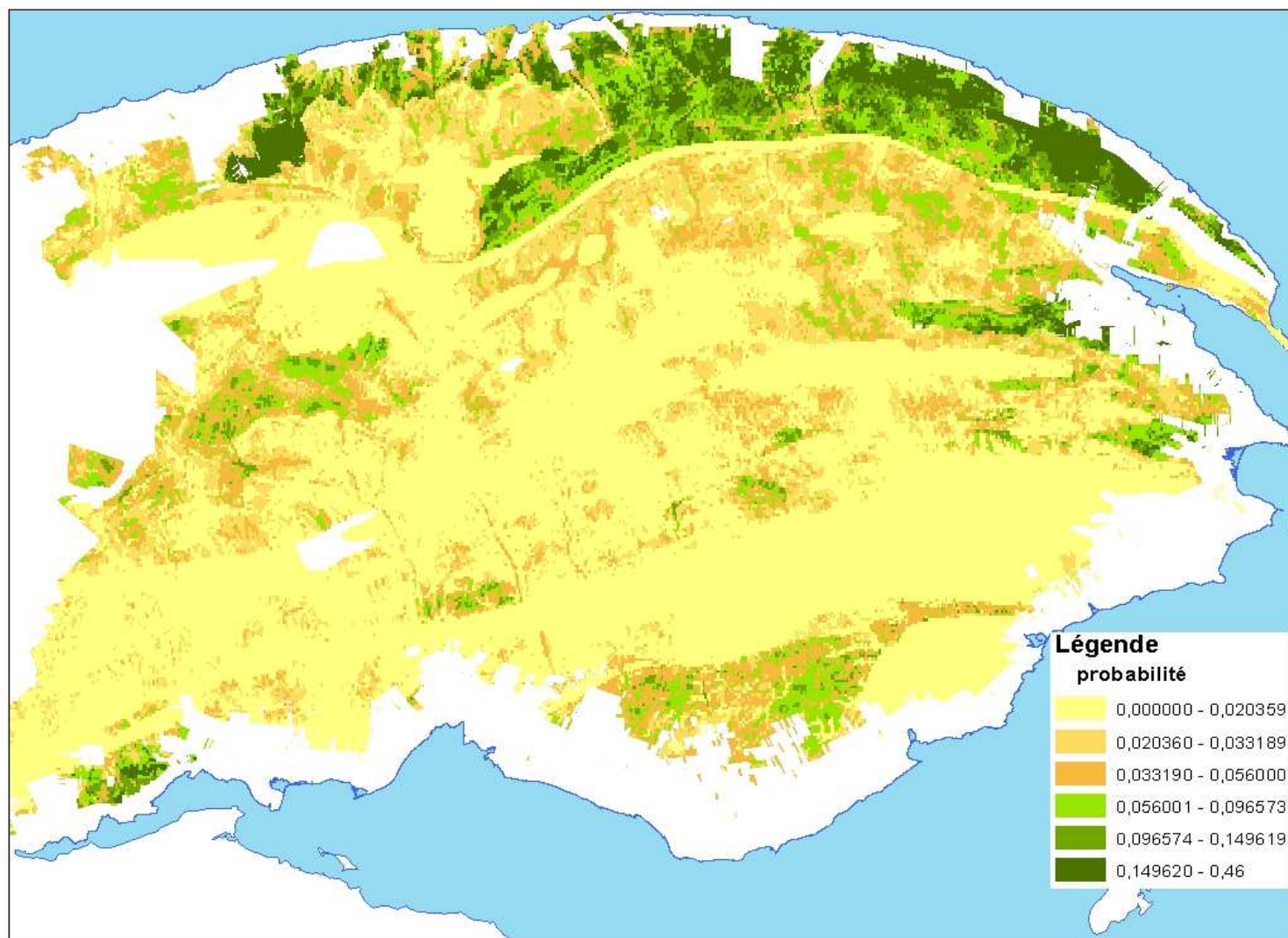


Figure 7 Probabilité de trouver des EV selon les prédictions du modèle logistique. D'après les analyses de sensibilité et de spécificité, les trois dernières classes de probabilité (en vert) peuvent être considérées comme contenant des EV.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette étude a permis de confirmer qu'il y a bien des étangs vernaux en Gaspésie et que la photo-interprétation des orthophotographies de 2013 permet de répertorier efficacement ceux qui ne sont pas sous couvert. Selon la méthode d'estimation utilisée, il y aurait de 6 944 à 21 802 EV répartis sur le territoire forestier gaspésien. Les résultats de cette étude ont également permis de préciser la répartition spatiale de ces EV qui abondent particulièrement dans le nord de la péninsule.

La méthode utilisée a permis de trouver des étangs dont la superficie visible sur la photo était de l'ordre de 0,003 ha, soit des étangs dont la portion visible a un rayon d'environ 3,1 m (pour un étang rond). Il est toutefois important de rappeler que la méthode utilisée ne permettait pas de trouver les EV cachés sous le couvert forestier. Conséquemment, le nombre d'étangs répertoriés, tout comme les estimations fournies à l'échelle de la Gaspésie, est sous-estimé et représente des minimums. Ce biais de détection a aussi une influence sur la distribution de fréquence des superficies des EV. En effet, si l'on considère que les cimes des feuillus ont un rayon de 5 m et que le seuil de détection des EV est un rayon visible de 3 m (pour des EV circulaires), nous pouvons considérer que les EV ayant une superficie de moins de 0,02 ha n'étaient pas toujours visibles sur les photos et sont conséquemment plus nombreux que ce que laisse croire la figure 5. En ce sens, la méthode de détection aurait pu être bonifiée par l'utilisation de photos prises plus tôt au printemps avant que les bourgeons des arbres débourent, ou encore par l'utilisation de données provenant du LiDAR (*light detection and ranging*) et qui permet d'obtenir de l'information sur la microtopographie cachée sous la canopée. Il est toutefois important de souligner que des études étasuniennes ont relevé que le pourcentage de fermeture de la canopée au-dessus des EV a un effet négatif sur la biodiversité et l'effort de reproduction des amphibiens (Burne et Griffin, 2005; Skidds et coll., 2007). Notre méthode de détection nous permet donc de répertorier les étangs les plus importants pour la faune typiquement associée aux EV.

La densité des EV observée lors de la photo-interprétation (0,49 EV/km²) est comparable à celle rapportée au New Jersey (0,66 EV/km²; Lathrop et coll., 2005), où la cartographie des EV a été achevée pour l'ensemble de l'État. Bien que l'on observe certaines zones de concentration d'EV dispersés sur le territoire, la majorité des EV est concentrée dans la portion nord de la péninsule. En effet, il ressort de nos analyses que les UP du nord-est de la péninsule recèlent la plupart des EV de la région.

D'après les résultats des modèles testés, ce serait principalement l'unité de paysage régional, le type de géologie, la proximité d'un plan d'eau et la classe de pente qui influencerait l'existence des EV. Le modèle utilisé pour produire la carte présentée dans la figure 7 est à l'étape de prototype et demande à être bonifié. Premièrement, il faut rappeler que l'échantillonnage des tesselles photo-interprétées n'était pas complètement aléatoire et qu'en conséquence certains paramètres du modèle (p. ex., pour des types géologiques) ont dû être évalués à partir d'échantillons très réduits.

Il faut donc interpréter ces résultats avec prudence. Un échantillonnage plus complet et entièrement aléatoire (ou stratifié) permettrait d'améliorer la puissance prédictive du modèle. D'autres variables qui n'ont pas été considérées pourraient aussi améliorer le modèle (p. ex., microtopographies LiDAR). Les variables provenant de la carte écoforestière étaient basées sur l'élément dominant dans la tesselle. Bien que pratique, cette façon de faire peut nous faire perdre de l'information importante. Par exemple, il est probable que les EV soient corrélés à certains types écologiques associés aux milieux humides, peu importe leur importance dans une tesselle. Ce biais potentiel pourrait être particulièrement important en Gaspésie, où la majorité des milieux humides sont filiformes et donc moins susceptibles de dominer une tesselle. Finalement, il serait intéressant de tester la performance d'un modèle de type « poisson » pour tenir compte du fait que certaines tesselles comptent plus d'un EV.

Les résultats présentés dans ce rapport serviront de base à la réflexion menant à l'adoption de modalités de protection à l'égard des étangs vernaux. Maintenant qu'il est clair qu'il y a bel et bien des EV en Gaspésie, de nouvelles questions sont soulevées :

- Est-ce que certains EV sont plus importants que d'autres pour la reproduction des amphibiens? Quelles sont les caractéristiques permettant de les définir?
- Est-ce que l'aménagement forestier tel qu'il est pratiqué actuellement en Gaspésie permet le maintien des populations d'amphibiens associés à ce type d'étang?

De futurs travaux permettront de répondre à ces questions. En plus de ces futurs travaux d'acquisition de connaissances, il serait pertinent de terminer la cartographie des EV en Gaspésie en utilisant la méthodologie testée. La prise de photo prévue en 2016, en vue de la mise à jour de la carte écoforestière, offrira une occasion en ce sens, puisque l'ensemble de la péninsule sera photographié. On peut estimer qu'un technicien mettrait un an à achever la cartographie de l'ensemble de la péninsule. La cartographie des étangs vernaux constitue un atout majeur en vue de l'acquisition de futures connaissances et de la protection de ces écosystèmes singuliers.

BIBLIOGRAPHIE

- BURNE, M. R. (2001). *Massachusetts aerial photo survey of potential vernal pools*, Natural Heritage & Endangered Species Program Massachusetts Division of Fisheries & Wildlife, Westborough, MA, 80 p.
- BURNE, M. R. and C. R. Griffin (2005). "Habitat associations of pool-breeding amphibians in eastern Massachusetts, USA", *Wetlands ecology and management*, **13**: 247-259.
- BURNHAM K. P., D. R. ANDERSON (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*, 2nd ed., Springer, New York, Berlin, Heidelberg.
- CARPENTER, L., J. STONE and C. R. GRIFFIN (2011). "Accuracy of aerial photography for locating seasonal (vernal) pools in Massachusetts", *Wetlands*, **31**: 573-581.
- COLBURN, E. A., S. C. WEEKS and S. K. REED (2008). "Diversity and ecology of vernal pool invertebrates", p. 105-126, *In* A. J. K. Calhoun and P. G. deMaynadier (Eds.), *Science and Conservation of Vernal Pools in Northeastern North America*, CRC Press, Boca Raton, FL, 363 p.
- FRANCL, K. E. (2005). *Bat activity in woodland vernal pools*, University of Notre Dame Environmental Research Center (UNDERC) and University of Notre Dame, Department of Biological Sciences, Notre Dame, 26 p.
- LATHROP, R. G., P. MONTESANO, J. TESAURO and B. ZARATE (2005). "Statewide mapping and assessment of vernal pools: A New Jersey case study", *Journal of environmental management*, **76**: 230-238.
- MITCHELL, J. C., P. W. C. PATON and C. J. RAITHEL (2008). "The importance of vernal pools to reptiles, birds, and mammals", p. 169-190, *In* A. J. K. Calhoun and P. G. deMaynadier (Eds.), *Science and Conservation of Vernal Pools in Northeastern North America*, CRC Press, Boca Raton, FL, 363 p.
- POWELL, L. L., T. P. HODGMAN and W. E. GLANZ (2010b). "Home ranges of rusty blackbirds breeding in wetlands: how much would buffers from timber harvest protect habitat?", *The condor*, **112**(4): 834-840.
- SEMLITSCH, R. D. and D. K. SKELLY (2008). "Ecology and conservation of pool-breeding amphibians", p. 127-147, *In* A. J. K. Calhoun and P. G. deMaynadier (Eds.), *Science and Conservation of Vernal Pools in Northeastern North America*, CRC Press, Boca Raton, FL, 363 p.
- SKIDDS, D. E., F. C. GOLET, P. W. C. PATON and J. C. MITCHELL (2007). "Habitat correlates of reproductive effort in wood frogs and spotted salamanders in an urbanizing watershed", *Journal of herpetology*, **41**(3): 439-450.

ANNEXE 1

DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE CONFIANCE

Les mares printanières doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- être submergées au printemps;
- être asséchées à la fin de l'été;
- être d'origine naturelle.

Ainsi, les classes de confiance expriment principalement les éléments suivants :

- la connectivité au réseau hydrographique permanent (p. ex., barrage de castor);
- la présence d'eau au printemps;
- l'assèchement de la mare à l'automne;
- la capacité de comparer avec les photographies prises en automne;
- la possibilité de réalisation anthropique (fossé ou bassin de sédimentation).

Avec les degrés de certitudes suivants :

L (LOW)	Très incertain de l'existence d'une mare ou de ses caractéristiques
ML (MEDIUM LOW)	Incertain de l'existence d'une mare ou de ses caractéristiques
M (MEDIUM)	Moyennement certain...
MH (MEDIUM HIGH)	Assez certain...
H (HIGH)	Très certain...

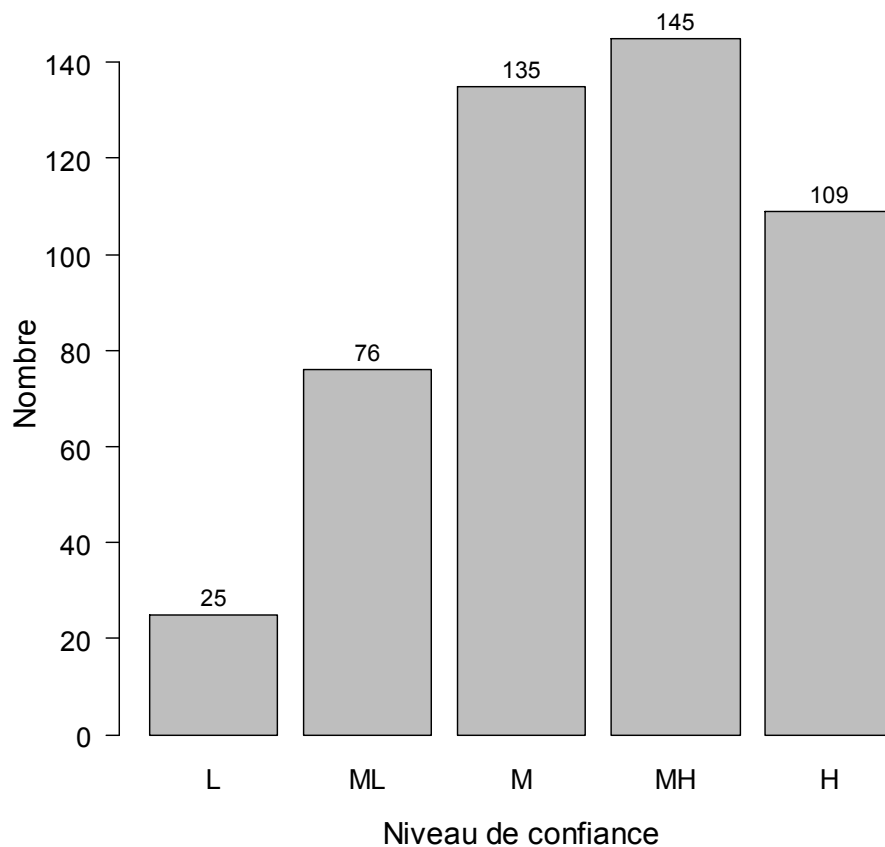
ANNEXE 2

TABLE AICc

Model	K	AICc	Delta AICc	AICcWt
UP + Geo + Pente + Dist_Eau	31	1534,66	0,00	1
UP + Geo + Pente	30	1546,26	11,60	0,00
UP + Geo + Pente + Drainage	31	1547,79	13,13	0,00
UP + Pente + Dist_Eau	17	1558,56	23,90	0,00
UP + Geo + Pente + Dépôt Surface	53	1564,12	29,46	0,00
UP + Geo + Drainage	26	1568,42	33,76	0,00
UP + Geo	25	1578,53	43,87	0,00
UP + Pente	16	1579,45	44,79	0,00
Geo + Pente	20	1602,60	67,94	0,00
Geo + Pente + Drainage	26	1604,62	69,96	0,00
UP + Geo + Pente + Type Éco	86	1616,31	81,65	0,00
UP	11	1616,53	81,87	0,00
Geo + Grainage	21	1623,08	88,42	0,00
UP + Pente + UP * Pente	62	1624,97	90,31	0,00
Geo	15	1638,47	103,81	0,00
Geo + Pente + Geo * Pente	69	1669,90	135,24	0,00
UP + Geo + Pente + Dépôt Surface + Type Éco	105	1684,50	149,84	0,00
Pente	6	1700,20	165,54	0,00
Pente + Drainage	12	1703,80	169,14	0,00
Drainage + Dépôt Surface	30	1718,29	183,63	0,00
Drainage	7	1727,45	192,79	0,00
Dépôt surface	24	1734,68	200,02	0,00
null	1	1749,45	214,79	0,00
Pente + Drainage + Dépôt Surface + Type Éco	91	1770,04	235,38	0,00
Drainage + Dépôt Surface + Type Éco	86	1790,65	255,99	0,00
Geo + Pente + Drainage + Geo * Pente + Geo * Drainage	117	5245,08	3710,42	0,00
Geo + Pente + Drainage + Type Éco + Geo * Pente + Geo * Drainage	165	19373,97	17839,31	0,00
Geo + Pente + Drainage + Dépôt Surface + Type Éco + Geo * Pente + Geo * Drainage	188	16612,50	15077,84	0,00

ANNEXE 3

DISTRIBUTION DE FRÉQUENCE DES NIVEAUX DE CONFIANCE ATTRIBUÉS AUX EV



Distribution des niveaux de confiance attribués à chaque étang vernal répertorié.

Le compte des étangs associés à chaque niveau de confiance est indiqué au-dessus de la bande correspondante.

ANNEXE 4

SORTIE DU MEILLEUR MODÈLE

> SUMMARY(MODEAU)

CALL:

GLM(FORMULA = PRES_MARE ~ CL_PENT + AS.FACTOR(UPAYS_REG) + GEO +
DIST_EAU, FAMILY = BINOMIAL, DATA = RESULTAT)

DEVIANCE RESIDUALS:

MIN	1Q	MEDIAN	3Q	MAX
-1.0618	-0.3464	-0.2224	-0.1271	3.3697

COEFFICIENTS:

	ESTIMATE	STD. ERROR	Z	VALUE	PR(> Z)
(INTERCEPT)	-1.226E-01	9.474E-01	-0.129	0.897077	
CL_PENTB	7.370E-02	2.724E-01	0.271	0.786733	
CL_PENTC	-5.463E-01	2.874E-01	-1.901	0.057319	.
CL_PENTD	-7.078E-01	2.772E-01	-2.553	0.010672	*
CL_PENTE	-1.606E+01	2.175E+03	-0.007	0.994106	
CL_PENTF	-1.611E+00	4.165E-01	-3.867	0.000110	***
AS.FACTOR(UPAYS_REG)71	-1.253E+00	9.190E-01	-1.364	0.172697	
AS.FACTOR(UPAYS_REG)72	-6.152E-01	4.803E-01	-1.281	0.200200	
AS.FACTOR(UPAYS_REG)73	-3.556E+00	9.690E-01	-3.670	0.000243	***
AS.FACTOR(UPAYS_REG)74	-1.658E+00	9.466E-01	-1.752	0.079791	.
AS.FACTOR(UPAYS_REG)108	-1.963E+00	9.411E-01	-2.086	0.036974	*
AS.FACTOR(UPAYS_REG)109	-1.946E+00	9.483E-01	-2.053	0.040115	*
AS.FACTOR(UPAYS_REG)110	-3.460E+00	9.769E-01	-3.542	0.000397	***
AS.FACTOR(UPAYS_REG)111	-2.700E+00	9.276E-01	-2.910	0.003610	**
AS.FACTOR(UPAYS_REG)112	-1.766E+00	7.581E-01	-2.330	0.019802	*
AS.FACTOR(UPAYS_REG)113	-2.354E+00	9.272E-01	-2.539	0.011131	*
GEOGEO126	-1.554E+01	2.141E+03	-0.007	0.994210	
GEOGEO141	-1.117E+00	7.322E-01	-1.526	0.127114	
GEOGEO163	-2.247E+00	9.329E-01	-2.409	0.015998	*
GEOGEO178	9.195E-01	4.287E-01	2.145	0.031953	*
GEOGEO180	-1.405E+00	8.576E-01	-1.639	0.101284	
GEOGEO181	6.197E-01	1.104E+00	0.561	0.574471	
GEOGEO269	1.291E+00	3.754E-01	3.439	0.000585	***
GEOGEO289	5.824E-01	4.915E-01	1.185	0.236073	
GEOGEO299	1.469E+00	4.709E-01	3.121	0.001805	**
GEOGEO315	-2.309E-02	3.521E-01	-0.066	0.947712	
GEOGEO321	-1.651E+01	3.344E+02	-0.049	0.960635	
GEOGEO63	-1.278E+01	6.523E+03	-0.002	0.998436	
GEOGEO81	-1.323E+01	4.612E+03	-0.003	0.997711	
GEOGEO84	-6.023E-01	9.770E-01	-0.616	0.537603	
DIST_EAU	-2.854E-04	7.975E-05	-3.578	0.000346	***

SIGNIF. CODES: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(DISPERSION PARAMETER FOR BINOMIAL FAMILY TAKEN TO BE 1)

NULL DEVIANCE: 1747.4 ON 4404 DEGREES OF FREEDOM

RESIDUAL DEVIANCE: 1472.2 ON 4374 DEGREES OF FREEDOM

AIC: 1534.2

NUMBER OF FISHER SCORING ITERATIONS: 17