

Évaluation de l'aménagement des mares salines comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides



- Rapport final -



Mathieu Leblond, UQAR
Christian Dussault, UQAR-MRNF
Jean-Pierre Ouellet, UQAR
Marius Poulin, MTQ
Réhaume Courtois, MRNF
Jacques Fortin, MTQ

Évaluation de l'aménagement des mares salines comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'original dans la réserve faunique des Laurentides

Rapport final

Mathieu Leblond¹, Christian Dussault^{1,2}, Jean-Pierre Ouellet¹, Marius Poulin³, Réhaume Courtois² et Jacques Fortin³

¹ Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et sciences de la santé

² Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec, Direction de la recherche sur la faune

³ Ministère des Transports, Service du soutien technique, Direction générale de Québec et de l'Est

Rimouski, Québec

Mars 2006

Résumé

Chaque année, les accidents routiers impliquant la grande faune sont à l'origine de pertes de vies humaines, de nombreux blessés et de coûts importants en dégâts matériels. C'est dans la réserve faunique des Laurentides que le plus grand nombre d'accidents routiers impliquant l'orignal a lieu, avec en moyenne environ 65 collisions chaque année. Dans cette région, des mares salines artificielles se forment à chaque printemps suite au ruissellement de l'eau salée provenant des grandes quantités de sels de déglçage étendues en hiver. Or, les mares salines augmentent le risque d'accident routier, en créant un achalandage inhabituel des orignaux qui sont attirés au bord des routes par cette source de sodium. Le drainage et l'empierrement des mares salines au bord des routes, combinés à l'établissement de mares salines de compensation en forêt à une distance sécuritaire de la route, ont été évalués comme mesures de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal. Au total, 12 mares salines au bord des routes et 6 mares de compensation ont été suivies au cours des étés 2003 à 2005, entre les mois de mai et août. Des 12 mares au bord des routes, 7 ont été empierrées à l'automne 2004 alors que les 5 autres sont demeurées intactes afin de servir de sites témoins. Les mares ont été équipées d'appareils électroniques permettant de détecter la présence des orignaux et d'étudier leur comportement. Les mares salines étaient visitées hebdomadairement afin d'initialiser les appareils de détection et de les caractériser à partir de certaines variables physico-chimiques. Le visionnement des cassettes a permis d'établir que les orignaux ont fréquenté les mares salines principalement de la mi-juin à la mi-juillet, avec une forte diminution de la fréquentation en août. Les femelles adultes et leurs faons ont fréquentés les mares salines au bord des routes plus tard dans la saison que les mâles adultes et les juvéniles. La fréquentation des mâles et des femelles adultes se faisait principalement la nuit. Une corrélation a été obtenue entre la fréquentation des mares salines au bord des routes et le niveau d'obstruction visuelle latérale vers la route, un indice d'obstruction visuelle à 50 m sur la route et différentes variables mesurant la disponibilité en eau. De façon générale, l'effet des aménagements des mares salines s'est surtout manifesté par une réduction de la durée des visites des orignaux aux mares salines. Le nombre de visite a diminué durant la nuit mais pas durant le jour. L'aménagement des mares salines au bord des routes n'a pas causé une augmentation de la fréquentation des mares de compensation, mais a semblé augmenter la durée des visites et le temps consacré à boire par les orignaux à ces endroits. L'empierrement des mares a empêché tous les orignaux visibles d'accéder à l'eau salée. Ce résultat suggère que l'aménagement des mares pourrait réduire l'intérêt des orignaux envers celles-ci et ce peut-être même davantage au cours des étés subséquents. En effet, cette étude a mesuré l'effet des aménagements seulement un an après leur réalisation, mais on peut supposer que la fréquentation baisse davantage au cours des étés suivants. En effet, un orignal doit retourner à une saline au moins une fois pour constater qu'elle a été détruite. Nous avons démontré un effet des aménagements sur le comportement de l'orignal dans les mares salines au bord des routes. Idéalement, le suivi devrait se poursuivre à moyen et à long terme pour évaluer directement l'efficacité de cette méthode pour réduire le risque d'accident routier.

Table des matières

LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES ANNEXES	VIII
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	5
2.1 AIRE D'ÉTUDE.....	5
2.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET AMÉNAGEMENTS RÉALISÉS.....	5
2.3 ÉVALUATION DE LA FRÉQUENTATION DES MARES SALINES PAR L'ORIGINAL	6
2.4 DESCRIPTION DES MARES SALINES	9
2.5 ANALYSES STATISTIQUES	10
2.5.1 <i>Variations saisonnières et quotidiennes</i>	10
2.5.2 <i>Fréquentation des mares salines en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques</i>	11
2.5.3 <i>Évaluation de l'aménagement des mares salines</i>	12
3.0 RÉSULTATS	12
3.1 FONCTIONNEMENT DES APPAREILS DE DÉTECTION	12
3.2 FRÉQUENTATION DES MARES SALINES AU BORD DES ROUTES ET ÉVALUATION DES AMÉNAGEMENTS SUR LE COMPORTEMENT DE L'ORIGINAL	13
3.2.1 <i>Fréquentation des mares salines au bord des routes par l'original</i>	13
3.2.1.1 <i>Variations saisonnières et quotidiennes</i>	13
3.2.1.2 <i>Sexe et âge des individus dans les mares salines au bord des routes</i>	14
3.2.1.3 <i>Comportement des originaux dans les mares salines au bord des routes</i>	14
3.2.2 <i>Fréquentation des mares salines au bord des routes par l'original en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques</i>	15
3.2.3 <i>Évaluation de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur le comportement de l'original</i>	15
3.3 FRÉQUENTATION DES MARES SALINES DE COMPENSATION, ET EFFETS DE L'AMÉNAGEMENT DES MARES SALINES AU BORD DES ROUTES SUR CETTE FRÉQUENTATION	16
3.3.1 <i>Fréquentation des mares salines de compensation par l'original</i>	16
3.3.1.1 <i>Variations saisonnières et quotidiennes</i>	16
3.3.1.2 <i>Sexe et âge des individus aux mares salines de compensation</i>	17

3.3.1.3 Comportement des originaux aux mares salines de compensation.....	17
3.3.2 Fréquentation des mares salines de compensation par l'original en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques	17
3.3.3 Effets de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur la fréquentation des mares salines de compensation par l'original	17
4.0 DISCUSSION.....	18
4.1 FONCTIONNEMENT DES APPAREILS DE DÉTECTION	18
4.2 VARIATION SAISONNIÈRE ET QUOTIDIENNE DE LA FRÉQUENTATION AUX MARES SALINES, EN FONCTION DU SEXE ET DE L'ÂGE DES INDIVIDUS	18
4.3 SEXE ET ÂGE DES INDIVIDUS AUX MARES SALINES	22
4.4 COMPORTEMENT DES ORIGINAUX AUX MARES SALINES	23
4.5 FRÉQUENTATION DES MARES SALINES PAR L'ORIGINAL EN FONCTION DE VARIABLES ENVIRONNEMENTALES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES	24
4.6 ÉVALUATION DE L'EMPIERREMENT COMME MESURE DE MITIGATION DES ACCIDENTS ROUTIERS IMPLIQUANT L'ORIGINAL ET IMPLICATIONS POUR LA GESTION	25
5.0 CONCLUSION.....	26
6.0 RECOMMANDATIONS.....	27
REMERCIEMENTS.....	28
RÉFÉRENCES	28
ANNEXES	52

Liste des figures

Figure 1. Aire d'étude : la réserve faunique des Laurentides et les routes provinciales 175 et 169 qui la traversent.

Figure 2. Localisation des mares salines au bord des routes, de compensation, et témoins, choisies pour l'étude.

Figure 3. Nombre moyen de visites / 100 heures durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule) dans les mares salines au bord des routes et témoins, par quinzaine au cours des étés 2003 à 2005.

Figure 4. Nombre moyen de visites / 100 heures durant la nuit dans les mares salines au bord des routes et témoins, par quinzaine au cours des étés 2004 et 2005 seulement.

Figure 5. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes (incluant les mares témoins) par quinzaine pour l'année 2004 seulement (avant les aménagements). La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

Figure 6. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes (incluant les mares témoins) par période quotidienne pour l'année 2004 seulement (avant les aménagements). La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

Figure 7. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines de compensation, par quinzaine durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule) de 2003 à 2005 et la nuit en 2004 et 2005 seulement.

Figure 8. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares de compensation par quinzaine pour les années 2004 et 2005 seulement. La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

Liste des tableaux

Tableau 1. Concentration moyenne (ppm) de Na, Ca, K et Mg dans les mares de bord de route (incluant les témoins) et de compensation ainsi que dans des plans d'eau ne recevant pas d'apport de la route.

Tableau 2. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2003. La trame gris foncé indique les sites où aucune donnée n'a été récoltée pour une période donnée et la trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période. La trame jaune indique les sites où il n'était pas possible de collecter des données durant la nuit dû à l'absence de lampe infrarouge.

Tableau 3. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2004. La trame gris foncé indique les sites où aucune donnée n'a été récoltée pour une période donnée et la trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période.

Tableau 4. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2005. La trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période et la trame jaune indique les sites où il n'était pas possible de collecter des données durant la nuit dû à l'absence de lampe infrarouge. L'absence de données à la mare saline 25R au début de l'été s'explique par le fait que son aménagement a été réalisé le 21 juin 2005.

Tableau 5. Résultats des ANOVAs testant l'effet de la quinzaine et de la période quotidienne sur le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes en 2004, pour les mâles adultes, les femelles adultes et leurs faons et les juvéniles. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Tableau 6. Durée moyenne des visites des originaux aux mares salines et proportion du temps consacré à boire, par année et par type de mare saline.

Tableau 7. Coefficients de corrélation (Pearson) entre le nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines et la proportion du temps consacré à boire par les orignaux en 2003 seulement, d'une part, et différentes caractéristiques de l'habitat autour des mares salines au bord des routes, d'autre part. Les données ont été récoltées dans les mares salines faisant partie du dispositif expérimental avant leur aménagement, ainsi que dans les mares témoins et des mares non fréquentées. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Tableau 8. Coefficients de corrélation (Pearson) entre le nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines et la proportion du temps consacré à boire par les orignaux en 2004 seulement, d'une part, et différentes caractéristiques de l'habitat autour des mares salines au bord des routes, d'autre part. Les données ont été récoltées dans les mares salines faisant partie du dispositif expérimental avant leur aménagement, ainsi que dans les mares témoins et des mares non fréquentées. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Tableau 9. Résultats des ANOVAs testant l'effet de l'aménagement sur les indices de fréquentation des mares salines au bord des routes durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule, de 2003 à 2005) et la nuit (en 2004 et 2005 seulement). La variable « type de mare » identifie les mares traitées et témoins. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Tableau 10. Résultats des ANOVAs testant l'effet de la quinzaine et de la période quotidienne sur le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines de compensation en 2004 et 2005 par les mâles adultes les femelles adultes et leurs faons et les juvéniles. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Tableau 11. Résultats des ANOVAs testant l'effet de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur les indices de fréquentation des mares salines de compensation durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule, de 2003 à 2005) et la nuit (en 2004 et 2005 seulement). Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Liste des annexes

Annexe 1. Nombre moyen de visites / 100 heures (\pm SE), nombre moyen d'original*heure / 100 heures (\pm SE), ainsi que temps moyen (\pm SE) et maximal consacré à boire par les orignaux dans les mares salines au bord des routes, compensation et témoin de 2003 à 2005.

1.0 Introduction

La problématique des accidents routiers impliquant la grande faune est un obstacle à la sécurité routière reconnu depuis plusieurs années (Dickerson 1939, Haugen 1944, McClure 1951, Bellis et Graves 1971, Evink 2002). Le développement et l'amélioration continuel du réseau routier qui doit accommoder un nombre grandissant de véhicules, associés à l'augmentation de la densité de la plupart des grands cervidés, contribuent actuellement à intensifier le problème dans plusieurs régions du monde (Oosenbrug *et al.* 1991, Groot Bruinderink et Hazebroek 1996, Romin et Bissonette 1996). Les accidents de la route avec la grande faune causent chaque année des pertes de vies humaines et des coûts importants en dégâts matériels. Aux États-Unis, par exemple, Conover *et al.* (1995) ont estimé à 211 le nombre annuel de mortalités humaines associées aux accidents routiers impliquant la grande faune, en plus des 29 000 blessés et des coûts estimés à plus d'un milliard US\$. Le Québec ne fait pas exception à cette tendance mondiale; selon les relevés officiels, les routes du Québec furent le théâtre d'environ 2 540 accidents impliquant la grande faune par année, en moyenne, au cours des années 90, dont 200 étaient causés par l'orignal (*Alces alces*), 2 300 par le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et 40 par l'ours noir (*Ursus americanus*; Munro *et al.* 2001). Ces valeurs sont conservatrices puisque certains accidents ne sont pas rapportés, particulièrement lorsqu'ils ne causent que des dégâts mineurs (Romin et Bissonette 1996). Au Québec, comme ailleurs dans le monde, le nombre réel d'accidents impliquant la grande faune pourrait être deux fois plus élevé que celui rapporté (Conover 1997).

Le poids élevé et la grande taille de l'orignal en font l'animal causant les blessures les plus graves. Dans la réserve faunique des Laurentides, où la problématique des accidents routiers est la plus importante au Québec, l'orignal a été impliqué dans 40 à 70 accidents par année entre 1990 et 2002, soit près de 92 % de tous les accidents recensés impliquant la grande faune qui y sont survenus (Poulin 1999, Poulin et Fortin 2005). Dans cette réserve, les 310 accidents impliquant l'orignal survenus entre 2000 et 2004 ont causé plus de 6,7 millions CAN\$ en dommages. La réduction de l'incidence des accidents routiers impliquant la grande faune est un objectif important pour le Ministère des Transports au Québec, comme dans beaucoup d'autres juridictions (Joyce et Mahoney 2001). Afin de proposer des mesures de mitigation adaptées et efficaces, il est nécessaire de comprendre les facteurs qui favorisent l'occurrence de ces accidents.

La répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant la grande faune n'est pas aléatoire. Les mois de mai à août correspondent à la période la plus propice aux accidents dans la réserve faunique des Laurentides (Grenier 1974, Dussault *et al.* 2004) ainsi que dans d'autres régions du monde (Fraser 1979, Lav Sund et Sandegren 1991, Belant 1995, Farrell *et al.* 1996, Joyce et Mahoney 2001). Ces accidents peuvent survenir à toute heure de la journée, mais le risque est maximal durant la nuit, suivi par le crépuscule et l'aube (Dussault *et al.* 2004). La densité du trafic (McCaffery 1973, Joyce et Mahoney 2001, Seiler 2004, 2005), le climat (Dussault *et al.* 2004, Mysterud 2004) et certaines caractéristiques de l'environnement autour des routes (Puglisi *et al.* 1974, Bashore *et al.* 1985, Finder *et al.* 1999, Hubbard *et al.* 2000, Nielsen *et al.* 2003, Malo *et al.* 2004, Seiler 2005) peuvent aussi avoir un impact sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers avec la grande faune. Dans la réserve faunique des Laurentides, Dussault *et al.* (2004) ont démontré que la densité de l'orignal, la pente moyenne du terrain de chaque côté de la route, la présence d'un corridor de déplacement (*i.e.* vallées transversales de part et d'autre de la route) et la présence de mares salines avaient un effet sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers impliquant l'orignal. Or, bien qu'il soit impossible d'intervenir sur les facteurs liés à la topographie, la destruction des mares salines au bord des routes pourrait s'avérer une mesure de mitigation efficace.

L'utilisation des mares salines naturelles par les cervidés afin de combler leurs besoins en minéraux est bien documentée (Hebert et Cowan 1971, Fraser et Reardon 1980, Tankersley et Gasaway 1983, Risenhoover et Peterson 1986, Couturier et Barrette 1988). Le sodium est un élément rare dans les écosystèmes continentaux (Botkin *et al.* 1973) mais non moins nécessaire à plusieurs fonctions vitales chez les mammifères : maintien de l'équilibre du pH, de la pression osmotique et du volume sanguin, fonctionnement des cellules musculaires et nerveuses, croissance, reproduction, lactation, production de poils et maintien de la masse corporelle et de l'appétit (Weeks, Jr. et Kirpatrick 1976, Belovsky et Jordan 1981, Robbins 1983). Par ailleurs, Belovsky et Jordan (1981) ont démontré que les orignaux de l'Isle Royale ne pouvaient combler que 7 à 14 % de leurs besoins en sodium en ingérant la végétation terrestre. Les orignaux peuvent aussi consommer des plantes aquatiques. Ces dernières sont riches en sodium, mais elles ont aussi un faible contenu énergétique et ne peuvent être consommées en trop grande quantité (Belovsky et Jordan 1981). Les cervidés sont donc attirés par les mares salines, une source très concentrée en sodium brut. Toutefois, lorsque des mares salines sont créées artificiellement en bordure des routes suite à l'accumulation du sel (NaCl) de déglacage utilisé en hiver, elles accentuent le risque d'accident routier. En effet,

leur présence provoque un achalandage inhabituel des orignaux en bordure des routes, augmentant la probabilité d'accident routier (Grenier 1974, Fraser et Thomas 1982, Miller et Litvaitis 1992). Or, dans la réserve des Laurentides, il n'existe pas à notre connaissance de mare saline naturelle, à cause de la nature de la roche mère du bouclier canadien (Jolicoeur et Crête 1987). Par contre, les quelques 100 tonnes de sel / kilomètre répandues sur les routes de la réserve à chaque année (la quantité de sel déposée est plus importante qu'ailleurs au Québec en raison des conditions hivernales difficiles) ont favorisé la création d'un grand nombre de mares salines au bord des routes. Dussault *et al.* (2003) rapportent des concentrations moyennes de sodium de l'ordre de 890 ppm dans ces mares salines, ce qui représente une salinité bien supérieure à plusieurs mares salines naturelles (*e.g.* 162 ppm en Indiana (Weeks, Jr et Kirkpatrick 1976) ; 91 ppm sur l'Isle Royale (Risenhoover et Peterson (1986)) et artificielles (*e.g.* 336 ppm en Ontario (Fraser et Thomas 1982) ; 202 ppm en Nouvelle-Angleterre (Pletscher 1987) ; 629 ppm au New-Hampshire (Miller et Litvaitis 1992)) fréquentées par les cervidés.

Certains aménagements pour les mares salines au bord des routes ont déjà été testés dans le but de réduire l'occurrence des accidents routiers impliquant les cervidés. Jolicoeur et Crête (1987, 1994) ont démontré que l'assèchement des mares salines par l'amélioration du drainage n'était pas une mesure de mitigation efficace à long terme lorsque employée seule. En effet, les orignaux continuaient de fréquenter les mares suite à leur drainage et créaient, par piétinement, de nouvelles mares d'eau stagnante qui conservaient une salinité élevée. Ce résultat démontre que le sol des mares salines est gorgé de sel et que la pluie et la fonte des neiges permettent la création ou le rétablissement de mares salines dans les dépressions où le drainage est faible. L'utilisation de substances chimiques repoussantes (*e.g.* matières en putréfaction, créosote, acide isobutyrique) pour repousser les cervidés loin des mares salines a été évaluée par Fraser et Hristienko (1982). Ces derniers ont démontré que l'utilisation de ces substances pouvait être efficace à court terme mais que les traitements devaient être appliqués fréquemment étant donné la dissipation rapide des odeurs. Donc, cette méthode pourrait être considérée pour corriger un problème temporaire dans une mare saline particulièrement problématique, mais elle est trop fastidieuse pour régler un problème à l'échelle régionale. D'autres auteurs ont même proposé de changer la composition des sels de déglacage, pour utiliser des sels moins attractifs pour les cervidés (*e.g.* urée, éthylène glycol ou CaCl_2 ; Fraser et Thomas 1982)). Toutefois, le coût de ces sels peut être prohibitif, surtout dans les secteurs où les conditions hivernales sont difficiles. La recherche de solutions au problème des mares

salines au bord des routes demeure d'un grand intérêt. Afin de proposer des mesures de mitigation adaptées et efficaces, une meilleure compréhension du comportement de l'orignal aux mares salines serait aussi essentielle.

Face aux constats réalisés dans la réserve faunique des Laurentides et la littérature disponible sur le sujet, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a adopté un plan spécial d'interventions dans le but de réduire les risques de collisions sur ce territoire. Ainsi, depuis 1997, plusieurs mares salines retrouvées le long des routes principales de la réserve ont été drainées et empierrées afin d'empêcher les orignaux de s'y abreuver. L'empierrement consistait à ensevelir les mares salines de pierres rondes d'environ 10 à 30 cm de diamètre, dans le but d'empêcher les orignaux d'accéder à l'eau salée. Cette mesure devrait causer la diminution de la fréquentation des mares au bord des routes puisque l'eau salée est l'élément attirant les orignaux à ces endroits. Pour que cette mesure de mitigation soit efficace, la baisse de fréquentation aux mares salines aménagées devrait être accompagnée par une baisse du nombre d'accidents en périphérie à court ou moyen terme. De plus, le MTQ a construit des mares salines de compensation en forêt à une distance sécuritaire de la route (plus de 200 m) afin de servir de sites alternatifs d'alimentation en minéraux pour les orignaux. Le MTQ espère ainsi modifier les habitudes des orignaux afin d'améliorer la sécurité routière, sans toutefois nuire à leur consommation de sodium. Aux endroits où les mares salines ne sont pas à l'origine du problème ou lorsque leur aménagement est difficile à réaliser, la clôture électrique a été privilégiée comme mesure de mitigation (Leblond *et al.* 2006).

Ce rapport présente les résultats d'une étude de 3 ans dont l'objectif principal était d'évaluer l'efficacité de l'aménagement des mares salines au bord des routes et des mares de compensation comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal. Les objectifs spécifiques suivants étaient poursuivis : 1) évaluer le taux de fréquentation des mares salines en bordure des routes et des mares de compensation avant et après l'aménagement, 2) évaluer les changements du taux de fréquentation des mares salines en bordure des routes et des mares salines de compensation au cours de la période estivale et 3) décrire les caractéristiques physiques et chimiques des mares salines et établir une relation entre ces paramètres et la fréquentation des mares salines par l'orignal.

2.0 Matériel et méthodes

2.1 Aire d'étude

La recherche a été effectuée le long des routes provinciales 175 et 169 dans la réserve faunique des Laurentides, un territoire naturel de 7 861 km² situé entre les villes de Québec et Saguenay, Québec, Canada (Fig. 1). Ces routes offrent une seule voie de circulation dans chaque direction, sauf dans les secteurs à forte pente où des voies de dépassement sont disponibles. La vitesse maximale permise est fixée à 90 km/h et le débit journalier moyen est de 1 460 voitures sur la route 169, de 2 800 voitures sur la route 175 au nord de l'intersection entre ces deux routes et de 4 800 voitures sur la route 175 au sud de cette même intersection (voir Fig. 1; Dussault *et al.* 2004). La réserve faunique des Laurentides est composée de peuplements de conifères ou mélangés typiques de la région boréale (Dussault *et al.* 2001). Les peuplements résineux de sapin (*Abies balsamea*) et d'épinette noire (*Picea mariana*) dominant en haute altitude alors que les vallées et les secteurs de basse altitude sont recouverts de peuplements mélangés et feuillus, où dominant le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et le bouleau jaune (*B. alleghaniensis*). La récolte commerciale de matière ligneuse et une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) ont contribué à créer une mosaïque forestière hétérogène de peuplements matures entrecoupés par des peuplements en régénération. Le dernier inventaire aérien réalisé dans la région a permis d'estimer la densité de l'orignal à 2,2 orignaux / 10 km² en moyenne, avec des secteurs propices atteignant 8 orignaux / 10 km² (St-Onge *et al.* 1995). Le caribou (*Rangifer tarandus*), le cerf de Virginie et les deux principaux prédateurs des cervidés, soit le loup gris (*Canis lupus*) et l'ours noir, sont les autres espèces de grands mammifères que l'on retrouve dans l'aire d'étude.

2.2 Dispositif expérimental et aménagements réalisés

La fréquentation par l'orignal a été évaluée dans trois types de mares salines différents, répartis le long des routes 175 et 169 (Fig. 2) : 1) les mares salines au bord des routes, au nombre de 7 (seulement 6 en 2003), ont été suivies avant (2003-2004) et après (2005) leur aménagement par le MTQ, dans le but d'évaluer si l'aménagement aurait un effet sur leur fréquentation; 2) les mares de compensation, au nombre de 6, ont été suivies au cours des

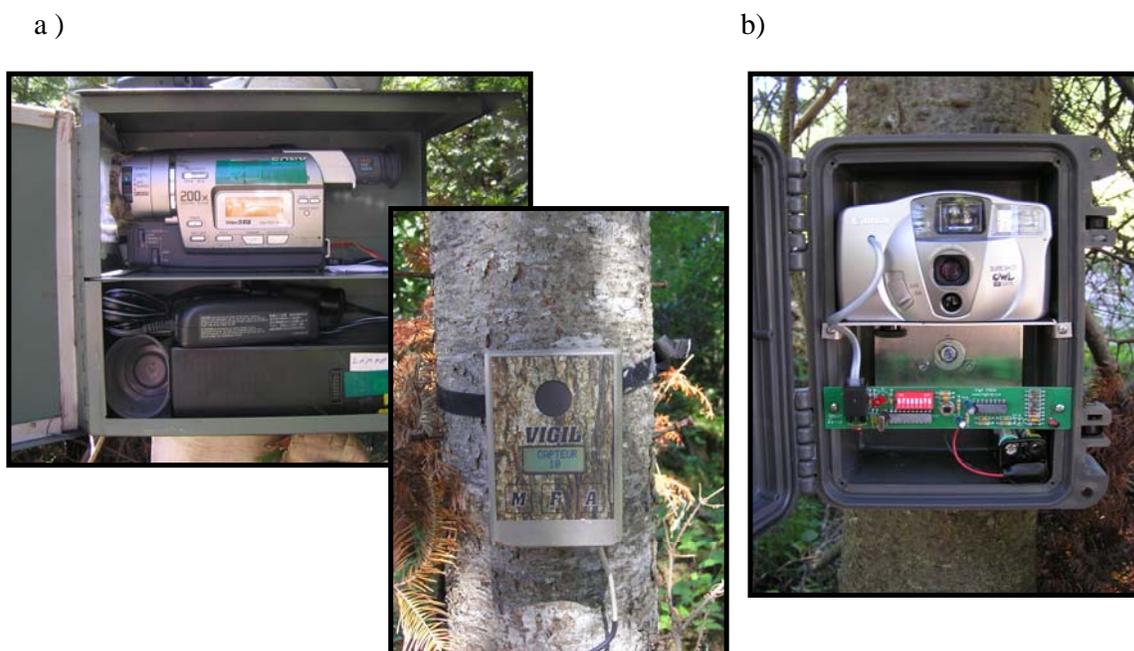
trois étés afin d'évaluer leur utilisation par l'orignal et de voir l'effet de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur leur fréquentation ; et 3) les mares salines témoins, situées au bord des routes et au nombre de 5 (seulement 4 en 2003), ont été suivies au cours des trois étés dans le but d'évaluer les variations interannuelles de fréquentation des mares salines indépendamment de l'effet du traitement.

Les mares de compensation ont été aménagées par le MTQ entre 1997 et 2002 dans les secteurs de la réserve faunique des Laurentides où la problématique d'accidents routiers avec l'orignal était liée à la présence de mares salines au bord de la route. Plus spécifiquement, elles étaient situées à plus de 200 m de la route, dans des mares d'eau stagnante déjà existantes dont la profondeur ou la superficie pouvait être augmentée à l'aide d'une pelle mécanique. Une quantité importante de sel déglaçant ont été ajoutées à l'eau de ces mares à raison de deux visites par année, soit à la fin de mai et au début de juillet. Les mares salines au bord de la route ont été aménagées à l'automne 2004 selon une méthode développée par le MTQ. Celle-ci consiste à favoriser le drainage des mares en creusant des canaux d'irrigation à l'aide d'une pelle mécanique et à ajouter une grande quantité de pierres de 10 à 30 cm de diamètre de façon à rendre l'eau riche en minéraux inaccessible aux orignaux.

2.3 Évaluation de la fréquentation des mares salines par l'orignal

La fréquentation des mares salines par l'orignal a été évaluée entre la mi-mai et la mi-août des étés 2003 à 2005. Cette période a été choisie puisqu'il s'agit de la période durant laquelle les accidents impliquant l'orignal sont les plus fréquents dans le site d'étude (Grenier 1974, Dussault *et al.* 2004) et durant laquelle les orignaux fréquenteraient les mares salines de façon soutenue (Fraser et Hristienko 1981, Tankersley et Gasaway 1983, Risenhoover et Peterson 1986, Couturier et Barrette 1988). Deux types d'appareils ont été utilisés afin de détecter et d'identifier les orignaux aux mares salines. Un détecteur de mouvement et de chaleur (modèle Vigil, Circuitronique Estrie inc.) permettant de déclencher une caméra vidéo (SONY) pendant quatre minutes au passage d'un animal a été utilisé dans les mares au bord des routes et de compensation. Dans les mares témoins, un détecteur de mouvement semblable mais relié à un appareil photo 35 mm (modèle P-BOX, Circuitronique Estrie inc.), a été utilisé. Comme les P-BOX étaient moins sensibles aux conditions météorologiques que les systèmes Vigil-caméra, ils ont aussi été installés aux mares salines au bord des routes et de compensation en 2004 et

2005, en plus du système Vigil-caméra. Cette précaution a été prise suite à certains problèmes techniques survenus au cours de l'été 2003 avec les systèmes Vigil-caméra.



Les deux types d'appareils utilisés pour détecter et d'identifier les orignaux aux mares salines : a) le système Vigil-caméra et b) le P-BOX.

Les deux systèmes de détection permettaient de récolter des informations complémentaires. En effet, le P-BOX était muni d'un flash qui permettait la détection des orignaux durant la nuit plus efficacement que la lampe infrarouge, utilisée avec le système Vigil-caméra. Ces lampes ne pouvaient être allumées que durant 30 secondes par événement pour limiter la consommation d'énergie. Aussi, nous n'avons pas pu installer une lampe à chaque site. Enfin, comme chaque système de détection était indépendant, nous avons ainsi un appareil de sécurité advenant le mauvais fonctionnement d'un des deux appareils. La distance de détection du Vigil et du P-BOX a été évaluée au zoo de Saint-Félicien avec des orignaux, dans des conditions climatiques et à des horaires variés (Dussault *et al.* 2003). Cette analyse a permis de démontrer qu'environ 80 % des orignaux étaient détectés par ces deux types d'appareils dans un rayon de 10 m, soit la distance à laquelle nous avons installé les appareils dans le cadre de cette étude. Si possible, les systèmes de détection étaient orientés de façon à capter des angles différents afin de couvrir la plus grande partie possible des mares.

L'installation des appareils de détection a débuté le 26 mai en 2003 et en 2004 et le 17 mai en 2005, et cette opération était généralement terminée le 31 mai. Les appareils étaient repositionnés au même endroit d'une année à l'autre autant que possible. Par contre, certains systèmes Vigil-caméra ont été déplacés en 2005 pour mieux couvrir l'entrée de la surface empierrée. Le matériel a été retiré entre le 16 et le 19 août, ce qui donne environ 13 semaines d'observation par été pour chaque site. Les vidéocassettes et les films étaient récupérés lors des visites hebdomadaires aux mares salines. À chaque fois, la vidéocassette était remplacée, le nombre de visites détectées par le Vigil était noté et les appareils étaient remis en fonction. Les films de 24 ou 36 poses, utilisés dans les P-BOX, étaient remplacés au besoin. Le visionnement des vidéocassettes et des photos ont permis de déterminer la date et l'heure de chaque visite, ainsi que le nombre, le sexe et la catégorie d'âge (adulte, juvénile ou faon) des orignaux observés. Lorsque possible, les individus ont été identifiés à partir de caractéristiques morphologiques (panache, cloche, blessures, cicatrices, patrons de coloration, etc.). La présence ou l'apparence des faons a parfois permis de distinguer les femelles suitées.

Le visionnement des vidéocassettes a permis de mesurer avec précision la durée de chaque visite ainsi que le temps consacré par les orignaux à boire de l'eau salée. La proportion de temps consacré à boire (*i.e.* (temps consacré à boire / temps où l'orignal était visible) X 100) a permis d'obtenir un indice comparable entre les années et les types de mares. Comme les mares témoins n'étaient pas équipées d'une caméra vidéo, la durée moyenne des visites enregistrées par le P-BOX a été estimée à partir du nombre de photos prises. Lorsque le P-BOX a été le seul appareil à détecter une visite et qu'une seule photo a été prise, il fut impossible de déterminer la durée exacte de la visite. Cette dernière a donc été fixée à 150 secondes, ce qui correspond à la moitié du temps d'attente laissé entre chaque photo de l'appareil (cinq minutes). Enfin, la circulation routière et la réaction des orignaux face au passage des voitures et des véhicules lourds (bord de route seulement) ont été notées.

Une visite a été définie comme la présence d'un ou de plusieurs orignaux de façon simultanée, détectés une ou plusieurs fois par un ou deux des systèmes disponibles. Si le temps écoulé entre deux détections dépassait 60 minutes, ces événements étaient considérés comme des visites indépendantes. De plus, à l'intérieur d'une période de 60 minutes, l'apparition non simultanée de deux individus différents était considérée comme deux visites indépendantes. Fraser et Hristienko (1981) ont observé, dans une étude en Ontario, que les

originaux quittaient souvent les mares salines pour uriner ou observer aux alentours, et qu'ils revenaient s'abreuver après quelque temps.

2.4 Description des mares salines

Lors des visites hebdomadaires réalisées aux mares salines, nous avons récolté plusieurs informations permettant de les décrire. La profondeur de l'eau était mesurée à sept endroits répartis au hasard dans la mare et une estimation visuelle du pourcentage de recouvrement de l'eau était effectuée. À toutes les deux semaines, des échantillons d'eau de 125 ml étaient récoltés dans chaque mare saline ainsi que dans des mares témoins ne recevant pas d'apport de la route afin de mesurer la conductivité à l'aide d'un conductivimètre (Hanna Instruments 9811 - mS). Il existe une forte corrélation entre la conductivité et la teneur en sels dissous (Jolicoeur et Crête 1987, Bechtold 1996). La nature ainsi que la concentration des sels présents dans l'eau des mares salines et des plans d'eau témoins a été déterminée en laboratoire. Pour ce faire, six échantillons de 125 ml ont été récoltés au cours de l'été 2003 dans chaque site, en prenant soin de ne pas récolter d'eau contaminée par des matières en suspension ou de l'urine (Tankersley et Gasaway 1983). Les échantillons ont par la suite été additionnés d'acide nitrique pour éviter la précipitation puis conservés au froid jusqu'à leur analyse. Les éléments dosés en laboratoire furent le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium. Ces analyses chimiques ont permis de démontrer que les ions Na^+ (sodium) étaient les plus abondants dans les mares salines au bord des routes, tout comme dans les mares salines de compensation (Tableau 1).

Chaque mare saline ainsi que l'habitat qui l'entoure ont été décrits afin d'évaluer si des variables autres que la présence d'eau salée influençaient leur fréquentation par l'original. Les mesures suivantes ont été prises : surface (longueur x largeur), distance de la chaussée (du centre de la mare jusqu'à l'accotement), hauteur par rapport à la chaussée, obstruction visuelle latérale procurée par la végétation (mesurée à 15 m à partir du centre de la mare, dans les directions nord et sud pour les mares de compensation ou perpendiculairement à la route pour les mares de bord de route) et un autre indice d'obstruction visuelle, cette fois par rapport à un automobiliste sur la route. Cette dernière variable a été estimée à l'aide d'une silhouette d'original grandeur nature placée au centre de la mare, dont le pourcentage de visibilité a été évalué par un observateur se tenant sur la chaussée à 50 m de la mare.

2.5 Analyses statistiques

Nous avons calculé un taux de fréquentation des mares salines tenant compte du nombre d'heures d'opération des appareils afin d'obtenir un indice comparable entre les sites et les années, soit le *nombre de visites / 100 heures*. Les appareils étaient considérés inopérants lorsqu'ils ne pouvaient plus enregistrer les visites, dû à des problèmes techniques ou lorsque les vidéocassettes ou les films étaient complets. Pour les mares salines où nous ne pouvions obtenir de mesures durant la nuit (pas de lampe infrarouge ou de P-BOX fonctionnel), nous avons soustrait 6 heures au nombre d'heures d'opération total, soit la durée approximative de la pleine noirceur au milieu de l'été. Les données obtenues en 2003 n'ont pas pu être utilisées dans toutes les analyses puisque les données de nuit n'ont été collectées que de façon sporadique durant cette année d'étude et que les analyses préliminaires ont indiqué que la fréquentation était plus élevée durant la nuit qu'aux autres moments de la journée. Un autre indice de fréquentation intégrant à la fois la fréquence et la durée des visites a été obtenu en multipliant le nombre d'orignaux présents durant la visite par la durée des événements : *nombre d'original*heure / 100 heures*.

Toutes les observations colligées dans le cadre de cette étude ont été regroupées par périodes de 14 à 17 jours (quinzaines) avec des bornes temporelles fixes. Ces périodes ont été choisies pour faciliter les comparaisons interannuelles. Chaque visite a été classifiée dans un des quatre groupes suivant, selon l'âge et le sexe des orignaux observés : 1) les mâles adultes (MA), 2) les femelles adultes (accompagnées ou non de faons ; FA+FAON), 3) les individus juvéniles, mâles ou femelles (JUV) et 4) les individus d'âge et/ou de sexe indéterminés (IND). Lorsque plus de deux individus de sexes ou d'âges différents étaient observés (groupes mixtes), la visite était classée dans la catégorie IND. Dans toutes les analyses mentionnées ici-bas, la variable dépendante a subi une transformation $\ln(x+0,1)$, afin d'assurer la normalité des résidus. Les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels Systat 10.0 (SPSS inc. 2000) et SAS 8.00 (SAS Institute inc. 1999) en utilisant un seuil de signification de 0,05.

2.5.1 Variations saisonnières et quotidiennes

Afin de bien comprendre les patrons saisonniers et circadiens de fréquentation des orignaux aux mares salines, nous avons effectué des analyses de variance multivariées (MANOVA) à

mesures répétées avec la quinzaine et la période quotidienne comme variables indépendantes et le nombre de visites / 100 heures des mâles adultes, des femelles adultes et des juvéniles comme variables dépendantes. Les analyses ont été faites séparément pour les mares salines au bord des routes (incluant les témoins) et les mares de compensation. Pour les mares salines au bord des routes, l'analyse a été réalisée à partir des données récoltées en 2004 seulement, alors que les données de 2004 et 2005 ont été utilisées pour les mares de compensation. Lorsque la MANOVA indiquait un effet significatif, nous avons ensuite effectué des analyses de variance (ANOVA) pour chaque groupe de sexe et d'âge afin de préciser ces effets.

2.5.2 Fréquentation des mares salines en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques

Afin de déterminer si certaines caractéristiques environnementales des mares salines au bord des routes influençaient leur fréquentation par l'orignal ou encore le comportement de l'orignal, nous avons réalisé des corrélations de Pearson (avec probabilités ajustées selon la méthode de Bonferonni) entre le nombre de visites / 100 heures et le temps consacré à boire, d'une part, et les variables quantitatives décrivant l'habitat autour des mares, d'autre part. Les variables d'habitat retenues furent : 1) la surface, 2) la distance à la chaussée, 3) la hauteur par rapport à la chaussée, 4) l'obstruction visuelle latérale procurée par la végétation en direction de la route, 5) l'obstruction visuelle latérale procurée par la végétation en direction de la forêt, 6) l'indice d'obstruction visuelle à 50 m sur la chaussée, 7) le % de recouvrement en eau, 8) la profondeur d'eau et 9) la conductivité de l'eau. Pour les variables « % de recouvrement en eau », « profondeur d'eau » et « conductivité de l'eau », il a été possible d'effectuer la corrélation en utilisant la quinzaine comme unité d'échantillonnage puisque ces variables, qui sont susceptibles de varier de façon importante au cours de l'été, étaient mesurées à chaque semaine. Pour les autres variables, mesurées une seule fois au cours de l'étude, la corrélation a été calculée avec la moyenne du nombre de visites / 100 heures ou du temps consacré à boire pour chaque site. Puisque nous étions intéressés à connaître le comportement de l'orignal dans des mares salines non aménagées, nous avons utilisé les données récoltées dans les mares salines au bord des routes avant les aménagements (2003 et 2004 seulement), dans les mares salines témoins, ainsi que dans des mares d'eau très peu ou pas fréquentées par l'orignal. Ces dernières étaient, en apparence, en tous points semblables aux autres mares salines utilisées dans le dispositif expérimental, mais leur fréquentation a été établie comme

étant nulle après plusieurs semaines d'observation effectuées lors des déplacements dans le site d'étude. Les mares salines témoins n'ont pas été utilisées dans l'analyse utilisant le temps moyen consacré à boire comme variable dépendante, puisque le P-BOX ne permettait pas d'estimer cette variable.

Des corrélations semblables ont aussi été réalisées pour les mares salines de compensation, en utilisant les données récoltées au cours des trois années d'étude et les variables d'habitat suivantes : 1) surface, 2) obstruction visuelle latérale moyenne, 3) % de recouvrement en eau, 4) profondeur d'eau et 5) conductivité de l'eau.

2.5.3 Évaluation de l'aménagement des mares salines

Des ANOVAs à mesures répétées ont été utilisées pour tester l'effet de l'empierrement sur les indices de fréquentation des mares salines au bord des routes et de compensation. Pour chaque type de mare, les analyses ont été réalisées séparément pour les deux indices de fréquentation et pour les périodes du jour suivantes : le jour (incluant l'aube et le crépuscule) et la nuit. Pour les raisons mentionnées précédemment, les analyses portant sur le jour ont été faites avec les données de 2003 à 2005, alors que les analyses de nuit ont été faites à partir des données de 2004 et 2005 seulement. Les variables indépendantes étaient l'année et la quinzaine, pour toutes les analyses, ainsi que le type de mare (traitée ou témoin) pour l'analyse portant sur les mares au bord des routes seulement.

3.0 Résultats

3.1 Fonctionnement des appareils de détection

En 2003, les systèmes de détection ont été opérationnels durant un total de 23 069 heures, tous sites confondus. Le temps d'opération est passé à 32 356 heures en 2004 et 36 529 heures en 2005 (dont 3 690 et 4 223 heures ont été recensées en 2004 et 2005, respectivement, dans les deux mares salines ajoutées au dispositif expérimental (14R et 150T) à partir de 2004). Cette amélioration résulte en partie de l'utilisation du P-BOX à toutes les mares salines et à l'installation plus hâtive des appareils en 2005. En effet, le nombre total de photos d'original est passé de 83 en 2003 à 1045 et 630 en 2004 et 2005, respectivement. Quant au temps total

où au moins un orignal était filmé par une caméra, il est passé de 11 heures 48 minutes en 2003 à 15 heures 06 minutes et 10 heures 36 minutes en 2004 et 2005, respectivement. Malgré les nombreux efforts déployés pour protéger les appareils de la pluie, de l'humidité et même des rongeurs, ces éléments ont parfois perturbé leur fonctionnement. Le nombre d'heures de fonctionnement des appareils était variable entre les sites, les quinzaines et les années (Tableaux 2, 3 et 4). Au total, 1168 visites indépendantes ont été recensées (2003 = 209 ; 2004 = 587 ; 2005 = 372) et nous estimons qu'au moins 100 orignaux différents ont été vus en moyenne à chaque été au cours de l'étude.

3.2 Fréquentation des mares salines au bord des routes et évaluation des aménagements sur le comportement de l'orignal

3.2.1 Fréquentation des mares salines au bord des routes par l'orignal

3.2.1.1 Variations saisonnières et quotidiennes

Sans égard au sexe et à l'âge des orignaux impliqués, le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes durant le jour a grandement varié entre les quinzaines ($F = 4,07$, $dl = 6, 54$, $p = 0,002$) mais pas entre les étés ($F = 1,27$, $dl = 2, 16$, $p = 0,308$; Fig. 3). Le nombre de visites / 100 heures durant la nuit a non seulement varié significativement entre les quinzaines ($F = 6,83$, $dl = 6, 54$, $p < 0,001$) mais il était plus élevé en 2004 (avant aménagement) qu'en 2005 (après aménagement ; $F = 11,00$, $dl = 1, 9$, $p = 0,009$; Fig. 4). De façon générale, le nombre de visites / 100 heures était relativement plus élevé de la mi-juin à la mi-juillet, et il diminuait de façon importante par la suite. Le patron de fréquentation dans les mares témoins était semblable à celui des mares traitées, le jour ($F = 0,37$, $dl = 6,54$, $p = 0,896$) comme la nuit ($F = 1,19$, $dl = 6,54$, $p = 0,328$), et il est demeuré semblable au cours des trois étés malgré les aménagements (jour : $F = 0,52$, $dl = 12, 98$, $p = 0,897$; nuit : $F = 0,89$, $dl = 6, 57$, $p = 0,509$).

Les figures 5 et 6 montrent le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes pour les mâles adultes, les femelles adultes et les juvéniles, par quinzaine et par période quotidienne avant les aménagements (2004 seulement). La MANOVA à mesures répétées a non seulement révélé un effet significatif de la quinzaine ($F = 4,04$, $dl = 18$, $p <$

0,001) mais aussi de la période quotidienne ($F = 5,19$, $dl = 9$, $p < 0,001$) sur le nombre de visites / 100 heures de l'orignal dans les mares salines au bord des routes en 2004. L'effet de la période quotidienne était semblable entre les quinzaines ($F = 0,98$, $dl = 54$, $p = 0,515$). Les ANOVAs effectuées séparément par groupes d'âge et de sexe (Tableau 5) ont permis de discerner des différences entre ces derniers. Le nombre de visites / 100 heures a varié significativement selon la période quotidienne pour les mâles (nuit > aube et jour; $p < 0,001$) et les femelles adultes (nuit > toutes les autres périodes quotidiennes ; $p < 0,003$), et entre les quinzaines pour les femelles adultes et les juvéniles seulement. Les principales différences observées entre les quinzaines indiquent que le nombre de visites / 100 heures par les femelles adultes était généralement plus élevé au début de l'été (15 juin au 31 juillet) qu'à la fin du printemps (15 mai au 14 juin) et à la fin de l'été (1 au 31 août). Le patron est sensiblement le même chez les juvéniles qui commencent toutefois à fréquenter les mares salines un peu plus tôt (1 juin au 31 juillet).

3.2.1.2 Sexe et âge des individus dans les mares salines au bord des routes

En 2003 et 2004, avant les aménagements, 43,6 % des visites ont été faites par des femelles adultes contre 19,6 % pour les juvéniles et 16,8 % pour les mâles adultes. Suite aux aménagements, à l'été 2005, les femelles adultes ont composées 25,2 % des visites, contre 20,9 % pour les juvéniles et 10,1 % pour les mâles adultes. Les visites ont à l'occasion été faites par des groupes de deux (2003 = 17,6 % ; 2004 = 19,8 % ; 2005 = 8,6 %) ou de trois orignaux (2003 = 2,4 % ; 2004 = 3,7 % ; 2005 = 1,4 %). Ces groupes étaient la plupart du temps composés d'une femelle adulte et d'un ou deux faons, mais 55 visites (8,2 %) ont été faites par des individus d'âges et de sexes variés. Le sexe ou l'âge des orignaux n'a pu être déterminé dans 20,0 et 43,9 % des visites avant et après les aménagements, respectivement.

3.2.1.3 Comportement des orignaux dans les mares salines au bord des routes

En 2003 et en 2004, avant les aménagements, presque toutes les visites dans les mares salines au bord des routes ont duré moins d'une heure et la majorité ont duré moins de 15 minutes (70,0 % (371/530)). La visite la plus longue a duré 3 heures 29 minutes et a eu lieu à la fin de mai 2004. En 2005, après les aménagements, une plus grande proportion des visites ont duré moins de 15 minutes (87,9 % (123/140)). Parmi les visites dans les mares salines au bord des

routes captées par le système Vigil-caméra avant les aménagements, 42,9 % (85/198) ont été déclenchées par des orignaux qui n'ont pas bu d'eau, et les orignaux qui buvaient consacraient en moyenne 33,5 % de leur temps à le faire (Tableau 6). Suite aux aménagements, aucun orignal parmi ceux qui ont été observé directement dans les mares n'a été observé en train de boire de l'eau (0/26). La moyenne (\pm SE) du temps consacré à boire par site est présentée pour chaque année à l'annexe 1.

Le nombre moyen de voitures et de véhicules lourds ayant circulé sur la route au cours des visites des orignaux aux mares salines a été de 7,4 avant les aménagements et de 0,7 suite aux aménagements. Les mares salines 14R et 27R étaient très fréquentées par l'orignal, malgré la présence de trafic (19,8 voitures par visite en moyenne en 2004 à la 14R et 14,1 voitures par visite en moyenne en 2003 à la 27R). Seulement 7 automobilistes sur 1528 (0,45 %) ont utilisé leur klaxon pour tenter d'effrayer les orignaux, avec succès, au cours des trois étés. Sur les 224 visites captées au bord des routes par les systèmes Vigil-caméra, les orignaux ont fui une mare saline à 30 reprises au passage d'une voiture (13,4 %), et à 33 reprises au passage d'un véhicule lourd (14,7 %).

3.2.2 Fréquentation des mares salines au bord des routes par l'orignal en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques

Les caractéristiques environnementales autour des mares salines ayant l'effet le plus évident sur le nombre moyen de visites / 100 heures et le temps consacré à boire étaient l'obstruction visuelle latérale en direction de la route (+) et l'indice d'obstruction visuelle à 50 m sur la route (+) (Tableau 7). Le nombre de visites / 100 heures était aussi corrélé à la surface des mares (+) en 2003, et au % de recouvrement en eau (+), à la profondeur d'eau (+) et à la conductivité (-) en 2004.

3.2.3 Évaluation de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur le comportement de l'orignal

Les deux indices de fréquentation des mares salines au bord des routes par l'orignal durant la nuit ont donné des résultats semblables quant à l'effet des aménagements (Tableau 9). L'interaction entre l'année et le type de mare saline était significatif, indiquant que la

fréquentation était significativement plus élevée en 2004 qu'en 2005, mais dans les mares aménagées seulement. Bien que le nombre de visites / 100 heures durant le jour était semblable au cours des trois étés de l'étude, l'indice combinant à la fois la fréquence et la durée des visites (*i.e.* nombre d'original*heure / 100 heures) était significativement plus faible en 2005 qu'en 2003 et en 2004 et ce, dans les mares aménagées seulement.

3.3 Fréquentation des mares salines de compensation, et effets de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur cette fréquentation

3.3.1 Fréquentation des mares salines de compensation par l'original

3.3.1.1 Variations saisonnières et quotidiennes

Le nombre de visites / 100 heures aux mares salines de compensation par l'original a varié entre les quinzaines, aussi bien durant le jour que la nuit ($p < 0,001$), mais il était semblable entre les étés ($p > 0,482$; Fig. 7). L'indice intégrant la fréquence et la durée des visites a indiqué que la fréquentation durant la nuit était plus élevée en 2005 qu'en 2004, mais il n'a pas révélé de différence de fréquentation entre les années durant le jour. Les pics de fréquentation dans les mares de compensation ont eu lieu durant les mêmes quinzaines qu'au bord des routes, soit de la mi-juin à la mi-juillet.

La MANOVA à mesures répétées a aussi mis en évidence l'effet significatif de la quinzaine ($F = 6,06$, $dl = 18$, $p < 0,001$) sur le nombre de visites / 100 heures de l'original aux mares salines de compensation. L'effet de la période quotidienne ($F = 1,47$, $dl = 9$, $p = 0,077$) et de l'interaction entre la quinzaine et la période quotidienne ($F = 0,95$, $dl = 54$, $p = 0,579$) n'étaient pas significatifs. Les ANOVAs effectuées séparément sur chaque groupe d'âge ou de sexe ont démontré que l'effet de la quinzaine était observé chez tous les groupes (Tableau 10). Le nombre de visites / 100 heures par les mâles adultes était plus faible en août que durant le reste de l'été. Pour les femelles adultes, le nombre de visites / 100 heures était plus élevé au mois de juillet et relativement plus faible au printemps (15 mai au 14 juin) et à la fin de l'été (1 au 31 août). Enfin, pour les juvéniles, le nombre de visites était plus élevé durant le mois de juin et au début de juillet qu'au printemps (15 au 31 mai) et à la fin de l'été (15 juillet au 31 août).

3.3.1.2 Sexe et âge des individus aux mares salines de compensation

Dans les mares salines de compensation, 35,7 % des visites ont été faites par des juvéniles contre 25,0 % par des mâles adultes et 23,7 % par des femelles adultes. Quelques visites ont été faites par des groupes de deux (17,2 %) ou de trois orignaux (0,9 %). Une visite impliquant 4 individus a même eu lieu en 2005. Ces groupes étaient souvent composés d'une femelle adulte et d'un ou deux faons, mais 28 visites (6,1 %) comportaient des individus d'âges et de sexes variés. Les orignaux d'âge et de sexe indéterminés ont composé 15,6 % des visites.

3.3.1.3 Comportement des orignaux aux mares salines de compensation

Comme dans les mares salines au bord des routes, presque toutes les visites aux mares salines de compensation ont duré moins d'une heure et la majorité ont duré moins de 15 minutes (72,0 % (331/460)). La visite la plus longue a duré 3 heures 25 minutes et a eu lieu à la fin de juin 2005. Parmi les visites captées par le système Vigil-caméra aux mares salines de compensation, les orignaux n'ont pas consommé d'eau dans 45,1 % (144/319) des cas. Les orignaux passaient de 21 à 33 % de leur temps aux mares de compensation à boire de l'eau (voir Tableau 6). La moyenne (\pm SE) du temps consacré à boire par site est présentée pour chaque année à l'annexe 1.

3.3.2 Fréquentation des mares salines de compensation par l'orignal en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques

Aucune variable d'habitat n'était corrélée au nombre de visites / 100 heures dans les mares salines de compensation, que ce soit en 2003, 2004 ou 2005.

3.3.3 Effets de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur la fréquentation des mares salines de compensation par l'orignal

Le nombre de visites / 100 heures aux mares salines de compensation n'était pas différent avant et après l'aménagement des mares salines au bord des routes, aussi bien le jour que la

nuit (Tableau 11). Par contre, le nombre d'original*heure / 100 heures était plus élevé en 2005 qu'en 2004 durant la nuit ($p = 0,048$) bien qu'il n'ait pas varié significativement entre les années durant le jour ($p = 0,339$).

4.0 Discussion

4.1 Fonctionnement des appareils de détection

Les estimations de la fréquentation des mares salines recueillies au cours de cette étude sont conservatrices. En effet, les appareils de détection n'ont vraisemblablement pas capté toutes les visites, puisqu'ils ont un taux de détection de 80 % (Dussault *et al.* 2003). De même, les appareils n'ont certainement pas été déclenchés immédiatement au début de chaque visite, ce qui, à l'occasion, a sous-estimé leur durée. Toutefois, les méthodes novatrices utilisées dans le cadre de cette étude ont permis de récolter une quantité suffisante de données d'une grande qualité permettant d'évaluer l'efficacité des aménagements de mares salines à court terme. Il aurait été impossible de parvenir à de tels résultats à partir d'observations effectuées directement sur le terrain. Nous avons réalisé l'importance d'utiliser des appareils permettant d'obtenir des données durant la nuit en 2003, et tous les sites étaient équipés de façon appropriée dès le début des travaux de terrain en 2004. Nous avons tenu compte de cette limite dans les analyses statistiques, en utilisant les données de 2003 pour analyser la période du jour seulement.

4.2 Variation saisonnière et quotidienne de la fréquentation aux mares salines, en fonction du sexe et de l'âge des individus

De façon générale, le patron saisonnier de la fréquentation des orignaux aux mares salines dans la réserve faunique des Laurentides est semblable à celui observé dans d'autres régions ou pour d'autres espèces de cervidés. En effet, Couturier et Barrette (1988) ont observé que l'original fréquentait les mares salines naturelles dans la région de Matane (Québec) dès la mi-mai et qu'un pic de fréquentation était observé au début juillet, suivi d'une forte diminution au cours du mois d'août. La chèvre de montagne (*Ovis canadensis nelsoni* ; Holl et Bleich 1987) et le cerf mulot (*O. hemionus* ; Carbyn 1975) fréquentent aussi principalement les mares salines en juin et au début du mois de juillet. Toutefois, Fraser et Thomas (1982) ont

observé chez l'orignal un pic de fréquentation plus tôt que dans notre site d'étude, soit à la fin de mai et au début de juin, avec un déclin en juillet et août. Weeks, Jr. et Kirkpatrick (1976) et Schultz et Johnson (1992) ont observé un pic d'activité du cerf de Virginie au cours des mois d'avril et mai. Ces différences pourraient être causées par la nature des mares salines, d'origine naturelle plutôt qu'artificielle, ou par le fait que ces études se sont déroulées dans des régions situées plus au sud, où le climat est différent. Enfin, Filus (2002) et Panichev *et al.* (2002) ont noté deux pics de fréquentation des mares salines en Russie, un premier à la fin-juin début-juillet et un autre en septembre, au cours de la période du rut chez l'orignal. Le deuxième pic, qui n'a pas pu être recensé au cours de cette étude puisque la collecte de données se terminait en août, pourrait être dû à l'augmentation des déplacements des orignaux au cours du rut. En effet, les orignaux pourraient utiliser les mares salines davantage comme lieux de rencontre (Panichev *et al.* 2002). Il semble donc que le patron de fréquentation des mares salines puisse varier d'une région à l'autre en fonction des caractéristiques intrinsèques aux populations étudiées.

Plusieurs auteurs associent les pics d'activité aux mares salines à des carences en minéraux (particulièrement en sodium) chez les orignaux. Cette carence pourrait résulter de la consommation de jeunes pousses à l'ouverture des bourgeons au printemps. En effet, les feuilles fraîchement ouvertes sont riches en potassium et en eau, ce qui augmente les pertes de sodium par défécation (Fraser et Hristienko 1981). Simultanément, les besoins en sodium augmentent au printemps et en été notamment à cause de la croissance chez les juvéniles, la pousse des bois chez les mâles, et la gestation et la lactation chez les femelles adultes (Weeks, Jr. et Kirkpatrick 1976, Belovsky et Jordan 1981). Fraser et Hristienko (1981) ont donc proposé que le pic d'activité aux mares salines corresponde avec la date d'ouverture des feuilles pour une région donnée. Couturier et Barrette (1988) prétendent avoir observé cette correspondance avec la date d'ouverture des feuilles de peuplier faux-tremble. Toutefois, comme le mentionnent Ayotte *et al.* (soumis), ces auteurs n'expliquent pas le décalage entre la date d'ouverture et le pic de fréquentation, qui est de sept semaines. Dans notre site d'étude, l'apparition des feuilles du bouleau blanc et du peuplier faux-tremble s'est faite entre le 8 et le 10 juin, soit presque simultanément avec le début du pic de fréquentation des mares salines au bord des routes. Ayotte *et al.* (soumis), quant à eux, suggèrent que le pic de fréquentation des mares salines par les orignaux corresponde à l'apparition de tanins dans la végétation dont ils se nourrissent. Enfin, Schultz et Johnson (1992) ont observé une correspondance entre le pic d'activité des cerfs de Virginie aux mares salines et le ratio

d'humidité totale et de protéines dans la végétation avoisinante. Nos résultats ne permettent pas de supporter l'une ou l'autre de ces deux dernières hypothèses alternatives.

La majorité des études réalisées en Amérique du Nord démontrent une baisse notable de la fréquentation des mares salines dès la fin juillet et pour le reste de l'été. Ce changement pourrait être dû au comportement d'alimentation des orignaux, qui consomment davantage de végétation aquatique riche en sodium dans les lacs durant cette période (Jordan *et al.* 1973). Bien que Fraser *et al.* (1982) établissent la période d'abondance de la végétation aquatique du 19 juin au 8 juillet, Fraser et Thomas (1982) ont observé que, dans une région où des mares salines au bord des routes dont la salinité moyenne est de 600 ppm sont présentes, les orignaux fréquentent préférentiellement ces dernières durant la période d'abondance de la végétation aquatique. Dans notre site d'étude, la fréquentation des mares salines a continué bien au-delà du 8 juillet, mais elle a tout de même fortement diminué en août. Les lacs pourraient aussi procurer un refuge aux orignaux contre les insectes piqueurs et les grandes chaleurs, ce qui pourrait expliquer qu'ils les utilisent plus tard dans l'été (Flook 1959, Renecker et Hudson 1990). La diminution de la fréquentation des mares salines pourrait aussi être simplement due à une diminution des besoins des orignaux en sodium (Fraser *et al.* 1982). Un autre volet de cette étude, pour lequel des orignaux ont été munis de colliers GPS, permettra de mieux comprendre cette interaction entre l'orignal et les sources de sodium au cours de l'été (Laurian *et al.* 2006).

Le patron saisonnier de fréquentation des mares salines par l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides est caractérisé par des pics d'activité différenciés par classes de sexe et d'âge. Les mâles adultes fréquentent les mares salines de bord de route plus tôt dans l'été, avec un pic d'activité à la fin de mai, alors que le pic des femelles adultes apparaît plus tard, soit de la mi-juin à la fin de juillet. Dans les mares salines de compensation, la différence entre les groupes est moins marquée, mais la fréquentation maximale des femelles est malgré tout plus tardive que celle des mâles adultes et des juvéniles. De telles variations entre les individus ont été observées dans des mares salines naturelles au Québec (Couturier et Barrette 1988), en Ontario (Fraser et Hristienko 1981) et en Alaska (Tankersley et Gasaway 1983). Fraser *et al.* (1982) ont aussi observé que les mâles s'alimentaient davantage que les femelles sur la végétation aquatique en début de saison. Selon Couturier et Barrette (1988), ces différences interindividuelles pourraient être associées à la mue (les mâles adultes et les juvéniles muent avant les femelles adultes), la croissance chez les juvéniles, la lactation chez les femelles ou la

croissance des bois chez les mâles. La lactation, entre autres, augmenterait de façon très importante les besoins des femelles en termes de sodium. Pletscher (1987), par exemple, estime à 48 % les pertes de sodium dues à la lactation chez le cerf de Virginie. Dans nos sites, les premiers faons ont généralement été observés à la mi-juin (entre le 10 et le 19 juin, selon l'année), ce qui correspond précisément au début du pic de fréquentation des femelles adultes. Il apparaît aussi logique d'associer la moins grande présence des femelles adultes aux mares salines en début de saison à la mise bas, période durant laquelle elles cherchent souvent à s'isoler et la mobilité de leur faon est limitée (Bubenik 1998).

Le patron quotidien de fréquentation des mares salines au bord des routes par l'orignal était particulièrement différent entre les individus adultes et juvéniles. De façon générale, les adultes ont fréquenté les mares au bord des routes davantage durant la nuit alors que les juvéniles les ont fréquenté de façon équivalente durant toute la journée. Bien que nous ne pouvons pas le démontrer, nous croyons que les visites pourraient être plus fréquentes durant la nuit car le trafic, et donc le dérangement, est alors beaucoup plus faible (Dussault et al. 2004). À notre connaissance, il s'agit de la première fois qu'une telle différence concernant les patrons circadiens de fréquentation des mares salines entre les juvéniles et les adultes est observée. Couturier et Barrette (1988) n'ont pas observé de différences significatives entre les différents groupes d'âge et les périodes quotidiennes. Plusieurs études ont rapporté des patrons circadiens globaux, *i.e.* pour l'ensemble des individus réunis. Par exemple, Tankersley et Gasaway (1983) ont observé un pic de fréquentation à minuit, et un creux vers midi. De même, Risenhoover et Peterson (1986) et Silverberg *et al.* (2002) ont observé un pic de fréquentation vers 23h00. Wiles et Weeks, Jr. (1986) identifient le crépuscule, ainsi que la nuit, comme étant les périodes quotidiennes les plus propices aux visites pour le cerf de Virginie, avec un pic une à deux heures après le coucher du soleil, parfois suivi d'un autre pic trois à quatre heures après le coucher du soleil.

Dans la réserve faunique des Laurentides, les femelles adultes visitaient les mares salines au bord des routes plus souvent que les autres orignaux, et ils le faisaient principalement durant la nuit. Un suivi des accidents routiers durant l'été sur le même territoire entre 2003 et 2005 indique que les femelles adultes ont été impliqués dans 35 des 64 accidents où l'âge et le sexe de l'animal ont pu être identifiés (54,7 %, ce qui pourrait refléter leur proportion dans la population; M. Leblond, données non publiées). Parmi les 29 accidents impliquant une

femelle adulte ou un faon dont l'heure d'occurrence était connue, 20 (69,0 %) sont survenus durant la nuit, et seulement 2 (6,9 %) durant le jour.

4.3 Sexe et âge des individus aux mares salines

Au cours de l'étude, la majeure partie des visites dans les mares salines au bord des routes et de compensation a été faite par des juvéniles, bien que la proportion relative de chaque groupe de sexe et d'âge a varié entre les années. La proportion d'individus juvéniles observée aux mares salines correspond à peu près à la proportion de ceux-ci dans la population (St-Onge *et al.* 1995). La proportion relative des mâles et femelles adultes aux mares de compensation ou au bord des routes a varié d'une année à l'autre, tout comme on peut le retrouver dans la littérature. En effet, Miller et Litvaitis (1992) ont observé une plus grande utilisation des mares salines au bord des routes par les femelles que les mâles au New-Hampshire. Ils ont déterminé par télémétrie que ces dernières utilisaient ces habitats plus que leur disponibilité. Atwood et Weeks, Jr. (2002) ont observé un plus grand nombre de femelles adultes que de tout autre groupe de sexe et d'âge dans les mares salines naturelles de l'Indiana. Weeks, Jr. (1978) avait observé, dans la même région, un nombre presque égal de visites entre les mâles et les femelles. Enfin, Risenhoover et Peterson (1986) ont observé sur l'Isle Royale un nombre élevé de visites par les femelles adultes. Toutefois, ils ont déterminé que la proportion de ces dernières dans les visites aux mares salines était comparable à leur proportion dans la population (41 %), alors que les mâles juvéniles étaient surreprésentés (27 %) et que les mâles adultes étaient sous-représentés (6 %). Tel que mentionné plus haut, il n'est pas probablement pas approprié d'utiliser une statistique globale couvrant l'ensemble de la période estivale puisque le patron de fréquentation saisonnier diffère entre les individus. Ceci pourrait expliquer, en partie du moins, les disparités entre les études.

Peu d'études ont indiqué la taille des groupes d'originaux aux mares salines. Filus (2002) rapporte que 5 % des observations réalisées dans des mares salines naturelles étaient composées de groupes, généralement familiaux (19 % dans notre étude). Selon Couturier et Barrette (1988), « les mares salines imposent une situation sociale extrême aux originaux autrement solitaires », alors que Panichev *et al.* (2002) croient que les mares salines sont un lieu de rencontre « sans doutes importants là où les populations d'originaux sont dispersées ». Le fait que les visites des originaux étaient souvent de très courte durée, et que plusieurs originaux se rendaient aux mares salines sans même consommer d'eau salée, suggèrent que les

mares salines pourraient constituer un lieu de rencontre et ainsi avoir un rôle social non négligeable. Bien que les groupes mixtes y étaient plutôt rares, nos observations ont été faites plusieurs semaines avant la période du rut.

4.4 Comportement des orignaux aux mares salines

La durée des visites aux mares salines était très variable mais généralement inférieure à 15 minutes. Tankersley et Gasaway (1983) ont mesuré une durée moyenne de 15-19 minutes en Alaska. Risenhoover et Peterson (1986) ont obtenu une moyenne de 33 minutes sur l'Isle Royale. Weeks, Jr. (1978) a observé une durée moyenne de 30 minutes chez les cerfs de Virginie. Enfin, Filus (2002) et Ayotte *et al.* (soumis) rapportent une étendue des valeurs, allant de 8 à 48 minutes chez les orignaux de Russie, et de 1 à 93 minutes chez les orignaux du Nouveau-Brunswick. Toutefois, nos résultats suggèrent que la moyenne ne soit pas la meilleure façon de présenter cette information puisque la distribution de fréquence de la durée des visites suivait une distribution de Poisson. Il s'avère donc difficile de comparer nos résultats avec ceux obtenus ailleurs. La durée médiane des visites, une mesure plus adéquate, était de 6 minutes au bord des routes avant empierrement, de 4 minutes après empierrement et de 5 minutes dans les mares salines de compensation.

Une forte proportion (44 %) des orignaux qui ont visité les mares salines au cours de notre étude n'a pas bu l'eau des mares. De plus, les orignaux qui buvaient consacraient environ 30 % de leur temps à boire, le reste du temps étant occupé par les déplacements, l'alimentation ou le comportement d'alerte. Ces résultats appuient Couturier et Barrette (1988) qui rapportent une proportion de temps consacré à boire de 21 % dans les mares salines minérales de Matane. Les autres résultats disponibles dans la littérature ne mettent pas en relation le temps à boire et le temps visible, et ne rapportent que des temps moyens : 12 minutes en Alaska (Tankersley et Gasaway 1983), 4 à 9 minutes sur l'Isle Royale (Risenhoover et Peterson 1986), moins de 30 minutes en Colombie-Britannique (Ayotte *et al.* soumis).

Quelques études rapportent le comportement de groupes d'orignaux aux mares salines (Fraser et Hristienko 1981, Couturier et Barrette 1988, Filus 2002). Par exemple, Couturier et Barrette (1988) ont décrit les relations dyadiques observées dans des mares salines minérales. Ils y ont observé plusieurs comportements agressifs, principalement entre adultes et juvéniles. Ce type

de comportement a été observé très rarement dans notre étude. Dans un seul cas au cours des trois étés, une femelle adulte a chassé un mâle juvénile en tentant de le frapper avec ses pattes avant. Par contre, deux mâles adultes ont été observés simultanément en train de boire à chaque extrémité d'une mare saline de compensation. La surface d'eau salée dans les mares salines artificielles au bord des routes et de compensation était probablement plus grande que dans les mares salines naturelles pour lesquelles la source d'eau minérale coule souvent dans une petite anfractuosité dans le sol. Les mares salines d'origine minérale ont une source d'où coule une eau salée beaucoup plus concentrée que celle présente dans le reste de la mare, et où les orignaux se rendent exactement pour boire (Couturier et Barrette 1988, Filus 2002). Ils doivent donc à l'occasion défendre cette ressource.

Peu d'études ont évalué l'effet du trafic routier sur le comportement des ongulés. Seuls MacArthur *et al.* (1982) se sont intéressés à cette question sur les chèvres de montagne. Ils ont observé que les chèvres se sauvaient au passage des voitures dans 0,9 % des occasions et que le dérangement maximal était observé à partir d'un trafic de 25-30 véhicules / heure. Cette proportion est beaucoup plus faible que celle observée dans notre étude puisque 28 % des orignaux se sont sauvés au passage d'un véhicule. Notre étude a aussi mis en évidence l'importance du couvert latéral entre les animaux et la route sur le dérangement des orignaux. En effet, les orignaux fréquentaient moins souvent et moins longtemps les sites avec peu d'obstruction visuelle vers la route.

4.5 Fr quention des mares salines par l'orignal en fonction de variables environnementales, physiques et chimiques

La conductivité, ou la teneur en sels dissous, sont des variables souvent associées à la fr quention des mares salines par les cervidés. Hebert et Cowan (1971), Tankersley et Gasaway (1983), Couturier et Barrette (1988) et Panichev *et al.* (2002) ont tous observé que les mares salines les plus salées étaient aussi les plus fréquentées. Moe (1993) a même obtenu une relation significative positive entre ces deux variables alors que Risenhoover et Peterson (1986) ainsi que Atwood et Weeks, Jr. (2002) n'ont pas observé une telle relation. Contrairement à nos attentes, la relation entre la conductivité et la fr quention des mares salines au bord des routes était plutôt inverse dans notre étude. Nos résultats suggèrent donc que la conductivité n'est pas la principale variable déterminant la fr quention d'un site et

que d'autres caractéristiques sont plus importantes. En effet, les concentrations de sodium sont très élevées partout dans les mares salines de la réserve faunique des Laurentides, ce qui signifie que les orignaux peuvent obtenir cet élément pratiquement partout. L'obstruction visuelle latérale procurée par la végétation en direction de la route a eu une plus grande influence dans ce contexte. Les orignaux ont préféré ne pas fréquenter les mares salines les plus concentrées en sels, puisque ces dernières étaient trop visibles de la route. Les orignaux feraient donc un compromis entre leur sécurité et l'acquisition de sodium.

Les deux mares salines les plus salées (conductivité moyenne de 6,0 à 6,5 mS) avaient une obstruction visuelle latérale de 0-20 %, et elles ont été très peu fréquentées par l'orignal. Par contre, les mares salines au bord des routes ayant l'obstruction visuelle la plus élevée (80-100 %) étaient très fréquentées et avaient une conductivité de 1,5 à 3,0 mS. Une autre information qui suppose que la relation entre la conductivité et l'attrait d'une mare saline pour l'orignal n'existe pas est que la fréquentation n'était pas corrélée à la conductivité dans les mares salines de compensation, un endroit où le dérangement est minimal (*e.g.* pas d'automobiles). Enfin, l'influence du recouvrement en eau, de la profondeur d'eau et de la surface des mares salines sur la fréquentation durant une année supporte l'hypothèse selon laquelle les orignaux visitent les mares salines au bord des routes pour y boire de l'eau riche en sodium.

4.6 Évaluation de l'empierrement comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal et implications pour la gestion

L'effet le plus évident de l'aménagement des mares salines au bord des routes a été une réduction de la durée relative des visites de l'orignal durant le jour et la nuit. Les aménagements ont aussi réduit le nombre de visites durant la nuit (la fréquentation de nuit en 2005 était 10 % de celle recensée en 2004), qui est la période la plus critique pour les accidents routiers, mais pas durant le jour. Par contre, la destruction des mares salines au bord des routes n'a pas modifié le nombre de visites de l'orignal aux mares de compensation tel qu'attendu. Toutefois, la durée moyenne des visites et la proportion de temps consacrée à boire ont été plus élevées en 2005 qu'en 2003 et 2004 dans ces mares.

L'empierrement a empêché les orignaux de s'abreuver d'eau riche en sodium. Toutefois, il est impossible d'évaluer comment cette modification du comportement de l'orignal devrait se

traduire sur le nombre d'accidents routiers, surtout seulement un an après leur réalisation. Évidemment, il est raisonnable de penser que les orignaux n'auront plus de raison de visiter les mares salines s'ils ne peuvent y obtenir d'eau riche en sodium. Toutefois, ce changement de comportement devrait s'opérer graduellement et pourrait prendre plus d'un an. Par contre, le risque d'accident pourrait demeurer relativement élevé si les orignaux contournent les aménagements et creusent le sol autour des roches pour y découvrir de nouvelles sources d'eau salée. En effet, nos résultats et ceux de Jolicoeur et Crête (1987, 1994) ont démontré que le drainage des mares ne diminuait pas leur salinité. Nous n'avons pas observé ce comportement dans les mares salines faisant partie du dispositif expérimental, mais nous l'avons observé à l'occasion dans d'autres sites. Les empierrements devraient donc être entretenus afin d'assurer leur durée de vie et leur efficacité à moyen ou long terme.

Le rôle des mares de compensation dans le plan de mitigation des accidents routiers n'a pas été démontré au cours de cette étude. Ces mares fournissent aux orignaux le sodium dont ils ont besoin dans un environnement plus sécuritaire que le bord des routes, mais elles ne semblent pas détourner de façon significative l'attention des orignaux vers elles. Ces mares sont utilisées par l'original, mais nous n'avons pas d'indication qu'elles sont utilisées par les mêmes individus que ceux qui fréquentent le bord des routes. Peut-être que ces mares seront de plus en plus utilisées avec le temps suite aux empierrements. Il n'a pas été possible de vérifier cela avec les résultats obtenus au cours de cette étude.

5.0 Conclusion

De façon générale, l'effet des aménagements des mares salines s'est surtout manifesté par une réduction de la durée des visites des orignaux aux mares salines. Le nombre de visite a diminué durant la nuit mais pas durant le jour. Ce résultat suggère que l'aménagement des mares pourrait réduire l'intérêt des orignaux envers celles-ci et ce peut-être même davantage au cours des étés subséquents. En effet, cette étude a mesuré l'effet des aménagements seulement un an après leur réalisation, mais on peut supposer que la fréquentation baisse davantage au cours des étés suivants. En effet, un original doit retourner à une saline au moins une fois pour constater qu'elle a été détruite. Néanmoins, nos résultats suggèrent que cette mesure de mitigation pourrait réduire le risque d'accident dans les régions où des mares salines artificielles sont à la source de la problématique d'accidents routiers avec l'original.

6.0 Recommandations

Nous avons clairement démontré un effet de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur la durée des visites des orignaux aux mares salines. Cependant, pour établir l'efficacité de cette méthode dans un contexte de réduction des accidents routiers, il serait nécessaire de poursuivre leur suivi, en parallèle avec un suivi des accidents routiers. Bien qu'il soit impossible d'établir une relation directe de cause à effet, il est intéressant de noter que le nombre annuel d'accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides est demeuré relativement constant depuis le début des travaux visant à éliminer les mares salines en 1997 (Poulin et Fortin 2005) et ce, malgré l'augmentation probable des densités suite à l'application de modalités de chasse plus restrictives. La fréquence des accidents routiers, bien qu'importante dans cette région, est localement très variable et il est impossible d'obtenir une réponse claire dans un délai aussi court qu'une étude telle que la nôtre. Pour augmenter la puissance des analyses et obtenir des réponses plus rapidement, il pourrait s'avérer nécessaire d'augmenter le nombre de mares salines suivies. Un suivi à long terme des mares salines permettrait de mieux connaître la durabilité des aménagements et leur efficacité à long terme sur l'occurrence des collisions.

Nos résultats indiquent aussi qu'une autre méthode d'intervention, alternative ou complémentaire, devrait être envisagée. Puisque la fréquentation des mares salines augmente lorsque l'obstruction visuelle latérale vers la route augmente, il pourrait être efficace de retirer la végétation entre les mares salines et la route afin d'augmenter le dérangement causé par les automobiles et les camions lourds. Cette mesure pourrait aussi permettre aux automobilistes de mieux voir les orignaux dans les mares salines, et de pouvoir les effrayer en klaxonnant afin de les dissuader de s'approcher davantage de la route. Cette mesure pourrait par exemple être utilisée aux endroits où l'empierrement des mares salines est difficile ou impossible.

Remerciements

Nous remercions M.-C. Bélair, M.-F. Gévry et M. Lavoie pour leur assistance sur le terrain. Nous remercions également A. Caron pour son aide avec les analyses statistiques, ainsi que L. Breton et C. Laurian pour leur participation à la capture des orignaux. Cette étude a été réalisée conjointement par le Ministère des Transports du Québec, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et l'Université du Québec à Rimouski. M. Leblond remercie le Fonds Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies pour leur financement.

Références

- Atwood, T. C. et H. P. Weeks, Jr. 2002. Sex- and age-specific patterns of mineral lick use by white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), *American Midland Naturalist* 148 : 289-296.
- Ayotte, J. B., K. L. Parker et M. P. Gilligham. Soumis. Use of natural licks by four ungulate species in northern British Columbia.
- Bashore, T. A., W. M. Tzilkowski et E. D. Bellis. 1985. Analysis of deer-vehicle collision sites in Pennsylvania. *Journal of Wildlife Management* 49 : 769-774.
- Bechtold, J.-P. 1996. Chemical characterization of natural mineral springs in northern British Columbia, Canada. *Wildlife Society Bulletin* 24 : 649-654
- Belant, J. L. 1995. Moose collisions with vehicles and trains in northeastern Minnesota. *Alces* 31 : 45-52.
- Bellis, E. D. et H. B. Graves. 1971. Deer mortality on a Pennsylvania interstate highway. *Journal of Wildlife Management* 35 : 232-237.
- Belovsky, G. E. et P. A. Jordan. 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *Journal of Mammalogy* 62 : 613-621.
- Botkin, D. B., P. A. Jordan, A. S. Dominsky, H. S. Lowendorf et G. E. Hutchinson. 1973. Sodium dynamics in a northern forest ecosystem. *Proceedings of Natural Academic Science* 70 : 2745-2748.
- Bubenik, A. B. 1998. Behavior. Pp. 173-222 *dans* Ecology and Management of the North American Moose. A. W. Franzmann and C. C Schwartz (éd.). Smithsonian Institution Press, Washington.

- Carbyn, L. N. 1975. Factors influencing activity patterns of ungulates at mineral licks. *Canadian Journal of Zoology* 53 : 378-383.
- Conover, M. R. 1997. Monetary and intangible valuation of deer in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 25 : 298-305.
- Conover, M. R., W. C. Pitt, K. K. Kesler, T. J. DuBow et D. A. Sanborn. 1995. Review of human injuries, illnesses, and economic losses caused by wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 23 : 407-414.
- Couturier, S. et C. Barrette. 1988. The behavior of moose at natural mineral springs in Québec. *Canadian Journal of Zoology* 66 : 522-528.
- Dickerson, L. M. 1939. The problem of wildlife destruction by automobile traffic. *Journal of Wildlife Management* 3 : 104-116.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. 2004. Répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, Québec, 47 p.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois, J.-P. Ouellet, L. Breton, J. Fortin et H. Jolicoeur. 2003. Projet de recherche sur l'évaluation de mesures de mitigation des accidents routiers impliquant des orignaux dans la réserve faunique des Laurentides : Rapport intérimaire sur l'évaluation de l'aménagement des mares salines et de la clôture électrique, et principaux résultats des autres travaux en cours en 2003 avec recommandations pour l'année 2004, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, 30 p.
- Dussault, C., R. Courtois, J. Huot et J.-P. Ouellet. 2001. The use of forest maps for the description of wildlife habitats : limits and recommandations. *Canadian Journal of Forest Research* 31 : 1227-1234.
- Evink, G.L. 2002. Interaction between roadways and wildlife ecology - A synthesis of highway practice. NCHRP Synthesis 305. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C. 78 p.
- Farrell, T. M., J. E. Sutton, D. E. Clark, W. R. Horner, K. I. Morris, K. S. Finison, G. E. Menchen et K. H. Cohn. 1996. Moose-motor vehicle collisions, an increasing hazard in northern New England. *Archives of Surgery* 131 : 377-381.
- Filus, I. A. 2002. Moose behavior at salt licks. *Alces Supplement* 2 : 49-51.
- Finder, R. A., J. L. Roseberry et A. Woolf. 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning* 44 : 77-85.
- Flook, D. R. 1959. Moose using water as a refuge from flies. *Journal of Mammalogy* 40 : 455.

- Fraser, D. 1979. Sighting of moose, deer, and bears on roads in northern Ontario. *Wildlife Society Bulletin* 7 : 181-184.
- Fraser, D., B. K. Thompson et D. Arthur. 1982. Aquatic feeding by moose : seasonal variation in relation to plant chemical composition and use of mineral licks. *Canadian Journal of Zoology* 60 : 3121-3126.
- Fraser, D. et E. Reardon. 1980. Attraction of wild ungulates to mineral-rich springs in central Canada. *Holarctic Ecology* 3 : 36-40.
- Fraser, D. et E. R. Thomas. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario : relation to highway salt. *Wildlife Society Bulletin* 10 : 261-265.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1981. Activity of moose and white-tailed deer at mineral springs. *Canadian Journal of Zoology* 59 : 1991-2000.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: a repugnant solution ? *Wildlife Society Bulletin* 10 : 266-270.
- Grenier, P. A. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. *Le Naturaliste Canadien* 101 : 737-754.
- Groot Bruinderink, G. W. T. A. et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10 : 1059-1067.
- Haugen, A. O. 1944. Highway mortality in southern Michigan. *Journal of Mammalogy* 25 : 177-184.
- Hebert, D. et I. McT. Cowan. 1971. Natural salt licks as a part of the ecology of the mountain goat. *Canadian Journal of Zoology* 49 : 605-610.
- Holl, S. A. et V. C. Bleich. 1987. Mineral lick use by mountain sheep in the San Gabriel Mountains, California. *Journal of Wildlife Management* 51 : 383-385.
- Hubbard, M. W., B. J. Danielson et R. A. Schmitz. 2000. Factors influencing the location of deer-vehicle accidents in Iowa. *Journal of Wildlife Management* 64 : 707-713.
- Jolicoeur, H. et M. Crête. 1987. Évaluation du drainage des mares saumâtres comme méthode pour réduire les accidents routiers impliquant des orignaux dans la réserve faunique des Laurentides, Québec, Ministère des Loisirs, de la Chasse et de la Pêche, Direction de la gestion des espèces et des habitats, 18 p.
- Jolicoeur, H. et M. Crête. 1994. Failure to reduce moose-vehicle accidents after a partial drainage of roadside salt pools in Québec. *Alces* 30 : 81-89.
- Jordan, P. A., D. B. Botkin, A. S. Dominski, H. S. Lowendorf et G. E. Belovsky. 1973. Sodium as a critical nutrient for the moose of Isle Royale. *Proceedings of the North American Moose Conference Workshop* 9 : 13-42.

- Joyce, T. L. et S. P. Mahoney. 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildlife Society Bulletin* 29 : 281-291.
- Laurian, C., J.-P. Ouellet, R. Courtois, C. Dussault, M. Poulin et L. Breton. 2006. Comportement des orignaux par rapport aux axes routiers dans la réserve faunique des Laurentides – Rapport préliminaire. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la Recherche sur la Faune. 36 pp.
- Lavsund, S. et F. Sandegren. 1991. Moose-vehicle relations in Sweden : a review. *Alces* 27 : 118-126.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin. 2006. Évaluation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides, Université du Québec à Rimouski, 46 pp.
- MacArthur, R. A., V. Geist et R. H. Johnston. 1982. Cardiac and behavioral responses of mountain sheep to human disturbance. *Journal of Wildlife Management* 46 : 351-358.
- Malo, J. E., F. Suárez et A. Díez. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models ? *Journal of Applied Ecology* 41 : 701-710.
- McCaffery, K. R. 1973. Road-kills show trends in Wisconsin deer populations. *Journal of Wildlife Management* 37 : 212-216.
- McClure, H. E. 1951. An analysis of animal victims on Nebraska's highways. *Journal of Wildlife Management* 15 : 410-420.
- Miller, B. K. et J. A. Litvaitis. 1992. Use of roadside salt licks by moose, *Alces alces*, in Northern New Hampshire. *Canadian Field-Naturalist* 106 : 112-117.
- Moe, S. R. 1993. Mineral content and wildlife use of soil licks in southwestern Nepal. *Canadian Journal of Zoology* 71 : 933-936.
- Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalité par des causes diverses). Société de la faune et des parcs, Direction du développement de la faune, 64 p.
- Mysterud, A. 2004. Temporal variation in the number of car-killed red deer *Cervus elaphus* in Norway. *Wildlife Biology* 10 : 203-211.
- Nielsen, C. K., R. G. Anderson et M. D. Grund. 2003. Landscape influences on deer-vehicle accident areas in an urban environment. *Journal of Wildlife Management* 67 : 46-51.
- Oosenbrug, S. M., E. W. Mercer et S. H. Ferguson. 1991. Moose-vehicle collisions in Newfoundland – management considerations for the 1990's. *Alces* 27 : 220-225.

- Panichev, A. M., O. Y. U. Zaumyslova et V. V. Aramilev. 2002. The importance of salt licks and other sources of sodium in the ecology of the Ussuri moose (*Alces alces cameloïdes*). *Alces Supplement 2* : 99-103.
- Pletscher, D. H. 1987. Nutrient budgets for white-tailed deer in New England with special reference to sodium. *Journal of Mammalogy* 68 : 330-336.
- Poulin, M. 1999. Les accidents de la circulation impliquant la grande faune sur le territoire de la Direction de Québec et à l'intérieur des limites de la réserve faunique des Laurentides, Bilan statistique 1990 à 1997, Ministère des Transports du Québec, Direction de Québec, Service des inventaires et du plan, 27 p. + annexes.
- Poulin, M. et J. Fortin. 2005. Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune dans la réserve faunique des Laurentides, 2000 à 2004. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'est, Service du soutien technique, 28 p.
- Puglisi, M. J., J. S. Lindzey et E. D. Bellis. 1974. Factors associated with highway mortality of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 38 : 799-807.
- Renecker, L. A. et R. J. Hudson. 1990. Behavioral and thermoregulatory responses of moose to high ambient temperatures and insect harassment in aspen-dominated forests. *Alces* 26 : 66-72.
- Risenhoover, K. L. et R. O. Peterson. 1986. Mineral licks as a sodium source for Isle Royale moose. *Oecologia* 71 : 121-126.
- Robbins, C. T. 1993. *Wildlife feeding and nutrition*, 2nd edition. Academic Press, San Diego, California.
- Romin, L. A. et J. A. Bissonette. 1996. Deer-vehicle collisions : status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin* 24 : 276- 283.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS®. Version 8.00. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Schultz, S. R. et M. K. Johnson. 1992. Use of artificial mineral licks by white-tailed deer in Louisiana. *Journal of Range Management* 45 : 546-548.
- Seiler, A. 2004. Trends and spatial pattern in ungulate-vehicle collisions in Sweden. *Wildlife Biology* 10 : 301-313.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42 : 371-382.
- Silverberg, J. K., P. J. Pekins et R. A. Robertson. 2002. Impacts of wildlife viewing on moose use of a roadside salt lick. *Alces* 38 : 205-211
- SPSS Inc. 2000. *Systat®*. Version 10.0. SPSS inc., Chicago, Illinois.

- St-Onge, S., R. Courtois, et D. Banville (éd.). 1995. Inventaires aériens de l'original dans les réserves fauniques du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune terrestre, No. Cat. : 95-3111-12, 109 p.
- Tankersley, N. G. et W. C. Gasaway. 1983. Mineral lick use by moose in Alaska. *Canadian Journal of Zoology* 61 : 2242-2249.
- Weeks, H. P., Jr. 1978. Characteristics of mineral licks and behavior of visiting white-tailed deer in southern Indiana. *American Midland Naturalist* 100 : 384-395.
- Weeks, H. P., Jr. et C. M. Kirkpatrick. 1976. Adaptations of white-tailed deer to naturally occurring sodium deficiencies. *Journal of Wildlife Management* 40 : 610-625.
- Wiles, G. J. et H. P. Weeks, Jr. 1986. Movements and use patterns of white-tailed deer visiting natural licks. *Journal of Wildlife Management* 50 : 487-496.

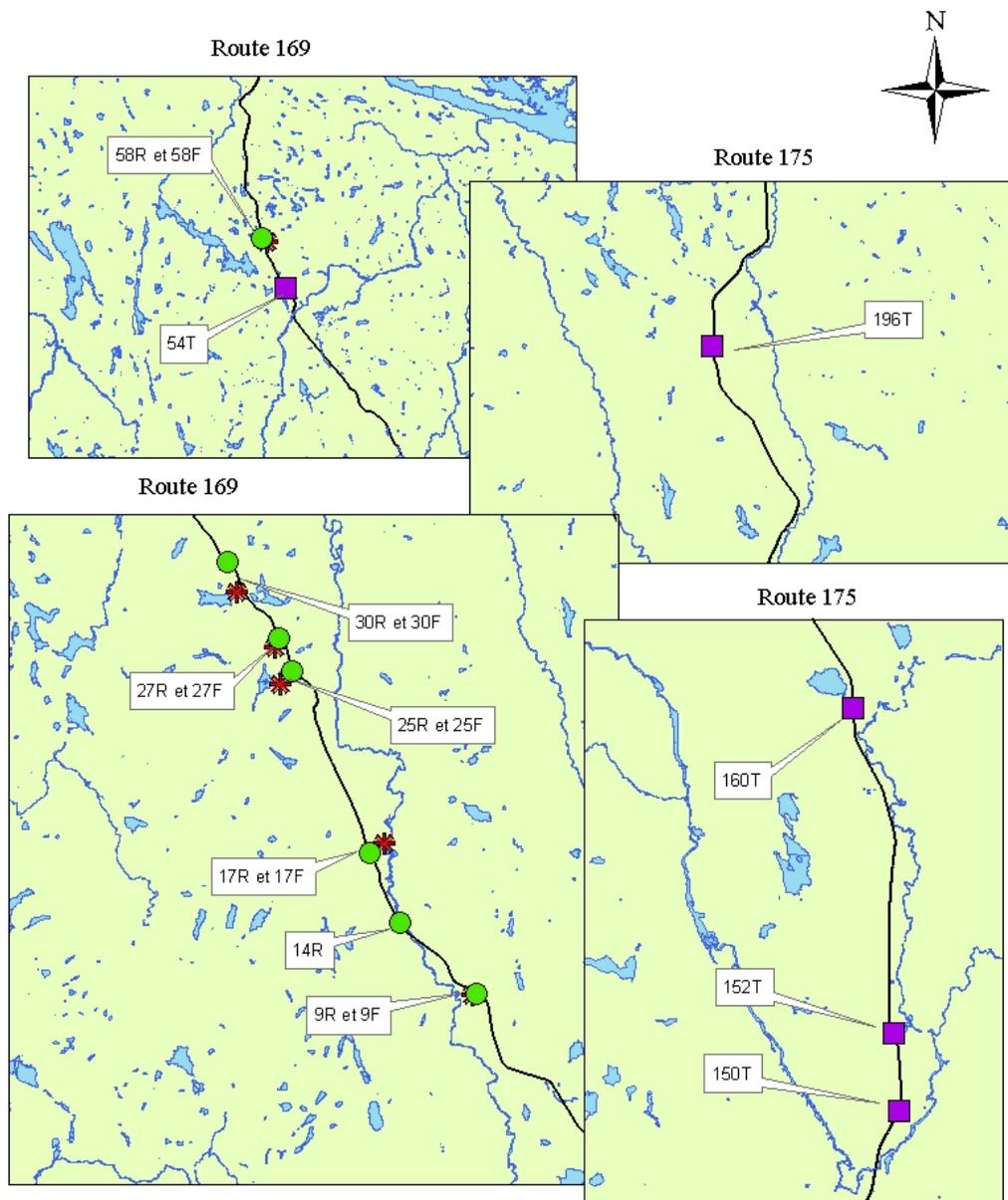


Figure 2. Localisation des mares salines au bord des routes, de compensation et témoins choisies pour l'étude.

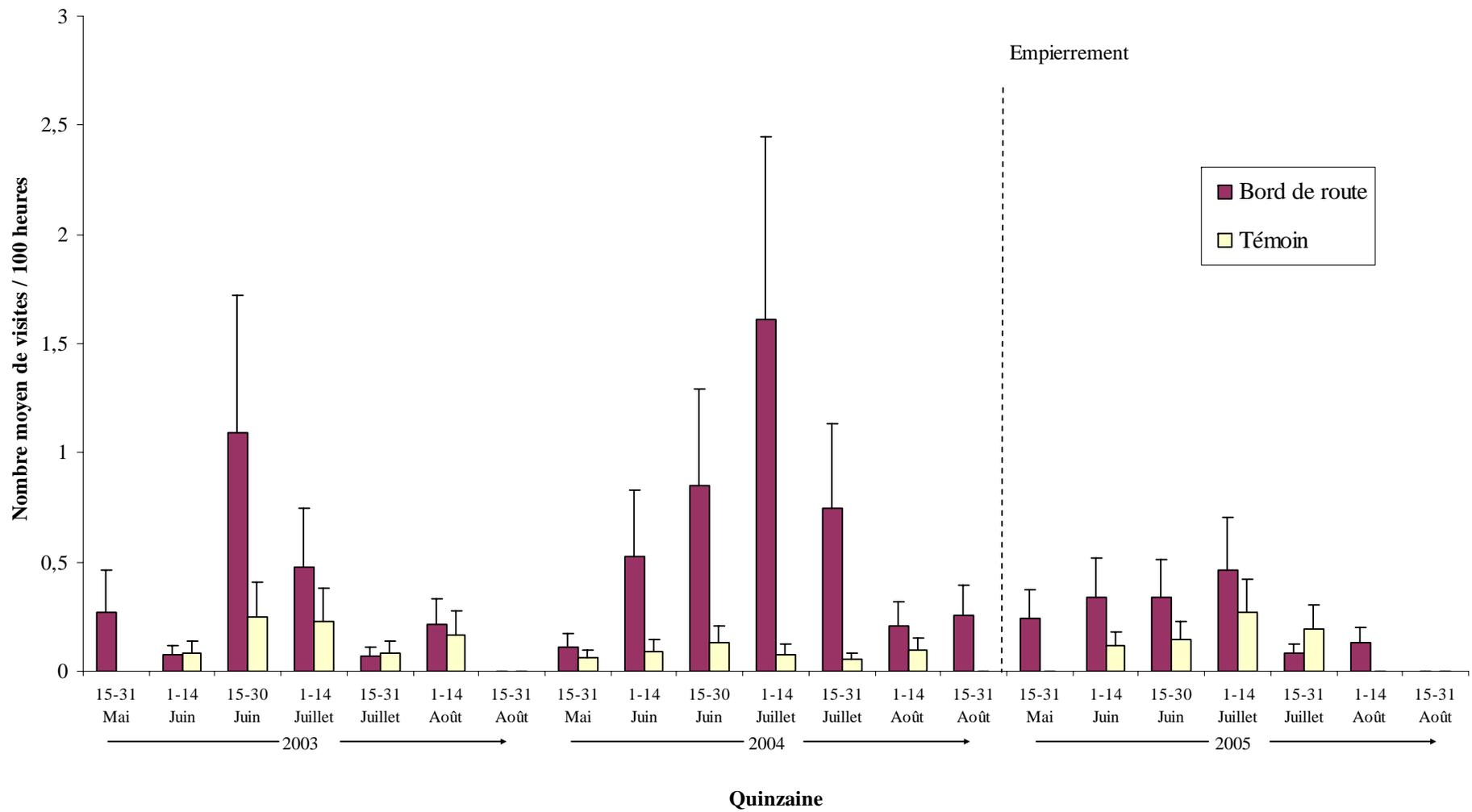


Figure 3. Nombre moyen de visites / 100 heures durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule) dans les mares salines au bord des routes et témoins, par quinzaine au cours des étés 2003 à 2005.

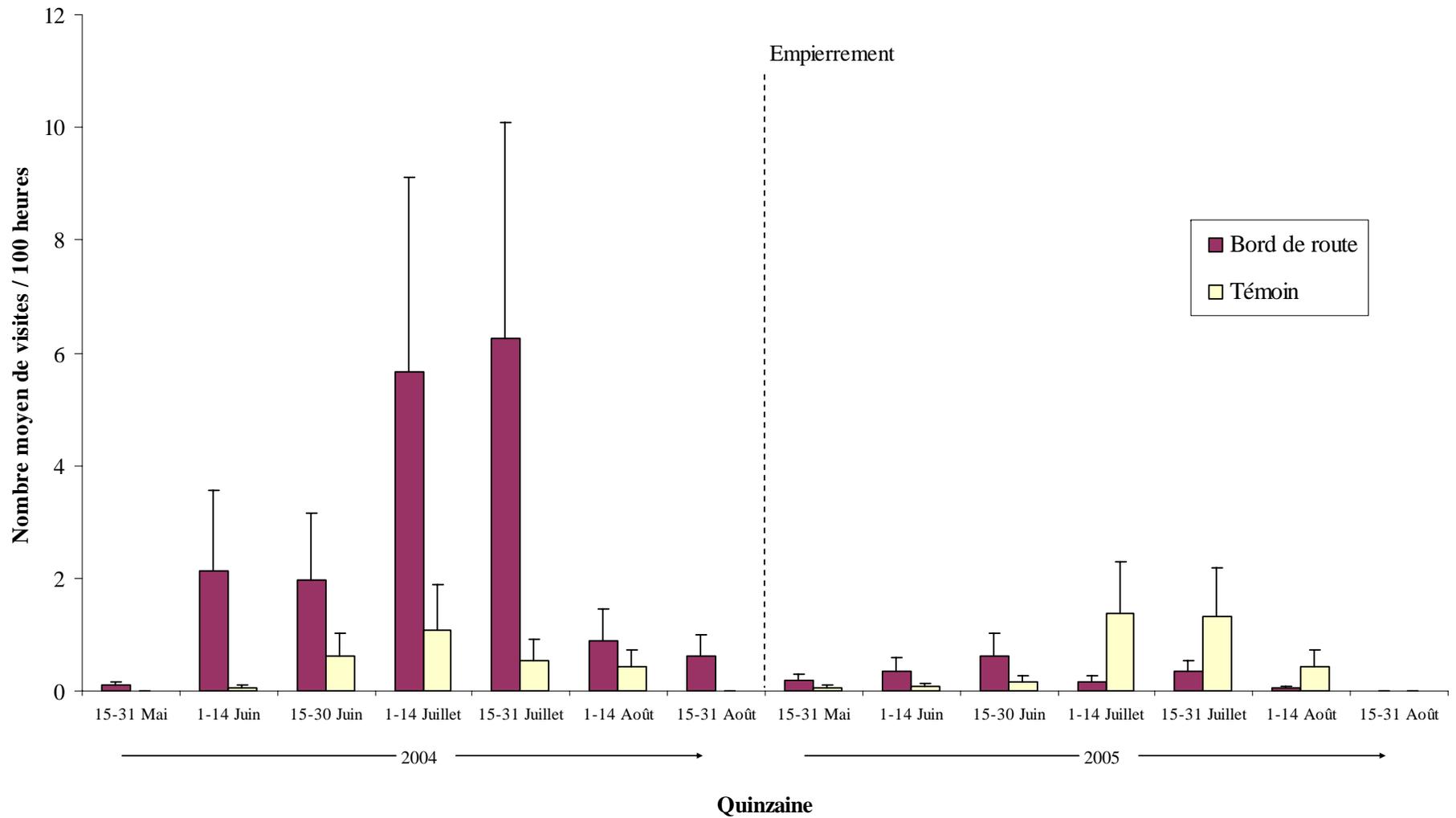


Figure 4. Nombre moyen de visites / 100 heures durant la nuit dans les mares salines au bord des routes et témoins, par quinzaine au cours des étés 2004 et 2005 seulement.

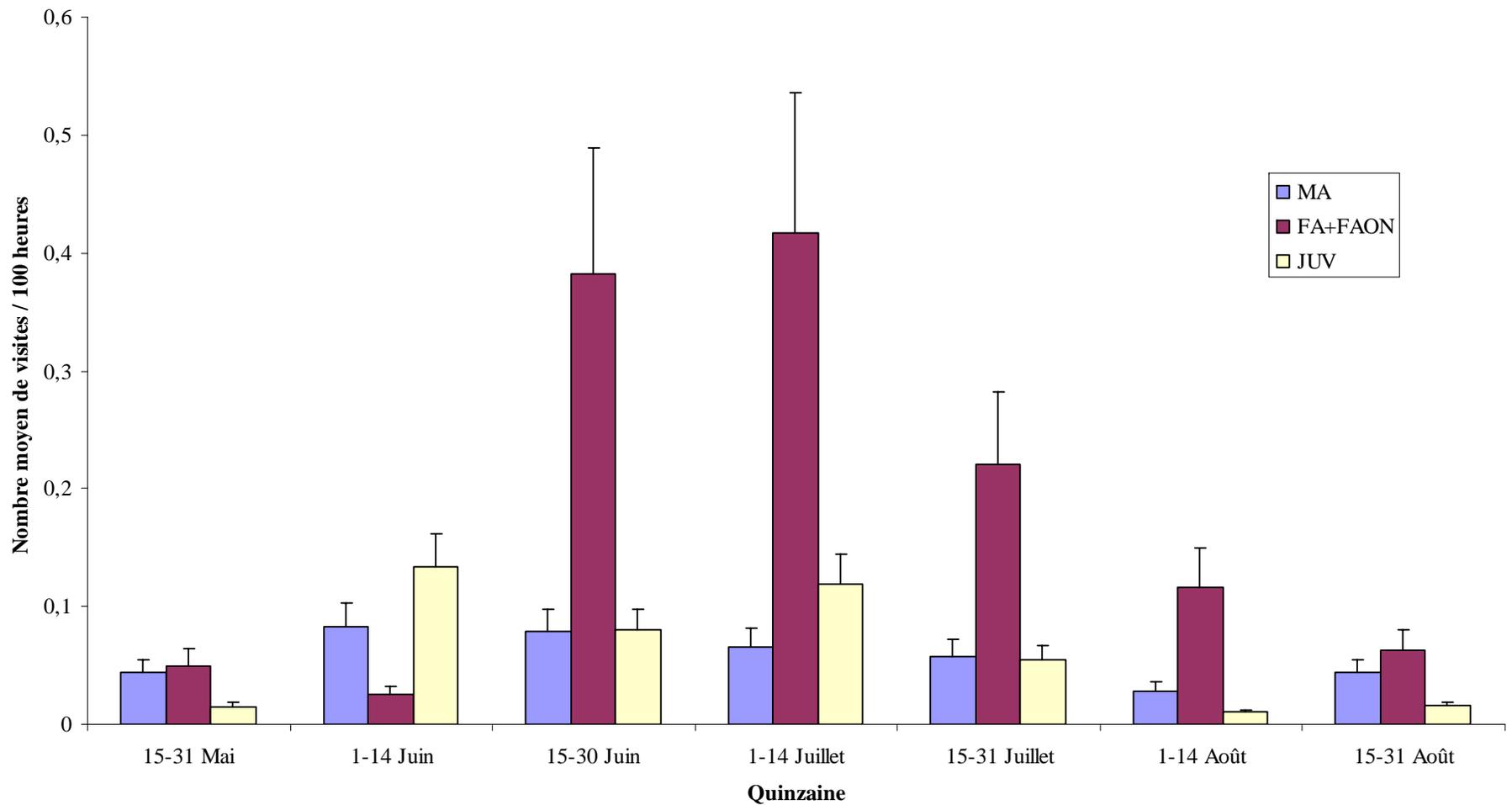


Figure 5. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes (incluant les mares témoins) par quinzaine pour l'année 2004 seulement (avant les aménagements). La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

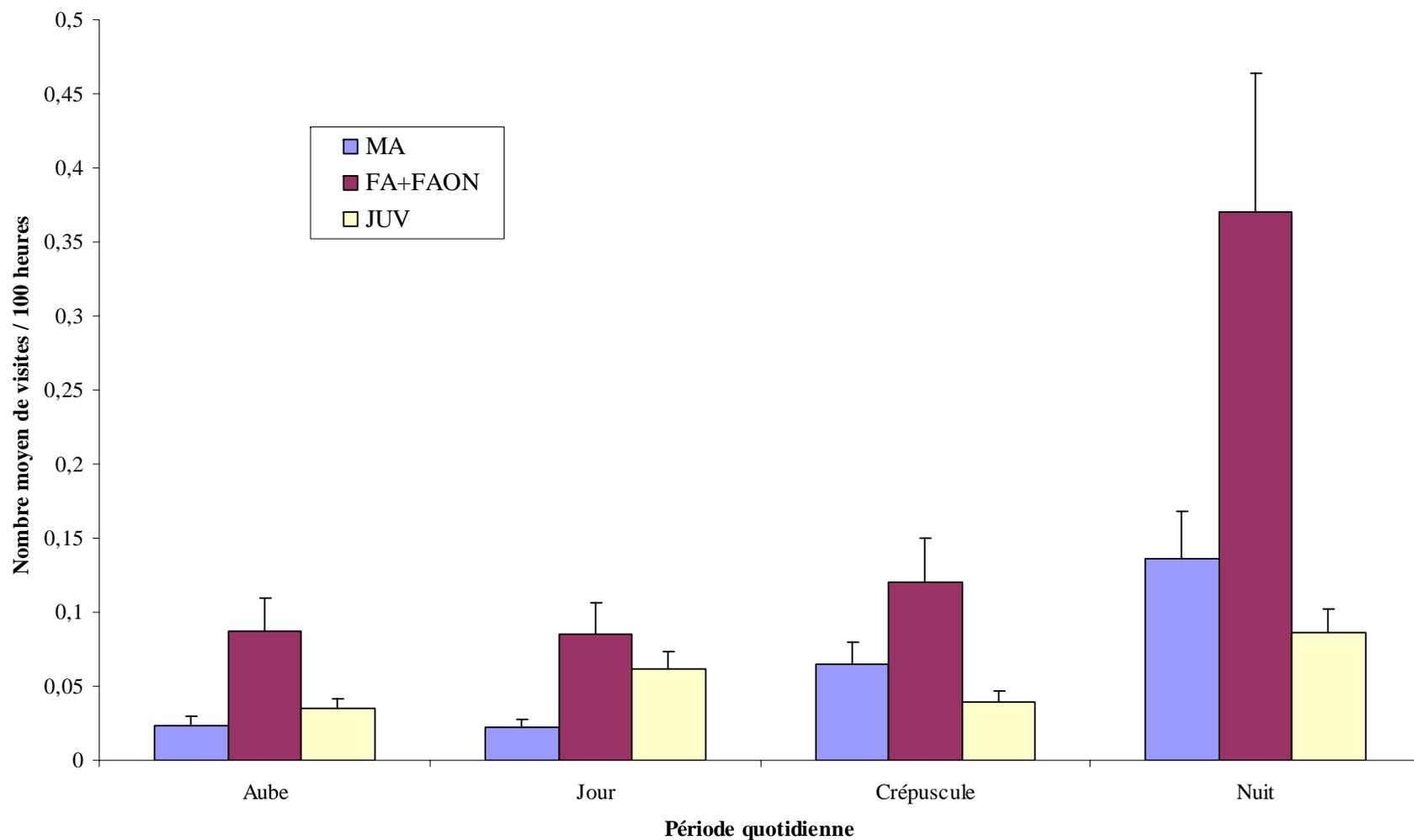


Figure 6. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes (incluant les mares témoins) par période quotidienne pour l'année 2004 seulement (avant les aménagements). La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

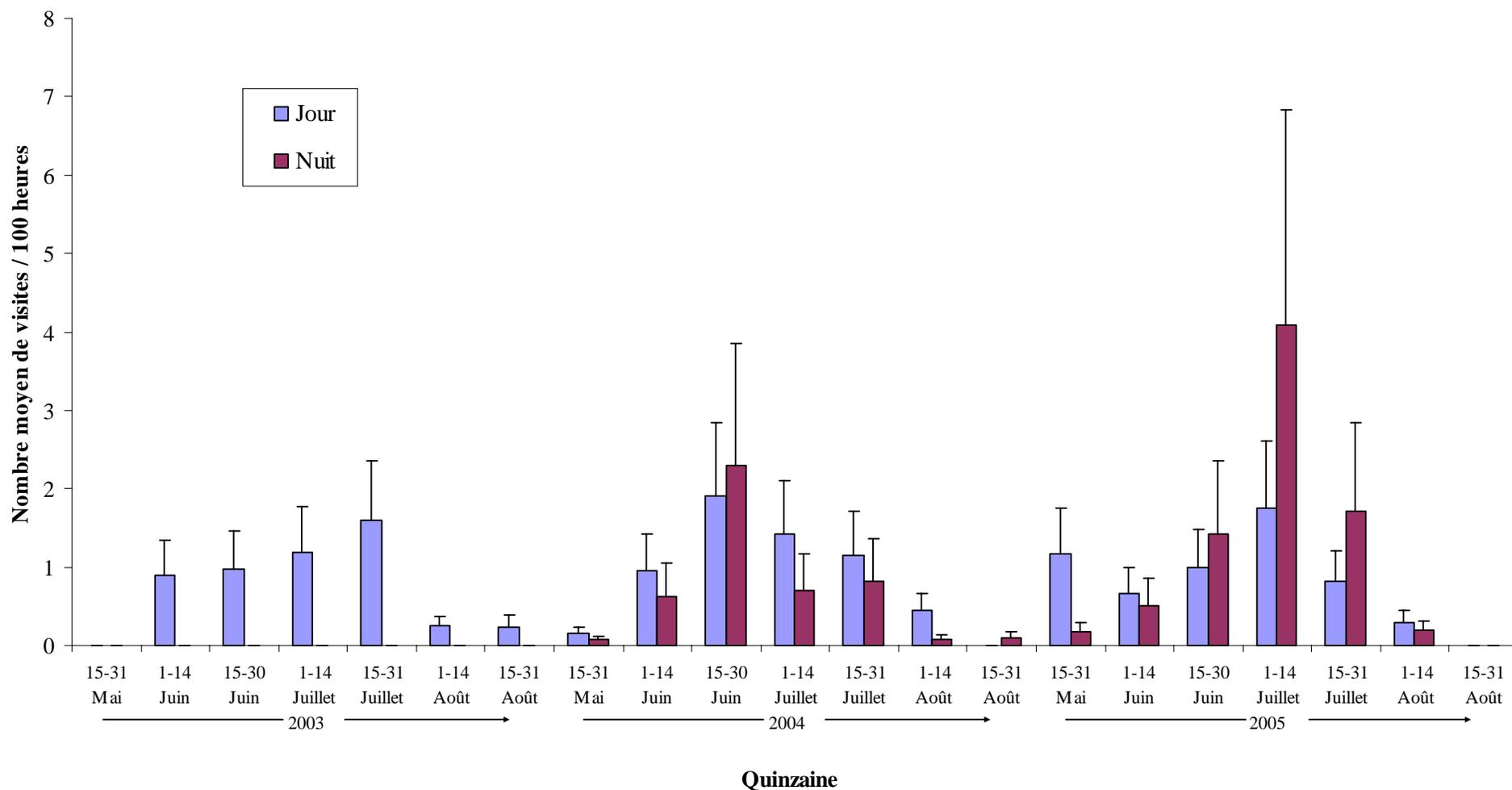


Figure 7. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines de compensation, par quinzaine durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule) de 2003 à 2005 et la nuit en 2004 et 2005 seulement.

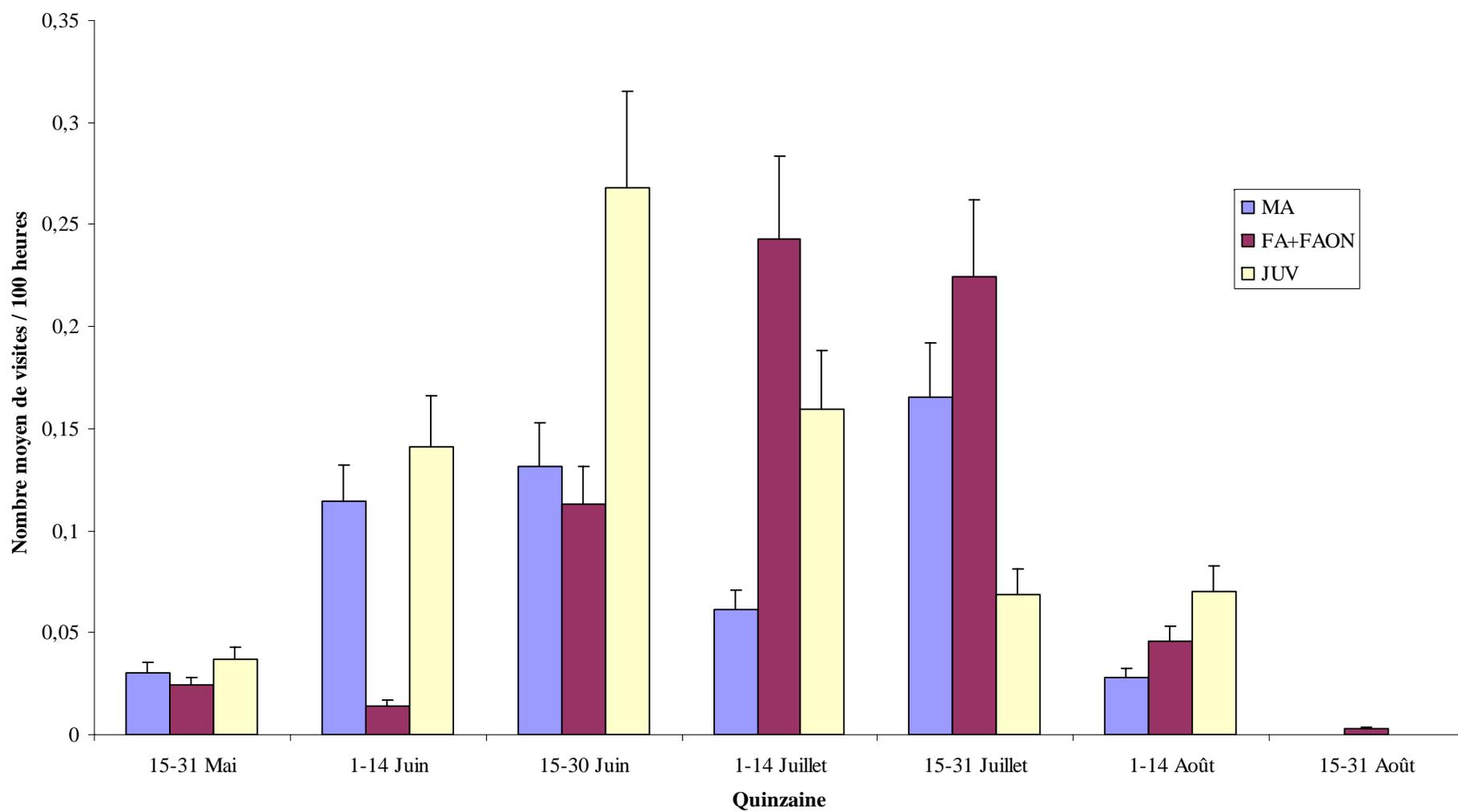


Figure 8. Nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares de compensation par quinzaine pour les années 2004 et 2005 seulement. La fréquentation a été évaluée séparément pour les mâles adultes (MA), les femelles adultes et les faons (FA+FAON) et les juvéniles (JUV).

Tableau 1. Concentration moyenne (ppm) de Na, Ca, K et Mg dans les mares de bord de route (incluant les témoins) et de compensation ainsi que dans des plans d'eau ne recevant pas d'apport de la route.

Type de mare	Concentration moyenne (ppm)			
	Na	Ca	K	Mg
Bord de route	890,0	78,1	6,7	3,0
Compensation	17 174,5	213,2	3,9	1,9
Plans d'eau témoins	29,2	5,5	2,0	< 1,0

Tableau 2. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2003. La trame gris foncé indique les sites où aucune donnée n'a été récoltée pour une période donnée et la trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période. La trame jaune indique les sites où il n'était pas possible de collecter des données durant la nuit dû à l'absence de lampe infrarouge.

Quinzaine	Mare saline																Total
	9		17		25		27		30		54	58		152	160	196	
	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Témoin	Route	Comp.	Témoin	Témoin	Témoin	
15 au 31 Mai	45	56	80	82	80	83	0	0	58	66	0	0	46	0	0	0	596
1 au 14 Juin	252	336	252	252	230	336	36	209	252	252	141	180	252	252	252	108	3592
15 au 30 Juin	288	384	289	288	326	225	70	288	217	251	234	288	288	384	384	384	4588
1 au 14 Juillet	252	336	211	252	300	300	165	252	228	228	336	252	252	336	336	336	4372
15 au 31 Juillet	306	408	153	61	408	408	306	306	268	306	320	306	306	408	408	408	5086
1 au 14 Août	252	336	31	136	336	282	296	93	252	134	336	217	192	336	336	336	3901
15 au 31 Août	65	87	64	64	84	85	64	0	63	0	84	0	0	84	84	106	934
Total	1460	1943	1080	1135	1764	1719	937	1148	1338	1237	1451	1243	1336	1800	1800	1678	23069

Tableau 3. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2004. La trame gris foncé indique les sites où aucune donnée n'a été récoltée pour une période donnée et la trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période.

	Mare saline																		Total
	9		14	17		25		27		30		54	58		150	152	160	196	
Quinzaine	Route	Comp.	Route	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Témoïn	Route	Comp.	Témoïn	Témoïn	Témoïn	Témoïn	
15 au 31 Mai	130	129	12	128	104	105	127	106	105	0	11	108	109	108	103	133	133	132	1783
1 au 14 Juin	336	336	192	336	336	276	336	276	336	0	336	336	336	336	336	336	336	336	5448
15 au 30 Juin	384	384	384	384	384	192	384	324	336	61	384	384	384	252	384	384	384	360	6133
1 au 14 Juillet	336	336	336	300	336	84	336	258	336	336	336	336	336	180	336	336	324	0	5178
15 au 31 Juillet	408	408	408	408	408	216	324	408	408	408	408	408	408	408	408	408	396	252	6900
1 au 14 Août	336	336	336	336	336	300	336	275	336	336	264	336	336	336	336	336	324	336	5867
15 au 31 Août	81	81	83	83	84	0	84	84	85	36	0	36	83	83	36	36	36	36	1047
Total	2011	2010	1751	1975	1988	1173	1927	1731	1942	1177	1739	1944	1992	1703	1939	1969	1933	1452	32356

Tableau 4. Nombre d'heures durant lesquelles le système Vigil-caméra ou le P-BOX étaient opérationnels par mare saline et par quinzaine à l'été 2005. La trame gris pâle indique les sites où les appareils n'ont pas été fonctionnels durant une partie de la période et la trame jaune indique les sites où il n'était pas possible de collecter des données durant la nuit dû à l'absence de lampe infrarouge. L'absence de données à la mare saline 25R au début de l'été s'explique par le fait que son aménagement a été réalisé le 21 juin 2005.

	Mare saline																		Total
	9		14	17		25		27		30		54	58		150	152	160	196	
Quinzaine	Route	Comp.	Route	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Route	Comp.	Témoïn	Route	Comp.	Témoïn	Témoïn	Témoïn	Témoïn	
15 au 31 Mai	228	326	299	321	325		322	299	321	345	346	322	321	350	303	295	303	344	5370
1 au 14 Juin	252	336	336	336	336		336	336	306	336	336	336	336	336	336	336	336	336	5598
15 au 30 Juin	288	384	384	384	384	216	384	384	251	384	384	384	384	294	384	384	340	384	6381
1 au 14 Juillet	252	336	336	336	336	336	336	336	296	336	336	336	336	153	336	336	320	336	5725
15 au 31 Juillet	306	408	408	408	389	408	408	408	408	408	408	408	334	380	408	408	408	408	7121
1 au 14 Août	252	336	336	336	280	336	336	336	336	336	336	336	252	336	336	336	336	336	5824
15 au 31 Août	28	38	11	37	57	58	58	14	36	12	34	13	9	35	10	10	11	39	510
Total	1606	2164	2110	2158	2107	1354	2180	2113	1954	2157	2180	2135	1972	1884	2113	2105	2054	2183	36529

Tableau 5. Résultats des ANOVAs testant l'effet de la quinzaine et de la période quotidienne sur le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines au bord des routes en 2004, pour les mâles adultes, les femelles adultes et leurs faons et les juvéniles. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Source	dl	Mâles adultes		Femelles adultes + faons		Juvéniles	
		F	p	F	p	F	p
Quinzaine	6	0,81	0,560	7,77	<0,001*	4,31	<0,001*
Période quotidienne	3	8,47	<0,001*	8,41	<0,001*	1,67	0,173
Quinzaine *Période quotidienne	18	0,85	0,642	1,34	0,160	0,89	0,591

Tableau 6. Durée moyenne des visites des originaux aux mares salines et proportion du temps consacré à boire, par année et par type de mare saline.

Année	Type de mare	n	Durée moyenne des visites (s)	Proportion du temps consacré à boire (%)
2003	Bord de route (6)	63	847	34
	Compensation (6)	84	568	24
	Témoin (4)	62	425	-
2004	Bord de route (7)	344	1051	33
	Compensation (6)	182	769	21
	Témoin (5)	61	408	-
2005	Aménagée (7)*	85	331	0
	Compensation (6)	194	1138	33
	Témoin (5)	55	369	-

* Données récoltées après les aménagements.

Tableau 7. Coefficients de corrélation (Pearson) entre le nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines et la proportion du temps consacré à boire par les orignaux en 2003 seulement, d'une part, et différentes caractéristiques de l'habitat autour des mares salines au bord des routes, d'autre part. Les données ont été récoltées dans les mares salines faisant partie du dispositif expérimental avant leur aménagement, ainsi que dans les mares témoins et des mares non fréquentées. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Variable d'habitat	Nombre moyen de visites / 100 heures			Temps consacré à boire		
	n	r	p	n	r	p
Aire	18	0,650	0,004*	18	0,168	0,505
Distance à la chaussée	18	0,397	0,103	18	0,032	0,899
Hauteur p/r à la chaussée	18	0,350	0,154	18	0,024	0,926
Obstruction visuelle vers la route	18	0,683	0,002*	18	0,615	0,007*
Obstruction visuelle vers la forêt	18	0,317	0,200	18	0,263	0,292
Indice d'obstruction à 50 m	18	0,686	0,002*	18	0,702	0,001*
% de recouvrement en eau	63	0,134	0,295	19	0,411	0,080
Profondeur d'eau	63	0,195	0,127	19	0,310	0,197
Conductivité	57	0,044	0,744	17	0,147	0,574

Tableau 8. Coefficients de corrélation (Pearson) entre le nombre moyen de visites / 100 heures dans les mares salines et la proportion du temps consacré à boire par les originaux en 2004 seulement, d'une part, et différentes caractéristiques de l'habitat autour des mares salines au bord des routes, d'autre part. Les données ont été récoltées dans les mares salines faisant partie du dispositif expérimental avant leur aménagement, ainsi que dans les mares témoins et des mares non fréquentées. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Variable d'habitat	Nombre moyen de visites / 100 heures			Temps consacré à boire		
	n	r	p	n	r	p
Aire	20	0,083	0,727	20	-0,102	0,667
Distance à la chaussée	20	0,151	0,525	20	-0,025	0,915
Hauteur p/r à la chaussée	20	0,264	0,260	20	0,005	0,985
Obstruction visuelle vers la route	20	0,607	0,005*	20	0,648	0,002*
Obstruction visuelle vers la forêt	20	0,470	0,037	20	0,233	0,322
Indice d'obstruction à 50 m	20	0,443	0,050*	20	0,450	0,047*
% de recouvrement en eau	69	0,265	0,028*	25	0,375	0,065
Profondeur d'eau	69	0,429	0,000*	25	0,130	0,535
Conductivité	68	-0,482	<0,001*	25	0,178	0,395

Tableau 9. Résultats des ANOVAs testant l'effet de l'aménagement sur les indices de fréquentation des mares salines au bord des routes durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule, de 2003 à 2005) et la nuit (en 2004 et 2005 seulement). La variable « type de mare » identifie les mares traitées et témoins. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Source	Jour					Nuit*				
	Nombre moyen de visites / 100 heures			Nombre d'original*heure / 100 heures		Nombre moyen de visites / 100 heures			Nombre d'original*heure / 100 heures	
	dl	F	p	F	p	dl	F	p	F	p
Année	2	1,27	0,308	5,92	0,011*	1	11,00	0,009*	9,90	0,012*
Quinzaine	6	4,07	0,002*	1,77	0,121	6	6,83	<0,001*	2,19	0,058
Type de mare	1	13,25	0,005*	24,59	<0,001*	1	7,13	0,026*	10,44	0,010*
Année*Quinzaine	12	0,52	0,897	1,44	0,158	6	0,89	0,504	2,92	0,015*
Année*Type de mare	2	2,55	0,109	6,23	0,009*	1	13,21	0,005*	15,40	0,004*
Quinzaine*Type de mare	6	0,37	0,896	0,72	0,639	6	1,19	0,328	1,27	0,286

* L'analyse de nuit a été réalisée en 2004 et 2005 seulement.

Tableau 10. Résultats des ANOVAs testant l'effet de la quinzaine et de la période quotidienne sur le nombre de visites / 100 heures dans les mares salines de compensation en 2004 et 2005 par les mâles adultes les femelles adultes et leurs faons et les juvéniles. Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Source	dl	Mâles adultes		Femelles adultes + faons		Juvéniles	
		F	p	F	p	F	p
Quinzaine	6	5,14	<0,001*	8,63	<0,001*	5,95	<0,001*
Période quotidienne	3	1,28	0,282	2,00	0,115	2,00	0,114
Quinzaine * Période quotidienne	18	1,19	0,269	1,19	0,272	0,48	0,965

Tableau 11. Résultats des ANOVAs testant l'effet de l'aménagement des mares salines au bord des routes sur les indices de fréquentation des mares salines de compensation durant le jour (incluant l'aube et le crépuscule, de 2003 à 2005) et la nuit (en 2004 et 2005 seulement). Les astérisques mettent en évidence les effets significatifs à $p < 0,05$.

Source	Jour					Nuit*					
	dl	Fréquentation moyenne / 100 heures de fonctionnement			Nombre d'original*heure / 100 heures de fonctionnement		dl	Fréquentation moyenne / 100 heures de fonctionnement			Nombre d'original*heure / 100 heures de fonctionnement
		<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>		<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	
Année	2	0,14	0,870	1,21	0,339	1	0,58	0,482	6,75	0,048*	
Quinzaine	6	8,51	<0,001*	5,10	0,001*	6	5,23	<0,001*	5,28	<0,001*	
Année*Quinzaine	12	1,49	0,158	1,80	0,072	6	0,70	0,648	1,60	0,184	

* L'analyse de nuit a été réalisée en 2004 et 2005 seulement.

ANNEXES

Annexe 1. Nombre moyen de visites / 100 heures (\pm SE), nombre moyen d'original*heure / 100 heures (\pm SE), ainsi que temps moyen (\pm SE) et maximal consacré à boire par les orignaux dans les mares salines au bord des routes, compensation et témoin de 2003 à 2005.

Année	Localisation	Type de mare	Nombre de visites	Nombre moyen de visites / 100 heures	Nombre moyen d'original*heure / 100 heures	Temps moyen consacré à boire (s)	Maximum de temps passé à boire (s)
2003	9	Route	5	0,383 \pm 0,189	0,023 \pm 0,013	7 \pm 7	35
	9	Compensation	6	0,381 \pm 0,158	0,042 \pm 0,019	27 \pm 20	125
	17	Route	9	0,628 \pm 0,297	0,158 \pm 0,112	74 \pm 38	308
	17	Compensation	11	0,893 \pm 0,333	0,202 \pm 0,088	172 \pm 110	1185
	25	Route	27	2,797 \pm 1,158	0,846 \pm 0,416	90 \pm 17	260
	25	Compensation	31	2,353 \pm 0,527	0,399 \pm 0,146	97 \pm 21	527
	27	Route	16	1,991 \pm 1,081	0,898 \pm 0,747	212 \pm 61	861
	27	Compensation	20	1,978 \pm 0,825	0,148 \pm 0,114	16 \pm 8	144
	30	Route	2	0,493 \pm 0,493	0,201 \pm 0,201	0 \pm 0	0
	30	Compensation	10	0,693 \pm 0,446	0,047 \pm 0,031	38 \pm 23	215
	54	Témoin	10	0,671 \pm 0,317	0,038 \pm 0,023		
	58	Route	4	0,393 \pm 0,241	0,025 \pm 0,024	0 \pm 0	0
	58	Compensation	6	0,394 \pm 0,199	0,139 \pm 0,115	0 \pm 0	0
	152	Témoin	3	0,134 \pm 0,060	0,006 \pm 0,003		
	160	Témoin	12	0,661 \pm 0,191	0,099 \pm 0,040		
	196	Témoin	37	2,006 \pm 0,863	0,231 \pm 0,077		

Année	Localisation	Type de mare	Nombre de visites	Nombre moyen de visites / 100 heures	Nombre moyen d'original*heure / 100 heures	Temps moyen consacré à boire (s)	Maximum de temps passé à boire (s)
2004	9	Route	12	0,525 ± 0,293	0,075 ± 0,057	39 ± 35	418
	9	Compensation	18	0,752 ± 0,224	0,083 ± 0,038	105 ± 43	453
	14	Route	39	2,680 ± 0,767	0,593 ± 0,174	176 ± 32	550
	17	Route	41	2,218 ± 0,718	0,645 ± 0,301	68 ± 18	329
	17	Compensation	18	0,743 ± 0,274	0,088 ± 0,047	27 ± 12	87
	25	Route	93	9,411 ± 1,630	2,074 ± 0,648	37 ± 17	176
	25	Compensation	60	2,964 ± 0,847	0,559 ± 0,297	38 ± 12	271
	27	Route	109	8,158 ± 1,522	2,944 ± 0,940	74 ± 18	372
	27	Compensation	58	3,035 ± 0,982	0,285 ± 0,150	47 ± 12	295
	30	Route	6	0,594 ± 0,302	0,020 ± 0,014		
	30	Compensation	7	0,357 ± 0,197	0,012 ± 0,006	4 ± 4	12
	54	Témoin	8	0,354 ± 0,153	0,022 ± 0,016		
	58	Route	44	2,652 ± 0,724	0,336 ± 0,121	0 ± 0	0
	58	Compensation	21	1,325 ± 0,643	0,422 ± 0,374	15 ± 7	45
	150	Témoin	6	0,239 ± 0,125	0,006 ± 0,005		
	152	Témoin	3	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000		
	160	Témoin	25	1,121 ± 0,346	0,116 ± 0,072		
	196	Témoin	19	0,215 ± 0,150	0,021 ± 0,018		

Année	Localisation	Type de mare	Nombre de visites	Nombre moyen de visites / 100 heures	Nombre moyen d'original*heure / 100 heures	Temps moyen consacré à boire (s)	Maximum de temps passé à boire (s)
2005	9	Route	3	0,156 ± 0,106	0,008 ± 0,005	0 ± 0	0
	9	Compensation	17	0,796 ± 0,414	0,105 ± 0,065	53 ± 33	300
	14	Route	12	0,646 ± 0,236	0,060 ± 0,023	0 ± 0	0
	17	Route	15	0,636 ± 0,229	0,035 ± 0,017	0 ± 0	0
	17	Compensation	48	2,199 ± 0,522	1,175 ± 0,402	175 ± 54	1637
	25	Route	15	1,144 ± 0,470	0,118 ± 0,066		
	25	Compensation	32	1,860 ± 0,652	0,652 ± 0,358	78 ± 19	334
	27	Route	31	1,416 ± 0,421	0,156 ± 0,064		
	27	Compensation	66	3,017 ± 0,775	0,720 ± 0,286	66 ± 14	317
	30	Route	1	0,041 ± 0,041	0,002 ± 0,002		
	30	Compensation	11	0,440 ± 0,124	0,036 ± 0,013	2 ± 2	15
	54	Témoin	10	0,412 ± 0,155	0,017 ± 0,006		
	58	Route	8	0,399 ± 0,202	0,012 ± 0,008	0 ± 0	0
	58	Compensation	20	1,068 ± 0,320	0,769 ± 0,440	17 ± 8	98
	150	Témoin	7	0,258 ± 0,220	0,011 ± 0,009		
	152	Témoin	6	0,198 ± 0,099	0,008 ± 0,004		
	160	Témoin	18	0,860 ± 0,509	0,098 ± 0,054		
	196	Témoin	14	0,415 ± 0,250	0,056 ± 0,029		