

Plan général d'aménagement intégré des ressources du milieu forestier de l'île d'Anticosti



présenté par
Produits forestiers Anticosti inc.
le 31 mars 2004

réalisé sous la direction
du
ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs
et
la Société de la faune et des parcs du Québec

en concertation
avec
la Municipalité de L'Île-d'Anticosti
Sépaq Anticosti
la Pourvoirie du lac Geneviève

Ministère des
Ressources naturelles,
de la Faune
et des Parcs

Québec



Société de la faune
et des parcs

Québec



Plan général d'aménagement intégré des ressources du milieu forestier de l'île d'Anticosti

Principal auteur :

Pierre Beaupré, ing.f., ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

Principaux coauteurs (par ordre alphabétique) :

Christian Bédard,	ing.f., Produits forestiers Anticosti inc.
Claude Dufour,	ing.f., Produits forestiers Anticosti inc.
André Gingras,	biol., Société de la faune et des parcs du Québec
Chantal Malenfant,	ing.f., Produits forestiers Anticosti inc.
François Potvin,	ing.f., biol., Ph. D., Société de la faune et des parcs du Québec

En concertation avec (par ordre alphabétique) :

Michel Fournier,	directeur, Sépaq Anticosti
Pierre Lapointe,	directeur général, Pourvoirie du lac Geneviève
Denis Malouin,	maire, Municipalité de L'Île-d'Anticosti
Gilles Ruest,	secrétaire-trésorier, Municipalité de L'Île-d'Anticosti

Sous la supervision de (par ordre alphabétique) :

Louis Aubry,	vice-président au développement et à l'aménagement de la faune, Société de la faune et des parcs du Québec
Richard Bélanger,	vice-président, Canfor
Marc Ledoux,	sous-ministre associé aux Forêts, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

Mise en forme et révision linguistique :

Denise Cayer, agente de secrétariat, Société de la faune et des parcs du Québec

Photo page couverture :

Jean-Pierre Tremblay, Chaire de recherche industrielle CRSNG-Produits forestiers Anticosti

Partie 4

Modélisation de la population de cerfs en fonction de l'évolution de l'habitat

- 1. Introduction**
- 2. Données d'inventaire aérien du cerf**
- 3. Données sur l'habitat du cerf**
- 4. Construction du modèle**
- 5. Validation et limites du modèle**
- 6. Densité de cerfs dans les blocs de coupe clôturés**

Conception et rédaction

François Potvin, ing.f., biol., Ph. D.
Société de la faune et des parcs du Québec

Table des matières

Partie 4 – Modélisation de la population de cerfs en fonction de l'évolution de l'habitat

LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
1. INTRODUCTION	1
2. DONNÉES D'INVENTAIRE AÉRIEN DU CERF	2
2.1 Secteurs inventoriés.....	2
2.2 Technique d'inventaire.....	3
2.3 Intégration des données au modèle.....	3
3. DONNÉES SUR L'HABITAT DU CERF	4
4. CONSTRUCTION DU MODÈLE	5
4.1 Unité d'analyse de l'information et calcul de la densité de cerfs.....	5
4.2 Définition et compilation des classes d'abri et de nourriture	6
4.3 Calcul de la relation densité-habitat	9
5. VALIDATION ET LIMITES DU MODÈLE.....	12
6. DENSITÉ DE CERFS DANS LES BLOCS DE COUPE CLÔTURÉS.....	15
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	21
ANNEXE 1. LISTE DES ATTRIBUTS CARTOGRAPHIQUES DES POLYGONES DE LA CARTE FORESTIÈRE	23

Liste des tableaux

Tableau 4-1.	Description des classes d’abri et de nourriture pour le modèle, définies à partir des attributs tirés du sondage terrestre et d’information complémentaire des strates regroupées de la carte forestière du troisième programme décennal.....	7
Tableau 4-2.	Coefficients de corrélation (Pearson) entre la densité de cerfs par unité de 4 km ² (n = 535) et la superficie occupée par les classes d’abri et de nourriture	10
Tableau 4-3.	Modèle retenu par la régression linéaire multiple pas-à-pas (<i>stepwise</i>) pour expliquer la relation entre la densité de cerfs et la superficie occupée par diverses classes ABRI-NOURRITURE dans 535 unités d’analyse de 4 km ²	11
Tableau 4-4.	Composition typique de blocs de coupe clôturés dans la sapinière et dans la pessière blanche, comme prévu par la stratégie générale d’aménagement.	15
Tableau 4-5.	Variation en superficie des classes ABRI-NOURRITURE dans des blocs de coupe clôturés en sapinière et en pessière blanche pour l’horizon 10 à 100 ans après coupe.	17

Liste des figures

Figure 4-1.	Superficies inventoriées pour le cerf sur l'île d'Anticosti au cours des hivers 1999, 2000 et 2002.....	2
Figure 4-2.	Grille de 2 km × 2 km appliquée à l'ensemble de l'île d'Anticosti pour élaborer le modèle densité-habitat et pour estimer la population de cerfs au cours de l'horizon 2000-2100.....	5
Figure 4-3.	Illustration des classes ABRI-NOURRITURE dans une unité d'analyse de 4 km ² utilisée par le modèle.	8
Figure 4-4.	Comparaison entre la densité de cerfs estimée par le modèle dans 16 blocs de 4 km ² du secteur de la pessière blanche jeune et celle mesurée par inventaire aérien dans les mêmes blocs en janvier 2002.....	12
Figure 4-5.	Densité de cerfs à l'île d'Anticosti en 2000, calculée selon le modèle.....	14
Figure 4-6.	Blocs de coupe clôturés réalisés en 2002 et 2003 dans une sapinière surannée (lac du Sud, 29,4 km ²) et une pessière blanche (lac Calme, 7,5 km ²) sur l'île d'Anticosti.	16
Figure 4-7.	Densités de cerfs prédites par le modèle dans des blocs de coupe clôturés en sapinière et en pessière blanche.....	19

1. Introduction

La Partie 4 du plan d'aménagement décrit le modèle élaboré pour prévoir l'évolution à long terme de la population de cerfs de l'île d'Anticosti. En appliquant un tel modèle à la forêt projetée ([Partie 3](#)), on peut d'abord évaluer l'ampleur de la baisse de la population de cerfs qui surviendra si aucune intervention n'est faite sur l'habitat (scénario sans aménagement). En l'appliquant à la forêt modifiée par la stratégie générale d'aménagement prévue ([Partie 5](#)), on peut aussi calculer le niveau de population qui pourra être maintenu selon un scénario avec intervention.

Dans cette partie, nous examinons d'abord les données sur lesquelles le modèle s'appuie, de même que sa structure logique et ses limites. Nous expliquons ensuite comment nous l'avons appliqué à la stratégie d'aménagement faisant appel à des blocs de coupe clôturés. Initialement, quatre modèles différents ont été construits pour les cerfs d'Anticosti (Potvin, Beaupré et Dussault 2004). Le modèle retenu ici est celui qui est apparu à la fois le plus réaliste et le mieux adapté à l'ensemble du territoire de l'île où s'appliquera la stratégie générale d'aménagement.

2. Données d'inventaire aérien du cerf

2.1 Secteurs inventoriés

Les données d'inventaire aérien utilisées pour élaborer notre modèle proviennent d'un vaste territoire de 2 446 km² couvrant la portion ouest de l'île (figure 4-1). Ce territoire contient la majorité de la superficie propice à l'aménagement de l'habitat du cerf par l'exploitation forestière au cours des prochaines années. Nous y distinguons cinq secteurs en nous inspirant des grandes zones forestières délimitées par Nadeau et Beaupré (1991). Le secteur de la pessière blanche à maturité contient surtout des peuplements d'épinette blanche de seconde venue de 70 ans et plus, alors que celui de la pessière blanche jeune est formé de peuplements ayant majoritairement entre 30 et 50 ans. Des sapinières surannées et des bosquets de sapin parsèment ces deux secteurs issus de coupe forestière. Le secteur de la pessière noire est occupé principalement par des peuplements purs d'épinette noire et des pessières noires à sapin. La sapinière ouest est un secteur hétérogène où, en plus des peuplements de sapin, on retrouve des coupes récentes (postérieures à 1995) et un important chablis survenu en 1996. Enfin, la sapinière centre-sud est un secteur plus homogène en composition forestière mais qui possède une structure morcelée façonnée par les épidémies d'insectes (arpenteuse, tordeuse).

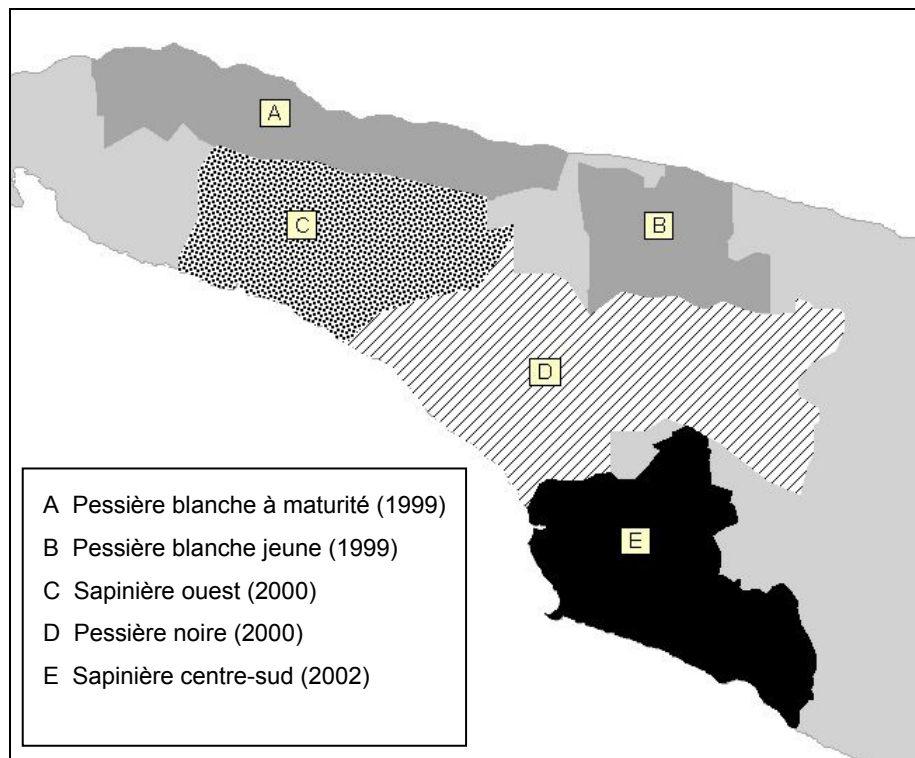


Figure 4-1. Superficies inventoriées pour le cerf sur l'île d'Anticosti au cours des hivers 1999, 2000 et 2002.

Afin d'élaborer un modèle représentatif de l'ensemble de l'île, il aurait été souhaitable d'avoir aussi des données provenant du centre et de l'est. Cependant, aucun inventaire aérien récent en période hivernale n'est disponible pour ces territoires. Les secteurs de l'épidémie d'arpenteuse de 1971-1972, du feu de 1955 et des vastes tourbières de l'est ont été survolés il y a plus de 15 ans (Potvin *et al.* 1991). La technique d'inventaire et les plans d'échantillonnage étaient alors différents, ce qui empêche de joindre ces données à celles des survols plus récents.

2.2 Technique d'inventaire

La densité de cerfs a été mesurée par la technique du double inventaire aérien, telle que décrite par Breton et Potvin (1997) et Potvin *et al.* (2002). Nous avons utilisé un hélicoptère Bell 206-L muni de fenêtres panoramiques à l'arrière et de tiges-repères pour délimiter l'angle maximum d'observation (45°) et fixer la largeur de la parcelle (60 m). Le pilote a maintenu une altitude de 60 m, grâce à un altimètre-radar, et une vitesse de 70 à 80 km/h à l'intérieur des parcelles. Un système GPS a été utilisé pour suivre un azimut constant le long des lignes de vol. Les lignes parallèles nord-sud étaient espacées de 0,25 min de longitude (environ 300 m) dans la pessière blanche à maturité et la pessière blanche jeune, de 0,5 min (environ 600 m) dans la pessière noire et la sapinière ouest et de 1,5 min (environ 1 900 m) dans la sapinière centre-sud. Les parcelles avaient une longueur de 3,5 km. Le navigateur a noté séparément, pour l'observateur avant et l'observateur arrière, chaque groupe de cerfs rapporté, de même que sa taille (1, 2, etc.) et son activité (arrêté ou en mouvement). Dans quatre secteurs, l'information a été inscrite directement sur la carte de vol (1:20 000), à la position où le groupe était aperçu. Dans la sapinière centre-sud, la localisation de chaque groupe a été enregistrée directement à l'aide d'un GPS. L'erreur de positionnement est estimée à ± 200 m pour les cerfs pointés sur la carte (Potvin et Gingras 2002) et à moins de 50 m pour ceux enregistrés avec le GPS. Les données d'inventaire ont été compilées avec le logiciel CERF (Breton et Potvin 1997). Ce logiciel calcule les taux de visibilité par observateur, les facteurs de correction selon la taille du groupe ainsi que les densités corrigées.

2.3 Intégration des données au modèle

Les données d'inventaire aérien des populations de cerfs ont été transférées dans un système d'information géographique géré avec le logiciel *ArcView* 3.2 et le module *Spatial Analyst* (ESRI 1996). Les 1 170 groupes de cerfs observés ont été enregistrés comme des points dans la base de données, avec le nombre de cerfs corrigé comme attribut. Pour obtenir le nombre corrigé, nous avons appliqué aux groupes de cerfs observés les facteurs de correction spécifiques à chaque taille de groupe, calculés par le logiciel CERF (Breton et Potvin 1997). Les positions de début et de fin de chaque parcelle d'inventaire aérien ont été entrées sous forme de points dans la base de données. Les parcelles ont ensuite été créées comme des lignes en reliant les points deux à deux avec l'extension GSF Outil (Groupe Système Forêt, Québec).

3. Données sur l'habitat du cerf

La carte forestière 1:20 000 du troisième programme décennal d'inventaire forestier a été utilisée pour définir l'habitat du cerf. Cette carte est obtenue en interprétant des photos aériennes pour identifier des polygones homogènes et décrire leurs attributs tels que le type de milieu (eau, tourbière et autre milieu dénudé, milieu forestier), le type écologique, la classe de drainage, la hauteur du peuplement, sa densité, sa classe d'âge et son groupement d'essences arborescentes (MRN 1995) ([annexe 1](#)). Dans le secteur de la pessière blanche jeune, deux attributs ont été ajoutés, soit la densité de la haute régénération en sapin (1-7 m de hauteur) et la présence du sapin comme essence compagne dans la strate arborescente des peuplements d'épinette blanche (5-25 % de la surface terrière) ([Partie 3](#)). La superficie minimale d'un polygone est normalement de 8 ha, mais elle est réduite à 4 ha s'il existe un contraste marqué avec les polygones voisins.

Pour toute l'île, la carte contient quelque 50 000 polygones forestiers et plus de 10 000 combinaisons d'attributs qui définissent autant de classes de polygones, appelées strates forestières ([Partie 3](#)). Dans la démarche pour calculer la possibilité forestière, ces entités ont été agglomérées en strates regroupées afin de procéder à un sondage terrestre et d'évaluer le volume de matière ligneuse, l'habitat du cerf et la visibilité de la forêt pour la chasse. Ainsi, 144 strates regroupées ont été définies. Le sondage terrestre, réalisé en 2000, a mesuré dans chaque strate regroupée de plus de 7 m de hauteur les attributs suivants nécessaires au calcul du volume ligneux : hauteur des arbres, diamètre, âge, etc.

À Anticosti, les arbres renversés apportent une contribution importante au régime alimentaire des cerfs en hiver. Ces arbres procurent deux sources de nourriture, soit des lichens arboricoles et, dans le cas de sapins ou de feuillus, des ramilles comestibles. Afin d'évaluer l'abondance de ces sources de nourriture, la quantité d'arbres susceptibles de tomber a été estimée pour chaque strate regroupée ([Partie 3](#)). L'estimation, qui a tenu compte du type écologique ainsi que de la hauteur, de la densité et de l'âge du peuplement, est basée sur l'examen comparatif des inventaires forestiers et des photographies aériennes des deuxième et troisième programmes décennaux.

Pour construire le modèle, la carte forestière de l'île a été importée dans la base de données en format vectoriel, avec l'ensemble des attributs cartographiques et le numéro de strate regroupée de chaque polygone. Une table relationnelle contenait les attributs du sondage terrestre et l'estimation des sapins renversés pour chaque strate regroupée. La carte vectorielle a été transformée en format matriciel (cellules de 10 m × 10 m) en utilisant le numéro de strate regroupée pour identifier chaque cellule. Le format matriciel est beaucoup plus efficace pour l'analyse spatiale et il n'y a pas d'erreur engendrée par une taille de cellule aussi réduite.

4. Construction du modèle

4.1 Unité d'analyse de l'information et calcul de la densité de cerfs

L'unité d'analyse du modèle est une fenêtre de 4 km². Une grille de 2 km × 2 km a été superposée sur l'ensemble de l'île, selon le système de coordonnées MTM, et l'information a été compilée séparément pour chaque unité (figure 4-2). Les unités incomplètes (< 4 km²), situées au pourtour de l'île, n'ont pas été retenues afin de simplifier les calculs.

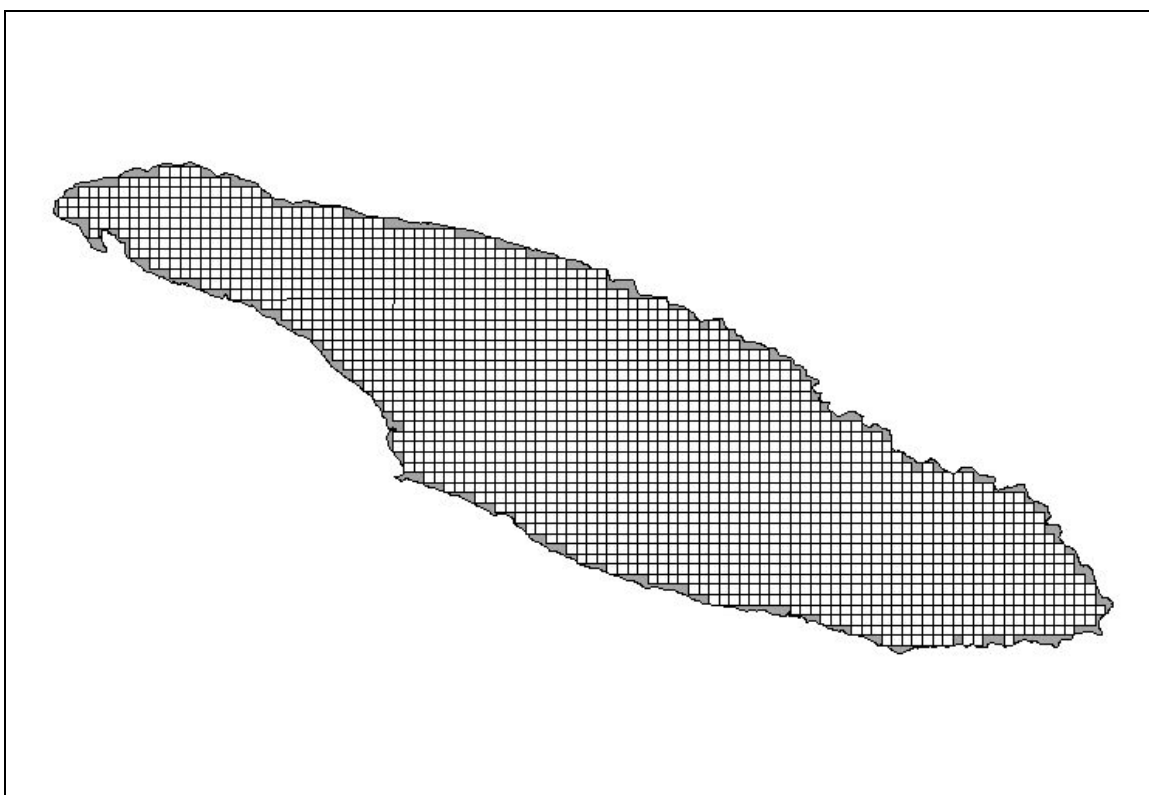


Figure 4-2. Grille de 2 km × 2 km appliquée à l'ensemble de l'île d'Anticosti pour élaborer le modèle densité-habitat et pour estimer la population de cerfs au cours de l'horizon 2000-2100. La grille est construite selon le système de coordonnées MTM (zone 5, NAD 83).

Le calcul de la densité par unité d'analyse a nécessité la compilation du nombre de cerfs corrigé (NCERFS_{*i*}) et de la superficie inventoriée dans chaque fenêtre *i*. La superficie inventoriée est fonction de la longueur des parcelles survolées par fenêtre (LONG_{*i*}) (km) et de la largeur observée (largeur fixe de 60 m). La densité par unité s'obtient comme suit :

$$\text{Cerfs/km}^2 = \frac{\text{NCERFS}_i \times 1000}{(\text{LONG}_i) \times 60}$$

Nous avons écarté de l'analyse les unités où la superficie inventoriée pour le cerf était très faible afin de diminuer la variabilité du modèle. Le seuil minimal de superficie inventoriée a été fixé à 7,8 ha (1,3 km × 60 m) par fenêtre de 2 km × 2 km, ce qui correspond à une ligne de vol qui traverse au moins les deux tiers de l'unité. Un seuil supérieur aurait entraîné l'élimination de la majorité des fenêtres du secteur de la sapinière centre-sud. Malgré qu'on lui ait appliqué un taux d'échantillonnage plus faible que les autres, il était primordial de conserver ce secteur dans l'analyse car il revêt une grande importance en termes de densité de cerfs (la plus haute en hiver) et de structure forestière (unique par l'agencement abri-nourriture résultant des épidémies d'insectes passées).

4.2 Définition et compilation des classes d'abri et de nourriture

Le modèle considère que la densité de cerfs en hiver dans chaque unité d'analyse est fonction de deux ressources : l'abri et la nourriture. La définition détaillée des classes d'abri et de nourriture pour le modèle est décrite au [tableau 4-1](#). L'abri est procuré principalement par le sapin et l'épinette blanche. La contribution de l'épinette noire à l'abri a été pondérée à la baisse par un facteur de 0,33. Le mélèze et les feuillus quant à eux ne procurent aucun abri. La classe détaillée de l'abri de chaque polygone forestier a d'abord été définie à partir de la hauteur dominante et de la surface terrière du sapin et de l'épinette. On a ensuite procédé à une reclassification binaire de l'abri (1 = présence, 0 = absence). La nourriture quant à elle provient de trois sources différentes : (1) le brout de la strate arbustive (présence de sapin dans la haute régénération [1-7 m]), (2) les cimes de sapin des peuplements d'abri, dont les branches basses sont accessibles en présence d'un couvert de neige dense et épais ou, plus fréquemment, qui procurent de la nourriture sous forme de « pluie » de ramilles et de lichens arboricoles, et enfin (3) les sapins renversés, dont les ramilles et les lichens sont fortement broutés. Ces trois sources ont été évaluées séparément par polygone puis regroupées selon trois classes d'abondance relative (2 = nourriture abondante, 1 = nourriture moyenne, 0 = nourriture nulle). En dernière étape, nous avons combiné abri et nourriture pour assigner chaque polygone à l'une des six classes suivantes :

ABRI-NOURRITURE 12 :	abri présent, nourriture abondante.
ABRI-NOURRITURE 11 :	abri présent, nourriture moyenne.
ABRI 10 :	abri présent, nourriture nulle.
NOURRITURE 02 :	abri absent, nourriture abondante.
NOURRITURE 01 :	abri absent, nourriture moyenne.
MILIEU 00 :	abri absent, nourriture nulle.

Tableau 4-1. Description des classes d'abri et de nourriture pour le modèle, définies à partir des attributs tirés du sondage terrestre et d'information complémentaire des strates regroupées de la carte forestière du troisième programme décennal.

Attribut	Code	Valeur	Définition ^a
Classe d'abri (détaillée)	CL_ABR	1	HDABRI < 5 m
		2	HDABRI = 5-10 m
		3	HDABRI = 10-13 m <u>et</u> STABRI > 28 m ² /ha
		4	HDABRI = 10-13 m <u>et</u> STABRI = 19-28 m ² /ha
		5	HDABRI = 10-13 m <u>et</u> STABRI = 5-19 m ² /ha
		6	HDABRI > 13 m <u>et</u> STABRI > 28 m ² /ha
		7	HDABRI > 13 m <u>et</u> STABRI = 19-28 m ² /ha
		8	HDABRI > 13 m <u>et</u> STABRI = 5-19 m ² /ha
Classe d'abri (binaire)	ABR	1	CL_ABR = 3, 4, 5, 6, 7, 8
		0	CL_ABR = 1, 2
Brout de sapin	BR_SAB	1	REG_SAB = A, B, C, D, E, F
		0	REG_SAB = 0
Cimes de sapin	DEN_SAB	2	SAB_VOL > 50 m ³ /ha
		1	SAB_VOL = 20-50 m ³ /ha
		0	Autre
Sapins renversés	REN_SAB	2	SAB_CHABLI > 1 m ² /ha par 5 ans
		1	SAB_CHABLI = 0.4-1 m ² /ha par 5 ans
		0	Autre
Nourriture	NOUR	2	BR_SAB = 1 <u>ou</u> REN_SAB = 2
		1	DEN_SAB = 1, 2 <u>ou</u> REN_SAB = 1
		0	Autre

^a Définition des attributs :

HDABRI : hauteur dominante de l'abri (sapin, épinette blanche, épinette noire [pondérée par 0,33]).

STABRI : surface terrière de l'abri (sapin, épinette blanche, épinette noire [pondérée par 0,33]).

REG_SAB : classe de densité de la haute régénération en sapin (cf. [annexe 1](#) pour les valeurs).

SAB_VOL : volume de sapin.

SAB_CHABLI : surface terrière des sapins renversés par 5 ans.

Note : La virgule correspond à un « ou ». Ainsi, CL_ABR = 3, 4 signifie CL_ABR = 3 ou CL_ABR = 4.

Une fois la classification complétée, nous avons effectué la compilation de la superficie occupée dans chaque unité par les diverses classes d’abri et de nourriture (figure 4-3). À cette fin, nous avons utilisé la fonction *Tabulate Areas* du logiciel *ArcView*. Un traitement particulier a été appliqué aux classes NOURRITURE 01 et NOURRITURE 02. Ces deux classes correspondent aux polygones dépourvus d’abri mais qui produisent de la nourriture, comme un milieu ouvert à la suite d’une épidémie où des sapins morts continuent de tomber ou encore une coupe régénérée en sapin. Au plan spatial, toute cette nourriture n’est pas nécessairement accessible au cerf en hiver, surtout si elle est située loin du couvert. Pour mesurer l’influence de la distance sur l’accessibilité à la nourriture, nous avons regroupé ces deux classes et compilé pour l’ensemble la superficie située à diverses distances d’un peuplement d’abri (0-20 m, 21-50 m, 51-100 m, > 100 m).

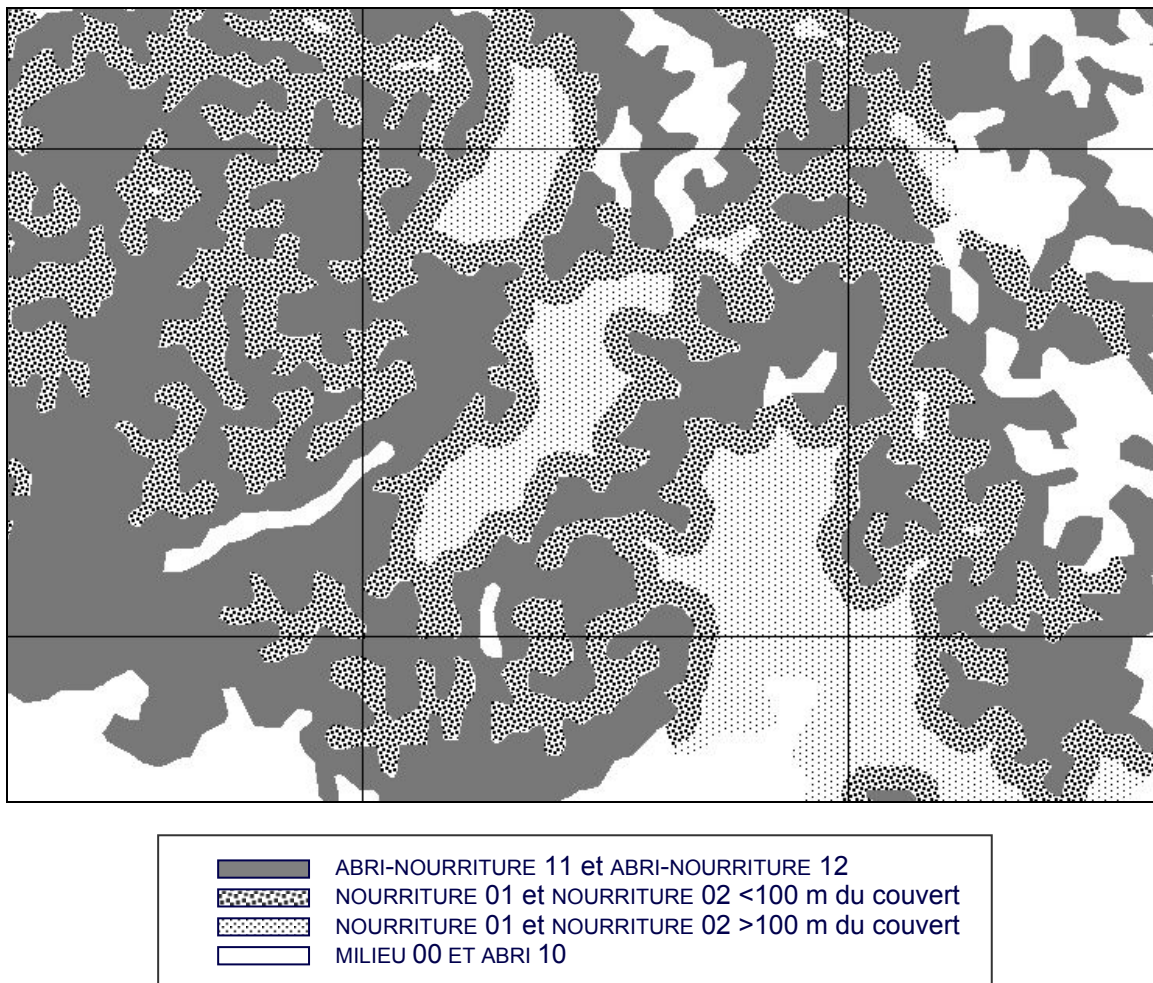


Figure 4-3. Illustration des classes ABRI-NOURRITURE dans une unité d’analyse de 4 km² utilisée par le modèle.

4.3 Calcul de la relation densité-habitat

Chaque unité de 4 km² contient une mosaïque de polygones ABRI-NOURRITURE. La première étape d'élaboration du modèle a consisté à examiner, à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, la relation entre la densité de cerfs et la superficie occupée par les variables d'abri et de nourriture, de même que celle des six classes ABRI-NOURRITURE. En raison du grand nombre d'unités d'analyse ($n = 535$), la superficie occupée par la plupart des classes d'abri et de nourriture montre une relation significative ($P < 0,05$) avec la densité de cerfs (tableau 4-2). Pour l'abri, le signe de la relation change selon la classe : la relation est négative quand la densité du couvert forestier est élevée ($r = -0,14$) ou sa hauteur faible ($r = -0,12$), mais positive quand la densité de l'abri est faible ($r = 0,11$) ou sa hauteur élevée ($r = 0,22$). Le premier groupe correspond aux pessières blanches, des peuplements d'abri où la nourriture est quasi nulle, et le second aux sapinières, particulièrement celles en décrépitude. Les trois attributs liés à la nourriture pour leur part ont tous un effet positif sur la densité, soit le brouet de sapin ($r = 0,17$), les cimes de sapin ($r = 0,20$) et les sapins renversés ($r = 0,25$). La classe ABRI-NOURRITURE 12 est celle qui influence le plus fortement la densité de cerfs ($r = 0,28$). Pour les deux classes de nourriture sans abri (01, 02), la relation avec la densité de cerfs est beaucoup plus forte pour la portion située à moins de 100 m du couvert ($r = 0,24$) que pour celle située plus loin ($r = 0,11$).

La seconde étape d'élaboration du modèle a été d'appliquer la régression linéaire multiple de type pas-à-pas (*stepwise*), avec la densité de cerfs comme variable dépendante et la superficie des diverses classes ABRI-NOURRITURE comme variables explicatives. Nous avons utilisé une régression passant par l'origine, jugeant qu'il était plus réaliste d'attribuer une densité de cerfs nulle à une unité dépourvue de tout habitat, c'est-à-dire où chacune des variables explicatives a la valeur 0. L'analyse des coefficients de corrélation ayant montré que la nourriture (classes 01 et 02 combinées) située à moins de 100 m du couvert avait une influence plus déterminante sur la densité du cerf, nous avons utilisé uniquement cette portion des deux classes combinées dans la régression multiple. Trois variables ont été sélectionnées par le modèle pour expliquer la densité de cerfs par unité d'analyse (tableau 4-3). Il s'agit de la superficie des peuplements d'ABRI-NOURRITURE 12, de celle des peuplements de NOURRITURE (01 et 02) situés à moins de 100 m du couvert et de celle des peuplements d'ABRI-NOURRITURE 11. Le coefficient R^2 du modèle est faible (36,5 %), traduisant la grande variabilité dans les données de densité de cerfs. Incidemment, la densité moyenne par unité de 2 km × 2 km est de 11,8 cerfs/km², avec une étendue entre 0 et 135 et un écart-type de 17,6 pour les 535 unités.

Tableau 4-2. Coefficients de corrélation (Pearson) entre la densité de cerfs par unité de 4 km² (n = 535) et la superficie occupée par les classes d'abri et de nourriture. Les coefficients significatifs (P < 0,05) sont en caractère gras.

Attribut	Classe ^a	Coefficient	P
Classe d'abri (détaillée)	CL_ABR = 3	-0,16	0,000
	CL_ABR = 4	-0,10	0,012
	CL_ABR = 5	0,09	0,021
	CL_ABR = 6	0,01	0,439
	CL_ABR = 7	0,24	0,000
	CL_ABR = 8	0,08	0,029
	CL_ABR = 3, 6 [$> 28 \text{ m}^2/\text{ha}$]	-0,14	0,001
	CL_ABR = 4, 7 [$19\text{-}28 \text{ m}^2/\text{ha}$]	0,06	0,095
	CL_ABR = 5, 8 [$5\text{-}19 \text{ m}^2/\text{ha}$]	0,11	0,007
	CL_ABR = 3, 4, 5 [$10\text{-}13 \text{ m}$]	-0,12	0,003
	CL_ABR = 6, 7, 8 [$> 13 \text{ m}$]	0,22	0,000
Brout de sapin	BR_SAB = 1	0,17	0,000
Cimes de sapin	DEN_SAB = 2	0,26	0,000
	DEN_SAB = 1	-0,04	0,184
	DEN_SAB = 1, 2	0,20	0,000
Sapins renversés	REN_SAB = 2	0,28	0,000
	REN_SAB = 1	0,11	0,005
	REN_SAB = 1, 2	0,25	0,000
Classe d'abri-nourriture	ABR_NOUR = 12	0,28	0,000
	ABR_NOUR = 11	0,03	0,267
	ABR_NOUR = 10	-0,25	0,000
	ABR_NOUR = 02	0,21	0,000
	ABR_NOUR = 01	0,12	0,002
	ABR_NOUR = 00	-0,08	0,036
	ABR_NOUR = 01, 02	0,23	0,000
	ABR_NOUR = 01, 02 0-20 m	0,25	0,000
	ABR_NOUR = 01, 02 20-50 m	0,25	0,000
	ABR_NOUR = 01, 02 50-100 m	0,24	0,000
	ABR_NOUR = 01, 02 $> 100 \text{ m}$	0,11	0,004

^a Définition des attributs : voir [tableau 4-1](#).

Note : La virgule correspond à un « ou ». Ainsi, CL_ABR = 3, 6 signifie CL_ABR = 3 ou CL_ABR = 6.

Tableau 4-3. Modèle retenu par la régression linéaire multiple pas-à-pas (*stepwise*) pour expliquer la relation entre la densité de cerfs et la superficie occupée par diverses classes ABRI-NOURRITURE dans 535 unités d'analyse de 4 km².

Équation ^a	<i>P</i>	<i>R</i> ²
CERFS_KM2 = 0,000		36,5 %
+ 0,0818 ABR_NOUR 12	0,000	
+ 0,2071 ABR_NOUR 01, 02 <100 m	0,000	
+ 0,0413 ABR_NOUR 11	0,000	

^a Variables du modèle :

CERFS_KM2 :	densité de cerfs dans l'unité (cerfs/km ²).
ABR_NOUR 12 :	superficie (ha) des peuplements de la classe ABRI-NOURRITURE 12 dans l'unité.
ABR_NOUR 11 :	superficie (ha) des peuplements de la classe ABRI-NOURRITURE 11 dans l'unité.
ABR_NOUR 01, 02 <100 m :	superficie (ha) des peuplements des classes NOURRITURE 01 et NOURRITURE 02 située à < 100 m d'un peuplement d'abri (classes 10, 11, 12) dans l'unité.

5. Validation et limites du modèle

Trois validations ont été réalisées pour vérifier le modèle. Une première a consisté à comparer la densité estimée par le modèle dans 16 blocs de 4 km² du secteur de la pessière blanche jeune à celle effectivement mesurée par inventaire aérien dans les mêmes blocs en janvier 2002 (figure 4-4). Même s'il a été construit à partir d'un autre ensemble de données, le modèle explique environ la moitié de la variabilité de la densité de cerfs ($r = 0,710$, $R^2 = 50,4\%$), ce qui est bon, mais il prédit une densité moyenne supérieure à celle de l'inventaire (16,6 cerfs/km² vs 13,2 cerfs/km²).

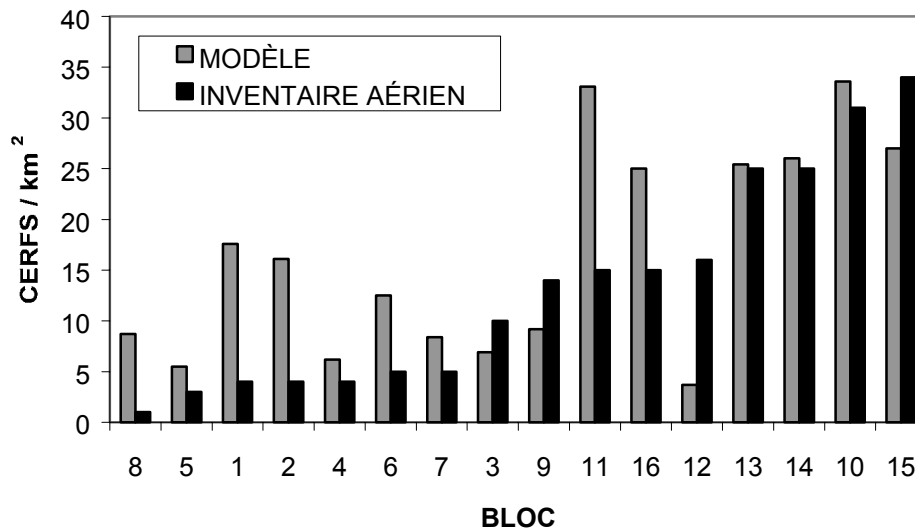


Figure 4-4. Comparaison entre la densité de cerfs estimée par le modèle dans 16 blocs de 4 km² du secteur de la pessière blanche jeune et celle mesurée par inventaire aérien dans les mêmes blocs en janvier 2002.

Une deuxième validation a consisté à calculer les densités que prédit le modèle pour des situations extrêmes, c'est-à-dire pour une unité de 4 km² qui serait occupée en totalité par une seule classe d'habitat. Pour une unité occupée uniquement par la classe ABRI-NOURRITURE 12, le modèle prédit une densité de l'ordre de 32 cerfs/km². Il s'agit d'une densité très plausible si l'on considère que la sapinière centre-sud, le milieu qui s'approche le plus d'une telle situation, a environ 40 cerfs/km² en hiver (Gingras *et al.* 1993). Dans le cas d'une unité formée uniquement de la classe ABRI-NOURRITURE 11, on obtient 16 cerfs/km². Il s'agit encore ici d'une densité plausible si on la compare à celle mesurée en hiver dans la zone de la sapinière ouest, un milieu comparable (Potvin et Gingras 2002). Pour les classes nourriture sans abri (NOURRITURE 01 et NOURRITURE 02), seule la portion située en deçà de 100 m du couvert entre dans le modèle. Dans une unité complètement boisée (aucun lac et aucune tourbière), une mosaïque optimale pourrait être formée de bandes d'abri de 100 m de largeur entrecoupées de bandes de nourriture de 200 m. Une telle unité contiendrait donc 33 % de sa superficie en classe ABRI-NOURRITURE 12 et 67 % en classes NOURRITURE 01 et NOURRITURE 02. Si l'abri est réduit à des parcelles de 100 m × 100 m équidistantes de 200 m dans une matrice de nourriture, ces proportions deviendraient 12,5 % et 87,5 %. Pour fins de calcul, nous avons utilisé une proportion de 25 % pour la classe 12 et de 75 % pour les classes 01 et 02. Selon un tel scénario, le modèle prédit 70 cerfs/km². Même si elles paraissent très élevées, de telles densités se rencontrent localement à Anticosti à l'échelle de blocs de 4 km².

Une dernière validation consiste à appliquer le modèle à l'ensemble de l'île pour apprécier si le résultat est plausible. L'année 2000 est celle de référence pour nos calculs car c'est celle où a eu lieu le sondage terrestre de l'inventaire forestier. La carte issue du modèle, malgré une résolution qui peut paraître grossière, illustre une distribution hivernale du cerf qui traduit assez bien l'état de nos connaissances (figure 4-5). Les zones de plus forte densité sont la sapinière centre-sud, de même que certaines portions de la pessière blanche où il y a présence de haute régénération en sapin ainsi que de la sapinière centre-nord. À l'inverse, la pessière noire et le feu de 1955 se voient attribuer les plus faibles valeurs. La densité dans l'est de l'île semble toutefois nettement sous-évaluée. À l'été 2001, Rochette *et al.* (2003) ont obtenu une densité plus élevée dans l'est de l'île que dans l'ouest et le centre, de sorte qu'on devrait s'attendre à une situation similaire pour l'hiver.

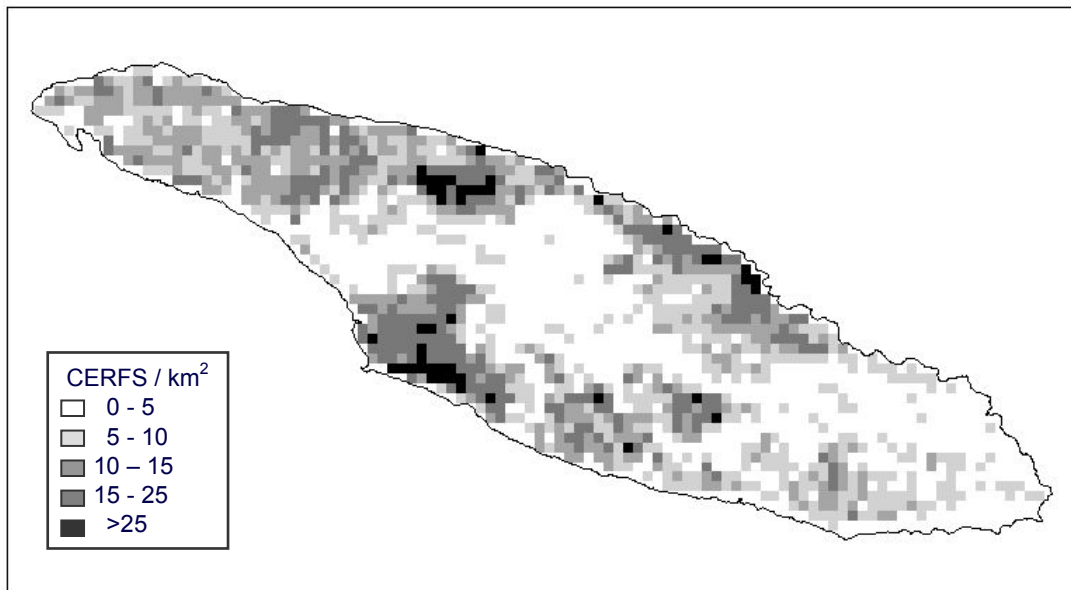


Figure 4-5. Densité de cerfs à l'île d'Anticosti en 2000, calculée selon le modèle.

Par définition, un modèle de simulation demeure une approximation de la réalité qu'il faut utiliser avec prudence. Notre modèle est conçu au départ comme un modèle spatialement explicite car la densité de cerfs est expliquée par une mosaïque d'habitats dans une unité d'analyse de 4 km². À cette échelle, les erreurs de positionnement des cerfs observés lors de l'inventaire aérien n'ont pas de conséquence. Le modèle est cependant biaisé à la baisse car nous n'avons pas retenu les unités incomplètes (superficie < 4 km²), soit celles situées au pourtour de l'île (figure 4-2). Plusieurs unités le long du littoral sud, où les densités de cerfs sont très élevées, n'ont pas été intégrées au modèle. Par ailleurs, aucune donnée d'inventaire aérien ne provient de l'est de l'île. Nous n'avons pas de statistiques précises sur l'enneigement dans ce secteur mais on considère que les hivers y sont généralement plus cléments. La relation densité-habitat risque d'être différente dans un tel contexte, si bien qu'il est hasardeux d'appliquer le modèle à l'extérieur du territoire où il a été construit. Idéalement, l'approche à recommander pour élaborer un modèle vraiment global serait de réaliser l'inventaire de plusieurs blocs répartis dans l'ensemble de l'île. Il faudrait aussi appliquer un taux d'échantillonnage élevé pour l'inventaire aérien afin d'estimer avec précision la densité de cerfs dans chaque unité d'analyse. Malgré ses limitations, nous considérons le présent modèle comme suffisamment fiable pour l'appliquer dans la moitié ouest de l'île au cours de l'horizon 2000-2100, selon un scénario sans aménagement, et pour comparer cette situation à celle engendrée par la stratégie générale d'aménagement.

6. Densité de cerfs dans les blocs de coupe clôturés

Selon la stratégie générale d'aménagement prévue (Partie 5), les blocs de coupe clôturés se situeront dans deux types de forêts, soit des sapinières surannées pour en accélérer le rajeunissement et des pessières blanches pour les convertir en sapinières. Le [tableau 4-4](#) donne la description typique de ces deux types de blocs. Dans la sapinière, la superficie coupée couvre 54 % du bloc, comparativement à 66 % dans la pessière blanche. La [figure 4-6](#) montre un bloc de chaque type réalisé en 2002 et 2003. Dans la sapinière, l'abri prend généralement la forme d'îlots (≥ 1 ha) formés des peuplements les moins hauts et les plus denses disséminés à travers la superficie récoltée. Dans la pessière blanche où la longévité des peuplements est plus grande, l'abri est formé de bandes (≥ 75 m de largeur). En raison de la proximité de l'abri, la quasi-totalité de la nourriture produite par les coupes dans les deux types de forêts sera située à moins de 100 m du couvert et sera donc accessible aux cerfs en hiver.

Tableau 4-4. Composition typique de blocs de coupe clôturés dans la sapinière et dans la pessière blanche, comme prévu par la stratégie générale d'aménagement.

Élément	Superficie par unité de 4 km ²			
	Sapinière		Pessière blanche	
	%	ha	%	ha
Eau et improductif	5,3	21	5,0	20
Chemins	2,5	10	2,7	11
Coupe (régénéré en sapin)	54,4	218	66,2	265
Forêt non coupée				
Abri	13,2	53	22,7	91
Bandes riveraines	3,0	12	1,7	7
Forêt jeune (< 7 m)	18,9	76	0,0	0
Forêt inexploitable	2,6	10	1,8	7
Total	100,0	400	100,0	400

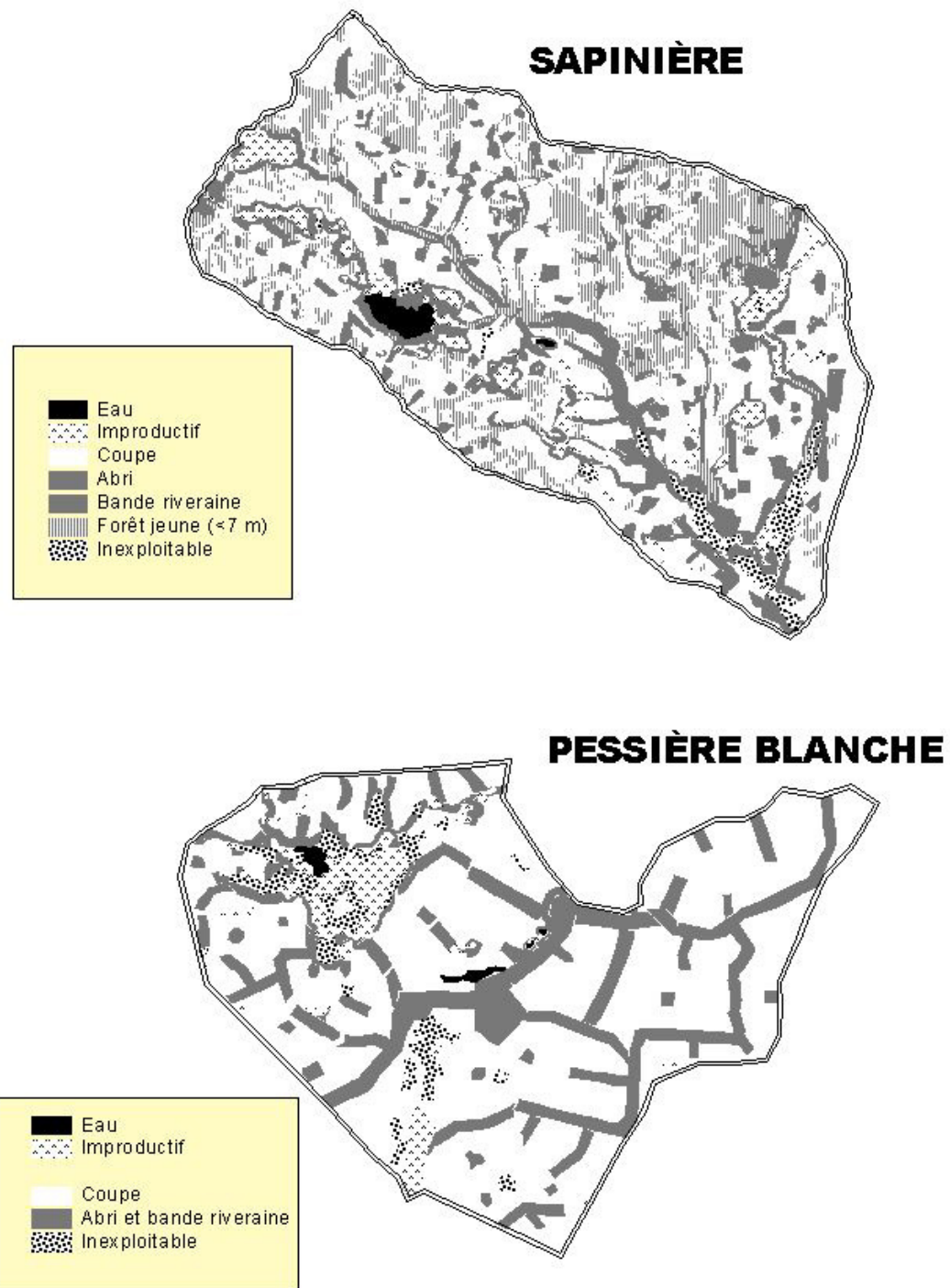


Figure 4-6. Blocs de coupe clôturés réalisés en 2002 et 2003 dans une sapinière surannée (lac du Sud, 29,4 km²) et une pessière blanche (lac Calme, 7,5 km²) sur l'île d'Anticosti.

Pour calculer la densité de cerfs produite par ces deux types de blocs de coupe, nous avons appliqué notre modèle à une unité de 4 km² ayant la composition forestière typique de chacun (tableau 4-4). À l'aide du code de strate regroupé, nous avons d'abord reclassifié les polygones forestiers présents, y compris les coupes, en classes ABRI-NOURRITURE. À noter que des courbes d'évolution de l'abri et de la nourriture sont aussi disponibles pour les coupes (traitements sylvicoles T3, T4 et T7) (Partie 3). Les diverses classes ABRI-NOURRITURE nécessaires au modèle ont ensuite été projetées au cours des 100 prochaines années, par période de 10 ans (tableau 4-5). Au moment du retrait de la clôture, 10 ans après coupe, la classe NOURRITURE 02 (absence d'abri, nourriture abondante) sera dominante en raison de la régénération de sapin installée dans les parterres de coupe. Cette classe déclinera rapidement à partir de 30 ans pour devenir de l'abri (classe ABRI-NOURRITURE 11, abri présent avec nourriture moyenne). Si aucune nouvelle coupe ne survient, les tiges surannées commenceront à tomber passé 90 ans et ces peuplements se transformeront en classe ABRI-NOURRITURE 12, soit des peuplements d'abri avec nourriture abondante.

Tableau 4-5. Variation en superficie des classes ABRI-NOURRITURE dans des blocs de coupe clôturés en sapinière et en pessière blanche pour l'horizon 10 à 100 ans après coupe.

Années après coupe	Superficie (ha) par bloc de 4 km ²							
	Sapinière				Pessière blanche			
	12	11	01 et 02	00 et 10	12	11	01 et 02	00 et 10
10	7	63	226	103	2	42	260	96
20	25	46	224	105	2	42	260	95
30	38	38	4	320	0	45	2	354
40	35	219	2	144	0	274	1	125
50	31	200	3	166	0	231	3	166
60	29	191	0	180	0	230	0	170
70	29	188	0	183	0	230	0	170
80	12	241	0	147	0	230	0	170
90	14	239	0	147	0	259	0	141
100	182	72	0	146	230	30	0	141

Classes ABRI-NOURRITURE :

ABRI-NOURRITURE 12 : Abri présent, nourriture abondante.
 ABRI-NOURRITURE 11 : Abri présent, nourriture moyenne.
 ABRI 10 : Abri présent, nourriture nulle.
 NOURRITURE 02 : Absence d'abri, nourriture abondante.
 NOURRITURE 01 : Absence d'abri, nourriture moyenne.
 MILIEU 00 : Absence d'abri et de nourriture.

Le modèle prédit une évolution similaire pour les blocs en sapinière et pour ceux en pessière blanche (figure 4-7A). C'est au cours des 20 premières années après coupe que la densité de cerfs sera maximale dans les blocs, atteignant 50 cerfs/km² dans la sapinière et 55 cerfs/km² dans la pessière blanche. On assiste ensuite à une chute brutale à 30 ans (≤ 6 cerfs/km²), suivie d'une situation stable entre 40 à 90 ans, avec environ 10 à 12 cerfs/km². La densité augmente finalement à près de 20 cerfs/km² quand la forêt devient surannée. La baisse de densité à 30 ans est nettement exagérée et est imputable à la nature binaire (présence, absence) de la variable nourriture issue du brouet de sapin. En pratique, le changement devrait être plus graduel. Afin de décrire de façon plus réaliste l'évolution de la densité après coupe, nous avons appliqué une densité de 30 cerfs/km² à la période 30 ans, ce qui représente la valeur moyenne des périodes 20 et 40 ans. Nous avons ensuite lissé les courbes de densité à l'aide d'un polynôme du deuxième degré (figure 4-7B). Tant dans les coupes en sapinière qu'en pessière blanche, le modèle modifié prédit une densité maximale à 10 ans, au moment du retrait de la clôture, suivie d'une baisse jusqu'à 70 ans environ. En l'absence de coupe, une remontée finale se produirait à 100 ans, au stade surannée. La stratégie d'aménagement prévoit une seconde récolte dans les blocs de coupe clôturés à 70 ans (Partie 5). Les blocs seront donc à nouveau clôturés pour 10 ans et produiront une densité de cerfs nulle durant cet intervalle. Par la suite, le retrait de la clôture amènera une répétition de la situation décrite après la première intervention forestière (figure 4-7C). C'est cette évolution de densité que nous allons appliquer à l'ensemble des blocs de coupe à la Partie 6 afin de mesurer l'impact du scénario avec aménagement sur la population de cerfs.

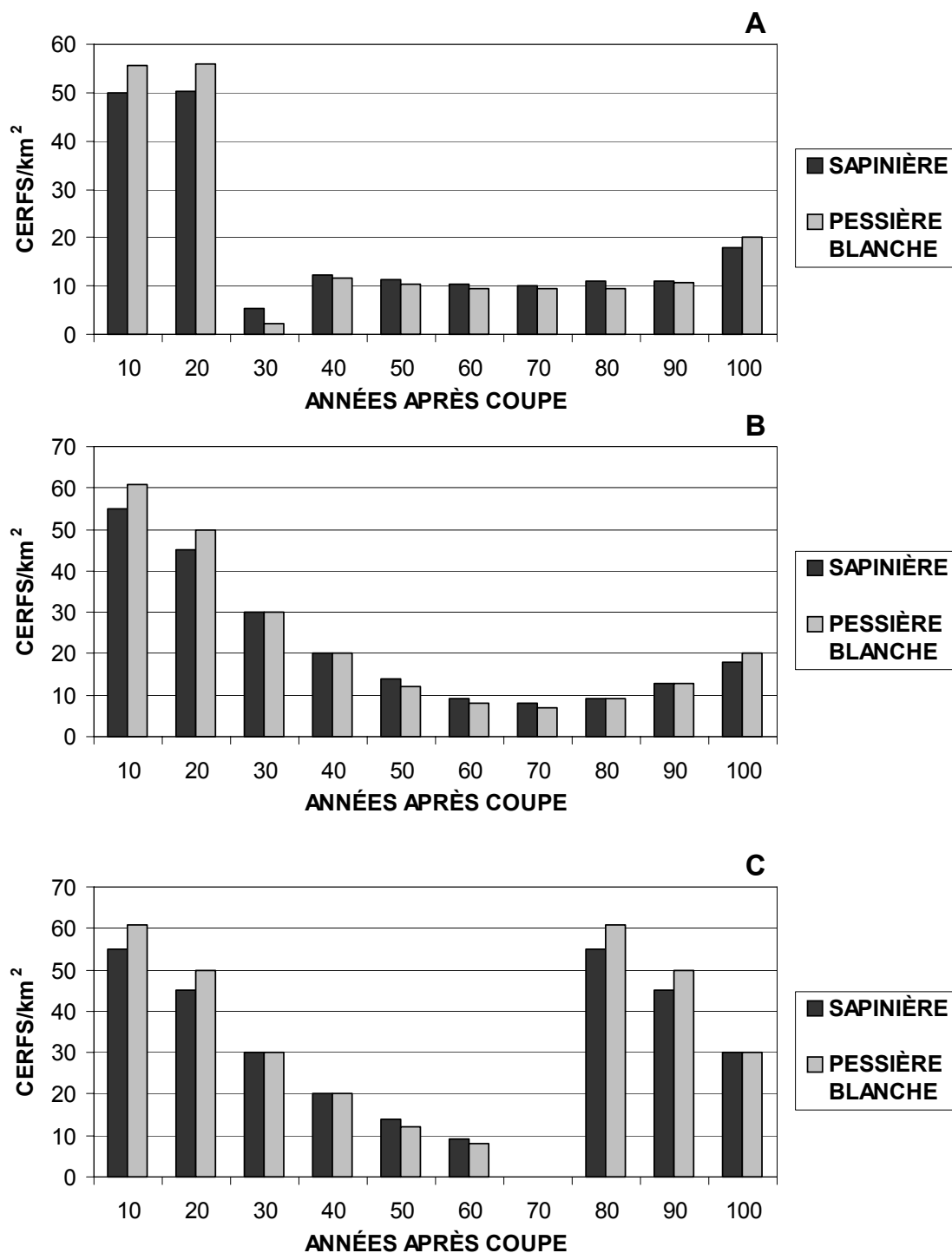


Figure 4-7. Densités de cerfs prédites par le modèle dans des blocs de coupe clôturés en sapinière et en pessière blanche. A : densités originales. B : densités après modification (voir texte). C : densités après une seconde intervention forestière à 70 ans.

Liste des références

- BRETON, L. et F. POTVIN. 1997. Normes d'inventaire aérien des populations de cerf de Virginie. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. Rapport 3712-97-09. 44 p.
- ESRI. 1996. ArcView GIS. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA. 340 p.
- GINGRAS, A., F. POTVIN et B. ROCHETTE. 1993. Inventaire aérien du cerf dans trois zones forestières de l'île d'Anticosti, en relation avec une épidémie appréhendée d'arpenteuse de la pruche. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec. Rapport 2132. 31 p.
- MRN. 1995. Norme de stratification écoforestière. Troisième programme de connaissance de la ressource forestière. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de l'inventaire forestier. Rapport RN95-3025. 116 p.
- NADEAU, G. et P. BEAUPRÉ. 1991. Carte des zones forestières de l'île d'Anticosti. Ministère des Forêts du Québec, Région de la Côte-Nord.
- POTVIN, F. et A. GINGRAS. 2002. L'habitat hivernal du cerf sur l'île d'Anticosti défini à partir des inventaires aériens de 1998, 1999 et 2000. Société de la faune et des parcs du Québec. Rapport 8037-02-01. 37 p.
- POTVIN, F., P. BEAUPRÉ et C. DUSSAULT. 2004. La population de cerfs de l'île d'Anticosti : élaboration de modèles densité-habitat et prévisions pour l'horizon 2000-2100. Chaire de recherche industrielle CRSNG – Produits forestiers Anticosti, Université Laval, Québec. Sous presse.
- POTVIN, F., L. BRETON et L.P. RIVEST. 2002. Testing a double-count aerial survey technique for white-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, in Québec. Canadian Field-Naturalist 116 : 488-496.
- ROCHETTE, B., A. GINGRAS et F. POTVIN. 2003. Inventaire aérien du cerf de Virginie de l'île d'Anticosti – Été 2001. Société de la faune et des parcs du Québec. Rapport 8080-03-05. 22 p. + annexes.

Annexe 1

Liste des attributs cartographiques des polygones de la carte forestière^a

Attribut	Définition	Valeur	
CHA_CODE	Code de classe de hauteur	0	< 1,5m
		6	1,5-4 m
		5	4-7 m
		4	7-12 m
		3	12-17 m
		2	17-22 m
		1	> 22 m
CDE_CODE	Code de classe de densité	0	< 25 %
		D	25-40 %
		C	41-60 %
		B	61-80 %
		A	81-100 %
CAG_CODE	Code de classe d'âge	10	< 20 ans
		30	21-40 ans
		50	41-60 ans
		70	61-80 ans
		90	81-100 ans
		120	> 100 ans
		jin	Jeune inéquienne
		vin	Vieux inéquienne
GRES_CODE	Code de groupement d'essences (assemblage de codes d'essences individuelles)	BB	Bouleau blanc
		E	Épinette noire
		G	Épinette blanche
		ME	Mélèze
		PE	Peuplier
		S	Sapin baumier

Attribut	Définition	Valeur	
REG_SAB	Classe de densité de la haute régénération en sapin (1-7 m)	0	absence
		F	1-5 %
		E	6-24 %
		D	25-40 %
		C	41-60 %
		B	61-80 %
		A	81-100 %
SAB7M_5_25	Présence du sapin (5-25 %) dans la strate arborescente des peuplements d'épinette blanche	+	5-25 %

^a D'après MRN (1995) et [Partie 3](#).