Application de la sylviculture irrégulière aux peuplements feuillus jugés inaptes au jardinage et prédiction du rendement par la modélisation

Rapport d'étape

Troisième Année

(2007-2008)

Préparé par

Vincent McCullough, ing.f., M.Sc.

Frédérik Doyon, ing. f., Ph.D.

Pascal Rochon, M.Sc.

Remis au

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Direction régionale de l'Outaouais (07)

Août 2008

Tables des matières

Tables des matières i

Liste des Figures iii

Liste des Tableaux iv

Mise en contexte du projet global v

Objectifs viii

Travaux réalisés en 2007-2008 ix

Résumé ix

Remerciements x

Chapitre 1 Modèle de prédiction de volume sur pied basé sur la technologie LiDAR 1

Introduction 1

Élaboration du modèle numérique de la hauteur de la canopée (MHC) 3

Réseau de placette de ¼ ha 6

Méthodologie 8

Résultats et discussion 9

Conclusion 12

Chapitre 2 Comparaison de l'erreur de prédiction du volume déterminé dans les paysages entre un inventaire traditionnel et un modèle développé avec LiDAR 18

Introduction 18

Méthodologie 18

Évaluation du volume et de l'intervalle de confiance à partir du modèle prédictif utilisant le MHC obtenu à partir des données LiDAR 19

Évaluation du volume et de l'intervalle de confiance selon la méthode traditionnelle . 21

Résultats et discussion 22

Implications pour l'aménagement 27

Conclusion 28

Littérature citée 18

Annexe 1. Liste et description des paysages Balayés de l'Outaouais 22

Annexe 2. Graphiques des fréquences des points selon les classes d'hauteurs 23

Annexe 3. Analyse et graphiques des corrélations entre les variables indépendantes (statistiques descriptives des pixels par placette) et la variable dépendante (volume m^3 brut) pour les placettes de ¼ ha (2500m^2). 34

Annexe 4. Analyse et graphiques des corrélations entre les variables indépendantes (statistiques descriptives des pixels par placette) et la variable dépendante (volume m^3 brut) pour les placettes 1/25 ha (400m^2). 36

Annexe 5. Résultats des analyses de régression pour le territoire de Millar Western selon l'échelle des placettes de 400m^2. 38

Annexe 6. Résultats des analyses de régression pour les placettes de l'Outaouais selon l'échelle des placettes de 2500m^2. 43

Annexe 7. Modèle de hauteur de la Canopée (MHC) des 11 paysages et de la forêt de l'aigle. 50

Liste des Figures

Figure 1. Balayage avec LiDAR d'un couvert forestier et exemple de coordonnées calculées. 2

Figure 2. Étapes pour élaborer un modèle de la hauteur de la canopée (MHC) à partir de points d'impact provenant du système LiDAR pour une placette de ¼ d'hectare. 5

Figure 3 Alignement des données terrain avec les données du MHC. Le gradient de couleur du noir au blanc indique la hauteur relative du Pixel (noir =0m et blanc ≈ 30m) 6

Figure 4. Situation géographique des placettes à travers l'Outaouais et surface balayé par LiDAR..... 7

Figure 5. Résidus du modèle 5a) Résidus du volume prédit en fonction de la variable moyenne au carré et 5b) Résidus du volume prédit en fonction de la variable Asymétrie. Les étiquettes des points font référence au nom des sites. MW(_1…4) =Millar Western; (0...10)= paysage Outaouais;(FP, EP, PIN)=Forêt de l'Aigle..... 10

Figure 6. Quadrillage d'un paysage selon des cellules (placettes) de 50m X 50m (2500m^2) 20

Figure 7. Paysage de 1km^2 avec la délimitation des polygones écoforestiers 22

Figure 8. Estimations et intervalles de confiance (α=0.05) du volume sur pied effectuées à l'aide des données LiDAR et à partir des données d'inventaire pour 11 paysages de 100 ha de l'Outaouais. 23

Figure 9. Estimations et intervalles de confiance (α=0.05) du volume sur pied effectuées à l'aide des données LiDAR et à partir des données d'inventaire pour 11 paysages de 100 ha de l'Outaouais. La ligne grise exprime une relation 1 :1 alors que la droite noire présente la relation entre les deux types d'estimation obtenue par régression linéaire. 24

Figure 10. Diagramme présentant les paysages significativement différents dans leurs estimations de volume marchand brut sur pied selon la méthode utilisant le modèle prédictif LiDAR et celle des inventaires pour 11 paysages de 100 ha dans l'Outaouais. Les paysages sont classés en ordre croissant de leur estimation en volume marchand brut sur pied. 26

Liste des Tableaux

Tableau 1. Comparatif des volumes par paysage 23

Mise en contexte du projet global

Le jardinage est un traitement approprié pour une majeure partie de la forêt feuillue et dans certaines conditions forestières en forêt mixte au Québec puisqu'elle est dominée par des essences tolérantes (telles *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia, Abies balsamea*) et mi-tolérantes à l'ombre (telles *Betula alleghaniensis, Quercus rubra, Picea glauca* et *Picea Rubens*) qui peuvent s'établir sous couvert en cohortes d'âge différents, générant ainsi une structure pluri-étagée apte à être jardinée (Schütz 1997). En nature, cette structure se maintient sur de longues périodes grâce à un régime de perturbations dominé par des micro-trouées occasionnées par la mortalité sporadiques d'individus dans le couvert forestier (Doyon et Sougavinski 2002). Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, le jardinage est depuis longtemps prescrit lorsqu'il répond aux conditions de composition, de structure et de production (Arbogast 1957, O'Hara 2002) compte tenu des avantages qu'il procure pour le maintien des valeurs environnementales, sociales et économiques (Hornbeck et Leak 1992). Au Québec, lorsqu'appliqué de façon appropriée et dans les peuplements adéquats (Majcen et al. 1990), le jardinage donne dans rendements intéressants (Majcen 1994). Par exemple, Bédard et Majcen (2003) obtiennent des accroissements nets en surface terrière dix ans après traitement de 0.35 ±0.04 m^2/ha/an pour des érablières à bouleau jaune, permettant de retrouver la surface terrière initiale sur des rotations de 20 ans.

Cependant, l'application du jardinage ne peut être généralisée à l'ensemble de la forêt feuillue. En effet, avant même que le jardinage ne commence au Québec, plusieurs peuplements constituaient déjà le legs appauvri d'un passé d'écrémage réalisé lors de vielles coupes à diamètre limite. Sabbagh *et al*. (2002) démontrent qu'un nombre important de peuplements des strates feuillues et mixtes de l'Outaouais comporterait une récolte insuffisante pour être jardinés malgré un potentiel d'éducation intéressant. De plus, les résultats de l'étude des effets réels du jardinage en forêt publique montrent que les rendements après jardinage en forêt publique sont bien en-deçà de ceux attendus (accroissement annuel net entre 0.1 et 0.2 m^2/ha/an) dans bien des cas dû à une mortalité accrue et au fait que la forêt résiduelle n'a souvent plus les caractéristiques requises (structure, vigueur et qualité) pour demeurer jardinable (MRNQ 2002a). À cette problématique s'ajoute celle du dépérissement de l'érable à sucre (Duchesne et al. 2002, Duchesne et al. 2005) et de l'envahissement par le hêtre des érablières (Doyon et Gravel 2003, Duchesne et al. 2005). L'application du jardinage dans la sapinière à bouleau jaune pose aussi souvent des difficultés puisque les structures irrégulières sont souvent

abondantes dans ces écosystèmes de par le régime de perturbations semi-catastrophiques générant des bouquets par cohortes (Fortin et al. 2003, Doyon et Lafleur 2004).

Face à ces constats, Blanchette et al. (2004) établirent une procédure de diagnostic pour distinguer les forêts aptes au jardinage. Cette notion d'apte au jardinage a été précisée par Lessard et al. (2005). Cette clarification des conditions pour jardiner un peuplement soulève par le même fait la question du traitement auquel on devrait avoir recours pour toutes les situations qui ne rencontrent pas ces conditions. Que ce soit pour des raisons sylvicoles (irrégularisation de la structure, recrutement désiré insuffisant) ou des raisons économiques (capital bois d'œuvre trop appauvri, croissance trop faible), de nouveaux traitements doivent être développés afin de combler le vide sylvicole qui existe entre les systèmes sylvicoles menant à la coupe finale et ceux menant au jardinage.

Il existe dans la littérature en sylviculture un courant nouveau en Europe (**Continuous Cover Forestry** dans les pays anglo-saxons, **sylviculture irrégulière** dans les pays francophones) qui propose des approches de conduite de peuplement en structure irrégulière qui maintiennent un couvert permanent (Schütz 2002, Mason et al. 1999, Pommerening et Murphy 2004). La sylviculture irrégulière offre l'avantage de répondre à des objectifs simultanés de récolte, de régénération et d'éducation sans devoir s'ajuster nécessairement aux conditions classiques d'application du jardinage. Celles-ci sont basées sur les connaissances des processus écologiques des écosystèmes et des paysages de la forêt. Un large programme de recherche et d'essais expérimentaux est actuellement en application en Franche-Comté (France) (Van Damme 1999, LIFE 2004). Plusieurs outils de diagnostic et de gestion y ont été développés.

Plus près de chez nous, aux États-Unis, le sylviculteur peut utiliser une gamme plus étendue de traitements sylvicoles (Hornbeck et Leak 1992), incluant la coupe progressive irrégulière, la coupe à diamètre limite, le Two-Cut System (Sims 1992), la coupe d'amélioration (Erickson et al. 1990) et la coupe à maturité financière (Smith 1978). Ces méthodes alternatives de coupes peuvent souvent s'avérer économiquement plus profitables, dépendant de la structure et de la distribution de la qualité des tiges (Kaya et Buongiorno 1989). Il existe plusieurs comparaisons du jardinage avec la coupe à diamètre limite au point de vue de la qualité des tiges, de la croissance, et de la qualité du bois (Miller et Smith 1991, Erickson et al. 1990, Erickson et Reed 1992, Niese et al. 1995, Strong et al. 1995, Wiemann et al. 2004) qui démontrent les avantages et désavantages de chacun selon les conditions d'application. Ce projet veut tirer profit de cette expertise mondiale en matière

de sylviculture irrégulière pour définir des coupes partielles alternatives au jardinage au Québec.

L'application de nouveaux traitements sylvicoles pose toujours la difficulté d'en définir le rendement et la durabilité. Cet aspect est particulièrement vrai pour les systèmes sylvicoles à couvert permanent impliquant des coupes partielles (Peng 2000). Le défi réside dans la régularisation du régime de coupes partielles tout en perpétuant une structure de distribution durable (Adams et Ek 1974), quelle soit exponentielle négative ou « rotated sigmoid » (Leak 1996) puisqu'il existe une infinité de structures balancées et durables (Keyfitz 1968). L'utilisation de modèles de simulation de croissance des peuplements offre l'avantage de permettre l'exploration de plusieurs scénarios et d'en évaluer les effets sans avoir à les expérimenter sur des peuplements (Buongiorno et Michie 1980). La majorité des modèles de croissance pouvant simuler la croissance des peuplements inéquiennes sont des modèles à l'arbre individuel non-spatialement explicite (FIBER, NE-TWIGS, OAKSIM, SILVAH, Yield-MS, JABOWA, STEM) (Ernst et Stout 1991, Peng 2000). La croissance et la mortalité des tiges sont calculées pour chaque tige d'une liste en fonction des conditions de cette tige dans le peuplement et du site. Certains incluent un module de recrutement, d'autres pas. Cependant, aucun n'inclut un module d'évolution de la qualité. Or, la gestion de la qualité en forêts feuillues et mixtes est primordiale. Pour pallier à ce manque, Doyon et al. (2005) ont développé un modèle, COHORTE, incluant un module d'évolution de la qualité. Cette dernière caractéristique permet d'évaluer différents régimes de martelage de coupe partielle sur le développement du peuplement en tenant compte de la qualité des tiges.

Le modèle SORTIE quant à lui est un modèle de simulation spatialement explicite, par arbres individuels, permettant d'évaluer l'effet de coupes forestières impliquant différents patrons de récolte et de rétention des tiges, en tenant compte de l'emplacement des chemins de débardage, dans des peuplements de composition et de structure diamétrale variées, et selon différentes périodes de rotation. SORTIE est constitué de quatre principaux modules, chacun visant respectivement à prédire : 1) la lumière; 2) la régénération en fonction des lits de germination et des semenciers; 3) la croissance radiale en fonction de la lumière (juvéniles) et de la compétition des voisins (arbres adultes); 4) la mortalité en fonction de la croissance radiale (juvénile) et en fonction d'un seuil de DHP associé au début de la sénescence (arbres adultes). Depuis sa première version, SORTIE a subi plusieurs modifications. Un somme considérable de travail a notamment été investi en Colombie-Britannique pour adapter le modèle pour lui permettre de simuler l'effet d'interventions

sylvicoles. Pour ce faire, un modèle de récolte a été ajouté au modèle permettant à l'usager de définir de façon très flexible les paramètres des interventions sylvicoles à simuler. Une publication récente a démontré l'utilité du modèle pour explorer les implications des différents scénarios de sylviculture irrégulière dans plusieurs types forestiers (Coates *et al*. 2003). Récemment, les efforts de recherche et développement reliés au modèle se sont concentrés à améliorer le module d'accroissement des tiges de façon à ce que la croissance radiale soit fonction du dhp, de la distance et de l'espèce des arbres voisins, permettant ainsi de capturer de façon précise la réponse des tiges suite à une coupe (Canham *et al*. 2006).

Objectifs

Ce projet vise à ***proposer pour les forêts feuillues et mixtes non jardinables des coupes partielles alternatives de sylviculture irrégulière, à décrire les conditions d'application de celles-ci pour les différentes régions de la forêt feuillue, et à évaluer le rendement par voie de modélisation***. Plus spécifiquement les objectifs de ce projet sont : (1) de développer une typologie des peuplements irréguliers pour le domaine de l'érablière, (2) de recenser les méthodes de sylviculture irrégulière ayant été expérimentées ailleurs dans le monde, (3) de vérifier l'applicabilité de ces méthodes pour chacun des types de peuplement irrégulier identifié à l'étape (1), (4) d'en vérifier le rendement et la durabilité par voie de modélisation, (5) d'en essayer leur application sur le terrain, (6) d'en évaluer les coûts et la productivité opérationnelle.

Travaux réalisés en 2007-2008

Résumé

Le présent document se veut un rapport d'étape qui dresse la liste des tâches accomplies durant cette dernière année du projet et qui présente les résultats des travaux réalisés. Ainsi, durant l'année 2007-2008, 2 projets ont été réalisés avec l'aide des fonds de ce projet en combinaison avec d'autres fonds de recherche.

Le premier travail consistait à déterminer un modèle permettant la prédiction du volume de bois sur pied d'une superficie à l'aide d'outil de télédétection (LiDAR). Le modèle prédictif est calculé à partir d'un modèle numérique de canopée (MHC) permettant d'identifier la hauteur précise de points sur une surface créée par la partie supérieure des cimes d'un couvert forestier. Deux régressions multiples ont été développées : la première permet de prédire le volume sur pied des forêts feuillues de l'Outaouais tandis que la seconde prédit le volume des forêts résineuses pures et mixtes de l'Alberta.

Le deuxième projet visait à comparer l'erreur de prédiction entre le modèle prédictif élaboré pour les forêts feuillues de l'Outaouais et la méthode traditionnel pour calculer le volume selon les inventaires réalisés avec les placettes permanentes et temporaires. Les résultats de cette comparaison sont très prometteurs. En effet, l'intervalle de confiance associé au modèle prédictif est 9 fois moins élevé que l'intervalle mesuré avec la méthode traditionnelle. La précision reliée à la prédiction du volume est donc grandement bonifiée.

Remerciements

Nous voulons remercier tout particulièrement Pascal Rochon pour son travail assidu lors de la préparation et l'analyse des données. Nous tenons à remercier Chris Hopkinson (Chercheur au Applied Geomatics Research Group, Centre of Geographic Sciences, NSCC Annapolis Valley Campus) pour sa collaboration dans l'acquisition des données LiDAR. Ce projet est financé par le Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu Forestier, Volet I (Acquisition de connaissances/recherche) du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.

La réalisation du projet tant au niveau théorique que technique n'aurait pas été possible sans la contribution du Docteur Marek Zaremba (UQO), de la Docteur Fawziah (ZuZu) Gadallah (UQO) et de Jean-François Sénécal (UdeS).

Nos remerciements s'adressent aussi aux représentants de la compagnie Millar Western Forest Product qui ont contribué par leur temps et leurs données d'inventaire forestier afin de mener ce projet à terme.

Finalement, une subvention du RDC et du FCI ont été octroyées par le CRSNG pour la réalisation de ce travail. Nous souhaitons remercier cet organisme pour son appui financier.

Chapitre 1 Modèle de prédiction de volume sur pied basé sur la technologie LiDAR

Introduction

Le volume de bois sur pied en forêt est sans contredit l'une des variables les plus importantes à plusieurs égards. En effet, cette variable est à la base des inventaires forestiers qui à leur tour sont prédécesseur au calcul de la possibilité forestière. Ce projet, ouvre une porte quant au développement de nouveaux outils afin de déterminer les volumes sur pied en forêt par la télédétection.

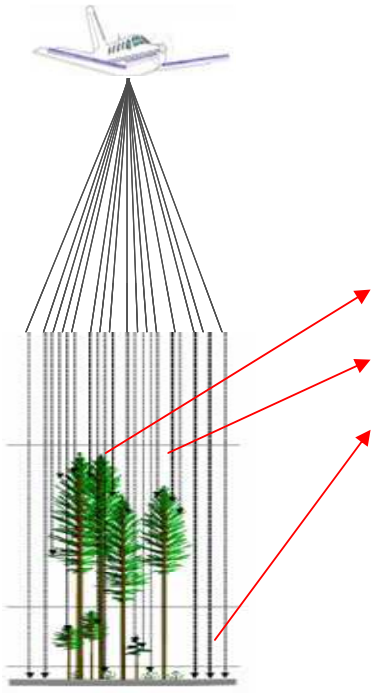
La technologie LiDAR ("Light Detection And Ranging") est de plus en plus utilisée en foresterie (Jan et *al.* 2006, Carson et *al.* 2004). En effet, on retrouve dans la littérature plusieurs applications pour cette technologie en passant par les inventaires forestiers à la caractérisation de la structure forestière. Dans ce projet, nous avons voulu estimer le volume sur pied en se basant sur cette technologie qui permet en autre de mesurer la hauteur précise des cimes d'un paysage forestier.

LiDAR est un appareil de télédétection aéroporté qui émet un laser afin de balayer une région telle la surface des cimes créée par un couvert d'arbre afin d'évaluer la hauteur de cette surface ; le point d'impact entre le laser et la surface étudiée est identifié comme une coordonnée spatiale (Longitude, Latitude, hauteur) de haute précision (en deçà de 20 cm) (Hopkinson 2007). La position du point d'impact est évaluée relativement à la position de l'avion qui survol le territoire (Figure 1). En calculant le temps écoulé entre l'émission du laser et le retour du signal il est possible, en sachant la vitesse d'émission du laser (300 000 km/s), d'évaluer la distance séparant le point d'impact à l'avion. La position absolue du point d'impact est ensuite calculée en ajoutant la distance calculée à la coordonnée GPS connue de l'avion. La hauteur des objets étudiés est absolue et représente la hauteur à partir du niveau de la mer et ne représente donc pas la hauteur des arbres par rapport au sol.

Des retours secondaires de laser (lors d'un impact, une partie du laser peut continuer sa trajectoire à travers l'objet et atteindre un second objet) sont aussi détectés et analysés par le système. Une position leur est alors aussi attribuée.

La densité des points d'impacts se situe entre 2 à 6 /m^2. La cime des arbres étant poreuse, les lasers émis pénètrent la couche supérieure vers les étages inférieurs du couvert et

peuvent se rendent jusqu'au sol. Ainsi, le balayage LiDAR permet d'obtenir une distribution verticale de point qui permet une panoplie d'analyses dont font état, entre autres, les travaux réalisés dans le cadre de l'année 3 de ce projet.



Coordonnées		
X	Y	Z
45°20'30.233"	-75°20'30.563"	230.454m
45°20'30.453"	-75°20'30.763"	228.303m
45°20'30.333"	-75°20'30.363"	201.343m

Figure 1. Balayage avec LiDAR d'un couvert forestier et exemple de coordonnées calculées

Le nuage de points obtenus par le balayage permet le développement de différents modèles numériques de surface selon la couche de points choisie. Par exemple, en choisissant la couche de points la moins élevée, il est possible d'établir un modèle numérique de terrain très précis. Le même traitement peut être réalisé avec la couche supérieure formant ainsi un modèle de surface de cime. En soustrayant le modèle numérique de terrain au dernier modèle, on obtient un modèle de la hauteur de la canopée (qui permet d'identifier la hauteur relative des arbres par rapport au sol). C'est avec ce dernier modèle de la hauteur de la canopée (MHC) qu'il nous est possible d'étudier la hauteur des arbres en lien avec le volume sur pied.

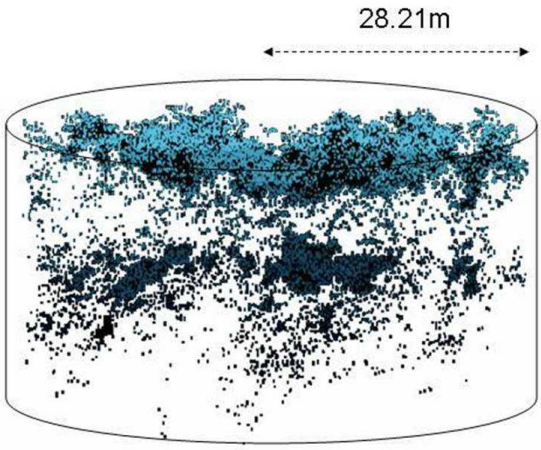
Élaboration du modèle numérique de la hauteur de la canopée (MHC)

Les étapes suivantes permettent de construire le MHC nécessaire à l'élaboration du modèle prédictif du volume brut sur pied. La première étape consiste à sélectionner les premiers retours des points d'impact à travers l'ensemble des données lors du vol d'acquisition des données (voir Hopkinson 2007 pour les spécifications du vol d'acquisition). Les premiers retours sont les données qui proviennent du premier objet détecté par le laser. Des retours secondaires sont aussi disponibles lorsqu'une partie du laser est capable de traverser le premier point d'impact pour finalement réfléchir sur un second objet. Les points extrais sont ensuite géoréférencés sur une couche numérique dans un Système d'information géographique (SIG) ArcGIS©[1]

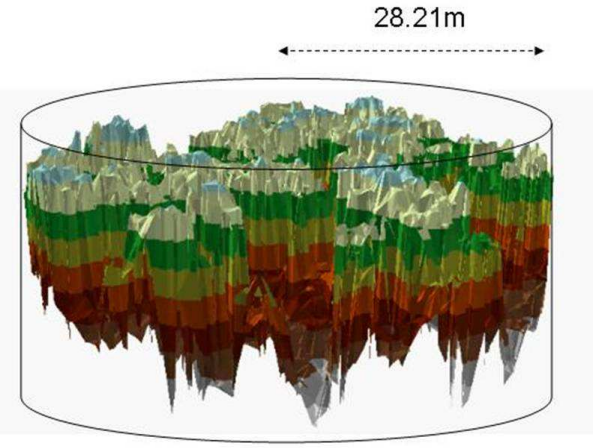
Les points extraits correspondent aux régions balayées des onze paysages (voir Doyon et Nolet 2007 pour une description des 11 paysages témoins). Une matrice contenant des pixels de 1mX1m est ensuite construite et superposée sur la couche de points extrais. Une fois la matrice superposée, l'extraction du point le plus élevé par pixel est effectué avec le SIG. Le résultat de cette étape est illustré à la figure 2A pour une placette ¼ ha (rayon de 28,21m). Le positionnement des points dans l'espace permet déjà de visualiser les différentes formes des cimes composant la placette. Les nouveaux points extrais deviennent les points de référence afin de construire le TIN (triangular interpolated network). Le TIN est l'étape précédente avant le MHC qui consiste en un modèle numérique grossier formé de triangles adjacents (figure 2B). Du TIN, une matrice est réalisée permettant d'identifier la hauteur absolue (hauteur par rapport au niveau de la mer) du modèle avec une résolution de 0.5m X 0.5m, il s'agit du modèle de hauteur de la surface (MHS). Finalement, le MHS est superposée sur le modèle numérique de terrain. Cette superposition, permet de créer le modèle de la hauteur de la canopée (MHC) qui est le résultat de la soustraction des valeurs du MHS avec les valeurs du modèle numérique de l'élévation du terrain. L'annexe 7 permet de visualiser l'ensemble des MHC pour chaque Paysage. Le MHC permet d'obtenir la hauteur relative des arbres par rapport au sol (figure 2C). Une analyse visuelle et une validation des données sont ensuite effectuées, permettant d'éliminer les valeurs qui semblent impossibles ou extrêmes. De cette manière, les valeurs de hauteur de canopée négative sont toutes mises à une hauteur de 0. Aucunes valeurs extrêmes d'hauteur ne fut observées car les

[1] ARCGIS 9.2 logiciel d'ESRI (Environmental Systems Research Institute) est un Système d'information géographique SIG

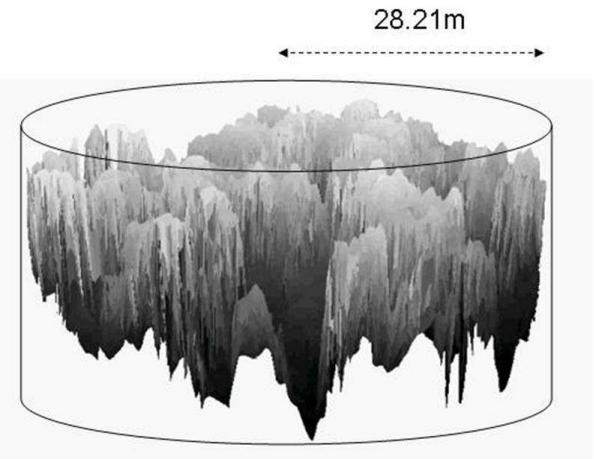
données avaient déjà été inspectées par le fournisseur de données LiDAR (Hopkinson 2007).



A) Points d'impact recensés pour une placette de ¼ d'hectare (rayon de 28.21 m).



B) Création du "triangular interpolated network" (TIN).



C) Création du modèle de la hauteur de la canopée (MHC) pour une placette de ¼ d'hectare.

Figure 2. Étapes pour élaborer un modèle de la hauteur de la canopée (MHC) à partir de points d'impact provenant du système LiDAR pour une placette de ¼ d'hectare.

Le MHC ainsi obtenu peut alors servir pour prédire les caractéristiques dendrométriques et structurales des peuplements. Cela devient possible en superposant spatialement le MHC avec les placettes de ¼ ha dont les arbres ont déjà été géographiquement localisés (Doyon et Nolet 2007). Une fois les arbres de la placette géoréférencée dans le SIG (ARCMAP), une vérification visuelle de la correspondance des arbres avec le MHC a permis d'établir si la placette se situait au bon endroit et de corriger certains arbres qui avaient mal été positionnés. Cette vérification visait à s'assurer que les positions centrales des arbres d'une placette pouvaient être associées avec leurs cimes générées par le MHC. Cette étape est possible puisque grâce à une procédure décrivant la position de la cime par rapport au tronc lors de la collecte de données terrains pour les arbres dont la cime était décentrée (figure 3). Dans l'éventualité où il n'y avait pas de concordance entre les deux sources de données, des visites terrains ont permis de d'identifier dans la majeure partie des cas les différences recensées.

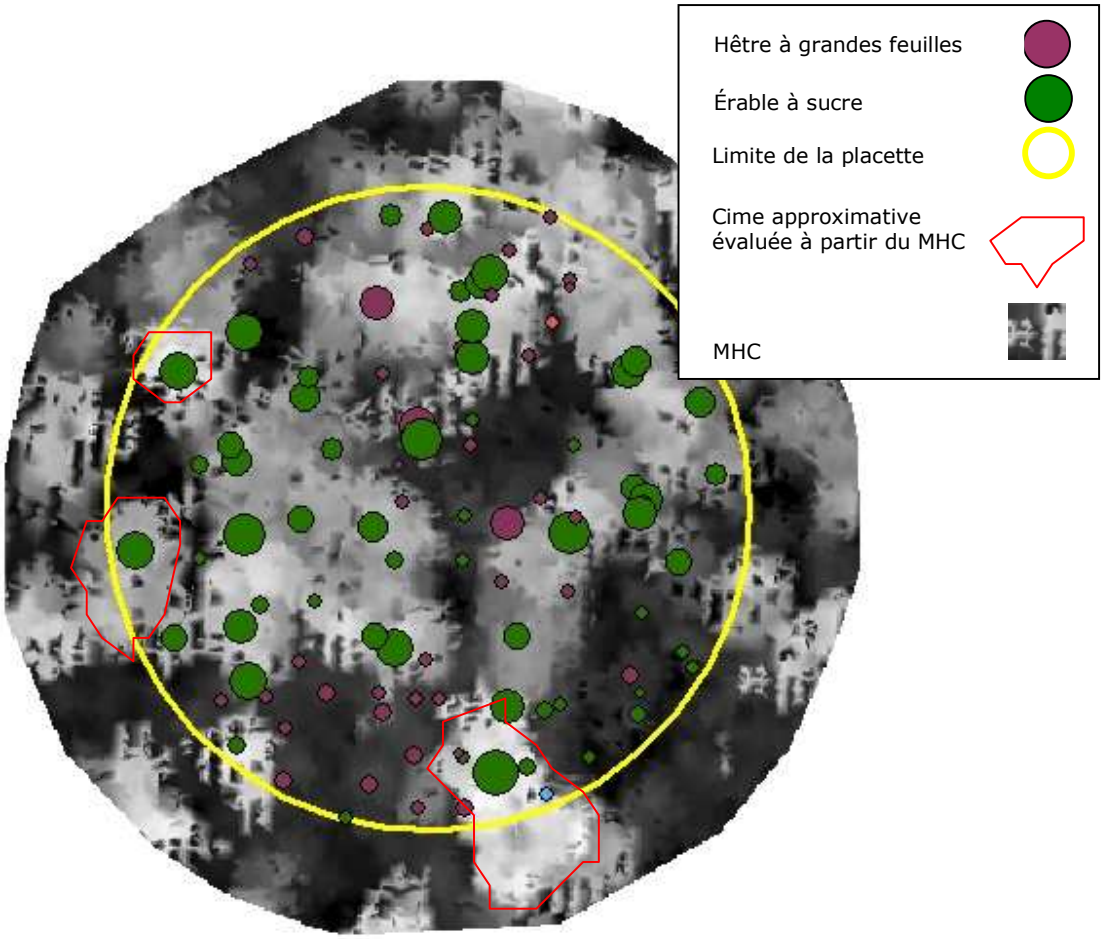


Figure 3 Alignement des données terrain avec les données du MHC. Le gradient de couleur du noir au blanc indique la hauteur relative du Pixel (noir =0m et blanc ≈ 30m)

Dans certains cas, certaines grosses tiges > que 24 cm de dhp semblaient absentes sur le MHC. Des visites terrains ont permis de confirmer que la majorité des tiges inventoriées sur pied absentes du MHC avaient été renversées par le vent entre le premier inventaire et le balayage avec LiDAR. Cet épisode nous rappelle qu'il est important de réaliser l'inventaire et le balayage dans un intervalle de temps le plus rapproché possible. Dans notre cas, 30 jours s'étaient écoulés entre les deux étapes.

Réseau de placette de ¼ ha

Trente-trois (33) placettes de ¼ hectare ont été distribués à travers onze (11) paysages de 1 km^2 possédant différent historique de perturbations, telles feux, coupes partielles, coupe à diamètre limite et chablis partielles, assurant ainsi une grande diversité en structures (Doyon et Nolet 2007). Certains paysages n'ont jamais été récoltés (aucun document ou

trace sur le terrain pour prétendre le contraire) et d'autre ont été récoltés il y a plus de 50 ans. En plus de ces placettes, onze (11) placettes ont établies à la Forêt de l'Aigle en 2005 et 9 autres en 2007, comprenant, entre autres, des peuplements de pins blancs (*Pinus strobus*) (Gadhalla et al. 2006a). La figure 4 présente la distribution des paysages à travers l'Outaouais et les surfaces balayée avec LiDAR. En tout, près de 260 km^2 ont été balayés avec la technologie LiDAR.

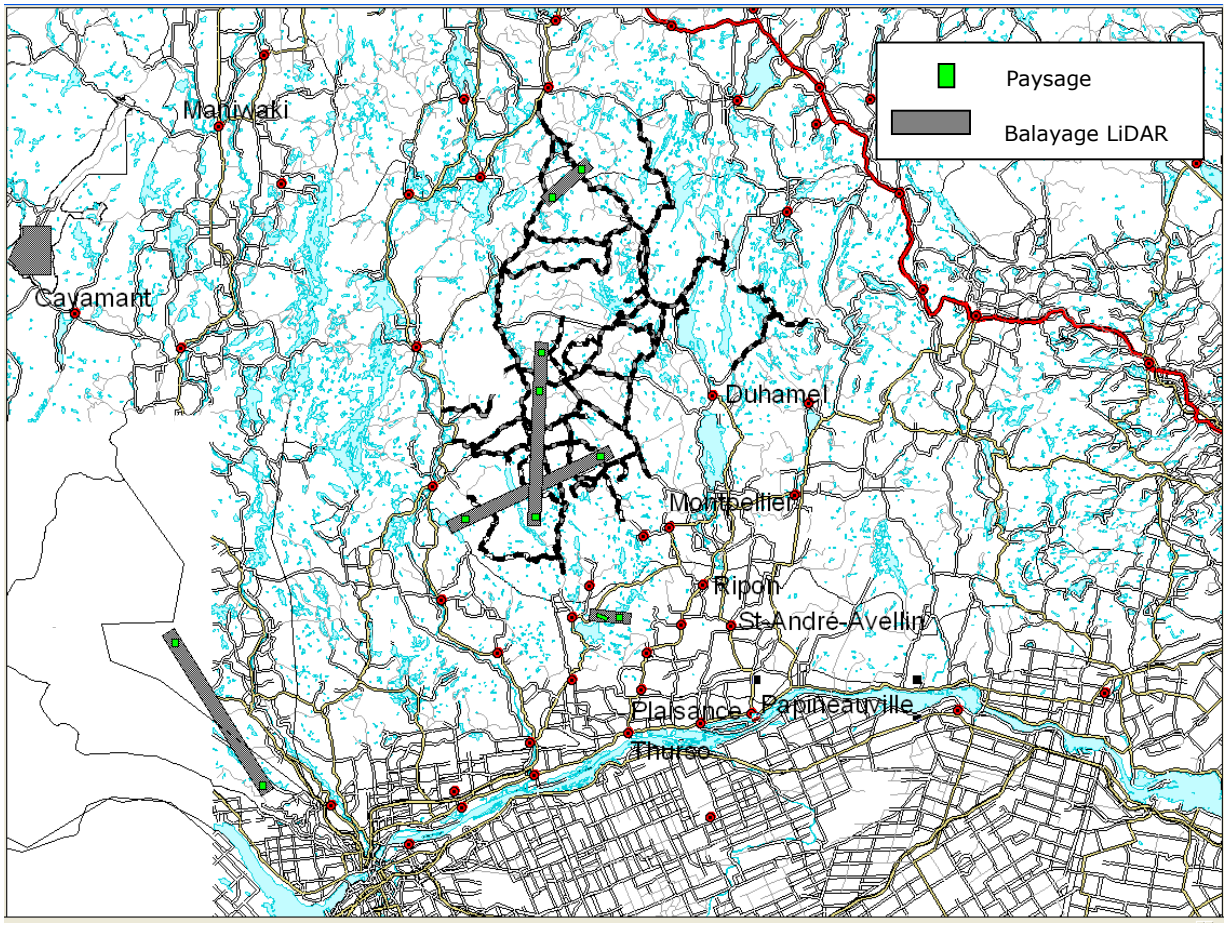


Figure 4. Situation géographique des placettes à travers l'Outaouais et surface balayé par LiDAR

Finalement, quatre placettes ont été établies également en 2005 par la compagnie Millar Western Forest Product dans la forêt résineuse et mixte près de Whitecourt, au nord-ouest d'Edmonton, en Alberta (Gadhalla et al. 2006b). Ces différentes placettes ont permis le développement de modèles de régression permettant la prédiction du volume d'une superficie donnée.

Méthodologie

Un modèle de régression a par la suite été développé à l'aide des données LiDAR et des données terrain provenant des placettes ¼ ha afin de prédire le volume d'une superficie donnée. Les modèles prédictifs du volume ont été évalués selon deux échelles; des placettes de 2500m^2 (¼ ha) et d'autres de 400m^2 ($^1/_{25}$ ha) ont été comparés afin d'établir le meilleur modèle prédictif du volume. Les placettes de 400m^2 ont été générées à partir des placettes de ¼ ha selon la méthode décrit dans Doyon et Nolet (2007). Quarante-huit placettes ont servies à l'analyse des régressions au ¼ ha et 281 placettes ont permis l'élaboration des régressions à l'échelle du $^1/_{25}$ ha.

La première étape consistait à déterminer le volume des placettes (¼ et $^1/_{25}$ ha) en additionnant le volume des arbres contenus dans chaque placette. Le volume de chaque arbre est déterminé en utilisant le tarif de cubage par essence à une entrée (DHP). Trois tables de tarif de cubage ont été utilisées selon la région dans laquelle les placettes provenaient. Les paysages sont associés à trois Unités d'aménagement forestier (UAF) : la 72-51, la 71-51 et la 64-52. Pour les placettes provenant de l'Alberta, le volume a été calculé utilisant la méthode de cubage provincial.

La seconde étape consistait à déterminer quelles seraient les variables indépendantes pouvant le mieux expliquer le volume. Pour se faire, une analyse visuelle de la distribution de la fréquence des hauteurs des points du MHC a été réalisée par placette pour cerner les paramètres de distribution qui sont les plus susceptibles d'expliquer le volume marchand brut des placettes. Ces mêmes analyses ont permis de mieux comprendre les différentes structures de hauteur rencontrées dans les paysages selon leur historique de perturbation (Annexe 2).

Ainsi, ces analyses visuelles ont permis de circonscrire certaines variables ayant un lien logique avec le volume. Les paramètres de distribution en hauteur suivants, soit la hauteur moyenne, l'écart type, l'asymétrie, l'aplatissement, la médiane, le mode, la valeur maximale, la valeur minimale et les percentiles de 10 à 90 par intervalle de 10 ont été retenues comme variables potentiellement intéressantes.

Dans un premier temps, une analyse de corrélation entre des paramètres de la distribution en hauteur des points du MHC et le volume a été effectuée afin de faire ressortir les variables présentant le meilleur potentiel explicatif. Les analyses et les graphiques des corrélations des placettes réalisées à l'échelle de 2500 m^2 et de 400 m^2 sont présentés aux

annexes 3 et 4 respectivement. Quatre variables ont été retenues une fois les analyses de corrélation terminées. Il s'agit des variables suivantes : la moyenne, l'aplatissement, le centile 10 et le centile 80. Deux variables, soit la moyenne et le centile 80, ont été transformés car ces deux variables montraient une distribution de fréquence présentant une forte asymétrie.

Des analyses de régressions multiples ont ensuite permis d'établir le lien entre ces variables indépendantes et le volume identifié dans chaque placette. La fonction *Stepwise* de NCSS[2]© a permis d'identifier la meilleure régression pour expliquer le volume de bois marchand brut dans chaque placette. Comme expliqué ultérieurement, cette analyse a été réalisée selon deux échelles : à l'échelle du ¼ ha et à l'échelle du $^{1}/_{25}$ ha.

Résultats et discussion

En introduisant l'ensemble des placettes inventoriées dans l'analyse, incluant les placettes provenant de l'Alberta, le modèle s'est avéré peu satisfaisant. En observant les graphiques des résidus aux figures 5a et 5b on perçoit un biais important entre la valeur prédite du modèle (ligne pleine) et les valeurs mesurés des placettes de Millar Western Forest Product (points MW). En effet, le volume à l'hectare (m^3/ha) des placettes provenant de Millar Western semble être sous-estimé, peu importe l'échelle à laquelle les analyses sont effectuées.

[2] Logiciel de statistique « Number crunsher statistical software ». copyright 2005

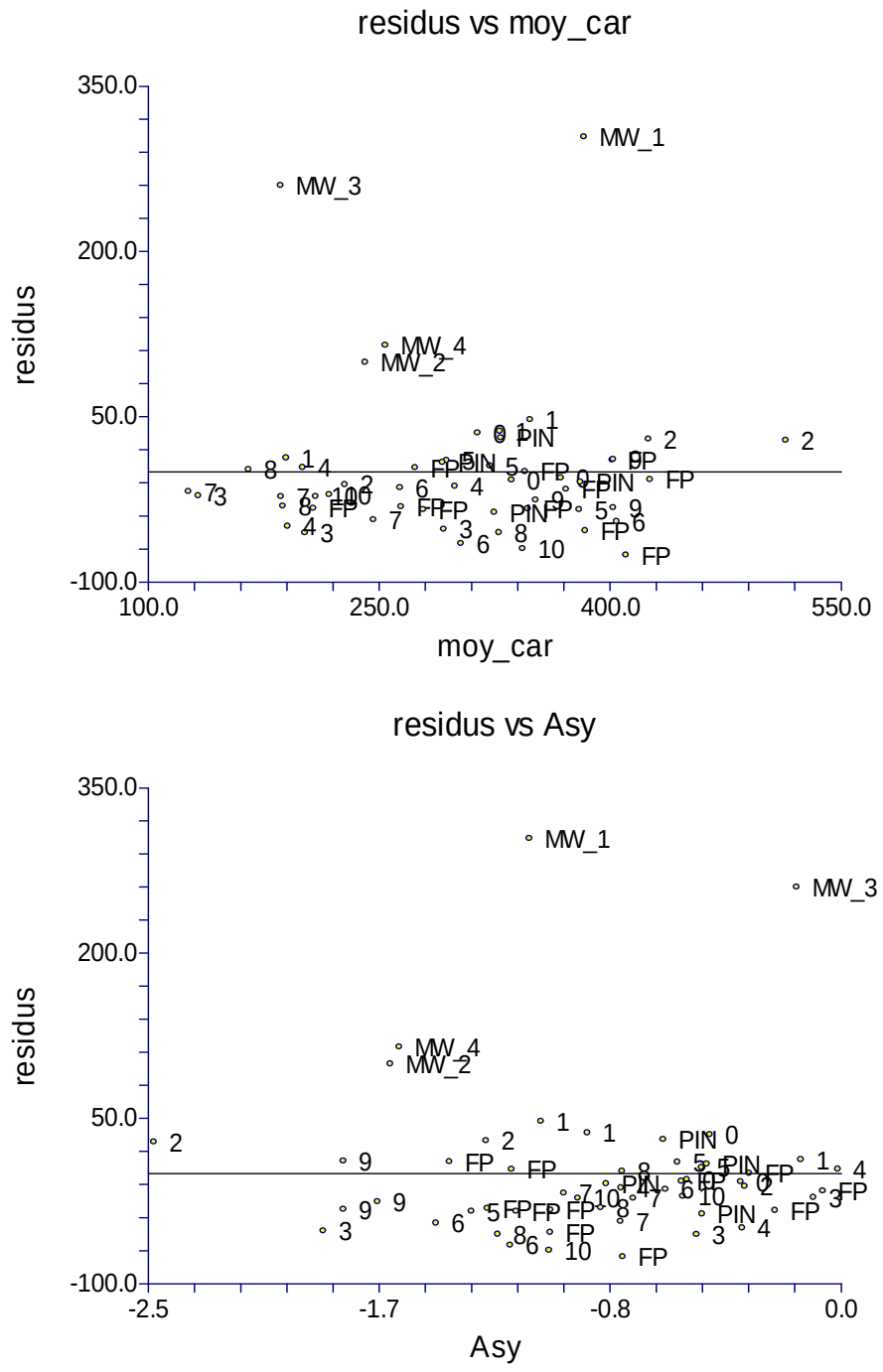


Figure 5. Résidus du modèle 5a) Résidus du volume prédit en fonction de la variable moyenne au carré et 5b) Résidus du volume prédit en fonction de la variable Asymétrie. Les étiquettes des points font référence au nom des sites. MW(_1…4) =Millar Western; (0...10)= paysage Outaouais;(FP, EP, PIN)=Forêt de l'Aigle

La raison expliquant cette sous estimation est sans doute reliée au type de couvert rencontré dans les placettes de l'Alberta. Effectivement, les placettes résineuses du

territoire de Millar Western Forest Product contiennent un volume sur pied beaucoup plus élevé comparativement aux placettes retrouvées au Québec. Cependant, les variables indépendantes calculées ne semblent pas refléter ce surplus de m^3 car leurs valeurs sont relativement semblables aux placettes rencontrées dans notre province. La forme des cimes est peut être à l'origine de cette sous-estimation. En effet, on remarque que la moyenne de la hauteur rencontrée dans les placettes résineuses du MHC de Millar Western ne reflète pas les hauteurs observées sur le terrain. La forme conique des résineux diffère de celle des feuillus plus arrondie. Ainsi, il devient plus difficile de capter l'extrémité (donc la hauteur totale de l'arbre) d'un résineux que celui d'un feuillu lors du balayage avec LiDAR. Si tel est le cas, on peut comprendre que la moyenne du MHC pour les placettes résineuses soit plus basse que la moyenne du MHC en forêt feuillue.

De plus, un indice supplémentaire nous indique que le volume des essences résineuses n'est pas bien évalué avec le modèle prédictif. En effet, dans les placettes résineuses pures, la sous-évaluation du volume prédit est beaucoup plus marquante que les placettes mixtes ou purement feuillues. Les résidus des placettes ayant un couvert mixte du territoire de Millar Western, MW_2 et MW_4, semblent se rapprocher davantage de la valeur prédite que les placettes MW_1 et MW_3, qui sont des placettes ayant un couvert résineux pur. La présence du peuplier mélangé à travers les placettes mixtes permet d'amoindrir l'effet de sous évaluation du volume résineux et ainsi réduit écart entre la valeur prédite et la valeur théorique du volume.

Pour cette raison, les analyses subséquentes ont été réalisées en divisant le jeu de données selon deux territoires : la forêt feuillue de l'Outaouais et la forêt résineuse et mixte de l'Alberta. Des analyses plus poussées des placettes de l'Alberta auraient pu être réalisées en divisant les placettes mixtes et résineuses afin de déterminer des modèles plus spécifiques par type de couvert. Cependant, le nombre insuffisant de mesures nous limite à un modèle prédictif pouvant prédire le volume des territoires mixtes et résineux confondus.

Deux variables ont été retenues pour expliquer le volume à l'hectare retrouvé dans une placette : la moyenne au carré et l'asymétrie de la hauteur des points du MHC de la placette. Ces deux variables ont été utilisées afin d'établir les deux régressions modélisant les placettes de l'Alberta et de l'Outaouais.

Le nombre insuffisant de placettes de ¼ ha (4 placettes) dans le cas de l'Alberta a forcé à développer un modèle basé sur les placettes de $^1/_{25}$ ha avec vingt-quatre (24) placettes. Le modèle se résume ainsi :

Volume (m^3/ha) = 34.89 + 99.22*AsyH+ 1.7961*(moyH)^2 (Équation 1)

Le pouvoir prédictif de ce modèle exprimé par le coéfficient de détermination (**R^2**) est de 0,86. Les détails du modèle de régression (statistiques descriptives, test de significativité ainsi que les graphiques des résidus) sont disponibles à l'annexe 5. De plus, cette analyse nous a permis d'établir les intervalles de confiance (α=0,05). Cet intervalle de confiance est défini selon une droite régie par une équation qui permet de délimiter la limite supérieure et inférieure du modèle de prédiction. Les équations 2 et 3 décrivent respectivement la limite inférieure et supérieure :

Intervalle de confiance lim. inf. = -33.54+55.85*asyH+1.4590*(moyH)^2 (Équation 2)

Intervalle de confiance lim. sup. = 103.32+142.59*asyH+2.1332*(moyH)^2 (Équation 3)

En Outaouais, le modèle qui s'est avéré le plus significatif est le modèle établi en fonction des placettes de ¼ ha. Le volume prédit par le modèle se résume ainsi :

Volume (m^3/ha) = 77.96 + 34.00*AsyH+ 0.5855*(moyH)^2 (Équation 4)

Le pouvoir prédictif de ce modèle exprimé par le coéfficient de détermination (**R^2**) est de 0,71. Tout comme pour l'Alberta, les détails pour ce modèle sont présentés à l'annexe 6. Les équations des intervalles de confiances pour la limite supérieure et inférieure sont décrites aux équations 5 et 6 respectivement.

Intervalle de confiance lim. inf. = 109.44+52.81*asyH+0.6985*(moyH)^2 (Équation 5)

Intervalle de confiance lim. sup. = 46.49+15.19*asyH+0.4725*(moyH)^2 (Équation 6)

<u>Conclusion</u>

L'objectif de développer un modèle permettant la prédiction du volume a été atteint. Deux modèles ont résulté de ce projet afin de mieux répondre aux différences rencontrées dans les paysages. Pour mieux prédire le volume selon le type de couvert, une première régression a été développée pour les placettes feuillues de l'Outaouais et une seconde équation a été développée pour la prédiction des placettes mixtes et résineuses pures des territoires aménagés par Millar Western.

Ces modèles de prédictions sont le fruit d'analyses statistiques réalisées avec le MHC développé pour chaque région. Ces modèles ont été établis en extrayant le point le plus élevé à l'intérieur d'un pixel de 1m x 1m. La hauteur des positions entre les points extraits a été modélisée et ne représente donc pas la hauteur réelle de cette position. Dans le cas des résineux, la forme conique de certains résineux rend l'évaluation de la vraie hauteur apicale difficile en raison de la faible surface que représente la pointe de l'arbre (Les chances qu'un faisceau entre en contact avec l'apex de l'arbre sont faibles). Plusieurs autres techniques auraient pu être utilisées au lieu de la sélection du point le plus haut. La moyenne des points les plus hauts ou encore une analyse statistique plus fine de certains points aurait permis de développer un modèle plus adapté à un couvert selon s'il est feuillu, mixte ou résineux.

Le coefficient de détermination du modèle prédictif développé avec les placettes de l'Alberta est de 0,86. Cette évaluation est bonne lorsqu'on la compare à celles trouvées dans la littérature, qui sont très variables selon les différentes études. Pour la forêt résineuse, Popescu et *al.* (2003) arrivent à un R^2 de 0,62 tandis que les modèles de Naesset et *al.*(2004) arrivent des coefficients entre 0,60 et 0,97.

Pour les Placettes de l'Outaouais, 71% de la variation est expliqué par les variables moyennes de la hauteur et l'asymétrie. La littérature est moins abondante pour la prédiction des volumes en forêt feuillue. Van Aardt et *al.*(2006) ont développé certains modèles propres aux forêts feuillues de la Virginie avec un coefficient de détermination variant de 0,58 à 0,62 alors que Popescu et *al.* (2004) ont développé un modèle ayant un R^2 relativement faible de 0,39. Dans ce dernier cas, la faible explication par les variables utilisées est peut-être liée avec la taille de l'unité d'échantillon qui était seulement de 170 m^2. À vrai dire, la présente étude nous porte à croire que l'échelle à laquelle le modèle est réalisé influence la performance de prédiction du volume. Le modèle retenu pour les forêts feuillues de l'Outaouais est celui qui est développé à partir de placettes de 2500m^2 plutôt qu'avec les placettes de 400m^2. La grande variabilité au niveau de la structure et des trouées rencontrées dans un peuplement feuillu nous force à croire qu'il est plus opportun d'utiliser une grandeur de placette plus grande qui capte cette hétérogénéité rencontrée.

Le modèle trouvé pour la forêt feuillue semble prometteur en comparaison avec les modèles développés ultérieurement, d'autant plus qu'il a été développé avec des placettes situées dans divers types de structures et de perturbations. Cette grande variabilité dans l'échantillonnage permet d'établir un modèle plus robuste pouvant expliquer une large gamme de situations rencontrées en Outaouais. Les résultats de ce projet semblent déjà

intéresser certains aménagistes qui voient le potentiel dans un modèle prédictif du volume. Des échanges permettent d'entrevoir des collaborations futures afin de concrétiser l'utilisation des modèles.

Chapitre 2 Comparaison de l'erreur de prédiction du volume déterminé dans les paysages entre un inventaire traditionnel et un modèle développé avec LiDAR

Introduction

L'évaluation du volume sur pied d'une forêt ou d'un peuplement est à la base de plusieurs processus en foresterie. En effet, les inventaires forestiers permettent, entre autres, d'établir les volumes pour le calcul de possibilité forestière, le volume disponible lors des inventaires d'interventions avant et après l'exploitation. On néglige cependant dans bien des cas l'erreur associée aux différents inventaires basés sur les placettes-échantillons. Lors du regroupement de strates cartographiques en strates d'inventaires dans le calcul de la possibilité forestière, l'écart type du volume moyen à l'hectare est calculé mais n'est pas considéré lors des analyses subséquentes. Il n'est pas rare de voir des écarts types représentant 50% de la valeur moyenne. Par exemple, une strate d'inventaire peut avoir un volume de 200 m^3/ha avec un écart type de $\pm$100 m^3/ha.

Pour cette partie de l'analyse, nous avons voulu comparer la méthode traditionnel d'évaluation du stock sur pied basée sur in inventaire de placettes-échantillons stratifié avec une évaluation qui serait effectuée à l'aide de la technologie LiDAR. La comparaison des deux méthodes de prédiction des volumes sur pied permettra d'évaluer la performance du modèle développé au chapitre précédant. Cette analyse est limitée aux paysages de l'Outaouais.

Méthodologie

Cette partie de l'étude est réalisée en deux étapes. La première consiste à évaluer le volume total sur pied de tous les paysages en utilisant le modèle prédictif et l'équation de l'intervalle de confiance développé pour l'Outaouais et la seconde consiste à trouver le volume de ces mêmes paysages selon la méthode des inventaires forestiers telle qu'utilisée par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (OIFQ 1996).

Évaluation du volume et de l'intervalle de confiance à partir du modèle prédictif utilisant le MHC obtenu à partir des données LiDAR

Nous avons déterminé le volume à l'échelle des paysages de 1 km^2 en utilisant le modèle de régression multiple prédictif qui utilise le MHC obtenu à partir des données LiDAR. Pour ce faire, nous avons préalablement divisé chaque paysage en une matrice d'unités équivalent en superficie à 2500m^2, soit la superficie utilisée pour le modèle prédictif (figure 6). Un modèle prédictif doit toujours être utilisé dans le cadre dans lequel il a été développé. On doit donc respecter l'échelle à laquelle le modèle prédictif a été construit. La figure 6 permet de visualiser le quadrillage réalisé afin de déterminer le volume marchand brut total sur pied en mètre cube du paysage en question. Chaque cellule de 50m X 50m contient des pixels de 0,5m X 0,5m avec une donnée de hauteurs. pour chaque cellule, il est possible d'appliquer la formule de régression trouvée au chapitre précédent. Afin d'appliquer le modèle de régression dans chaque cellule, il faut au préalablement calculer les variable indépendantes par cellule, soit les deux paramètres de distribution de fréquence utilisée dans l'équation : la moyenne et l'asymétrie.

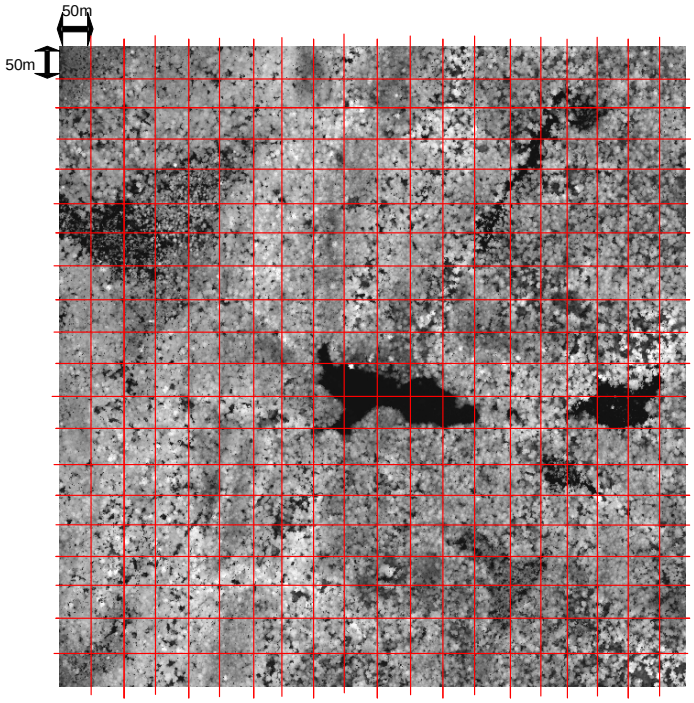


Figure 6. Quadrillage d'un paysage selon des cellules (placettes) de 50m X 50m (2500m^2)

Une fois la moyenne et l'asymétrie calculées par cellule, il ne reste qu'à appliquer les régressions trouvées pour l'Outaouais pour prédire le volume marchand brut et l'intervalle de confiance sur celui de chaque cellule.

La démarche pour évaluer le volume et l'intervalle de confiance à l'échelle du paysage contenant « n » cellules s'inspire de la technique de Monte Carlo (Anonyme 2008). Cette méthode consiste à calculer une valeur numérique en utilisant des techniques probabilistes. Il s'agit plus particulièrement de construire une distribution de probabilités de volume pour un paysage à partir de l'ensemble des cellules. À vrai dire, on peut développer une distribution aléatoire pour un paysage complet en calculant une valeur de volume aléatoire par cellule en se basant sur leur intervalle de confiance. Ce premier tirage au sort réalisé pour toutes les cellules du paysage permet d'identifier une valeur probable de volume pour le paysage complet. En effet, l'addition de chacune des valeurs aléatoire (m^3/ha) par cellule multipliée par la superficie des cellules (ha) permet d'identifier une valeur de volume marchand brut pour le paysage (m^3). Il s'agit ensuite de répéter cette expérience « n » fois afin de créer une distribution normale de volume pour le paysage. Pour ce projet, l'expérience a été reproduite 1000 fois. Finalement, le volume moyen et l'intervalle de

confiance du paysage peuvent être calculés à partir les 1000 réplications obtenues. Le tirage au sort a été réalisé avec les fonctions ALEA et LOI.NORMALE.INVERSE du tabulateur *Excel*[3]©. La première fonction renvoie une valeur aléatoire de 0 à 1 selon une distribution normale qui est introduite dans la deuxième fonction permettant à son tour de trouver une valeur de volume établi en fonction du volume moyen et de l'intervalle de confiance associé à chaque cellule.

Évaluation du volume et de l'intervalle de confiance selon la méthode traditionnelle

La deuxième partie consiste à évaluer le volume des paysages de l'Outaouais selon les inventaires forestiers en utilisant la couche des polygones écoforestiers. Les données d'inventaire forestier des paysages ont été récoltées à l'intérieur des 10 dernières années.

La figure 7 illustre un paysage de 1 km^2 avec la couche écoforestière superposée permettant d'établir le lien entre le peuplement et la strate regroupée à laquelle est associé un volume à l'hectare et un intervalle de confiance. Les regroupements des strates forestières sont réalisés lors des calculs de la possibilité forestière et permettent d'agglomérer plusieurs peuplements semblables sous une même appellation. Elle permet aussi d'augmenter la précision des inventaires en augmentant le nombre de placettes associées à un type de strate. La superficie des lacs et des chemins ont été retranchés des paysages afin que les deux méthodes d'évaluation du volume soient comparables.

[3] Excel est un tableur élaboré et distribué par Microsoft ® office Excel 2003 Copyright © 1985-2003 Microsoft Corporation. Tous droits réservés

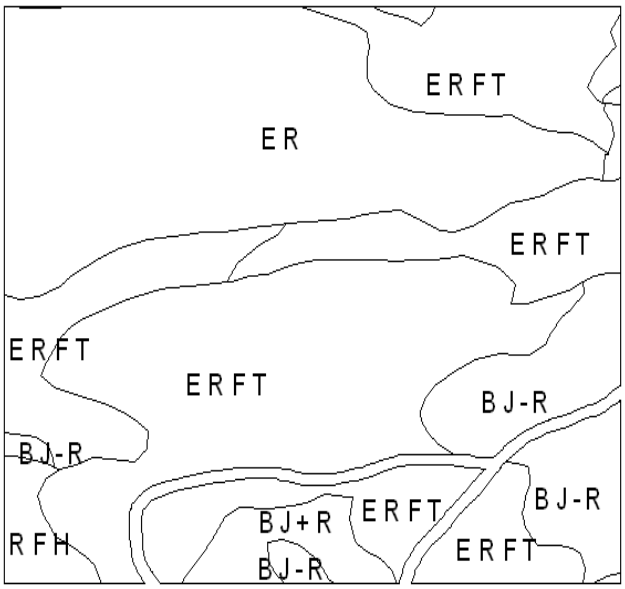


Figure 7. Paysage de 1km^2 avec la délimitation des polygones écoforestiers

La démarche pour évaluer le volume d'un paysage est à quelques détails près identique à celle développée pour le modèle prédictif. Ainsi, la méthode Monte Carlo est une fois de plus utilisée pour développer une distribution de probabilités pour un paysage, pour finalement déterminer son intervalle de confiance.

Le volume et l'intervalle de confiance étant connus pour chacun des polygones, il est possible de refaire le même exercice de tirage au sort selon chaque polygone écoforestier. Les volumes à l'hectare des peuplements ont été multipliés par leur superficie afin d'établir le volume total du paysage. L'expérience a été réalisée 1000 fois, ce qui permet ensuite de calculer le volume moyen et l'intervalle de confiance du paysage étudié.

Résultats et discussion

Les volumes et les intervalles de confiance (I.C.) ont été calculés pour tous les paysages ainsi que la section sud de la Forêt de l'Aigle. Les valeurs des volumes estimées par les deux méthodes sont réalistes (Tableau 1, Figure 8).

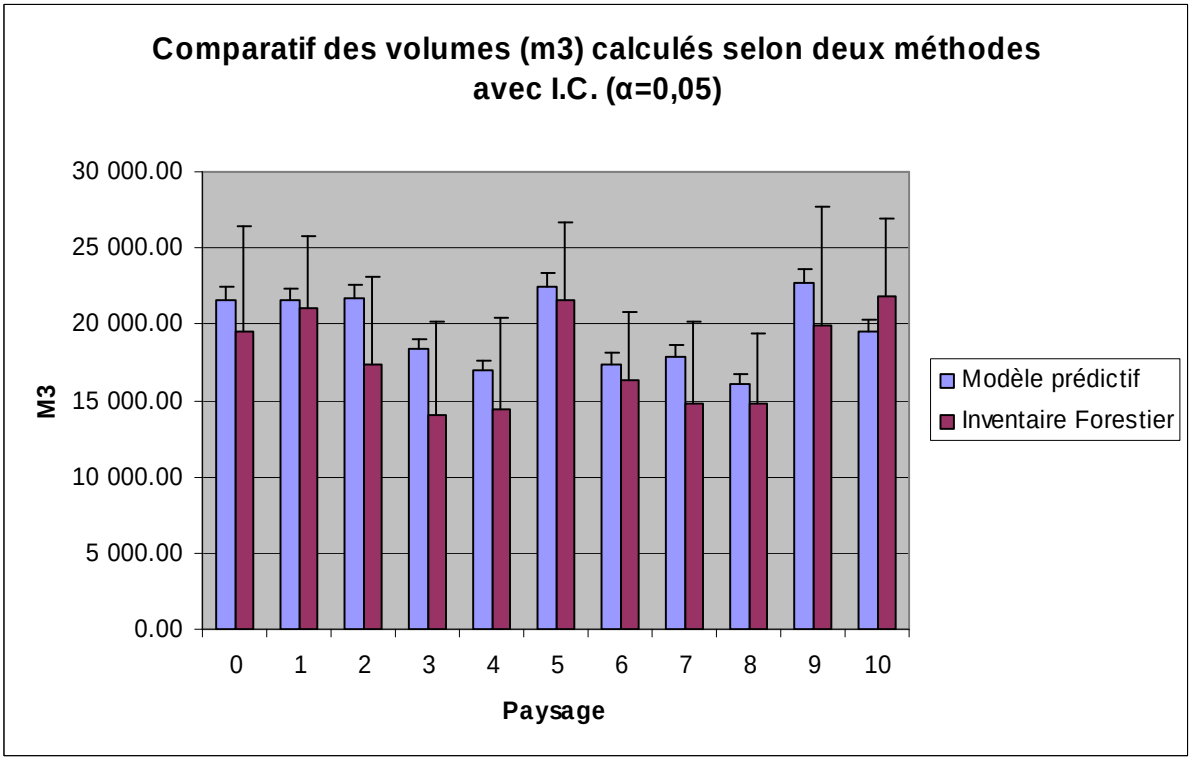


Figure 8. Estimations et intervalles de confiance (α=0.05) du volume sur pied effectuées à l'aide des données LiDAR et à partir des données d'inventaire pour 11 paysages de 100 ha de l'Outaouais.

Tableau 1. Comparatif des volumes par paysage

Paysage	Superficie	Modèle prédictif (LiDAR)		Inventaire forestier	
		Volume total	I.C.	Volume total	I.C.
	ha	m^3	α =0,05	m^3	α=0,05
0	100	21 530	884	19 565	6 862
1	100	21 520	855	21 117	4 609
2	100	21 643	936	17 315	5 744
3	100	18 327	734	14 073	6 107
4	100	17 016	661	14 484	5 917
5	100	22 521	884	21 578	5 167
6	100	17 391	699	16 336	4 536
7	100	17 926	699	14 822	5 381
8	100	16 111	651	14 778	4 687
9	100	22 715	906	19 871	7 816
10	100	19 483	757	21 809	5 079
12 (Forêt de l'Aigle)	3 874	541 684	3 972	613 162	98 467

Avec l'estimation utilisant les données LiDAR, les volumes des paysages varient de 139 à 227 m^3/ha alors que les estimations utilisant la méthode des inventaires varient de 141 à 218 m^3/ha. Les estimations LiDAR sont donc plus étalées.

On observe une très grande similitude entre les estimations des volumes, qu'ils soient calculés avec le modèle prédictif LiDAR ou à partir des inventaires ; on observe une forte corrélation entre les deux séries d'estimations (r=0.78) (Figure 9). Si on considère les intervalles de confiances, on constate que les estimations de volume se chevauchent et cela malgré qu'une différence absolue de 22.4 m^3/ha soit observée entre les deux séries d'estimation; il n'y a donc pas de différence significative lorsque comparée paysage par paysage entre les volumes estimés selon les deux méthodes (α=0.05). Cependant, ce résultat est occasionné par la faible précision sur les estimations de volumes de la méthode par inventaire (grands intervalles de confiance).

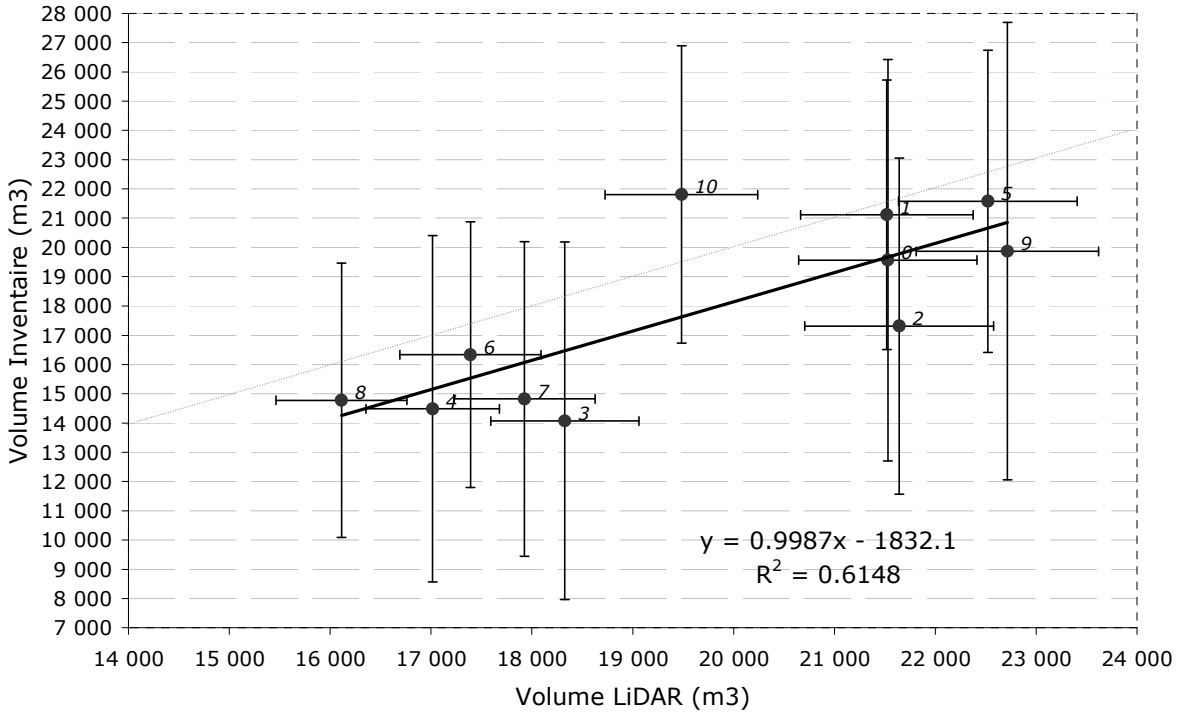


Figure 9. Estimations et intervalles de confiance (α=0.05) du volume sur pied effectuées à l'aide des données LiDAR et à partir des données d'inventaire pour 11 paysages de 100 ha de l'Outaouais. La ligne grise exprime une relation 1 :1 alors que la droite noire présente la relation entre les deux types d'estimation obtenue par régression linéaire.

On remarque aussi, à l'exception des paysages 10 et 12 que les estimations à partir de LiDAR sont plus élevées que celles obtenues à partir des inventaires (tableau 1). En effet, les estimations faites par le LiDAR sont en moyenne de 15.5 m^3/ha plus élevées que celles effectuées par la méthode par inventaire.

Cette différence est peut-être attribuable à l'année de référence des inventaires du MRNF qui ont été réalisés lors du dernier calcul de la possibilité forestière, soit en 2005 (CPF du MRNF). En effet, il est normal que le volume sur pied des inventaires de 2005 ne reflète pas entièrement le volume prédit du modèle en 2007. La conclusion de cette hypothèse serait qu'une portion de l'écart des volumes observé entre les deux méthodes serait attribuable à l'augmentation du stocking des paysages entre 2005 et 2007.

Pour le paysage 10 et 12, l'inventaire date de 2000. Une coupe a été réalisée en 2003, soit entre l'inventaire et la prédiction du volume actuel en 2007. Le territoire évalué à la Forêt de l'Aigle (Paysage 12) a lui aussi un volume supérieur selon les inventaires. Cette différence est peut-être aussi liée aux coupes forestières réalisées entre 2000 et 2007 qui auraient diminuées le capital sur pied.

Dans le cas de la Forêt l'Aigle, on aurait pu penser que le modèle prédictif LiDAR sous-évalue le volume du pin blanc (*Pinus strobus*), essence largement présente sur ce territoire. Cependant, en observant les résidus des placettes de pins (*PIN*) à la figure 5, on ne remarque pas de biais sur le volume des placettes dans ces peuplements. Cette hypothèse n'est donc pas supportée par nos résultats.

La grande surprise, lors de la comparaison des deux modèles, est la comparaison des deux I.C. À vrai dire, l'I.C. du modèle prédictif est en moyenne neuf (9) fois moins élevé que celui de la méthode traditionnelle selon les inventaires forestiers. L'estimation des volumes en utilisant les données LiDAR est beaucoup plus précise que la méthode utilisée actuellement. Présentement, selon la méthode utilisée pour déterminer le volume sur pied en forêt, l'I.C. représentent entre 16% et 43 % (moyenne de 31%) de l'estimation du volume moyen alors les I.C. obtenus à partir du LiDAR varie de 0.7% à 4.3% du volume estimé (moyenne de 3.7%). Ainsi, sur les 11 paysages de 100 ha, avec le LiDAR, on constate que plusieurs paysages se distinguent significativement sur la base de l'estimation de leur capital sur pied alors que seulement 3 groupes de paysages se distinguent lorsque la méthode d'inventaire est utilisée (Figure 10).

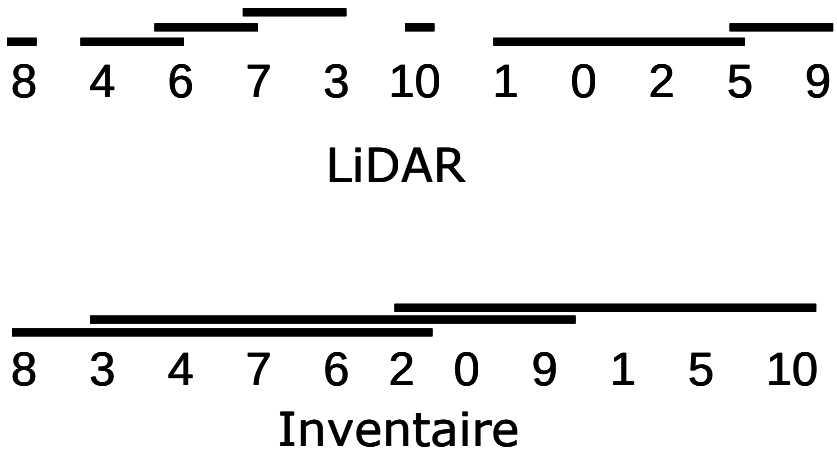


Figure 10. Diagramme présentant les paysages significativement différents dans leurs estimations de volume marchand brut sur pied selon la méthode utilisant le modèle prédictif LiDAR et celle des inventaires pour 11 paysages de 100 ha dans l'Outaouais. Les paysages sont classés en ordre croissant de leur estimation en volume marchand brut sur pied.

La méthodologie utilisant le LiDAR est donc beaucoup plus sensible. Plusieurs éléments concourent à expliquer ce résultat. Premièrement, bien que le LiDAR soit aussi une estimation statistique, celle-ci est exprimée à une échelle beaucoup plus petite que l'estimation faite par inventaire. En effet, l'échelle d'expression du LiDAR est effectuée à ¼ ha alors que celle pour la méthode d'estimation par inventaire utilise la strate pour caractériser chaque peuplement. Or une strate représente souvent plusieurs centaines voir des milliers d'hectares et comportent souvent que très peu de placettes-échantillons pour représenter cette superficie.

Un autre élément vient du fait que la forêt feuillue est caractérisée par une très forte hétérogénéité spatiale. En effet, des changements compositionnels et structuraux importants peuvent apparaître à toutes les centaines de mètres. Conséquemment, une approche par inventaire ne capture qu'une infime partie de cette hétérogénéité alors que le LiDAR, en couvrant la totalité du territoire, peut s'ajuster à ces variations.

L'approche par inventaire capture aussi difficilement les ouvertures produites par les infrastructures d'extraction tels les chemins de débardages et le réseau routier. Avec cette approche, une réduction approximative est effectuée en fonction du type et de la quantité d'ouvertures connus. De plus, la classification des perturbations partielles est souvent très grossières (2-4 classes). Par exemple, après un chablis partiel, si celui-ci est identifié, il sera grossièrement cartographié et une classe de 25% de réduction de couvert lui sera associée. Avec l'approche du LiDAR, toutes les ouvertures du couvert sont incluses et quantifiées précisément par le modèle.

Implications pour l'aménagement

L'incertitude reliée au capital sur pied a des conséquences importantes sur la planification et les opérations forestières. Si par exemple, un aménagiste estime le volume disponible à partir de la méthode par inventaire pour une coupe totale d'un chantier à 20000 m^3, il doit s'attendre à ce que ce volume varie entre 26200 m^3 et 13800 m^3 avec I.C. représentant 31 % de la valeur estimée. Plusieurs dépenses sont directement proportionnelles au volume de bois récolté. Les coûts de construction et d'entretien des chemins peuvent facilement atteindre 10$/$m^3$, mais si le volume récolté représente 69% du volume prévu (comme dans l'exemple précédent), ces coûts grimpent à 13,10$/$m^3$! Dans le dernier cas, comme la marge bénéficiaire est souvent de l'ordre de quelques $/$m^3$, le budget planifié pour la récolte risque d'être dépassé en raison du faible volume disponible.

Or, si on se fie au modèle prédictif qui calcule le volume à partir des données LiDAR, cette incertitude reliée au volume diminuerait à environ 3,5 % de la valeur prédite. Dans l'exemple ci-haut, l'aménagiste pourrait prévoir un volume estimé plus précis se situant entre 20800 et 19200 m^3. L'incertitude des coûts de construction des chemins se situerait entre 9,65 et 10,35$/$m^3$. Cette variation est donc beaucoup plus acceptable.

De plus, comme le grain de la prédiction se fait à l'échelle du ¼ d'hectare, il est donc possible de raffiner spatialement sa planification. On passe donc à une planification d'une SYLVICULTURE FINE. On peut ainsi, par exemple, développer une stratification forestière indépendante des polygones écoforestiers en se fiant à des regroupements basés sur l'uniformité des volumes prédits. Ce type de regroupement permettrait une attribution d'un traitement sylvicole plus approprié à l'échelle du ¼ d'hectare.

De plus, une meilleur connaissance de la répartition spatiale fine du capital sur pied peut permettre aussi afin de mieux remembrer les unités opérationnelles afin qu'elles soient agglomérés à des « strates » voisines plus grandes et ainsi limité les coûts associés à la fragmentation opérationnelle qui est fréquemment observée en forêt feuillue.

D'autres avantages au point de vue des opérations sur le terrain sont aussi envisageables en regard au modèle numérique de terrain produit avec l'information LiDAR. Présentement, la plupart des modèles numériques de terrain sont développés à partir des courbes de niveaux provenant des cartes numérisées du ministère des Ressources naturelles du Canada. La précision de ces modèles est insuffisante pour une planification réaliste du réseau routier. Le modèle généré avec les données LiDAR offre une précision de beaucoup supérieure. Avec

une telle précision, la planification des chemins théoriques se rapproche beaucoup plus de la réalité terrain.

Cette même logique peut s'appliquer sur la planification des sentiers de débardage d'un secteur d'intervention. On pourrait même imaginer une planification des sentiers basée à la fois sur le modèle numérique de terrain et sur la couverture des volumes au ¼ d'hectare. Ces quelques exemples sur l'utilité des résultats de ce projet démontrent une infime partie du potentiel qu'ouvre cette nouvelle technologie.

Conclusion

Nos travaux nous ont permis de développer une approche numérique basée sur les données obtenues à partir d'un capteur LiDAR visant à évaluer le volume marchand brut sur pied. Ce projet qui s'est déroulé en deux phases a permis de développer deux modèles permettant de prédire le volume de différents types de structures rencontrés dans la forêt feuillue de l'Outaouais et dans la forêt mixte et résineuse du territoire aménagé par Millar Western Forest Product en Alberta. En second lieu, le modèle développé pour les forêts de l'Outaouais a permis d'établir pour 12 paysages, une comparaison entre deux méthodes de calcul du capital sur pied. La précision des estimations a été évaluée en comparant les intervalles de confiance du capital sur pied obtenue par chacune des deux méthodes. L'analyse comparative de la précision de l'estimation des volumes entre l'approche développée ici et l'approche traditionnelle qui utilise les inventaires forestiers nous a démontré que l'estimation à partir du modèle prédictif basée sur les données LiDAR est environ neuf fois plus précise que celle calculée à l'aide des inventaires forestiers. Ce résultat est à la fois surprenant et très encourageant car il permet de réduire considérablement l'incertitude liée aux activités forestières selon les différentes échelles de la planification. De la préparation du PGAF avec le calcul de la possibilité forestière à la planification des opérations terrains, les avantages d'avoir un modèle LiDAR ainsi que les différentes composantes si rattachant (le modèle numérique de terrain et le modèle de la hauteur de la canopée) sont énormes quant à la réduction de l'incertitude liée à chaque étape. Ces résultats sont très prometteurs en regard à l'avenir de la caractérisation des stocks sur pied de nos forêts et la planification des opérations forestières.

Une prochaine phase est prévue à ce projet en lien avec l'utilisation des données LiDAR. En effet, une analyse des points de retours secondaires sera réalisée afin d'étudier la dynamique sous couvert des mêmes placettes utilisées dans ce projet. Cette étude

permettra d'identifier les différents types de structure interne retrouvés dans les forêts feuillues et ainsi mieux comprendre l'évolution de la régénération.

Littérature citée

Adams, D. M. et A. R. Ek. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. Canadian journal of Forest Research 4:274-287.

Arbogast, C. Jr. 1957. Marking guides for northern hardwoods under the selection system. USDA For. Serv. Lake States For. Exp. Stn., Paper 56, 20p.

Bédard, S. et Z. Majcen. 2003. Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods. Forestry Chronicle 79:898-905.

Blanchette, M., R. Gagnon, A. Gingras, J. Gossellin, G. Lesage, Guy Lessard, C. Picard et D. Pin. 2004. Une démarche pour déterminer les caractéristiques des forêts aptes au jardinage. Comité sur les forêts aptes au jardinage. Rapport présenté au Comité permanent sur le Manuel d'Aménagement Forestier. 17p.

Buongiorno, J. et B. R. Michie. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. Forest Science 4:609-625.

Canham, C. D., M. J. Papaik, M. Uriarte, W. H. McWilliams, J. C. Jenkins, and M. J. Twery. 2006. Neighborhood Analyses of Canopy Tree Competition along Environmental Gradients in New England Forests. Ecological Applications.

Carson, W.W., H.-E. Anderson, S.E. Reutebuch, R.J. McGaughey. 2004. Lidar Applications in Forestry – An Overview. ASPR Annual Conference Proceeding. Denver. Colorado. 9 p.

Doyon, F. et P. Nolet. 2007. Application de la sylviculture irrégulière aux peuplements feuillus jugés inaptes au jardinage et prédiction du rendement par la modélisation. Rapport d'étape. Deuxième Année 2006-2007.96 p.

Doyon, F. et D. Gravel. 2003. L'envahissement par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier? Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique, 20p.

Doyon, F. et S. Sougavinski. 2002. Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la forêt feuillue du Nord-Est de l'Amérique du Nord. Rapport de l'IQAFF. Synthèse remise à la Direction de l'environnement, Ministère des ressources naturelles. 116 p.

Duchesne, L., Ouimet, R. et Houle, D. 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. J. Environ.Qual., 31: 1676-1683.

Duchesne, L., Ouimet, R., Moore, J.-D. et Paquin, R. (Sous presse). Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple dicline in Québec, Canada. Forest Ecology and Management 208:223-236.

Erickson, M. D., D. D. Reed et G. D. Mroz. 1990. Stand development and economic analysis of alternative cutting methods in northern hardwoods: 32-years results. Northern journal of Applied Forestry 7:153-158.

Erickson, M. D. et D. D. Reed. 1992. Silvicultural influence on heartwood discoloration in sugar maple. Northern journal of Applied Forestry 9:27-29.

Ernst, R. L. et S. L. Stout. 1991. Computerized algorithms for partial cuts. *Pages* 132-147 *in* Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference.

Jan, A.N., V. Aardt, R.H. Wynne, R.G. Oderwald. 2006. Forest and Biomass Estimation Using Small-Footprint Lidar-Distributional Parameters on a Per-Segment Basis. Forest science. 52(6)

Gadallah, F. 2007. Multi-scale high-precision remote sensing information processing system for sustainable forest management at an individual tree level: Technical Report to CGFA. Rapport technique. CGFA. 17 p.

Hopkinson, C. 2007. Gatineau LiDAR survey data report. Applied Geomatics Research Group.Centre of Geographic Sciences.NSCC Annapolis Valley Campus. 8 p.

Hornbeck, J.W. et W. B. Leak. 1992. Ecology and management of northern hardwood forests in New England. USDA For. Serv. Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-159. 43 p.

Kaya, I. et J. Buongiorno. A harvesting guide for uneven-aged northern hardwood stands. Northern journal of Applied Forestry 6:9-14.

Keyfitz, N. 1968. Introduction to mathematics of population. Addison-Weasley, Reading, MA. 450 p.

Leak, W. B. 1996. Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods. Forest science 42(2):161-165.

Lessard, G., G. Van der Kelen, P, Gauthier, F. Guillemette, M. Fortin, E. Morin, D.Blouin et H. Lapierre, 2005. *Détermination des paramètres des forêts aptes au régime du jardinage (phase I).* Rapport 2005-04, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie, Sainte-Foy, 156 p.

LIFE. 2004. Développement d'une gestion durable des futaies irrégulières feuillues en Franche-Comté. CD-ROM. Office Nationale des Forêts, France.

Majcen, Z. 1994. Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec. Rev. For. Fr. XLVI: 375-384.

Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1990. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide Technique. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources (Forêts), Direction de la Recherche Forestière et du développement. Service de la recherche appliquée. Mémoire n° 96. 96 p.

Mason, B, G. Kerr et J. Simpson. 1999. What is Continuous Cover Forestry? Forestry Commission, Information Note, October 1999.

Miller, G. W. et H. C. Smith. 1991. Comparing partial cutting practices in Central Appalachian hardwoods. *Pages* 105-119 *in* Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference.

MRNQ 2002a. Effets réels en forêt feuillue. Document interne du MRNQ.

Næsset, E., T. Gobakken, J. Holmgren, H. Hyyppä, J. hyyppä,m. maltamo, M. Nilsson, H. Olsson, Å.S. Persson et U.S. derman. 2004. Laser Scanning of Forest Resources: The Nordic Experience. Scandinavian Journal of Forest Research. Vol 19. p.1-18,

Niese, J. N., T. F. Strong et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. II. Economic evaluation. Canadian Journal of Forest Research 25: 1180-1188.

O'Hara, K. L. 2002. The historical development of uneven-aged silviculture in north America. Forestry 75(4):339-346.

OIFQ, 1996. Manuel de foresterie, Les Presses de l'Université Laval, Ordre des ingénieurs

forestiers du Québec. 1428 p.

Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. Forest Ecology and Management 132:259-279.

Pommerening, A. et S.T. Murphy. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. Forestry 77(1):27-44.

Popescu S.C., R.H. Wynne, et R. F. Nelson. 2003. Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass,Canadian. Journal of Remote Sensing, Vol. 29, No. 5, pp. 564–577,

Popescu, S.C.,R.H. Wynne, and J.A. Scrivani. 2004. Fusion of Small-Footprint Lidar and Multispectral Data to Estimate Plot-Level Volume and Biomass in Deciduous and Pine Forests in Virginia, USA.Forest Science*. 50(4).*

Sabbagh, P., P. Nolet, F. Doyon, J-F. Talbot. 2002. Classification et caractérisation des forêts dégradées de l'Outaouais. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique. 112 p.

Schütz, J. P. 1990. Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 243 p.

Schütz, J. P. 1997. Sylviculture 2: La Gestion des forêts irrégulières et mélangées. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 178 p.

Schütz, J. P. 2002. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. Forestry 75(4):329-337.

Sims, D. H. 1992. The two-aged stand. A management alternative. USDA For. Serv. Cooperative Forestry. Technology Update. Southern region. Management Bulletin R8-MB 61. 2 p.

Smith, H. C. 1978. An evaluation of four uneven-age cutting practices in Central Appalachian hardwoods. Southern Journal of Applied Forestry 6:193-200.

Strong, T. F., J. N. Niese et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. I. Tree quality. Canadian Journal of Forest Research 25: 1173-1179.

van Aardt, J.A.N., R.H. Wynne, et R.G. Oderwald. 2006. Forest Volume and Biomass Estimation Using Small-Footprint Lidar-Distributional Parameters on a Per-Segment Basis. Forest Science. Vol. 52. 6 p.

Van Damme, M. 1999. Typologie des peuplements feuillus irréguliers de Franche-Comté. Document scientifique de la Société Forestière de Franche-Comté.

Wiemann, M. C., T. M. Schuler et J. E. Baumgras. 2004. Effects of uneven-aged and diameter-limit management on West Virginia tree and wood quality. USDA For. Serv. Forest Products Laboratory, Reaserch Paper FPL-RP-621. Madison, WI. 16 p.

Anonyme. 2008. http://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method . Site internet visité le 25 mars 2008.

Annexes

Annexe 1. Liste et description des paysages Balayés de l'Outaouais

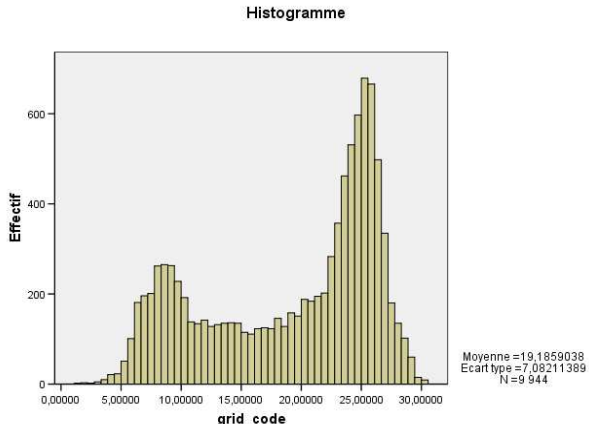
Numéro de paysage	Nom	Aménagement forestier	Aménagement forestier
0	Pourvoirie Lauzon	Réserve Écologique Lac la Blanche	Aucun
1	Lac Rowan	EFE	Aucun
2	Patsy	Réserve Écologique Lac la Blanche	Aucun
3	Lac de l'Argile	UAF 07251	CJ récentes
4	Lac en Croissant	UAF 07251	CP anciennes
5	Rivière du Sourd	UAF 07251	CJ récentes
6	Lac Clair	UAF 07251	CP anciennes
7	Lac du Cerf sud	UAF 06402	Aucun (Origine Feu)
8	Lac du Cerf nord	UAF 06402	Aucun (Origine Feu)
9	Parc de la Gatineau	Parc de la Gatineau	Aucun
10	Forêt Gatineau	Forêt Gatineau	CJ récentes 2003

Annexe 2. Graphiques des fréquences des points selon les classes d'hauteurs

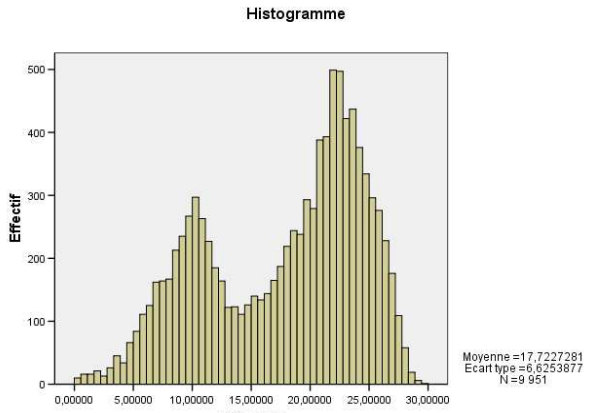
Paysage 0 forêt ancienne Réserve écologique Lablanche

Le paysage 0 est représenté par une structure bi-étagée très représentative des forêts feuillues tolérantes anciennes. L'étage inférieur se situe entre 7 et 13 m tandis que l'étage dominant se situe entre 22 et 25 m. La fréquence très élevée de l'étage dominant est typique des forêts anciennes en comparaison avec les forêts aménagées.

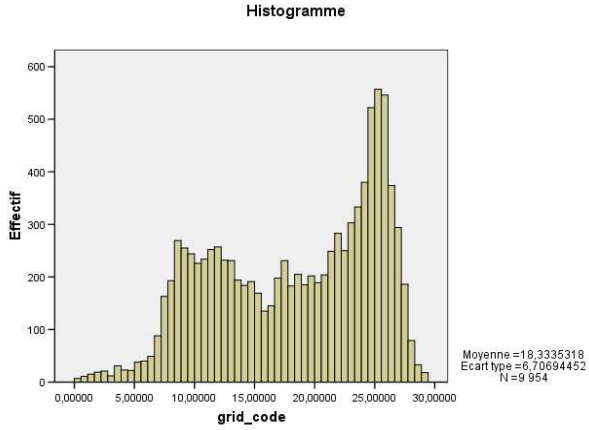
Placette 1:



Placette 2:



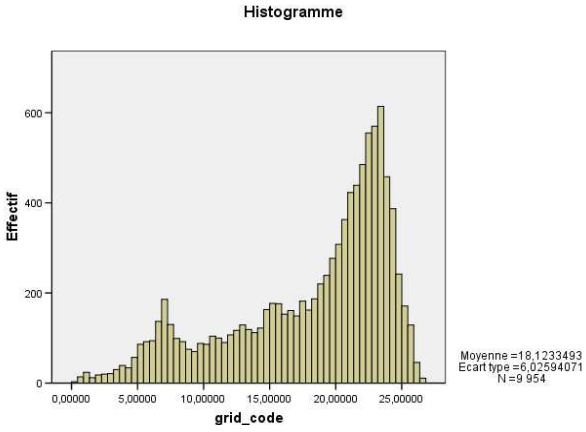
Placette 3:



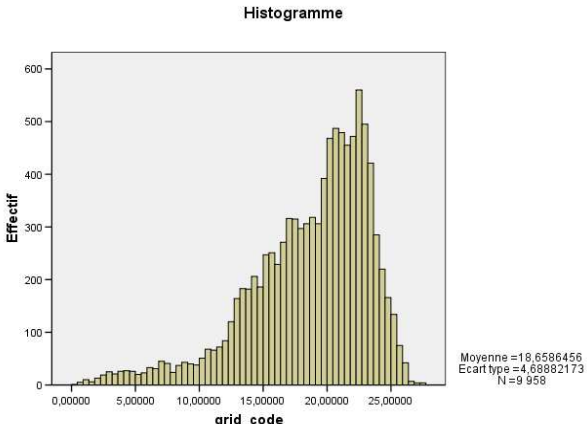
Paysage 1 forêt ancienne (classée écosystème forestier exceptionnel)

À l'exception de la placette 2, on remarque la structure bimodale de la hauteur du MHC. La dominance de l'étage supérieur (20 à 25 m) est très marquée pour les deux premières placettes tout comme le paysage 0. La placette 3 est dominée par l'étage inférieur d'environ 8m. Cette prolifération des perches est peut-être due à l'ouverture plus marquée de la canopée en raison de la mortalité des tiges dominantes.

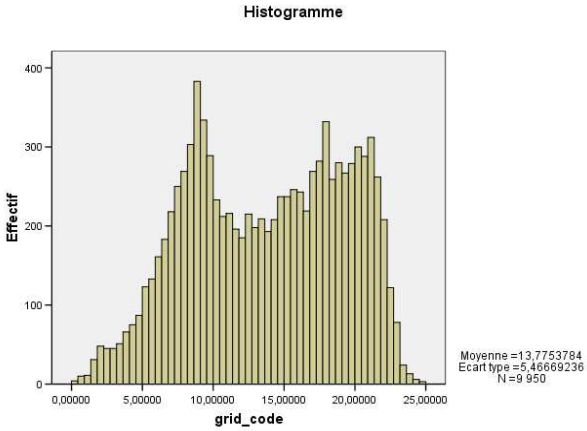
Placette 1:



Placette 2:



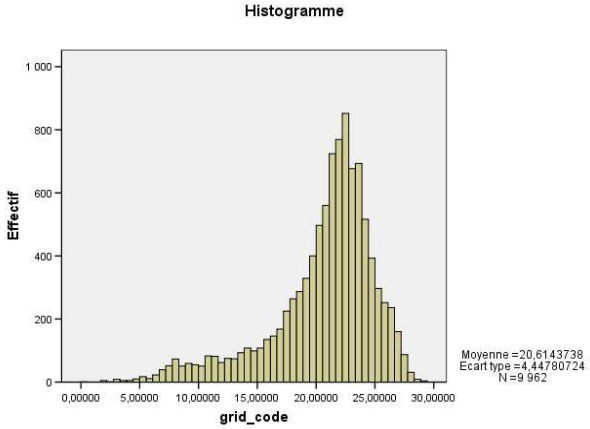
Placette 3:



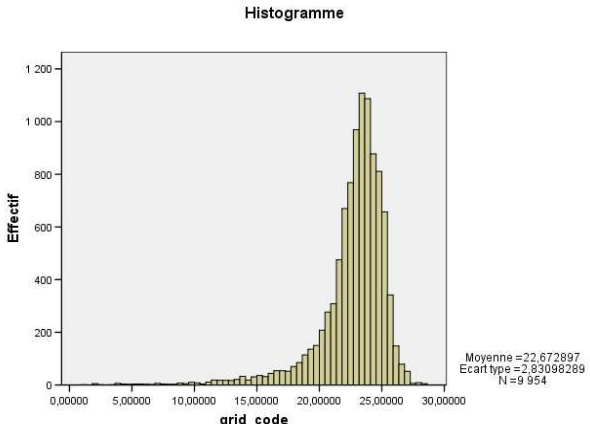
Paysage 2 forêt ancienne Réserve écologique Lablanche

Contrairement aux deux autres paysages, les graphiques de fréquence présentent une structure modale. On peut percevoir une structure qui se rapproche d'un mode équien avec une seule cohorte. Encore une fois, la dominance des placettes est marquée par de fortes hauteurs soit environ 22m.

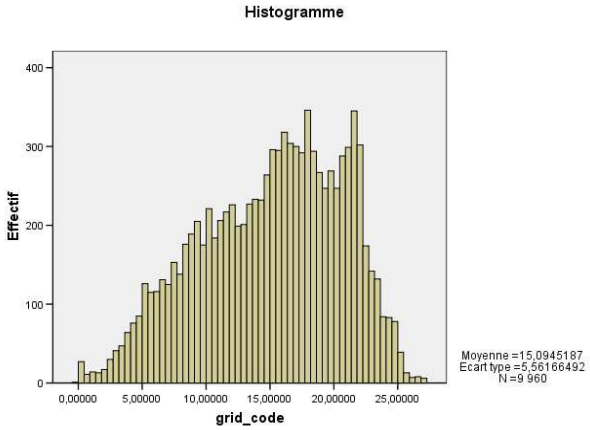
Placette 1:



Placette 2:



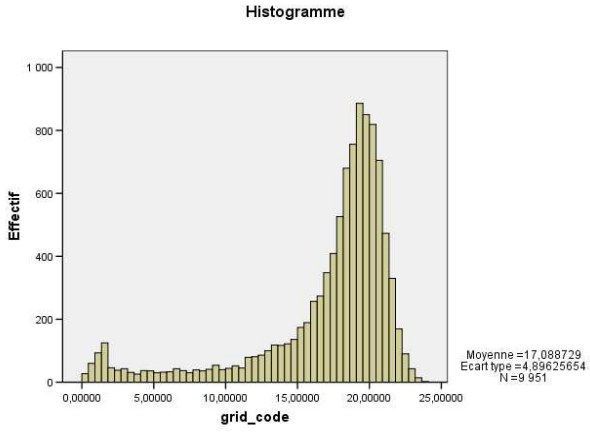
Placette 3:



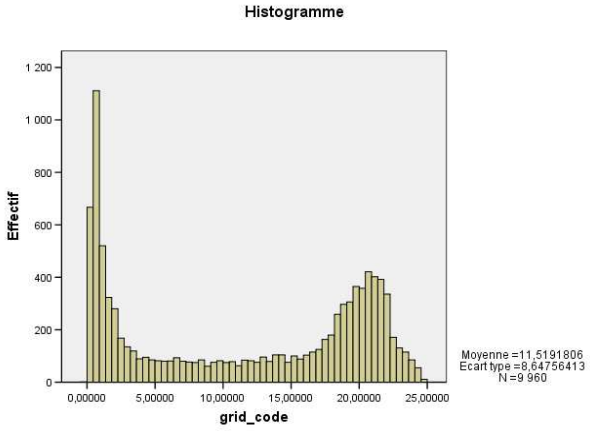
Paysage 3 forêt récemment aménagée (2003)

Tout comme les forêts anciennes, on retrouve une structure de la fréquence des hauteurs de forme bimodale. Cependant, on assiste à un affaissement de l'étage dominant vers l'étage inférieur. La fréquence de l'étage inférieur dans le cas des placettes 2 et 3 semble être plus élevée que dans les paysages non aménagé. On peut imaginer qu'une telle situation s'est produite en récoltant une plus grande proportion de grosses tiges. Les grandes ouvertures auraient laissé plus de lumière pour la régénération qui en aurait profité.

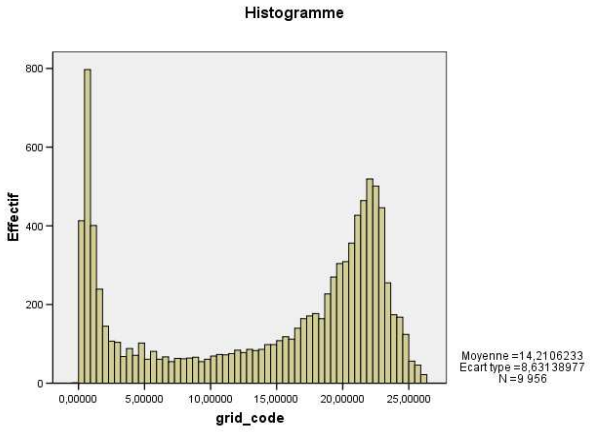
Placette 1:



Placette 2:



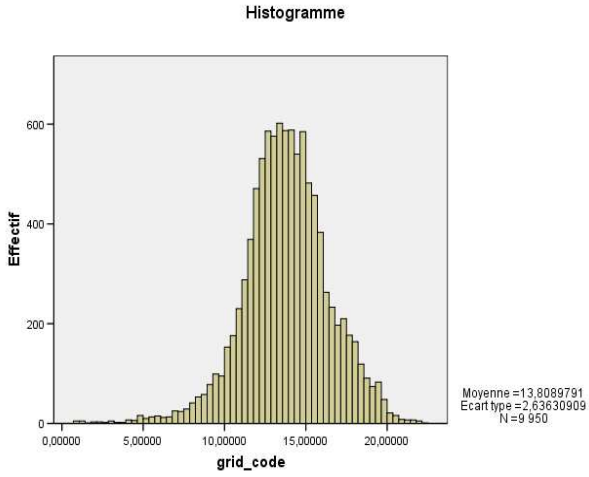
Placette 3:



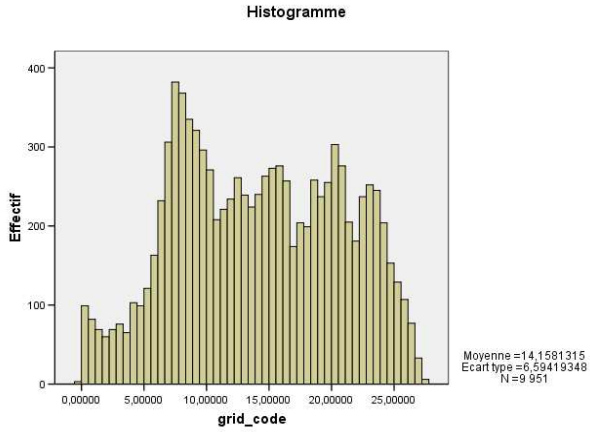
Paysage 4 forêt aménagée

Ce paysage est probablement le plus diversifié de tous les paysages balayés. La placette 1 est de forme modale et provient d'une coupe à diamètre limite qui a rendu sa structure équienne. La deuxième placette ne possède pas un étage dominant. On perçoit cependant une cohorte aux alentours de 7 m. La dernière placette se rapproche plus d'une forêt ancienne avec une structure bi-étagée. Cependant la hauteur moyenne de l'étage dominant semble plus faible qu'une forêt ancienne, soit d'environ 20 m. Cette diversité dans la fréquence de hauteurs des peuplements traités démontre bien que les traitements sylvicoles ne reproduisent pas le même patron observé dans les peuplements anciens.

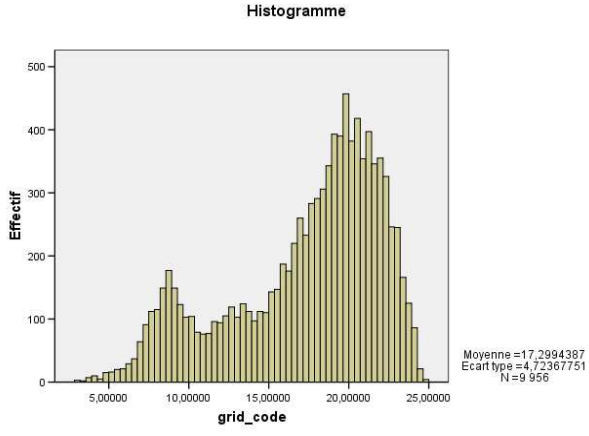
Placette 1:



Placette 2:



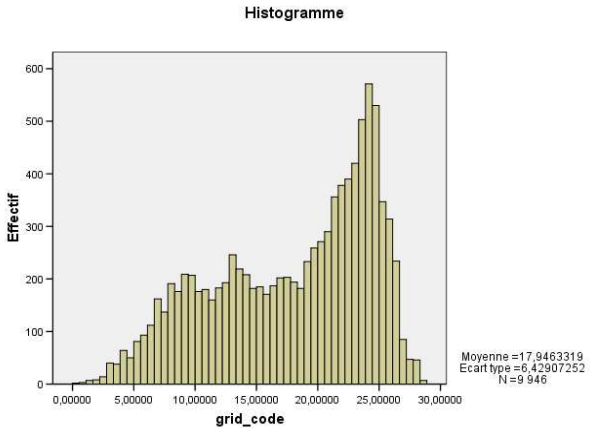
Placette 4:



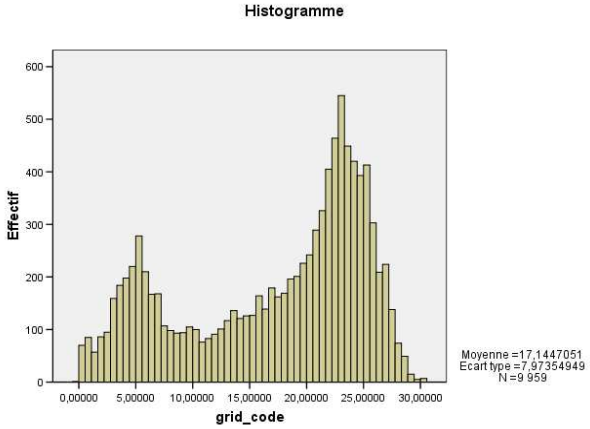
Paysage 5 forêt aménagée

Ce paysage aménagé semble se rapprocher un peu plus des forêts anciennes observées. La placette 2 est assez typique des peuplements bi-étagés observés et l'étage supérieur reste élevé malgré la coupe jardinatoire. La placette 3 est modale tout comme le paysage 2 et possède un étage supérieur semblable aux forêts plus vieilles. La placette 1, quant à elle, possède un étage dominant, mais la fréquence des hauteurs inférieures est bien représentée peu importe la classe.

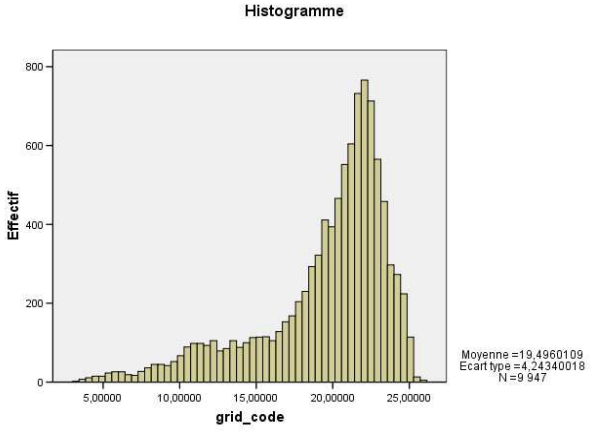
Placette 1:



Placette 2:



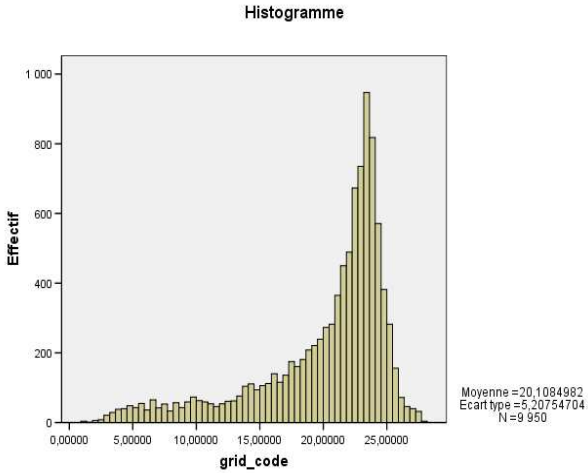
Placette 3:



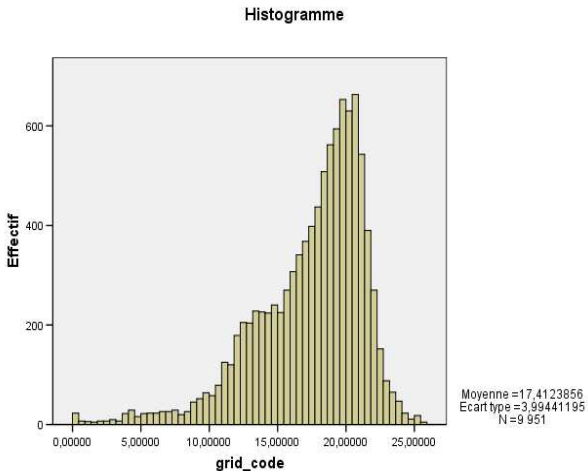
Paysage 6 forêt aménagée

La structure mono cohorte très perceptible de ce paysage semble démontrer une structure équienne. Dans les deux premier cas, elles ont la structure de fréquence semblable aux placettes rencontrées dans le paysage 2. La hauteur moyenne de la placette 3 semble toutefois plus basse que les autres placettes.

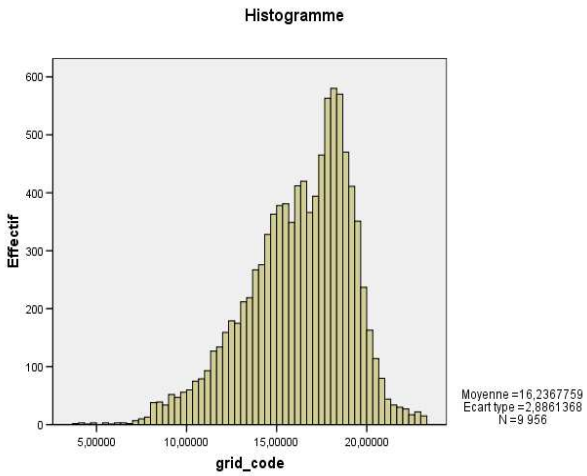
Placette 1:



Placette 2:



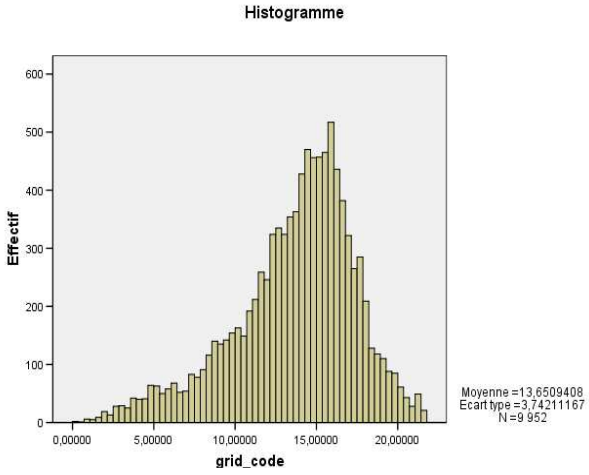
Placette 3:



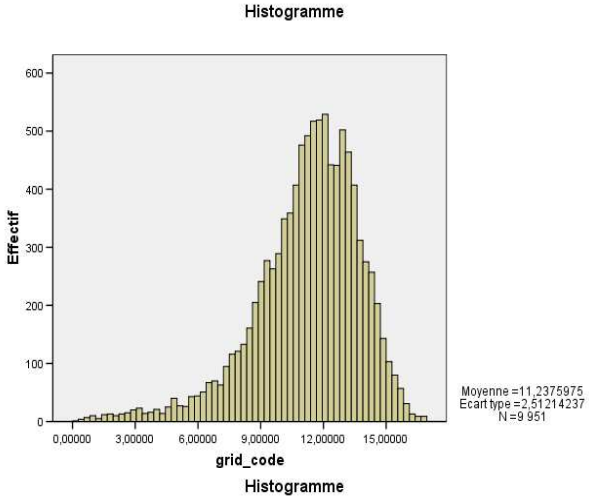
Paysage 7 forêt issue d'un feu

Les paysages 7 et 8 ont comme perturbation originale un feu sévère. On remarque facilement que ces deux paysages ont des structures modales où un étage domine. La dominance des feuillus intolérants selon une cohorte démontre le passage du feu qui a laissé une structure équienne très perceptible lors des visites terrains. L'ensemble des placettes de ces deux paysages ont une hauteur dominante très semblable. Cette hauteur d'environ 15 m permet de croire que les incendies ont brulé les peuplements dans la même période.

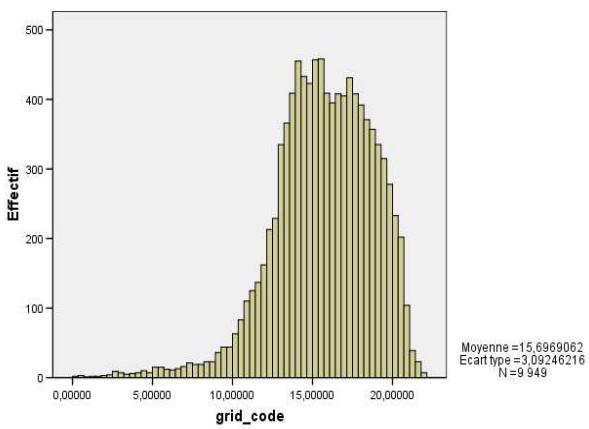
Placette 1:



Placette 2:



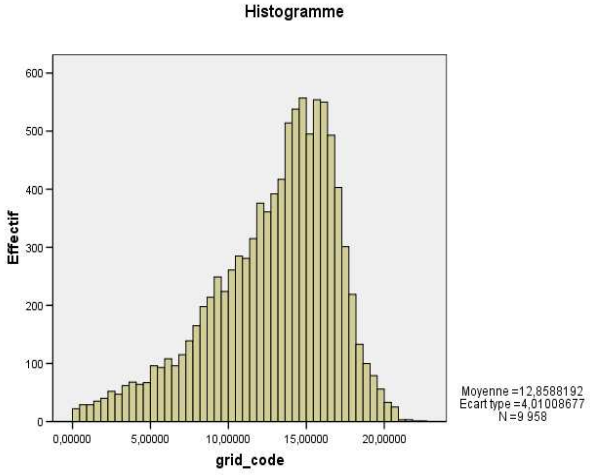
Placette 3:



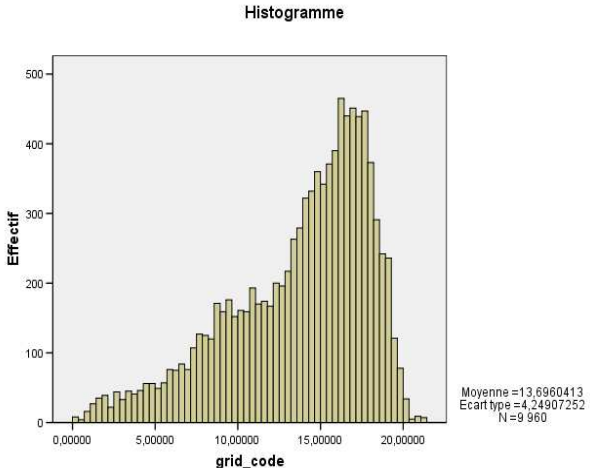
Paysage 8 forêt issue d'un feu

Voir la description ci-haut au paysage 7

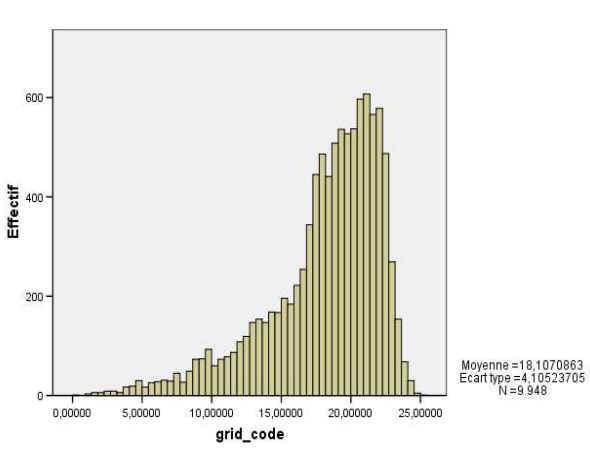
Placette 1:



Placette 2:



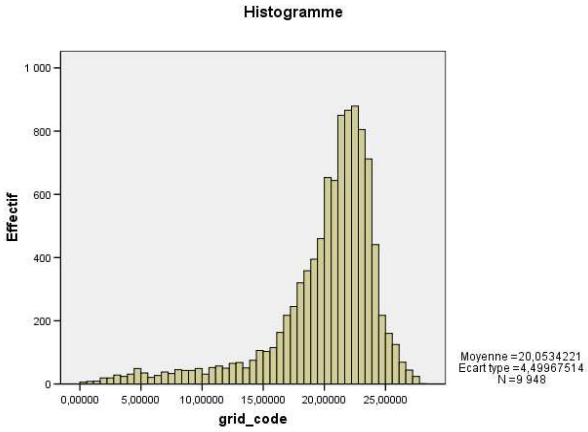
Placette 3:



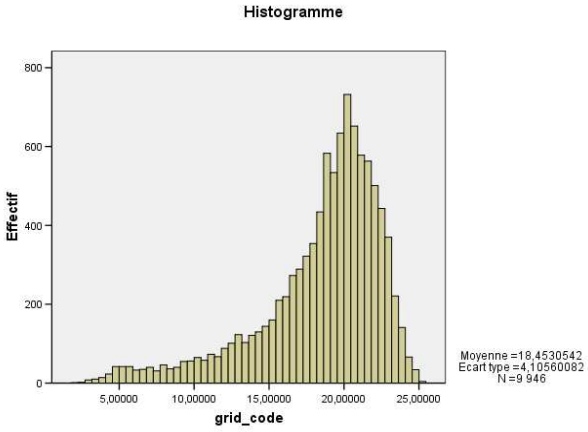
Paysage 9 Forêt du Parc de la Gatineau

Ces forêts ont déjà fait l'objet de coupe au début du XX ième siècle, mais depuis la fondation du parc, le territoire est resté relativement intact. Cette longue période sans intervention forestière a permis le développement d'une forêt semblable aux forêts anciennes. En effet, le paysage 9 a les mêmes caractéristiques que le paysage 2 avec une structure modale et une hauteur moyenne de 20 m.

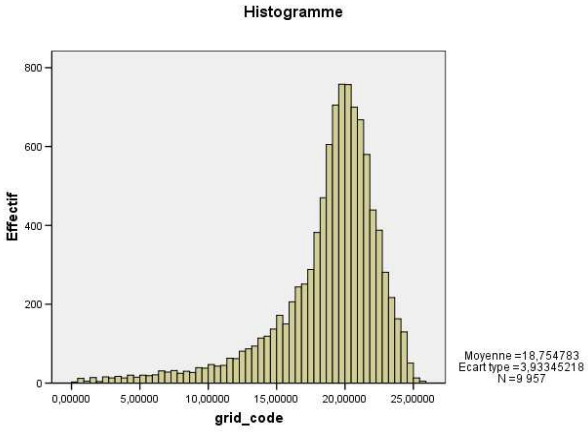
Placette 1:



Placette 2:



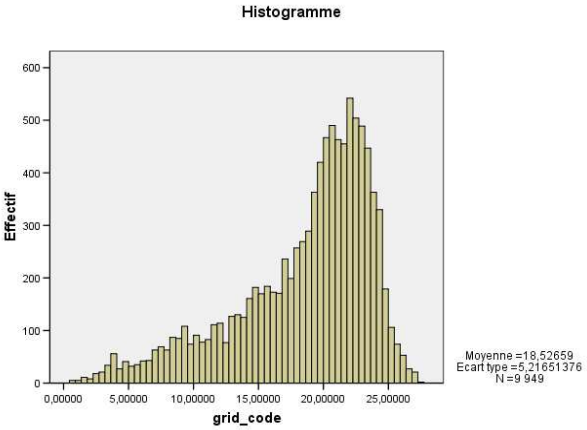
Placette 3:



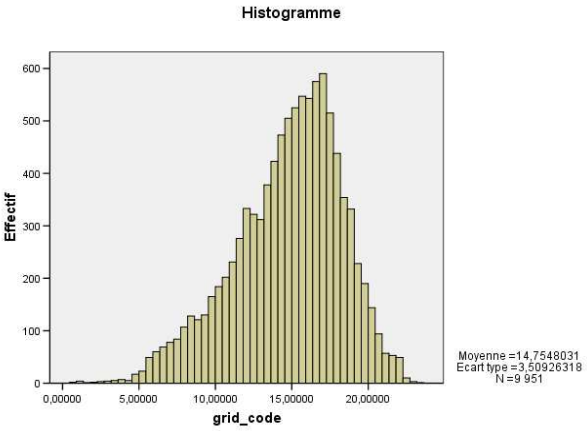
Paysage 10 forêt Gatineau

Le dernier paysage fait partie des TPI de la MRC des Collines-de-l'Outaouais. Ce paysage a été récemment exploité en coupe jardinatoire. Ce paysage détient certaines caractéristiques semblables au paysage 7 sans toutefois être de la même provenance. Un seul étage est présent dans chaque placette et la hauteur moyenne varie autour de 15 m. La faible hauteur moyenne du paysage est probablement due à une coupe qui favorise la sélection des tiges de gros diamètre qui sont associées à une hauteur plus élevée.

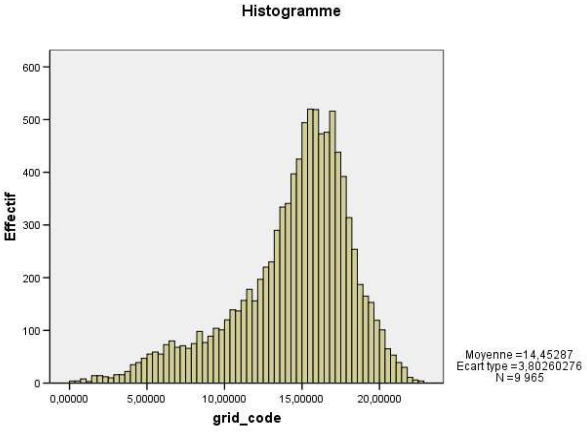
Placette 1:



Placette 2:



Placette 3:



Annexe 3. Analyse et graphiques des corrélations entre les variables indépendantes (statistiques descriptives des pixels par placette) et la variable dépendante (volume m^3 brut) pour les placettes de ¼ ha (2500m^2).

Correlation Report

Page/Date/Time	1 2008-06-23 16:26:40
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	type="quart" and Paysage<>"MW"

Pearson Correlations Section (Pair-Wise Deletion)

	Volume	N	Moyenne	Err_std_moy	moy_car	Mediane
Volume	1.000000	-0.209416	0.788116	0.285042	0.791422	0.747918
	0.000000	0.153140	0.000000	0.049562	0.000000	0.000000
	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000

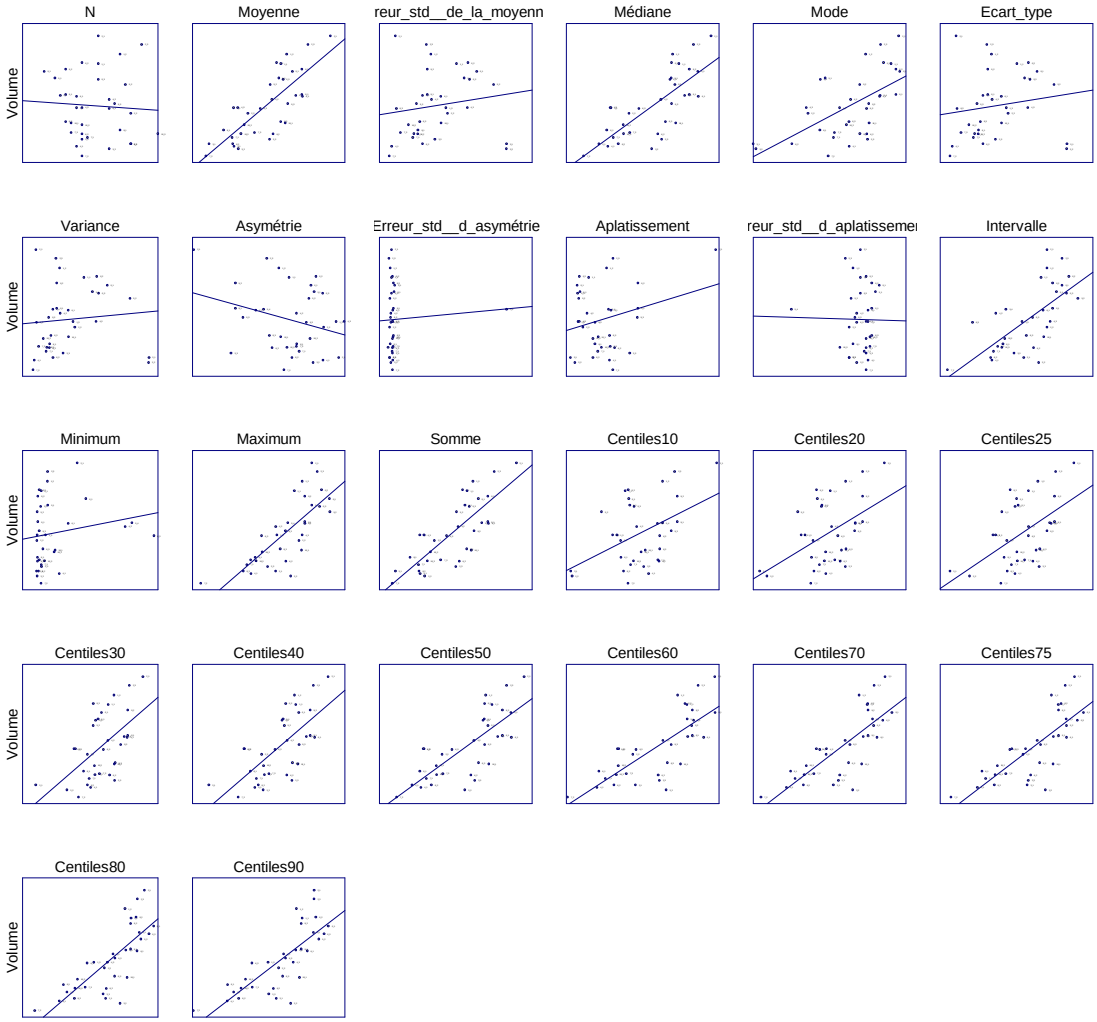
	Mode	Ecart_type	Variance	Asy	Err_std_asy	Aplatissement
Volume	0.577749	0.255752	0.214388	-0.111107	0.210344	0.155820
	0.000040	0.079344	0.143401	0.452164	0.151287	0.290252
	44.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000

	Err_std_aplat	Intervalle	Minimum	Maximum	Centiles10	Centiles20
Volume	0.208933	0.666026	0.143665	0.723961	0.353373	0.427271
	0.154112	0.000000	0.329971	0.000000	0.013749	0.002455
	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000

	Centiles25	Centiles30	Centiles40	Centiles50	Centiles60	Centiles70
Volume	0.489267	0.555246	0.695409	0.747918	0.743201	0.749880
	0.000417	0.000042	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000

	Centiles75	Centiles80	cent80_car	Centiles90	cent90_car
Volume	0.753179	0.755568	0.751977	0.757271	0.752154
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000	48.000000

Plot Section



Annexe 4. Analyse et graphiques des corrélations entre les variables indépendantes (statistiques descriptives des pixels par placette) et la variable dépendante (volume m^3 brut) pour les placettes 1/25 ha ($400m^2$).

Correlation Report

Page/Date/Time 1 2008-06-23 16:37:45
Database C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter type<>"quart"

Pearson Correlations Section (Pair-Wise Deletion)

	Volume	N	Moyenne	Err_std_moy	moy_car	Mediane
Volume	1.000000	-0.212142	0.531822	0.314632	0.534484	0.572383
	0.000000	0.000342	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000

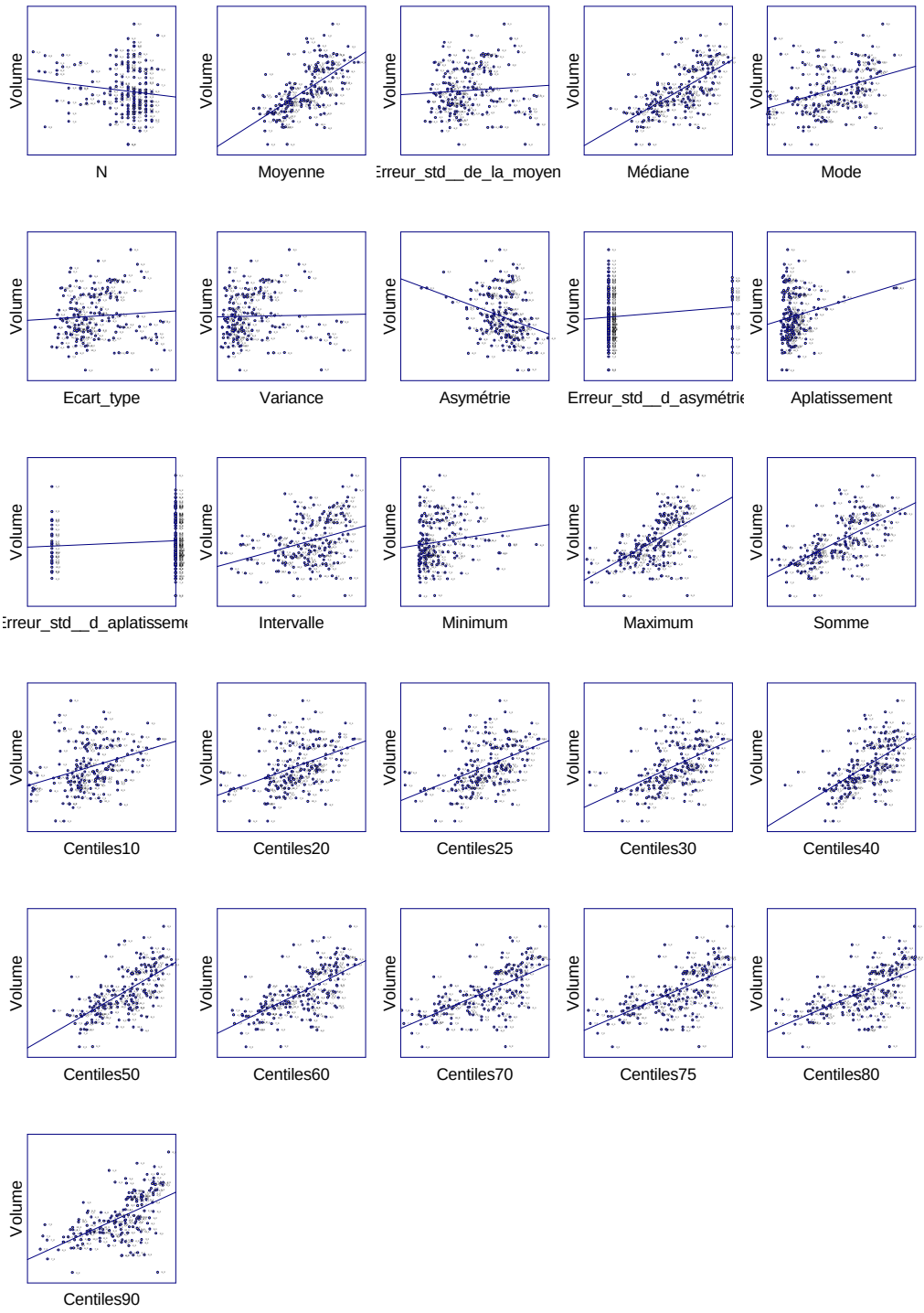
	Mode	Ecart_type	Variance	Asy	Err_std_asy	Aplatissement
Volume	0.288365	0.272916	0.252030	-0.221368	0.213977	0.095691
	0.000005	0.000003	0.000019	0.000183	0.000303	0.109468
	244.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000

	Err_std_aplat	Intervalle	Minimum	Maximum	Centiles10	Centiles20
Volume	0.212439	0.462265	-0.004048	0.525030	0.147107	0.304026
	0.000335	0.000000	0.946137	0.000000	0.013571	0.000000
	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000

	Centiles25	Centiles30	Centiles40	Centiles50	Centiles60	Centiles70
Volume	0.376431	0.439568	0.533902	0.572383	0.577795	0.573606
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000

	Centiles75	Centiles80	cent80_car	Centiles90	cent90_car
Volume	0.567546	0.561185	0.571162	0.535998	0.541867
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000	281.000000

Plot Section



Annexe 5. Résultats des analyses de régression pour le territoire de Millar Western selon l'échelle des placettes de 400m^2.

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	1 2008-02-21 14:11:02
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	Type="vingt" and Paysage="MW"
Dependent	Volume

Run Summary Section

Parameter	Value	Parameter	Value
Dependent Variable	Volume	Rows Processed	333
Number Ind. Variables	2	Rows Filtered Out	309
Weight Variable	None	Rows with X's Missing	0
R2	0.8620	Rows with Weight Missing	0
Adj R2	0.8489	Rows with Y Missing	0
Coefficient of Variation	0.1877	Rows Used in Estimation	24
Mean Square Error	4580.071	Sum of Weights	24.000
Square Root of MSE	67.67622	Completion Status	Normal Completion
Ave Abs Pct Error	38.289		

Descriptive Statistics Section

Variable	Count	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Asy	24	-0.992487	0.8733878	-3.010185	0.6110864
moy_car	24	236.1661	112.3657	4.293437	446.8625
Volume	24	360.584	174.0911	14.275	697

Regression Equation Section

Independent Variable	Regression Coefficient b(i)	Standard Error Sb(i)	T-Value to test H0:B(i)=0	Prob Level	Reject H0 at 5%?	Power of Test at 5%
Intercept	34.8872	32.9055	1.060	0.3011	No	0.1731
Asy	99.2201	20.8536	4.758	0.0001	Yes	0.9949
moy_car	1.7961	0.1621	11.081	0.0000	Yes	1.0000

Estimated Model

34.8872138886942+ 99.2200672999602*Asy+ 1.79607209958777*moy_car

Regression Coefficient Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	Lower 95% C.L.	Upper 95% C.L.	Standardized Coefficient
Intercept	34.8872	32.9055	-33.5435	103.3179	0.0000
Asy	99.2201	20.8536	55.8526	142.5875	0.4978
moy_car	1.7961	0.1621	1.4590	2.1332	1.1593

Note: The T-Value used to calculate these confidence limits was 2.080.

Analysis of Variance Section

Source	DF	R2	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1		3120499	3120499			
Model	2	0.8620	600896	300448	65.599	0.0000	1.0000
Error	21	0.1380	96181.5	4580.071			

Total(Adjusted)	23	1.0000	697077.5	30307.72

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	2 2008-02-21 14:11:02
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	Type="vingt" and Paysage="MW"
Dependent	Volume

Analysis of Variance Detail Section

Model Term	DF	R2	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1		3120499	3120499			
Model	2	0.8620	600896	300448	65.599	0.0000	1.0000
Asy	1	0.1487	103683.4	103683.4	22.638	0.0001	0.9949
moy_car	1	0.8067	562355.9	562355.9	122.783	0.0000	1.0000
Error	21	0.1380	96181.5	4580.071			
Total(Adjusted)	23	1.0000	697077.5	30307.72			

Normality Tests Section

Test Name	Test Value	Prob Level	Reject H0 At Alpha = 20%?
Shapiro Wilk	0.9413	0.173951	Yes
Anderson Darling	0.5453	0.161063	Yes
D'Agostino Skewness	1.2719	0.203407	No
D'Agostino Kurtosis	-0.5988	0.549294	No
D'Agostino Omnibus	1.9763	0.372259	No

Predicted Values with Confidence Limits of Means

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Standard Error Of Predicted	95% Lower Conf. Limit Of Mean	95% Upper Conf. Limit Of Mean
310	697.000	704.349	33.101	635.512	773.186
311	453.500	553.123	22.473	506.389	599.857
312	567.000	608.969	25.712	555.499	662.440
313	541.750	552.816	22.280	506.483	599.149
314	656.750	601.666	25.547	548.538	654.794
315	400.250	336.822	21.597	291.908	381.735
316	285.750	351.791	15.708	319.124	384.457
317	266.500	278.521	23.989	228.634	328.409
318	281.250	300.892	16.404	266.777	335.006
319	243.000	231.533	23.757	182.129	280.937
320	627.500	497.145	19.529	456.532	537.757
321	466.750	354.512	20.227	312.448	396.576
322	418.750	483.972	18.992	444.475	523.468
323	293.250	189.029	24.789	137.476	240.581
324	434.250	341.823	19.526	301.215	382.430
325	344.000	322.988	16.583	288.501	357.474
326	246.250	205.442	41.970	118.161	292.723
327	304.250	377.740	14.115	348.387	407.093
328	329.000	358.812	16.672	324.142	393.483
329	291.750	318.454	17.595	281.863	355.046
330	92.580	124.109	30.561	60.554	187.663
331	283.303	304.855	14.646	274.397	335.313
332	14.275	94.198	33.156	25.246	163.150
333	115.358	160.456	31.453	95.045	225.867

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	3 2008-02-21 14:11:02
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	Type="vingt" and Paysage="MW"
Dependent	Volume

Residual Report

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Residual	Absolute Percent Error	Sqrt(MSE) Without This Row
310	697.000	704.349	-7.349	1.054	69.322
311	453.500	553.123	-99.623	21.968	65.202
312	567.000	608.969	-41.969	7.402	68.601
313	541.750	552.816	-11.066	2.043	69.298
314	656.750	601.666	55.084	8.387	68.060
315	400.250	336.822	63.428	15.847	67.713
316	285.750	351.791	-66.041	23.111	67.665
317	266.500	278.521	-12.021	4.511	69.288
318	281.250	300.892	-19.642	6.984	69.200
319	243.000	231.533	11.467	4.719	69.293
320	627.500	497.145	130.355	20.774	62.308
321	466.750	354.512	112.238	24.047	64.167
322	418.750	483.972	-65.222	15.575	67.662
323	293.250	189.029	104.221	35.540	64.667
324	434.250	341.823	92.427	21.284	65.903
325	344.000	322.988	21.012	6.108	69.178
326	246.250	205.442	40.808	16.572	68.365
327	304.250	377.740	-73.490	24.154	67.281
328	329.000	358.812	-29.812	9.061	69.006
329	291.750	318.454	-26.704	9.153	69.071
330	92.580	124.109	-31.529	34.056	68.896
331	283.303	304.855	-21.553	7.608	69.172
332	14.275	94.198	-79.923	559.879	66.248
333	115.358	160.456	-45.098	39.095	68.406

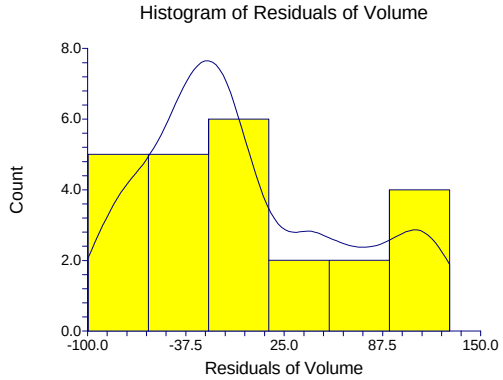
Multiple Regression Report

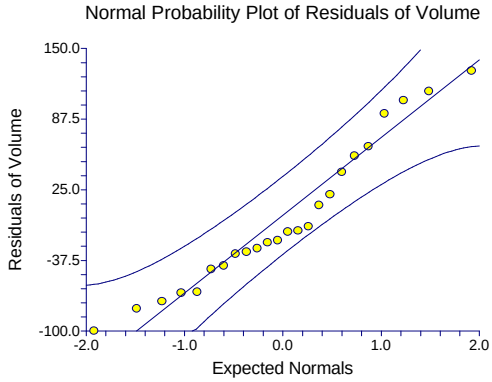
Page/Date/Time	4 2008-02-21 14:11:02
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	Type="vingt" and Paysage="MW"
Dependent	Volume

Regression Diagnostics Section

Row	Standardized Residual	RStudent	Hat Diagonal	Cook's D	Dffits	CovRatio
310	-0.1245	-0.1215	0.2392	0.0016	-0.0682	1.5183
311	-1.5606	-1.6198	0.1103	0.1006	-0.5702	0.8989
312	-0.6704	-0.6614	0.1443	0.0253	-0.2716	1.2679
313	-0.1732	-0.1691	0.1084	0.0012	-0.0590	1.2928
314	0.8790	0.8740	0.1425	0.0428	0.3563	1.2064
315	0.9889	0.9884	0.1018	0.0370	0.3328	1.1171
316	-1.0032	-1.0034	0.0539	0.0191	-0.2394	1.0559
317	-0.1900	-0.1855	0.1256	0.0017	-0.0703	1.3172
318	-0.2992	-0.2926	0.0588	0.0019	-0.0731	1.2142
319	0.1810	0.1767	0.1232	0.0015	0.0663	1.3142
320	2.0117	2.1851	0.0833	0.1225	0.6585	0.6644
321	1.7379	1.8329	0.0893	0.0988	0.5741	0.7978
322	-1.0041	-1.0043	0.0788	0.0287	-0.2936	1.0842
323	1.6550	1.7320	0.1342	0.1415	0.6818	0.8791
324	1.4264	1.4648	0.0832	0.0616	0.4414	0.9301
325	0.3202	0.3133	0.0600	0.0022	0.0792	1.2136
326	0.7686	0.7609	0.3846	0.1231	0.6015	1.7267
327	-1.1103	-1.1168	0.0435	0.0187	-0.2382	1.0094
328	-0.4545	-0.4458	0.0607	0.0044	-0.1133	1.1964
329	-0.4086	-0.4004	0.0676	0.0040	-0.1078	1.2122
330	-0.5221	-0.5129	0.2039	0.0233	-0.2596	1.3982
331	-0.3262	-0.3191	0.0468	0.0017	-0.0707	1.1961
332	-1.3547	-1.3839	0.2400	0.1932	-0.7777	1.1578
333	-0.7526	-0.7446	0.2160	0.0520	-0.3908	1.3603

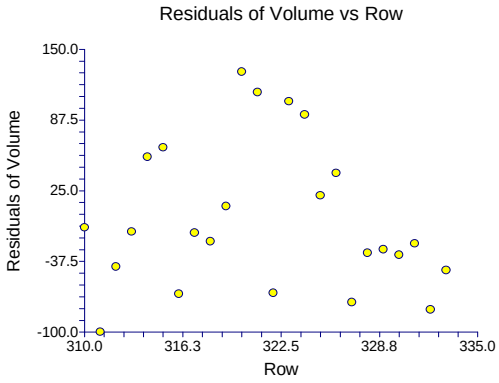
Plots Section

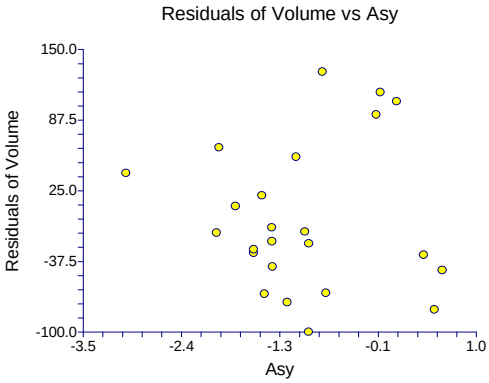


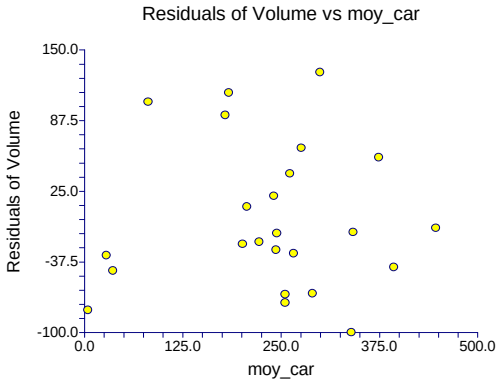


Multiple Regression Report

Page/Date/Time	5 2008-02-21 14:11:02
Database	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\VI ... IERE\STATISTIQUE\BASE_TOT.S0
Filter	Type="vingt" and Paysage="MW"
Dependent	Volume







Annexe 6. Résultats des analyses de régression pour les placettes de l'Outaouais selon l'échelle des placettes de 2500m^2.

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	1 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

Run Summary Section

Parameter	Value	Parameter	Value
Dependent Variable	Volume	Rows Processed	333
Number Ind. Variables	2	Rows Filtered Out	285
Weight Variable	None	Rows with X's Missing	0
R2	0.7114	Rows with Weight Missing	0
Adj R2	0.6985	Rows with Y Missing	0
Coefficient of Variation	0.1316	Rows Used in Estimation	48
Mean Square Error	881.8038	Sum of Weights	48.000
Square Root of MSE	29.69518	Completion Status	Normal Completion
Ave Abs Pct Error	10.177		

Descriptive Statistics Section

Variable	Count	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Asy	48	-0.8726391	0.5242994	-2.478972	-1.113547E-02
moy_car	48	302.8397	87.297	126.2836	514.0602
Volume	48	225.6138	54.08299	130.8468	338.7131

Regression Equation Section

Independent Variable	Regression Coefficient b(i)	Standard Error Sb(i)	T-Value to test H0:B(i)=0	Prob Level	Reject H0 at 5%?	Power of Test at 5%
Intercept	77.9634	15.6273	4.989	0.0000	Yes	0.9983
Asy	33.9970	9.3389	3.640	0.0007	Yes	0.9454
moy_car	0.5855	0.0561	10.439	0.0000	Yes	1.0000

Estimated Model

77.9633633030728+ 33.9970399488142*Asy+ .585516398298317*moy_car

Regression Coefficient Section

Independent Variable	Regression Coefficient	Standard Error	Lower 95% C.L.	Upper 95% C.L.	Standardized Coefficient
Intercept	77.9634	15.6273	46.4884	109.4383	0.0000
Asy	33.9970	9.3389	15.1876	52.8065	0.3296
moy_car	0.5855	0.0561	0.4725	0.6985	0.9451

Note: The T-Value used to calculate these confidence limits was 2.014.

Analysis of Variance Section

Source	DF	R2	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1		2443277	2443277			
Model	2	0.7114	97792.41	48896.2	55.450	0.0000	1.0000
Error	45	0.2886	39681.17	881.8038			
Total(Adjusted)	47	1.0000	137473.6	2924.97			

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	2 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

Analysis of Variance Detail Section

Model Term	DF	R2	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1		2443277	2443277			
Model	2	0.7114	97792.41	48896.2	55.450	0.0000	1.0000
Asy	1	0.0850	11686.02	11686.02	13.252	0.0007	0.9454
moy_car	1	0.6990	96095.34	96095.34	108.976	0.0000	1.0000
Error	45	0.2886	39681.17	881.8038			
Total(Adjusted)	47	1.0000	137473.6	2924.97			

Normality Tests Section

Test Name	Test Value	Prob Level	Reject H0 At Alpha = 20%?
Shapiro Wilk	0.9905	0.962517	No
Anderson Darling	0.2006	0.882947	No
D'Agostino Skewness	-0.1455	0.884309	No
D'Agostino Kurtosis	-0.2878	0.773510	No
D'Agostino Omnibus	0.1040	0.949332	No

Predicted Values with Confidence Limits of Means

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Standard Error Of Predicted	95% Lower Conf. Limit Of Mean	95% Upper Conf. Limit Of Mean
1	180.599	189.383	6.691	175.908	202.859
2	155.663	163.711	7.612	148.380	179.043
3	289.331	264.976	6.953	250.972	278.981
4	304.673	307.840	9.575	288.555	327.125
5	280.363	293.275	10.823	271.477	315.073
6	222.746	197.707	5.856	185.912	209.501
7	222.936	291.550	7.744	275.954	307.147
8	187.803	201.344	5.614	190.037	212.651
9	225.201	267.114	5.898	255.233	278.994
10	245.851	272.888	8.556	255.656	290.120
11	276.332	268.577	7.783	252.901	284.253
12	277.013	274.602	7.116	260.269	288.934
13	292.369	245.793	5.908	233.894	257.691
14	263.448	262.450	7.271	247.806	277.095
15	290.586	239.159	4.479	230.138	248.179
16	306.959	245.000	4.902	235.128	254.873
17	214.297	184.163	8.039	167.972	200.354
18	188.111	243.138	4.773	233.525	252.752
19	184.960	186.051	6.048	173.870	198.231
20	169.568	168.009	7.082	153.746	182.272
21	338.713	294.676	14.766	264.937	324.416
22	204.688	199.562	6.394	186.683	212.440
23	323.682	283.253	7.447	268.254	298.253
24	152.023	152.286	9.866	132.415	172.157
25	143.453	178.504	6.622	165.166	191.842
26	159.855	185.460	10.503	164.307	206.614
27	147.668	177.497	7.273	162.848	192.146

28	228.629	226.205	4.338	217.468	234.941

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	3 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

Predicted Values with Confidence Limits of Means

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Standard Error Of Predicted	95% Lower Conf. Limit Of Mean	95% Upper Conf. Limit Of Mean
29	214.434	194.953	8.544	177.746	212.161
30	265.798	249.446	5.911	237.541	261.350
31	254.386	230.018	4.936	220.076	239.960
32	235.521	255.197	6.185	242.739	267.655
33	234.051	265.047	7.198	250.551	279.544
34	168.981	214.926	5.222	204.409	225.444
35	213.049	210.805	4.861	201.015	220.595
36	162.869	161.603	7.441	146.616	176.590
37	130.847	117.911	11.350	95.051	140.771
38	171.294	195.199	5.175	184.776	205.622
39	175.625	147.948	8.535	130.758	165.138
40	152.072	158.327	7.735	142.747	173.907
41	190.241	227.849	5.245	217.284	238.413
42	237.228	252.407	8.878	234.525	270.288
43	281.121	252.407	8.878	234.525	270.288
44	221.484	227.076	7.906	211.151	243.000
210	291.471	248.826	5.308	238.136	259.517
211	225.058	251.130	5.995	239.056	263.204
212	253.839	232.054	5.455	221.066	243.041
213	272.573	272.162	6.209	259.657	284.667

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	4 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

Residual Report

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Residual	Absolute Percent Error	Sqrt(MSE) Without This Row
1	180.599	189.383	-8.784	4.864	30.000
2	155.663	163.711	-8.048	5.170	30.004
3	289.331	264.976	24.355	8.418	29.792
4	304.673	307.840	-3.167	1.039	30.026
5	280.363	293.275	-12.912	4.606	29.958
6	222.746	197.707	25.040	11.241	29.783
7	222.936	291.550	-68.615	30.778	28.054
8	187.803	201.344	-13.541	7.210	29.959
9	225.201	267.114	-41.913	18.611	29.331
10	245.851	272.888	-27.037	10.997	29.728
11	276.332	268.577	7.755	2.806	30.006
12	277.013	274.602	2.412	0.871	30.028
13	292.369	245.793	46.576	15.930	29.164
14	263.448	262.450	0.998	0.379	30.030
15	290.586	239.159	51.427	17.698	28.989
16	306.959	245.000	61.959	20.185	28.498
17	214.297	184.163	30.134	14.062	29.658
18	188.111	243.138	-55.027	29.252	28.831
19	184.960	186.051	-1.091	0.590	30.030
20	169.568	168.009	1.559	0.919	30.030
21	338.713	294.676	44.037	13.001	29.040
22	204.688	199.562	5.127	2.505	30.020
23	323.682	283.253	40.428	12.490	29.363
24	152.023	152.286	-0.263	0.173	30.031
25	143.453	178.504	-35.051	24.434	29.537
26	159.855	185.460	-25.605	16.018	29.746
27	147.668	177.497	-29.829	20.200	29.670
28	228.629	226.205	2.424	1.060	30.028
29	214.434	194.953	19.481	9.085	29.874
30	265.798	249.446	16.352	6.152	29.925
31	254.386	230.018	24.368	9.579	29.799
32	235.521	255.197	-19.676	8.354	29.877
33	234.051	265.047	-30.996	13.243	29.642
34	168.981	214.926	-45.946	27.190	29.195
35	213.049	210.805	2.244	1.053	30.029
36	162.869	161.603	1.266	0.777	30.030
37	130.847	117.911	12.936	9.886	29.956
38	171.294	195.199	-23.905	13.956	29.807
39	175.625	147.948	27.678	15.759	29.713
40	152.072	158.327	-6.255	4.113	30.015
41	190.241	227.849	-37.608	19.768	29.473
42	237.228	252.407	-15.178	6.398	29.935
43	281.121	252.407	28.714	10.214	29.686
44	221.484	227.076	-5.592	2.525	30.018
210	291.471	248.826	42.645	14.631	29.311
211	225.058	251.130	-26.072	11.584	29.761

212	253.839	232.054	21.785	8.582	29.844

Multiple Regression Report

Page/Date/Time	5 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

Residual Report

Row	Actual Volume	Predicted Volume	Residual	Absolute Percent Error	Sqrt(MSE) Without This Row
213	272.573	272.162	0.411	0.151	30.031

Regression Diagnostics Section

Row	Standardized Residual	RStudent	Hat Diagonal	Cook's D	Dffits	CovRatio
1	-0.3036	-0.3005	0.0508	0.0016	-0.0695	1.1200
2	-0.2804	-0.2775	0.0657	0.0018	-0.0736	1.1390
3	0.8436	0.8409	0.0548	0.0138	0.2025	1.0789
4	-0.1127	-0.1114	0.1040	0.0005	-0.0380	1.1929
5	-0.4669	-0.4629	0.1328	0.0111	-0.1812	1.2158
6	0.8601	0.8576	0.0389	0.0100	0.1725	1.0590
7	-2.3935	-2.5335	0.0680	0.1393	-0.6843	0.7629
8	-0.4644	-0.4603	0.0357	0.0027	-0.0886	1.0935
9	-1.4401	-1.4580	0.0395	0.0284	-0.2955	0.9667
10	-0.9508	-0.9498	0.0830	0.0273	-0.2858	1.0977
11	0.2706	0.2678	0.0687	0.0018	0.0727	1.1431
12	0.0837	0.0827	0.0574	0.0001	0.0204	1.1344
13	1.6005	1.6296	0.0396	0.0352	0.3308	0.9342
14	0.0347	0.0343	0.0600	0.0000	0.0087	1.1379
15	1.7519	1.7946	0.0227	0.0238	0.2738	0.8856
16	2.1155	2.2044	0.0272	0.0418	0.3689	0.8031
17	1.0541	1.0555	0.0733	0.0293	0.2968	1.0709
18	-1.8775	-1.9338	0.0258	0.0312	-0.3149	0.8597
19	-0.0375	-0.0371	0.0415	0.0000	-0.0077	1.1159
20	0.0541	0.0535	0.0569	0.0001	0.0131	1.1340
21	1.7092	1.7478	0.2472	0.3199	1.0017	1.1619
22	0.1768	0.1749	0.0464	0.0005	0.0386	1.1194
23	1.4064	1.4223	0.0629	0.0442	0.3685	0.9975
24	-0.0094	-0.0093	0.1104	0.0000	-0.0033	1.2025
25	-1.2108	-1.2173	0.0497	0.0256	-0.2785	1.0192
26	-0.9219	-0.9203	0.1251	0.0405	-0.3480	1.1547
27	-1.0361	-1.0369	0.0600	0.0228	-0.2620	1.0585
28	0.0825	0.0816	0.0213	0.0000	0.0120	1.0926
29	0.6850	0.6809	0.0828	0.0141	0.2046	1.1302
30	0.5619	0.5576	0.0396	0.0043	0.1132	1.0906
31	0.8322	0.8293	0.0276	0.0066	0.1398	1.0501
32	-0.6775	-0.6733	0.0434	0.0069	-0.1434	1.0844
33	-1.0759	-1.0778	0.0587	0.0241	-0.2693	1.0510
34	-1.5717	-1.5987	0.0309	0.0263	-0.2856	0.9319
35	0.0766	0.0758	0.0268	0.0001	0.0126	1.0988
36	0.0440	0.0435	0.0628	0.0000	0.0113	1.1413
37	0.4714	0.4673	0.1461	0.0127	0.1933	1.2343
38	-0.8175	-0.8145	0.0304	0.0070	-0.1441	1.0548
39	0.9731	0.9725	0.0826	0.0284	0.2918	1.0940
40	-0.2182	-0.2159	0.0679	0.0012	-0.0582	1.1440

41	-1.2867	-1.2964	0.0312	0.0178	-0.2327	0.9868
42	-0.5356	-0.5314	0.0894	0.0094	-0.1665	1.1524

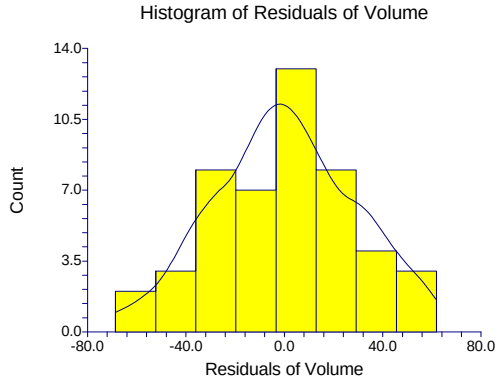
Multiple Regression Report

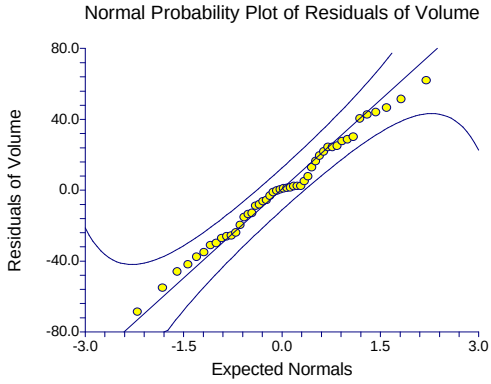
Page/Date/Time	6 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

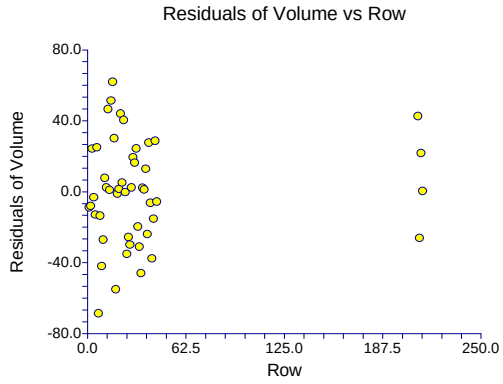
Regression Diagnostics Section

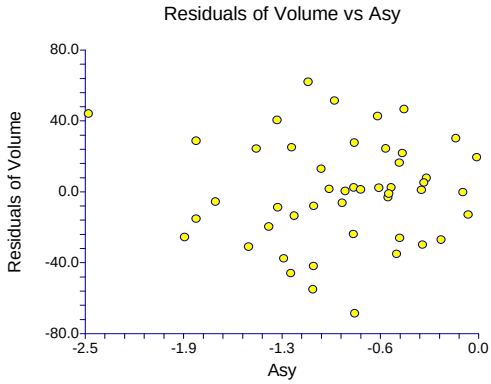
Row	Standardized Residual	RStudent	Hat Diagonal	Cook's D	Dffits	CovRatio
43	1.0133	1.0136	0.0894	0.0336	0.3176	1.0962
44	-0.1954	-0.1933	0.0709	0.0010	-0.0534	1.1484
210	1.4596	1.4787	0.0320	0.0234	0.2686	0.9554
211	-0.8964	-0.8944	0.0408	0.0114	-0.1844	1.0565
212	0.7463	0.7426	0.0337	0.0065	0.1388	1.0665
213	0.0142	0.0140	0.0437	0.0000	0.0030	1.1186

Plots Section



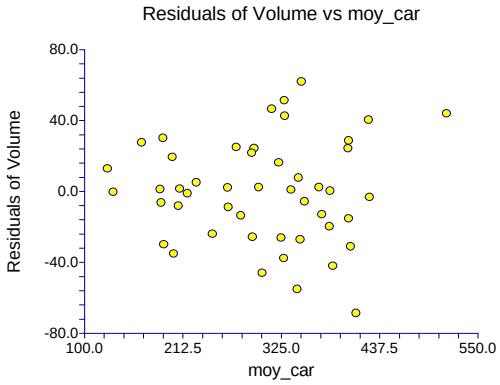






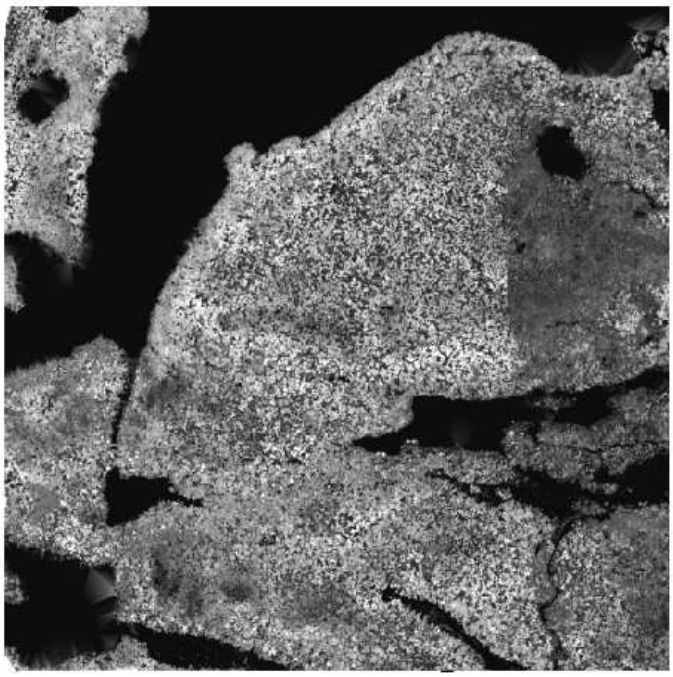
Multiple Regression Report

Page/Date/Time	7 20/02/2008 10:03:32 PM
Database	C:\Documents and Settings\Al ... iere\statistique\base_tot.S0
Filter	Type="quart" and Paysage<>"MW"
Dependent	Volume

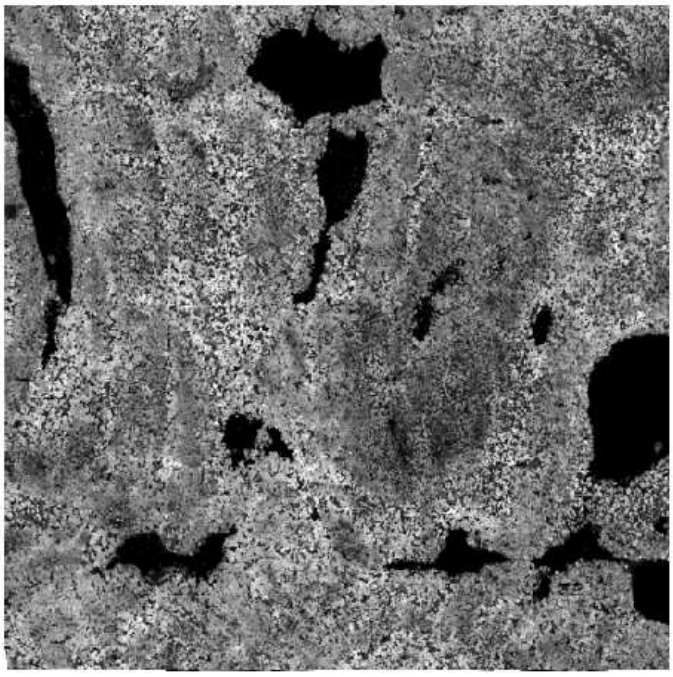


Annexe 7. Modèle de hauteur de la Canopée (MHC) des 11 paysages et de la forêt de l'aigle.

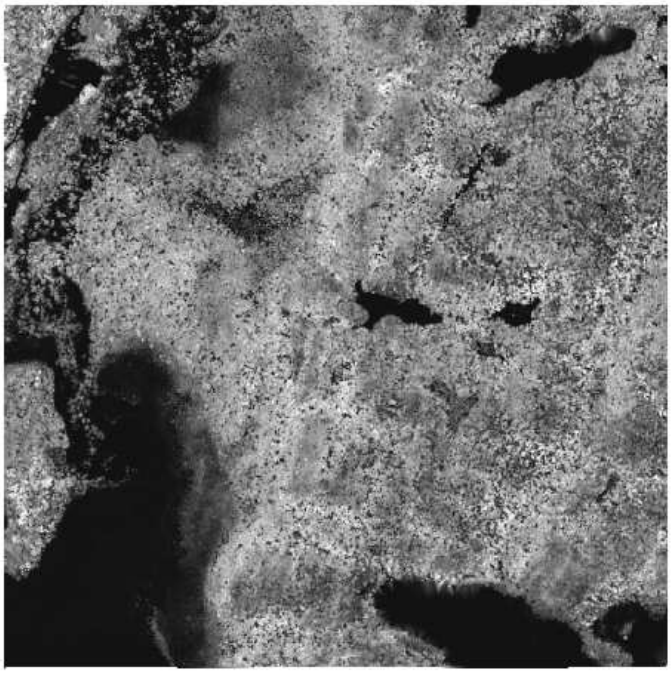
Paysage 0



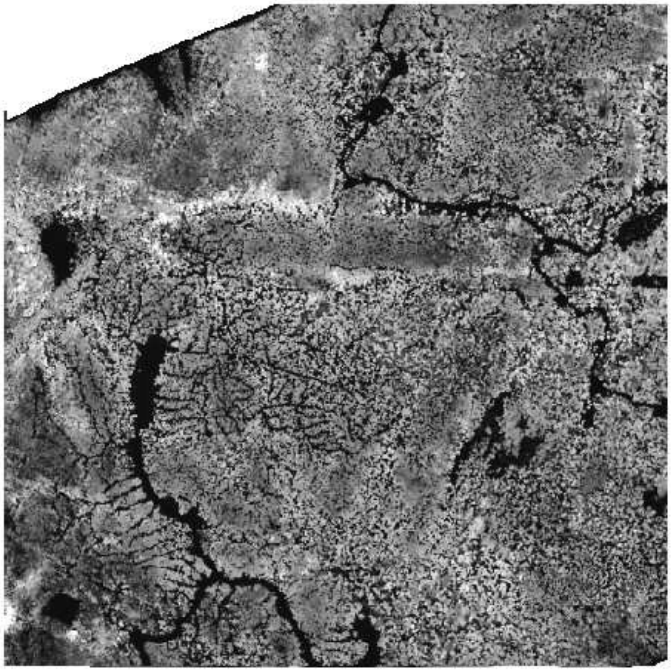
Paysage 1



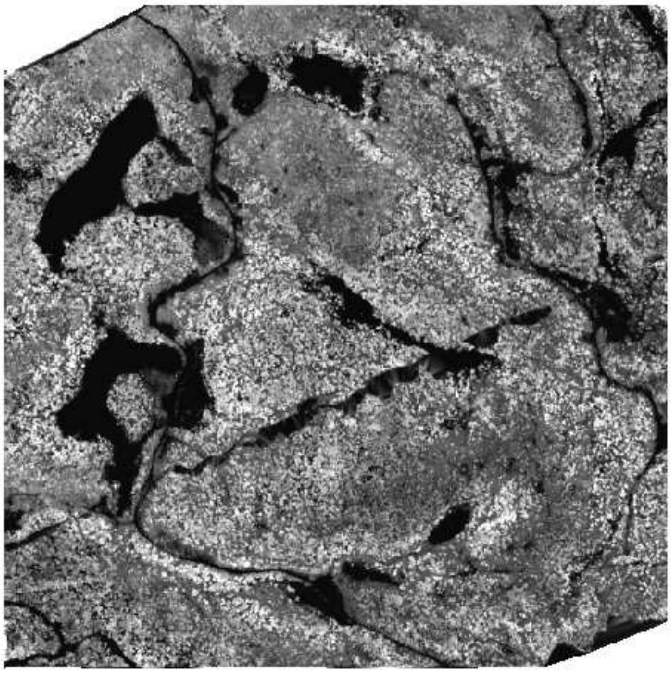
Paysage 2



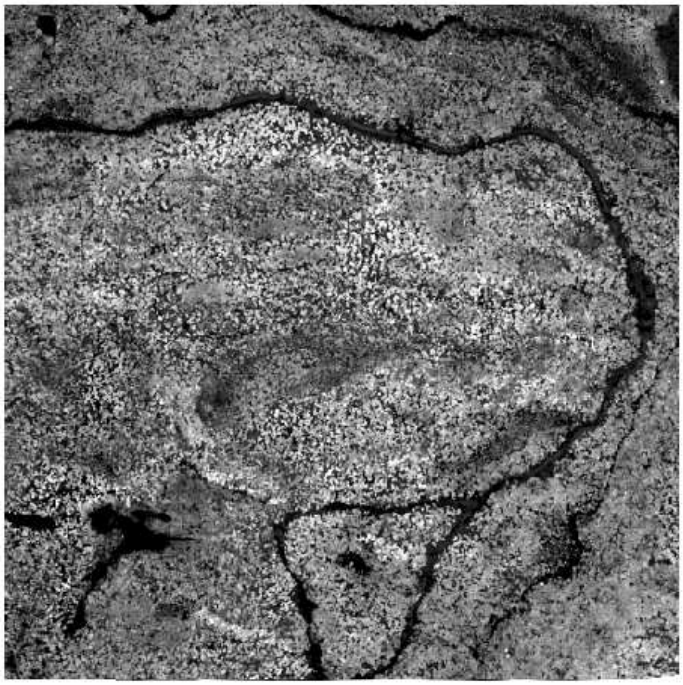
Paysage 3



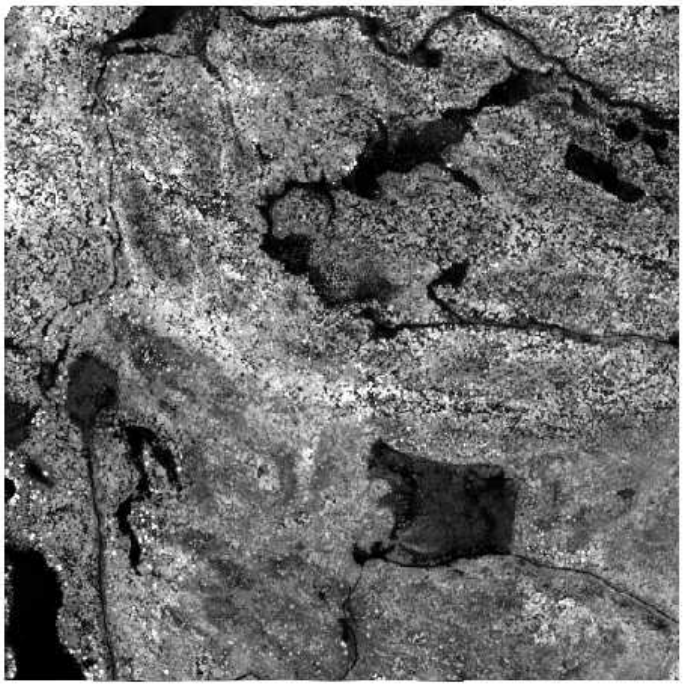
Paysage 4



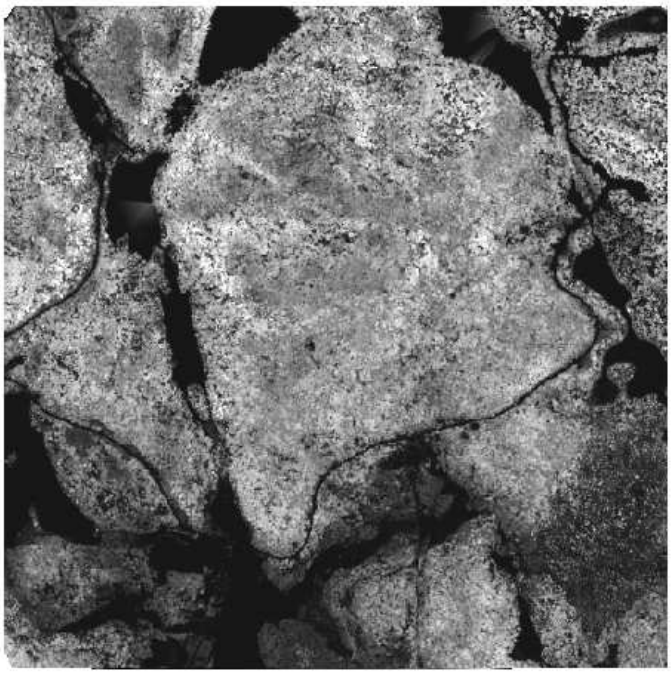
Paysage 5



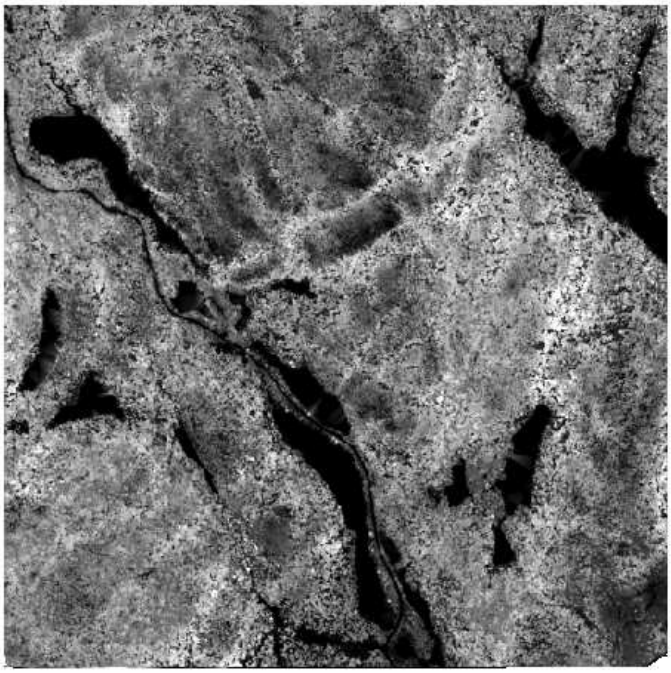
Paysage 6



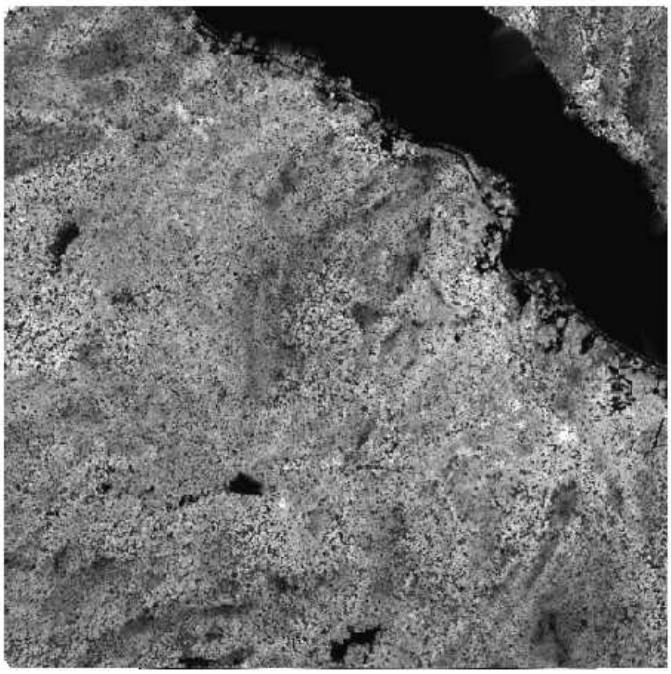
Paysage 7



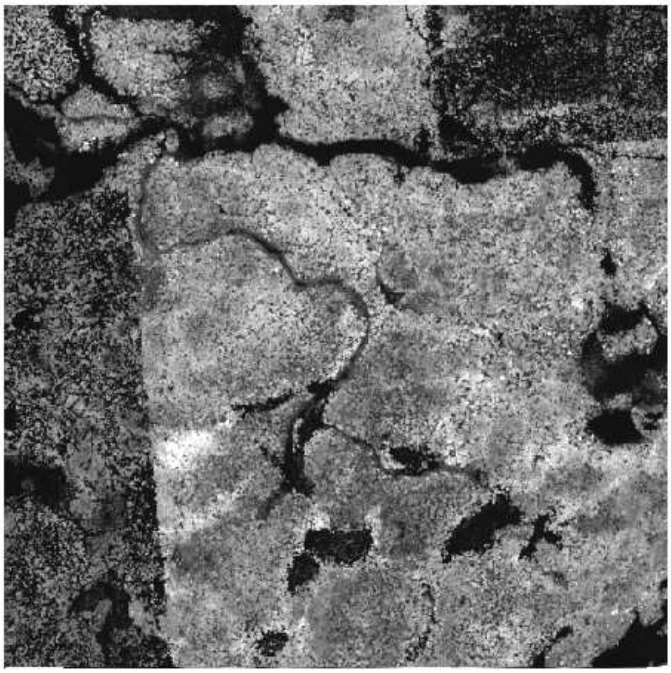
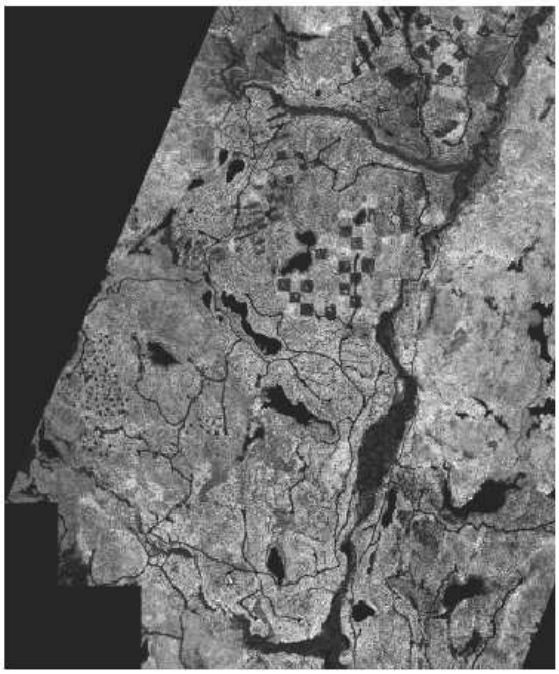
Paysage 8



Paysage 9



Paysage 10



Forêt de l'aigle