



*RAPPORT PRÉLIMINAIRE SUR L'AVANCEMENT DU
PROJET :*

Planification stratégique spatiale et optimisée des interventions en milieu forestier en vue d'assurer la gestion intégrée des valeurs du développement durable de la Forêt Modèle du Bas-Saint-Laurent

Rapport produit et rédigé par :

Vincent M^cCullough, ing.f.
Éric Forget, ing.f., M.Sc.
Frédéric Doyon, ing.f., Ph.D.

Présenté à

M. Pierre Belleau, ing.f., M.Sc.
Forêt Modèle du Bas-St-Laurent

MARS 2006

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	2
TABLE DES FIGURES	3
TABLE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION	4
TERRITOIRE	5
MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS	6
<i>Hypothèses de croissance et de retour pour les strates feuillues et mélangées</i>	7
<i>La calibration du modèle de croissance Cohorte</i>	8
<i>Développement des courbes de croissance</i>	9
<i>Le développement des courbes d'attributs</i>	10
<i>Développement et résultats des simulation</i>	11
CONCLUSION	16
RÉFÉRENCES	17
ANNEXE 1	18
ANNEXE 2	19
ANNEXE 3	20
ANNEXE 4	21

Table des figures

<i>Figure 1. Localisation des deux Seigneuries de la FMBSL.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2. Schéma du cheminement de l'information vers le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks pour la FMBSL.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3. Exemples de courbes d'attributs utilisées pour le plan d'aménagement forestier.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4. Résultats de la simulation scénario A : Maximisation du volume prélevé par quinquennal</i>	<i>12</i>
<i>Figure 5. Résultats de la simulation scénario B : Profit réalisé par quinquennal</i>	<i>13</i>
<i>Figure 6. Résultats de la simulation scénario C : Profit réalisé par quinquennal.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 7. Résultats de la simulation scénario C : Coût de construction et d'entretien de chemins par périodes de 5 ans.....</i>	<i>14</i>

Table des tableaux

<i>Tableau 1. Valeurs des croissances diamétrales de certaines espèces utilisées pour la calibration de Cohorte.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 2. Accroissement annuel net de séries d'aménagement inéquiennes (m²/ha/an)</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3. Nature des attributs utilisés pour le modèle de la FMBSL.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 4. Scénarios simulés selon les objectifs prédéfinis par quinquennal.....</i>	<i>12</i>

Introduction

La Forêt Modèle du Bas-Saint-Laurent (*FMBSL*) est présentement en phase de planification forestière pour son prochain Plan Général d'Aménagement Forestier (PGAF). Une emphase particulière est mise sur l'intégration des critères de développement durable dans le calcul de la possibilité du prochain PGAF. Or actuellement, Sylva II, l'outil servant au calcul de possibilité forestière sur les terres publiques, ne permet pas de considérer les critères autres que la matière ligneuse. De plus, Sylva II n'est pas spatialement explicite ce qui empêche l'utilisation de facteurs reliés à des contraintes spatiales.

Ce projet vise donc à utiliser des outils novateurs afin d'élaborer un plan d'aménagement forestier qui intègre les facteurs bio-socio-économique. Il permettra aux gestionnaires de la FMBSL d'identifier une solution qui balance les différents objectifs d'aménagement à un niveau optimal.

Ce rapport préliminaire explique la méthodologie du projet. Il fait mention des outils et de leur utilisation tout au long du processus. L'état d'avancement du projet et les résultats préliminaires font de plus partie de ce document.

Territoire

Les deux territoires appartenant à la compagnie Abitibi-Consolidated sont situés dans la région administrative du Bas-St-laurent (01). Il s'agit de la Seigneurie de Nicolas Riou située au sud-ouest de Rimouski, et de la Seigneurie du Lac-Métis (Figure 1) au sud-ouest d'Amqui. Ces deux territoires totalisent 47 620 hectares. Le présent rapport fait état des résultats préliminaires de la Seigneurie du lac-Métis. La Seigneurie de Nicolas Riou sera intégrée à la deuxième phase du projet.

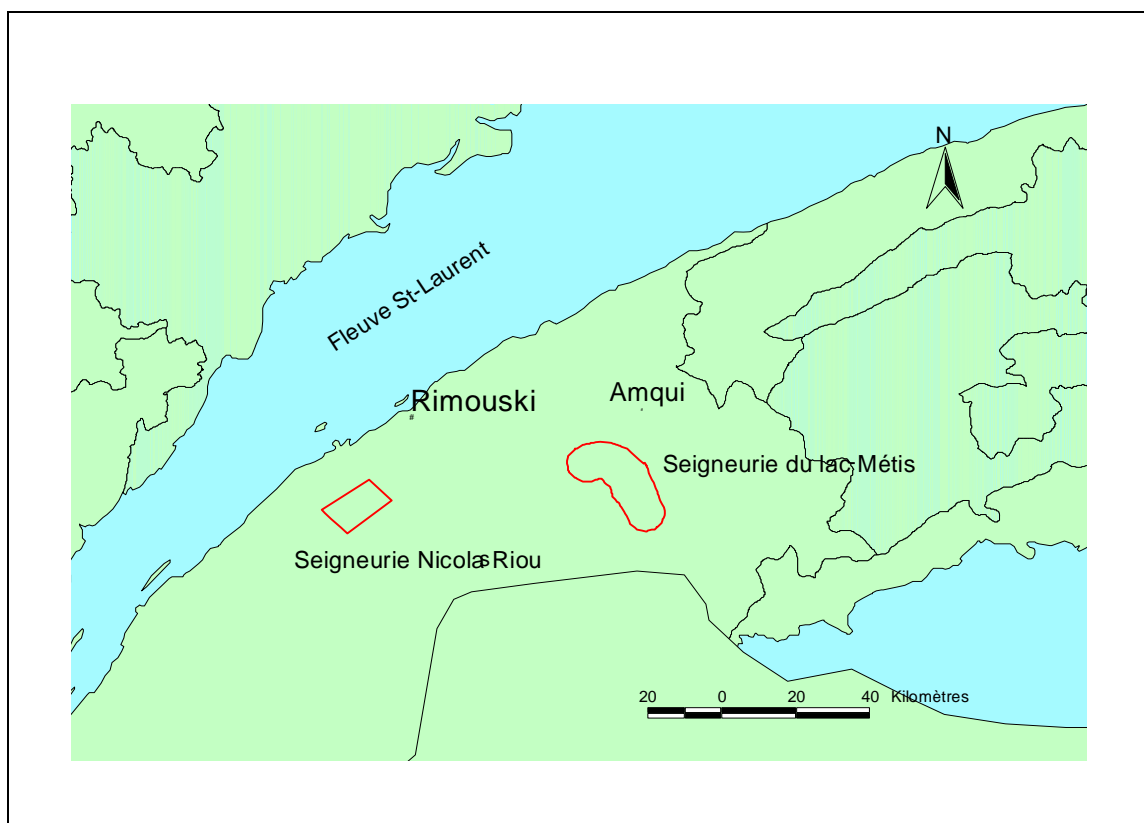


Figure 1. Localisation des deux Seigneuries de la FMBSL

Méthodologie et résultats

L'approche générale de ce rapport consiste à expliquer les principales étapes pour réaliser le calcul de la possibilité avec le logiciel Patchworks. Afin de résumer les différentes étapes, un organigramme est présenté à la figure 2.

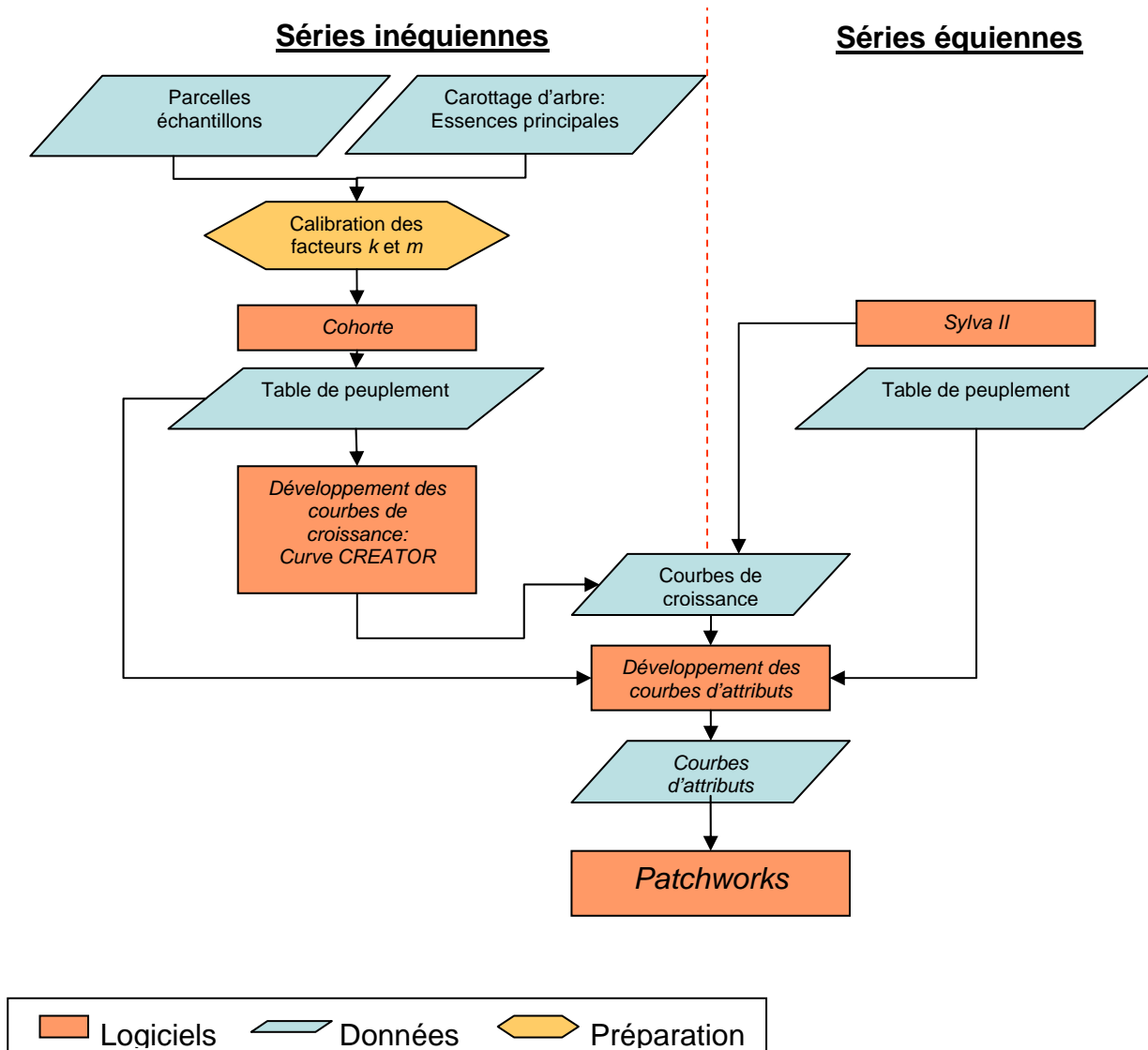


Figure 2. Schéma du cheminement de l'information vers le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks pour la FMBSL

Le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks, outil dit de 3^{ème} génération (ou pseudo-intelligent), utilise des algorithmes heuristiques d'optimisation permettant l'évaluation de

problèmes mathématiquement complexes. Ce logiciel permet donc de modéliser conjointement une grande variété d'objectifs, de nature spatiale ou non, grâce à sa formulation de programmation par buts. Les fonctions d'optimisation de Patchworks se servent d'objectifs et de seuils pour différents indicateurs (investissements, coûts, distribution de la taille des coupes, habitats, etc.) et se font conjointement sur l'allocation des surfaces traitées et sur l'architecture du réseau routier.

La capacité de Patchworks à intégrer des paramètres comme les coûts de construction et d'entretien des chemins ou la distance entre l'assiette de coupe et l'usine permet de rendre le calcul de la possibilité forestière beaucoup plus réaliste. Grâce à ce logiciel, il est également possible de prédire les effets sur la possibilité forestière de l'implantation de nouveaux systèmes d'aménagement (Groupe OptiVert 2004). Évidemment, la spatialisation rend aussi possible l'utilisation d'indices de qualité d'habitat comme indicateurs de l'effet à long terme de différents scénarios sur certaines espèces fauniques ou sur la biodiversité. Enfin, le logiciel Patchworks permet de travailler non seulement à trouver une solution acceptable mais il rend également possible l'identification d'une solution qui maximise l'atteinte des cibles fixées. Selon les objectifs et seuils définis par l'utilisateur, le logiciel Patchworks procède à une planification des interventions dans le temps et dans l'espace et tente de solutionner le problème multi objectifs présenté en minimisant la non atteinte des objectifs. Pour chaque intervention planifiée, le logiciel ajuste les paramètres d'évolution de l'ensemble du territoire et continue la recherche d'une solution optimale la plus près possible des objectifs fixés. L'utilisateur peut intervenir à tout moment pour modifier certains paramètres. On peut ainsi évaluer la sensibilité d'indicateurs par rapport à certaines modalités. À titre d'exemple, l'effet sur la possibilité forestière de l'application d'une cible qui assurerait le maintien d'une superficie minimale en vieilles forêts peut être évalué.

Hypothèses de croissance et de retour pour les strates feuillues et mélangées

Patchworks utilise des courbes de croissance, des rendements de récolte et des indications sur les retours après traitements. Pour ce projet, dans le cas des forêts équiennes, les hypothèses de croissance incluses dans Sylva II seront utilisées. Cependant, dans le cas des peuplements feuillues et mélangés, les hypothèses seront générées à partir du modèle COHORTE (Doyon et al. 2005) selon une procédure actuellement développée pour le projet Kenauk-Lauzon (Forget et al. 2006) afin de permettre la simulation des systèmes de coupes partielles (comme le jardinage en forêt feuillue).

La première étape du projet sera donc de calibrer le modèle de croissance COHORTE pour les principales espèces composant les peuplements de la FMBSL. Des données empiriques de croissance

ont été prélevées à la *FMBSL* par le carottage d'arbre selon une stratification particulière¹. Ces données serviront à calibrer le modèle. Une fois cette étape complétée, des courbes de croissance pour les séries d'aménagement impliquant des coupes partielles seront développées. Ces courbes ainsi que la base de données forestières pourront alors être intégrées à Patchworks.

La calibration du modèle de croissance Cohorte

Le modèle de croissance Cohorte (version 10/03/2006) développé par l'IQAFF (Doyon et al. 2005) a comme avantage de pouvoir être calibré afin de simuler avec précision la croissance des arbres pour une région donnée. Pour ce faire, les données sur la croissance en provenance des bases de données des parcelles échantillons permanentes (PEP) localisées dans les sous régions écologiques de la *FMBSL* ont été utilisées. Une calibration locale a pu être effectuée pour un certain nombre d'essences (BOJ, ERS, ERR, BOP, EPB, SAB) selon les deux Seigneuries de la *FMBSL*. Le tableau 1 présente l'accroissement diamétral annuel moyen des essences carottées. En l'absence d'un nombre suffisant de tiges, les valeurs par défaut de Cohorte qui représentent des valeurs moyennes pour le Québec furent utilisées.

La calibration de la croissance des arbres dans Cohorte se fait en déterminant la valeur des paramètres m et k d'une équation dont la croissance est fonction d'un indice de compétition. Sous une telle forme, la croissance diminue donc géométriquement à mesure que la compétition augmente (voir Équation 1). Les paramètres m et k correspondent respectivement à la pente et à l'ordonnée à l'origine de la courbe de croissance diamétrale des tiges en fonction de l'indice de compétition. La forme de la courbe (paramètre m) par défaut que l'on retrouve dans Cohorte a été utilisée. La calibration se fait donc en déplaçant vers le haut ou vers le bas (paramètre k) la courbe en fonction de la croissance des tiges échantillonnées et de leur indice de compétition. Pour plus de détails relativement à la calibration de Cohorte, veuillez vous référer au document (Doyon et al. 2005).

$$\text{Équation 1 : Croissance} = e^{(k-m*\text{COMPÉTITION})}$$

¹ Voir Protocole de carottage en annexe 4

Tableau 1. Valeurs des croissances diamétrales de certaines espèces utilisées pour la calibration de Cohorte

Essence	Croissance diamétrale (mm/an)
Érable à sucre	3.48
Bouleau jaune	3.22
Bouleau blanc	2.32
Érable rouge	3.13
Épinette blanche	4.83
Sapin baumier	3.77

Développement des courbes de croissance

Le développement des courbes de croissance pour chaque série constitue l'étape suivante de la calibration. Ces courbes de croissances permettent au logiciel Patchworks de faire évoluer chaque peuplement selon les modalités reliées à chaque série. Cette section est simplifiée afin d'alléger ce rapport. Des précisions seront apportées lors du rapport final afin de mieux comprendre le développement de ces courbes.

Les séries inéquiennes

Une fois la calibration locale terminée, le logiciel Cohorte permet de faire évoluer dans le temps les tables de peuplement de chaque série d'aménagement. Cette évolution permet ainsi d'identifier la surface terrière à chaque quinquennal au fur et à mesure que la série évolue. Il est alors possible de construire une courbe de croissance pour un horizon de 170 ans. L'accroissement annuel moyen net a été indiqué au tableau 2 à titre indicatif pour certaines séries. La moyenne de l'accroissement annuel a été réalisée entre une surface terrière de 16 m²/ha et de 24 m²/ha

Tableau 2. Accroissement annuel net de séries d'aménagement inéquiennes (m²/ha/an)

Séries d'aménagement inéquiennes	Sites moyens
Érablière, FT Till mince pente D-E	0.26
BJR, Till mince pente D-E	0.18
RBJFT Till mince pente D-E	0.14
Érablière, FT Till moyen	0.26
RBJFT Till mince pente F	0.13
THO SAB organique	0.21

Les séries équiennes

En ce qui concerne les séries équiennes, les courbes de croissances ont été développées à partir des scénarios d'évolution établis lors du dernier calcul de possibilité pour la FMBSL. Les courbes de croissances ont donc été extraites du logiciel SYLVA II.

Le développement des courbes d'attributs

Un attribut est un indicateur qui caractérise une série d'aménagement à une surface terrière donnée (Figure 3). Ils sont subdivisés en deux types : "en forêt" et "produits". Le premier type exprime l'état de la forêt, alors que le deuxième type est la résultante d'un traitement sylvicole. À titre d'exemple, l'indicateur "volume total" de type "En forêt" indique le volume marchand sur pied pour une série d'aménagement à une surface terrière spécifique. Le même indicateur mais de type "Produits" est lié à un traitement sylvicole et représente le volume marchand qui serait obtenu si le traitement sylvicole était appliqué à une surface terrière donnée.

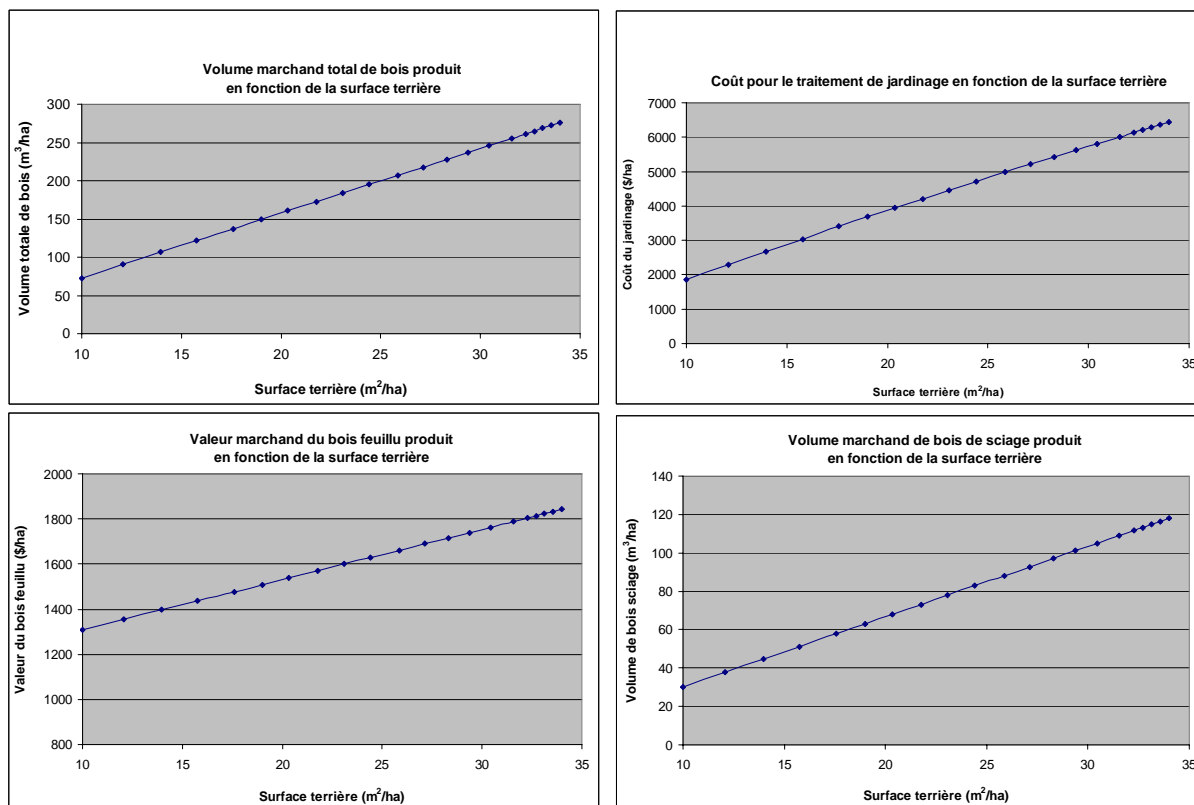


Figure 3. Exemples de courbes d'attributs utilisées pour le plan d'aménagement forestier

Les attributs forestiers sont présentés au tableau 3 et sont regroupés sous différentes rubriques telles que le volume, la valeur et les coûts d'exploitation. Le choix des différents indicateurs doit se faire de façon à pouvoir tester la viabilité économique, l'acceptabilité sociale et le maintien des processus écologiques de plusieurs scénarios d'aménagement. Il est à noter que seuls les facteurs économiques ont été retenus pour cet exercice. Plusieurs autres indicateurs propres aux demandes de la FMBSL seront ajoutés à la version finale afin d'intégrer tous les critères du développement durable. L'intégration de ces critères au modèle sont nécessaires afin d'avoir un calcul de possibilité qui reflète tous les enjeux actuels.

Une fois cette étape terminée, il ne reste qu'à transformer les données d'attributs en format XML, format reconnu par le logiciel Patchworks.

Tableau 3. Nature des attributs utilisés pour le modèle de la FMBSL

Type	Famille	Description
En forêt	Stade	Superficie par classe de surface terrière
En forêt	Volume	Volume marchand brut (m.b.) sur pied total
En forêt	Volume	Volume m.b. sur pied de sciage d'essences feuillues
En forêt	Volume	Volume m.b. sur pied de pâte d'essences feuillues
En forêt	Volume	Volume m.b. sur pied de sciage d'essences résineuses
En forêt	Valeur	Valeur totale sur pied de produits d'essences feuillues
En forêt	Valeur	Valeur totale sur pied de produits d'essences résineuses
Produits	Volume	Volume m.b. prélevé en sciage d'essences feuillues
Produits	Volume	Volume m.b. prélevé en pâte d'essences feuillues
Produits	Volume	Volume m.b. prélevé en sciage d'essences résineuses
Produits	Valeur	Valeur prélevée de produits d'essences feuillues
Produits	Valeur	Valeur prélevée de produits d'essences résineuses
Produits	Coûts	Coût de construction de chemins
Produits	Coûts	Coût d'entretien de chemins
Produits	Coûts	Coût d'abattage et de débusquage (récolte)

*m.b. : marchand brut

Développement et résultats des simulations

La dernière étape consiste à la simulation de scénarios dans le logiciel Patchworks. Ces scénarios sont préalablement définis selon des objectifs recherchés. À vrai dire, l'utilisateur peut décider par exemple de maximiser le volume prélevé par année ou maximiser les profits.

Pour cet exercice, trois scénarios ont été produits afin de comparer l'effet de différentes contraintes. Les différents objectifs de chacun des scénarios sont inclus au tableau 4.

Tableau 4. Scénarios simulés selon les objectifs prédéfinis par quinquennal

Scénario	Description du scénario		Volume marchand brut prélevé	Profit	Coût construction de chemin + entretien
Scénario_A	Volume maximum soutenu	Valeur	320_000_m ³	-	-
		Poids	1	-	-
Scénario_B	Profit maximum soutenu	Valeur	-	4 000 000\$	-
		Poids	-	1	-
Scénario_C	Volume, profit et coût de construction + entretien	Valeur	300 000 m ³	4 000 000\$	100 000\$
		Poids	5	1	10000

Le premier *scénario A* est celui qui s'approche le plus d'un scénario traditionnel de type Sylva II qui ne tient compte que du volume prélevé. Pour ce scénario, un objectif de volume marchand brut récolté de 320_000 m³ par quinquennal a été appliqué. On peut voir d'après les résultats de la simulation à la figure 4 que l'atteinte de ce volume n'est pas possible sur un horizon de 100 ans. En effet, d'après l'histogramme, le volume maximum prélevé soutenu n'atteint pas l'objectif demandé mais tente de s'en approcher. Dans ce scénario, bien que les coûts et autres indicateurs soient calculés ils ne sont aucunement pris en compte dans la recherche de la solution.

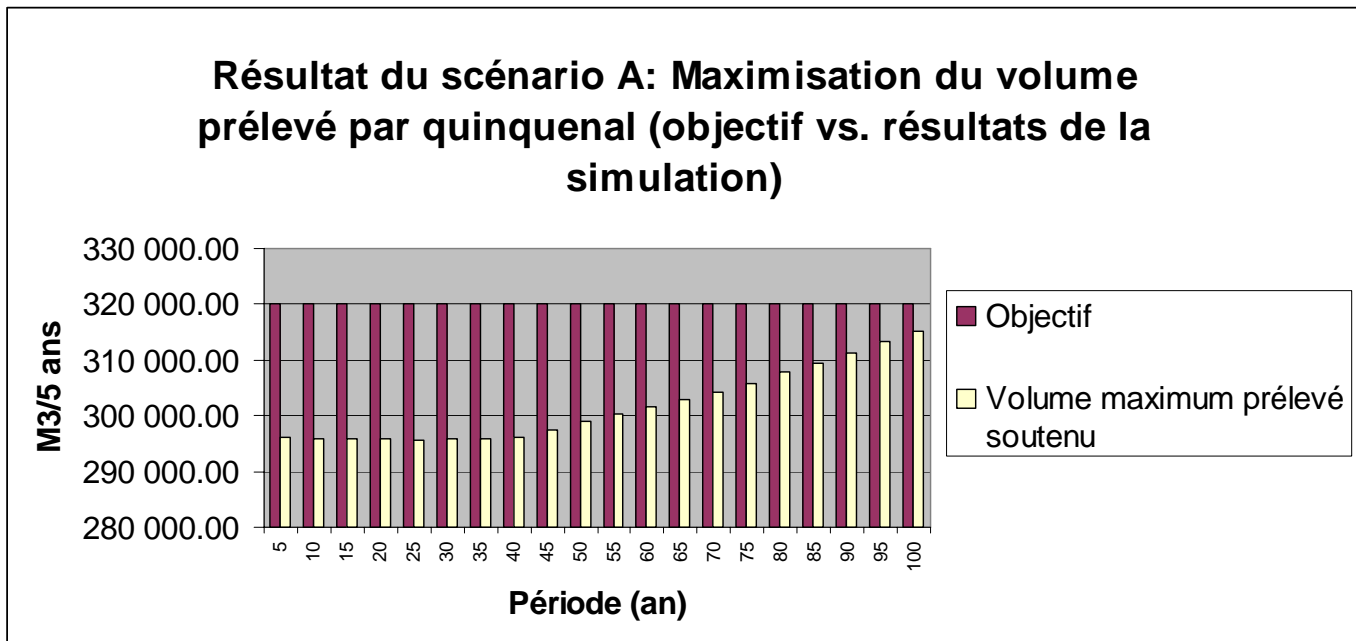


Figure 4. Résultats de la simulation scénario A : Maximisation du volume prélevé par quinquennal

Le *scénario B* a comme seul objectif de maximiser le profit à rendement soutenu sur l'horizon de planification. Pour ce scénario, un objectif élevé de 4 000 000\$ a été ciblé afin que le logiciel puisse trouver une solution optimale qui tend vers un profit maximal.

On peut voir, d'après les résultats de la simulation à la figure 5, que le profit est stable durant les 40 premières années à environ 3 875 000\$/ 5 ans. Suite à cette période on remarque une augmentation graduelle des profits. La même tendance se remarque au scénario A où le volume prélevé augmente après 40 ans. Il est facile de comprendre cette tendance en regardant la structure initiale des forêts à l'**annexe 2** qui démontre une forêt à faible surface terrière. Les traitements de récolte étant restreint à des peuplements de surface terrière plus élevée, il faut donc attendre 40 ans de croissance avant qu'ils soient admissibles pour la récolte. Le profit étant fonction du volume prélevé, on comprend donc son augmentation.

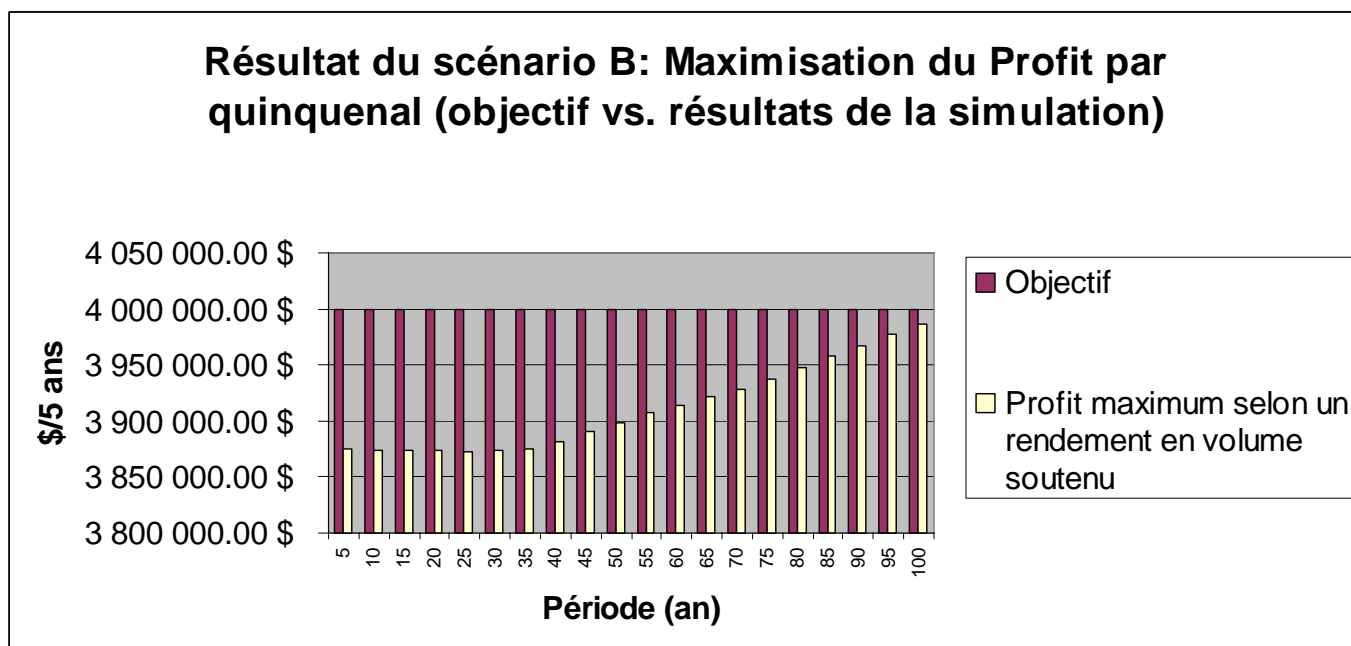


Figure 5. Résultats de la simulation scénario B : Profit réalisé par quinquennal

Le dernier scénario C combine les deux objectifs précédant plus un troisième. Il permet à la fois de tenir compte du profit et du volume récolté mais aussi du coût de construction et d'entretien des chemins. Ce dernier objectif permet de stabiliser les coûts liés à cette contrainte en lui donnant une valeur seuil à maintenir.

L'ajout de contraintes permet donc de raffiner le calcul de possibilité et donc d'avoir un calcul plus réaliste. Dans ce dernier scénario, on peut voir (figure 6) qu'il y a eu une diminution des profits d'environ 200 000\$ comparativement au scénario B. Cette baisse est causée par la contrainte additionnelle du coût de construction et d'entretien. Le logiciel doit maintenir un coût de construction d'environ 100 000 \$ (figure 7), ce qui empêche Patchworks de prélever des superficies

qui nécessitent l'agrandissement de son réseau routier. Cette baisse de volume affecte directement les profits générés par la coupe.

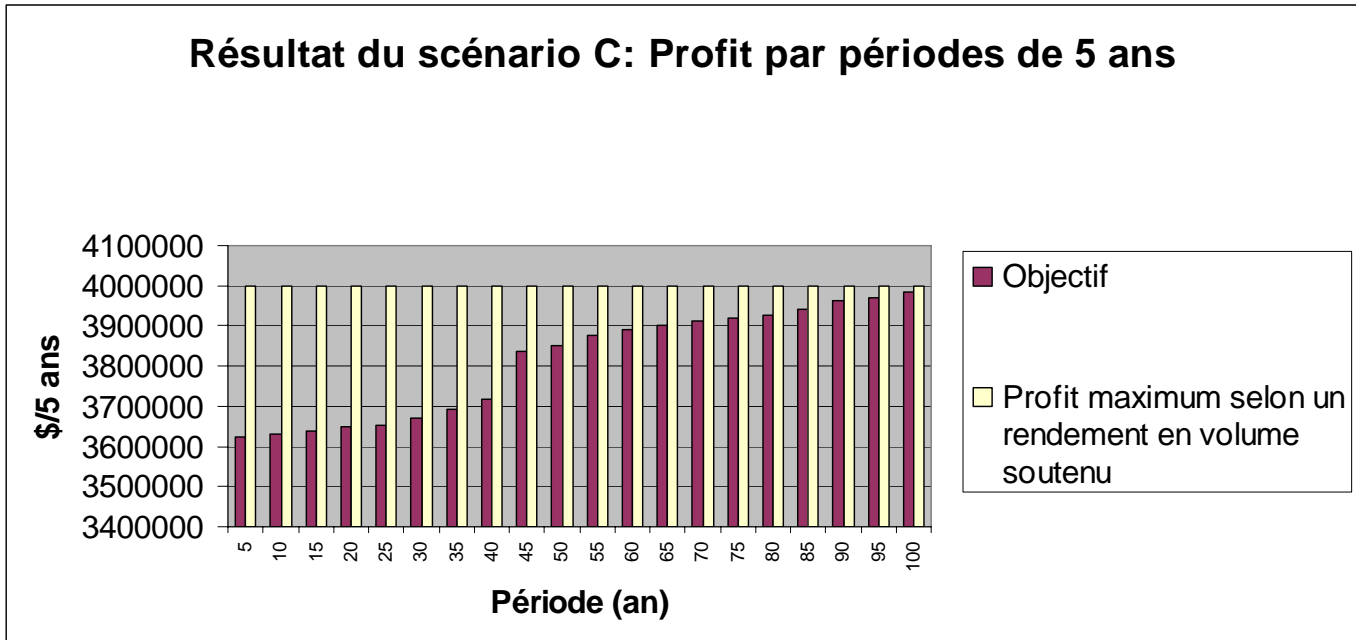


Figure 6. Résultats de la simulation scénario C : Profit réalisé par quinquennal

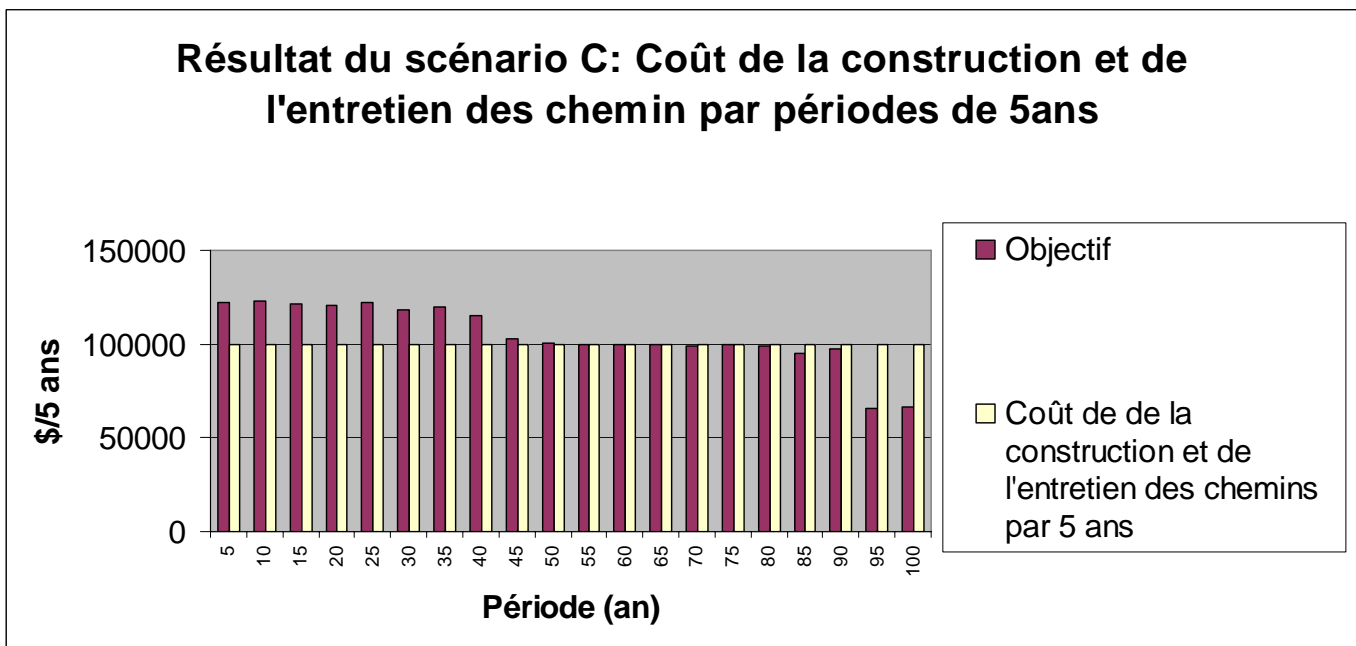


Figure 7. Résultats de la simulation scénario C : Coût de construction et d'entretien de chemins par périodes de 5 ans

Les annexes de 1 à 3 démontrent l'évolution du territoire selon différentes classes de surfaces terrières pour les trois scénarios. Comme mentionné au scénario B, on peut constater que les classes de faibles surface terrière dominant le paysage. N'ayant mis aucune contrainte pour augmenter la superficie en surface terrière élevée tout au long de la simulation, le paysage n'a guère changé après cent ans. Il serait donc intéressant d'élaborer des scénarios qui puissent faire augmenter la proportion de surface terrière élevée à l'intérieur du territoire.

Évidemment, plusieurs autres scénarios sont à envisager pour le rapport final. Cependant, les premiers essais démontrent bien le potentiel de cet outil qui permet de quantifier certains paramètres qui n'étaient pas considérés dans les calculs de possibilité avec SYLVA II. De plus, le logiciel permet d'optimiser la solution selon des objectifs définis par les aménagistes.

Conclusion

Ce rapport initial a permis d'identifier la méthodologie entreprise pour acheminer l'information reçue de la FMBSL vers le logiciel patchworks. La force de cette outil réside en sa capacité d'intégrer des paramètres bio-socio-économique ce qui permet de rendre le calcul de la possibilité forestière beaucoup plus réaliste. Ce logiciel permettra, de plus, d'optimiser une solution d'aménagement qui tient compte de l'ensemble des préoccupations de la FMBSL.

Cette nouvelle technologie ouvre les portes à une foresterie mieux adaptée aux besoins actuels et futurs puisqu'elle permettra de faire la démonstration de la durabilité des plans d'aménagement en forêt feuillue.

Références

Doyon, F., Nolet, P. et R. Pouliot. 2005. COHORTE : un modèle de croissance et d'évolution de la qualité adapté à l'application de coupes partielles. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 50 p.

Forget, É., Doyon, F., Bouffard, D. et R. Pouliot. 2005. Guide des outils d'aide à l'utilisation du logiciel Patchworks pour la planification forestière en forêt feuillue. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 31 p.

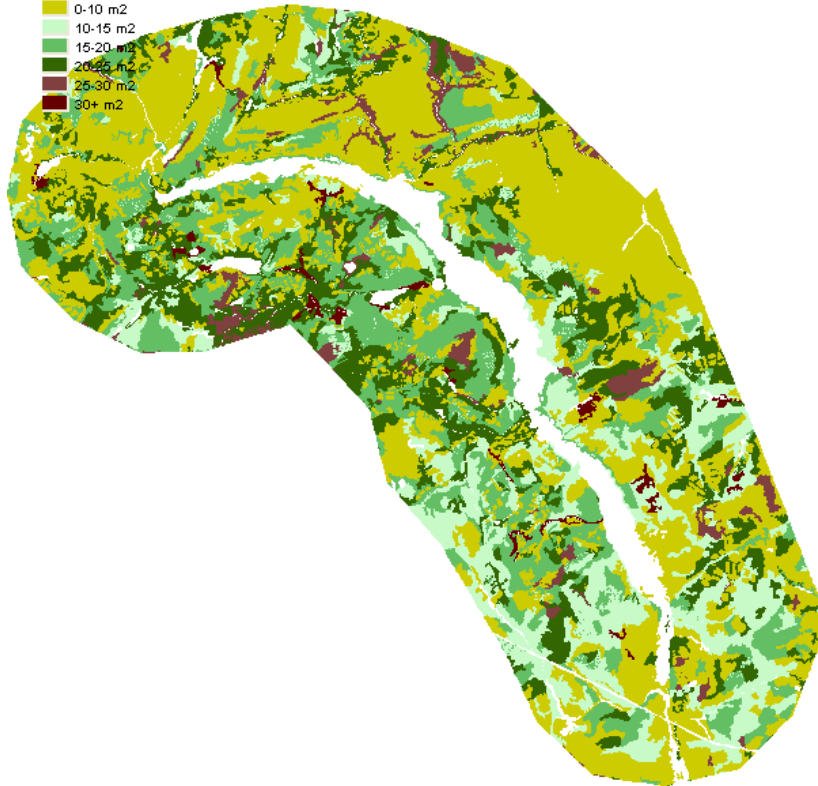
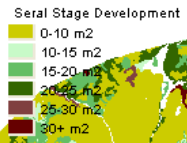
Forget, É., Doyon, F., Bouffard, D. 2006. Plan d'aménagement des terres privées de la fiducie Lauzon 2006-2010. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 90 p.

Groupe OptiVert inc. 2004a. Étude sur la sensibilité des calculs de la possibilité forestière à rendement soutenu en relation avec certains intrants et hypothèses forestières. Volet III. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 42 p. et annexes.

Annexe 1

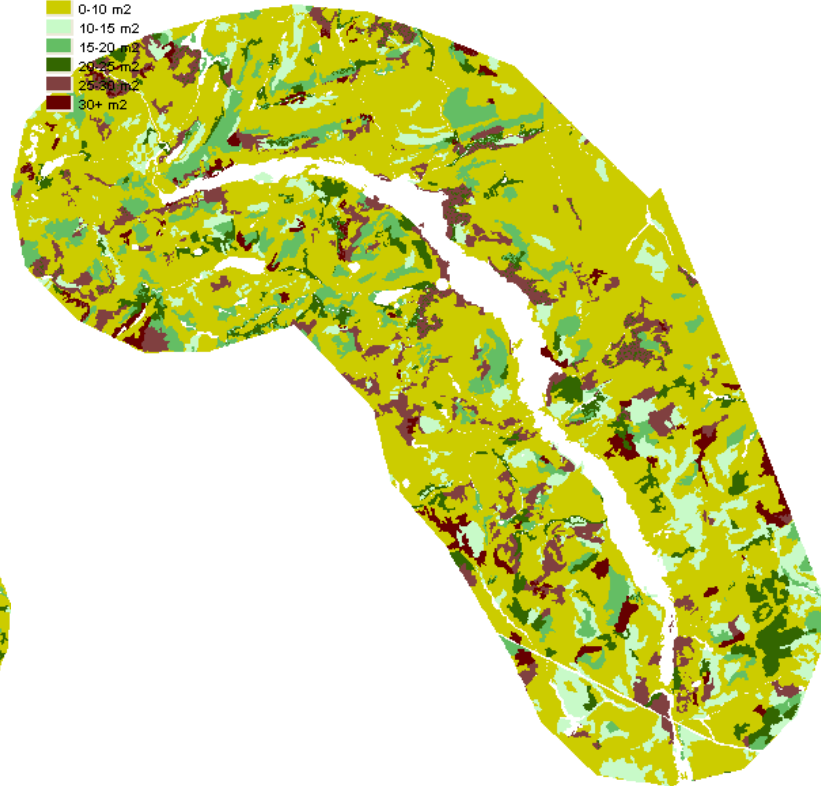
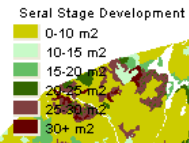
Scénario A état initial (0 an)

Scenario_A scenario
Serai stage pattern for year 0



Scénario A état final (100 ans)

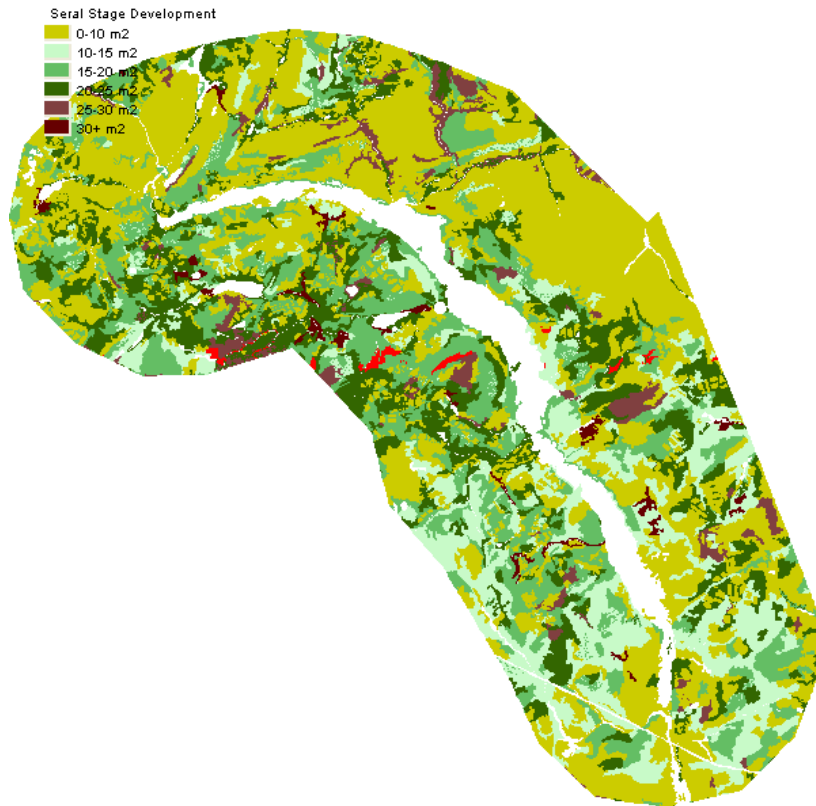
Scenario_A scenario
Serai stage pattern for year 100



Annexe 2

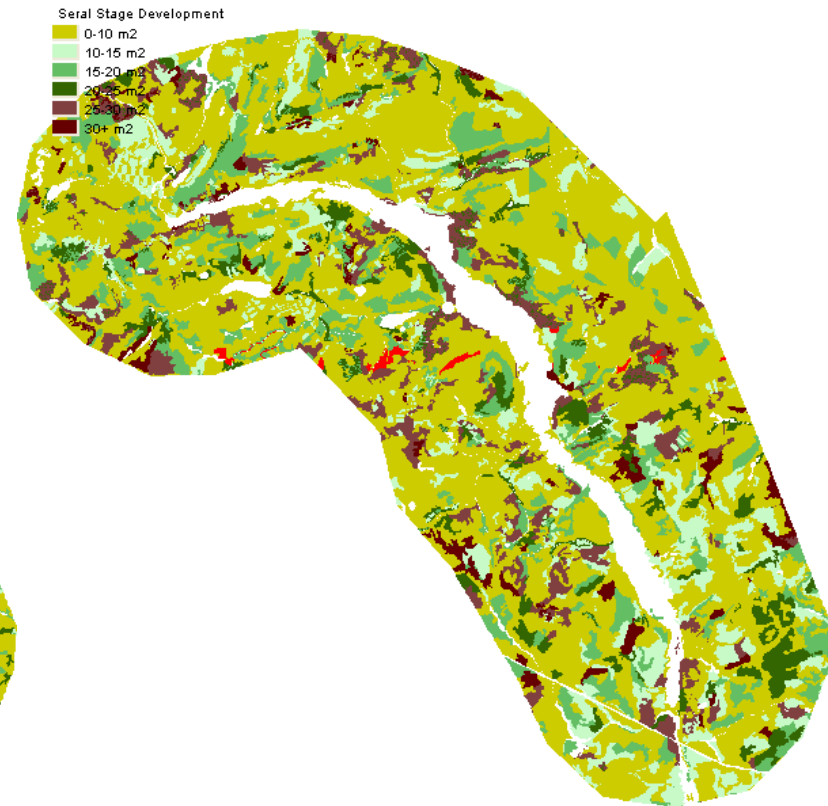
Scénario A état initial (0 an)

Scenario_B scenario
Serai stage pattern for year 0



Scénario A état final (100 ans)

Scenario_B scenario
Serai stage pattern for year 100

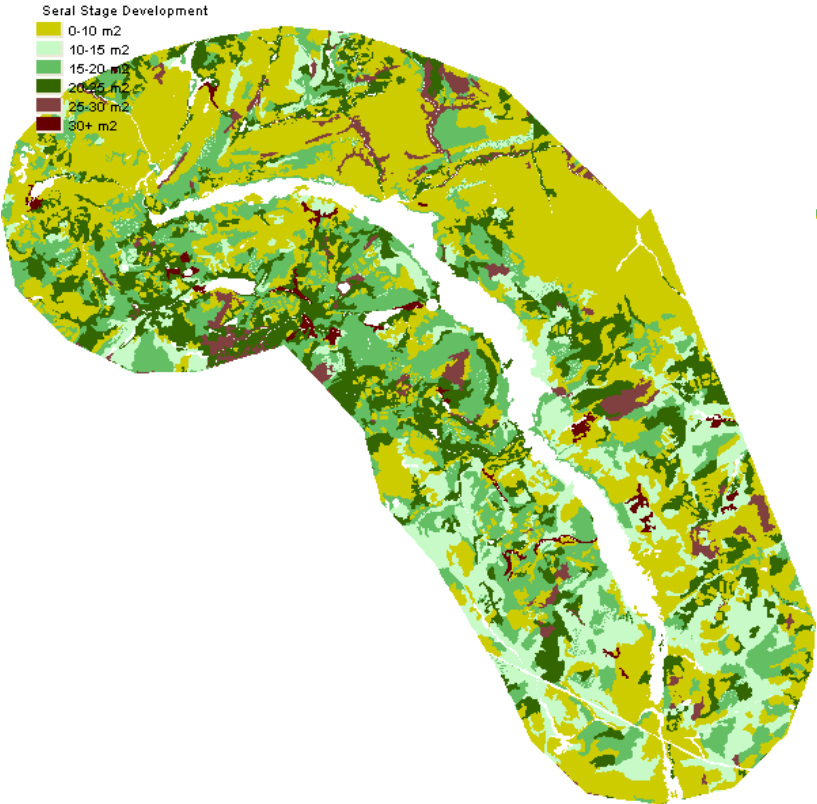


Annexe 3

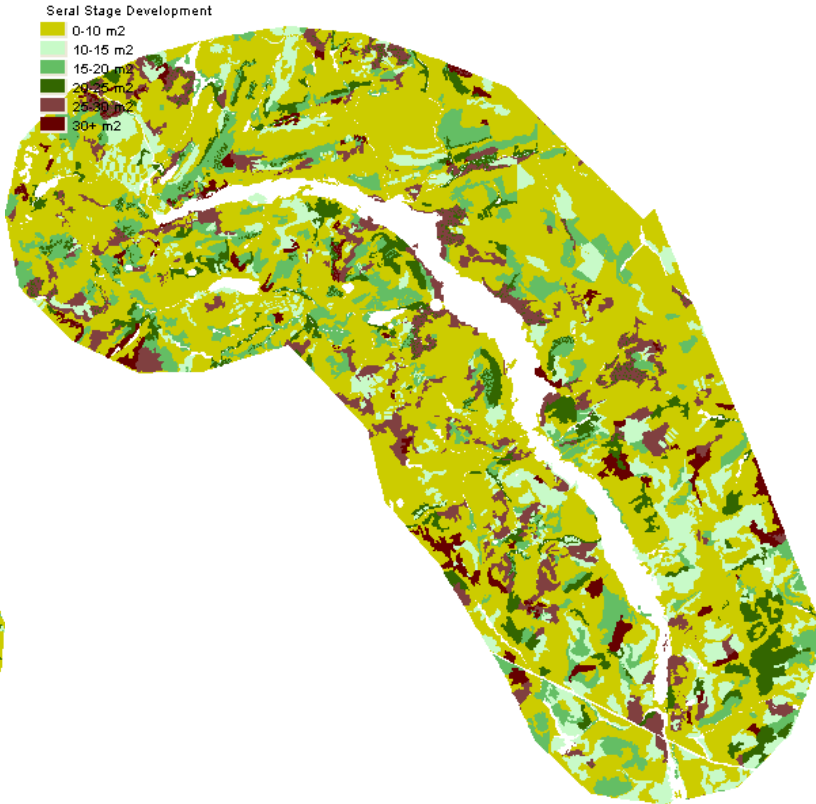
Scénario A état initial (0 an)

Scénario A état final (100 ans)

Scenario_C scenario
Serai stage pattern for year 0



Scenario_C scenario
Serai stage pattern for year 100



Annexe 4

Protocole d'échantillonnage pour la calibration de Cohorte FMBSL automne 2005

- Le territoire du Lac-Métis a été divisé en deux zones d'échantillonnage selon le dépôt (station 1 = 1A et station 2 = 8A) alors que Nicolas Riou n'a qu'une seule zone d'échantillonnage (station 3 = dépôt 8A). Sur les deux territoires, l'échantillonnage se limite au type écologique MS12.
- Le champ « station » des couvertures sondage_Riou.shp et sondage_Metis.shp indique les peuplements pouvant être choisis pour l'échantillonnage selon les trois stations. Ces peuplements ont les caractéristiques suivantes :
 - o le type écologique MS12
 - o dépôt 8A ou 1A
 - o âge 50 ans ou plus
 - o sans perturbation anthropique depuis 2001.

Échantillonnage

- Essences à échantillonner :
 - o Lac-Métis (station 1 et 2): ERS, BOJ, SAB
 - o Nicolas-Riou 8A (station 3): ERS, BOP, ERR²
- 40 arbres * 3 essences * 3 stations (donc un total de 360 arbres) doivent être carottés.
- Des 40 arbres, 20 doivent être vigoureux (classe de vigueur 1, 2 ou 5) et 20 non vigoureux (3, 4 ou 6).
- Parmi les 20 arbres de chaque combinaison essence * station * vigueur, un bon gradient du niveau de compétition (de la surface terrière) des tiges doit être inventorié – voir feuille-terrain
- Le DHP approximatif des tiges qui entrent dans un prisme facteur 2 autour de la tige sujet doit être pris en note (le nb de tiges qui entrent doit être exact).
- Deux carottes par arbres (6 cm +écorce) prises à 180 degrés les unes des autres prises à hauteur de poitrine.
- Idéalement, pas plus de 8 arbres par essence (4 V et 4 NV) seraient échantillonnés dans un même peuplement.
- Les 2 carottes de chaque arbre-sujet devront être placées dans une même paille. Le numéro de la tige doit être indiqué à deux endroits sur la paille avec un crayon à encre permanente.
- Une extrémité des pailles doit être ouverte lors de l'entreposage afin de permettre aux carottes de sécher et d'éviter la pourriture.
- *L'arbre doit être numéroté et une lecture du point GPS prise.- si possible.*

² L'ERR est l'essence la moins critique s'il manque de temps.