

Titre :	Comparaison des résultats des travaux du CIMOTFF obtenus avec le simulateur de croissance SaMARE à ceux obtenus avec Artémis 2009 et Artémis 2014
Auteurs :	François Guillemette, ing.f., M. Sc. (DRF), Pascal Gauthier, ing.f., MBA (MFFP, région 06-13) et Hugues Power, ing.f., Ph. D. (DRF)
Collaborateur :	Jean-François Boileau, ing.f., prog. (WSP Canada Inc.)
Date :	Avril 2015

1- Introduction

Le Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF) a mené des travaux novateurs dont les résultats viennent changer certains paradigmes de la sylviculture des peuplements feuillus au Québec (Saucier *et al.* 2014). Ces travaux démontrent que plusieurs modalités, y compris celles qui changent les priorités de récolte lors du martelage et certaines de celles où la récolte est légèrement accrue, améliorent la rentabilité des opérations de récolte sur plus d'une rotation, tout en respectant des exigences de durabilité. Pour ce faire, elles doivent cependant respecter certaines balises, qui ont fait l'objet de recommandations.

Le temps et les ressources alloués au CIMOTFF n'ont toutefois pas permis d'évaluer les impacts des modalités étudiées sur la possibilité forestière. Cet aspect a été abordé par le Bureau du forestier en chef (BFEC) dans un autre projet du Chantier sur la forêt feuillue (Laberge et Pin 2015), réalisé en collaboration avec la région 06-13 et le Bureau de mise en marché des bois (BMMB). Les résultats préliminaires de ce projet ont démontré la validité des conclusions du CIMOTFF, mais aussi, l'existence de différences importantes entre les simulations du BFEC et celles du CIMOTFF quant à la durée de rotation et à la production à long terme de bois d'œuvre. L'utilisation du simulateur de croissance Artémis 2009 (Fortin et Langevin 2010) au lieu de SaMARE 2006 (Fortin *et al.* 2009a) pourrait expliquer ces écarts. Compte tenu de l'importance des changements de paradigmes proposés par le CIMOTFF, il est impératif de mieux documenter ces écarts, afin d'appliquer les recommandations du CIMOTFF de manière plus éclairée. En termes plus précis, le présent avis vise à répondre à la question suivante : **est-ce que les principaux résultats et recommandations du CIMOTFF auraient été différents si les simulations de croissance avaient été effectuées avec Artémis plutôt qu'avec SaMARE?**

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

2700, rue Einstein, bureau C.1.345.11
Québec (Québec) G1P 3W8
Tél : 418 643-7994 poste 6629
Télécopieur : 418 643-2165
Courriel : francois.guillemette@mffp.gouv.qc.ca
<http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche/index.jsp>

2- Méthodologie

La démarche a consisté principalement à reproduire les simulations du CIMOTFF effectuées avec SaMARE 2006 (Fortin *et al.* 2009a) en utilisant deux versions du simulateur Artémis : la version 2009 (Fortin et Langevin 2010), utilisée par le BFEC pour les calculs de possibilité forestière pour la période 2013-2018, et la version 2014 (Power *et al.*, en préparation), dont le BFEC commence à faire usage pour les calculs de possibilité pour la période 2018-2023 dans certains territoires. La méthodologie détaillée du choix des peuplements et des modalités à simuler, des opérations faites dans le Modèle d'évaluation de rentabilité des investissements sylvicoles (l'outil MÉRIS du BMMB, <https://bmmب.ɡouv.ɡc.ca/analyses-economiques/outils-d-analyse/>) et de la simulation de la croissance dans SaMARE sont décrits en détail dans le rapport du CIMOTFF (Saucier *et al.* 2014), complété par WSP (2015). Des 131 cas simulés par le CIMOTFF, 90 ont été repris de manière à exclure des cas présentant moins d'intérêt pour le présent avis¹.

La méthode de calcul des volumes de bois d'œuvre a dû être adaptée à la nature des données utilisées par Artémis. En effet, Artémis ne considère pas les classes de priorité de récolte (MSCR : voir Boulet 2007) ni celles de potentiel de bois d'œuvre (OP : voir MRNF 2006) qui entraient dans les simulations du CIMOTFF. Pour le présent avis, les volumes de bois d'œuvre ont été calculés à l'aide d'une matrice de répartition par produits basée sur l'essence et le diamètre à hauteur de poitrine (dhp, mesuré à une hauteur de 1,30 m) d'après le modèle général de Fortin *et al.* (2009b), puisque c'est celui qui est programmé sur la plateforme Capsis (<http://capsis.cirad.fr/capsis/home>) utilisée par le BFEC pour lancer les simulations du modèle Artémis. Cependant, par souci de cohérence avec la méthode du CIMOTFF, qui utilisait MÉRIS pour simuler les traitements et calculer les volumes, le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) a été converti en matrice de répartition par produits, puis ajouté aux matrices disponibles dans MÉRIS. Cette nouvelle matrice a été utilisée à la fois pour réviser les volumes de bois d'œuvre issus des simulations de SaMARE et pour calculer les nouveaux volumes de bois d'œuvre issus des simulations d'Artémis. De cette façon, les différences entre les résultats de SaMARE et ceux d'Artémis quant au volume de bois d'œuvre peuvent être attribuées aux modèles de croissance plutôt qu'à des différences entre les méthodes de calcul des volumes ou les matrices de répartition. Par contre, cette méthode nous fait perdre la sensibilité à la priorité de récolte des arbres pour l'estimation du volume de bois d'œuvre. Ainsi, tous les arbres sont de qualité « moyenne », ce qui équivaut approximativement aux classes de vigueur 3 ou de priorité S. De plus, le modèle de Fortin *et al.* (2009b) ne calcule que les volumes de l'érable à sucre et du bouleau jaune, et exclut donc le chêne rouge et le bouleau à papier, qui font partie du groupe d'essences du rapport du CIMOTFF.

¹ Nous avons exclu la modalité consistant à ne pas récolter des essences dites « sans preneur », soit principalement le hêtre, l'érable rouge et le sapin, ainsi que celle fixant le diamètre à maturité financière à 50 cm en première priorité de récolte. Dans ce second cas, les résultats du CIMOTFF indiquaient que les effets de cette modalité se situaient entre ceux des modalités fixant le diamètre financier à 40 et à 56 cm. Il est raisonnable de poser l'hypothèse que ce serait aussi le cas avec Artémis.

Les résultats sont présentés pour les principales variables d'intérêt et dans un format qui facilite les comparaisons avec les résultats du CIMOTFF.

3- Résultats

Les volumes de bois d'œuvre de haute valeur estimés avec le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) étaient nettement inférieurs à ceux estimés avec la matrice MSCR-OP présente dans l'outil MERIS et utilisée par le CIMOTFF. Par exemple, le volume initial moyen des peuplements à l'étude était de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (modèle de Fortin *et al.* 2009b) et de $18,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CIMOTFF), ce qui représente une diminution de 18 %.

3.1. Récolte

Les modalités testées dans le cadre du CIMOTFF génèrent-elles davantage de bois d'œuvre de haute valeur (regroupement des classes de déroulage, F1 et F2 : DF1F2) que le traitement de référence, et ce, pour les 3 simulateurs?

Pour le volume moyen de DF1F2 dans les coupes de jardinage (CJ), il n'y a pas de différences significatives entre les trois simulateurs ($p = 0,8167$), mais il y en a entre les diverses modalités testées ($p < 0,0001$, tableau 1). De plus, les effets vont dans le même sens que ceux rapportés dans le rapport CIMOTFF, comme quoi l'application en plus haute priorité de récolte (2^e priorité) d'un diamètre à maturité financière (Diamf) fixé à 40 cm améliore significativement les récoltes de DF1F2 ($p < 0,0001$), tandis que l'augmentation de la proportion de sentiers diminue significativement ces récoltes ($p = 0,0009$).

Par contraste, dans les coupes progressives irrégulières avec couvert permanent (CPI_CP), les volumes DF1F2 récoltés diffèrent significativement entre les simulateurs, et sont plus grands dans SAMARE que dans les 2 versions d'Artémis ($p \leq 0,0013$, tableau 1). La différence entre les 2 versions d'Artémis est presque significative ($p = 0,0570$). Il y a aussi des différences significatives entre les diverses modalités de récolte des CPI_CP ($p \leq 0,0094$). Tout comme dans les résultats du CIMOTFF, c'est le groupe de modalités dites « de base » qui présente les moins bons résultats, tandis que les meilleurs résultats sont observés avec un Diamf fixé à 40 cm et un taux accru de prélèvement. Il est important de préciser que les 3 simulateurs réagissent de façon semblable aux divers groupes de modalités testées.

La méthode d'estimation des volumes de DF1F2 sur les résultats des simulations de SaMARE a peu d'effet sur les simulations d'une modalité fixant le Diamf à 56 cm en 4^e ou 6^e priorité de récolte, mais elle en a beaucoup lorsque les arbres de 40 cm et plus de Diamf sont récoltés en 2^e priorité (Tableau 1, valeurs entre parenthèses). En effet, dans le premier cas, les nouveaux volumes DF1F2 sont de 0 à $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ moindres que ceux calculés précédemment avec la matrice MSCR-OP (-0 à -6 %), mais dans le deuxième cas, l'écart atteint de 3,0 à $7,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (-30 à -35 %).

Tableau 1. Volume moyen ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de chacune des 3 récoltes en produits de déroulage, F1 et F2 pour les CJ et les CPI_CP calculé avec les simulateurs SaMARE, Artémis 2009 et Artémis 2014. Les valeurs entre parenthèses sont celles obtenues avec la matrice MSCR-OP de répartition par produits, soit celle du rapport CIMOTFF.

Diamf	% prélevement	Proportion de sentiers	CJ			CPI_CP		
			SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014	SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, Diamf ≥ 56 cm	De base	De base	7,5 (7,7)	7,3	7,4	6,6 (6,6)	5,9	5,9
		Accrue	6,7 (7,1)	6,7	6,4			
	+10 %	De base				8,7 (8,9)	7,2	7,5
		Accrue				8,3 (8,8)	7,2	7,5
2 ^e priorité de récolte, Diamf ≥ 40 cm	De base	De base	9,1 (13,1)	10,0	9,7	6,9 (9,9)	6,8	7,0
		Accrue	7,8 (12,0)	7,4	7,9			
	+10 %	De base				10,2 (13,5)	9,1	9,7
		Accrue				9,5 (12,9)	7,8	8,8

3.2. Rendement en volume

Le rendement en volume de bois d'œuvre de haute valeur (déroulage, F1 et F2 regroupés, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) équivaut-il à celui du traitement de référence, et ce, pour les 3 simulateurs?

Dans les CJ, le rendement annualisé en volume DF1F2 varie significativement selon le simulateur ($p < 0,0001$) et selon le groupe de modalités de récolte ($p < 0,0001$, tableau 2). Comparativement aux modalités de base (Diamf fixé à 56 cm), les modalités fixant le Diamf à 40 cm indiquent une amélioration significative du rendement en volume DF1F2 ($p < 0,0001$), tandis que l'augmentation de la proportion de sentiers tend à diminuer ces rendements ($p = 0,0762$). Lorsque le Diamf est fixé à 40 cm, l'augmentation du rendement est de l'ordre de 6 % pour le simulateur SaMARE, de 40 % pour Artémis 2009 et de 30 % pour Artémis 2014. Le faible nombre de peuplements simulés en CJ ($n = 4$) restreint probablement la capacité de détecter une interaction significative entre le simulateur et les modalités, même si l'observation des résultats au tableau 2 laisse penser que les différences entre les simulateurs pourraient être plus grandes avec certaines modalités (p. ex., Diamf ≥ 56 cm) qu'avec d'autres (p. ex., Diamf ≥ 40 cm).

D'ailleurs, l'interaction entre les modalités de CPI_CP ($n = 8$) et les différents simulateurs est significative pour le volume DF1F2 ($p = 0,0262$, tableau 2). L'interaction des 3 simulateurs avec les modalités de récolte crée 66 paires de conditions qu'il est possible de comparer, mais qui ne sont pas toutes d'intérêt. Parmi les simulations de CPI_CP avec SaMARE, même si aucune comparaison d'intérêt n'affiche de différence significative, les résultats de SaMARE sont tous significativement supérieurs à ceux des 2 autres simulateurs ($p < 0,0001$). Avec les 2 versions d'Artémis, toutes les modalités présentent des différences significatives, sauf 1) la proportion accrue de sentiers, qui n'influence pas significativement le rendement si le Diamf est fixé à 40 cm et que le prélèvement est accru ($p = 0,2866$ pour Artémis 2009 et $p = 0,0628$ pour Artémis 2014), et 2) la proportion accrue de sentiers dans Artémis 2014, qui ne change pas significativement le rendement, comparativement aux modalités de base ($p \geq 0,1668$). Avec Artémis, le

prélèvement accru de 10 % améliore le rendement lorsqu'il est accompagné d'un Diamf fixé à 56 cm en 4^e priorité de récolte, mais il a l'effet inverse lorsqu'il est accompagné d'un Diamf fixé à 40 cm en 4^e priorité de récolte.

Ainsi, en appliquant le modèle général (ess-dhp) d'estimation du volume DF1F2 aux résultats de SaMARE, le rendement en volume reste généralement élevé, mais il n'est pas aussi sensible aux modalités de récolte que les résultats du CIMOTFF (Tableau 2), qui indiquaient une augmentation plus importante du rendement en volume DF1F2 pour la modalité visant la récolte à un Diamf fixé à 40 cm (soit de l'ordre de 48 %, au lieu de 6 % avec le modèle général de Fortin *et al.* 2009b). Par exemple, la modalité de CJ fixant le Diamf à 40 cm augmentait le rendement de 0,40 à 0,59 m³·ha⁻¹·an⁻¹ dans les premiers résultats du CIMOTFF, mais les nouveaux résultats font passer ces valeurs à 0,36 et à 0,38 m³·ha⁻¹·an⁻¹, respectivement (Tableau 2). Par contre, les résultats des 2 versions d'Artémis vont dans le même sens que ceux du CIMOTFF, c'est-à-dire que le rendement augmente significativement (de 11 à 38 % pour la CJ et la CPI_CP) avec la modalité de récolte fixant le Diamf à 40 cm, comparativement aux modalités de base (Diamf ≥ 56 cm).

Tableau 2. Rendement annuel moyen en volume de déroulage, F1 et F2 de feuillus durs (m³·ha⁻¹·an⁻¹) pour les CJ et les CPI_CP selon les simulateurs SaMARE, Artémis 2009 et Artémis 2014. Les valeurs entre parenthèses sont celles obtenues avec la matrice MSCR-OP de répartition par produits, soit celle du rapport CIMOTFF.

Diamf	% prélèvement	Proportion de sentiers	CJ			CPI_CP		
			SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014	SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, Diamf ≥ 56 cm	De base	De base	0,36 (0,40)	0,19	0,22	0,29 (0,33)	0,15	0,18
		Accrue	0,34 (0,41)	0,16	0,20			
	+10 %	De base				0,32 (0,34)	0,17	0,20
		Accrue				0,30 (0,32)	0,13	0,19
2 ^e priorité de récolte, Diamf ≥ 40 cm	De base	De base	0,38 (0,59)	0,26	0,29	0,33 (0,45)	0,20	0,24
		Accrue	0,35 (0,55)	0,21	0,25			
	+10 %	De base				0,31 (0,42)	0,19	0,23
		Accrue				0,29 (0,40)	0,18	0,21

3.3. Rendement en surface terrière

Le rendement en surface terrière totale (m²·ha⁻¹·an⁻¹) est-il équivalent à celui du traitement de référence, et ce, pour les 3 simulateurs?

Bien que les rendements en surface terrière marchande soient significativement différents entre les 3 simulateurs ($p < 0,0001$), les effets des modalités sont les mêmes que dans le rapport du CIMOTFF (Tableau 3). En effet, autant dans les CJ que dans les CPI_CP, l'augmentation de la proportion de sentiers a un effet généralement significatif, mais toujours négatif, sur le rendement en surface terrière

($0,0109 < p \leq 0,0566$ selon la comparaison, tableau 3). De plus, dans la CPI_CP, on observe un gain de rendement attribuable à l'augmentation du taux de prélèvement ($p < 0,0001$). La fixation du Diamf à 40 cm n'a pas eu d'effet significatif ($p \geq 0,4233$). Les différences entre les 3 simulateurs sont significatives pour les 2 traitements ($p < 0,0001$); les modèles se classent toujours dans le même ordre décroissant : SaMARE, Artémis 2014 et Artémis 2009.

Tableau 3. Rendement annuel moyen en surface terrière totale ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour les CJ et les CPI_CP selon les simulateurs SaMARE, Artémis 2009 et Artémis 2014.

Diamf	% prélèvement	Proportion de sentiers	CJ			CPI_CP		
			SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014	SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, Diamf ≥ 56 cm	De base	De base	0,34	0,16	0,21	0,27	0,12	0,17
		Accrue	0,31	0,13	0,19			
	+10 %	De base				0,30	0,16	0,21
		Accrue				0,29	0,14	0,20
2 ^e priorité de récolte, Diamf ≥ 40 cm	De base	De base	0,32	0,19	0,24	0,26	0,13	0,19
		Accrue	0,30	0,15	0,20			
	+10 %	De base				0,28	0,16	0,22
		Accrue				0,27	0,15	0,20

3.4. Durabilité

Les durées des rotations dans les CJ et les CPI_CP modifiées sont-elles équivalentes à celles des modalités de référence, et ce, selon les 3 simulateurs?

La durée des rotations diffère très significativement entre les 3 simulateurs, et ce, dans les 2 traitements ($p < 0,0001$, tableau 4). Par exemple, dans les CJ et les CPI_CP, le cumul de 2 rotations avec les modalités de référence est d'environ 85 ans avec Artémis 2009 et de 75 ans avec Artémis 2014, tandis qu'avec SaMARE, il est d'environ 45 ans dans les CJ et 60 ans dans les CPI_CP. Dans les CPI_CP, l'augmentation du taux de prélèvement allonge significativement la durée des 2 rotations ($p < 0,0001$), et ce, avec les 3 simulateurs. Cette augmentation est d'environ 5 ans par rotation (10 ans sur 2 rotations) lorsque le prélèvement accru est combiné à un Diamf fixé à 56 cm, et de près de 10 ans par rotation (20 ans sur 2 rotations) lorsque le prélèvement accru est combiné à un Diamf fixé à 40 cm. Les modalités touchant le Diamf et la proportion de sentiers seuls n'influencent pas significativement la durée cumulée des 2 premières rotations.

Le faible nombre de répétitions des CJ ($n = 4$) n'a pas permis de détecter de différences significatives entre la durée de la seconde rotation et celle de la première, et ce, bien qu'Artémis 2009 ait affiché une tendance à la hausse ($p = 0,0676$, tableau 4). Par contre, dans les CPI_CP, la durée des 2 rotations différait significativement selon les simulateurs ($p < 0,0001$) et entre certaines modalités ($p = 0,0221$). Les

principaux résultats d'intérêt sont la plus forte tendance à l'allongement des rotations dans Artémis 2009, comparativement aux 2 autres simulateurs ($p \leq 0,0071$), puis l'absence d'une telle différence significative entre Artémis 2014 et SaMARE ($p = 0,2943$). Dans ce dernier cas, c'est la variabilité des résultats qui limite la capacité de détecter des différences significatives.

Un point important à souligner est qu'avec Artémis 2009, la durée de la 2^e rotation est fréquemment sous-estimée, surtout dans les CPI_CP avec prélèvement accru de 10 %. En effet, 18 des 32 simulations de ce cas (56 %) ont atteint 60 ans en 2^e rotation, soit la durée maximale simulée pour une rotation, sans avoir satisfait les critères initiaux pour appliquer un 3^e traitement². À titre comparatif, cette situation s'est produite seulement 4 fois avec SaMARE et 3 fois avec Artémis 2014, pour ces mêmes CPI_CP avec prélèvement accru de 10 %. Cette situation était marginale avec les autres modalités des traitements.

Tableau 4. Durée totale des 2 rotations (années) pour les CJ et les CPI_CP selon les simulateurs SaMARE, Artémis 2009 et Artémis 2014. Les valeurs entre parenthèses indiquent la différence de durée entre la première et la seconde rotation.

Diamf	% prélèvement	Proportion de sentiers	CJ			CPI_CP		
			SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014	SaMARE	Artémis 2009	Artémis 2014
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, Diamf ≥ 56 cm	De base	De base	44 (-1)	85 (+8)	75 (+8)	58 (+4)	86 (+9)	72 (+8)
		Accrue	46 (+1)	93 (+10)	70 (-3)			
	+10 %	De base				67 (+1)	94 (+8)	82 (+7)
		Accrue				71 (+6)	106 (+14)	84 (+4)
2 ^e priorité de récolte, Diamf ≥ 40 cm	De base	De base	50 (-3)	79 (+1)	69 (+1)	56 (+3)	80 (+8)	66 (+4)
		Accrue	49 (-1)	85 (+3)	70 (+3)			
	+10 %	De base				74 (+1)	99 (+6)	83 (-1)
		Accrue				78 (+1)	97 (+4)	85 (+3)

4- Discussion

Les principales recommandations formulées par le CIMOTFF n'auraient pas été différentes si les simulateurs Artémis 2009 ou 2014 avaient été utilisés au lieu de SaMARE, même si certains résultats sont différents. Les résultats sont examinés selon 3 aspects : les comparaisons des effets des modalités pour un même simulateur, les différences générales entre les simulateurs et les effets du modèle d'estimation des volumes DF1F2.

4.1. Effets des modalités pour un même simulateur

Les résultats des 3 simulateurs indiquent que la modalité consistant à appliquer en plus haute priorité de récolte un Diamf de 40 cm au lieu de 56 cm améliore le volume DF1F2 récolté et le rendement annuel de

² La reconstitution de la surface terrière était le principal critère limitatif, particulièrement avec Artémis 2009.

ces produits, mais ne modifie pas le rendement annuel en surface terrière ni la durée des rotations (Tableaux 1 à 4). Ces résultats corroborent ceux du CIMOTFF.

Les résultats des 3 simulateurs indiquent aussi que l'augmentation du taux de prélèvement (+10 %) dans les CPI_CP augmente le volume DF1F2 récolté, et que cette récolte additionnelle est principalement compensée par un allongement de chacune des rotations d'environ 5 ans si le Diamf est fixé à 56 cm, et d'environ 10 ans si le Diamf est fixé à 40 cm (Tableaux 1 et 4). Les résultats de SaMARE n'indiquent pas de différences significatives attribuables à l'augmentation du taux de prélèvement sur le rendement annualisé en volume DF1F2, tandis que ceux des 2 versions d'Artémis indiquent de petites différences : un gain de rendement si l'augmentation du prélèvement est combiné à un Diamf fixé à 56 cm en 4^e priorité de récolte, mais une diminution de rendement si elle est combinée à un Diamf fixé à 40 cm en 2^e priorité de récolte (Tableau 2).

Les 3 simulateurs montrent qu'une augmentation de la proportion de sentiers a un effet négatif sur le volume DF1F2 récolté et sur le rendement annuel, à la fois en volume DF1F2 et en surface terrière totale. Cependant, le critère de durabilité du scénario sylvicole incluant cette modalité sur 2 rotations a été satisfait en diminuant le volume récolté et en maintenant la durée des rotations. Les conclusions tirées de SaMARE avec cette modalité pour les volumes DF1F2 récoltés sont affectées par le modèle de prédiction de ces volumes. En effet, l'utilisation de la matrice MSCR-OP dans le rapport CIMOTFF n'avait pas permis de détecter de différences de récolte et de rendement en volume DF1F2 attribuables à cette modalité, tandis que l'utilisation du modèle général de Fortin *et al.* (2009b) dans le présent avis a permis d'en détecter une. Toutefois, cette divergence s'expliquerait principalement par la plus faible variabilité des résultats dans le présent avis, du fait que des arbres d'une même essence et d'un même dhp ont un même volume DF1F2, indépendamment de leur classement MSCR-OP.

4.2. Différences générales entre les simulateurs

Les résultats de croissance issus de SaMARE sont nettement supérieurs à ceux des 2 versions d'Artémis, bien que l'écart soit moindre avec Artémis 2014 (Tableaux 2 à 4). Les rotations simulées en CJ avec les modalités de base sont de 20-25 ans avec SaMARE, comparativement à 40-45 ans avec Artémis 2009 et de 35-40 ans avec Artémis 2014. En CPI_CP de base, SaMARE prédit des rotations un peu plus longues, soit 25-30 ans, tandis que les prédictions d'Artémis sont semblables à celles des CJ. Les simulateurs tiennent compte différemment de l'effet des traitements. D'abord, SaMARE peut capter l'effet d'une sélection des arbres ayant une priorité de récolte différente pour un même dhp et une même essence, tandis qu'Artémis est surtout sensible à la composition et à la structure du peuplement, et ne tient pas compte de sa qualité³. Ensuite, les 2 simulateurs ont été étalonnés avec des jeux de données différents. La croissance après coupe dans SaMARE est basée sur les 15 premières années des CJ réalisées et

³ Artémis 2014 peut être sensible aux classes de qualité (ABCD), mais cette option n'a pas été utilisée dans le présent avis.

suivies dès l'année de l'application du traitement; dans Artémis, cette croissance après la coupe est évaluée sur la base des placettes permanentes ayant subi une coupe partielle quelconque, à un moment inconnu dans l'intervalle entre 2 mesures décennales.

Avec les connaissances actuelles, il n'est pas possible d'identifier le simulateur qui donne « la vraie réponse ». Pour les végétations potentielles feuillues, la version 2014 d'Artémis est probablement plus robuste que la version 2009, puisqu'elle a été étalonnée sur une plus longue période. De plus, elle incorpore une plus grande proportion de données récentes qui risquent de mieux refléter les conditions actuelles de croissance. SaMARE est en révision pour inclure des mesures prises jusqu'à 25 ans après la coupe ainsi que des peuplements mixtes. La comparaison des résultats de simulations avec des observations réelles sur 20 ans et plus permettra de mieux juger du réalisme des simulations.

4.3. Effets du modèle d'estimation des volumes DF1F2

L'utilisation d'un modèle différent d'estimation des volumes DF1F2 explique certains écarts entre Artémis et SaMARE, de même que ceux entre les résultats de SaMARE présentés dans le rapport du CIMOTFF et dans le présent avis (Tableaux 1 et 2). Par exemple, avec la matrice MSCR-OP utilisée par MÉRIS ainsi que dans le rapport du CIMOTFF, la proportion de volume de sciage pour un érable à sucre de 44 cm de dhp est de 0 % si l'arbre est de qualité pâte (P), puis de 36 à 58 % selon sa priorité de récolte (MSCR) s'il a un potentiel de bois d'œuvre⁴. À partir du modèle général de Fortin *et al.* (2009b) utilisé dans le présent avis, nous avons appliqué une proportion moyenne de 27 % de sciage à un érable à sucre de 44 cm de dhp, quelle que soit sa qualité. Cette proportion moyenne pour l'essence est approximativement celle prédite par les autres modèles de Fortin *et al.* (2009b) pour un arbre de vigueur 3 ou de priorité S. Or, nous ne savons pas si un tel arbre représente bien le portrait moyen du peuplement initial ou le portrait de la récolte. Cependant, les résultats présentés au tableau 1 semblent montrer que le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) fournit une évaluation semblable à celle de la matrice MSCR-OP lorsque le Diamf est fixé à 56 cm en 4^e ou en 6^e priorité de récolte, c'est-à-dire avec des modalités de base rencontrées au cours des dernières années. Toutefois, lorsque la modalité est modifiée pour favoriser la récolte d'arbres de plus grande dimension, soit avec un Diamf fixé à 40 cm et appliqué en 2^e priorité de récolte, la hausse prédite du volume DF1F2 n'est pas aussi forte avec le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) qu'avec la matrice MSCR-OP. L'hypothèse la plus plausible est que le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) sous-estime le volume de bois d'œuvre dans cette situation, mais que la matrice MSCR-OP le surestime. Le plus important, avec les outils actuellement disponibles, est d'être conscient des biais potentiels et d'utiliser les données et les outils de manière cohérente. Par exemple, il ne faudrait pas utiliser le modèle général de Fortin *et al.* (2009b) pour calculer les volumes DF1F2 à partir des régressions du CIMOTFF qui ont été développées avec la matrice MSCR-OP, sans étalonner à nouveau ces régressions.

⁴ Cette dernière évaluation est positivement biaisée (Saucier *et al.* 2014, recommandation 1).

5- Conclusion

Les principales recommandations formulées par le CIMOTFF auraient été semblables si Artémis 2009 ou Artémis 2014 avait été utilisé au lieu de SaMARE 2006, et ce, même si les résultats diffèrent entre les modèles. Les rendements prédits par SaMARE à l'échelle du peuplement sont plus élevés que ceux prédits par Artémis, bien que la version 2014 d'Artémis prédise des rendements plus élevés que la version 2009. Néanmoins, les 3 simulateurs abondent généralement dans le même sens à propos des effets des modalités des traitements : le rendement d'un peuplement est meilleur lorsque le peuplement résiduel comprend plus d'arbres de dimensions petite et moyenne, et moins d'arbres de grande dimension.

6- Références

- Boulet, B., 2007. *Défauts externes et indices de la carie des arbres, guide d'interprétation*. Les Publications du Québec, Québec, QC. 2^e édition. 317 p.
- Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois, 2009a. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquienne du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 155. 26 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire155.pdf>].
- Fortin, M., F. Guillemette et S. Bédard, 2009b. *Predicting volumes by log grades in standing sugar maple (Acer saccharum Marsh.) and yellow birch (Betula alleghaniensis Britton) trees in southern Québec, Canada*. Can. J. For. Res. 39:1928-1938.
- Fortin, M. et L. Langevin, 2010. *ARTÉMIS-2009 : un modèle de croissance basé sur une approche par tiges individuelles pour les forêts du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 156. 33 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire156.pdf>].
- Laberge, G. et D. Pin, 2015. *Modélisation avec caractérisation des produits et stratégies alternatives d'aménagement des strates de feuillus tolérants – UA 064-51*. Bureau du forestier en chef. Roberval, QC. 33 p. + 3 annexes.

MRNF [Ministère des Ressources naturelles et de la Faune], 2006. *Notions de la bille de bois d'œuvre*.

Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la coordination des opérations régionales. 6 p.

[\[ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Reg07/Instructions_relatives/Guides_formulaires_pr%20cisions_et_documents_r%20gional/Autres/notions-bille.pdf\]](ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Reg07/Instructions_relatives/Guides_formulaires_pr%20cisions_et_documents_r%20gional/Autres/notions-bille.pdf).

Power, H. *et al.*, en préparation. *Comparaison du biais entre Artémis 2009 et Artémis 2014*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Note de recherche forestière.

Saucier, J.-P., F. Guillemette, P. Gauthier, J. Gravel, F. Labbé, S. Meunier, N. Vachon, 2014. *Rapport du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF)*.

Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport technique. 98 p. et annexes.

[\[https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rapport-CIMOTFF.pdf\]](https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rapport-CIMOTFF.pdf).

WSP 2015. *Validations des travaux du CIMOTFF à l'aide des modèles de croissance Artémis 2009 et Artémis 2014*. WSP Canada. Rapport produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 15 pages et annexes.