

# **Estimation de l'importance du biais du tarif de cubage local lié au mode de sélection des arbres étudiés au moment des deuxième et troisième programmes d'inventaire**

*Analyse réalisée à partir du réseau BASE1  
de placettes-échantillons permanentes*

Direction des inventaires forestiers

Octobre 2006

Ressources naturelles  
et Faune

Québec 

## **Rédaction**

François Labbé, ing.f., M.Sc.

Direction des inventaires forestiers

## **Révision et collaboration**

Jean Bégin, ing.f., D.Sc.

Université Laval

Sylvain Bernier, stat., M.Sc.

Direction des inventaires forestiers

Georges Blais, ing.f.

Direction des inventaires forestiers

Mathieu Fortin, ing.f., Ph.D.

Direction de la recherche forestière

Sandra Girard, tech.f.

Direction des inventaires forestiers

Robin Lefrançois, tech.f.

Direction des inventaires forestiers

Réal Robitaille, tech.f.

Direction des inventaires forestiers

Jean-Pierre Saucier, ing.f., D.Sc.

Direction des inventaires forestiers

Chhun-Huor Ung, ing.f., Ph.D.

Centre de foresterie des Laurentides

# Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Méthodologie</b> .....	<b>3</b>
2.1. Arbres études des PEP .....	3
2.2. Sélection des observations.....	3
2.3. Modélisation .....	6
2.4. Compilation des volumes.....	7
<b>3. Résultats</b> .....	<b>8</b>
3.1. Ajustement des modèles .....	8
3.2. Compilations des volumes.....	8
<b>4. Discussion et conclusion</b> .....	<b>12</b>
<b>5. Bibliographie</b> .....	<b>13</b>

## Liste des figures

<b>FIGURE 1</b> Distribution, sur le territoire du Québec forestier méridional, des 7 181 PEP du réseau BASE1 .....	<b>4</b>
<b>FIGURE 2</b> Unités de compilations considérées pour le présent exercice de CPF.....	<b>5</b>

## Liste des tableaux

<b><u>TABLEAU 1</u></b> Arbres études disponibles par mode de sélection et région administrative	<b>5</b>
<b>TABLEAU 2</b> Paramètres estimés pour LIN3.....	<b>9</b>
<b>TABLEAU 3</b> Paramètres estimés pour LIN5.....	<b>10</b>
<b>TABLEAU 4</b> Résultats de compilation des volumes marchands par essence selon le mode de sélection des arbres études utilisé pour mettre au point les relations HD.....	<b>11</b>

## 1. Introduction

Dans le cadre de l'inventaire forestier décennal, le tarif de cubage général de Perron (1985) est utilisé pour estimer le volume marchand des tiges qui sont mesurées dans les placettes-échantillons temporaires (PET). Le tarif de Perron est composé d'équations qui permettent de prédire le volume d'une tige d'une essence donnée en fonction de son diamètre à hauteur de poitrine (DHP), de sa hauteur (H) et de transformations mathématiques (puissance) de ces deux variables.

Au moment de compiler les résultats, le tarif de cubage général de Perron est transformé en un tarif dit « local ». Cette procédure se fait en remplaçant la valeur de hauteur observée, c'est-à-dire celle utilisée par le tarif général, par une hauteur prédite à l'aide d'une relation hauteur-diamètre (relation HD) calibrée sur une base régionale. Les relations HD sont développées à partir des observations réalisées sur les arbres études des PET (trois par PET). En dépit de la perte de précision que cette procédure engendre, elle permet d'éviter de devoir mesurer la hauteur de chacune des tiges pendant le sondage en forêt.

En 1997, des travaux réalisés par la Direction des inventaires forestiers (DIF) ont indiqué que le mode de sélection des arbres études, utilisé au moment des deuxième et troisième programmes d'inventaire, pouvait conduire à l'obtention de relations HD biaisées. Selon ces analyses, la hauteur des arbres (et par conséquent leur volume) était, en moyenne, légèrement surestimée. Une des principales hypothèses avancées pour expliquer cette situation est que les nombreux critères considérés au moment de la sélection des arbres études feraient en sorte que leurs caractéristiques, en termes de relation HD, ne seraient pas généralisables et donc non applicables à l'ensemble des tiges mesurées dans les PET.

Lors des deuxième et troisième programmes d'inventaire, les arbres études, qualifiés de « représentatifs », étaient sélectionnés dans le but de permettre une bonne évaluation du potentiel de croissance des PET (IQS\*). Afin d'atteindre cet objectif, les arbres choisis devaient satisfaire à de nombreux critères. Ils devaient, entre autres, faire partie des étages dominants et codominants, être entiers et droits, et exempts de pourriture. Leur DHP devait correspondre au DHP moyen des arbres dominants et codominants et, finalement, ils devaient aussi être de mêmes essences que ces derniers.

Une autre cause possible de ce biais est que le choix des arbres études à mesurer dans les PET s'effectuait sur la base de règles qui laissaient place à la subjectivité. Les sondeurs disposaient de suffisamment de latitude pour être en mesure de choisir des tiges « plus faciles à mesurer ». Il est donc probable que les arbres « dégagés », dont il est facile d'évaluer les dimensions, aient eu une plus forte probabilité d'être sélectionnés.

---

\* IQS : indice de qualité de station

Des analyses réalisées en 2001, dans le contexte de la réflexion sur les orientations du quatrième programme d'inventaire, ont confirmé l'existence du biais des relations HD (MRNQ 2001c). Il a alors été proposé de modifier le mode de sélection des arbres études; cela a été accepté et mis de l'avant pour le quatrième programme d'inventaire forestier. Afin d'être exemptes de biais (ou Afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de biais), les relations HD doivent être développées à partir d'arbres sélectionnés au hasard. Un tel mode de sélection permet d'obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble des tiges contenues dans les PET.

Le comité scientifique chargé d'examiner le calcul de possibilité forestière (MRNFP 2004) a démontré qu'un biais sur l'estimation du volume marchand, réalisé à l'étape de l'inventaire forestier, peut se traduire par une variation du même ordre de grandeur dans l'évaluation de la possibilité forestière. L'existence d'un biais sur le tarif de cubage local est donc une situation particulièrement préoccupante.

La présente étude a comme objectif d'évaluer, à l'échelle provinciale, l'importance du biais du tarif de cubage local sur les estimations de volume marchand réalisées à l'occasion des compilations d'inventaire produites pour alimenter le présent exercice de calcul de possibilité forestière (CPF).

L'approche retenue, afin d'évaluer l'importance du biais du tarif de cubage local, est de comparer les estimations de volumes réalisées avec des relations HD biaisées (c.-à-d. développées avec des arbres études « représentatifs ») à celles produites avec des relations qui sont non biaisées (c.-à-d. mises au point avec des arbres études sélectionnés au hasard). Pour ce faire, les arbres études « représentatifs » et « systématiques » des placettes-échantillons permanentes (PEP) de la DIF ont été utilisés.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Arbres études des PEP

Chacune des PEP de la DIF contient neuf arbres études (MRNQ 2001a). Ceux-ci sont mesurés et, si nécessaire, remplacés à chacun des mesurages subséquents. Quatre de ces arbres sont « représentatifs » et les cinq autres sont « systématiques ». La distinction entre ces deux types d'arbres études réside dans leur mode de sélection.

Les « représentatifs » sont sélectionnés de la même façon que dans les PET (MRNQ 2001b). Ils servent avant tout à permettre une bonne évaluation de l'IQS. Les « systématiques » sont sélectionnées selon un hasard systématique. L'objectif des « systématiques » est d'obtenir un échantillon d'arbres études qui représente bien les caractéristiques de l'ensemble des tiges contenues dans les PEP. Il est à noter qu'un arbre étude ne peut être à la fois « systématique » et « représentatif ».

### 2.2. Sélection des observations

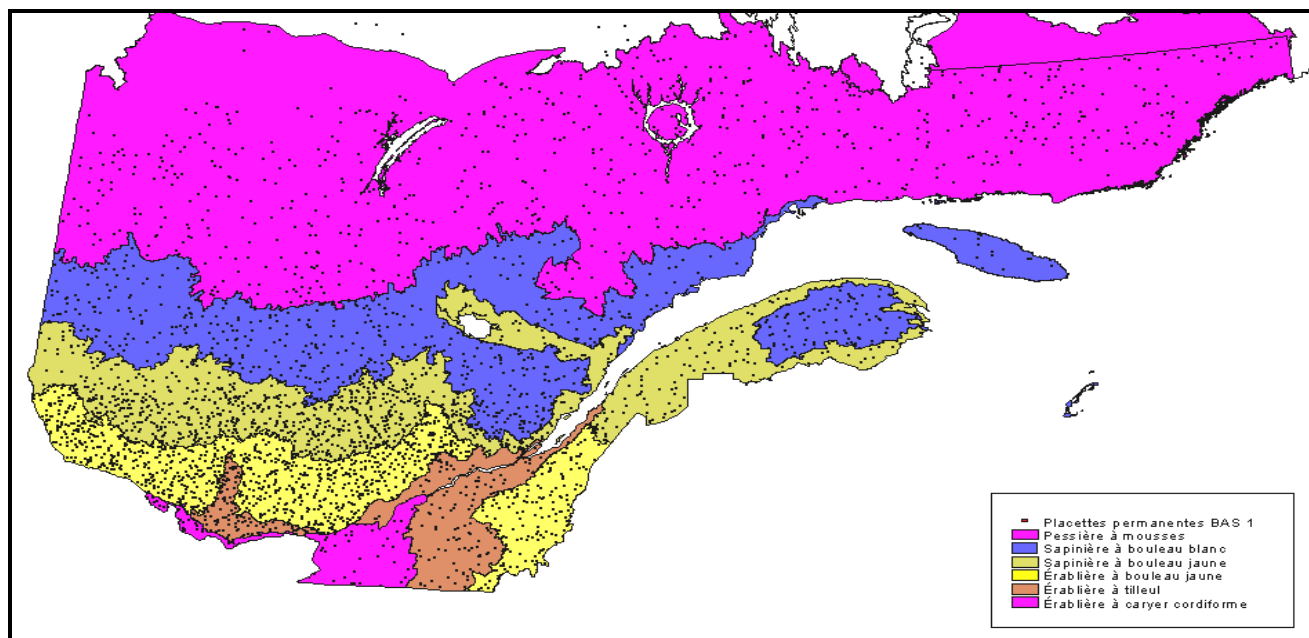
Seuls les arbres études des PEP du réseau BASE1 (figure 1) localisées en forêt publique sous aménagement (sous CAAF\*) ont été retenus. Ce réseau, implanté durant les années 70, couvre l'ensemble du Québec forestier méridional (sud du 52<sup>e</sup> parallèle). La distribution entièrement aléatoire, par sous-zone de végétation, des 7 181 PEP qu'il contient permet de croire qu'il constitue un échantillon représentatif de la forêt québécoise. Les PEP des autres réseaux ont été exclues car leur répartition sur le territoire a été jugée inadéquate aux fins de la présente étude (orientée vers certains types de peuplements ou couverture incomplète).

Comme lors du troisième programme d'inventaire décennal, des estimations de volumes étaient réalisées uniquement pour les peuplements de plus de sept mètres de hauteur; seuls les arbres études provenant de PEP qui satisfaisaient aussi à cette condition ont été retenus. Finalement, des 7 181 PEP du réseau BASE1, 4 004 répondaient à ces deux critères.

Afin d'éviter la gestion de mesures répétées, seules les données de la troisième mesure réalisée sur chacune des PEP ont été utilisées. Les données des première, deuxième et quatrième mesures ont été mises de côté. Pour une grande majorité de PEP, la troisième mesure était la plus récente, soit celle réalisée au cours du troisième programme d'inventaire décennal.

---

\* CAAF : contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier



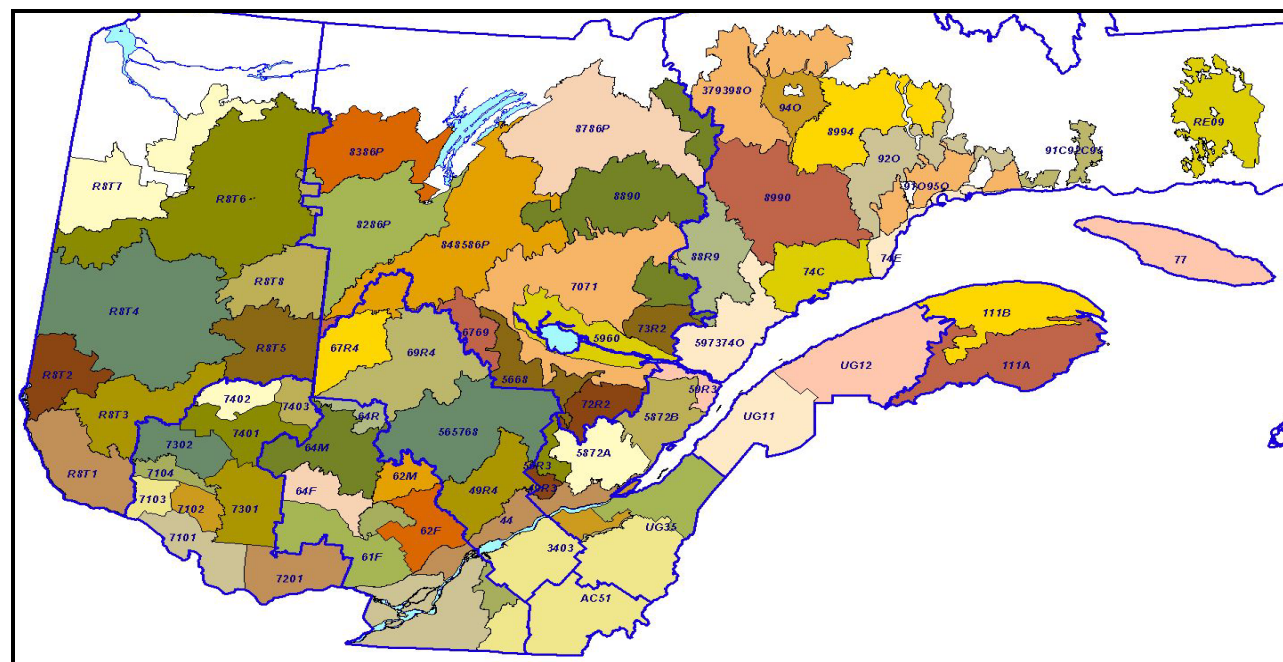
**Figure 1** : Distribution, sur le territoire du Québec forestier méridional, des 7 181 PEP du réseau BASE1

L'application des différents critères de sélection a rendu disponibles 41 664 arbres études pour l'analyse (tableau 1). De ce nombre, 18 458 sont des « représentatifs » et 23 206, des « systématiques ». Le nombre d'arbres études disponibles se répartit de façon inégale entre les essences. Il varie de 12 341 pour l'épinette noire (EPN) à seulement 1 pour certaines essences telles que le chêne à gros fruits (CHG), le caryer cordiforme (CAC) et l'orme rouge (ORR). Une analyse sommaire permet de constater que la quantité d'arbres études disponibles pour une essence est directement proportionnelle à son importance en termes de volume marchand.

Les relations HD ont été mises au point, par région administrative, pour les essences pour lesquelles au moins cent arbres « systématiques » et cent arbres « représentatifs » étaient disponibles. Les essences qui satisfont à ce critère sont indiquées en gris dans le tableau 1. Afin d'assurer un lien plus étroit avec les territoires de compilation utilisés lors des derniers CPF, il aurait été préférable que les relations HD soient développées pour les unités de compilation (figure 2). Toutefois, le nombre d'observations disponibles ne permettait pas d'utiliser une unité territoriale de si faible superficie.

**Tableau 1 : Arbres études disponibles par mode de sélection et région administrative**  
 \*(R=représentatif ; S=systématique)

essence	Abitibi Témiscamingue		Bas Saint- Laurent		Côte-Nord		Estrie		Gaspésie Iles-de- la-Madeleine		Mauricie Centre- du-Québec		Montréal		Outaouais		Québec		Saguenay Lac Saint-Jean		Total		
	703 PEP		119 PEP		686 PEP		2 PEP		121 PEP		698 PEP		769 PEP		923 PEP		261 PEP		420 PEP		4 004 PEP		
	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	Total
BOG											2	6	2	7		1		1			4	15	19
BOJ	140	153	21	34	3	4			11	11	146	174	291	325	247	270	102	109	15	10	976	1 090	2 066
BOP	424	478	47	79	90	130			72	98	570	651	416	427	425	453	197	220	159	228	2 400	2 764	5 164
ÇAC														1							0	1	1
CET											4	3	10	13	6	6					20	22	42
CHB															1	1					1	1	2
CHG																1					0	1	1
CHR	15	12											14	18	156	143					185	173	358
EPB	57	168	37	54	58	73			54	89	65	142	49	109	77	250	16	65	20	42	433	992	1 425
EPN	1 112	1 341	21	22	2 122	2 223			67	80	615	743	265	315	423	481	154	187	1 012	1 138	5 811	6 530	12 341
EPR	3	4	6	3					1	33	43	15	32	2	6	24	29				83	118	201
ERA															3	4					3	4	7
ERR	55	110	37	55	3	7	1	1	9	22	176	246	190	290	334	409	36	53	7	21	848	1 216	2 064
ERS	118	151	68	72			5	2	15	16	139	161	855	849	788	842	57	69			2 045	2 162	4 207
FRA													6	8	22	33					28	41	69
FRN	12	13									1	10	28	51	45	50	1	2		1	87	127	214
HEG	25	43		2							39	45	116	146	133	162	19	28			332	426	758
MEL	12	26		3	3	15			1	9	14	1	4	4	11	2	1	5	9		36	84	120
NOC														1	1						0	3	3
ORA							1						3	3	4	11		2			7	17	24
ORR														1							0	1	1
OSV		3											6	22	33	71					39	96	135
PEB	1	1	8	6					4	5					6	5	1	1	1		21	18	39
PEG	32	28									9	10	67	52	89	92					197	182	379
PET	206	202	45	48	18	16			52	34	202	200	164	136	212	209	59	58	108	111	1 066	1 014	2 080
PIB	57	58		1							4	8	33	34	127	150		1			221	252	473
PIG	176	213			39	66					212	231	29	45	38	44	9	12	167	193	670	804	1 474
PIR	14	11									3	1	4	5	10	12					31	29	60
PIS											4	4									4	4	8
PRU	21	26									7	20	28	35	27	39		4			83	124	207
SAB	130	296	150	187	500	879			197	247	446	763	374	656	246	485	336	444	165	315	2 544	4 272	6 816
THO	44	139	13	35		2			3	3	18	45	43	100	106	213		3			227	540	767
TIL											1			45	54						56	83	139
Total	2 654	3 476	453	601	2 836	3 415	6	4	484	607	2 705	3 522	3 039	3 714	3 609	4 510	1 013	1 289	1 659	2 068	18 458	23 206	41 664



L'Outaouais est la région administrative pour laquelle le nombre d'essences satisfaisant aux critères minimaux du nombre requis d'observations est le plus élevé. Cette situation est une conséquence du grand nombre de PEP présentes dans cette région et de la diversité en essences de sa forêt. À l'opposé, dans l'Estrie, aucune essence ne contient suffisamment d'observations. La principale explication à ce constat est que la forêt de cette région est majoritairement de tenure privée et non publique. Une grande proportion des PEP qu'elle contient a donc été mise de côté au cours du processus de sélection des observations. Exception faite de l'Estrie, le sapin baumier (SAB) est la seule essence pour laquelle des relations HD ont été développées pour chacune des régions administratives. Au total, des relations HD ont été mises au point pour 47 essences/régions.

### 2.3. Modélisation

Afin de s'assurer une conformité avec les pratiques de l'inventaire décennal, deux relations HD différentes ont été modélisées pour chacune des essences/régions. Celles-ci ne diffèrent que par le nombre de paramètres qu'elles contiennent. L'équation « LIN3 » (linéaire - 3 paramètres) permet de prédire la hauteur d'une tige en fonction de deux variables, soit son DHP, et son DHP au carré. L'équation « LIN5 » (linéaire – 5 paramètres) permet d'estimer la hauteur d'une tige en utilisant, en plus du DHP et du DHP au carré, deux variables de type « placette », soit la hauteur moyenne et le DHP moyen des arbres études. L'ajout d'une variable catégorique (mode de sélection) à LIN3 et LIN5 a permis de modéliser en même temps les relations HD pour les arbres « représentatifs » et « systématiques ». Les interactions entre le mode de sélection et les autres variables des modèles ont aussi été considérées.

Les relations HD suivantes ont donc été ajustées aux observations de chacune des essences/régions selon les deux modèles suivants :

---


$$\text{LIN3 : } H_{ij} = \beta_0 + (\beta_1 + b_i)DHP_{ij} + \beta_2 DHP_{ij}^2 + \beta_3 \alpha_R + \beta_4 \alpha_R * DHP_{ij} + \beta_5 \alpha_R * DHP_{ij}^2 + \varepsilon_{ij}$$


---

$$\text{LIN5 : } H_{ij} = \beta_0 + (\beta_1 + b_i)DHP_{ij} + \beta_2 DHP_{ij}^2 + \beta_3 HMOY_i + \beta_4 DHPMOY_i + \beta_5 \alpha_R + \beta_6 \alpha_R * DHP_{ij} + \beta_7 \alpha_R * DHP_{ij}^2 + \beta_8 \alpha_R * HMOY_i + \beta_9 \alpha_R * DHPMOY_i + \varepsilon_{ij}$$


---

Où :

$H_{ij}$  = Hauteur du  $j^{\text{ème}}$  arbre de la  $i^{\text{ème}}$  placette

$DHP_{ij}$  = DHP du  $j^{\text{ème}}$  arbre de la  $i^{\text{ème}}$  placette

$DHPMOY_i$  = DHP moyen des arbres études de la  $i^{\text{ème}}$  placette

$HMOY_i$  = Hauteur moyenne des arbres études de la  $i^{\text{ème}}$  placette

$\alpha_R$  = Effet du mode de sélection « Représentatifs » par rapport au mode de sélection de référence « Systématiques »

$b_i$  = Coefficient aléatoire associé au DHP pour la  $i^{\text{ème}}$  placette (loi  $N(0, \sigma_p^2)$ )

$\varepsilon_{ij}$  = Terme d'erreur du modèle de loi  $N(0, \sigma_{res}^2)$

La procédure MIXED de SAS<sup>®</sup> System (Littell *et al.*, 1996) a été utilisée pour l'ajustement des relations HD. Cette procédure permet de bien considérer l'effet aléatoire de type « placette » qui est spécifié dans les modèles. Seules les variables et interactions ayant un effet jugé significatif ( $\alpha = 0,05$ ) ont été conservées. Le postulat de l'homogénéité de la variance a été vérifié graphiquement et, lorsque nécessaire, une pondération par l'inverse du DHP<sup>2</sup> a été utilisée pour corriger les problèmes.

#### **2.4. Compilation des volumes**

Les estimations de volumes avec les deux types de relations HD (« représentatifs » et « systématiques ») ont été produites à l'échelle des unités de compilation considérées pour les présents CPF (figure 2). Le logiciel SCIF (MRNQ 2003) a été utilisé pour compiler les résultats.

Conformément aux pratiques de l'inventaire décennal, l'utilisation de LIN5 a été favorisée. LIN3 a été utilisée uniquement pour estimer les hauteurs des tiges des PET qui contenaient moins de deux arbres études. Aussi, LIN5 n'a pas été utilisée pour estimer les hauteurs des tiges de sapin baumier (SAB) et de thuya de l'Est (THO).

### 3. Résultats

#### 3.1. Ajustement des modèles

L'effet du mode de sélection ( $\alpha_R$ ) est significatif pour 40 des 47 modèles ajustés avec LIN3 (tableau 2). Pour 26 de ces modèles pour lesquels le mode de sélection est significatif, sans aucune interaction avec le DHP et/ou le DHP<sup>2</sup>, la valeur du paramètre estimée est toujours positive. Cette situation indique que la hauteur prédite pour un DHP donné est plus élevée pour les arbres « représentatifs » que pour les tiges « systématiques ». La différence de hauteur varie entre 29 cm (EPN : Saguenay–Lac-Saint-Jean) et 81 cm (SAB : Mauricie–Centre-du-Québec). Pour les 14 autres modèles où les interactions entre le mode de sélection et le DHP et/ou le DHP<sup>2</sup> sont significatives, il est plus difficile de caractériser le biais à partir des valeurs estimées des paramètres.

Pour 45 des 47 modèles ajustés avec LIN5, le mode de sélection est significatif lorsqu'il est utilisé seul ou en interaction avec les autres variables (tableau 3). Étant donné le nombre élevé d'interactions dans ces modèles, il est difficile de caractériser le biais en analysant uniquement les valeurs estimées des paramètres.

#### 3.2. Compilations des volumes

Le biais des relations HD génère une surestimation moyenne de 2,9 % du volume marchand brut (tableau 4). À l'échelle provinciale, l'importance du biais varie d'une essence à l'autre. Il est particulièrement faible pour l'érable à sucre (0,5 %), le pin gris (0,7 %) et l'hêtre gris (0,3 %). Il est nul pour le bouleau jaune (0,0 %) et négatif pour le pin blanc (-1,5 %). Il est le plus important pour le sapin baumier (5,1 %). Pour cette essence, l'importance du biais varie fortement d'une région administrative à l'autre (entre 2,7 % et 6,6 %).

Il est difficile de dégager des tendances très claires des résultats obtenus. L'importance du biais varie d'une région à l'autre, d'une essence à l'autre et d'une région à l'autre pour une même essence. Pour certaines combinaisons essences/régions, la différence est parfois même négative. Ces situations correspondent généralement à des essences pour lesquelles l'effet du mode de sélection, dans LIN3, n'était pas significatif.

Tableau 2 : Paramètres estimés pour LIN3

\* (erreur standard entre parenthèses)

\*\* Les estimations sont présentées uniquement pour les paramètres ayant un effet significatif

Région administrative	essence	Ordonnée à l'origine (β₀)	DHP (β₁)	DHP² (β₂)	αR (β₃)	αR*DHP (β₄)	αR²*DHP² (β₅)
Abitibi-Témiscamingue	BOJ	6,1336 (0,6352)	0,5919 (0,0495)	-0,0063 (0,0008)	-	-	-
	BOP	4,8671 (0,4915)	0,7348 (0,0476)	-0,0101 (0,0010)	0,4057 (0,1163)	-	-
	EPN	0,1666 (0,3576)	1,0782 (0,0445)	-0,0157 (0,0013)	0,3696 (0,0522)	-	-
	ERS	6,6625 (0,6483)	0,6083 (0,0487)	-0,0056 (0,0008)	-	-	-
	PET	4,2014 (0,6628)	0,9140 (0,0551)	-0,0115 (0,0010)	-	-	-
	PIG	4,9380 (0,8600)	0,6469 (0,0984)	-0,0073 (0,0026)	0,2937 (0,1381)	-	-
	SAB	-0,2650 (0,7207)	1,0166 (0,0871)	-0,0135 (0,0025)	0,6928 (0,1593)	-	-
Bas St-Laurent	SAB	0,5899 (0,6985)	0,9259 (0,0767)	-0,0129 (0,0019)	0,3371 (0,1341)	-	-
Côte-Nord	EPN	0,1485 (0,2592)	0,9410 (0,0335)	-0,0146 (0,0010)	0,7482 (0,1460)	-0,0321 (0,0095)	-
	SAB	-1,5134 (0,3903)	1,0086 (0,0454)	-0,0142 (0,0012)	0,6813 (0,0859)	-	-
Gaspésie Îles-de-la-Madelaine	SAB	1,4148 (0,5817)	0,7712 (0,0656)	-0,0108 (0,0017)	0,5373 (0,1135)	-	-
Mauricie Centre-du-Québec	BOJ	7,7488 (0,6403)	0,4623 (0,0466)	-0,0046 (0,0008)	-	-	-
	BOP	7,3742 (0,4665)	0,5048 (0,0474)	-0,0057 (0,0011)	-2,0475 (0,7960)	0,2662 (0,0834)	-0,0070 (0,0021)
	EPN	1,2148 (0,4070)	0,9858 (0,0475)	-0,0149 (0,0013)	0,2975 (0,0709)	-	-
	ERR	5,7234 (0,5873)	0,6517 (0,0553)	-0,0080 (0,0012)	0,4333 (0,1703)	-	-
	ERS	6,9623 (0,5447)	0,5724 (0,0405)	-0,0055 (0,0007)	0,4665 (0,2085)	-	-
	PET	5,0309 (0,6298)	0,8323 (0,0561)	-0,0105 (0,0011)	0,4478 (0,1449)	-	-
	PIG	3,7934 (0,9276)	0,9816 (0,1010)	-0,0165 (0,0025)	0,4266 (0,1308)	-	-
	SAB	0,3674 (0,4099)	0,9387 (0,0459)	-0,0125 (0,0012)	0,8136 (0,0984)	-	-
Montréal	BOJ	7,6389 (0,4703)	0,4831 (0,0327)	-0,0045 (0,0005)	2,5064 (0,8011)	-0,1349 (0,0528)	0,0019 (0,0008)
	BOP	6,5441 (0,4466)	0,5631 (0,0445)	-0,0066 (0,0010)	0,4203 (0,1083)	-	-
	EPN	-0,0563 (0,6190)	1,0519 (0,0691)	-0,0150 (0,0018)	0,5449 (0,1119)	-	-
	ERR	4,9601 (0,5714)	0,8245 (0,0566)	-0,0120 (0,0013)	0,3463 (0,1573)	-	-
	ERS	6,8189 (0,3555)	0,6574 (0,0284)	-0,0073 (0,0005)	2,3939 (0,5748)	-0,1401 (0,0431)	0,0019 (0,0007)
	HEG	4,6349 (0,7982)	0,7498 (0,0645)	-0,0076 (0,0012)	2,3216 (0,7877)	-0,0801 (0,0311)	-
	PET	5,4057 (0,6436)	0,7965 (0,0598)	-0,0108 (0,0012)	0,3350 (0,1613)	-	-
	SAB	-0,7548 (0,4458)	1,0683 (0,0437)	-0,0147 (0,0012)	1,6804 (0,3928)	-0,0495 (0,0219)	-
Outaouais	BOJ	6,5044 (0,5175)	0,5194 (0,0352)	-0,0046 (0,0005)	2,0858 (0,4682)	-0,0644 (0,0169)	-
	BOP	6,0593 (0,4819)	0,5509 (0,0470)	-0,0052 (0,0011)	0,4549 (0,1157)	-	-
	CHR	4,1441 (0,8982)	0,7665 (0,0753)	-0,0099 (0,0014)	0,7741 (0,1797)	-	-
	EPN	-0,0243 (0,6579)	1,1174 (0,0778)	-0,0171 (0,0022)	0,3489 (0,0993)	-	-
	ERR	6,0388 (0,5381)	0,6314 (0,0544)	-0,0073 (0,0012)	0,5263 (0,1339)	-	-
	ERS	6,3132 (0,3677)	0,7079 (0,0306)	-0,0082 (0,0006)	3,5144 (0,5768)	-0,2237 (0,0448)	0,0035 (0,0008)
	HEG	4,7925 (0,9537)	0,8489 (0,0817)	-0,0097 (0,0016)	-	-	-
	PET	4,7984 (0,6612)	0,9001 (0,0609)	-0,0115 (0,0013)	2,3830 (0,8443)	-0,1907 (0,0741)	0,0044 (0,0015)
	PIB	2,9177 (0,8351)	0,6668 (0,0563)	-0,0048 (0,0008)	-	-	-
	SAB	-0,2147 (0,5643)	1,0228 (0,0658)	-0,0141 (0,0018)	2,0206 (0,4332)	-0,0739 (0,0253)	-
Québec	BOJ	5,5425 (0,9200)	0,5394 (0,0693)	-0,0054 (0,0012)	3,7258 (1,3528)	-0,2375 (0,0932)	0,0031 (0,0015)
	BOP	5,9653 (0,6202)	0,4919 (0,0734)	-0,0071 (0,0020)	-0,2423 (0,2086)	-	0,0014 (0,0007)
	EPN	0,2398 (0,8945)	0,8762 (0,1116)	-0,0129 (0,0033)	0,2949 (0,1351)	-	-
	SAB	-0,4883 (0,5068)	0,9681 (0,0561)	-0,0140 (0,0015)	1,2367 (0,3722)	-0,0468 (0,0232)	-
Saguenay Lac St-Jean	BOP	4,1819 (0,6988)	0,7127 (0,0764)	-0,0111 (0,0019)	0,4184 (0,1636)	-	-
	EPN	-0,1433 (0,3758)	1,0652 (0,0451)	-0,0160 (0,0013)	0,2895 (0,0540)	-	-
	PET	3,6785 (1,0765)	0,8495 (0,1010)	-0,0110 (0,0022)	-	-	-
	PIG	3,7725 (0,8756)	0,6925 (0,1070)	-0,0087 (0,0030)	1,2450 (0,4599)	-0,0746 (0,0283)	-
	SAB	-1,1221 (0,6112)	0,9805 (0,0686)	-0,0130 (0,0017)	1,6921 (0,4585)	-0,0707 (0,0280)	-

**Tableau 3 : Paramètres estimés pour LIN5**

\* (erreur standard entre parenthèses)

\*\* Les estimations sont présentées uniquement pour les paramètres ayant un effet significatif

Région administrative	essence	Ordonnée à l'origine (β <sub>0</sub> )	DHP (β <sub>-1</sub> )	DHP <sup>2</sup> (β <sub>-2</sub> )	HMOY (β <sub>0</sub> )	DHPMOY (β <sub>1</sub> )	αR (β <sub>2</sub> )	αR*DHP (β <sub>3</sub> )	αR*DHP <sup>2</sup> (β <sub>4</sub> )	αR*HMOY (β <sub>5</sub> )	αR*DHPMOY (β <sub>6</sub> )
Abitibi-Témiscamingue	BOJ	2,4219 (1,1692)	0,6118 (0,0583)	-0,0065 (0,0010)	0,3292 (0,0660)	-0,0936 (0,0290)	-1,6372 (1,0459)	-0,3430 (0,0956)	0,0052 (0,0014)	0,5641 (0,0993)	-0,0997 (0,0491)
	BOP	-1,1667 (0,6024)	0,6933 (0,0601)	-0,0086 (0,0015)	0,5393 (0,0386)	-0,1049 (0,0244)	0,7779 (0,8831)	-0,3205 (0,1084)	0,0054 (0,0026)	0,3384 (0,0521)	-0,0908 (0,0381)
	EPN	-2,4259 (0,3970)	0,9569 (0,0479)	-0,0114 (0,0014)	0,6137 (0,0211)	-0,3004 (0,0155)	1,1757 (0,6478)	-0,4167 (0,0841)	0,0070 (0,0023)	0,2893 (0,0225)	-
	ERS	1,5878 (1,1483)	0,5480 (0,0498)	-0,0041 (0,0008)	0,4100 (0,0651)	-0,0941 (0,0325)	-3,0189 (1,4681)	-0,0856 (0,0277)	-	0,2963 (0,0830)	-
	PET	-1,2640 (0,4543)	0,6155 (0,0447)	-0,0053 (0,0009)	0,7464 (0,0458)	-0,2033 (0,0342)	0,2532 (0,3937)	-0,0783 (0,0268)	-	0,1177 (0,0405)	-
	PIG	-1,1004 (0,7414)	0,4434 (0,0825)	-0,0032 (0,0021)	0,9440 (0,0482)	-0,2913 (0,0473)	0,3538 (0,1345)	-	-	-	-
	SAB	-2,3232 (0,9176)	0,9483 (0,1038)	-0,0117 (0,0030)	0,2750 (0,0443)	-0,0746 (0,0249)	0,2252 (0,6602)	-	-	0,2344 (0,0847)	-0,1189 (0,0536)
Bas St-Laurent	SAB	-5,0108 (1,1218)	1,0358 (0,0988)	-0,0160 (0,0025)	0,5564 (0,0567)	-0,1577 (0,0353)	5,2817 (1,6342)	-0,6582 (0,1801)	0,0139 (0,0043)	0,1747 (0,0591)	-
Côte-Nord	EPN	-2,1540 (0,3059)	0,7501 (0,0366)	-0,0081 (0,0011)	0,8019 (0,0144)	-0,3480 (0,0117)	1,8487 (0,4735)	-0,3605 (0,0579)	0,0068 (0,0017)	0,1982 (0,0164)	-
	SAB	-4,5768 (0,4585)	1,0442 (0,0469)	-0,0132 (0,0012)	0,6091 (0,0291)	-0,2987 (0,0223)	3,3038 (1,0248)	-0,5583 (0,1114)	0,0089 (0,0028)	0,3306 (0,0343)	-
Gaspésie Îles-de-la-Madelaine	SAB	-1,7602 (0,8904)	0,9020 (0,1004)	-0,0144 (0,0029)	0,3422 (0,0548)	-0,1148 (0,0372)	2,3750 (1,2735)	-0,4692 (0,1723)	0,0116 (0,0049)	0,2128 (0,0505)	-
Mauricie Centre-du-Québec	BOJ	1,3987 (1,0312)	0,4197 (0,0407)	-0,0036 (0,0006)	0,6081 (0,0595)	-0,1371 (0,0222)	-4,0773 (1,2849)	-0,0508 (0,0199)	-	0,3348 (0,0744)	-
	BOP	-0,0638 (0,4580)	0,4772 (0,0386)	-0,0048 (0,0009)	0,7210 (0,0334)	-0,1725 (0,0213)	-0,3736 (0,4079)	-0,0731 (0,0185)	-	0,1373 (0,0309)	-
	EPN	-2,7172 (0,4831)	0,9971 (0,0554)	-0,0136 (0,0016)	0,5232 (0,0277)	-0,2215 (0,0226)	1,8273 (0,8289)	-0,4744 (0,1101)	0,0083 (0,0032)	0,2877 (0,0295)	-
	ERR	1,0613 (0,8229)	0,6063 (0,0677)	-0,0066 (0,0017)	0,3684 (0,0557)	-0,0525 (0,0339)	-3,2589 (0,9844)	-0,1422 (0,0424)	-	0,6373 (0,1029)	-0,1524 (0,0576)
	ERS	-1,5641 (0,9269)	0,4367 (0,0356)	-0,0032 (0,0006)	0,6653 (0,0701)	-0,0678 (0,0245)	1,0209 (1,0571)	-0,1165 (0,0222)	-	0,1437 (0,0697)	-
	PET	-0,5963 (0,5263)	0,5051 (0,0540)	-0,0043 (0,0012)	0,8431 (0,0533)	-0,2312 (0,0362)	0,4269 (0,1147)	-	-	-	-
	PIG	-1,1015 (0,7418)	0,5416 (0,0783)	-0,0051 (0,0020)	0,7923 (0,0421)	-0,2105 (0,0417)	0,7220 (0,5585)	-0,0767 (0,0349)	-	0,1530 (0,0432)	-
	SAB	-1,8132 (0,5263)	0,8994 (0,0478)	-0,0110 (0,0012)	0,2090 (0,0332)	-0,0292 (0,0181)	1,0591 (0,4795)	-0,1565 (0,0255)	-	0,4965 (0,0566)	-0,1216 (0,0342)
	BOJ	0,7518 (0,8043)	0,4457 (0,0320)	-0,0039 (0,0005)	0,6248 (0,0454)	-0,1201 (0,0141)	1,3849 (1,0965)	-0,2239 (0,0498)	0,0028 (0,0007)	0,3091 (0,0582)	-
	BOP	-0,7970 (0,6247)	0,5508 (0,0502)	-0,0061 (0,0011)	0,7238 (0,0382)	-0,1812 (0,0212)	0,9120 (0,8799)	-0,2903 (0,0829)	0,0052 (0,0018)	0,1930 (0,0404)	-
Montréal	EPN	-1,8309 (0,7921)	0,9614 (0,0762)	-0,0124 (0,0019)	0,4357 (0,0527)	-0,1991 (0,0328)	1,5066 (1,2277)	-0,5181 (0,1529)	0,0096 (0,0038)	0,3505 (0,0547)	-
	ERR	-2,2779 (0,7941)	0,7219 (0,0566)	-0,0091 (0,0013)	0,6587 (0,0443)	-0,1362 (0,0199)	0,2328 (0,8681)	-0,1210 (0,0256)	-	0,1819 (0,0558)	-
	ERS	-1,2906 (0,5177)	0,5624 (0,0268)	-0,0053 (0,0005)	0,6581 (0,0282)	-0,1181 (0,0114)	0,3873 (0,7035)	-0,2344 (0,0418)	0,0032 (0,0007)	0,3041 (0,0400)	-0,0909 (0,0189)
	HEG	-7,7206 (1,1829)	0,7162 (0,0675)	-0,0071 (0,0012)	0,8894 (0,0683)	-0,1569 (0,0280)	6,6508 (1,6403)	-0,3804 (0,1208)	0,0049 (0,0021)	-	-
	PET	-0,8215 (0,5422)	0,4851 (0,0537)	-0,0043 (0,0011)	0,7881 (0,0526)	-0,1549 (0,0370)	0,2172 (0,1436)	-	-	-	-
	SAB	-2,9350 (0,5348)	0,9331 (0,0464)	-0,0106 (0,0012)	0,3259 (0,0294)	-0,0783 (0,0136)	0,3801 (0,5327)	-0,1539 (0,0261)	-	0,4979 (0,0555)	-0,1703 (0,0348)
	BOJ	-1,6177 (0,8568)	0,4886 (0,0361)	-0,0042 (0,0005)	0,6171 (0,0430)	-0,0704 (0,0214)	1,7830 (1,2209)	-0,3009 (0,0672)	0,0034 (0,0010)	0,3260 (0,0630)	-0,0656 (0,0329)
Outaouais	BOP	-0,2122 (0,5904)	0,4687 (0,0488)	-0,0038 (0,0010)	0,7607 (0,0382)	-0,2064 (0,0218)	1,1052 (0,8579)	-0,2674 (0,0908)	0,0047 (0,0020)	0,1619 (0,0387)	-
	CHR	-1,7492 (0,7892)	0,5307 (0,0560)	-0,0052 (0,0011)	0,8105 (0,0474)	-0,2306 (0,0275)	-0,2758 (0,8307)	-0,0616 (0,0302)	-	0,1541 (0,0593)	-
	EPN	-3,8867 (0,7954)	1,1355 (0,0966)	-0,0170 (0,0030)	0,4384 (0,0366)	-0,1467 (0,0234)	2,4665 (1,2445)	-0,5359 (0,1607)	0,0118 (0,0047)	0,4192 (0,0420)	-0,1513 (0,0577)
	ERR	-0,0015 (0,7273)	0,6025 (0,0486)	-0,0067 (0,0011)	0,5726 (0,0406)	-0,1416 (0,0224)	-1,3887 (0,7840)	-	-	0,2548 (0,0639)	-0,0989 (0,0349)
	ERS	-0,9181 (0,5234)	0,6296 (0,0288)	-0,0063 (0,0005)	0,6298 (0,0261)	-0,1577 (0,0127)	0,8441 (0,7056)	-0,3280 (0,0434)	0,0045 (0,0008)	0,2469 (0,0299)	-
	HEG	-4,0986 (1,2593)	0,6782 (0,0637)	-0,0063 (0,0012)	0,7454 (0,0671)	-0,1649 (0,0295)	0,2486 (1,4173)	-0,1196 (0,0338)	-	0,1690 (0,0813)	-
	PET	-0,3750 (0,8148)	0,8173 (0,0652)	-0,0100 (0,0014)	0,5777 (0,0558)	-0,1892 (0,0311)	1,8056 (0,9929)	-0,4821 (0,0908)	0,0093 (0,0018)	0,2309 (0,0530)	-
	PIB	-2,2399 (0,7455)	0,5328 (0,0489)	-0,0025 (0,0009)	0,5696 (0,0719)	-0,1196 (0,0371)	-0,1303 (0,7752)	-0,0859 (0,0325)	-	0,1624 (0,0570)	-
	SAB	-2,9848 (0,7511)	1,0781 (0,0746)	-0,0151 (0,0020)	0,1784 (0,0352)	-0,0230 (0,0196)	2,2193 (1,3085)	-0,4693 (0,1489)	0,0083 (0,0038)	0,4723 (0,0662)	-0,1436 (0,0367)
	THO	2,6107 (0,6368)	0,4609 (0,0327)	-0,0038 (0,0006)	0,0279 (0,0480)	0,0356 (0,0239)	0,9904 (0,8578)	-	-	0,4273 (0,1114)	-0,1907 (0,0496)
	BOJ	-1,4001 (0,9423)	0,3465 (0,0461)	-0,0027 (0,0007)	0,8706 (0,0645)	-0,1259 (0,0219)	-	-	-	-	-
	BOP	1,7419 (0,6682)	0,4641 (0,0711)	-0,0059 (0,0021)	0,6009 (0,0414)	-0,2005 (0,0243)	-2,5354 (0,5997)	-	-	0,2477 (0,0521)	-
	EPN	-0,4410 (0,9438)	0,5650 (0,1050)	-0,0038 (0,0030)	0,4266 (0,0654)	-0,0916 (0,0401)	-0,8189 (0,5530)	-0,1525 (0,0435)	-	0,3279 (0,0613)	-
SAB	-2,6841 (0,6363)	0,7846 (0,0624)	-0,0091 (0,0016)	0,5519 (0,0448)	-0,1729 (0,0246)	1,6793 (1,0185)	-0,4140 (0,1164)	0,0063 (0,0030)	0,3274 (0,0476)	-	
Saguenay Lac St-Jean	BOP	-0,7438 (0,9032)	0,6965 (0,0889)	-0,0099 (0,0023)	0,5495 (0,0548)	-0,1518 (0,0350)	-0,4067 (0,8036)	-0,0927 (0,0360)	-	0,1786 (0,0636)	-
	EPN	-1,1053 (0,3744)	0,7430 (0,0443)	-0,0052 (0,0013)	0,7336 (0,0231)	-0,3847 (0,0197)	-0,3718 (0,2441)	-0,1194 (0,0190)	-	0,1962 (0,0237)	-
	PET	-1,6913 (0,8647)	0,5334 (0,0728)	-0,0046 (0,0015)	0,9700 (0,0652)	-0,3144 (0,0445)	-	-	-	-	-
	PIG	-1,9607 (0,9170)	0,5301 (0,1031)	-0,0051 (0,0028)	0,8934 (0,0570)	-0,2357 (0,0527)	0,9818 (0,4450)	-0,0541 (0,0273)	-	-	-
	SAB	-2,3572 (0,7500)	0,9089 (0,0702)	-0,0101 (0,0018)	0,2759 (0,0581)	-0,1071 (0,0395)	0,1500 (0,5683)	-0,2085 (0,0378)	-	0,3056 (0,0586)	-

**Tableau 4 : Résultats de compilation des volumes marchands par essence selon le mode de sélection des arbres étudiés utilisé pour mettre au point les relations HD**

Région administrative	Volume marchand (m <sup>3</sup> )	Essence											Total	
		BOJ	BOP	CHR	EPN	ERR	ERS	HEG	PET	PIB	PIG	SAB		THO
Abitibi-Témiscamingue	Représentatifs	23 588 335	63 634 475		219 141 654		15 707 871		58 849 326		58 522 923	23 219 547		462 664 131
	Systématiques	22 982 567	62 631 578		210 513 230		15 746 412		59 227 684		57 855 276	22 193 105		451 149 853
	Différence (%)	2.6%	1.6%		4.1%		-0.2%		-0.6%		1.2%	4.6%		2.6%
Bas St-Laurent	Représentatifs											32 581 008		32 581 008
	Systématiques											31 729 869		31 729 869
	Différence (%)											2.7%		2.7%
Côte-Nord	Représentatifs				316 223 338							146 737 558		462 960 896
	Systématiques				306 653 800							138 184 637		444 838 437
	Différence (%)				3.1%							6.2%		4.1%
Gaspésie Îles-de-la-Madelaine	Représentatifs											36 076 280		36 076 280
	Systématiques											34 395 392		34 395 392
	Différence (%)											4.9%		4.9%
Saguenay Lac-St-Jean	Représentatifs		50 131 076		332 630 651				30 133 101		58 520 977	58 614 249		530 030 054
	Systématiques		48 691 567		322 674 621				30 133 101		58 735 662	56 576 040		516 810 990
	Différence (%)		3.0%		3.1%				0.0%		-0.4%	3.6%		2.6%
Mauricie Centre-du-Québec	Représentatifs	17 235 971	52 301 431		59 626 219	8 134 535	6 849 033		29 528 623		31 145 221	32 381 661		237 202 694
	Systématiques	17 490 898	51 602 994		56 357 567	7 870 579	6 898 856		28 904 872		30 497 492	30 390 831		230 014 089
	Différence (%)	-1.5%	1.4%		5.8%	3.4%	-0.7%		2.2%		2.1%	6.6%		3.1%
Montréal	Représentatifs	34 787 827	28 860 898		18 684 405	10 403 429	39 162 204	5 346 001	11 412 050			23 100 361		171 757 176
	Systématiques	34 587 301	28 093 745		17 450 419	10 392 473	39 366 590	5 332 828	11 280 908			21 937 248		168 441 513
	Différence (%)	0.6%	2.7%		7.1%	0.1%	-0.5%	0.2%	1.2%			5.3%		2.0%
Outaouais	Représentatifs	36 028 073	41 916 180	9 664 071	22 472 040	19 790 442	50 413 268	11 674 804	24 025 870	27 844 103		17 918 347	15 125 129	276 872 327
	Systématiques	36 558 864	40 942 821	9 336 327	21 308 669	19 105 609	49 565 528	11 645 181	22 865 283	28 272 520		16 981 824	14 650 519	271 233 146
	Différence (%)	-1.5%	2.4%	3.5%	5.5%	3.6%	1.7%	0.3%	5.1%	-1.5%		5.5%	3.2%	2.1%
Québec	Représentatifs	7 325 662	9 116 155		8 443 558							13 848 375		38 733 749
	Systématiques	7 338 664	8 634 059		8 064 338							13 429 806		37 466 868
	Différence (%)	-0.2%	5.6%		4.7%							3.1%		3.4%
Ensemble des régions administratives	Représentatifs	118 965 869	245 960 214	9 664 071	977 221 864	38 328 406	112 132 376	17 020 805	153 948 971	27 844 103	148 189 121	384 477 386	15 125 129	2 248 878 316
	Systématiques	118 958 295	240 596 765	9 336 327	943 022 644	37 368 661	111 577 386	16 978 009	152 411 849	28 272 520	147 088 430	365 818 751	14 650 519	2 186 080 157
	Différence (%)	0.0%	2.2%	3.5%	3.6%	2.6%	0.5%	0.3%	1.0%	-1.5%	0.7%	5.1%	3.2%	2.9%

## 4. Discussion et conclusion

Le réseau de PEP BASE1 de la DIF est le meilleur dispositif disponible, à court terme, pour procéder à une évaluation de l'importance du biais du tarif de cubage local. Au regard de l'objectif de la présente étude, celui-ci a comme principale qualité de contenir des informations sur des arbres études mesurés selon deux modes d'échantillonnage distincts. De plus, les PEP qu'il contient sont disposées convenablement sur l'ensemble du territoire d'intérêt.

Les relations HD considérées (LIN3 et LIN5), de même que l'usage qui en a été fait, sont conformes aux pratiques courantes de la DIF. De plus, les compilations ont été réalisées avec les mêmes territoires, les mêmes PET et les mêmes regroupements de strates cartographiques que ceux considérés pour le présent CPF. Il y a donc lieu de croire que les résultats obtenus permettent d'atteindre l'objectif de la présente étude.

Ainsi, l'utilisation d'arbres études représentatifs pour la confection des tarifs de cubage locaux a généré une surestimation d'environ 2,9 %, en moyenne, des volumes marchands estimés dans les compilations réalisées pour alimenter le présent exercice de CPF.

Dans le cadre du quatrième programme d'inventaire, qui est actuellement en cours, le mode de sélection des arbres études a été révisé (MRNF 2006) : ainsi, dans chacune des PET, au moins un arbre étude est maintenant sélectionné au hasard. L'utilisation de ces arbres pour le développement des relations HD permettra d'éliminer le biais du tarif de cubage local.

### Limite d'utilisation des résultats

La quantité disponible de PEP s'est avérée contraignante sur le plan des analyses réalisées. En effet, comme le nombre d'observations était limité, les relations HD ont dû être établies sur des territoires plus vastes que ceux considérés lors des compilations. Aussi, des relations HD n'ont pu être développées pour chacune des essences. Cette situation fait en sorte que les résultats obtenus par région ne constituent pas une évaluation suffisamment précise du biais pour être utilisés à cette échelle.

## 5. Bibliographie

Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., et Wolfinger, R. D. 1996. **SAS System for Mixed Models**. SAS institute inc. 633 p.

Ministère des Ressources naturelles. 2001a. **Normes d'inventaire forestier : Placettes-échantillons permanentes**. Gouvernement du Québec. Direction des inventaires forestiers. 223 p.

Ministère des Ressources naturelles. 2001b. **Normes d'inventaire forestier : Placettes-échantillons temporaires, peuplement de 7 m et plus de hauteur**. Gouvernement du Québec. Direction des inventaires forestiers. 192 p.

Ministère des Ressources naturelles. 2001c. **Stratégie d'échantillonnage de la DIF : Fondements statistiques**. Document de réflexion sur le prochain programme d'inventaire écoforestier. Gouvernement du Québec. Direction des inventaires forestiers. 76 p.

Ministère des Ressources naturelles. 2003. **Guide d'utilisation du logiciel de compilation SCIF**. Gouvernement du Québec. Direction des inventaires forestiers. 63 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 2006. **Normes d'inventaire forestier : Placettes-échantillons temporaires (version provisoire)**. Gouvernement du Québec. Direction des inventaires forestiers. 216 p.

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. **Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de possibilité forestière**. Gouvernement du Québec. Direction de la recherche forestière. 376 p.