



État des forêts et prédiction des volumes ligneux : des axes de changement

Une saine gestion du territoire forestier public doit assurer le respect, la pérennité et le bon fonctionnement des écosystèmes. Elle doit aussi viser à ce que la société puisse bénéficier des ressources naturelles pour satisfaire ses besoins économiques et sociaux, à perpétuité, et fournir des produits de qualité qui contribuent à la qualité de vie.

Au cours de ses consultations, la Commission a été saisie de nombreuses préoccupations entourant la gestion des forêts du Québec, particulièrement en ce qui a trait au calcul de la possibilité ligneuse. Certains intervenants ont remis en cause la validité des hypothèses utilisées pour estimer les volumes de bois disponibles pour la récolte. D'autres ont déploré l'absence d'une stratégie qui assurerait une cohérence entre les allocations de bois pour la récolte, la recherche d'une qualité intéressante pour la transformation, et la répartition des activités d'aménagement sur le territoire.

Bref, de nombreux Québécois sont inquiets. Ils voient que l'industrie des produits du bois, du moins dans le secteur des résineux, doit aller chercher sa matière première de plus en plus au nord et, qu'en moyenne, les tiges récoltées sont de plus en plus petites. Face à des images frappantes de vastes superficies où tous les arbres matures ont été coupés, et aux témoignages d'entrepreneurs, de travailleurs et d'utilisateurs du milieu forestier, les Québécois et les Québécoises en sont venus à exiger du Gouvernement une réponse claire à une question fort légitime : est-ce qu'on coupe trop de bois?

La Commission est d'avis que la population est en droit d'obtenir l'assurance que les mécanismes sont mis en place, en toute transparence, pour s'assurer que jamais les forêts du Québec ne seront surexploitées, et ce, pour quelle que ressource renouvelable que ce soit.

Puisque les préoccupations entourant la gestion de la matière ligneuse sont au cœur de la contestation entourant le régime forestier actuel, les membres de la Commission ont décidé d'y dédier d'importantes ressources financières et humaines, en s'adjoignant de spécialistes externes (Cerfo et Optivert). Les résultats de leurs travaux sont disponibles sur le cédérom qui accompagne le présent rapport. La Commission a également bénéficié des conclusions d'un comité scientifique constitué par le Ministère en 2003 pour étudier certains aspects liés au calcul de la possibilité ligneuse; ce comité avait été mis sur pied à la suite du dépôt du rapport du Vérificateur général du Québec en 2002. Compte tenu de l'importance du sujet pour l'avenir des forêts du Québec, le rapport de ce comité scientifique est également disponible sur le cédérom.

Une des retombées les plus tangibles des travaux de la Commission aura, sans contredit, été l'occasion fournie pour la première fois à un nombre imposant de spécialistes, au sein du Ministère et à l'externe, de se pencher ensemble sur les méthodes utilisées pour estimer les volumes de bois pouvant être récoltés dans nos forêts. Cet examen collectif a révélé de nombreuses failles, lesquelles ne peuvent tout simplement plus être ignorées.

Le présent chapitre vise donc à analyser la question de la disponibilité de la matière ligneuse, le plus complètement et le plus ouvertement possible, compte tenu du temps imparti à la Commission et des limites imposées par les données disponibles.

▼ Note au lecteur

La Commission a choisi d'utiliser le terme inventaires « ligneux », plutôt que « forestiers », étant donné que les inventaires dont il est ici question ne traitent que de la matière ligneuse. Pour les mêmes raisons, le terme possibilité « ligneuse » est utilisé dans l'ensemble du rapport.

Par ailleurs, certaines parties de ce chapitre sont inévitablement plus techniques. Afin de comprendre les méthodes utilisées pour évaluer les volumes de bois et la croissance des peuplements forestiers, et de voir comment ces méthodes pourraient être améliorées, il est nécessaire de connaître l'essentiel des outils, des systèmes et des méthodes de cartographie, d'inventaire et de simulation des données.

5.1 Un questionnement récurrent, qui intègre de nouvelles dimensions

Dès le début du 19^e siècle, la difficulté de trouver des essences de qualité dans les forêts du Québec se faisait sentir. Cette préoccupation est présente dans de nombreux documents historiques, incluant des allocutions et des rapports issus d'entreprises privées, du Gouvernement et du milieu académique.¹

Deux cents ans plus tard, la question de savoir s'il se coupe trop, assez ou pas assez de bois au Québec soulève toujours les passions, non seulement parmi les spécialistes et les utilisateurs du milieu forestier mais, phénomène plus récent, au sein de la population. On s'interroge aujourd'hui sur la capacité de nos forêts à fournir suffisamment de bois de qualité aux usines de transformation, à des coûts concurrentiels, sans compromettre l'environnement et leur potentiel de se régénérer, tout en permettant une foule d'autres usages. Ces questionnements portent donc sur la quantité, la qualité et l'accessibilité de la matière ligneuse.

En ce qui a trait à la **quantité** de bois disponible, le questionnement actuel de la population est étroitement lié au fait qu'entre 1990 et 2003, le volume total récolté dans les forêts publiques du Québec est passé de 21,1 à 30,5 millions de m³ de bois annuellement. On en vient donc à se demander, à l'échelle locale, régionale ou provinciale, si les niveaux de coupe actuels dépassent la productivité ligneuse des écosystèmes.

La question de la **qualité** de la ressource ligneuse est plus récente. On constate, par exemple, que les arbres récoltés au Québec sont de plus en plus petits. Au cours des 25 dernières années, le diamètre moyen des tiges résineuses récoltées (sapin, épinettes, pin gris, mélèze) est passé de 19 cm, en 1977, à 16 cm en 2002.² Pour ce qui est du volume moyen par tige récoltée, on constate une baisse de 35 % (170 dm³/tige en 1977 et 110 dm³/tige en 2002) (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 Évolution du volume moyen par tige résineuse du groupe SEPM^a récoltée au Québec, entre 1977 et 2002, dans quelques régions

RÉGION	VOLUME PAR TIGE (dm ³ /tige) ^b	
	▼ 1977	▼ 2002
Saguenay – Lac-Saint-Jean (02)	166	104
Mauricie (04)	184	152
Outaouais (07)	205	151
Abitibi-Témiscamingue (08)	169	107
Côte-Nord (09)	183	102
Moyenne provinciale	170	110

a. SEPM : (sapin, épinettes, pin gris, mélèze)

b. dm³ : décimètre cube

Source : Pour 1977, ministère des Terres et Forêts, Service de la technologie et des normes de l'exploitation.
Pour 2002, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique.

Par ailleurs, la problématique de la qualité apparaît encore plus aiguë pour les feuillus, alors que les usines de transformation doivent de plus en plus recourir aux importations pour s'approvisionner en matière première de qualité. Bref, la diminution de la qualité des bois récoltés au Québec est-elle en voie de devenir une contrainte qui mine petit à petit la compétitivité des usines de transformation? Peut-on remédier à cette situation sur le plan forestier ou peut-on compter sur les nouvelles technologies de transformation pour compenser cette diminution de qualité de la matière première?

En ce qui concerne l'**accessibilité** à la ressource ligneuse, il s'agit aussi d'un enjeu à la fois biophysique et économique. Au cours des dernières décennies, la récolte des bois résineux dans les forêts publiques du Québec s'est nettement déplacée vers le nord, entre autres avec l'entrée en scène de nouvelles usines de transformation. Bien que certaines entreprises fassent des efforts pour répartir leurs interventions sylvicoles sur le territoire, il faut reconnaître que les peuplements les plus accessibles ont encore priorité lorsque vient le temps de planifier la récolte. Déjà, en 1984, le Ministère relevait « *que les coupes étaient concentrées dans les meilleurs peuplements et sur des territoires relativement restreints alors que la possibilité ligneuse était estimée sur l'ensemble du territoire, incluant une large zone caractérisée par l'absence de réseau routier.* »³

Ce phénomène affecte directement les coûts, tant en raison de l'éloignement accru des parterres de coupe par rapport aux usines – ce qui requiert, entre autres, la construction et l'entretien de chemins, et de transporter le bois sur de longues distances – qu'en raison de la récolte et de la transformation d'arbres dont les diamètres sont de plus en plus faibles. Une crainte, maintes fois exprimée lors des consultations de la Commission, est qu'on en vienne à récolter des volumes de bois de plus en plus faibles sur des superficies de plus en plus grandes, dans des secteurs de moins en moins riches en essences désirées.

Sans prétendre traiter tous les aspects de cette problématique complexe, la Commission porte néanmoins un regard critique sur les facettes suivantes :

- ▶ La structure des forêts du Québec et l'évolution des volumes marchands sur pied par essence;
- ▶ La qualité des inventaires ligneux;
- ▶ Le calcul de la possibilité ligneuse.

Pour chacune de ces facettes, la Commission présente les principaux constats, accompagnés d'explications plus techniques, et apporte des recommandations concrètes dans le but de susciter des changements à court terme. Quelques orientations, dont l'application pourrait se situer sur un horizon de quelques années, sont également inscrites. Il devient impératif pour le Québec de disposer de moyens adéquats pour, d'une part, bien connaître ses stocks ligneux et, d'autre part, prévoir leur évolution de façon à être en mesure d'en assurer une utilisation durable.

5.2 La structure des forêts du Québec et l'évolution des volumes marchands sur pied

Les peuplements forestiers du Québec se divisent en deux grands types de structure, soit le type « équiennne régulier ou irrégulier », caractéristique des forêts résineuses et des peuplements d'essences feuillues intolérantes (qui poussent mal à l'ombre, comme le peuplier faux-tremble et le chêne rouge), et « inéquiennne », représentatif des forêts feuillues de bois durs (comme l'érable) situées dans le sud du Québec.

Selon le *Dictionnaire de la foresterie*⁴, un **peuplement équiennne** est un « peuplement dont les arbres sont sensiblement du même âge » alors qu'un **peuplement inéquiennne** est « un peuplement forestier dont les arbres sont d'âges nettement différents ».

Un peuplement équiennne est dominé par des groupes d'arbres d'âge similaire qui se font concurrence pour les ressources disponibles, principalement la lumière, les nutriments et l'eau. Dans ces peuplements, le nombre de tiges tend à diminuer avec l'âge. En général, ils sont issus de fortes perturbations naturelles (feux, insectes, chablis) et comportent des strates d'arbres (étages) dominants, codominants et opprimés, ainsi que des strates en régénération. Ces dernières croissent lentement jusqu'à ce que les arbres des strates supérieures meurent ou soient éliminés par une ou des perturbations naturelles. Ces peuplements peuvent aussi se retrouver en structure équiennne irrégulière selon l'intensité et le type de perturbation. Dans une telle structure, on retrouvera parfois plus d'une classe d'âge dominante, se rapprochant ainsi d'une structure inéquiennne. Selon les classes d'âge plus ou moins homogènes dans les peuplements, on note un certain gradient dans la classification des peuplements résineux en type équiennne et inéquiennne. Ainsi, en l'absence de perturbations durant de longues périodes, certains peuplements résineux peuvent se régénérer par trouées de dimensions variables et, ainsi, présenter une structure relativement inéquiennne.⁵

D'après la Direction des inventaires forestiers du Ministère, les peuplements dits équiennes à structure régulière ou irrégulière représentent environ 90 % des forêts du Québec. De façon générale, la dynamique de régénération des forêts boréales à dominance résineuse se prête à un aménagement équienne, alors que celle des forêts feuillues de bois durs se prête à un aménagement inéquienne.

Outre la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), parfois appelée coupe de régénération, un régime d'aménagement équienne peut faire appel à diverses méthodes sylvicoles de coupe de rétention. Ces interventions regroupent un ensemble de coupes dites partielles, lesquelles axent le prélèvement des tiges sur une classe d'âge particulière. Parmi ces méthodes, on retrouve :

- ▶ La **coupe progressive irrégulière**, qui consiste à créer à l'intérieur du peuplement, deux classes d'âge dominantes;
- ▶ La **coupe progressive régulière**, qui vise à favoriser l'établissement de la régénération avant la récolte finale des tiges matures;
- ▶ La **coupe à rétention variable**, qui vise à prélever un nombre variable d'arbres dans une classe d'âge, de façon à atteindre des objectifs de protection de la faune, de la biodiversité, des paysage, etc.
- ▶ La **coupe avec protection des petites tiges marchandes** (CPPTM), qui consiste à ne récolter que les tiges dont le diamètre est supérieur à 14 cm, de façon à laisser sur place les tiges de plus faibles dimensions, lesquelles continueront à croître pour former plus rapidement le prochain peuplement.
- ▶ L'**éclaircie commerciale** consiste à prélever un certain nombre d'arbres dans une classe d'âge, de façon à devancer une partie de la récolte, modifier la composition en essences (objectif de protection contre certains insectes, etc.) et accélérer la croissance en diamètre des tiges résiduelles.

De nombreuses autres variantes de la coupe partielle peuvent être utilisées dans un cadre d'aménagement équienne des forêts.

Les peuplements inéquienne, où toutes les classes d'âge sont bien réparties et où le nombre de tiges est relativement constant dans le temps, sont en général récoltés en vertu d'un régime d'aménagement inéquienne. Cette approche sylvicole repose essentiellement sur le maintien de la diversité des classes d'âge. Pour ce type de condition, caractéristiques des forêts feuillues, on recourt au **jardinage par pied d'arbre**. Les interventions lors d'un passage sont diverses : on récolte principalement dans les gros diamètres, on éduque dans les moyens et petits diamètres et on régénère dans les trouées. Cette technique sylvicole exige une grande rigueur et présente certains défis, dont les coûts parfois élevés des interventions, les bris aux tiges résiduelles, la difficulté d'uniformiser la croissance et, pour certaines espèces, comme le bouleau jaune, le développement plus fréquent de gourmands⁶. Parmi les avantages de la coupe de jardinage par pied d'arbre, on peut noter le maintien en permanence d'un couvert forestier important. Parfois, dans la pratique, cette technique est délaissée en faveur du **jardinage par groupes** ou **par trouées**, afin de permettre à des espèces semi-tolérantes à l'ombre, comme le bouleau jaune, de s'installer et de grandir, profitant ainsi de tous les avantages du système équienne. À toutes fins utiles, ce jardinage par trouées rejoint les principes de l'aménagement équienne à l'échelle du peuplement.

Dans les forêts composées de peuplements équiennes, réguliers ou irréguliers, on reconnaît trois types de structure : normale, anormale (par insuffisance ou par surabondance) et irrégulière.

Une forêt dite **normale** est une forêt où la combinaison des classes de fertilité et des superficies couvertes par chaque classe d'âge génère un volume ligneux maximal, récoltable de façon constante à chaque année. Il s'agit en quelque sorte d'une situation où la répartition spatiale entre les peuplements jeunes, intermédiaires et âgés est relativement équilibrée. Selon une étude du Ministère, une telle situation dans les forêts résineuses productives et accessibles du Québec engendrerait des rendements ligneux potentiels, en moyenne, de 3,51 m³/ha/an (Tableau 5.2).⁷

Ceci contraste avec les rendement actuels (ratio possibilité ligneuse/superficie) qui sont évalués à 1,40 m³/ha/an pour la forêt publique et à 1,81 m³/ha/an pour la forêt privée (cf. Section 2.5). Quoi qu'il en soit, même si cet équilibre entre les âges des différents peuplements permet de maximiser la récolte annuelle, celui-ci n'est généralement pas complètement atteignable étant donné que plusieurs types de perturbation naturelle ont tendance à éliminer certaines classes d'âge. Par ailleurs, toute orientation vers un équilibre des classes d'âge de peuplements résineux doit toujours se faire dans un souci de conservation d'une proportion de forêts anciennes et de leurs attributs.

Dans l'ensemble du Québec, la majorité des forêts équiennes ont actuellement une structure de type anormale. Cette situation est principalement due au fait qu'elles sont souvent issues de grandes perturbations.

Tableau 5.2 Rendement potentiel théorique des forêts québécoises, par région^a

TENURE ET SYSTÈME D'AMÉNAGEMENT	RENDEMENT ANNUEL (m ³ /ha)								
	▼ 01 + 11	▼ 02	▼ 03	▼ 04	▼ 05	▼ 06 + 07	▼ 08	▼ 09	▼ Toutes
Privée	4,11	3,92	4,52	4,29	4,86	4,59	3,29	3,58	4,32
inéquienne	4,40		4,88	4,74	4,96	4,90		4,83	
équienne	4,04	3,92	4,38	3,89	4,77	4,23	3,29	3,58	4,07
Publique	4,07	3,21	4,44	3,97	4,92	4,95	3,59	2,77	3,60
inéquienne	4,64		4,94	4,59	5,08	5,08	4,54	4,89	
équienne	4,05	3,21	4,41	3,93	4,83	4,88	3,51	2,77	3,51
Total	4,09	3,25	4,49	4,05	4,86	4,84	3,56	2,80	3,74

a. Les régions sont celles du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

Source : ministère des Ressources naturelles du Québec. 1999.

Une structure **anormale par insuffisance** est une structure où l'on retrouve une plus forte proportion de jeunes peuplements, accompagnée d'une plus faible proportion de vieux peuplements. Dans ce cas, le volume total de bois sur pied est inférieur à celui d'une forêt de superficie équivalente caractérisée par une structure de type normale.

À l'inverse, une structure **anormale par surabondance** indique une plus forte proportion de vieux peuplements et une plus faible proportion de jeunes peuplements. Le volume total de bois sur pied est alors supérieur à celui d'une forêt de superficie équivalente avec une structure de type normale.

Une structure **irrégulière** représente une situation où les classes d'âge intermédiaires sont sous-représentées ou absentes.

Constat

Les forêts du Québec sont majoritairement constituées de peuplements matures et surmatures (structure anormale par surabondance).

Les travaux récents du comité scientifique parrainé par le Ministère concluent qu'environ 63 % des forêts du Québec (ou 70 % des forêts sous aménagement équienne) sont en situation de structure « anormale par surabondance ». Les travaux du Cerfo ont par ailleurs démontré que lorsqu'on considère tous les regroupements de strates cartographiques et de classes d'âge des forêts du territoire public québécois, en moyenne, les superficies forestières présentent les structures suivantes : 54 % en structure anormale par surabondance, 37 % en structure irrégulière et 4 % en structure anormale par insuffisance. Seulement 4 % sont en situation de forêt normale.

▼ L'évolution des volumes marchands au Québec

L'état des stocks ligneux marchands (diamètre à hauteur de poitrine > 9 cm) et leur évolution ont été analysés à partir des données du troisième (1992-2002) et du deuxième (1978-1989) inventaires forestiers. Dans cette analyse, la Commission n'a pas tenu compte des données du premier inventaire (1970-1977), car celui-ci diffère considérablement des deux suivants non seulement sur le plan de la méthodologie, mais aussi de la superficie prise en compte.

La Commission a, par ailleurs, utilisé uniquement les placettes échantillons établies sur le territoire « permanentes » et « temporaires » (cf. Section 5.3) pour documenter les volumes régionaux et faire les comparaisons entre les inventaires. L'utilisation exclusive des placettes établies vient du fait que, tel que démontré plus loin dans ce chapitre, le recours aux placettes « recrutées » à l'extérieur du territoire évalué ainsi qu'aux placettes « actualisées » à partir de données de l'inventaire précédant et de modèles mathématiques a tendance à biaiser les estimations de volume.⁸ Le manque de balisage statistique du recrutement des placettes génère en effet des biais qui auraient pu influencer la validité des conclusions. Il faut noter que, dans ces comparaisons, les superficies du troisième inventaire (39 376 464 ha) sont très légèrement inférieures à celles du deuxième inventaire (39 437 813 ha). Cette faible différence de superficie n'affecte cependant pas les conclusions.

La précision (variabilité des estimés) est généralement présentée, dans la littérature scientifique, sous diverses appellations : écart type, erreur type, intervalle de confiance ou intervalle de prédiction. Dans cette section, comme dans l'ensemble du chapitre, elle est exprimée en pourcentage de façon à assurer une concordance entre la présentation des résultats des mandataires externes (Cerfo et Optivert), du comité scientifique parrainé par le Ministère, des diverses sources d'information gouvernementale et du présent rapport. Ainsi, cette précision se définit comme étant le complément de la demi-largeur de l'intervalle de confiance de la moyenne, à un niveau de probabilité de 95 %, exprimé en pourcentage de la moyenne. Par exemple, une moyenne estimée à 100, avec une précision de 70 %, signifie que, 19 fois sur vingt (95 %), la valeur d'un nouvel échantillon se situera entre 70 et 130. Ainsi, dans cet exemple, la moyenne réelle se retrouve, avec un niveau de probabilité de 95 %, à l'intérieur d'une marge de 30 % autour de la moyenne estimée.

Les analyses de la Commission révèlent qu'entre les deux plus récents inventaires, les volumes totaux marchands sur pied, en territoire forestier productif et accessible (DHP > 9 cm; pente < 40 %), ont statistiquement diminué de 4,1 %, passant de 2,80 à 2,69 milliards de m³ (Tableau 5.3). Ce résultat concorde avec celui produit en octobre 2004 par le Ministère et portant sur les volumes par sous-domaines bioclimatiques.⁹ Dans ce document, qui couvre trois inventaires forestiers (1970-1977, 1978-1989, 1992-2002), le Ministère note, en effet, une baisse de 5 % des volumes marchands, laquelle se traduit par une hausse des volumes feuillus et une baisse des volumes résineux.

De façon plus précise, l'analyse du Ministère souligne une réduction des peuplements résineux de densité élevée, une baisse des superficies en pessières, une baisse des superficies en forêts mûres, par suite d'une réduction des peuplements en couvert résineux, une baisse des superficies en forêts jeunes et une hausse des superficies régénérées en essences mixtes. Par ailleurs, le Ministère note, entre le deuxième et le troisième inventaire, peu de changement dans les superficies en voie de régénération et dans les superficies régénérées en résineux. La baisse des volumes résineux s'observe autant pour les peuplements mûrs et surannés que pour les peuplements jeunes. Dans ce rapport, on note aussi, entre les deux derniers inventaires, une baisse importante des superficies régénérées après feu.

Les analyses de la Commission indiquent, pour leur part, qu'entre les deux inventaires décennaux, le volume total des essences résineuses a diminué de 7 %, alors que celui des essences feuillues a augmenté de 2,5 %. Le tableau 5.3 fournit le détail de ces variations par essence. On peut, entre autres, en déduire que le volume marchand total du groupe d'essences SEPM (sapin, épinettes, pin gris, mélèze) a diminué de 8,3 %. Si on considère strictement les essences feuillues dont le volume varie significativement d'un inventaire à l'autre, le volume global a augmenté de 4,1 %.

Tableau 5.3 Évolution des estimations en volumes marchands^a par essence sur le territoire forestier productif et accessible (pente < 40 %) entre le deuxième (1978-1989) et le troisième inventaire forestier (1992-2002).^b

▼ ESSENCE	▼ 3E INVENTAIRE		▼ 2E INVENTAIRE		▼ ÉCART	
	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	(m ³)	(%)
Bouleau gris	18 510	45	82 946	44	-64 436	-78
Bouleau jaune	126 650 280	98	127 026 044	97		
Bouleau à papier	309 716 088	99	315 287 430	98		
Caryer cordiforme	170	0	155	0		
Caryer à fruits doux	4 302	0				
Cerisier tardif	228 210	53	127 440	66		
Chêne blanc			22 689	0		
Chêne bicolore	3 773	0	417	0		
Chêne à gros fruits			114	0		
Chêne rouge	9 412 511	91	8 159 405	90		
Épinette blanche	116 306 205	98	106 353 521	97	9 952 684	9
Épinette noire	987 231 426	99	1 110 542 312	99	-123 310 886	-11
Épinette de Norvège	51 472	4	24	0		
Épinette rouge	22 982 810	95	26 971 717	95	-3 988 907	-15
Érable argenté	413	0	26 097	0		
Érable rouge	55 052 034	97	39 476 616	97	15 575 418	39
Érable à sucre	121 394 418	97	108 435 304	96	12 959 114	12
Frêne d'Amérique	450 124	59	301 550	64		
Frêne noir	5 527 881	88	4 064 280	87	1 463 601	36
Frêne de Pennsylvanie	32 734	0	206	0		
Hêtre à grandes feuilles	22 027 526	93	16 833 363	92	5 194 163	31
Mélèze laricin	11 188 229	91	6 363 963	90	4 824 266	76
Noyer cendré	15 708	0	82 406	0		
Orme d'Amérique	78 334	62	109 614	23		
Orme rouge	2 812	0	213	0		
Orme de Thomas	3 163	0	456	0		
Ostryer de Virginie	885 353	87	1 009 969	86		
Peuplier baumier	2 774 409	83	3 821 146	79		
Peuplier à feuilles deltoïdes			235	0		
Peuplier à grandes dents	19 220 182	91	16 891 341	91		
Peuplier faux-tremble	192 608 854	97	202 663 137	97		
Pin blanc	45 601 603	95	40 225 132	95	5 376 471	13
Pin gris	173 482 094	97	188 088 140	96	-14 606 046	-8
Pin rouge	7 789 145	88	5 228 032	88	2 561 113	49
Pin sylvestre	3 564	0	2	0		
Pruche de l'Est	13 320 538	91	13 506 184	87		
Sapin baumier	379 408 855	99	404 825 053	98	-25 416 198	-6
Thuya occidentale	63 571 658	96	54 999 996	95	8 571 662	16
Tilleul d'Amérique	4 665 368	84	4 816 304	84		
Total	2 691 710 758	99	2 806 342 953	99	-114 632 195	-4

a. Le volume marchand est le volume de toutes les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 9 cm.

b. Seuls les écarts statistiquement significatifs à un niveau de probabilité de 95 % sont présentés.

Source : *Estimation de la précision des données des 2^e et 3^e inventaires par essence et par région administrative*. Octobre 2004. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.

Tableau 5.4 Estimations des volumes marchands^a par essence et par région sur le territoire forestier productif et accessible (pente < 40 %) selon les données du troisième inventaire forestier (1992-2002)

▼ ESSENCE	01 ▼ BAS-SAINT-LAURENT		02 ▼ SAGUENAY– LAC-SAINT-JEAN		03 ▼ CAPITALE- NATIONALE		04 ▼ MAURICIE	
	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)
Bouleau gris					326	0	365	0
Bouleau jaune	5 962 752	93	3 320 042	81	7 087 610	93	18 243 481	93
Bouleau à papier	7 327 996	95	59 045 624	96	8 036 354	95	55 631 809	97
Caryer cordiforme								
Caryer à fruits doux								
Cerisier tardif								
Chêne blanc								
Chêne bicolore								
Chêne à gros fruits								
Chêne rouge							3 208	0
Épinette blanche	9 114 105	94	14 308 954	92	3 430 699	93	13 828 670	94
Épinette noire	6 360 023	93	348 417 979	98	9 819 149	96	62 786 481	97
Épinette de Norvège								
Épinette rouge	1 463 188	84	183 693	50	4 262 911	92	6 752 618	88
Érable argenté					55	0	358	0
Érable rouge	3 576 117	92	538 185	70	3 364 925	92	8 820 764	94
Érable à sucre	6 382 198	93	168 236	22	3 042 114	88	7 830 115	88
Frêne d'Amérique	8 825	0			15 617	42	50 108	0
Frêne noir	163 062	51	102 231	2	82 389	65	470 195	51
Frêne de Pennsylvanie	708	0			685	0		
Hêtre à grandes feuilles	994 720	79			586 235	71	1 113 768	73
Mélèze laricin	340 815	72	2 431 937	75	302 416	81	972 846	77
Noyer cendré								
Orme d'Amérique	2 628	0	6 798	0	6 644	3		
Orme rouge								
Orme de Thomas								
Ostryer de Virginie					12 378	0	3 604	5
Peuplier baumier	1 306 380	74			102 531	34	6 939	0
Peuplier à feuilles deltoïdes								
Peuplier à grandes dents	77 097	20	2 176	0	60 125	46	773 877	55
Peuplier faux-tremble	6 575 185	89	37 952 114	93	4 855 523	90	31 018 203	94
Pin blanc	267 862	48	40 259	0	203 562	61	2 378 370	80
Pin gris	358 738	82	63 079 633	96	185 179	48	34 795 080	95
Pin rouge	173 270	33	23 596	8	64 071	0	170 854	37
Pin sylvestre	3 564	0						
Pruche de l'Est			679	14	464 368	78	119 689	50
Sapin baumier	32 106 638	97	69 718 236	96	16 520 248	96	36 271 774	97
Thuya occidental	7 640 273	91	77 479	0	1 246 507	85	4 294 522	85
Tilleul d'Amérique					11 667	0	72 795	7
Total	90 206 145	98	599 417 850	99	63 764 289	98	286 410 492	99

a. Le volume marchand est le volume de toutes les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine est de plus de 9 cm.

Source : *Estimation de la précision des données des 2^e et 3^e inventaires par essence et par région administrative*. Octobre 2004.
Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.

05 ▼ ESTRIE		06 ▼ MONTRÉAL		07 ▼ OUTAOUAIS		08 ▼ ABITIBI- TÉMISCAMINGUE		09 ▼ CÔTE-NORD		11 ▼ GASPÉSIE	
Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)	Volume (m ³)	Précision (%)
12 917	32	713	0	3 511	0	679	0				
538 645	81	32 216 585	95	32 894 661	95	23 224 354	94	766 194	88	2 395 957	89
285 378	82	29 335 621	96	45 461 566	96	67 320 548	97	27 353 272	95	9 917 920	95
				170	0						
28 949	41	128 606	20	70 356	59	4 302	0				
						300	0				
				3 773	0						
		627 122	62	6 969 459	89	1 812 722	82				
52 337	64	7 470 795	93	11 732 687	94	17 454 947	94	25 807 063	96	13 105 949	94
112 900	74	19 510 927	95	24 027 066	95	205 798 118	97	292 706 942	98	17 691 841	95
		19 770	0							31 702	0
354 116	70	6 817 095	91	1 830 314	75	664 676	66	123 855	56	530 343	63
624 733	78	10 467 954	94	18 555 300	95	7 473 904	93	553 334	89	1 076 820	89
1 510 562	87	40 808 254	95	45 293 003	96	15 079 951	92	29 073	16	1 250 911	84
4 112	37	58 513	0	278 863	53	34 085	0				
13 941	31	1 472 432	75	2 294 901	80	901 061	74	14 957	31	12 713	0
		9 208	0	22 132	0						
55 401	21	5 854 648	86	11 634 654	90	1 788 101	80				
17 112	52	288 276	53	826 851	71	4 451 058	85	1 499 800	84	57 117	32
				15 708	0						
122	0	18 583	38	36 030	43	7 529	0				
				2 812	0						
		1 919	0	1 245	0						
		137 457	64	651 111	84	80 803	73				
2 057	7	95 185	11	52 665	16	302 328	47	377 977	71	528 348	61
38 855	12	2 833 169	82	9 290 021	86	6 131 061	83	4 098	39	9 704	18
303 476	76	12 567 275	92	23 134 043	93	50 803 229	94	16 675 927	94	8 723 879	92
2 252	0	1 880 087	79	21 179 564	92	18 879 335	92	533 844	66	236 468	45
		4 206 599	87	5 725 610	89	59 255 406	95	5 815 680	90	60 170	79
		495 093	58	3 100 164	78	3 722 047	86	40 049	17		
3 059	6	3 355 120	81	5 026 499	83	4 351 107	86	17	0		
684 750	90	24 650 213	96	11 551 606	95	21 197 813	96	128 405 766	97	38 301 811	97
92 820	63	8 697 952	90	16 850 434	91	19 764 539	93	272 285	78	4 634 846	85
351	0	1 275 362	71	3 177 364	80	127 828	40				
4 738 844	96	215 300 531	99	301 694 145	99	530 631 832	99	500 980 131	98	98 566 498	98

Selon l'essence, la baisse en volumes résineux est très variable : épinette noire (-11 %), sapin baumier (-6 %), pin gris (-8 %) et épinette rouge (-15 %). Il faut cependant noter que certaines essences résineuses ont connu une progression au cours des dernières années. C'est le cas du pin blanc (+13 %), du pin rouge (+49 %), du thuya (+16 %), de l'épinette blanche (+9 %) et du mélèze (+76 %).

Par ailleurs, l'augmentation globale des feuillus est liée à la hausse des volumes en érable à sucre (+12 %), en érable rouge (+39 %), en frêne noir (+36 %), et en hêtre (+31 %).

En ce qui a trait aux volumes marchands totaux pour les différentes régions du Québec, ceux-ci ont varié de façon significative entre les deux derniers inventaires (Tableaux 5.4 et 5.5). Pour certaines essences, on notera de très fortes différences qui s'expliquent par leur faible présence, en termes de volumes, sur le territoire. Ces changements sont, comme on pouvait s'y attendre, variables d'une région à l'autre. Ainsi, les volumes toutes essences ont diminué au Saguenay – Lac-Saint-Jean (-10 %), dans la région de la Capitale-Nationale (-7 %), sur la Côte-Nord (-10 %), en Abitibi-Témiscamingue (-10 %) et en Gaspésie (-8 %). Toutefois, ces volumes ont augmenté en Mauricie (+5 %), au Bas-Saint-Laurent (+5 %), en Estrie (+41 %), en Outaouais (+13 %) et dans la région de Montréal (+14 %).

Dans la région du **Bas-Saint-Laurent**, la hausse de 5 % des volumes marchands est liée à une forte hausse dans les volumes de peuplier faux-tremble (+40 %) et à une augmentation des volumes en érable rouge (+20 %).

Au **Saguenay – Lac-Saint-Jean**, la baisse des volumes marchands est principalement attribuable à une diminution de 15 % des volumes d'épinette noire et de 18 % des volumes de bouleau à papier. On note aussi une baisse appréciable des volumes en épinette rouge (-88 %), quoiqu'au deuxième inventaire, le volume de cette essence n'était que d'environ 1,5 million de m³.

Tableau 5.5 Évolution des volumes marchands^a par essence et par région sur le territoire forestier québécois productif et accessible (pente < 40 %) entre le deuxième inventaire (1978-1989) et le troisième inventaire forestier (1992-2002)^b (en pourcentage)

RÉGIONS ADMINISTRATIVES DU MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS	Épinette noire	Épinette blanche	Sapin baumier	Épinette rouge	Pin gris	Pin blanc	Pin rouge	Mélèze laricin	Thuya occidental	Érable à sucre	Érable rouge	Bouleau jaune	Bouleau à papier	Peuplier faux-tremble	Peuplier baumier	Hêtre à grandes feuilles
01 - Bas-Saint-Laurent (+5 %)											+20			+40		
02 - Saguenay-Lac-Saint-Jean (-10 %)	-15			-88									-18			
03 - Capitale Nationale (-7 %)			-21	-35				+91	+120		+59		-13			
04 - Mauricie (+5 %)	-8	+30	+42	+104	-11						+32		+9			
05 - Estrie (+ 41 %)			+48							+101	+79			+112		
06 - Montréal (+14 %)	+16		+16	+89			+305				+37		+21	+7		
07 - Outaouais (+13 %)	+16		+23	-2				+97		+15	+48		+18	+17		+54
08 - Abitibi-Témiscamingue (-10 %)	-18	+27	+15		-23	+51	+55	+135	+28		+32			-24	-80	
09 - Côte-Nord (-10 %)	-8		-17										-26			
11 - Gaspésie (-8 %)	+49		-22	-92							+51	+48				

a. Le volume marchand est le volume de toutes les tiges dont le diamètre à 1.3 m du sol (DHP) est supérieur à 9 cm.

b. Seules les différences statistiquement significatives à un niveau de probabilité de 95 % sont présentées. Pour certaines essences, les fortes différences observées s'expliquent par leur faible présence, en termes de volumes, sur le territoire.

Source : Compilation de la Commission à partir du document suivant : *Estimation de la précision des données des 2^e et 3^e inventaires par essence et par région administrative*. Octobre 2004. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.

Dans la région de la **Capitale-Nationale**, la baisse de 7 % dans les volumes totaux est fortement liée aux baisses de 21 % des volumes marchands en sapin, de 13 % des volumes de bouleau à papier et de 35 % des volumes d'épinette rouge. On note cependant, dans cette région, une hausse de 59 % dans les volumes en érable rouge, de 91 % en mélèze et de 120 % en thuya.

En **Mauricie**, qui a connu une hausse de 5 % de ses volumes marchands, on note une forte augmentation des volumes en sapin (+42 %), en épinette blanche (+30 %), en épinette rouge (+104 %), en érable rouge (+32 %) et en bouleau à papier (+9 %). Cependant, les volumes en pin gris (-11 %) et en épinette noire (-8 %) sont en baisse.

L'**Estrie** a connu, pour sa part, des hausses marquées en volumes marchands (+41 %) entre les deux derniers inventaires. Il faut toutefois noter que ces augmentations se sont exercées sur un volume initial relativement faible, soit d'environ 3,4 millions de m³. Dans les autres régions, les volumes du deuxième inventaire se chiffrent en général plus dans les centaines de millions de m³, exception faite des régions du Bas-Saint-Laurent et de la Capitale-Nationale, lesquels sont dans les 70 à 90 millions de m³. Quoi qu'il en soit, en Estrie, les volumes en sapin (+48 %), en peuplier faux-tremble (+112 %), en érable à sucre (+101 %) et en érable rouge (+79 %) ont augmenté de façon importante.

Dans la région de **Montréal**, qui couvre une partie des régions administratives des Laurentides, de Lanaudière, de la Montérégie et du Centre-du-Québec, la hausse des volumes marchands de 14 % est liée à une augmentation des volumes en sapin (+16 %), en épinette rouge (+89 %), en épinette noire (+16 %), en pin rouge (+305 %), en érable rouge (+37 %), et en bouleau à papier (+21 %).

La hausse de 13 % des volumes marchands dans la région de l'**Outaouais** est le résultat d'une augmentation pour le bouleau à papier (+18 %), l'épinette noire (+16 %), l'érable rouge (+48 %), l'érable à sucre (+15 %), le hêtre (+54 %), le peuplier faux-tremble (+17 %), le sapin (+23 %) et le mélèze (+97 %). On note cependant une légère diminution du volume d'épinette rouge (-2 %).

En **Abitibi-Témiscamingue**, la réduction des volumes marchands de 10 % se reflète par une baisse en épinette noire (-18 %), en peuplier faux-tremble (-24 %), en pin gris (-23 %) et en peuplier baumier (-80 %). Toutefois, cette région a connu des hausses de volumes marchands en sapin (+15 %), en thuya (+28 %), en pin rouge (+55 %), en pin blanc (+51 %), en mélèze (+135 %), en érable rouge (+32 %) et en épinette blanche (+27 %).

Sur la **Côte-Nord**, la baisse de 10 % en volumes marchands est attribuable aux réductions des volumes en épinette noire (-8 %), en sapin (-17 %) et en bouleau à papier (-26 %).

Quant à la **Gaspésie**, la diminution de 8 % dans les volumes totaux est associée à la baisse en volume de sapin (-22 %) et d'épinette rouge (-92 %). La forte baisse dans les volumes de sapin semble être liée, du moins en partie, aux grands feux qui ont sévi dans cette région au cours des dernières années. On note cependant une hausse dans les volumes en bouleau jaune (+48 %), en épinette noire (+49 %) et en érable rouge (+51 %).

5.3 Les inventaires ligneux

C'est en 1965, alors que la gestion des forêts se limitait essentiellement aux aspects liés à la matière ligneuse, que le gouvernement du Québec a développé un système d'inventaire forestier. Ce système visait à établir, à tous les 10 ans, les stocks ligneux marchands (arbres dont le diamètre à 1,3 m du sol est supérieur à 9 cm) et à suivre l'évolution d'une décennie à l'autre. À ce jour, les forêts du Québec ont fait l'objet de trois inventaires décennaux : de 1970 à 1977, de 1978 à 1989 et de 1992 à 2002.

Parallèlement, dans les années 1970, un premier outil a été mis en place pour prédire l'évolution de la disponibilité des stocks ligneux dans le temps, à partir des données issues des inventaires. Cet outil de simulation, appelé MODAS, a évolué au fil des ans et porté divers noms jusqu'au modèle actuellement utilisé, Sylva II (ci-après appelé Sylva).

Force est de reconnaître que le système Sylva est complexe, d'où le fait que très peu de forestiers professionnels, jusqu'à récemment du moins, en comprennent les tenants et aboutissants; à ce jour, peu d'entre eux ont été en mesure de proposer des améliorations. Sommairement, on doit retenir que Sylva est alimenté par les données issues de l'inventaire forestier. Ces données sont des estimations, obtenues par échantillonnage, d'une multitude de paramètres utilisés pour caractériser des groupes de peuplements similaires – que l'on appelle des **strates d'inventaire regroupées**¹⁰ – et en prédire la croissance. Au Québec, plus de 5 millions de peuplements sont ainsi localisés sur des **cartes écoforestières**, lesquelles sont produites grâce à l'interprétation de photographies aériennes (**photo-interprétation**). Ils sont ensuite regroupés en strates afin de déterminer leurs volumes de bois et leur évolution dans le temps, et ce, en fonction d'une multitude d'hypothèses de croissance et d'aménagement.

Tel qu'expliqué à la section 5.4, Sylva est donc le modèle utilisé au Québec pour prédire, entre autres, l'évolution des volumes ligneux exploitables par tranche de 5 ans, sur un horizon de 150 ans. C'est à partir de cette prédiction qu'est déterminée la **possibilité ligneuse**, c'est-à-dire le volume maximal de bois par essence ou groupe d'essences que l'on peut récolter à chaque année, à perpétuité, dans une unité d'aménagement donnée, et ceci, sans diminuer la capacité productive du milieu forestier (article 35.5 de la *Loi sur les forêts*). Et c'est à partir de cette possibilité ligneuse, calculée pour chaque unité d'aménagement forestier, que les volumes de bois sur forêts publiques sont alloués aux usines de transformation à travers le Québec.

On comprend donc l'importance de la concordance entre les informations générées par les cartes écoforestières et la réalité terrain, sans compter l'importance de la qualité des systèmes de traitement des informations recueillies par le biais des inventaires décennaux. La figure 5.1 présente un diagramme simplifié du système actuellement utilisé pour effectuer les inventaires ligneux dans les forêts publiques du Québec.

Constat

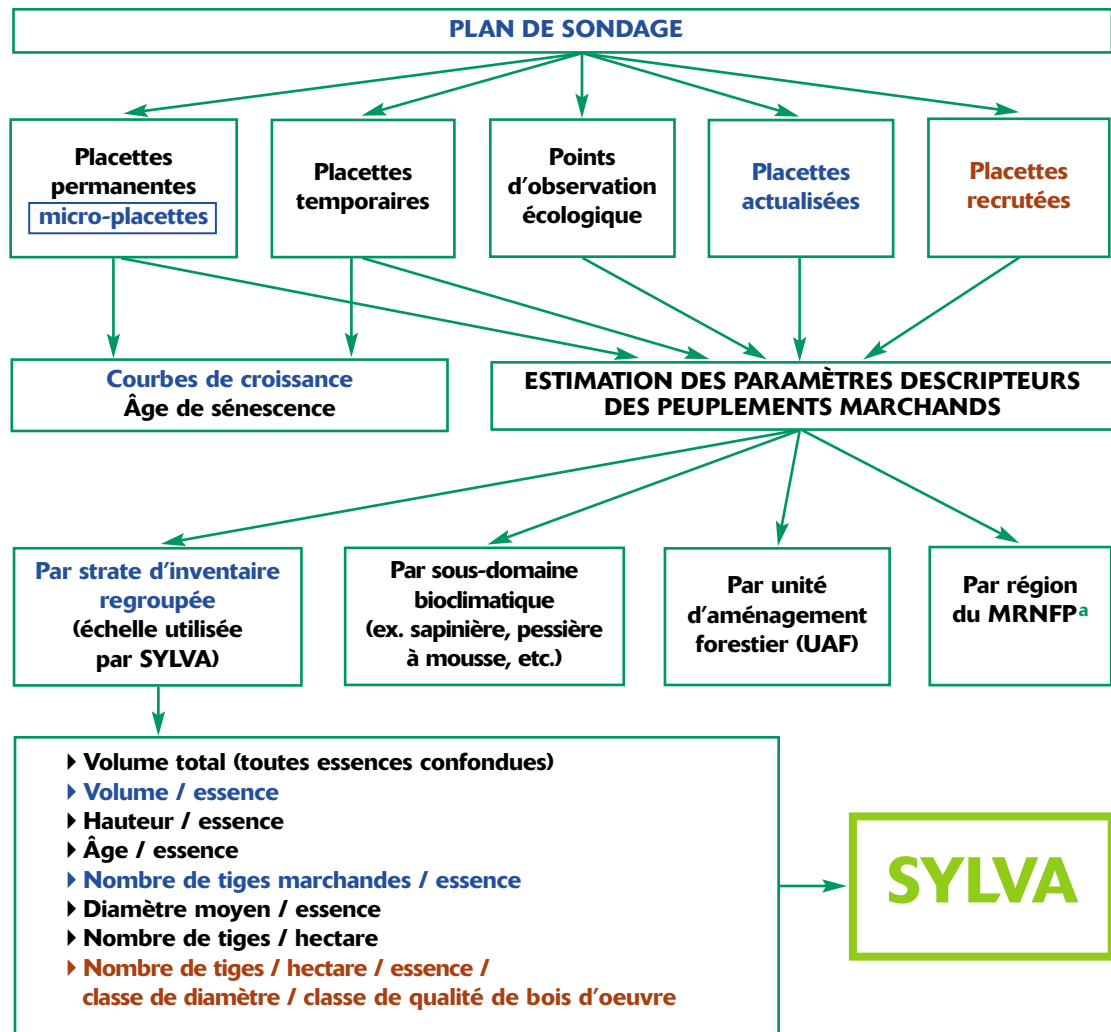
Le fait que les unités de sondage utilisées pour réaliser les inventaires ligneux ne correspondent pas, d'un point de vue territorial, aux unités d'aménagement forestier entraîne une discordance entre les informations issues de l'inventaire et les besoins des aménagistes forestiers.

Les inventaires ligneux dans les forêts publiques du Québec s'appuient sur 92 **unités de sondage**, dont le dixième est échantillonné à chaque année. Ces unités servent de base à l'implantation des **placettes échantillons** (note explicative¹¹ sur les divers types de placettes : **permanentes**, **temporaires**, **recrutées** et **actualisées**); par conséquent, elles sont fondamentales au contrôle de la précision des données. En théorie, l'unité de sondage est aussi appelée **unité de compilation** (utilisée pour compiler les données d'inventaire). En pratique, cependant, les données sont parfois compilées à des échelles différentes. Par exemple, si une unité d'aménagement forestier est plus petite que l'unité de sondage qui l'englobe, celle-ci sera scindée en plusieurs unités de compilation afin de satisfaire les besoins d'informations pour ce territoire.

Avant 1997, les unités de sondage étaient réparties en fonction des régions administratives. Après 1997, elles ont été réparties en fonction des sous-domaines bioclimatiques (érablière, sapinière, pessière, etc.). Elles n'ont donc pas de correspondance géographique avec les aires communes actuelles qui, aux cinq ans, ont servi de base territoriale pour les calculs de la possibilité ligneuse et pour l'élaboration des plans d'aménagement. Elles ne correspondent pas non plus aux unités d'aménagement forestier qui remplaceront les aires communes en 2007.

Ainsi que le propose le Ministère pour le 4^e inventaire décennal, il serait en effet pertinent de réaménager les unités de sondage pour assurer un meilleur arrimage avec les unités d'aménagement forestier. Cette modification permettra une meilleure adéquation entre les informations issues de l'inventaire et les besoins des aménagistes forestiers.

Figure 5.1 Diagramme simplifié du système d'inventaire dans les forêts du Québec



► **Aspects à améliorer**

► **Aspects qui requièrent des changements majeurs**

a. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

La Commission a également constaté divers problèmes d'arrimage entre les informations et les systèmes de gestion des données de la Direction des inventaires forestiers du Ministère, d'une part, et les besoins des autres services du Ministère à l'égard de ces données, d'autre part. Les cadres territoriaux de gestion sont très différents entre les services au sein même du Ministère ; ils le sont également entre les ministères (domaines bioclimatiques, unités d'aménagement forestier, bassins versants, provinces naturelles, régions du Ministère, régions administratives, municipalités régionales de comté, etc.). Cette situation entraîne de grandes difficultés dans la gestion et le partage des données d'inventaire.

Constat

Les propriétés des strates cartographiques, déterminées par photo-interprétation, ne correspondent pas toujours à la réalité ou aux données de l'inventaire. Ces erreurs de photo-interprétation ne semblent cependant pas avoir un impact important sur le calcul de la possibilité ligneuse. Par ailleurs, l'utilisation de la photo-interprétation à une échelle plus détaillée ne semble pas améliorer de façon importante la qualité des propriétés des strates cartographiques.

La concordance entre l'identification des peuplements sur les cartes écoforestières (cf. Note explicative¹² sur les **strates cartographiques**) et l'identification obtenue à partir des placettes échantillons a récemment été analysée par la Direction des inventaires forestiers du Ministère, pour l'ensemble du Québec.¹³ Dans le cadre de ses travaux, la Commission a, pour sa part, commandé une analyse plus fine, pour trois territoires – les unités d'aménagement forestier 27-51 et 81-51 et l'aire commune 64-03 – qui représentent plusieurs millions d'hectares (travaux du Cerfo et d'Optivert).

L'étude du Ministère porte sur la concordance des types de couvert, des groupements d'essences, des classes de densité, des classes de hauteur et des classes d'âge. Seules les strates cartographiques pour lesquelles le nombre de placettes échantillons permanentes et temporaires était supérieur à 300 ont été retenues pour l'analyse. Il est important de noter que l'**appellation terrestre** résulte d'une identification par observation directe des variables pour une superficie de 0,2 ha (rayon de 25 mètres autour du point central de la placette échantillon) alors que la **photo-interprétation** utilisée pour construire les cartes écoforestières est effectuée à une résolution de 4 hectares.

La concordance entre les résultats obtenus par photo-interprétation et ceux obtenus avec les placettes échantillons est en général meilleure pour les peuplements purs que pour les peuplements mixtes ou à plusieurs essences. Ainsi, les valeurs de correspondance suivantes ont été trouvées pour les strates pures : épinette noire (76 %), sapin (60 %), pin gris (65 %), cèdre (55 %), érable (53 %), bouleau jaune (40 %) et peuplier (50 %). Dès que les peuplements sont cartographiés comme ayant plus d'une essence, la concordance entre la photo-interprétation et la réalité en forêt chute à des valeurs souvent inférieures à 20 %, voire sous les 10 % dans plusieurs cas.

Pour les peuplements résineux, lorsqu'on réunit les strates cartographiques en strates regroupées, la représentativité des essences suit assez bien les proportions attendues, c'est-à-dire celles décrites par les appellations terrestres. Cette représentativité est cependant moins bonne pour les peuplements en forêts feuillues et dans plusieurs forêts mixtes. Dans ces cas, il arrive parfois que le regroupement des strates, comportant les mêmes essences, décrit moins de 50 % de la composition en essences présentes.

En ce qui a trait à l'analyse plus détaillée effectuée sur l'unité d'aménagement forestier 27-51 (1,2 million d'hectares, forêts résineuses) et l'aire commune 64-03 (0,6 million d'hectares, forêts feuillues), les travaux de la firme Optivert ont montré que la correspondance entre les résultats obtenus par photo-interprétation (appellation des strates cartographiques) et la réalité (appellation terrestre des placettes échantillons) était très faible, soit de l'ordre de 26 % et 46 % respectivement. Cependant, sur les deux territoires, 75 % des strates regroupées s'étaient vues affecter une appellation exacte lors de la photo-interprétation. Cette observation est importante puisque seules les appellations de strates regroupées sont utilisées dans Sylva pour le calcul de la possibilité ligneuse. D'autre part, seulement la moitié des changements de nom de strates d'inventaire regroupées effectués à la suite de l'analyse des placettes (12 % des strates regroupées) pourrait interférer sur le calcul de la possibilité ligneuse.

Les analyses ont, par ailleurs, démontré que les erreurs d'appellation des strates regroupées étaient surtout liées à la proportion des différentes essences et à l'attribution des classes d'âge. De plus, ces erreurs avaient un impact mineur sur la détermination des volumes totaux par essence. Ces résultats concordent avec ceux de l'étude réalisée par la Direction de l'inventaire forestier du Ministère, en ce qui a trait aux classes d'âge et de hauteur.

Dans le cadre de ses travaux pour la Commission, le Cerfo a vérifié l'hypothèse à l'effet qu'un raffinement de la cartographie pourrait apporter une amélioration. Cette hypothèse a donc été testée en réduisant à un hectare la taille minimale des peuplements interprétés sur les photographies aériennes, plutôt que le standard actuel de 4 hectares. Les résultats n'ont toutefois pas montré d'améliorations importantes dans la correspondance des groupes d'essences, exception faite des groupements d'essences mixtes pour lesquels une certaine amélioration a été notée.

Constat

Dans l'ensemble, le système d'inventaire donne une précision adéquate pour l'estimation des volumes totaux par essence et des divers autres paramètres de peuplement à l'échelle de l'unité de sondage, de l'unité d'aménagement et de la région. Cependant, la précision est faible au niveau de la strate d'inventaire regroupée - utilisée dans l'exercice du calcul de la possibilité ligneuse - et ceci est particulièrement significatif pour les essences peu représentées sur le territoire.

Lors des deux premiers inventaires décennaux, et jusqu'en 1997 pour le troisième inventaire, le Ministère visait à atteindre une précision de 95 % sur le volume marchand total par unité de sondage, toutes essences confondues. Depuis 1997, à mi-parcours du 3^e inventaire décennal, on vise, en plus d'une précision de 95 % sur le volume total par unité de sondage, une précision de 70 % par strate regroupée et ce, sur 100 % de l'unité de sondage.

Dans le cas du quatrième inventaire décennal, le Ministère prévoit atteindre une précision de 70 % sur le volume total, toutes essences confondues, par strate regroupée, et ceci, sur 80 % de l'unité de sondage. Les volumes de bois sur le territoire résiduel seraient alors évalués en utilisant des données issues de placettes échantillons « recrutées » à l'extérieur de l'unité de sondage. Cet ajustement, prévu par le Ministère, viserait à rendre l'objectif plus réaliste.

Une précision de 70 % signifie que si le volume moyen de bois, déterminé par échantillonnage sur le terrain, est de 100 m³/ha, cette valeur se situe en réalité (19 fois sur 20) entre 70 et 130 m³/ha. Environ 15 placettes échantillons par strate regroupée sont en général requises pour atteindre un tel degré de précision. En forêt feuillue et mélangée, ce nombre peut cependant être supérieur.

L'utilisation de placettes échantillons « recrutées » et « actualisées » accroît systématiquement la précision apparente de l'inventaire; en augmentant le nombre total d'unités d'échantillonnage, on réduit la variation dans les données. Selon les travaux du Cerfo, l'utilisation de ces placettes permet ainsi d'atteindre des précisions à l'échelle de l'unité de sondage de plus de 95 % pour le volume total, « toutes essences confondues ». Pour les volumes totaux « par essence », la précision est supérieure à 80 %. De plus, elle dépasse les 91 % dans l'unité d'aménagement 27-51 (forêts résineuses) et les 80 % dans l'unité d'aménagement 81-51 (forêts feuillues). Cependant, même en n'utilisant que les placettes échantillons permanentes et temporaires associées au territoire, la précision des volumes « par essence » à l'échelle de l'unité de sondage demeure bonne (épinette noire, sapin, bouleaux, érable à sucre, épinette blanche : précision supérieure à 90 %).

La précision est cependant plus faible à l'échelle des strates regroupées. Pour l'unité d'aménagement forestier 27-51 (forêts résineuses), la précision moyenne des volumes totaux de bois dans les strates regroupées, toutes essences confondues et identifiées à l'aide des placettes « permanentes et temporaires », est de 47 %; l'ajout de placettes « recrutées » et « actualisées » fait grimper ce résultat à 64 %. Dans le cas de l'unité d'aménagement 81-51 (forêts feuillues), le recours aux placettes « recrutées » et « actualisées » fait passer la précision de 52 à 72 %. Ces observations sont importantes, car c'est à l'échelle des strates regroupées que Sylva, l'outil servant au calcul de la possibilité ligneuse, prédit l'évolution des volumes de bois pour chaque unité d'aménagement forestier.

Constat

Les placettes échantillons temporaires ne sont pas distribuées de façon aléatoire, ce qui peut entraîner des biais dans l'estimation des volumes et des proportions des différentes essences qui composent les peuplements.

De façon générale, la répartition des placettes temporaires ne semble pas respecter les fondements reconnus de la théorie de l'échantillonnage. Pour chaque unité de sondage, le **plan de sondage** est constitué de **virées** (série de 2 à 7 placettes échantillons le long du parcours en forêt d'une équipe d'inventaire) disposées dans des endroits accessibles. Par exemple, on évite les pentes fortes. Les virées sont aussi préférentiellement disposées là où la composition des peuplements varie rapidement. Ainsi, les placettes échantillons ne sont pas distribuées de façon aléatoire, ce qui affecte la qualité des résultats. Selon le comité scientifique du Ministère, la méthode utilisée pour répartir les placettes peut, en effet, entraîner une surreprésentation des zones de transition entre les peuplements et, par conséquent, un certain biais quant aux volumes de bois et à la composition en essences.

Constat

Le recours aux placettes « recrutées » et « actualisées » pour augmenter la précision des données d'inventaire peut causer des biais sur les volumes estimés et des erreurs dans l'évaluation de la composition des strates regroupées. L'utilisation de placettes « recrutées » semble engendrer les biais les plus importants.

Bien que les placettes « recrutées » et « actualisées » permettent d'augmenter la précision apparente de l'estimation des volumes de matière ligneuse, les travaux du comité scientifique du Ministère démontrent clairement que leur utilisation introduit une erreur cachée, laquelle ne peut être prise en compte lors du calcul de la possibilité ligneuse.

Dans le cadre des travaux du Cerfo, sur cinq unités de sondage couvrant 4,5 millions d'hectares et représentatives de forêts résineuses, mixtes et feuillues, les volumes totaux estimés en utilisant seulement des placettes échantillons « permanentes » et « temporaires » ont été comparés à ceux obtenus en ajoutant soit les placettes « actualisées », soit les placettes « recrutées ».

Les différences obtenues sur les volumes totaux (toutes essences confondues) par suite de l'ajout des placettes « actualisées » ont été de +4,5 à -24 %. Les effets sur l'estimation des volumes « par essence » ont été de l'ordre de -34 à +49 %. Par ailleurs, les différences obtenues sur les volumes totaux suivant l'ajout des placettes « recrutées » ont oscillé entre -1 et +19 %. En ce qui a trait aux volumes « par essence », l'ajout de placettes « recrutées » a engendré des variations dans l'estimation des volumes de bois tout à fait imprévisibles, allant de -0,5 à +1 621 %. Les effets les plus forts se produisent sur les volumes d'essences peu présentes sur le territoire. Les travaux du Cerfo révèlent par ailleurs que l'ampleur de ces écarts varie selon les unités de sondage.

L'effet du recrutement sur l'estimation des volumes semble dû au fait que les placettes échantillons qui ont été « recrutées » sur des territoires situés à l'extérieur de l'unité d'aménagement forestier présentent des accroissements différents. Ainsi, les placettes « recrutées » au sud de l'unité d'aménagement auront généralement un volume de bois plus élevé à un âge donné, alors que les placettes « recrutées » au nord du même territoire présenteront souvent un volume inférieur. Il est également important de noter que l'utilisation de placettes « recrutées » peut artificiellement introduire des essences qui, dans les faits, ne sont pas présentes dans l'unité d'aménagement. L'assurance que ces placettes soient recrutées à partir de zones où les conditions écologiques sont similaires à celles du territoire où elles sont appliquées est donc déterminante afin de limiter les biais qu'elles peuvent engendrer. Sur ce point, le comité scientifique du Ministère a d'ailleurs proposé certaines méthodes statistiques (*hot deck*, *cold deck*)¹⁴ pour améliorer les mécanismes de recrutement des placettes échantillons.

La Commission en vient à la conclusion que le recours aux placettes « actualisées » et « recrutées » pour atteindre une précision de 70 % sur le volume total par strate regroupée d'inventaire, toutes essences confondues, est d'autant plus préoccupant que l'utilisation de ces placettes semble très répandue. La norme gouvernementale stipule qu'un maximum de 20 % de la superficie d'une unité d'aménagement forestier peut être documenté à l'aide de placettes « recrutées » à l'extérieur de ce territoire. Or, l'analyse révèle que cette proportion est fréquemment supérieure et que les placettes échantillons sont souvent « recrutées » très loin de la région.

Ainsi, dans les cinq unités de sondage étudiées par Cerfo, les placettes « actualisées » et « recrutées » représentaient 67 % (16 081/23 958) du nombre total de placettes échantillons utilisées pour atteindre les précisions visées par le Ministère. Dans l'unité d'aménagement 81-51, 66 % des parcelles étaient « recrutées », pour les mêmes raisons. En ayant recours à tous les types de placettes échantillons – permanentes, temporaires, recrutées et actualisées – le pourcentage de superficie occupée par des strates regroupées ayant une précision égale ou supérieure à 70 % sur le volume total, toutes essences confondues, variait de 52 à 69 %; par contre, en utilisant seulement les placettes « permanentes » et « temporaires » établies sur l'unité de sondage, ce pourcentage oscillait entre 17 et 38 %. Ces valeurs sont bien inférieures à la précision de 70 % recherchée par le Ministère sur 100 % de la superficie de chaque unité de sondage.

Constat

La cible fixe de 15 placettes échantillons par strate regroupée engendre de grandes variabilités dans la précision des données d'inventaire.

Les normes gouvernementales sur l'inventaire forestier indiquent que l'on doit atteindre 15 placettes échantillons par strate regroupée. Un des problèmes principaux vient du fait que l'on vise ce nombre, quelle que soit la superficie de la strate regroupée utilisée dans Sylva. On aboutit donc à des degrés de précision sur les paramètres estimés qui varient énormément d'une strate à l'autre.

Constat

Les regroupements de peuplements en strates d'inventaire regroupées ne se font pas sur une base statistique mais plutôt avec des règles du pouce qui ne permettent pas de vérifier si ces regroupements sont adéquats (trop forts ou trop faibles). Selon l'approche actuelle, les regroupements utilisés pour caractériser une unité d'aménagement forestier génèrent une grande quantité de strates regroupées; ce nombre pourrait être réduit à l'aide de méthodes statistiques (analyse de type *cluster*)¹⁵ tout en améliorant la précision dans les estimations de volumes ligneux.

Les regroupements des strates cartographiques en strates d'inventaire regroupées se font actuellement de façon arbitraire en fonction du degré de similarité entre les strates cartographiques. Le tout se fait de façon qualitative, sans analyse statistique qui permettrait de valider l'intensité des regroupements utilisés. Les travaux du Cerfo ont montré que l'utilisation de certaines méthodes statistiques (analyse de type *cluster*) permet de mieux regrouper les strates cartographiques en strates regroupées de façon à améliorer la précision des estimations utilisées dans le calcul de la possibilité ligneuse.

À la lumière des constats précédents, la Commission estime que les améliorations techniques suivantes doivent être apportées au système des inventaires ligneux.

Recommandation 5.1

Que les contours des unités de sondage utilisées dans le système d'inventaire soient modifiés pour correspondre aux unités d'aménagement forestier, tel que proposé par le Ministère pour le quatrième programme d'inventaire décennal.

Recommandation 5.2

Que l'échantillonnage et la stratification soient revus de manière à assurer un niveau de précision compatible avec les objectifs de précision du Ministère. D'une part, il faudrait augmenter le nombre de placettes échantillons « temporaires » utilisées dans le système d'inventaire, et ce, pour limiter le recours aux placettes « recrutées » et « actualisées ». D'autre part, les principes de base en théorie de l'échantillonnage devront être mieux respectés.

Recommandation 5.3

Que, pour les fins du calcul de la possibilité ligneuse, les placettes échantillons « recrutées » et « actualisées » soient utilisées uniquement pour les paramètres pour lesquels la précision est trop faible. Le recours à ce type de placettes devrait être balisé par des méthodes statistiques, de façon à ce qu'elles soient représentatives des conditions dans lesquelles elles sont appliquées.

La comparaison entre les moyennes et les variances obtenues avec les placettes « recrutées » et « actualisées » et celles obtenues avec les placettes « permanentes » et « temporaires » pourrait être une méthode pertinente de balisage. Par ailleurs, des méthodes statistiques de type *hot deck* et *cold deck* devraient être envisagées pour améliorer le recrutement des placettes.

Recommandation 5.4

Que le système d'analyse qui sous-tend le calcul de la possibilité ligneuse favorise un plus fort regroupement des strates d'inventaire, afin d'augmenter la précision dans l'estimation des volumes de bois.

Il demeure cependant important de ne regrouper que les strates dont les paramètres importants pour le calcul de la possibilité ligneuse (cf. Section 5.4) sont statistiquement similaires. Des analyses de type *cluster* devraient ensuite être effectuées, systématiquement, pour valider les regroupements de strates. L'utilisation de cette méthode dans le cadre des travaux du Cerfo a permis d'obtenir des précisions parfois deux fois supérieures dans les estimations de volumes ligneux, tout en générant trois fois moins de strates d'inventaire regroupées.

Recommandation 5.5

Que les nouvelles technologies favorisant l'acquisition de connaissances du territoire et de ses ressources soient intégrées au système d'inventaire.

Les récents développements et produits disponibles dans les domaines de la télédétection par satellite et des capteurs aéroportés permettraient non seulement d'augmenter la précision des données d'inventaire mais, potentiellement, de diminuer les coûts du programme à l'échelle du Québec. La technologie d'inventaire hélicoptère à partir de stéréo couples photographiques à très grande échelle (1:400) permet d'obtenir des informations à l'échelle des arbres. D'un point de vue économique, cette technologie se compare avantageusement aux coûts associés aux placettes échantillons disposées sur le terrain tout en ayant l'avantage de pouvoir respecter la condition d'aléation (aléatoire) des points d'échantillonnage.

La technologie DVP (*digital video plotter*) permet d'effectuer des travaux de photogrammétrie numérique et, ainsi, de visualiser sur un écran les images en trois dimensions et d'en prélever les informations désirées. La cartographie à l'arbre près (ITC) est une autre technologie d'analyse, celle-ci s'effectuant à partir d'images satellitaires ou aéroportées à haute résolution. Commercialisée depuis 2 ans par une firme québécoise, cette technologie est présentement utilisée en Ontario et aux États-Unis pour cartographier des forêts de 7 mètres et plus de hauteur, et ce, à partir des arbres pris individuellement. Pour les strates de moins de 7 mètres, on utilise la cartographie par segment d'objet (logiciel du nom de *eCognition*) qui permet de paramétrer des objets à partir de leurs caractéristiques spectrales.

5.4 Le calcul de la possibilité ligneuse

Le calcul de la possibilité ligneuse est une étape cruciale de la gestion des forêts publiques du Québec dans la mesure où c'est à partir de ce calcul, refait à tous les cinq ans pour chacune des aires communes (unité territoriale qui sera sous peu remplacée par les unités d'aménagement forestier), que les volumes de bois sont alloués par le Gouvernement aux usines de transformation à travers la province.

Tel qu'expliqué précédemment, ce calcul est actuellement centré sur l'outil de simulation Sylva. Il est également important de souligner que toutes les simulations effectuées par ce logiciel sont aujourd'hui régies par le concept de **rendement soutenu à niveaux de récolte constants**, lequel consiste à plafonner les niveaux de récolte de bois mûr et suranné, par période de 5 ans et pour un territoire donné, à un maximum de volume pouvant être généré sur une horizon de 150 ans, sans jamais conduire à une rupture de stock sur ce même territoire. Ce concept est essentiellement axé sur le maintien d'une structure industrielle à qui l'on garantit un approvisionnement stable de bois dans le temps.

Il faut également noter que, souvent, les notions de rendement soutenu et de possibilité ligneuse sont confondues. Il s'agit pourtant de deux éléments distincts. Le **rendement soutenu** est un principe qui énonce comme objectif le maintien d'un potentiel de récolte constant à perpétuité. La **possibilité ligneuse** est un niveau de récolte permettant de maintenir ce potentiel. Contrairement aux prémisses de base actuellement utilisées au Québec, qui imposent des niveaux constants de récolte dans le temps jusqu'à la **période critique**¹⁶, la possibilité ligneuse n'a pas à être constante d'une période de cinq ans à l'autre pour assurer un rendement soutenu. La section 5.4.4 explique qu'en utilisant des niveaux de récolte variables, d'une période quinquennale à l'autre, la possibilité ligneuse et les niveaux de récolte à rendement soutenu pourraient être augmentés.

Ainsi que le montre le tableau A4.3 de l'annexe 4, la possibilité ligneuse calculée par Sylva a oscillé passablement dans toutes les régions du Québec, depuis 1990-1991. Alors que certaines régions ont subi des baisses en 2002-2003 (Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Mauricie, Montréal, Outaouais, Gaspésie – Îles-de-la-Madeleine), d'autres ont bénéficié de hausses (Saguenay – Lac-Saint-Jean, Estrie, Abitibi-Témiscamingue, Côte-Nord). Dans l'ensemble, on constate que les attributions résineuses sont assez proches de la possibilité calculée, alors que celles des feuillus durs sont nettement inférieures à la possibilité calculée.

Ces fluctuations des dernières années et les baisses anticipées lors des prochains calculs de la possibilité actuellement en préparation au Ministère ont amené plusieurs intervenants, dans le cadre des consultations de la Commission, à remettre ouvertement en question tant la qualité des inventaires forestiers que les limites de Sylva et les contraintes qu'il impose, sans compter les multiples hypothèses de croissance et d'aménagement qui sont à la base des simulations requises pour chaque unité d'aménagement forestier.

Dans son rapport 2001-2002, le Vérificateur général du Québec soulignait, pour sa part, le manque d'études de sensibilité et d'estimation des erreurs dans le système Sylva. Cette question fait directement référence à la fiabilité des résultats obtenus en fonction des biais et des variations inhérentes aux données ainsi qu'aux hypothèses de croissance et d'aménagement utilisées. C'est d'ailleurs à la suite de ces constats qu'en 2003, le Ministère a confié à un comité scientifique le mandat d'établir la sensibilité et la précision des principales variables qui influencent le calcul de la possibilité ligneuse et d'examiner l'impact de l'application des stratégies d'aménagement sur les résultats de ce calcul. Le rapport synthèse de ce comité est disponible sur le cédérom qui accompagne le présent rapport.

Pour sa part, la Commission appuie ses constats et ses recommandations non seulement sur le rapport de ce comité scientifique, déposé en septembre 2004, mais également sur ses propres travaux de même que ceux du Cerfo et de la firme Optivert. Depuis mars 2004, ces deux organismes ont eu le mandat de creuser, avec la Commission, divers éléments-clés du calcul de la possibilité ligneuse au Québec.

Il est important de noter que la qualité des prédictions d'un modèle de simulation, tel que Sylva, dépend non seulement de ses principes de base mais aussi de la qualité des intrants et de la façon dont le système est utilisé. La présente section vise donc à statuer sur plusieurs aspects du calcul de la possibilité ligneuse, incluant la puissance du modèle Sylva, ses points de sensibilité, ses sources et niveaux de biais, son domaine d'utilisation et les améliorations à y apporter pour qu'il remplisse adéquatement ses fonctions.

5.4.1 Les outils de simulation de croissance

Il existe, à travers le monde, plus d'une vingtaine de façons de calculer la possibilité ligneuse sur un territoire forestier productif. Le rapport du Cerfo fournit certains détails à ce sujet.

Au Québec, deux modules de simulation sont utilisés dans le logiciel Sylva, soit le **module par courbes de croissance**, pour les peuplements sous aménagement équienné, et le **module par taux de passage**, pour les peuplements sous aménagement inéquienné. Pour comprendre chacun de ces modules, il est important de rappeler que la méthode de calcul utilisée par Sylva assure, théoriquement, une disponibilité constante en volumes de bois destinés à la récolte, par période de 5 ans, jusqu'à la période critique déterminée sur un horizon de 150 ans.

▼ Le module par « taux de passage »

Le module de croissance « par taux de passage », qui est basé sur une méthode matricielle, s'applique aux peuplements sous aménagement inéquienné, comme ceux qui composent les forêts feuillues du sud du Québec. Les paramètres utilisés dans ce module sont l'essence, la région où elle pousse (zone d'accroissement), le diamètre, la qualité des tiges (classe de qualité pour le bois d'œuvre), le type de couvert, la densité du peuplement et les perturbations.

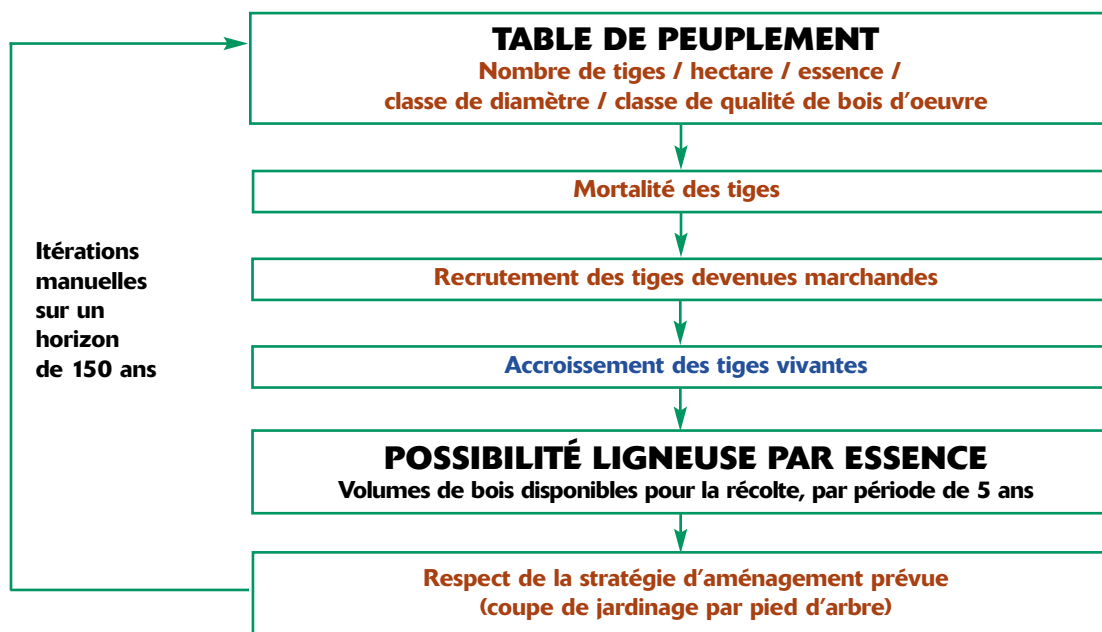
La figure 5.2 présente un diagramme simplifié du fonctionnement du module par taux de passage utilisé par Sylva. Globalement, les principales étapes sont les suivantes :

- 1 ► La simulation débute en faisant appel à une table de peuplement. Il s'agit d'un tableau qui indique le nombre d'arbres par hectare, par essence et par classe de 2 cm de **diamètre à hauteur de poitrine (DHP)**¹⁷.
- 2 ► À chaque période de 5 ans, on crée une nouvelle table de peuplement en prenant en considération :
 - les taux de mortalité des arbres, c'est-à-dire le nombre de tiges, par essence et par classe de DHP, qui vont mourir durant la période;

- les taux de passage, c'est-à-dire la proportion de tiges de chaque essence qui vont survivre et croître suffisamment pour passer à la classe de DHP suivante ou même augmenter de deux classes;
 - le recrutement, c'est-à-dire le passage d'arbres de la classe des **gaules** ($DHP \leq 9$ cm) à celle des **arbres marchands** ($DHP > 9$ cm), pour chaque essence.
- 3 ‣ Les volumes marchands, par essence et par classe de DHP, sont ensuite déterminés, pour chaque période de 5 ans, en multipliant le nombre de tiges/ha, par essence et classe de DHP, par les **tarifs de cubage**¹⁸ appropriés.
- 4 ‣ Le volume marchand total du peuplement est alors calculé en faisant la somme de tous les volumes marchands de chacune des essences, pour chacune des classes de diamètre. Les volumes marchands par essence et par produit (sciage, déroulage ou pâte selon le DHP) peuvent aussi être déterminés. Ces calculs sont répétés pour le nombre de périodes spécifié par l'utilisateur du modèle.

Il est important de rappeler que le module par taux de passage n'est utilisé que pour les forêts sous aménagement inéquienne. Il ne convient donc aucunement pour la simulation de peuplements assujettis à des coupes par trouées ou par parquets, lesquelles s'inscrivent davantage dans une stratégie d'aménagement équienne. Le système adopte alors une technique de simulation « par courbes de croissance ».

Figure 5.2 Diagramme simplifié du module par taux de passage utilisé dans Sylva



‣ **Aspects à améliorer**

‣ **Aspects qui requièrent des changements majeurs**

Constat

La faible précision des données d'inventaire ne permet pas de justifier l'utilisation du module par taux de passage pour calculer la possibilité ligneuse des forêts feuillues sous aménagement de type inéquienne.

Les travaux du Cerfo confirment que la précision des données d'inventaire utilisées dans le module par taux est très faible. Par exemple, dans le cas de l'unité d'aménagement forestier 81-51, la précision par strate d'inventaire regroupée sur l'estimation du nombre de tiges, par hectare par essence et par classe de DHP de 10 cm, est de seulement 29 %. En d'autres mots, si le nombre moyen de tiges est de 100 pour une classe de diamètre, ce nombre peut, dans les faits, osciller entre 29 et 171 tiges.

Étant donné que le module par taux requiert qu'on détermine le nombre de tiges par classe de 4 cm, il est clair qu'il est impossible, à partir des données issues de l'inventaire, d'avoir une précision adéquate pour justifier l'utilisation de ce module. Par conséquent, on ne peut pas se fier aux résultats pour planifier l'aménagement des forêts feuillues du Québec.

On doit mentionner que le module par taux fonctionne avec des matrices composées de cellules ayant chacune une valeur. Dans les travaux du Cerfo, il s'est avéré qu'au-delà de 80 % de ces cellules étaient vides, les données issues de l'inventaire forestier ne permettant pas d'alimenter correctement ces matrices.

L'imprécision des données d'inventaire entraîne aussi d'importantes inadéquations entre les résultats du module par taux utilisé par Sylva et les besoins de l'aménagiste. Il en découle, entre autre, une complexité excessive des normes d'intervention et des critères de sélection des traitements sylvicoles pour un peuplement donné. Ceci est principalement dû, tel qu'expliqué précédemment, à la faible concordance entre les appellations cartographiques et la réalité (cf. Section 5.3), de même qu'à la faible précision des données d'inventaire sur les volumes par essence et par classe de diamètre.

À titre d'exemple, Sylva fonctionne avec des classes de qualité portant sur le volume de bois d'œuvre disponible (classes A, B, C et D : classe indiquant le nombre de billes de qualité bois d'œuvre pouvant être produites). Dans sa planification des activités sylvicoles, l'aménagiste est, pour sa part, confronté à appliquer des classes de vigueur (I, II, III, IV) qui ne sont pas prises en compte dans le module par taux. Ces classes de vigueur visent à informer l'aménagiste sur la probabilité que l'arbre meure à l'intérieur d'une période de temps donnée. Par exemple, la classe IV correspond à des arbres qui ont de grandes chances de succomber à court terme.

Constat

De fortes imprécisions ont été détectées quant aux résultats du module par taux de passage. Entre autres, des lacunes importantes ont été notées en ce qui a trait à la prédiction de la mortalité des tiges, à la dynamique de recrutement des gaules et à la prise en compte des effets des traitements sylvicoles.

L'analyse réalisée par le comité scientifique parrainé par le Ministère démontre que les prédictions générées dans le module par taux sont biaisées et relativement imprécises, et que cette problématique augmente avec l'horizon de prédiction. Les imprécisions détectées s'expliquent dans une large part (71 %) par la difficulté de prédire la mortalité des tiges.

Sur un horizon de prédiction de 30 ans, l'analyse révèle une sous-estimation de 20 % de l'accroissement net en volume, lorsque les volumes initiaux sont autour de 75 m³/ha. On a également enregistré, toujours sur un horizon somme toute restreint de 30 ans, une surestimation de 15 % lorsque les volumes initiaux sont d'environ 225 m³/ha.

Tous volumes confondus, la précision obtenue dans l'étude de ce comité a été d'environ 64 % sur un horizon de prédiction de 30 ans. Il faut noter que cette analyse a été faite par placette échantillon plutôt que par strate d'inventaire regroupée qui, normalement, réunit 15 placettes. Les précisions sont donc inférieures à ce qui aurait été obtenu si les travaux avaient été réalisés par strate regroupée.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble des résultats obtenus sur l'analyse du module par taux indique que les besoins en découpage de variables (moyenne par essence, par classe de DHP, par qualité) sont irréalistes.

Il est également important de souligner que le module par taux ne prend en compte ni la dynamique du recrutement des gaules dans les classes marchandes, ni les effets des travaux sylvicoles sur cette dynamique. Ceci constitue un défaut majeur. Présentement, une fois qu'il a prescrit un traitement sylvicole pour un peuplement feuillu, l'utilisateur du logiciel n'a d'autre option que de choisir de façon arbitraire un des six types de taux de passage intégrés dans le module. Puisque ni le recrutement ni la régénération ni les effets des traitements sylvicoles ne sont modélisés, il devient impossible d'évaluer correctement la précision fournie par le module par taux dans l'estimation des volumes de bois.

Constat

L'étude de sensibilité du module par taux de passage indique que les divers intrants engendrent de nombreux biais qui minent considérablement la fiabilité des résultats.

L'étude de sensibilité d'un modèle consiste à déterminer les degrés de variation des résultats obtenus en fonction des variations inhérentes à chacun des intrants. En d'autres mots, elle permet d'examiner quel sera l'impact d'un changement de la valeur d'un intrant sur le résultat du calcul effectué par le modèle. Dans le cas du module par taux de passage utilisé dans Sylva, les analyses révèlent que ces variations associées aux intrants sont importantes.

▸ *La répartition des diamètres*

L'analyse du Cerfo démontre que lorsqu'il y a prépondérance de tiges de petites et moyennes dimensions, la simulation donne des accroissements de volumes de bois très élevés. Ceci a pour conséquence de réduire le temps entre les récoltes successives dans un peuplement (période de rotation) à 5 ans plutôt qu'à 25 ans.

▸ *L'étalement des traitements sylvicoles*

L'étalement représente le temps requis pour réaliser un traitement de récolte sur la superficie totale d'une strate regroupée. L'étude du comité scientifique parrainé par le Ministère révèle, que pour un étalement de 5 ans, Sylva prédit un accroissement de la possibilité ligneuse de 6 % par rapport à la borne de référence de la stratégie originale, dans laquelle l'étalement varie de 5 à 20 ans. La stratégie originale est celle qui était prévue dans le plan d'aménagement de l'aire commune utilisée par le comité scientifique du Ministère pour faire cette analyse. Pour un étalement égal à la rotation, la possibilité baisse de 3,5 %.

▸ *La rotation*

La rotation, ou l'intervalle de temps entre deux coupes de jardinage, est déterminée par l'aménagiste en fonction de ses connaissances sur le peuplement. L'étude de cas réalisée par le comité scientifique parrainé par le Ministère montre qu'une réduction de 5 ans de la rotation a entraîné une augmentation de la possibilité ligneuse de l'ordre de 26 %, alors qu'une augmentation de 5 ans a causé une baisse de la possibilité de 21 %. Il s'agit donc d'un point décisionnel majeur.

▸ *Les taux de passage*

Les taux de passage, qui expriment la croissance individuelle des tiges, sont fort différents selon que les peuplements font l'objet ou non de traitements sylvicoles. Le module par taux utilisé dans Sylva fait donc appel à des taux avant et après traitement. Ces taux doivent être choisis par l'utilisateur du logiciel. Ils sont généralement très sensibles lorsque la période critique (le plus bas niveau de volumes récoltables) survient à long terme et lorsqu'on considère le volume récoltable sur l'ensemble de l'horizon de simulation (150 ans). Par exemple, on note une baisse de 20 % dans la possibilité ligneuse lorsqu'on maintient les taux de passage sans intervention sylvicole durant toute la durée de la simulation, par rapport à un scénario où l'on permet une variation des taux de passage en fonction des traitements sylvicoles effectués.

► *Le nombre de coupes partielles dans un régime d'aménagement de type équienné*

Dans le cas de forêts dégradées de feuillus tolérants (arbres qui poussent bien dans des conditions ombragées [ex. érable à sucre] ou semi-ombragées [ex. bouleau jaune]), une orientation préconisant des coupes partielles suivies d'une coupe totale ou encore d'une coupe par parquets peut parfois être prescrite pour restaurer la qualité du peuplement. Ces régimes s'apparentent davantage à un type d'aménagement équienné et, dans ces cas, le système Sylva se comporte comme un module par courbes de croissance plutôt que par taux de passage.

Une étude de cas, menée par le comité scientifique parrainé par le Ministère, démontre que, pour les groupes érable à sucre et pour les groupes pin, la possibilité ligneuse diminue de 1,7 à 4,8 % lorsque la stratégie sylvicole prévoit, sur l'ensemble du territoire à l'étude, une à deux coupes partielles avant la récolte finale (le scénario de référence considère une ou deux coupes partielles sur une fraction du territoire).

► *Le type de traitement sylvicole préconisé*

Dans l'étude de cas réalisée par le Cerfo sur les groupes de calcul érable à sucre, la moyenne des possibilités ligneuses durant toute la simulation de 150 ans a été de 153 m³/ha/an pour la coupe de jardinage (cf. Section 6.6), de 141 m³/ha/an pour la coupe totale et de 255 m³/ha/an pour la coupe totale suivie d'un dégagement de la régénération et d'éclaircies sur une base régulière. On voit donc l'importance que revêt le choix de l'approche sylvicole, par coupes partielles, coupes totales ou autres traitements, sur l'estimation de la possibilité ligneuse.

Constat

Il existe un niveau très élevé de discordance entre les hypothèses utilisées dans le module par taux de passage et la réalité terrain.

Au Québec, la coupe de jardinage est le mode de récolte présentement le plus préconisé pour les peuplements feuillus de structure inéquienne (cf. Section 5.2). Les hypothèses de rendements ligneux à la base de cette méthode stipulent que le volume marchand des peuplements se reconstitue au cours d'une rotation de 20 ans \pm 5 ans, pour un prélèvement de 25 à 35 % de la **surface terrière**.¹⁹

Bien que cette hypothèse ait été validée par la Direction de la recherche forestière du Ministère dans le cadre de suivis de peuplements traités à la coupe de jardinage, la réalité émanant des traitements effectués au Québec par les entreprises forestières est fort différente.²⁰ En effet, l'accroissement net des peuplements dans les dispositifs de recherche du Ministère ayant servi à valider l'hypothèse est plus de deux fois supérieur (0,28 vs 0,12 m²/ha/an) à celui enregistré dans les peuplements sur forêts publiques qui ont fait l'objet d'une coupe de jardinage réalisée sous la responsabilité des entreprises de sciage et de déroulage de bois feuillus. Cette différence est due à une récolte trop forte des arbres de dimension et de qualité désirées par l'industrie de la transformation, accompagnée d'une sous-récolte des arbres de piètre qualité d'un point de vue économique.

Cette non-conformité aux règles établies pour la coupe de jardinage entraîne non seulement une sous-estimation des périodes de rotation qui, comme on l'a vu précédemment, est une variable très sensible du calcul de la possibilité ligneuse, mais aussi une dégradation de la qualité des peuplements à feuillus tolérants aménagés avec un régime inéquien.

Les recommandations à l'égard du module par taux de passage sont inscrites à la section 5.4.8.

▼ **Le module par « courbes de croissance »**

Le module par « courbes de croissance » est utilisé dans Sylva pour les peuplements sous régime d'aménagement équienné. Selon la Direction des inventaires forestiers du Ministère, ces peuplements représentent 90 % des forêts du Québec.

La figure 5.3 présente un diagramme simplifié du fonctionnement du module par courbes de croissance utilisé dans Sylva. Ce module fait appel à différents intrants, lesquelles interagissent essentiellement de la façon suivante :

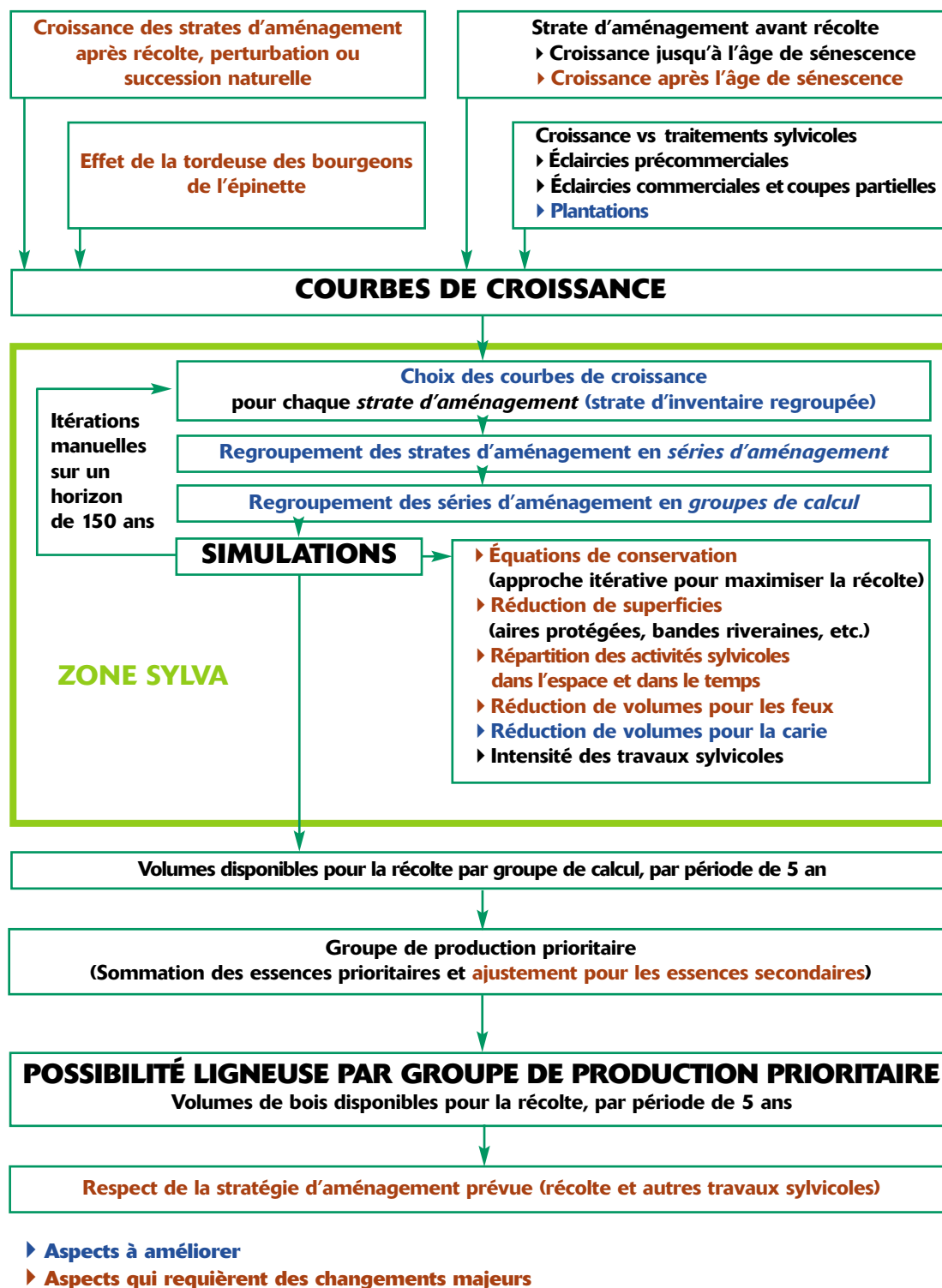
- 1 ▶ L'outil de simulation fait évoluer le volume des peuplements en tenant compte du fait que chaque essence possède sa propre **courbe de croissance**, laquelle est établie selon la productivité du site (IQS : **indice de qualité de station**), la densité du peuplement et la répartition des essences et des tiges (IDR : **indice de densité relative**), et la région où l'essence croît. Pour chaque essence présente dans la strate d'inventaire regroupée, une série de paramètres issus des données de l'inventaire (i.e., l'âge moyen, le volume, la densité, la qualité de station et la région de croissance) sert à choisir une courbe de croissance. Il en résulte une **famille de courbes** qui, combinées au *prorata* des volumes initiaux par essence, décrit la croissance globale de chaque strate d'inventaire regroupée.
- 2 ▶ La **strate d'inventaire regroupée** constitue un ensemble de peuplements identifiés individuellement sur les cartes écoforestières, lesquels ont des caractéristiques suffisamment semblables pour être inclus dans une seule strate.
- 3 ▶ Les strates regroupées sont fusionnées en **séries d'aménagement**. Une série d'aménagement réunit donc différentes strates, de tous âges, qui possèdent des caractéristiques biophysiques similaires et pour lesquelles l'aménagiste prévoit une stratégie d'intervention sylvicole identique. Par exemple, une série d'aménagement pourrait être un groupe de sapinières, pures ou avec épinettes blanches, d'âges variables et poussant sur des sites riches, que l'on prévoit régénérer par plantation et assujettir à des éclaircies.
- 4 ▶ Les séries d'aménagement sont réunies en **groupes de calcul** qui forment une unité distincte du point de vue de l'aménagement et de l'approvisionnement (ex. groupe résineux [SEPM] – sapin production pâte – site pauvre \Rightarrow série d'aménagement 1 + épinette production sciage – site riche \Rightarrow série d'aménagement 2). C'est au niveau de chaque groupe de calcul que les simulations de Sylva sont effectuées, de façon indépendante les unes des autres.
- 5 ▶ Les résultats de simulation sur les groupes de calcul sont, par la suite, regroupés et additionnés pour former des **groupes de production prioritaire** représentant un ensemble de strates constituées d'un ensemble de peuplements aménagés prioritairement pour la production d'une essence ou d'un groupe d'essences en vue de la récolte et de la transformation (ex. sapin, épinettes, pin gris et mélèze, communément appelé le groupe SEPM). Les groupes de production prioritaire servent à l'établissement de la possibilité et à l'attribution des volumes de bois.

Actuellement, au Québec, la simulation à l'aide du module par courbes de croissance vise à maximiser et à équilibrer dans le temps les volumes disponibles à la récolte pour les essences prioritaires présentes dans chaque groupe de calcul, et ce, sans considérer les essences secondaires. Il est important de noter qu'une essence peut être prioritaire dans un groupe de calcul et secondaire dans un autre.

- 6 ▶ Compte tenu que l'objectif actuel est d'établir un niveau de récolte maximal « constant » jusqu'à la période critique déterminée sur un horizon de 150 ans, le module par courbes utilise le principe des **équations de conservation**²¹, une approche exclusive au Québec. Des courbes de croissance différentes sont utilisées dans le modèle selon qu'au cours des 150 ans, le peuplement fait l'objet d'une coupe, devient en sénescence, est en croissance sans intervention sylvicole, progresse avec des interventions sylvicoles ou origine d'une plantation.

Pour apprécier la complexité du système, il suffit de savoir que pour une seule unité d'aménagement forestier de 1,2 million d'hectares, il peut y avoir au-delà de 3 500 strates d'inventaire regroupées et 9 000 familles de courbes. Chaque famille de courbes étant représentée par une seule courbe, qui est elle-même le fruit de 4 à 5 courbes propres aux essences présentes sur ce territoire, on en arrive à un total d'environ 40 000 courbes qui sont intégrées au modèle de croissance pour établir la possibilité ligneuse. Toutes ces courbes sont construites à l'extérieur du module, qui les utilise simplement comme intrants au calcul.

Figure 5.3 Diagramme simplifié du module par courbes de croissance utilisé dans Sylva



Pour chaque période de 5 ans, le modèle de simulation établit les volumes de bois matures prêts à être récoltés dans l'unité d'aménagement forestier, en tenant compte de tous les travaux sylvicoles effectués antérieurement sur le territoire, y inclus la récolte. Le niveau maximal de coupe selon le principe du rendement soutenu à niveaux de récolte constants est déterminé par la **période critique**, c'est-à-dire la tranche de 5 ans, sur l'horizon de 150 ans, pour laquelle le modèle prévoit le plus faible volume de bois récoltable sur un territoire donné (ce seuil inférieur vient dicter le niveau de récolte annuelle pour toutes les autres périodes précédentes).

Constat

Les sources d'imprécision inhérentes aux différents intrants utilisés dans le module par courbes de croissance sont nombreuses.

Au total, le module par courbes de croissance de Sylva nécessite actuellement 95 intrants. Les sources possibles d'imprécision liées à l'utilisation de ce module sont donc nombreuses. Dans le cadre de ses récents travaux, le comité scientifique parrainé par le Ministère a identifié un total de 28 sources d'imprécisions liées à ce module. Parmi celles-ci, les plus susceptibles de biaiser l'estimation de la possibilité ligneuse sont :

- ▶ la concordance entre les volumes de récolte prévus par la simulation et leur exécution sur le terrain;
- ▶ la modélisation des volumes de bois en période de sénescence des peuplements;
- ▶ les corrections pour les pertes dues aux perturbations naturelles;
- ▶ la simulation de la croissance dans les peuplements de moins de 7 mètres de hauteur (strates de retour après la récolte ou en succession naturelle);
- ▶ le choix des courbes de croissance.

Plusieurs de ces sources d'imprécision sont discutées plus en détails dans les constats qui suivent.

Constat

Les données de l'inventaire ligneux ont des niveaux de précision relativement faibles à l'échelle de la strate d'inventaire regroupée. L'analyse révèle néanmoins une bonne adéquation entre le système d'inventaire et les besoins du module par courbes de croissance utilisé dans Sylva, pour les strates de 7 mètres et plus de hauteur, sur la plupart des intrants.

L'analyse révèle d'importantes sources d'imprécision à l'échelle de la strate d'inventaire regroupée, soit l'échelle utilisée comme intrant dans le calcul de la possibilité ligneuse. Prenons l'exemple de l'unité d'aménagement 27-51 pour laquelle les données nécessaires au fonctionnement du modèle doivent être puisées dans différentes parties de 4 unités de sondage de l'inventaire forestier, où l'épinette noire est prédominante. Pour ce territoire, les travaux du Cerfo montrent que la précision sur le volume moyen de cette essence par strate d'inventaire regroupée, dans l'unité de sondage 8786, est de 51 %, alors que dans l'unité de sondage 7071, la précision n'est que de 32 %. En d'autres mots, si le volume moyen d'épinette noire pour l'unité de sondage 7071 est de 100 m³/ha, cette valeur se situe en réalité entre 68 et 168 m³/ha. Toujours dans l'unité de sondage 7071, la précision par strate regroupée sur le volume moyen de sapin, peu présent sur cette portion du territoire, est de 17 % alors que la précision de l'âge par essence est de 60 % et la précision relative à la hauteur par essence, de 67 %. Les variations de l'âge et de la hauteur influencent directement l'indice de qualité de station (IQS) et, par conséquent, le choix des courbes de croissance utilisées par le module.

Malgré ces imprécisions, l'analyse démontre que le module par courbes de croissance est peu sensible aux variations décrivant le portrait actuel des strates ligneuses de plus de 7 mètres de hauteur (i.e., les strates qui décrivent le peuplement dont les arbres ont présentement un diamètre marchand (> 9 cm). Les fortes variations observées pour plusieurs paramètres de description de ces strates entraînent des variations de seulement 5 à 10 % au chapitre de la possibilité ligneuse. Par contre, la prédiction des volumes pour les strates de moins de 7 mètres de hauteur est très imprécise. Comme on le verra plus loin, cette lacune est importante puisque les attributs de ces jeunes strates (strates de retour) ont une influence majeure sur ce que deviendra le peuplement dans l'avenir et, par conséquent, sur la possibilité ligneuse qui pourra s'en dégager.

La faible précision des données d'inventaire à l'échelle de la strate regroupée n'influence cependant pas la qualité des courbes de croissance utilisées dans le module, car celles-ci ne sont pas construites à partir des strates regroupées, mais à partir de l'ensemble des placettes échantillons « temporaires » de la région (i.e., domaine bioclimatique).²²⁻²³ La construction des courbes fait donc appel à un nombre de placettes échantillons suffisamment grand pour l'obtention d'une précision adéquate pour le calcul de la possibilité. Les travaux de Pothier et Savard (1998)²³ ont montré que ces courbes comportaient des biais de l'ordre de 1 % et des variations de l'ordre de 15 à 20 % dans la prédiction du volume d'une placette échantillon. Ce chiffre peut paraître élevé, mais il faut comprendre que, dans la pratique, la prédiction se fait pour une moyenne de plusieurs placettes localisées dans une strate regroupée. La variabilité des prédictions faites à partir de moyenne de plusieurs placettes est en général beaucoup plus faible que lorsque les prédictions sont faites à partir de placettes individuelles.

En contrepartie, la faible précision des données d'inventaire à l'échelle de la strate regroupée a d'autres impacts qui peuvent être importants. Elle peut notamment entraîner un mauvais choix de courbes de croissance et un mauvais positionnement du volume actuel sur ces courbes, ce qui peut engendrer une cascade de conséquences.

Dans le cas où l'aménagiste ne ferait pas le bon choix de courbes, par exemple, les impacts seront plus forts dans les zones où la croissance des peuplements est plus rapide, c'est-à-dire où la pente de la courbe sera plus prononcée et l'écart entre les courbes potentielles, plus grand. L'impact du choix de la famille de courbes sur la possibilité ligneuse est donc supérieur dans les forêts plus au sud que dans celles plus au nord. Par ailleurs, l'impact sur les prévisions de volumes de bois sera plus important pour les prévisions à long terme (sur 60 ans et plus) et plus faible pour les prévisions à court terme (sur 30 ans et moins). Pour le moyen terme (prévisions sur un horizon de 30 à 60 ans), les impacts peuvent être significatifs, d'où l'importance de vérifier, à chaque exercice d'inventaire, l'adéquation entre les volumes de bois estimés par Sylva et ce qu'il y a réellement sur le terrain.

Par ailleurs, l'incidence d'un mauvais choix de famille de courbes sera fortement influencée par le type de structure forestière en présence, ainsi que par le moment où survient la période critique. Cette question deviendra encore plus importante si le Québec décide de modifier son approche de gestion de la matière ligneuse, basée sur le « rendement soutenu à niveaux constants de récolte », pour permettre un régime de « rendement soutenu à niveaux de récolte variables » (cf. Sections 5.4.2 et 5.4.4). Dans ce cas, le choix des courbes de croissance pourrait s'avérer encore plus crucial et il faudra s'assurer que les aménagistes aient en main les bons outils.

Il est important de noter, quels que soient les niveaux de précision obtenus par le biais des inventaires, que la précision la plus importante à considérer est celle qui dicte la possibilité ligneuse et l'attribution des volumes de bois. C'est en fait au niveau des groupes de calcul (niveau où Sylva fait les simulations) que la précision prend tout son sens opérationnel (ensemble de strates d'inventaire regroupées \Rightarrow série d'aménagement; ensemble de séries d'aménagement \Rightarrow groupe de calcul; ensemble de groupes de calcul \Rightarrow groupe de production prioritaire).

Constat

Le calcul de la possibilité ligneuse réalisé avec le module par courbes de croissance comporte des sources d'imprécisions et de biais majeurs, lesquels augmentent de façon significative avec l'horizon de prédiction. Cette situation est inquiétante si l'on considère que les prédictions de volumes de bois faites sur un horizon de 150 ans servent à établir le niveau actuel de récolte.

Dans le cadre des travaux du comité scientifique parrainé par le Ministère, une analyse de type *Bootstrap* sur la propagation des imprécisions issues uniquement des données de l'inventaire a été effectuée pour deux groupes de calcul d'une aire commune. Cette analyse a permis d'identifier une sous-estimation de la possibilité ligneuse d'une aire commune de 3 % pour le groupe de calcul résineux, et une surestimation de 8 % pour les groupes de calcul mixtes (essences feuillues et résineuses). L'étude révèle, par ailleurs, des variabilités de la possibilité ligneuse de 6 % et de 29 % pour les groupes de calcul résineux et mixtes, respectivement. Ceci n'inclut cependant pas les imprécisions et les biais liés aux hypothèses retenues par le modèle, telles les hypothèses sur les strates de retour (après récolte ou en succession naturelle), etc. Ces résultats sont cohérents avec les constats de la Commission sur l'adéquation entre les besoins du module par taux et la précision des données d'inventaire pour les strates de 7 mètres et plus (voir constat précédent).

Les travaux du comité scientifique démontrent également que le biais (tendance à la surestimation ou la sous-estimation) ainsi que l'imprécision (variabilité de l'estimation) associés à la prédiction des volumes de bois dans le module par courbes augmentent de façon sensible avec l'horizon de prédiction. Ainsi, le biais sur les volumes estimés est nul lorsque les prédictions se font sur 5 ans, alors que sur 25 ans, on enregistre une sous-estimation de 5,4 m³/ha. Ces biais découlent principalement de l'estimation de la variable « indice de densité relative » (IDR). Celle-ci devrait donc être bonifiée, entre autres, en agrandissant les microplacettes contenues dans les placettes échantillons permanentes. Par ailleurs, l'estimation de la variable « indice de qualité de station » (IQS) engendre également un biais. L'inventaire forestier étant encore jeune – seulement trois inventaires ont été réalisés à ce jour, n'offrant donc que trois séries de données issues des placettes permanentes – cette variable n'a pu être analysée au-delà d'un horizon de 30 ans.

En ce qui a trait à l'imprécision, c'est-à-dire la variabilité de l'estimation des volumes de bois disponibles pour la récolte, celle-ci passe de 15 m³/ha pour une prédiction sur 5 ans à 30 m³/ha pour une prédiction sur 25 ans. Il faut cependant noter que cette étude du comité scientifique a été réalisée en prenant comme unité expérimentale la placette échantillon et non la strate regroupée qui comporte généralement 15 placettes. Comme l'écrit le comité scientifique, le niveau d'imprécision que l'on obtiendrait en prenant les strates regroupées plutôt que les placettes échantillons serait certainement beaucoup plus faible. Ceci étant dit, le fait que l'imprécision augmente de façon importante lorsque l'horizon de prédiction est allongé de 5 à 25 ans - même si ce n'est qu'à l'échelle des placettes - est suffisant pour soulever des inquiétudes. Celles-ci sont d'ailleurs d'autant plus pertinentes que les prédictions des volumes de bois sont faites sur un horizon de 150 ans et que ces estimations servent à établir le niveau de récolte annuelle de matière ligneuse.

Par ailleurs, le comité scientifique parrainé par le Ministère a réalisé une étude portant sur la propagation de quelques sources d'imprécision dans l'estimation de la possibilité ligneuse pour quatre groupes de calcul d'une unité de compilation utilisée ici en exemple, et ce, à l'aide d'une approche indépendante de calcul (équations *NE-TWIGS*). L'analyse a permis de propager dans le temps quelques-unes des multiples sources d'imprécisions liées à la variabilité du volume marchand à l'intérieur de la strate regroupée, à l'estimation de la croissance et, plus partiellement, à la composition de la strate de retour. Les résultats de cette étude montrent une grande variation de l'imprécision dans le temps (10 à 50 %) et une imprécision moyenne sur la possibilité ligneuse de 30 %.

Dans les territoires résineux, mixtes et feuillus analysés par le Cerfo, l'imprécision sur les volumes marchands des groupes de calcul dominants a varié de 26 à 45 %. Ceci montre bien le peu de fiabilité des résultats du calcul de la possibilité ligneuse.

Constat

L'âge de sénescence des peuplements forestiers a un impact majeur sur l'estimation de la possibilité ligneuse. La nouvelle méthode de détermination des âges de sénescence, adoptée par le Ministère à la suite de l'arrêt des calculs en mars 2004, apparaît adéquate. Cependant, l'estimation du rythme de décroissance des volumes de bois dans le peuplement après l'âge de sénescence est inquiétante; celle-ci n'étant pas modélisée, elle est laissée au jugement du professionnel qui établit les courbes.

L'âge de sénescence des peuplements forestiers est un paramètre-clé dans le calcul de la possibilité ligneuse. Il s'agit essentiellement de l'âge correspondant au moment où, pour chaque essence, la courbe de croissance du peuplement s'infléchit. À partir de cet âge, le peuplement commence à perdre plus de volume marchand de bois qu'il n'en gagne. C'est donc une notion qui ne s'applique qu'aux peuplements de structure « équiennne » parce qu'en principe, un peuplement de structure « inéquienne » n'atteint jamais le stade de la sénescence, les arbres qui le composent étant constamment remplacés lorsqu'ils meurent.

Les courbes de croissance, qui indiquent donc le rythme de croissance et l'âge de sénescence d'une essence donnée en fonction d'une série de paramètres propres à tel ou tel type de site, ont été développées à partir des données d'inventaire. Au fil des ans, l'élaboration de ces courbes a fait l'objet de nombreux travaux mais aussi de controverses au Québec.

Historiquement, les courbes de Boudoux (1978)²⁴ pour la majorité des essences résineuses, Carpentier *et al.* (1989)²⁵, 1990²⁶ pour le peuplier et le bouleau à papier, Carpentier *et al.* (1993)²⁷ et Boudoux (1978)²⁴ pour l'épinette noire, et Gevorkiantz pour le thuya de l'Est (Pothier et Savard 1998)²³ ont été utilisées pour projeter la croissance des peuplements dans le temps et évaluer leur âge de sénescence. En 1998, Pothier et Savard ont révisé ces courbes, ce qui a entraîné une baisse notable de rendement apparent pour plusieurs essences d'importance économique, telle l'épinette noire. Par exemple, à 100 ans, pour un indice de qualité de station de 12,9, Boudoux (1978)²⁴ prévoyait un volume d'épinette noire de 160 m³/ha et Carpentier *et al.* (1993)²⁷, de 210 m³/ha. En 1998, les courbes de croissance de Pothier et Savard²³ estimaient ce rendement à 100 m³/ha. Il est évident que de telles variations dans les courbes utilisées ont une incidence majeure sur la possibilité ligneuse et, par conséquent, sur les volumes de bois qui peuvent être alloués pour la récolte.

En 2003, à la lumière d'une étude interne du Ministère, il a été décidé de réduire considérablement l'âge de sénescence pour certaines essences, ce qui entraînait inévitablement d'importantes baisses de la possibilité ligneuse dans plusieurs régions. L'analyse subséquente a cependant éveillé les autorités au fait que les résultats de cette étude n'étaient pas applicables à l'échelle du Québec, compte tenu, notamment, du faible nombre de répétitions utilisées pour déterminer les âges de sénescence (ex. sapin baumier n=34). Il faut noter que ces réserves avaient pourtant été soulevées par les chercheurs responsables de l'étude.

En mars 2004, le Ministère annonçait le report du dépôt des prochains calculs de la possibilité ligneuse pour l'ensemble du Québec.²⁸ Globalement, le Ministère reconnaissait que l'exercice des prochains calculs de la possibilité ligneuse avait été lancé sur la base de pistes erronées, lesquelles risquaient de provoquer des baisses injustifiées de la possibilité ligneuse dans plusieurs régions. Depuis ce temps, le Ministère a procédé à des travaux extensifs (augmentation du nombre de répétitions et de régions couvertes) pour valider les âges de sénescence, lesquels sont soutenus par des analyses statistiques qui apparaissent adéquates. De nouveaux calculs ont donc été redémarrés en juillet 2004.

Ces nouveaux calculs sont basés sur des courbes de croissance (Mailly 2004)²² dont les âges de sénescence semblent être valables, autant d'un point de vue méthodologique que statistique. Mis à part les points d'inflexion où débute la sénescence, ces courbes sont essentiellement les mêmes que celles de Pothier et Savard (1998)²³. Il faut cependant noter que les ajustements faits par le Ministère avec les courbes de Mailly (2004)²² ne règlent pas le problème de l'estimation de la décroissance des peuplements « après » l'âge de sénescence. Ce rythme de décroissance mériterait d'être examiné plus à fond, car il semble être laissé en grande partie au jugement de l'utilisateur du modèle de simulation, plutôt que d'être guidé par des modèles de régression.

Par ailleurs, l'échelle à laquelle les courbes de croissance sont construites, soit celle du domaine bioclimatique, et la qualité des données d'inventaire à cette échelle font en sorte que ces courbes sont adéquates, sur le plan méthodologique, du moins jusqu'à l'âge de sénescence.

Constat

Le module par courbes de croissance est très sensible aux variations de l'âge d'exploitabilité des peuplements.

L'âge d'exploitabilité correspond à la période du cycle de vie d'un peuplement sous régime d'aménagement équienné où celui-ci aura produit le plus grand volume de bois marchand dans un minimum de temps. Il s'agit d'un intrant majeur pour le calcul de la possibilité ligneuse. Il est important de noter que l'élaboration de courbes moyennes à partir des tables de production peut générer des variations de l'âge d'exploitabilité d'un peuplement qui atteignent plus ou moins 15 ans.

Les travaux du comité scientifique parrainé par le Ministère ont montré qu'une baisse de 10 ans de cet âge peut se traduire, dans le cas d'une forêt de structure « anormale par surabondance », par une hausse de la possibilité ligneuse de plus de 20 %. À l'inverse, des augmentations de 5 et de 20 ans de l'âge d'exploitabilité peuvent causer des baisses de la possibilité de l'ordre de 3 à 18 % et de 23 à 56 % respectivement.

Les travaux du Cerfo ont, par ailleurs, démontré que le module est aussi très sensible aux variations de l'âge d'exploitabilité dans le cas de forêts dont la structure est « anormale par insuffisance ». Il en va d'ailleurs de même pour les forêts dont la structure est de type « normal », compte tenu de l'état d'équilibre fragile qui caractérise ce type de peuplements. En effet, il n'est pas nécessairement facile de maintenir une structure normale, où les classes d'âge sont bien réparties, dans un contexte où certaines perturbations naturelles peuvent concentrer leurs effets sur une classe d'âge en particulier; c'est notamment le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dont les impacts sont prédominants dans les classes d'âge avancé.

Constat

Le délai de régénération (intervalle de retour) et la composition du peuplement qui reviendra après la récolte ou en succession naturelle (strate de retour) sont des variables-clés du calcul de la possibilité ligneuse.

Le module par courbes de croissance est également sensible aux décisions de l'aménagiste en ce qui a trait à chaque strate de retour, c'est-à-dire pour le type de peuplement qui reviendra en succession naturelle ou après la récolte et son évolution dans le temps, jusqu'à la prochaine coupe ou phase de succession naturelle. Il faut reconnaître la nature souvent imprévisible de cette variable et la faiblesse des méthodes présentement utilisées pour la qualifier.

Les prévisions sur le comportement des superficies entre le moment où celles-ci sont en voie de régénération et celui où le peuplement atteindra la maturité peuvent être très imprécises. Actuellement, le système utilise des données basées sur la composition en bas âge (grâce aux inventaires des tiges de moins de 7 mètres) ou la composition du peuplement avant coupe. Ces données ne sont toutefois pas assez fiables pour déterminer ce qu'il y aura réellement sur le terrain au moment de la prochaine récolte. En effet, un peuplement résineux, après coupe et sans reboisement, évolue généralement d'abord vers une composition mixte, pour ensuite retrouver de plus en plus sa composition résineuse. Il est donc incorrect de déterminer l'évolution d'un peuplement seulement à partir de sa composition en bas âge. Par ailleurs, si le peuplement initial n'était pas issu de coupe, il y a de fortes chances que le suivant évoluera de façon quelque peu différente. Les paramètres décrivant le peuplement avant coupe sont donc d'une utilité toute relative pour prédire le type de peuplement auquel on peut s'attendre lors du prochain cycle de récolte.

Tant les travaux du Cerfo et d'Optivert que ceux du comité scientifique ont démontré que la proportion de feuillus présumée par l'aménagiste dans les strates de retour a une forte influence sur la possibilité ligneuse en essences résineuses. Ceci est particulièrement vrai lorsque la période critique, sur l'horizon de 150 ans, est éloignée dans le temps. Une erreur de prédiction dans la composition feuillue des strates de retour de 12, 25 et 37 % pourra entraîner des baisses de la possibilité résineuse de 14, 31 et 46 %. Par ailleurs, pour les forêts dont la structure est « anormale par surabondance », un délai de régénération de 5, 10 ou 15 ans entraînera une baisse de la possibilité de 8, 15 et 22 % respectivement.

Constat

La méthode utilisée pour le choix des courbes de croissance à intégrer dans le logiciel Sylva entraîne une sous-estimation de la croissance de certains peuplements, entre autres ceux ayant été perturbés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Les courbes de croissance sont essentiellement développées à partir de placettes échantillons « temporaires » dans des peuplements purs (75 % et plus de la surface terrière représentée par l'essence visée) ayant subi pas ou peu de perturbation (moins de 25 % de mortalité en surface terrière) en raison d'insectes, tels la tordeuse des bourgeons de l'épinette, de chablis, de coupes partielles, etc.

Par contre, les données d'inventaire utilisées pour caractériser chaque strate regroupée proviennent de peuplements dont une grande proportion a subi des perturbations. Cette discordance de l'historique des perturbations naturelles entre les placettes échantillonnées pour bâtir les courbes et les placettes utilisées pour caractériser la strate d'inventaire a pour effet que, lors de la sélection des courbes à introduire dans le modèle pour une strate donnée, les essences sont placées sur des courbes qui ne reflètent pas la croissance réelle qu'elles devraient avoir. Plus souvent qu'autrement, les courbes choisies sont en effet des courbes correspondant à des sites qui ont des potentiels plus faibles (IQS) que ceux sur lesquels ces essences évoluent en réalité. Ce phénomène entraîne une sous-estimation des volumes qui seront, dans les faits, générés sur le terrain, et donc une sous-évaluation de la possibilité ligneuse.

Constat

Pour certaines essences, les courbes de croissance sont inadéquates et ne permettent pas d'assurer une bonne estimation des volumes de bois disponibles dans le temps.

La croissance de certaines essences, comme l'épinette noire et le sapin, a été abondamment étudiée et leurs courbes de croissance sont basées sur de nombreuses placettes échantillons. Plusieurs choix de courbes sont également disponibles pour ces essences, selon différents paramètres, tels l'indice de qualité de station (IQS), le type de traitement sylvicole, etc. Cependant, d'autres essences moins abondantes ont peu de courbes disponibles pour les caractériser selon diverses circonstances. Il serait néanmoins important, même pour ces essences, d'avoir des courbes plus représentatives de la réalité.

Constat

Le module par courbes de croissance est très sensible à la précision des intrants qui caractérisent la superficie dite « productive » de chaque unité d'aménagement forestier pour lequel la possibilité ligneuse est calculée, notamment la pente.

La **superficie productive** d'une unité d'aménagement forestier est représentée par l'ensemble des peuplements forestiers au sud de la limite nordique d'attribution des volumes de récolte, à l'exclusion des bandes riveraines, des divers types de zones protégées (où la récolte est interdite) et des superficies où les pentes sont de 40 % et plus d'inclinaison.

La précision de chacun des intrants qui décrit cette superficie productive est évidemment cruciale pour la qualité des résultats du calcul de la possibilité ligneuse sur ce territoire. Dans cette perspective, l'acuité des données de pourcentages de pente semble particulièrement problématique.

Les travaux du Cerfo ont en effet démontré une grande imprécision dans la concordance des pourcentages de pente entre les appellations cartographiques, issues de la photo-interprétation, et la réalité en forêt. Les concordances obtenues à l'échelle de l'unité de sondage ont été de 42 % pour les résineux, 37 % pour les forêts mixtes et 39 % dans le feuillu.

Il va sans dire que le niveau d'imprécision détecté dans la détermination des classes de pente peut avoir des impacts très importants. Selon les normes gouvernementales, la récolte de bois est interdite dans les pentes supérieures à 40 %. Or, il arrive que certains peuplements soient pris en compte par Sylva pour les fins du calcul de la possibilité ligneuse, parce qu'ils sont cartographiés comme ayant des pentes inférieures à 40 %, alors qu'en réalité, ils sont sur des pentes supérieures. Dans les faits, ils ne seront donc jamais récoltés alors qu'ils contribuent pourtant, dans le logiciel Sylva, à déterminer les volumes de bois récoltables sur la base du rendement soutenu.

Les travaux du Cerfo ont montré que le modèle Sylva est très sensible aux ajouts et aux retraits de superficies simulées lorsque celles-ci sont des superficies dites productives et accessibles (pente < 40 %). Les changements à ce niveau se traduisent généralement, dans Sylva, par une réduction globalement équivalente de la possibilité ligneuse (p. ex. une réduction de 20 % des superficies productives et accessibles simulées entraîne une réduction de l'ordre de 20 % dans la possibilité ligneuse).

Par ailleurs, il arrive assez souvent que des peuplements situés sur des pentes allant de 30 à 40 % ne soient pas récoltés, généralement pour des raisons opérationnelles, les conditions sur le terrain étant plus difficiles. Cette situation peut créer des distorsions relativement majeures dans l'estimation par Sylva des volumes de bois disponibles à plus long terme. En effet, si ces portions de territoire ne sont pas récoltées et remises en production, leur contribution aux volumes de bois disponibles pour l'ensemble du territoire n'arrivera pas au moment où Sylva l'avait prédit. Si cette contribution était prévue par le logiciel lors de la tranche de 5 ans qui représente la période critique, il pourrait y avoir surestimation importante de la possibilité ligneuse.

Constat

L'outil de simulation Sylva est mal adapté au fait que de vastes superficies forestières du Québec sont actuellement constituées d'une forte proportion de peuplements âgés. Le logiciel a notamment tendance à donner une plus grande importance aux peuplements bien stockés, ce qui fait que d'importants volumes de bois dans les peuplements en sénescence pourront être perdus.

Près de 65 % des forêts du Québec ont actuellement une structure « anormale par surabondance », c'est-à-dire qu'elles sont constituées d'une forte proportion de peuplements surannés. On dit de ces peuplements qu'ils ont des volumes de **bois en perdition** dans la mesure où, une fois que le peuplement a dépassé son âge de sénescence, il perd graduellement des volumes marchands par mortalité. Il faut mentionner que dans le cadre des simulations, le logiciel cessera de prendre en compte tout peuplement dont le volume en essences prioritaires passe sous la barre des 50 m³/ha. C'est ce qu'on appelle l'**âge de bris** du peuplement, c'est-à-dire l'âge maximal pour lequel l'une des essences prioritaires montre encore un volume dont le logiciel pourra tenir compte pour l'estimation de la possibilité ligneuse.

Dans le contexte actuel des forêts publiques du Québec, majoritairement constituées de forêts matures et surmatures, ces volumes « en perdition » prennent une grande importance. La règle de priorisation de récolte la plus couramment utilisée dans Sylva (50 % Min; 50 % Max) amène le logiciel à minimiser ces pertes de bois, et ce, en cherchant un certain équilibre entre la récolte de vieux peuplements surannés (option Min %), généralement moins bien stockés, et la récolte de peuplements moins âgés (option Max %), possédant les plus forts volumes exploitables. En parallèle, un autre volet de Sylva l'amène à prioriser, à l'intérieur du groupe des peuplements en sénescence, la récolte des peuplements les mieux stockés. Cette situation fait en sorte que d'importants volumes de bois, issus de peuplements en sénescence et moins bien stockés, pourront se perdre, d'où l'expression « volumes en perdition ». De plus, le principe qui consiste à fixer le niveau de récolte de la première période de 5 ans en fonction du plus bas niveau de possibilité ligneuse sur l'horizon de 150 ans ne permet pas d'optimiser la récolte de ces volumes dans les peuplements en sénescence. Cette situation entraîne un certain « gaspillage » de volumes de bois, en plus d'éloigner dans le temps la remise en production des vieux peuplements. Cette problématique est discutée à la section 5.4.4. Les travaux du comité scientifique parrainé par le Ministère suggèrent que, dans certains cas, ces volumes ligneux non récoltés peuvent équivaloir à la possibilité ligneuse cumulée des 150 ans, mais être concentrés sur quelques périodes de 5 ans.

Les travaux d'Optivert ont d'ailleurs démontré qu'une attention particulière portée à la récolte des volumes en perdition peut substantiellement accroître la possibilité ligneuse à rendement soutenu. Dans les simulations effectuées, les augmentations ont été de l'ordre de 10 à 15 %. Ces travaux révèlent également que, pour une forêt à structure « anormale par surabondance », une stratégie axée sur la récolte des peuplements en sénescence (100 % Min) peut permettre d'augmenter la possibilité ligneuse autant que s'il y avait application d'une stratégie sylvicole faisant intervenir des plantations et des éclaircies précommerciales.

Les travaux du comité scientifique parrainé par le Ministère ont, par ailleurs, démontré qu'en situation de structure « anormale par surabondance », une stratégie qui viserait à concentrer la récolte dans les peuplements les mieux stockés peut entraîner des baisses de la possibilité ligneuse de l'ordre de 30 % pour le groupe des essences résineuses. Cette observation est importante parce qu'historiquement, les entreprises ont eu tendance à s'approvisionner prioritairement dans ce type de peuplements bien stockés, préférablement plus près des usines, pour obtenir le maximum de matière ligneuse au meilleur coût possible.

Constat

La sensibilité du module par courbes de croissance est influencée par la structure forestière, le type de travaux sylvicoles prévus ainsi que l'horizon de la période critique, c'est-à-dire la période de 5 ans où, sur 150 ans de simulation, la disponibilité en peuplements récoltables est la plus faible.

La sensibilité du module par courbes de croissance dépend fortement du type de structure - normale, anormale ou irrégulière - qui caractérise les peuplements sur l'unité d'aménagement forestier, et de la nature des travaux sylvicoles prévus. Elle dépend aussi du moment, dans le cycle de vie de chaque peuplement, où l'on prévoit l'âge de bris et la période critique pour la récolte de bois.

Lors des travaux du comité scientifique, la sensibilité de plusieurs paramètres utilisés dans le module par courbes de croissance a été testée, en fonction de diverses structures forestières. La variabilité de certains de ces paramètres entraîne des variations de l'ordre de 30 % dans le résultat du calcul de la possibilité ligneuse.

Concernant la sensibilité du module par courbes au type de travaux sylvicoles prévus, les analyses du comité scientifique ont démontré qu'en situation de structure forestière « anormale par surabondance », la **plantation**, lorsque comparée à la régénération naturelle, peut accroître la possibilité ligneuse de 4, 11 et 19 % selon que 10, 30 ou 50 % des superficies récoltées sont reboisées. Pour les autres types de structure forestière, la plantation ne semble pas avoir d'impact sur la possibilité, du moins avec les essences utilisées et si on la compare avec une régénération naturelle adéquate.

En ce qui a trait à l'**éclaircie précommerciale** – un traitement sylvicole effectué dans des peuplements jeunes, sans volume marchand, pour gérer leur composition future – des simulations visant à accroître la présence de résineux de 20 % au cours des 25 premières années de simulation ont montré que ce traitement peut augmenter la possibilité ligneuse. Lorsque ce type d'éclaircie est appliqué sur 10, 30 ou 50 % des superficies récoltées, le logiciel Sylva prédit des hausses de 1,8, 4,5 et 7,7 % en volume. Dans les strates mélangées à feuillus intolérants, les augmentations de la possibilité sont deux fois plus élevées (4, 9 et 15 %).

Ces résultats ont aussi été corroborés par les travaux d'Optivert pour l'unité d'aménagement 27-51, elle-même caractérisée par une structure « anormale par surabondance ». Les simulations effectuées pour ce territoire ont en effet démontré que divers traitements de plantations et d'éclaircies précommerciales permettent d'accroître la possibilité ligneuse de l'ordre de 9 à 12 %.

L'influence se fait également sentir pour l'**éclaircie commerciale** – un traitement sylvicole effectué dans des peuplements contenant des volumes marchands et qui vise à uniformiser les approvisionnements ligneux dans le temps et augmenter le diamètre des arbres résiduels lors de la récolte finale. Comme l'a montré le comité scientifique parrainé par le Ministère, ce traitement a entraîné une réduction de la possibilité ligneuse de 1 à 4 % pour une forêt de structure « anormale par surabondance ». Pour les autres types de structure forestière, on a, par contre, noté un gain de possibilité de l'ordre de 8 %.

Constat

Le logiciel Sylva peut simuler des niveaux de récolte de bois qui sont supérieurs à la possibilité ligneuse maximale qu'il a lui-même établie. Cette situation a de nombreux effets pervers, incluant le fait qu'elle peut entraîner une surestimation de la possibilité ligneuse, suivie de baisses récurrentes.

Lors de simulations effectuées pour l'unité d'aménagement 27-51, un territoire représentatif d'une importante portion des forêts publiques québécoises, en raison de sa structure « anormale par surabondance », les travaux d'Optivert ont démontré que Sylva simule des niveaux de récolte supérieurs à la possibilité ligneuse qu'il a lui-même établie. En effet, les volumes annuels de coupe simulés par le logiciel, par période de 5 ans, sont variables, pouvant excéder jusqu'à 25 % la possibilité estimée. Ces dépassements de la possibilité établie par Sylva (volume conjoncturel), en moyenne de 10 % sur 60 ans, sont plus prononcés pour les essences feuillues, telles le peuplier, qui sont prioritaires dans certains groupes de calcul et secondaires dans d'autres.

Cette discordance entre les volumes de récolte simulés par Sylva par période de 5 ans et le niveau maximal de coupe fixé par le logiciel – qui représente la possibilité ligneuse à rendement soutenu – implique que la mécanique du logiciel, qui fonctionne dans les faits avec des niveaux de coupe variables, à chaque tranche quinquennale, peut entraîner une surestimation de la possibilité ligneuse réelle. Ceci est dû au fait que les peuplements « coupés par Sylva », mais non récoltés sur le terrain, ne seront pas, effectivement, remis en production. Ainsi, contrairement à ce que Sylva prévoit, ces peuplements ne contribueront pas aux volumes disponibles lors de la période critique. Par contre, au moment du calcul subséquent, refait 5 ans plus tard avec de nouvelles données, la non-récolte de ces volumes pourrait avoir un autre effet pervers, soit celui de réduire la nouvelle possibilité calculée parce que ces peuplements n'auront pas été remis en production – puisque non récoltés – et donc ne contribueront pas aux volumes qui seraient disponibles à la période critique. Ceci constitue un réel cercle vicieux et il n'est pas étonnant, lorsque les calculs sont refaits à chaque cinq ans, que les résultats soient à la baisse.

Constat

La faible précision des données d'inventaire à l'échelle des strates cartographiques et des strates regroupées entraîne des difficultés d'application des stratégies d'aménagement en forêt, ainsi qu'une incongruité avec les normes inscrites au *Manuel d'aménagement forestier*.

Lors de l'exercice de simulation de la possibilité ligneuse avec le logiciel Sylva, l'utilisateur établit, par itération, la stratégie d'aménagement qui permettra d'obtenir le niveau le plus élevé possible de volume récoltable, sur la base du rendement soutenu. Pour ce faire, il détermine des superficies auxquelles il associe divers types d'interventions sylvicoles. Par exemple, un certain nombre d'hectares seront soumis à des éclaircies, alors que d'autres pourront faire l'objet de plantations. Dans le contexte actuel, ces superficies et les peuplements qui y sont associés ne sont cependant pas localisés dans l'espace. Au moment d'appliquer sur le terrain la stratégie d'aménagement établie par l'utilisateur du logiciel, l'aménagiste devra trouver les peuplements à traiter à partir de cartes ou de sa connaissance du territoire.

La précision des données d'inventaire étant très faible à l'échelle des strates cartographiques, il devient souvent très difficile, voire impossible, pour l'aménagiste de trouver effectivement sur le terrain les peuplements qui sont simulés par Sylva en fonction de la stratégie d'aménagement qui lui a été dictée. La rigidité des normes inscrites au *Manuel d'aménagement forestier* et dans les *Instructions relatives*²⁹ afférentes au Manuel amplifie la difficulté de trouver les peuplements dans lesquels la stratégie sylvicole doit être appliquée. Or, le non-respect de l'application des interventions prévues par Sylva peut créer une distorsion importante entre ce que le logiciel prévoit comme volumes de bois disponibles et la réalité. Ceci est particulièrement vrai dans les milieux à grande diversité biologique, comme la forêt feuillue, où la précision de plusieurs paramètres, tels que le volume par essence et par classe de diamètre, est faible.

Les normes du Manuel reposent sur l'hypothèse que les données d'inventaire sont très précises à l'échelle des strates cartographiques et regroupées. Cette prémisse étant fausse, il s'en suit un manque flagrant d'adéquation entre les données de l'inventaire et les normes imposées par le biais du Manuel (cf. Section 6.4).

Les recommandations à l'égard du module par courbes de croissance sont inscrites à la section 5.4.8.

5.4.2 Le calcul de la possibilité ligneuse et l'accessibilité aux peuplements dans l'espace et dans le temps

Il est surprenant de voir que le Québec est la seule unité administrative de gestion forestière d'importance en Amérique du Nord qui ne prend pas en considération les dimensions spatiales et temporelles lors du calcul de la possibilité ligneuse. En d'autres mots, on ne tient pas compte de la localisation réelle des peuplements sur le territoire et de leur accessibilité dans le temps.

En effet, le logiciel Sylva effectue les calculs de la possibilité ligneuse en considérant que tous les volumes de bois qu'il intègre dans ses simulations sont accessibles et récoltables de façon rentable. Il faut pourtant reconnaître qu'actuellement, la récolte est concentrée sur un territoire plus restreint que celui qui sous-tend ces calculs.

Cette situation n'a, jusqu'à présent, pas posé de problème majeur puisqu'en période de surabondance et de concentration de peuplements âgés, l'aménagiste réussit à trouver les volumes souhaités, dans le respect des seuils imposés par le rendement soutenu. Cependant, au fur et à mesure que les peuplements de qualité sont récoltés et compte tenu de la priorité généralement accordée aux peuplements situés à proximité des usines, il est de plus en plus difficile de trouver une ressource ligneuse de qualité qui, pour l'industriel, présente une concentration intéressante. La récolte devient alors plus éclatée sur le territoire, ce qui entraîne de fortes conséquences sur la rentabilité des opérations.

Constat

Le fait que l'approche actuelle de calcul de la possibilité ligneuse ne tienne pas compte de l'accessibilité des volumes de bois, dans l'espace et dans le temps, est en voie de conduire le Québec à un cul-de-sac et d'entraîner, dans certaines régions, un écrémage des peuplements de qualité. Il existe cependant des méthodes qui permettraient de remédier à cette situation lors des prochains calculs.

La problématique de la non-répartition de la récolte sur le territoire avait déjà été soulignée en 1984 par le ministère de l'Énergie et des Ressources. Dans son document intitulé *La politique forestière du Québec : problématique d'ensemble*,³ le Ministère écrivait :

« Le mode de calcul de la possibilité naturelle suppose la récolte de tous les peuplements résineux mûrs de 49 mètres cubes et plus par hectare. Or, les pratiques actuelles de récolte ne favorisent pas le prélèvement de tous les peuplements rencontrés lors de l'exploitation, mais privilégient la sélection des meilleurs sur la base du volume moyen par unité de surface et par tige. »

Si les outils pour tenir compte des dimensions spatiales et temporelles n'étaient pas disponibles à l'époque, ce n'est plus le cas aujourd'hui. Le fait est que, si le Québec continue à estimer la possibilité ligneuse en ignorant les dimensions d'accessibilité aux volumes de bois dans l'espace et dans le temps, il est plausible de prévoir un écrémage des peuplements de qualité. Avec le temps, et selon la période critique, ce phénomène pourra aussi entraîner une baisse de la possibilité à chaque période de 5 ans, lors du renouvellement des calculs. Ceci s'explique par le fait que les peuplements pour lesquels les simulations Sylva avaient prévu une récolte n'auront pas nécessairement été coupés, étant par exemple trop éloignés, ni remis en production. Tranquillement mais sûrement, la compétitivité des entreprises de transformation du bois pourrait être compromise.

Les solutions sont néanmoins à portée de main. Les travaux du Cerfo et d'Optivert ont en effet montré qu'il est possible, à l'échelle d'une unité d'aménagement forestier, de spatialiser les résultats obtenus par le logiciel Sylva tout en utilisant l'ensemble des courbes de croissance – qui décrivent bien les conditions forestières du Québec – et en respectant les hypothèses d'aménagement ainsi que le principe – actuellement imposé par la *Loi sur les forêts* – de « rendement soutenu à niveaux constants de récolte dans le temps ».

Ces travaux ont cependant révélé que, si l'on maintient avec rigidité le critère de « constance » des niveaux de récolte, basé sur l'horizon de simulation de 150 ans, la prise en compte des dimensions spatiales, en greffant à Sylva le module de spatialisation *Stanley* du logiciel *Woodstock* (utilisé en Ontario), peut entraîner des baisses appréciables de la possibilité ligneuse, de l'ordre de 10 à 40 %. L'ampleur de la réduction de la possibilité comme conséquence de la spatialisation est directement proportionnelle à la grandeur minimale des secteurs de récolte retenue par l'aménagiste. Ainsi, plus la dimension minimale des blocs d'intervention sera grande, plus il y aura baisse de la possibilité.

Par contre, les effets de la prise en compte des dimensions spatiales et temporelles conduisant à la réduction de la possibilité peuvent être limités en remplaçant le principe des **équations de conservation** – qui amène actuellement le logiciel Sylva à estimer la possibilité en fonction de niveaux constants de récolte dans le temps – par d'autres méthodes qui permettent des niveaux de récolte variables sur l'horizon de simulation de 150 ans. Dans le cadre des travaux de la Commission, deux méthodes ont été examinées plus en détails, soit une méthode de programmation linéaire (*Woodstock*) et une méthode métaheuristique (*Patchwork*). Celles-ci sont décrites dans une note explicative figurant à la fin du présent chapitre.³⁰

Il faut comprendre que le logiciel Sylva, dont l'objectif n'est essentiellement lié qu'aux volumes de récolte et au rendement soutenu, fonctionne par itérations manuelles qui requièrent beaucoup de temps. En effet, le Ministère prévoit près d'une année complète d'itérations pour effectuer le calcul de la possibilité ligneuse dans chaque unité d'aménagement forestier, et ce, sans que le logiciel soit même en mesure de tenir compte des dimensions spatiales des peuplements sur le territoire. À l'inverse, les méthodes du type *Patchwork* et *Stanley* (module spatial de *Woodstock*) peuvent faire des centaines de milliers d'itérations en quelques heures, de façon automatisée, et trouver rapidement une solution qui respecte divers objectifs et diverses contraintes (rendement soutenu, budget maximal de voirie, budget maximal pour les traitements sylvicoles, aires protégées, îlots de vieillissement, territoires de piègeage, etc.) et qui tient compte des dimensions spatiales.

Pour une même stratégie d'aménagement, il s'avère que, comparativement au scénario Sylva où on se limite aux équations de conservation, l'utilisation de la méthode de programmation linéaire *Woodstock* permet d'accroître la possibilité ligneuse d'environ 20 %. Par ailleurs, une combinaison de la programmation linéaire et spatiale (*Woodstock* avec son module de spatialisation *Stanley*) peut entraîner une hausse ou une baisse de la possibilité ligneuse pouvant atteindre respectivement +20 % et -20 % par rapport à la solution Sylva actuelle, selon la grandeur minimale des secteurs de récolte retenue par l'aménagiste.

Les travaux d'Optivert ont, par ailleurs, démontré qu'en appliquant l'outil de spatialisation *Patchwork* aux intrants et aux hypothèses d'aménagement de Sylva, il est possible d'accroître la possibilité ligneuse de 12 %, sur une unité d'aménagement forestier, par rapport à la solution actuelle apportée par Sylva. La méthode utilisée permet de respecter un rendement soutenu supérieur à celui estimé par Sylva.

Par ailleurs, contrairement à Sylva qui fait des simulations, en principe, avec des niveaux constants de récolte par période de 5 ans, sur l'horizon de 150 ans, la méthode *Patchwork* fait appel à des niveaux de coupe « variables » par période quinquennale, tout en stabilisant ces niveaux à l'intérieur de limites fixées par l'utilisateur. Alors que le logiciel Sylva établit les rendements à 1,15 m³/ha/an, la solution *Patchwork* a permis d'obtenir des rendements variant de 1,30 à 1,43 m³/ha/an, tout en spatialisant le calcul pour éviter la concentration des coupes dans des territoires restreints et en respectant le rendement soutenu.

Les simulations présentées dans l'étude d'Optivert démontrent clairement l'intérêt de la méthode *Patchwork* pour une multitude d'objectifs, non seulement liés aux aspects propres à la récolte de matière ligneuse (p. ex. stabilisation et minimisation des coûts de la voirie dans le temps, optimisation des dépenses, etc.), mais aussi à divers aspects environnementaux (meilleure prise en compte des milieux à protéger, tels les îlots de vieillissement, etc.).

5.4.3 Le calcul de la possibilité ligneuse et les dimensions économiques

Constat

Le logiciel Sylva ne permet pas d'aborder les dimensions économiques liées à la détermination de la possibilité ligneuse. Des études réalisées avec d'autres outils de simulation ont démontré qu'une augmentation de la possibilité n'entraîne pas nécessairement une augmentation de la rentabilité de l'exploitation de la ressource ligneuse.

L'intégration des dimensions économiques dans le calcul de la possibilité ligneuse peut se faire en utilisant des paramètres économiques et financiers *a posteriori*, comme dans le cas des calculs de valeur actualisée nette (VAN) avec les logiciels *Patchwork* et *Stanley-Woodstock*, ou encore de façon plus performante en utilisant des paramètres économiques et financiers *a priori*, comme avec le système *Forexpert*. Globalement, l'intégration des aspects économiques dans le calcul de la possibilité ligneuse devrait viser le rendement soutenu des valeurs plutôt que celui des volumes de bois. Ceci constitue la grande force du logiciel *Forexpert*. Dans leurs rapports déposés à la Commission, le Cerfo et la firme Optivert ont documenté les façons et les avantages d'intégrer certaines dimensions économiques au calcul de la possibilité ligneuse, à l'aide des logiciels *Stanley-Woodstock*, *Patchwork* et *Forexpert*.

Cerfo et Optivert ont donc effectué pour la Commission diverses simulations à l'aide d'outils d'optimisation qui prennent en compte non seulement les aspects associés aux coûts d'opération en forêt, mais aussi les dimensions spatiales du calcul de la possibilité ligneuse. Ces analyses ont démontré qu'augmenter les niveaux de la possibilité n'entraîne pas nécessairement la rentabilité. Pour le moment, le logiciel Sylva ne permet pas d'aborder ce genre de questions.

Par exemple, dans l'unité d'aménagement forestier 27-51 (structure « anormale par surabondance »), une stratégie sylvicole basée sur la plantation et l'éclaircie précommerciale dès la première période de cinq ans de la simulation peut permettre d'accroître la possibilité ligneuse de l'ordre de 30 %. Cependant, cette stratégie n'augmente la valeur actualisée nette (VAN) que de 4 %. En contrepartie, toujours dans la même unité d'aménagement forestier, une stratégie qui débute les activités de plantation dans 30 ans et d'éclaircie précommerciale dans 40 ans n'augmente la possibilité ligneuse que de 20 %, mais accroît la rentabilité des opérations (VAN) de 25 %.

Notons que la structure forestière et, par conséquent, le moment où la période critique survient, sont des facteurs déterminants pour l'élaboration de la meilleure stratégie d'aménagement à adopter sur le plan de la rentabilité. Par exemple, dans le cas d'une structure forestière « anormale par insuffisance » (faible proportion de peuplements matures), la période critique sera rapprochée et une stratégie sylvicole qui préconise des éclaircies commerciales pourrait être très rentable. Dans ce type de situation, l'éclaircie permet d'ajouter des volumes de bois au moment où la période critique est prévue. Dans le cas où la forêt aurait une structure « anormale par surabondance », cette stratégie aurait peu d'intérêt car elle n'ajouterait pas de volumes de bois à la période critique.

5.4.4 Le calcul de la possibilité ligneuse et le « rendement soutenu »

Le concept de rendement soutenu, tel qu'il est inscrit dans la *Loi sur les forêts*, est axé sur le volume maximal de bois récoltable année après année, en fonction de la possibilité ligneuse par groupe d'essences. Au Québec, ce concept est strictement appliqué sur une base de **rendement soutenu à niveaux de récolte constants** sur l'horizon de planification de 150 ans.

Ainsi, la récolte est constante, par période de 5 ans et jusqu'à la période critique, laquelle correspond à la tranche de 5 ans où les volumes disponibles à la récolte sont les plus bas sur un horizon de prédiction de 150 ans. Ce concept ne fait pas de référence, ou si peu, à une gestion de superficies ou de territoire forestier.

Constat

Plusieurs des problèmes identifiés précédemment (volumes en perte non récoltés, écart entre les volumes de récolte simulés par le logiciel Sylva et le niveau de la possibilité ligneuse établie par celui-ci, variabilité de la possibilité en fonction de la réalisation ou non des coupes prévues, etc.) sont directement liés à l'application du concept de rendement soutenu par le logiciel Sylva. De plus, il s'avère que, dans les faits, la mécanique de simulation utilisée dans Sylva ne permet pas d'assurer un rendement soutenu des volumes de récolte sur le territoire pour la période visée de 150 ans.

La possibilité ligneuse établie par le logiciel Sylva est une valeur fixe dans le temps. Ainsi, le logiciel détermine un niveau de récolte maximal et constant qui devra être respecté jusqu'au moment où la période critique sera atteinte. Au cours de la simulation, Sylva stabilise dans le temps, pour chaque groupe de calcul, les volumes en essences prioritaires; cependant, il ne stabilise pas les volumes en essences secondaires. Cette mécanique fait en sorte que les récoltes simulées par le logiciel, tout au long du processus de calcul de la possibilité, excèdent les niveaux maximaux de coupe fixés à la fin de la simulation. Ceci crée un écart entre les volumes de récolte simulés par le logiciel et le volume maximal qui peut être récolté sur le terrain. Sylva considère, de plus, que toutes les interventions de récolte simulées seront effectivement réalisées et que tout le territoire simulé est accessible, ce qui est loin d'être le cas.

La résultante de ces hypothèses erronées est que le logiciel Sylva ne permet pas de s'assurer qu'il n'y aura aucune rupture de stock sur la période de 150 ans visée par l'estimation des volumes de bois disponibles. Ceci va donc à l'encontre du principe même du rendement soutenu à niveaux de récolte constants, lequel est pourtant à la base même de la législation actuelle.

Ainsi, lorsque le logiciel simule une récolte dans un peuplement, il remet aussitôt ce peuplement en production et simule le moment où il redeviendra disponible pour la coupe. Si le peuplement n'est en réalité pas traité, ce qui peut arriver pour toutes sortes de raisons, les prévisions de Sylva seront faussées et la possibilité calculée pourrait être surestimée.

Un autre exemple est lié à la gestion des **essences prioritaires** et **secondaires**. L'utilisateur du logiciel cherche, de manière itérative, à maximiser et équilibrer dans le temps les volumes en essences prioritaires disponibles pour la récolte. Sylva exécute ce travail sans égard aux volumes en essences secondaires. Ainsi, dans un groupe de calcul dont les essences prioritaires sont le sapin et l'épinette, mais qui contient aussi des essences feuillues considérées comme étant « secondaires », la simulation Sylva équilibrera, dans le temps, la récolte des résineux, mais pas celle des feuillus contenus dans le groupe de calcul. Dans un autre groupe de calcul pour le même territoire, où les feuillus sont prioritaires et les résineux secondaires, Sylva équilibrera dans le temps la récolte des feuillus, mais pas celle des résineux. Globalement, la récolte simulée par Sylva ne sera donc pas constante ni pour les résineux ni pour les feuillus. Un jeu de calcul de moyenne est effectué, *a posteriori*, pour déterminer les volumes de chaque essence feuillue et résineuse pouvant être attribués aux usines de transformation. Cette moyenne s'exerce entre les volumes issus des groupes de production prioritaire résineuse et ceux en provenance des groupes de production prioritaire feuillue. Cette mécanique qui affecte particulièrement les essences feuillues, souvent secondaires, fait en sorte que, sur l'horizon de 150 ans, il peut survenir des périodes de cinq ans où les volumes feuillus simulés par Sylva sont tantôt supérieurs, tantôt inférieurs à la possibilité ligneuse réelle, ainsi qu'aux attributions. Ceci représente en soi une brèche dans le principe du rendement soutenu et peut aussi avoir d'autres effets pervers :

- Des volumes de bois feuillus (p. ex. bouleau à papier et peuplier) devront, à l'occasion, être laissés debout ou couchés sur les parterres de coupe, car leur livraison à l'usine entraînerait un dépassement des attributions déterminées en fonction de la possibilité calculée par Sylva.

- ▶ La non-récolte de ces feuillus pourra créer des distorsions importantes par rapport aux estimations faites par Sylva, dans la mesure où le logiciel prend pour acquis que la récolte a bel et bien eu lieu. La simulation présume donc que ces arbres seront remplacés par de nouveaux qui seront disponibles pour la récolte à une période ultérieure, alors qu'en réalité, ils ne le seront pas. Comme on l'a vu précédemment, ceci peut se traduire par une surestimation de la possibilité ligneuse.
- ▶ Il arrive que les aménagistes décident de ne pas récolter certains peuplements mixtes à dominance résineuse, entre autres parce que la possibilité ligneuse établie pour les feuillus ne le permet pas. Ceci peut alors entraîner une distorsion dans les estimations de la possibilité à rendement soutenu. En effet, puisque l'outil Sylva présume que ces arbres résineux seront récoltés comme prévu, il les remplacera par de nouveaux qu'il rendra artificiellement disponibles à la récolte lors de la prochaine révolution, à une période où, en réalité, ils ne le seront pas. S'il s'agit en plus d'une période critique, ce phénomène peut causer une surestimation de la possibilité ligneuse réelle sur le territoire.

Lorsqu'on retrouve une distribution équilibrée des classes d'âge sur un territoire, ce qui correspond à une forêt dite « normale », l'approche visant à établir un volume constant de récolte dans le temps favorisera un rendement ligneux soutenu maximal et le maintien de la structure normale. Toutefois, lorsqu'on est en présence d'une forêt à forte proportion de vieux peuplements (structure anormale par surabondance), comme c'est le cas sur une vaste partie du territoire public québécois, l'application du rendement soutenu à la mécanique de Sylva entraîne une série de distorsions qui vont à l'encontre de ses propres fondements. Dans ces cas, il sera pertinent d'examiner la possibilité d'adopter une approche de **rendement soutenu à niveaux de récolte variables**.

Il est aussi important de considérer que le principe du rendement soutenu peut s'appliquer à d'autres volets de la gestion forestière. On pourrait parler de rendement soutenu en habitats fauniques, en qualité de bois, en revenus tirés de la forêt, en produits, etc. Dans sa forme actuelle, le logiciel Sylva ne permet pas d'aborder ces dimensions de façon adéquate. Pour le moment, la seule option possible est de soustraire des superficies pour lesquelles le logiciel fait le calcul de la possibilité. Cette façon de faire n'est pas optimale car toute réduction, par Sylva, de superficies productives d'un point de vue ligneux, se traduit par une réduction proportionnelle de la possibilité. Cette méthode est d'autant plus à éviter que ce logiciel ne tient compte d'aucune façon de la localisation de ces superficies ni de la localisation des volumes dont il simule la croissance et la récolte.

Outre le fait que le rendement soutenu, tel que défini présentement, ne tienne pas compte des dimensions autres que celles liées à la matière ligneuse, il faut mentionner en plus qu'il s'agit d'un rendement en volumes ligneux et non en valeur ligneuse. Il serait, en effet, plus utile de viser un rendement soutenu en valeur ligneuse (\$) dans un cadre de maintien de l'intégrité biophysique du territoire forestier.

Le fait de ne pas récolter la totalité de la possibilité ligneuse entraîne des effets pervers à l'intérieur d'un système qui présume qu'elle est récoltée en totalité. Cela peut conduire à des ruptures de stock ou à des obligations de réduire la possibilité ligneuse lors de calculs subséquents. Ce non-respect de la stratégie d'aménagement pourrait entraîner une surestimation de la possibilité ligneuse réelle et, par conséquent, une surexploitation des forêts. De plus, se targuer de ne pas attribuer ou de ne pas récolter toute la possibilité ligneuse, par précaution et dans un souci d'assurer un rendement soutenu, revient à avouer que l'on crée volontairement des distorsions dans le système, lesquelles peuvent mener à un non-respect du rendement soutenu ou provoquer des baisses de la possibilité. En contrepartie, argumenter que la situation peut, de toute façon, être régulièrement corrigée, étant donné que le calcul se fait aux cinq ans, n'est certainement pas très rassurant. En fait, les erreurs et les biais projetés sur des horizons de 150 ans ont des effets immédiats sur les niveaux de récolte. De plus, le système comporte des distorsions qui se répètent de cinq ans en cinq ans, même si le calcul est refait.

De façon générale, il semble qu'on associe, à tort, la notion de rendement soutenu à celle de récolte à niveaux constants. Ceci est une erreur car le rendement soutenu peut être nettement plus élevé lorsqu'on préconise des niveaux variables de coupe dans le temps, tout en maintenant une certaine stabilité dans le prélèvement, pour ne pas déstabiliser les structures industrielles. Les travaux d'Optivert ont montré que l'utilisation de récolte à niveaux variables dans le temps (par tranche de cinq ans), tout en spatialisant le calcul, permet d'augmenter le niveau de récolte à rendement soutenu de 10 %.

5.4.5 Le calcul de la possibilité ligneuse et les perturbations naturelles

À l'exception de la carie, les perturbations naturelles, telles les feux, les insectes, les maladies et les chablis sont peu prévisibles.

Il existe évidemment des méthodes qui tentent d'évaluer le moment où l'ampleur de la perturbation, notamment à la lueur de facteurs prédisposants. Dans le cas des feux, par exemple, il est possible d'associer une probabilité d'occurrence, selon le cycle de feu de même que selon la composition, l'âge et l'état de la forêt, lesquels déterminent le type de combustibles présents. Les conditions climatiques, la topographie, les dépôts de surface, l'abondance de lacs et la présence d'un réseau routier sont aussi des facteurs importants. Ces mêmes paramètres sont d'ailleurs tout aussi déterminants en ce qui a trait aux épidémies d'insectes et aux maladies.

Pour le moment, les seuls éléments liés aux perturbations naturelles pris en compte dans le calcul de la possibilité ligneuse sont la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les feux et la carie (forme de dégradation des bois d'origine pathologique).

Constat

Les calculs de la possibilité ligneuse sont effectués comme si les perturbations attribuables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette étaient tout à fait prévisibles, à une année près, en fonction de leur cycle de récurrence.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE), qui s'attaque au sapin baumier et aux épinettes (blanches, rouges et noires), entre en phase épidémique à tous les 25 à 30 ans sur le territoire québécois.³¹ Les impacts sont surtout concentrés sur les arbres matures et surannés³² car les plus jeunes possèdent des mécanismes chimiques de résistance efficaces pour se prémunir contre l'insecte (cf. section 4.10).³³

Au fil des ans, le Ministère a développé une approche visant à tenir compte de la tordeuse dans le calcul de la possibilité ligneuse.³⁴ Cette méthode comporte de sérieuses lacunes, notamment :

- ▶ Dans l'état actuel des connaissances, nul n'est en mesure de prédire le déclenchement de la prochaine infestation. Les dates de 2015 et 2035 retenues actuellement dans les calculs de la possibilité sont donc tout à fait arbitraires. D'ailleurs, des foyers épidémiques et des montées importantes de populations de TBE sont présentement en cours en Outaouais, en Mauricie, au Lac-Saint-Jean, en Estrie, dans la région des Bois-Francs et dans celle des Laurentides.
- ▶ Seuls l'âge, la densité et la composition en essences des peuplements sont actuellement considérés comme des facteurs de risque épidémique. Plusieurs autres éléments, et fort probablement des systèmes d'interactions complexes, peuvent pourtant être impliqués dans le déclenchement d'une épidémie de tordeuses.³⁵ Si les facteurs pris en compte étaient, de fait, les seuls responsables du déclenchement des infestations, la forêt résineuse du Québec - qui est dans une large proportion en structure « anormale par surabondance » - serait probablement aux prises, actuellement, avec une sérieuse épidémie.

- ▶ La méthodologie retenue par le Ministère se traduit par une prise en compte de la tordeuse, dans le logiciel Sylva, uniquement dans les peuplements à dominance feuillue, où la composition en sapin baumier et en épinette blanche est inférieure à 50 %. Ceci apparaît peu logique, car ce n'est pas dans ces peuplements que les impacts de cet insecte sont les plus importants. Il est aussi surprenant que l'épinette noire ne soit pas prise en considération, compte tenu que cette essence est reconnue pour subir des dommages par l'insecte.
- ▶ L'approche actuelle part du principe que tous les volumes ligneux des peuplements affectés seront récupérés ou protégés à l'aide d'épandage d'insecticide. Les événements entourant la dernière épidémie ont pourtant montré que ce n'est pas le cas : le niveau de récupération a été d'environ 15 %, la récupération massive a entraîné une chute des prix du bois et l'efficacité des arrosages a été d'environ 20 %. Le Ministère exige, pour sa part, que les blocs d'arrosage aient au minimum 150 hectares (ce qui empêche le traitement de massifs forestiers plus petits).
- ▶ L'impact d'une seule épidémie de TBE est pris en compte sur l'horizon de simulation de 150 ans. La littérature mentionne pourtant qu'au Québec, les épidémies surviennent à des intervalles de 25 à 30 ans, et ce, en alternance entre une épidémie à impacts majeurs et une épidémie à impacts plus faibles.³⁶
- ▶ Le Ministère considère que les activités sylvicoles vont permettre de réduire, de façon très significative, les pertes de matière ligneuse lors de la prochaine épidémie de TBE. Cette prémisse est probablement vraie en partie,³⁷ mais il faudrait néanmoins prévoir un certain niveau de pertes.

Globalement, la méthode actuelle de prise en compte de la tordeuse des bourgeons de l'épinette n'a probablement, dans de nombreux cas, aucun sinon très peu d'impact sur l'estimation de la possibilité ligneuse par le logiciel Sylva. Pourtant, des simulations d'impact de la TBE pour un territoire de 6 000 ha, doté d'un réseau routier très développé et dont la structure forestière est légèrement anormale par surabondance, ont fait ressortir, en fonction d'une épidémie hypothétique survenant en 2005, une baisse de 31 % de la possibilité ligneuse, cela après 15 ans d'application d'une stratégie visant à diminuer la vulnérabilité du territoire à cet insecte (voir rapport du Cerfo).

Constat

La tordeuse des bourgeons de l'épinette n'est pas le seul insecte qui risque d'affecter la possibilité ligneuse au Québec. D'autres insectes, indigènes et exotiques, nécessitent une vigilance accrue.

Bien que la tordeuse des bourgeons de l'épinette soit le seul insecte dont on tient actuellement compte dans le calcul de la possibilité ligneuse, il reste que plusieurs autres espèces indigènes du Québec ne devraient pas être négligées (cf. section 4.10). Ainsi, l'arpenteuse de la pruche a ravagé environ 1 million d'hectares de forêt résineuse sur la Côte-Nord, en 2001. La livrée des forêts, qui cause d'importants dommages au peuplier, le diprion de Swaine, qui s'attaque au pin gris, les longicornes, qui contrecarrent l'efficacité des programmes de récupération après feux, et les dendroctones ne sont que quelques-uns des multiples ravageurs entomologiques qui peuvent causer d'importantes pertes de matière ligneuse, parfois supérieures aux volumes de bois récoltés pour la transformation.

En plus des ravageurs indigènes, qui sont actuellement ignorés dans le calcul de la possibilité ligneuse, on ne peut faire abstraction du fait qu'une multitude d'insectes exotiques sont désormais présents en Amérique du Nord (sans compter ceux qui sont à nos portes) et que ces insectes provoquent une inquiétude grandissante autant chez nos voisins américains que dans les provinces limitrophes. Le longicorne asiatique, dont l'hôte préféré est l'érable, le longicorne brun de l'épinette (qui s'attaque à l'épinette rouge et l'épinette blanche) et l'agrile du frêne sont autant de menaces qui, il faut s'y attendre, frapperont les forêts du Québec.

Constat

Les calculs de la possibilité ligneuse sont effectués comme si les dommages attribuables au feu pouvaient être répartis en petites parcelles de territoire sur chaque année selon leur historique d'occurrence.

Depuis 1990, les feux ont ravagé en moyenne 85 000 hectares de forêts par année au Québec et, globalement, environ 15 % des volumes de bois affectés ont été récupérés.

Certaines mesures peuvent être appliquées pour réduire la vulnérabilité des peuplements au feu, telles que l'amélioration de l'accessibilité ou la diversification de la mosaïque forestière, notamment par l'augmentation de la proportion de feuillus et la répartition des coupes de façon à faire alterner les peuplements résineux et les peuplements mélangés à dominance feuillue. On peut aussi prioriser la récolte des peuplements sur sites secs dès l'apparition d'une épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette et la réduction de la proportion de peuplements surannés ou la constitution de coupe-feux³⁸. Il reste néanmoins beaucoup à apprendre sur l'effet combiné de toutes ces mesures sur les niveaux de risque et la durée du cycle des feux, d'où l'importance de poursuivre les recherches à ce chapitre.

Actuellement, la méthode utilisée dans le logiciel Sylva pour tenir compte de l'impact des feux sur la possibilité ligneuse est décrite par l'équation suivante :

$$\text{Impact} = \frac{100 - \% \text{ de récupération}}{\text{rapport (cycle de feu/cycle de coupe)}}$$

% de récupération : proportion des volumes de bois récupérés après feu.

cycle de feux : nombre moyen d'années entre chaque feu sur un même territoire.

cycle de coupe : correspond à l'âge d'exploitabilité (moment dans la vie d'un peuplement où celui-ci aura produit le plus grand volume de bois marchands dans un minimum de temps).

L'analyse révèle que l'évaluation du cycle de feu comporte des imprécisions, les résultats étant très variables selon les régions, les auteurs et la période considérée. En effet, il y aurait eu diminutions successives de la durée du cycle de feu si on compare les données couvrant la période avant 1850 à celles s'échelonnant de 1850 à 1940, puis à celles allant de 1940 à nos jours.³⁹

Des essais ont permis de mettre en évidence l'importance du cycle de feu retenu dans le calcul de la possibilité ligneuse sur un territoire donné³⁸. Dans cette étude, il a été décidé de simuler l'occurrence d'un feu d'importance survenant avant la période critique, sur l'horizon de simulation de 150 ans, et à différents endroits où la propagation était plausible sur la base d'une carte de susceptibilité. Six simulations de différents feux, dont l'importance relative était basée sur un « cycle de 400 ans », ont occasionné une baisse moyenne de 2,9 % de la possibilité ligneuse (sapin-épinettes-pin gris-mélèze [SEPM] et résineux à feuillus intolérants [RFI]). En comparaison, cinq autres simulations de feux, dont la superficie était basée sur un « cycle de 300 ans », ont provoqué une perte moyenne de 10,3 % de la possibilité en SEPM et RFI.

D'autre part, on peut s'interroger sur la pertinence de moduler l'impact du feu sur la possibilité ligneuse en fonction d'un pourcentage « moyen » de récupération des bois. On sait en effet que le potentiel de récupération de la matière ligneuse peut varier passablement selon l'intensité du feu, l'âge des peuplements brûlés et l'accessibilité de la zone incendiée. Actuellement, la méthode à laquelle le Ministère a recours répartit l'impact total d'un feu sur chaque période quinquennale de coupe. Cette approche mérite d'être remise en question si l'on considère que l'effet sur la possibilité ligneuse dépend beaucoup de l'ampleur de la superficie brûlée, du moment où survient le feu par rapport aux périodes critiques de la simulation par Sylva, et de la composition et de la structure (répartition des peuplements par classes d'âge) des secteurs brûlés.³⁸

Divers travaux portant sur les risques d'incendies forestiers, leurs effets et les mesures d'aménagement à privilégier ont récemment été réalisés au Canada. Ils ont notamment conduit au développement d'un modèle de prédiction des probabilités de feu. Son utilité pour les calculs de la possibilité ligneuse devrait faire l'objet de plus amples investigations (http://fire.cfs.nrcan.gc.ca/research/index_e.php).

Constat

Les méthodes de calcul de la possibilité ligneuse devront constamment être améliorées pour tenir compte des perturbations naturelles autres que les insectes et les feux.

La carie est le plus important agent pathologique forestier en termes d'impacts sur les pertes en matière ligneuse. Pour tenir compte de la carie, des ajustements à la possibilité sont effectués en tenant compte de la moyenne pondérée du taux de carie utilisé au mesurage (taux fixe ou étude de carie). En soi, l'idée est excellente. Cependant, les variations dans ces taux peuvent se répercuter sur celles déjà présentes dans l'estimation de la possibilité. Ainsi, l'application d'un taux contenant une imprécision sur une valeur contenant elle-même une imprécision génère une valeur encore plus imprécise. Une évaluation des variations propres à ces taux devrait être effectuée.

Certains autres types de perturbations sont partiellement pris en compte dans le calcul de la possibilité ligneuse. Par exemple, le chablis résultant de la sénescence des peuplements est considéré dans les courbes de croissance. Toutefois, d'autres perturbations, telles les chablis causés par les tempêtes, le verglas, le dépérissement, les maladies et l'effet de nombreux insectes ne sont pas intégrées au calcul. Il en va de même pour les changements climatiques qui, éventuellement, pourraient avoir des impacts majeurs non seulement sur la croissance et la composition des peuplements, mais aussi sur les autres perturbations naturelles. Il est clair, cependant, que l'état des connaissances portant sur les changements climatiques ne permet pas d'aspirer, à court terme, à inclure cette variable dans les estimations de la possibilité ligneuse.

Constat

Le principe qui veut que l'on réserve des volumes de matière ligneuse strictement par précaution, sans avoir l'assurance que ces volumes seront à l'abri des perturbations naturelles, devrait être remis en question.

Quelle que soit la méthode retenue pour tenir compte des perturbations naturelles dans le logiciel Sylva, il est important de mentionner que le principe qui consiste à réduire la possibilité ligneuse d'aujourd'hui en fonction d'événements à venir mérite d'être remis en question. En d'autres mots, il ne sert probablement pas à grand-chose de réduire la récolte de bois pour constituer des réserves qui pourraient servir dans l'avenir, en cas de feux, d'infestations ou de maladies. Paradoxalement, une telle approche risquerait même de créer des conditions de peuplements forestiers qui favoriseraient les perturbations. Les meilleures façons de limiter les dommages demeurent l'approche préventive, par le biais de stratégies sylvicoles appropriées, ainsi que la lutte directe par la protection des massifs affectés et la récupération des bois endommagés. C'est donc le principe même de la mise en réserve de stocks de matière ligneuse, alors que l'on n'a pas l'assurance que ces volumes seront à l'abri des perturbations naturelles, qui doit être revu.

5.4.6 Le calcul de la possibilité et la qualité de la matière ligneuse

En forêt résineuse, un indicateur important de qualité est le diamètre des tiges. À ce chapitre, plusieurs personnes s'inquiètent en constatant la diminution, dans le temps, des diamètres moyens des tiges acheminées aux usines de transformation (cf. Tableau 5.1).

Les arbres pouvant croître longtemps et atteindre de forts diamètres, comme l'épinette blanche et le pin blanc, sont récoltés beaucoup plus tôt au cours de leur cycle de vie que lors des premières exploitations forestières. Ceci étant dit, le moment de récolte est aujourd'hui basé sur l'âge d'exploitabilité (moment dans la vie d'un peuplement où il aura produit le plus grand volume de bois marchand par hectare dans un minimum de temps).

Le respect de ce concept vise à ce que, si la productivité du site est maintenue, les diamètres des tiges qui seront récoltées à l'avenir ne devraient pas être inférieurs aux diamètres des arbres récoltés actuellement dans les forêts issues des anciennes coupes forestières. Dans un tel contexte, la perspective de voir un jour une foresterie québécoise reposer sur la récolte de « cure-dent » est pour le moins illusoire.

Le fait que les interventions de récolte n'ont, à ce jour, pas été réparties sur le territoire, mais ont été plutôt concentrées dans certains secteurs, se traduit par un déplacement graduel des opérations forestières vers le nord, là où les arbres, comme c'est le cas de l'épinette noire, ont des dimensions plus faibles. Il est intéressant, dans ce contexte, de voir à quel point l'ingéniosité des utilisateurs de la matière ligneuse leur a permis d'exploiter des tiges de faible diamètre pour en faire des produits à haute valeur commerciale (ex. bois d'ingénierie, etc.). Il ne serait pas surprenant, si aucune dimension spatiale n'est intégrée aux systèmes de calcul de la possibilité ligneuse, de voir la dimension des tiges d'épinette noire récoltées continuer à diminuer légèrement. Cependant, cette diminution ne sera certainement pas majeure, car la limite de rentabilité des opérations forestières, qui se situe autour de 70 m³ de bois par hectare, et celle prise en compte par le logiciel Sylva, qui est de 50 m³ par hectare, ont déjà été atteintes dans plusieurs peuplements situés dans les secteurs nordiques d'exploitation.

Constat

Le module par « courbes de croissance », utilisé dans Sylva pour évaluer la possibilité ligneuse des peuplements sous aménagement équienné, ne tient pas compte de la qualité des tiges.

Tel que vu précédemment, la possibilité ligneuse est déterminée en fonction des volumes, sans intégration spatiale de leur répartition. Par conséquent, le logiciel Sylva n'intègre pas d'informations sur l'abondance locale des essences recherchées, pas plus que sur les dimensions des tiges présentes. Ainsi, la simulation pourrait être effectuée sur la base d'un important volume de résineux composé d'arbres de faibles dimensions, lesquels seraient dispersés dans une multitude de peuplements où l'essence en question est en réalité peu abondante, et ce, sans que l'aménagiste n'en soit informé. Ce n'est que lorsque celui-ci cherchera les volumes sur le terrain, lors de la planification des interventions sylvicoles, qu'il réalisera la difficulté de récolter les bois de façon rentable.

Dans certaines régions du Québec, comme le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie, ce phénomène se traduit déjà par une grande difficulté à trouver les volumes de bois alloués aux usines de transformation, compte tenu que ces volumes sont maintenant dispersés un peu partout sur le territoire dans des peuplements qui sont, du reste, souvent mélangés. Dans d'autres régions, dont le Lac-Saint-Jean, l'Abitibi-Témiscamingue et le Nord-du-Québec, les opérations se déplacent progressivement vers le nord, là où il reste encore des peuplements de qualité pouvant être récoltés de façon rentable. À plusieurs reprises, dans le cadre des consultations, la Commission a entendu les craintes de certains intervenants à l'effet qu'une fois la récolte arrivée aux portes de la limite nordique des attributions de matière ligneuse, les peuplements situés dans les zones plus au sud n'auront pas tous eu le temps de repousser pour offrir des volumes intéressants, tant par la qualité des tiges que par les coûts d'opérations.

La seule notion de qualité considérée dans la gestion des bois est liée à la tarification des bois livrés à l'usine. Tel qu'expliqué à la section 7.8, la valeur des bois sur pied récoltés en forêts publiques est établie par enquêtes à partir de transactions réalisées en forêts privées. Entre les enquêtes, les prix des produits finis (pâte, sciage et déroulage) sont utilisés à des fins d'indexation. Cette mécanique n'a cependant que des effets marginaux sur la prise en compte de la qualité de la ressource ligneuse.

Constat

Le système d'inventaire tient compte de certains aspects liés à la qualité des tiges qui mériteraient d'être incorporés au calcul de la possibilité ligneuse.

Le système actuel d'inventaire fournit des données sur certains aspects liés à la qualité des tiges récoltables, et ceci, avec une bonne précision.

En ce qui a trait au module par courbes de croissance, utilisé pour les forêts sous aménagement équienné, on se rappellera que la précision pour les volumes totaux par strate d'inventaire regroupée est de 63 % dans certaines unités de sondage. Or, les travaux du Cerfo ont démontré que le diamètre moyen des tiges ainsi que le diamètre moyen des 100 plus grosses tiges sont estimés par les inventaires ligneux avec une précision supérieure à 90 %. Dans le cas d'essences prédominantes, telles l'épinette noire, la précision sur le diamètre moyen par strate d'inventaire varie de 70 à 92 %. Par ailleurs, la précision par strate d'inventaire, sur le nombre de tiges à l'hectare de 10 cm et plus de diamètre, varie entre 70 et 76 %. Le diamètre d'une tige étant un indicateur majeur de valeur pour sa transformation, il serait donc envisageable d'intégrer cette composante dans les systèmes de calcul de la possibilité et d'attribution de la matière ligneuse.

Quant au module par taux de passage, utilisé dans le cas des forêts sous aménagement inéquienne, il prend en compte la qualité des tiges du point de vue des essences, de leur diamètre et de leur capacité à produire du bois d'œuvre (classes de qualité A,B,C,D). Le principe est excellent. Cependant, la précision des données d'inventaire ne cadre en aucune façon avec la finesse visée par le module par taux.

5.4.7 Le calcul de la possibilité ligneuse et la gestion multiressource

Il faut reconnaître d'emblée les limites du logiciel Sylva dans un contexte de gestion multiressource du territoire, dans la mesure où l'utilisateur de cet outil de simulation n'a d'autre choix que de travailler sur une base d'essais et erreurs. Il doit ainsi tâtonner de façon itérative, laborieuse et non-optimale, en ajoutant ou enlevant ici et là des superficies de récolte et des traitements sylvicoles, jusqu'à ce qu'il trouve la solution qui se rapproche le plus du compromis recherché entre la récolte des bois et les autres usages en vigueur sur le territoire. Le fait que le logiciel ne soit pas en mesure d'optimiser la récolte lorsqu'il y a réduction des superficies, faute de capacité de spatialisation, a une incidence majeure sur la possibilité ligneuse.

Tel que discuté à la section 5.4.2, cette situation milite en faveur de l'utilisation de modèles qui permettent de tenir compte des dimensions liées à l'accessibilité des peuplements, dans l'espace et dans le temps. Contrairement au logiciel Sylva, qui à lui seul n'est pas en mesure d'optimiser les solutions, les outils de programmation linéaire permettent d'en arriver à des solutions optimales à partir de contraintes et de paramètres fixés par les utilisateurs du milieu forestier. Dans une approche de gestion multiressource, ceci représenterait un atout majeur. Si l'outil de simulation n'arrive pas à trouver une solution qui tient compte des contraintes et des paramètres fixés, les utilisateurs peuvent alors discuter de compromis sur une base neutre et crédible. Si, par surcroît, on y ajoute les dimensions spatiales, cette méthode permet aussi de suivre visuellement les superficies récoltées dans l'espace et dans le temps, pavant la voie, en principe, à ce que tous les usagers sur le territoire puissent planifier leurs activités en toute connaissance de cause.

5.4.8 Recommandations

Compte tenu des éléments techniques énoncés précédemment, il ressort que plusieurs composantes du processus de calcul de la possibilité ligneuse nécessitent des améliorations; certaines requièrent par contre des changements majeurs qui doivent être apportés dans les meilleurs délais.

Parmi les principaux points qui doivent être améliorés, on retrouve les processus liés au choix des courbes de croissance, l'acuité des courbes de croissance après l'âge de sénescence, la détermination des strates de retour, de même que les niveaux et les méthodes de regroupement des strates. Ces aspects sont essentiellement liés aux intrants utilisés dans le calcul de la possibilité.

Parmi les aspects qui demandent des changements majeurs, il y a le module de croissance par taux de passage et les équations de conservation. Il faut également intégrer les dimensions spatiales dans le calcul de la possibilité, implanter des indicateurs de sensibilité et de propagation des erreurs, automatiser les itérations et limiter les choix arbitraires d'hypothèses. Il faut par ailleurs se doter d'autres outils qui permettrait d'éclairer les décisions concernant le niveau maximal de récolte et les attributions de volumes de bois sur chaque unité d'aménagement forestier.

Recommandation 5.6

Que le module de croissance par « taux de passage » utilisé pour le calcul de la possibilité ligneuse dans les peuplements feuillus sous aménagement inéquienne soit remplacé par un outil qui inclut les dimensions d'accessibilité de la matière ligneuse, dans l'espace et dans le temps, et qui est plus cohérent avec la précision obtenue à partir des données d'inventaire forestier.

Diverses avenues visant à assurer un calcul fiable de la possibilité ligneuse dans les forêts feuillues sous aménagement inéquienne pourraient être considérées. Deux d'entre elles sont présentées dans la note explicative⁴⁰ en fin de chapitre. Dans tous les cas, les dimensions liées à l'accessibilité dans l'espace et dans le temps devraient être intégrées au calcul, de même que des modules conviviaux de test de sensibilité et d'estimation des biais et des variations dans les résultats obtenus.

Pour le prochain cycle de plans d'aménagement forestier, et en attendant qu'une nouvelle méthodologie soit développée et mise à l'épreuve en temps pour le cycle subséquent, la Commission estime que les calculs de la possibilité ligneuse pour les forêts feuillues sous aménagement inéquienne pourraient être effectués de la façon suivante :

- ▶ Procéder à des regroupements plus intensifs des strates, à l'aide d'analyses statistiques de type *cluster*. Ceci permettrait d'avoir une meilleure précision des intrants et de limiter l'utilisation de placettes « recrutées » et « actualisées ». Le recours à ce type d'analyse a permis, dans certains cas, de doubler la précision apparente sur les estimations tout en générant trois fois moins de strates d'inventaire regroupées.
- ▶ Une analyse de la composition des placettes échantillons dans ces strates regroupées de façon plus intensive, qui seraient plus hétérogènes, mais pourvues d'un grand nombre de placettes, permettrait d'assigner des superficies à des groupes de calcul en fonction de l'abondance des essences dans les placettes (technique probabilistique). Par exemple, si 30 % des placettes de la strate regroupée montrent une présence d'érable à sucre supérieure à 80 %, la strate serait alors redécoupée et 30 % de la strate initiale formerait une nouvelle strate, plus petite, à laquelle serait assigné un groupe de calcul.
- ▶ Une formule d'intérêt composé pourrait alors être utilisée pour simuler la croissance des essences de chaque petite strate, en se basant sur les taux de croissance par essence fournis par le *Manuel d'aménagement forestier* ou qui devraient être définis, si non-présents dans le Manuel. La simulation ne devrait pas dépasser un horizon d'une cinquantaine d'années. Comme le note le rapport du comité scientifique, au chapitre 10, un horizon de 100 à 150 ans devrait être considéré pour la cible écologique, 10 à 50 ans pour les allocations industrielles et environ 10 ans pour la planification des opérations.

Recommandation 5.7

Que la méthodologie permettant d'estimer la possibilité ligneuse pour les peuplements sous aménagement équienne soit améliorée, principalement par l'élimination du recours aux équations de conservation dans le module par « courbes de croissance » et par l'intégration des dimensions spatiales (accessibilité dans le temps et l'espace).

Cette recommandation comprend plusieurs dimensions techniques déjà couvertes dans la section 5.4.1. Deux aspects méritent cependant d'être soulignés plus particulièrement, soit l'élimination du recours aux équations de conservation et l'intégration des dimensions spatiales. Les deux sont complémentaires.

Le principe des équations de conservation, qui amène le logiciel Sylva à estimer la possibilité en fonction de niveaux « constants » de récolte dans le temps, doit être remplacé par d'autres méthodes qui permettent des niveaux de récolte « variables » sur l'horizon de simulation.

Par le biais de ses travaux, la Commission a démontré la faisabilité d'avoir recours à une méthode d'optimisation qui permet de tenir compte des dimensions spatiales et de régulariser dans le temps les volumes disponibles à la récolte par groupe d'essence plutôt que par groupe de calcul. Cette démonstration a été faite à l'aide d'un logiciel (*Patchwork*) qui est en mesure, dès aujourd'hui, d'importer les bases de données utilisées par Sylva. L'intégration des dimensions spatiales est donc réalisable assez rapidement puisqu'il a été possible, en quelques mois, de développer un module de transfert des fichiers Sylva et d'obtenir des résultats à l'échelle d'une unité d'aménagement forestier. Il est donc raisonnable de penser que l'exercice pourra se faire, pour chaque unité d'aménagement forestier, à l'intérieur d'un délai raisonnable, dans la mesure évidemment où la cartographie écoforestière, le réseau routier actuel et les fichiers de Sylva sont correctement arrimés.

La spatialisation du calcul de la possibilité ligneuse aura le grand avantage de pouvoir optimiser la récolte en fonction des usages multiples du territoire forestier. De plus, elle permettra de faire des calculs crédibles d'optimisation de la rentabilité des opérations liées à l'industrie de la forêt (ressources ligneuses et non-ligneuses).

Si la méthode métaheuristique spatiale par coupe variable dans le temps (*Patchwork* – ressources ligneuses et non-ligneuses) ou celle de programmation linéaire avec module spatial (*Woodstock*) n'est pas retenue, il faudrait au minimum intégrer dans le système Sylva un module spatial pour s'assurer que les volumes simulés dans Sylva puissent être réellement récoltés sur le terrain et que les utilisations multiples de la forêt puissent être gérées de façon adéquate.

Cette dernière approche serait aussi plausible, la Commission l'ayant utilisé pour une unité d'aménagement forestier de 1,2 millions d'hectares. Il s'agit d'un compromis, qui maintient l'utilisation des équations de conservation et qui aurait aussi le désavantage de faire chuter la possibilité ligneuse de 10 à 40 %, selon la dimension minimale des secteurs de récolte choisie par l'aménagiste. Si cette option est retenue, il faudrait appliquer les deux sous-recommandations suivantes.

- 1 ► Effectuer les simulations du module par courbes de croissance dans Sylva au niveau des séries d'aménagement plutôt que des groupes de calcul; le recours à ces derniers a des effets secondaires importants, notamment en ce qui a trait à l'atteinte du rendement soutenu.
- 2 ► Attribuer les volumes en fonction des volumes de récolte réellement simulés par Sylva. Ceci implique que les attributions deviennent des valeurs qui varient dans un cadre prévisible, de cinq ans en cinq ans, de façon à ce que le rendement soutenu puisse être respecté.

La Commission ne saurait trop insister sur le fait que la possibilité forestière doit être ventilée de façon à ce que même les attributions tiennent compte des dimensions spatiales, et ce, pour éviter la concentration des coupes dans les peuplements plus facilement accessibles et bien stockés. Il est intéressant de noter qu'à Terre-Neuve-et-Labrador, la possibilité ligneuse est divisée en deux types d'attribution, soit les attributions dans des zones facilement accessibles et celles dans des zones moins accessibles et moins bien fournies en volume.

Recommandation 5.8

Que les calculs de la possibilité ligneuse soient assortis d'outils de vérification et qu'ils soient mieux encadrés par le jugement professionnel de l'aménagiste forestier de façon à être plus cohérents avec la réalité biophysique de chaque unité d'aménagement forestier.

Cette recommandation comprend plusieurs dimensions techniques couvertes dans les sections 5.3 à 5.4.7. La Commission aimerait cependant insister sur les aspects suivants :

- ▶ L'évaluation de la possibilité ligneuse doit être axée sur une notion de volumes disponibles, de qualité et d'accessibilité, et ce, en fonction des principaux paramètres écologiques (critères de productivité biophysique) et de la traficabilité (capacité technologique à récolter les volumes dans des endroits pas toujours faciles d'accès – p. ex. pentes de 30 à 40 %).
- ▶ La planification de la récolte dans les peuplements sous aménagement équienne devrait se faire dans un souci d'amener les territoires forestiers productifs et accessibles vers un état de répartition relativement équilibrée entre les peuplements jeunes, intermédiaires, mûrs et surannés, et ce, en s'assurant de conserver d'importants massifs de forêts anciennes. Il est important de réaliser qu'il s'agit là d'un objectif d'aménagement forestier qui est rarement atteint compte tenu des perturbations naturelles, mais vers lequel il est souhaitable de tendre pour favoriser la durabilité non seulement de l'utilisation de la matière ligneuse mais aussi de la disponibilité des habitats fauniques et le maintien de la biodiversité. Dans certains pays, comme la Suède, cette orientation est directement inscrite dans la législation forestière.⁴¹
- ▶ Quel que soit le module utilisé, il faut comparer les résultats du calcul de la possibilité ligneuse aux données fournies par l'inventaire décennal.
- ▶ La détermination de la possibilité ligneuse à l'aide du logiciel Sylva devrait être contre-vérifiée à l'aide d'indicateurs donnant eux aussi un ordre de grandeur de cette possibilité, de façon à s'assurer que le résultat ne dévie pas au point d'être irréaliste. Parmi les indicateurs et méthodes de contrôle possibles, on retrouve l'estimation des rendements prévus, l'analyse sommaire par contenance⁴² et l'analyse sommaire faite à partir de méthodes par contenu, telle la méthode de *Hanzlik*.
- ▶ Il faudrait effectuer des contrôles sur le terrain pour bonifier la classification cartographique des pourcentages de pente dans l'intervalle de 30 à 40 %.
- ▶ Il faudrait faire en sorte que le *Manuel d'aménagement forestier* et les *Instructions relatives* qui en découlent prennent progressivement la forme d'un guide sylvicole (cf. Section 6.4), compte tenu de la discordance actuelle entre la qualité des données de l'inventaire au niveau des strates regroupées et les exigences du Manuel et des *Instructions relatives*. Un certain balisage devra cependant être maintenu dans les cas où il sera difficile de quantifier l'atteinte des objectifs visés par les interventions sur un horizon de temps raisonnable (p. ex. 5 à 10 ans). En ce qui concerne la remise en production en forêt résineuse, il est relativement facile de s'assurer que l'objectif est atteint cinq ans après l'intervention et de remédier à la situation si l'objectif n'est pas atteint.
- ▶ Pour contrer la sous-estimation de la croissance des peuplements associée au choix des familles de courbes, il faudrait que ce choix s'effectue à partir de strates (peuplements) jeunes (sans historique de perturbations), de façon à générer des familles de courbes qui serviront de référence pour les strates similaires, mais plus âgées (avec historique de perturbations).
- ▶ Pour atténuer la problématique liée à la caractérisation des strates de retour, il faudrait, lors de la stratification des superficies en voie de régénération, utiliser des paramètres de strates issues de peuplements plus vieux (p. ex. 50 ans) évoluant dans des types écologiques similaires et issus de perturbations similaires (récolte). L'implantation d'une politique de plein boisement rattachée à des objectifs de production ligneuse pourrait aussi limiter les problèmes de prédiction sur les retours après coupe (cf. Section 6.5).

La Commission insiste sur le fait que les résultats des calculs de la possibilité ligneuse produits par un logiciel, qu'il s'agisse de Sylva ou d'un autre, ne sont pas absolus et ne doivent, en aucun temps, se substituer au jugement et au savoir-faire de l'aménagiste forestier. Une forêt de qualité, qui répond aux besoins économiques, sociaux et environnementaux, n'est ni le fruit du hasard, ni la création d'un outil informatique. Il est important de faire une grande distinction entre l'outil informatique, qui peut aider à orienter les actions, et le jugement des professionnels qui doivent décider des interventions d'aménagement requises pour atteindre les objectifs d'aménagement forestier durable.

5.5 Comparaison entre la possibilité ligneuse obtenue à l'aide de l'outil de simulation Sylva et celle obtenue avec une méthode dite par contenu (formule de *Hanzlik*)

La Commission a jugé utile de comparer certains résultats du calcul de la possibilité ligneuse, obtenus lors des précédents calculs (1998) à l'aide de Sylva, sur lesquels sont basés les niveaux actuels de récolte, avec ceux qui auraient été obtenus en utilisant une méthode « par contenu », soit celle de *Hanzlik*.⁴³ Cette formule a été utilisée en Colombie-Britannique entre la fin des années 1940 et la fin des années 1970.⁴⁴ Ce type de méthode met l'accent sur le contrôle des volumes en déterminant les niveaux qui devraient être récoltés à chaque période pour stabiliser la récolte dans un futur rapproché. Le principe de base qui guide la formule de *Hanzlik* est d'utiliser une méthode qui compare l'inventaire et l'accroissement d'une forêt, au capital et à l'intérêt d'un placement bancaire.

La formule de *Hanzlik* est essentiellement conçue pour calculer un niveau de récolte dans une forêt de structure « anormale par surabondance »; la méthode utilise, en effet, une composante qui prélève à chaque année une fraction du volume mûr et suranné de même qu'une composante qui prélève l'accroissement annuel de la forêt. Ainsi, le volume total mûr et suranné du territoire doit être suffisamment élevé pour absorber la partie non marchande de la croissance annuelle prévue à la récolte. La formulation de base de cette formule est :

$$\text{Coupe annuelle (m}^3\text{/an)} = (V_m / R) + I$$

où

V_m = volume total des peuplements mûrs et surannés en m^3

(c'est-à-dire, peuplements dont l'âge dépasse l'âge d'exploitabilité)

R = révolution (âge d'exploitabilité) choisie pour les peuplements futurs (années)

I = accroissement annuel moyen (AAM) des jeunes peuplements mesurés à l'âge d'exploitabilité ($m^3\text{/an}$)

La Commission a décidé d'utiliser la méthode de *Hanzlik* parce que les caractéristiques intrinsèques à cette approche permettait de vérifier certaines préoccupations soulevées à l'égard du modèle Sylva et de plusieurs de ses variables les plus sensibles. En principe, on pourrait s'attendre à ce que la méthode *Hanzlik* donne des estimations de possibilité ligneuse nettement supérieures à Sylva, pour les raisons suivantes :

- ▶ Contrairement à Sylva, *Hanzlik* ne fait aucune réduction de superficie pour tenir compte des bandes de protection riveraines, des chemins forestiers, des zones de débardage et des aspects liés au *Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État* (RNI). Ces éléments ont été inclus dans le dernier calcul de la possibilité ligneuse en 1998. Dans l'aire commune 092-01, par exemple, les résultats de Sylva tiennent compte d'une réduction systématique de 15 % sur les volumes pour inclure ces aspects.

- ▶ *Hanzlik* considère qu'une fois récolté, le peuplement revient à son état initial d'avant coupe à l'intérieur d'une période correspondant à son âge d'exploitabilité (problématique des retours de strates). Ainsi, *Hanzlik* présume qu'il n'y a aucun délai de régénération et aucun stade transitoire de peuplement mixte avant le retour d'un peuplement résineux. Cette prémisse est évidemment fausse, ce qui devrait entraîner une très forte différence entre *Hanzlik* et *Sylva*. Comme l'a montré le comité scientifique sur le calcul de la possibilité ligneuse parrainé par le Ministère, la variable « retour de strates » constitue, dans *Sylva*, une source très importante de variabilité des résultats.
- ▶ Contrairement à *Sylva*, qui prend en considération les réductions graduelles de volumes dans les peuplements durant la sénescence, *Hanzlik* prend pour acquis que la sénescence n'existe pas. Ceci devrait aussi entraîner une très forte différence entre *Hanzlik* et *Sylva*.
- ▶ Dans ses estimations, *Hanzlik* liquide tous les volumes mûrs et surannés à l'intérieur d'une révolution.
- ▶ *Hanzlik* prend en compte les traitements sylvicoles effectués par le passé, mais pas ceux qui pourraient être effectués dans le futur et, ainsi, créer aujourd'hui une possibilité d'augmentation de la récolte (effet de possibilité).
- ▶ Tout comme *Sylva* cependant, *Hanzlik* considère que, sur une même unité d'aménagement, l'ensemble du territoire productif et accessible (pentes moins de 40 %) et tous les volumes ligneux sont effectivement accessibles pour la récolte.

Pour effectuer les simulations par groupe de calcul, comme c'est le cas lors des simulations avec *Sylva*, la Commission a extrait, des bases de données servant d'intrants au calcul, les paramètres suivants : superficies, essences, groupes d'âge, âge d'exploitabilité, âge actuel, volume actuel et volumes à l'âge d'exploitabilité.

Pour les fins de la comparaison, les analyses ont été concentrées sur trois régions situées en zone boréale et possédant une structure forestière nettement caractéristique de la structure « anormale par surabondance » (dominance de peuplements mûrs et surannés). Ainsi, elles ont porté sur les régions de la Côte-Nord, du Saguenay – Lac-Saint-Jean et de l'Abitibi-Témiscamingue.

Bien que l'objectif était initialement d'effectuer ces analyses sur l'ensemble des aires communes de chacune des régions précédemment mentionnées, plusieurs aires communes ont dû être exclues lors de l'étape de la validation des intrants. Cette situation est principalement attribuable aux difficultés rencontrées lors de l'extraction des données des fichiers *Sylva*. Le fait de récupérer ces fichiers avec une version ultérieure (1.9.1) à celle utilisée pour réaliser les simulations originales (1.5) a fait en sorte que certaines données sont devenues inutilisables (hypothèses forestières manquantes, aucune unité de simulation, etc.). Certains groupes de calcul ont d'ailleurs dû être simulés à nouveau. De plus, les répertoires de simulation n'étaient pas structurés de façon homogène puisque les plans généraux d'aménagement forestier (PGAF) avaient été produits par différentes personnes. Certains PGAF comportaient plusieurs territoires et, dans quelques cas, il était même impossible d'identifier lesquels de ces territoires avaient effectivement été utilisés pour la confection des PGAF de 1998. Bref, ces difficultés ont clairement mis en lumière la lourdeur du système de structuration des données utilisées pour évaluer la possibilité ligneuse et, surtout, les risques élevés d'erreur si on ne traite pas ces données avec une extrême prudence.

Quoi qu'il en soit, la Commission a été en mesure d'extraire et de valider assez de données, provenant de suffisamment d'aires communes dans chacune des régions, pour faire une comparaison valable.

Constat

Les résultats des comparaisons entre les méthodes *Sylva* et *Hanzlik* confirment plusieurs inquiétudes sur les résultats générés par le modèle *Sylva*. Malgré les nombreuses sources de surestimation inhérentes à la méthode *Hanzlik*, celle-ci donne des résultats très proches de ceux obtenus par *Sylva*.

Tableau 5.6 Différences entre la possibilité ligneuse calculée avec la méthode *Hanzlik* et celle calculée avec la méthode *Sylva*, dans trois régions du Québec en zone boréale

	▼ ABITIBI- TÉMISCAMINGUE	▼ SAGUENAY – LAC-SAINT-JEAN	▼ CÔTE-NORD
Nombre d'aires communes considérées / nombre total d'aires communes dans la région	13/23	8/21	3/10
Superficie (ha) ^a	2 539 758	5 792 108	1 630 917
Écart Hanzlik-Sylva	+10 %	-6 %	+3 %
Résineux	+9 %	-7 %	+2 %
Feuillus intolérants ^b	+20 %	+7 %	+27 %

a. Superficie correspondant aux aires communes retenues pour les calculs

b. Peuplier faux-tremble et bouleau blanc

Malgré le fait que la méthode *Hanzlik* soit reconnue pour surestimer fortement la possibilité ligneuse, en raison des caractéristiques énoncées précédemment, il est surprenant que cette méthode ait généré si peu d'écart avec les estimations de volumes effectuées par *Sylva*. Pour la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean, *Hanzlik* en est même arrivé à des volumes inférieurs à ceux générés par *Sylva*.

Ce phénomène s'explique, du moins en partie, par le grand optimisme de *Sylva* par rapport aux rendements prévus des traitements sylvicoles futurs. Il est toutefois important de mentionner que, pour les prochains calculs de la possibilité ligneuse, déjà en cours d'élaboration, le Ministère a émis des directives visant à modérer cet optimisme, notamment dans le cas de l'éclaircie précommerciale.

La similitude des résultats obtenus avec la méthode *Sylva* et la méthode de *Hanzlik*, qui possède plusieurs sources de surestimation, confirme les inquiétudes sur la fiabilité des résultats générés par *Sylva*. Il faut cependant reconnaître que la méthode de *Hanzlik* a été appliquée à partir d'intrants utilisés aussi par *Sylva* et que ceux-ci possèdent d'importants niveaux d'imprécision. Compte tenu de la faible fiabilité des résultats obtenus à partir de l'un ou l'autre de ces deux outils de prédiction, on doit en conclure qu'ils sont peu utiles pour déterminer si les forêts du Québec sont surexploitées. La seule chose que l'on puisse traduire des résultats obtenus par la méthode de *Hanzlik*, c'est que le logiciel *Sylva* aurait tendance à surestimer la possibilité ligneuse. Cette situation est inquiétante, car elle implique que l'outil de prédiction des volumes présentement utilisé au Québec ne permet pas d'avoir une vision juste de leur évolution dans le futur.

5.6 Le prochain cycle de planification sur des bases plus solides

Le régime forestier québécois fait actuellement reposer la durabilité sociale, environnementale et économique de la gestion des bois sur un système d'inventaire ligneux et un outil de prédiction de la possibilité ligneuse – *Sylva*. Tel que démontré précédemment, ces deux composantes nécessitent des ajustements, pour l'un, des changements majeurs, pour l'autre.

Le **système d'inventaire** est un volet-clef de la gestion forestière puisqu'il sert de réservoir de données pour les prédictions des volumes ligneux dont on a besoin pour planifier le futur (Section 5.3). Plusieurs des améliorations requises sont directement liées aux bases fondamentales de la théorie sur l'échantillonnage. De plus, le Québec accuse un retard quant à l'utilisation des nouvelles technologies liées à la connaissance du territoire et disponibles sur le marché. Bon nombre de ces technologies sont déjà utilisées en Ontario et aux États-Unis.

La section 5.4 fait par ailleurs état de plusieurs failles dans le système de simulation entourant le logiciel Sylva. Celui-ci comporte d'importantes sources d'imprécision et il génère des résultats très variables et, dans certains cas, peu fiables. En résumé, la composante utilisée pour la prédiction des volumes de feuillus durs, le « module par taux de passage », ne permet pas de générer des résultats crédibles et devrait être instamment remplacée. Quant à la composante utilisée pour la prédiction des volumes résineux et feuillus intolérants, le « module par courbes de croissance », celui-ci nécessite plusieurs améliorations de façon à réduire les niveaux de variabilité engendrés dans les résultats. Globalement, le système en place ne permet pas d'aller chercher le plein potentiel ligneux des territoires où la récolte est permise, ni d'avoir une image juste de l'évolution des volumes dans le futur.

Recommandation 5.9

Que les prochains plans généraux d'aménagement forestier intégré (PAFI) soient basés sur des estimations de la possibilité ligneuse qui tiennent compte des dimensions spatiales entourant les volumes de bois disponibles, incluant le principe de « rendement soutenu à niveaux de récolte variables » pour les peuplements sous aménagement équienné.

La Commission en vient à la conclusion que pour chacune des unités d'aménagement forestier au Québec, les prochains plans généraux d'aménagement forestier (PAFI) - cf. Section 7.4] doivent être élaborés à partir d'attributions de volumes de bois qui sont elles-mêmes basées sur des estimations de la possibilité ligneuse faites à l'aide d'outils de simulation qui intègrent les dimensions spatiales.

De plus, la Commission recommande l'adoption du principe de rendement soutenu à niveaux de récolte variables. L'actuel principe de rendement soutenu à niveaux de récolte constants entraîne une sous-exploitation du potentiel de productivité ligneuse en maintenant un grand nombre de peuplements dans un état de productivité négative d'un point de vue ligneux (sénescence). La remise en production de ces peuplements, par la récolte, permettrait non seulement de réduire les pertes dues à la sénescence, mais aussi d'accroître le niveau de récolte à rendement soutenu. Ceci permettrait d'assurer une meilleure utilisation de la ressource ligneuse, tout en assurant sa durabilité. De plus, cette approche constituerait un outil pertinent de gestion des perturbations naturelles. En effet, diverses interventions sylvicoles de type préventif dans les peuplements surannés permettraient de réduire la vulnérabilité de ces massifs forestiers à plusieurs types de perturbation naturelle.

5.7 Quantité, qualité et accessibilité des bois : une nouvelle vision s'impose

La Commission rappelle que plusieurs s'interrogent sur la capacité de nos forêts de fournir suffisamment de bois de qualité aux usines de transformation, à des coûts concurrentiels, sans compromettre la qualité de l'environnement, la régénération des peuplements récoltés et l'accueil d'une foule d'autres usages en milieu forestier. Ces questionnements s'expriment en termes de volumes de bois, de qualité des tiges récoltées et d'accessibilité dans le temps et dans l'espace aux volumes ligneux.

▼ Les volumes de bois

Globalement, entre 1998 et 2002, la récolte ligneuse totale au Québec a représenté 74 % de la possibilité calculée alors que la récolte dans le groupe d'essence sapin-épinettes-pin gris-mélèze (SEPM) a représenté 87 % de la possibilité ligneuse calculée. Toutefois, le peu de fiabilité notée dans les résultats obtenus par Sylva ne permet pas de conclure que le simple fait de récolter en-deça des niveaux de possibilité calculés constitue une indication que la forêt du Québec n'est pas surexploitée.

Tel que mentionné à la section 5.2, la Commission s'est penchée sur l'état de la situation de la composante ligneuse des forêts québécoises et sur l'évolution des volumes de bois entre les deux derniers inventaires ligneux décennaux (comparaison des périodes 1978 - 1989 et 1992 - 2002).

Sur la période correspondant à l'intervalle entre la fin des deux derniers inventaires, la quantité des volumes de bois marchands sur pied, en territoire forestier productif et accessible, a diminué de 4,1 %, passant de 2,81 à 2,69 milliards de m³. En terme de volume marchand ligneux total, toutes essences confondues, la Commission en vient à la conclusion que, globalement, l'ensemble des facteurs de prélèvement de la matière ligneuse, soit les perturbations naturelles, la sénescence (mortalité naturelle) et les coupes, ont entamé le capital ligneux des forêts du Québec.

Cette conclusion signifie que les façons d'aménager les forêts québécoises n'ont pas généré les rendements ligneux nécessaires pour soutenir les niveaux de récolte actuellement autorisés. Cette situation est attribuable à un ensemble de facteurs, dont la concentration des opérations de récolte dans les meilleurs peuplements et les succès mitigés en termes de rendements ligneux obtenus des travaux sylvicoles, de protection contre les perturbations naturelles et de gestion de la sénescence.

La baisse globale de 4,1 % des volumes marchands de bois dans les forêts du Québec traduit, par ailleurs, une situation passablement différente pour les résineux et les feuillus. Dans les faits, le volume total des essences résineuses a diminué de 7 % alors que celui des essences feuillues a augmenté de 2,5 %. Tel qu'indiqué aux tableaux 5.4 et 5.5, des différences marquées se manifestent aussi au sein même des groupes résineux et feuillus, de même qu'entre les régions.

Particulièrement en ce qui a trait aux essences résineuses, la réalité soulève des inquiétudes dans la mesure où, pour les principales essences résineuses commerciales, soit le groupe SEPM, les volumes marchands de bois sur pied ont chuté de 8,3 % entre les deux derniers inventaires. Cette baisse indique que l'ensemble des facteurs de prélèvement de la ressource ligneuse - tant la récolte que les pertes par perturbations naturelles et sénescence (mortalité naturelle) - ont dépassé l'intérêt ligneux que le capital forestier québécois a été en mesure de produire. Cette baisse est particulièrement marquée dans le cas de certaines essences, comme l'épinette noire, qui a subi en moyenne une baisse de 11 %, pouvant même atteindre 18 % dans certaines régions.

Il est important de souligner l'impact de la sénescence sur ces baisses de volume, de façon à les interpréter dans leur juste contexte. En effet, une importante partie de la forêt résineuse québécoise, notamment dans les régions où les plus fortes baisses en essences SEPM ont été notées, est actuellement dominée par des peuplements mûrs et surannés (structure anormale par surabondance). Compte tenu de l'âge avancé des peuplements, ce type de forêt a tendance, au fil du temps, à perdre du volume marchand par sénescence (mortalité naturelle). On y retrouve généralement un volume marchand supérieur à une forêt ayant une répartition plus équilibrée en peuplements jeunes, intermédiaires, mûrs et surannés, mais les rendements ligneux sont beaucoup plus faibles. Lorsque liée à un meilleur équilibre entre les classes d'âge des divers peuplements, une certaine baisse des volumes marchands dans une forêt résineuse peut traduire un effet souhaitable pour avoir une forêt plus productive en termes de rendements ligneux. Ainsi, le rajeunissement d'une certaine proportion des peuplements surannés, dans une optique de mieux équilibrer les proportions entre peuplement jeunes, intermédiaires, mûrs et surannés, entraîne nécessairement une certaine baisse de volume marchand, mais augmente la productivité de la forêt autant d'un point de vue ligneux que d'un point de vue des habitats fauniques.

Il reste que, présentement, les forêts québécoises ne sont pas aménagées de façon adéquate pour permettre de satisfaire les besoins de tous les facteurs de prélèvement de la matière ligneuse (récolte, sénescence et perturbations naturelles). Les rendements actuels, exprimés par le ratio entre la possibilité ligneuse et la superficie, sont évalués en moyenne à 1,40 m³/ha/an pour les forêts publiques et à 1,81 m³/ha/an pour la forêt privée (cf. Section 2.5). Malgré que ces chiffres soient approximatifs, compte tenu des faiblesses des outils de prédiction utilisés, il faut reconnaître qu'ils contrastent de façon majeure avec les rendements ligneux potentiels évalués à 3,60 m³/ha/an pour les forêts publiques et à 4,32 m³/ha/an pour les forêts privées (Tableau 5.2).

La Commission est d'avis qu'une stratégie d'intervention sylvicole visant un meilleur équilibre entre les peuplements jeunes, intermédiaire, mûrs et surannés des forêts productives et accessibles sous aménagement équienne, une intensification de la sylviculture dans des sites ciblés pour leur fort potentiel de gain ligneux, (Section 6.7), une politique de plein boisement adaptée au contexte biophysique des écosystèmes forestiers (cf. Section 6.5) et une attention particulière à l'aménagement des forêts feuillues (Section 6.6) permettrait d'accroître significativement les rendements ligneux, et ce, dans toutes les régions du Québec. Il est important de souligner que cette approche doit se faire dans un souci de conservation de l'environnement, notamment par la mise en place d'aires protégées et la conservation de forêts anciennes et de leurs attributs. Une telle orientation sylvicole permettrait non seulement de soutenir les niveaux de récolte de matière ligneuse mais aussi de les augmenter de façon à assurer la durabilité des écosystèmes forestiers tout en veillant à la durabilité de l'industrie des produits du bois.

▼ La qualité des tiges récoltées

En termes de qualité des volumes de matière ligneuse aptes à la récolte, la Commission en vient à la conclusion que la situation est préoccupante, tant en forêts feuillues que résineuses.

Pour les essences résineuses du groupe SEPM, qui représentent actuellement la composante ligneuse la plus importante d'un point de vue économique, les volumes marchands ont non seulement régressé de 8,3 % entre les deux derniers inventaires décennaux, mais la qualité des tiges récoltées a considérablement diminué au cours des 25 dernières années. Parmi les facteurs liés à la qualité, on peut mentionner le diamètre, le volume par tige, la proportion de carie et le défilement des tiges.

Le volume moyen des tiges résineuses à la récolte est, par exemple, passé de 170 dm³/tige en 1977 à 110 dm³/tige en 2002. Ceci représente une chute de près de 35 %, avec des variantes selon les régions. Quant au diamètre moyen des tiges récoltées, il s'agit d'une baisse de 3 cm en 25 ans (DHP moyen de 19 cm en 1977 et de 16 cm en 2002). Cette situation peut s'expliquer en partie par le fait qu'en moyenne, la récolte se fait de plus en plus au nord et que, historiquement, elle a été prioritairement concentrée dans les meilleurs peuplements.

Dans son étude récente sur l'évolution des volumes marchands⁴⁵, le Ministère a noté une diminution des volumes moyens à l'hectare dans plusieurs sous-domaines bioclimatiques de même qu'une réduction des peuplements résineux de densité élevée. Une étude de l'Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent⁴⁶ vient corroborer cette observation dans la mesure où elle montre que les volumes récoltés à l'hectare dans cette région ont été nettement supérieurs aux volumes à l'hectare estimés par le logiciel Sylva comme étant disponibles à la récolte, ceci étant une autre indication d'une concentration des récoltes dans les meilleurs peuplements.

Ces éléments amènent donc la Commission à conclure qu'en ce qui a trait à la forêt résineuse du Québec, on assiste, dans plusieurs régions, à une forme d'écémage, peuplement par peuplement. Non seulement les volumes marchands sont-ils en baisse, de façon plus ou moins importante selon les essences, mais ils sont aussi de moins en moins accessibles sur le plan économique, en raison de l'éloignement par rapport aux usines, de leur accès difficile ou de leur baisse de qualité.

En ce qui a trait aux forêts feuillues, dont les volumes marchands répertoriés par les inventaires sont en progression, la situation au chapitre de la qualité est déplorable. La réalité est qu'environ 38 % des billes de sciage de bois dur doivent être importées pour soutenir l'industrie québécoise de sciage et de déroulage des feuillus. Il s'agit d'une augmentation de 322 % depuis 1990 (cf. Section 6.6).

Depuis 1998, les volumes de bois feuillus de haute qualité, récoltés au Québec à des fins de déroulage et de sciage de qualité (type +), ont diminué respectivement de 38 et de 46 %. Parallèlement, les volumes de bois feuillus de faible qualité utilisés pour la pâte ont augmenté de 55 %. Il s'agit d'un contexte très préoccupant qui nécessite des actions significatives dans les plus brefs délais. Globalement, les volumes feuillus ont légèrement augmenté (2,5 %) au Québec lors des dernières années, mais leur qualité a chuté de façon majeure.

▼ L'accessibilité des volumes ligneux

Plusieurs intervenants ont souligné qu'il devient de plus en plus difficile de trouver au Québec des bois feuillus et des peuplements résineux de qualité.

En ce qui concerne les forêts feuillues, la problématique de l'accessibilité s'exprime d'abord et avant tout en termes économiques, dans la mesure où il n'y a tout simplement plus de volumes de bois de qualité pour approvisionner les usines de transformation. Cet état de fait a été abondamment expliqué dans le présent chapitre ainsi que dans la section 6.6.

En ce qui a trait à l'accessibilité des peuplements, c'est en forêt résineuse que la problématique est la plus prononcée. Dans plusieurs régions, les volumes disponibles à la récolte sont de plus en plus éparpillés sur le territoire, les peuplements les mieux stockés, les moins éloignés et les plus faciles à atteindre ayant été coupés en priorité. Dans certains cas, ces volumes sont disséminés dans des peuplements mixtes qui sont plus difficilement exploitables de façon rentable. Dans d'autres cas, la récolte amène une transformation des peuplements résineux en peuplements mixtes ou feuillus.

Dans un document déposé en octobre 2004 à la Commission, intitulé *Rapport préliminaire sur l'évolution de la forêt du Québec méridional des années 1970 aux années 1990*, le Ministère a documenté une baisse des couverts à dominance résineuse au profit des peuplements à composition mixte feuillue-résineuse entre les deux derniers inventaires. La ressource est donc présente sur le territoire, mais son accessibilité à des coûts intéressants est compromise puisqu'il en coûte de plus en plus cher pour l'atteindre.

En conclusion de l'analyse de la quantité, de la qualité et de l'accessibilité de la matière ligneuse, la Commission est d'avis qu'on assiste à une surexploitation ligneuse des forêts du Québec, compte tenu de toutes les autres pressions auxquelles ces forêts sont assujetties, et que cette surexploitation est directement associée au fait que les aménagements sylvicoles, pour une large part, ne sont pas faits de façon adéquate.

Recommandation 5.10

Que, dès les prochains plans généraux d'aménagement forestier intégré (PAFI), d'importants changements soient apportés dans les stratégies sylvicoles, tant en forêts résineuses que feuillues, afin d'assurer un développement durable du patrimoine forestier québécois.

Tel qu'indiqué à la recommandation 5.9, la Commission en vient à la conclusion que le Québec doit prendre le recul nécessaire pour se doter d'outils permettant non seulement d'intégrer la dimension d'accessibilité des peuplements dans le temps et dans l'espace, dans ses calculs de la possibilité ligneuse, mais aussi d'optimiser les prédictions. Des modalités devront donc être prévues pour que ces améliorations soient apportées dans les prochains plans d'aménagement forestier, et ce, dans toutes les régions du Québec (cf. Chapitre 9).

Devant les constats du présent chapitre, et d'autres qui suivent au chapitre 6, notamment en ce qui a trait aux forêts feuillues, la Commission recommande également un virage majeur en ce qui a trait aux stratégies sylvicoles. Pour les forêts feuillues, il est impératif de produire des forêts de qualité autant d'un point de vue ligneux que d'un point de vue des autres utilisations de ces forêts (Section 6.6). Dans un contexte de gestion multiressource du territoire, on ne peut plus se permettre de gérer le milieu forestier sans optimiser où et quand les volumes ligneux pourront être récoltés. Cette problématique est particulièrement aiguë en forêts mixtes et résineuses et la Commission estime que la spatialisation des activités sylvicoles devra être au cœur des changements apportés. Cette approche est essentielle dans toute perspective d'harmonisation des besoins entre les divers utilisateurs des ressources forestières et dans toute perspective d'aménagement durable des forêts.

Notes explicatives du chapitre 5

- 1 Au fil des ans, la difficulté de trouver des essences de qualité dans les forêts du Québec a fait l'objet de nombreux documents historiques, incluant des allocutions et des rapports issus des entreprises privées, du Gouvernement et du milieu académique. Voici quelques énoncés plus récents :

En 1951, Thomas Maher, ingénieur forestier, défendait l'indépendance économique des Canadiens français face aux Américains : « *Mais c'est au Canada, et particulièrement dans le Québec que sévit encore plus âprement cette guerre que l'homme ne cesse de livrer à la forêt... Pour faire échec et mât à cette puissance formidable, on a fait appel jusqu'ici à des moyens de fortune, à une opinion publique à demie éveillée, à une contre offensive à l'eau de rose au moyen de loi inadéquates, inopérantes et sans sanction, à une faible armée de techniciens dont l'action est continuellement entravée par des obstacles de toutes sortes semés sur leur passage par ce régime économique qui ne veut souffrir ni retard, ni entrave, ni contrainte... vers quelle catastrophe s'achemine le pays et combien d'années il faudra avant que d'immenses étendues de la patrie ne soient transformées en terre de Cain.* »

En 1978, Marcel Lortie soulignait : « *Je sais qu'autrefois on faisait une coupe et ça se régénérait.... Il m'apparaît aujourd'hui que dans certaines régions, on n'est pas capable d'assurer même une régénération.* » (Émission La Semaine Verte, Société Radio-Canada, 1978).

En 1984, le ministère de l'Énergie et des Ressources estimait, dans un rapport sur la problématique d'ensemble de la politique forestière québécoise, que la quantité d'essences nobles comme le bouleau jaune, le pin blanc etc. propre au sciage de qualité et au déroulage serait épuisée aux environs de 1994 et 2004.

- 2 Sources :
- ▶ Ministère des Ressources naturelles. 2004. Direction de l'assistance technique.
 - ▶ Ministère des Terres et Forêts. 1977. Service de la technologie et des normes de l'exploitation.
- 3 Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources. 1984. *La politique forestière du Québec : problématique d'ensemble*. Document de consultation. 143 p.
- 4 Source : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. 2003. *Dictionnaire de la foresterie*. 744 p.
- 5 Le choix d'un régime sylvicole approprié à la structure des peuplements en forêt boréale québécoise continue de faire l'objet de nombreuses discussions au sein de la communauté scientifique et des aménagistes, comme en témoigne une lettre adressée à la Commission en octobre 2004 par un groupe de chercheurs. Source : Arsenault, D., L. Bélanger, Y. Bergeron, P. Drapeau, B. Harvey, S. Gauthier, L. Imbeau, A. Leduc, C. Messier, A. Munson, J.C. Ruel, et L. Sirois. 2004. *L'aménagement équienné sur la majeure partie du territoire, une approche incompatible au maintien de la diversité biologique de la forêt boréale*. 4 p.
- 6 Selon le *Dictionnaire de la foresterie*, un **gourmand** est une pousse très vigoureuse qui se développe au détriment de la plante.
- 7 Source : Ministère des Ressources naturelles. 1999. Document de support au projet d'investissement dans les forêts québécoises pour augmenter la production. Document interne. Service de l'aménagement forestier. 41 p.
- 8 Lorsque le Ministère a fourni à la Commission les données relatives à l'analyse des volumes par région sans l'utilisation des placettes échantillons « recrutées » et « actualisées », celui-ci a jugé bon de souligner que les résultats qui seraient obtenus par la méthode de *Hanslik* pourraient différer quelque peu des résultats officiels du Ministère. Ceci n'est pas étonnant puisque, comme les travaux du Cerfo l'ont démontré (cf. Section 5.3), l'utilisation de placettes « recrutées » et « actualisées » a tendance à biaiser les estimations des volumes. Bien que les résultats officiels du troisième inventaire sur le volume total marchand des forêts du Québec soit de 4 % supérieur aux résultats obtenus par la Commission, les tendances observées dans l'évolution des volumes dans le temps sont similaires à celles documentées par le Ministère dans son rapport intitulé *Rapport préliminaire sur l'évolution de la forêt du Québec méridional des années 1970 aux années 1990* (Document préparé pour l'usage de la Commission). Quoi qu'il en soit, la Commission a jugé utile de rapporter dans cette note explicative le résumé des mises en garde faites par le Ministère lors de la transmission des données.

« *Les différences entre les volumes de ces compilations et ceux des compilations officielles (ou par tessellation) peuvent provenir de plusieurs sources soit : un échantillonnage différent (pas les mêmes placettes), une mauvaise répartition des placettes, un regroupement différent de strates ou un tarif de cubage différent. Ces sources de variation sont trop nombreuses pour que ces résultats soient utilisés pour évaluer les effets du recrutement et de l'actualisation. De plus, les précisions calculées ne peuvent être interprétées comme étant un indice valable de la précision réelle compte tenu qu'elles n'intègrent pas l'estimation des biais causés par le problème de représentativité des échantillons. Elles représentent plutôt un indice de la variabilité des échantillons retenus (placettes établies) pour l'exercice.* »

À la lecture de la section 5.3, portant sur le système d'inventaire présentement utilisé au Québec, le lecteur sera en mesure d'évaluer les diverses facettes de cet inventaire de même que les problèmes associés à l'utilisation des placettes « recrutées » et « actualisées » et ceux reliés aux aspects de randomisation des placettes échantillons dans les unités de sondage du Ministère.

- 9 Source : Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. *Rapport préliminaire sur l'évolution de la forêt du Québec méridional des années 1970 aux années 1990*. Document préparé pour l'usage de la Commission.
- 10 Une **strate d'inventaire regroupée** est constituée d'un ensemble de strates cartographiques que l'on réunit pour simplifier la procédure de sondage (échantillonnage en forêt) du territoire. De façon générale, chaque unité de sondage utilisée pour l'inventaire ligneux sera constituée de plusieurs strates regroupées. Les normes de regroupement des peuplements en strates cartographiques, et des strates cartographiques en strates regroupées, sont décrites dans les documents sur les normes d'inventaire du Ministère.
- 11 Une **placette échantillon** correspond à une petite superficie de forêt, de 400 m² et généralement circulaire, sur laquelle diverses données sont récoltées. Ces données sont ensuite extrapolées pour caractériser une superficie plus grande. Au Québec, les plans de sondage de l'inventaire forestier comportent divers types de placettes échantillons :
 - ▶ Les **points d'observation écologique** : 28 000 points, établis sur le territoire forestier public du Québec entre 1986 et 2000, qui caractérisent les paramètres du milieu physique et de la végétation servant à la classification écologique. Contrairement aux autres types de placettes échantillons, aucune mesure dendrométrique (diamètre, hauteur et volume des arbres) n'est effectuée dans ce type de placette échantillon.
 - ▶ Les **placettes permanentes** : ces placettes de 400 m², au nombre de 12 000 environ, sont mesurées à chaque cycle d'inventaire, donc à tous les dix ans. Elles font l'objet de mesures détaillées telles que l'essence, l'âge, la hauteur et le diamètre des arbres, le nombre de tiges, le drainage, etc.). Viennent se greffer, à l'intérieur de ces placettes, des microplacettes de 40 m², utilisées pour évaluer les paramètres des tiges dont le diamètre est de 9 cm et moins (gaules). Ces données sont utilisées entre autres pour ajuster le module de croissance par taux (module utilisé pour aménagement inéquienne de la forêt naturelle) et valider le module de croissance par courbes (pour aménagement équienne).
 - ▶ Les **placettes temporaires** : au nombre d'environ 90 000 à chaque cycle d'inventaire, ces placettes ne sont mesurées qu'une seule fois. Ces mesures servent à calibrer le module de croissance par courbes (pour aménagement équienne de la forêt naturelle) et constituent la majeure partie de l'information terrain utilisée dans le calcul de la possibilité forestière. On y note l'essence de chaque arbre marchand (diamètre de plus de 9 cm) et on mesure son diamètre (à hauteur de poitrine). On mesure aussi la hauteur et on détermine l'âge de quelques arbres échantillons, dominants et codominants, des essences qui définissent le type de peuplement.
 - ▶ Les **placettes actualisées** : ces placettes sont des placettes temporaires d'un inventaire précédant dont on a simulé l'évolution des caractéristiques à l'aide d'équations développées à partir des placettes permanentes (système Modelisa). Le principe de base est que, à moins de perturbation majeure ou d'accroissement très rapide, la majeure partie du volume sur pied à une année donnée est composée de volume qui a été mesuré lors de l'inventaire précédent.
 - ▶ Les **placettes recrutées** : ces placettes sont des placettes présentes en dehors de l'unité de sondage et souvent en dehors de la région. Elles sont sélectionnées en fonction de leur appellation cartographique comme si elles avaient été mesurées dans l'unité de sondage visée.

- 12 Une **strate cartographique** est un ensemble de peuplements, identifiés individuellement sur les cartes écoforestières, ayant des caractéristiques semblables (type de couvert, essences, classe de densité-hauteur, âge et type écologique).

Par exemple, on pourrait retrouver la strate cartographique suivante : M PEBBS C2 50 CT48 B EL78 1A 30 MS22. Il s'agit d'un peuplement mélangé (M), dont 50 % de la partie feuillue est constituée de peuplier faux-tremble (PE) et de bouleau blanc (BB) représentant plus de 25 % des essences feuillues. Pour la partie résineuse, qui occupe entre 25 et 49 % du couvert, le sapin baumier (S) est l'essence dominante. La densité (C) du peuplement se situe entre 40 et 60 % alors que la classe de hauteur (2) représente des arbres entre 17 et 22 mètres. La classe d'âge (50) correspond à un peuplement dont l'âge est entre 40 et 60 ans. Ce peuplement origine d'une coupe totale (CT) réalisée en 1948. La classe de pente du terrain (B) est faible, soit entre 3 et 8 %.

Ce peuplement a été affecté par une épidémie d'insectes légère (EL - 25 % et moins de mortalité) en 1978. Le peuplement croît sur un till profond (1A) et présente un drainage modéré (30). Le type écologique (MS22) est une sapinière à bouleau blanc sur un dépôt de surface de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (bon drainage).

- 13 Source : Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Juin 2004. *Analyse des corrélations entre les appellations cartographiques et l'identification des variables terrestres dans les placettes dans le cadre du 3^e programme d'inventaire*. Direction de l'inventaire forestier. Document déposé à la Commission. 22 p.

- 14 Les allocations « hot deck » et « cold deck » permettent d'assigner une valeur à des données manquantes.
- 15 Une analyse statistique de type Cluster est une analyse multivariée qui a pour fonction de regrouper des éléments semblables (e.g. strate cartographique) en un groupe (e.g. strate d'inventaire regroupée) qui possède des attributs comparables.
- 16 La **période critique** est la tranche de 5 ans, sur l'horizon de 150 ans, pour laquelle le module par courbe de Sylva prévoit le plus faible volume de bois récoltables sur un territoire donné (ce seuil inférieur vient dicter le niveau de récolte annuelle pour toutes les autres périodes qui la précèdent).
- 17 Le **diamètre à hauteur de poitrine** ou DHP est mesuré à 1,3 mètre du sol.
- 18 Un tableau de **tarifs de cubage** indique, pour une essence donnée, le volume marchand de bois (m³/tige) que contient une tige de cette essence par classe de diamètre (DHP).
- 19 La **surface terrière** est la superficie occupée par les troncs des arbres de taille marchande (dont le DHP est supérieur à 9 cm) à 1,3 m du sol.
- 20 Source : Bédard S., Meunier S., Blais L., et Majzen Z. 2004. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1998*. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Rapport interne 483. 50 p.
- 21 Le recours aux **équations de conservation** dans l'utilisation du module par courbes de croissance est une approche unique au Québec. Elle implique une approche itérative de résolution d'un système d'équations visant à obtenir la possibilité maximum « P », c'est-à-dire, le plus haut niveau de coupe (m³/année) qui n'occasionne pas de rupture de stock pour un scénario. La forme générale de l'équation pour chaque période pourrait être résumée ainsi :

$$[\text{Volume disponible pour la récolte (m}^3\text{)}] - [\text{Volume récolté (m}^3\text{)}] = \text{Volume résiduel (m}^3\text{)}$$

Plus précisément, pour un horizon de planification de « n » périodes, le système s'énonce ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Période 1 :} & \quad [V_1] - [T_1 \times P] = R_1 \\ \text{Période 2 :} & \quad [(R_1 + AR_1) + V_2] - [T_2 \times P] = R_2 \\ \text{Période 3 :} & \quad [(R_2 + AR_2) + V_3] - [T_3 \times P] = R_3 \\ \text{Période « n » :} & \quad [(R_{n-1} + AR_{n-1}) + V_n] - [T_n \times P] = R_n \end{aligned}$$

Où

V_i = le volume (m³) des strates arrivant à l'âge d'exploitabilité durant la période « i »

T_i = le nombre d'années dans la période « i »

P_i = le niveau de coupe en m³/an durant la période « i »

R_i = le volume résiduel (m³), c'est-à-dire, sur pied, à la fin de la période « i » après avoir récolté un volume « P » pendant « T » années

AR_i = l'accroissement du volume résiduel (m³) entre les périodes « i » et « i + 1 »

Par approximations successives (essais et erreurs), des valeurs de « P » sont testées. La plus haute valeur de « P » qui n'occasionne pas de rupture de stock indique la PAC pour l'ensemble des strates dans la forêt suivant un régime d'aménagement équienné. Plus précisément, c'est la valeur de « P » pour laquelle un des « R_i » est égal à 0 (tout le volume disponible dans la période « i » est effectivement récolté, donnant un volume résiduel de 0 m³ à la fin de la période), sans que le « R_i » d'aucune autre période ne soit négatif (volume visé pour la récolte dépasse le volume disponible, donc rupture de stock).

- 22 Source : Mailly, D. 2004. *Détermination de l'âge approximatif d'entrée en sénescence des principaux peuplements forestiers à l'aide des placettes échantillons temporaires : suivi d'une analyse comparative*. Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Document interne. 44 p.
- 23 Source : Pothier, D., et F. Savard. 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Ministère des Ressources naturelles. 89 p.
- 24 Source : Boudoux, M., 1978. *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec*. Ministère des Terres et Forêts, COGEF. 101 p.
- 25 Source : Carpentier, J.P., Lacombe, L., et P. Tardif. 1989. *Modélisation de la croissance et du rendement des peuplements de peuplier faux-tremble au Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Direction de la recherche et du développement. Mémoire 97. 228 p.
- 26 Source : Carpentier, J.P., Lacombe, L., et P. Tardif. 1990. *Modélisation de la croissance et du rendement des peuplements de bouleau à papier au Québec*. Ministère des Forêts. Direction de la recherche et du développement. 32 p.

- 27 Source : Carpentier, J.P., Lacombe, L., et P. Tardif. 1993. *Modélisation de la croissance et du rendement des pessières noires au Québec*. Ministère des Ressources naturelles. Direction de la recherche. Mémoire 108. 148 p.
- 28 Le communiqué de presse diffusé à la fin mars 2004 par le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, intitulé *Le ministre Corbeil annonce le report du dépôt des calculs de possibilité forestière*, est disponible dans la section Centre de presse du site Internet du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs à l'adresse suivante : <http://www.mrmfp.gouv.qc.ca/forets/index.jsp>
- 29 Les *Instructions relatives* qui accompagnent le *Manuel d'aménagement forestier* fournissent le cadre détaillé que doivent utiliser les aménagistes sur forêts publiques pour la mise en œuvre de la stratégie d'aménagement retenue dans le calcul de la possibilité ligneuse sur chaque unité d'aménagement forestier. Ces instructions encadrent notamment la réalisation des traitements sylvicoles autorisés au plan annuel d'intervention forestière. De plus, elles déterminent l'admissibilité des travaux réalisés en paiement des droits de coupe (redevances).
- 30 Dans le cadre des travaux de la Commission, deux méthodes ont été examinées pour introduire les dimensions spatiales dans le calcul de la possibilité ligneuse. Il s'agit d'une méthode de programmation linéaire (*Woodstock*) et d'une méthode métaheuristique (*Patchwork*).
- La *méthode de programmation linéaire Woodstock*, de plus en plus utilisée en Amérique du Nord dans la gestion des forêts, permet de trouver des solutions optimales pour une problématique donnée. Le principe consiste à décrire la situation à l'aide d'équations qui représentent l'objectif à atteindre (maximisation du niveau de récolte, valeur actualisée nette, etc.) et d'équations qui représentent les contraintes à respecter (volume minimum récoltable à préserver, budget maximal de voirie, budget maximal pour les traitements sylvicoles, aires protégées, îlots de vieillissement, territoires de piégeage, etc.). Les équations possèdent des variables de décision qui sont généralement décrites en termes d'hectares à traiter dans une strate (à récolter par exemple). Le modèle donnera la solution optimale qui maximisera l'objectif à atteindre.
- La *méthode métaheuristique Patchwork* produit pour sa part une solution « adéquate » à un problème présentant de multiples contraintes et paramètres. La solution trouvée par le modèle n'est donc pas nécessairement optimale, mais elle respecte les objectifs et les contraintes. Contrairement à Sylva, dont l'objectif n'est relié qu'au volume et qui fonctionne par itérations manuelles qui prennent beaucoup de temps, les méthodes métaheuristicques du type *Patchwork* et *Stanley* (module spatial de *Woodstock*) peuvent faire des centaines de milliers d'itérations de façon automatique et trouver rapidement une solution qui respecte divers objectifs et diverses contraintes (rendement soutenu, budget maximal de voirie, budget maximal pour les traitements sylvicoles, aires protégées, îlots de vieillissement, aires de trappe, etc.).
- 31 Source : Morin, H. et al. 2004. *Relationships between Spruce budworm outbreaks and forest dynamics in eastern North America*. (sous presse)
- 32 Source : Blais, J.R. 1964. *History of spruce budworm outbreak in the past two centuries in southern Quebec and northern Maine*. Canadian Forest Service. Bi-Monthly Progress Report 20-5.
- 33 Source : Bauce, É., M. Crépin and N. Carisey. 1994. *Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees*. *Oecologia*. 97:499-507.
- 34 La *tordeuse des bourgeons de l'épinette* est pour le moment le seul insecte dont l'impact est pris en compte dans le calcul de la possibilité ligneuse sur le territoire forestier du Québec. Au fil des ans, le Ministère a développé l'approche suivante :
- ▶ Un indice de vulnérabilité basé sur trois paramètres (âge, densité, composition) reconnus pour être positivement corrélés avec les impacts de l'insecte (McLean, 1980) a été calculé pour chaque unité d'aménagement forestier, en pondérant les valeurs obtenues par strate d'inventaire selon leurs superficies.
 - ▶ Un deuxième indice basé sur la proportion de peuplements vulnérables à l'insecte a aussi été calculé.
 - ▶ À l'aide des données du troisième inventaire décennal, les valeurs de ces indices ont été projetées dans le temps (pour 2015 et 2035), et ce, sur la base des changements observés (évolution des peuplements et récoltes) entre les deux inventaires précédents. L'année 2015 a été fixée arbitrairement et celle de 2035, vingt ans plus tard, a été retenue compte tenu que les inventaires ligneux utilisent des classes d'âge de 20 ans.
 - ▶ Un seuil correspondant à la combinaison 15-20 des deux indices utilisés a été fixé comme borne inférieure indiquant des conditions propices à l'apparition d'une épidémie de tordeuse (proportion élevée de peuplements vulnérables dans une unité d'aménagement forestier).

- ▶ C'est ainsi que l'année 2015 a été retenue comme date de déclenchement de la prochaine épidémie pour les territoires ayant à cette date des valeurs supérieures à 15 et à 20 pour les deux indices respectivement. Pour les autres unités d'aménagement forestier, l'année 2035 a été retenue comme date de début de la prochaine infestation.
- ▶ Les unités d'aménagement forestier ont par la suite été qualifiées de « très vulnérables », « moyennement vulnérables » ou « peu vulnérables » selon leurs volumes estimés de sapin baumier et d'épinette blanche durant les trois périodes quinquennales suivant les dates prévues de déclenchement d'épidémie. Il est surprenant que l'épinette noire n'ait pas été prise en compte compte tenu que cette essence est reconnue pour subir des dommages par l'insecte (Hix, D.M., Barnes V.B., Lynch, A.M. et J.A. Witter, 1987. *Relationships between spruce budworm damage and site factors in spruce-fir dominated ecosystems of western upper Michigan*. Forest Ecology and Management. Vol 21 : 129-140). Les unités d'aménagement sont donc classées très, moyennement ou peu vulnérables selon que le volume présent en sapin baumier et en épinette blanche est 15, plus de 8 ou moins de 8 fois supérieur à la possibilité ligneuse pour le groupe de production prioritaire sapin-épinettes-pin gris-mélèze (SEPM).
- ▶ Par la suite, des corrections sur l'évolution des volumes sont apportées en appliquant dans Sylva de nouvelles courbes de croissance construites pour tenir compte de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ces corrections sont cependant faites uniquement pour les unités d'aménagement forestier classées comme étant « très vulnérables », et uniquement dans les peuplements à dominance feuillue où la composition en sapin et épinette blanche est inférieure à 50 %. Cette décision est basée sur le fait qu'aucune intervention par insecticide et aucun programme de récupération ne sont prévus dans ce type de peuplement, ce qui augmente la probabilité de pertes de matière ligneuse.

35 Sources :

- ▶ Blais, J.R. 1952. *The relationship of spruce budworm (Choristoneura fumiferana Clem.) to the flowering condition of balsam fir (Abies balsamea (L.) Mill.)* Can. J. Zool. 30:1-19
- ▶ Greenbank, D.O. 1956. *The role of climate and dispersal in the initiation of outbreaks of the spruce budworm in New-Brunswick* : Climate Can. J. Zool. 34: 453-476.
- ▶ Morris, R.F. 1963. *The dynamics of epidemic spruce budworm populations*. Mem. Entomol. Soc. Can. 31: 332 p.
- ▶ Royama, T. 1984. *Population dynamics of the spruce budworm Choristoneura fumiferana*. Ecol. Monographs 54: 429-462.
- ▶ Bauce, É., et N. Carisey 1996. *Larval feeding behaviour affects the impact of staminate flower production on the suitability of balsam fir trees to spruce budworm*. Oecologia 105:126-131.
- ▶ Régnière, J. et T.J. Lysyk 1995. *Population dynamics of the spruce budworm, choristoneura fumiferana*, p. 95-105 dans Forest insect pest in Canada, J.A. Armstrong et WGH Ives Editeur. Nat. Res. Can., CFS Publication 732 p.
- ▶ Régnière, J. 2001. Le processus épidémique chez la tordeuse, et les stratégies de lutte actuelles et futures. p. 17-26. Dans Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'apprivoiser dans nos stratégies d'aménagement. Actes de colloque. Shawinigan 27-29 sept 2001. 129 p.

36 Source : Morin, H. et al. 2004. *Relationships between Spruce budworm outbreaks and forest dynamics in eastern North America*. (sous presse)

37 Sources :

- ▶ Bauce, É. 1996. *One and two year impact of commercial thinning on spruce budworm feeding ecology and host tree foliage production and chemistry*. The Forestry Chronicle 72 :393-398
- ▶ Bauce, É., N. Carisey & A. Dupont, 2001. *Implications des relations alimentaires plante-insecte dans la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette*. p. 27-32. Dans Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'apprivoiser dans nos stratégies d'aménagement. Actes de colloque. Shawinigan 27-29 sept 2001. ISBN 0-662-86034-9. 129 p
- ▶ Gagnon, R. et M. Chabot, 1988. *Un système d'évaluation de la vulnérabilité des peuplements à la tordeuse des bourgeons de l'épinette : ses fondements, son implantation et son utilisation en aménagement forestier*. L'Aubelle, No. 67 : 7-14

38 Source : Boulfroy, E., S. Côté, F. Pelletier, G. Lessard, S. Meunier, O. Ruest et A. Patry, 2003. *Considération sur les pertes potentielles de bois occasionnées par le passage récurrent des feux de forêts*. CERFO. 75 p.

39 Source : Bergeron, Y., S. Gauthier, V. Kafka, P. Lefort et D. Lesieur. 2001. *Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest : consequences for sustainable forestry*. Can. J. For. Res 31:1-8.

40 Diverses avenues permettraient d'assurer un calcul fiable de la possibilité ligneuse dans les forêts feuillues à structure inéquienne. Une première avenue pourrait être d'utiliser des méthodes de programmation linéaire, qui cherchent des solutions optimales en fonction d'objectifs spécifiques et de contraintes. Une deuxième approche pourrait faire appel à des méthodes métaheuristiques, lesquelles cherchent davantage une solution qui vise à respecter un ou plusieurs objectifs fixés (pas nécessairement une solution optimale) en fonction d'un certain nombre de contraintes.

Dans tous les cas, ces avenues s'appuient sur le principe général du module par courbes de croissance de Sylva, auquel les modules spatiaux, économiques, de sensibilité et d'erreur sont cependant ajoutés (ce qui n'est pas le cas actuellement). Il est important de souligner que le principe de construction de courbes de croissance qui alimentent le logiciel Sylva est un principe adéquat pour effectuer les calculs de possibilité ligneuse.

Les lignes directrices d'un système de simulation de la croissance des peuplements forestiers à structure inéquienne pourraient être construites en fonction d'algorithmes de croissance, par essence ou groupe d'essences, en fonction de la qualité des sites (hauteur de peuplements, types écologiques). Le nombre d'algorithmes reposerait essentiellement sur le nombre de placettes échantillons disponibles et sur les différentielles de croissance obtenues selon les différentes qualités de station.

À partir d'analyses statistiques des différentes placettes échantillons, il faudrait définir les regroupements initiaux statistiquement valables des différentes strates d'inventaire (séries d'aménagement primaires). Il est important de préciser que l'élaboration des différentes courbes de croissances doit être effectuée en fonction des paramètres et des mécanismes de calcul de la plate-forme de simulation qui sera utilisée ou développée. Ainsi, l'orientation proposée consiste en une identification des principaux paramètres de base pouvant être mesurés afin de répondre aux objectifs spécifiques.

- 1 ► Réaliser une analyse statistique des placettes temporaires et permanentes (analyse en fonction principalement de la croissance en diamètre, de la hauteur et ce, par essence ou groupe d'essences et en fonction de la qualité des différentes stations). Plus le nombre de placettes est restreint, plus on doit s'assurer de regrouper les strates d'inventaire afin d'atteindre une précision statistique recherchée.
- 2 ► En fonction de l'analyse statistique réalisée, effectuer l'assignation des strates d'inventaire regroupées ayant des caractéristiques de croissance similaires et d'aménagement à une même série d'aménagement.
- 3 ► Pour chaque série d'aménagement, associer les algorithmes qui généreront, pour chaque strate d'inventaire regroupée et ce à chacune des périodes, les familles de courbes nécessaires à la compilation finale telle que définie aux objectifs spécifiques, soit le volume récoltable par essence ou groupe d'essences, et ce, par produit. Pour chaque unité de simulation, il devrait être possible d'assigner quatre catégories de courbes distinctes d'évolution, par essence ou groupe d'essences, en fonction de la surface terrière, soit :
 - A) La courbe de croissance volume pâte;
 - B) La courbe de croissance volume sciage;
 - C) La courbe de croissance volume déroulage;
 - D) La courbe de croissance du diamètre moyen.
- 4 ► Pour le volet traitements sylvicoles, il faudrait définir des grands groupes de traitements (traitements extensif, maintien ou intensif) applicables à chacune des strates avec une fenêtre d'application en fonction d'une surface terrière minimale.

41 Tiré de la *Loi sur les forêts* de la Suède, Article 11.

42 Le principe de l'analyse sommaire par contenance consiste à récolter annuellement sur un nombre d'hectares équivalent à la superficie totale de la forêt divisée par l'âge de révolution (âge du peuplement auquel on effectue une coupe finale). Dans le cas d'une forêt normalisée, cette méthode assure un rendement maximum et une récolte constante dans le temps.

43 Source : E.J. Hanzlik. 1922. *Determination of the Annual Cut on a Sustained Basis for Virgin American Forests*. Journal of Forestry, 1922. p. 611–625.

44 Source : Utzig, G.F., Macdonald, D. 2000. *Citizen's Guide to Allowable Annual Cut Derterminations*. BC Environmental Network Educational Foundation. 100 p.

45 Source : Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. *Rapport préliminaire sur l'évolution de la forêt du Québec méridional des années 1970 aux années 1990*. Document préparé pour l'usage de la Commission.

46 Source : Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent. 2003. *Rapport sur l'état de la forêt publique du Bas-Saint-Laurent*. 126 p. « À l'échelle du Bas-Saint-Laurent, cela signifie que l'on récolte 81 % de la possibilité annuelle de coupe dans des peuplements dont les volumes correspondent à 55 % du volume exploitable. Ainsi, la récolte ne s'effectue pas en proportion de la représentativité des volumes « intéressants à récolter » et « moins intéressants à récolter ». »