

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER

Rapport final – Volet 1

Identification du potentiel réel des sites

(Indices de qualité de station potentiels)

Aire commune 43-20

Présenté à :

Jean-François Desbiens, ing.f.
Kruger inc.

Par :

Benoit Ménard, ing.f., M.Sc.
Claude Lapointe, statisticien, M.Sc.
David Morin, ing.f.

en collaboration avec :

Jacques Desjardins, tech.f.



Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Mai 2000

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	i
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
AVANT-PROPOS	iv
RÉSUMÉ	v
1. INTRODUCTION	1
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE	2
2.1 Placettes-échantillons.....	2
2.2 Analyses de tiges	2
2.3 Classification écologique.....	3
2.4 Traitement des données pour les calculs d'IQS.....	4
2.4.1 Périodes d'oppression	5
2.4.2 Tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBÉ).....	5
2.4.3 Calcul des indices de qualité de station potentiels (IQSp) et actuels (IQSa).....	6
2.5 Relation diamètre volume (tarif de cubage local).....	7
2.6 Relation diamètre à hauteur de souche, diamètre à hauteur de poitrine	9
2.7 Longueurs utilisables.....	10
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	12
3.1 Courbes spécifiques par type écologique	12
3.2 Étude comparative des types écologiques.....	22
3.2.2 Épinette noire.....	26
3.2.3 Pin gris.....	26
3.3 Relation diamètre volume (tarif de cubage local).....	28
3.4 Relation diamètre à hauteur de souche, diamètre à hauteur de poitrine	29
3.5 Longueurs utilisables.....	32
4. CONCLUSION	34
5. RÉFÉRENCES	35

ANNEXE 1 – Relations hauteur-diamètre

ANNEXE 2 – Test de sous-ensemble de paramètres, relation dhs-dhp

ANNEXE 3 – Test de sous-ensemble de paramètres, relation longueur utilisable dhp

Liste des tableaux

Tableau 1 -	Caractéristiques dendrométriques des placettes-échantillons	2
Tableau 2 -	Nombre de tiges récoltées par essence et par type écologique	3
Tableau 3 -	Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp et hauteur totale) des arbres-études.	8
Tableau 4 -	Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp et dhs) utilisées.....	9
Tableau 5 -	Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp, longueur utilisable) des arbres-études	11
Tableau 6 -	IQSp et coefficients de régression par type écologique.	12
Tableau 7 -	IQSa et coefficients de régression par type écologique.	13
Tableau 8 -	Seuils observés des comparaisons des courbes hauteur-âge par type écologique pour les IQSp.....	22
Tableau 9 -	Seuils observés des comparaisons des courbes hauteur-âge par type écologique pour les IQSa.....	22
Tableau 10 -	IQSp et coefficients de régression pour les types écologiques regroupés.	23
Tableau 11 -	IQSa et coefficients de régression pour les types écologiques regroupés.	23
Tableau 12 -	Valeur des paramètres b_1 et b_2 pour chaque type écologique.	28
Tableau 13 -	Volume des tiges en fonction du diamètre, par type écologique.....	28
Tableau 14 -	Résultats du test de comparaison global, relation dhs – dhp.....	29
Tableau 15 -	Valeur par type écologique des dhs lorsque le dhp prend la valeur moyenne de 10 cm.	31
Tableau 16 -	Longueur utilisable en fonction du dhp, par type écologique et selon le diamètre minimum d'utilisation.	32

Liste des figures

Figure 1 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique MS22	14
Figure 2 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RE21	15
Figure 3 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RE22	16
Figure 4 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RS22	17
Figure 5 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique MS22.....	18
Figure 6 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RE21	19
Figure 7 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RE22	20
Figure 8 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RS22	21
Figure 9 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour les pin gris, sur les types écologiques MS22-RS22 regroupés.....	24
Figure 10 -	Courbes de la hauteur en fonction de l'âge (IQSa) pour les pin gris, sur les types écologiques RE21-RE22 regroupés.....	25
Figure 11 -	Caractéristiques écologiques des types écologiques étudiés.....	27
Figure 12 -	Valeur du diamètre à hauteur de souche en fonction du diamètre à hauteur de poitrine pour l'épinette noire, par type écologique.....	30
Figure 13 -	Valeur du diamètre à hauteur de souche en fonction du diamètre à hauteur de poitrine pour le pin gris, par type écologique.....	31

Avant-propos

Ce projet a été rendu possible grâce à la participation financière de la compagnie Produits Forestiers Kruger inc. (Scierie Parent) et du ministère des Ressources naturelles du Québec, unité de gestion du Bas-Saint-Maurice, Nous remercions pour leur collaboration, l'équipe de l'entrepreneur Services Forestiers Intervact inc. et l'équipe technique du CERFO.

Résumé

Dans le but d'améliorer la documentation (choix des tables de production) du plan général d'aménagement forestier de l'aire commune 43-20 (régions écologiques 5b-t et 5c-t), des indices de qualité de station potentiels (IQS_p) ont été calculés pour les essences résineuses principales (épinette noire et pin gris) en fonction des types écologiques.

Pour ce faire, la méthode d'analyse de tiges a été retenue. L'identification du potentiel réel des sites étant désirée, des corrections d'âge ont été effectuées pour tenir compte des pertes de croissance causées par l'oppression juvénile et les épidémies de tordeuses des bourgeons de l'épinette (dans le cas de l'épinette noire). L'échantillonnage s'est fait sur les types écologiques les plus importants dans l'aire commune en terme de superficie, c'est-à-dire les types MS22 (27%), RE22 (20%), RS22 (19%) et RE21 (10%). Les IQS_p ont été calculés pour les deux essences sur chacun des types écologiques, pour ensuite permettre la comparaison de productivité des différents types écologiques pour chacune des essences.

Le modèle utilisé est une modification de l'équation de Chapman-Richards et s'ajuste très bien aux données disponibles, les coefficients de détermination (R^2) variant de 0.80 à 0.93 pour l'épinette noire et de 0,94 à 0,97 dans le cas du pin gris. Pour leur part, les IQSp varient de 11,5 m à 50 ans à 14,0 m à 50 ans pour l'épinette noire (types écologiques RE22 et MS22) et de 14,0 m à 50 ans à 17,7 m à 50 ans (types écologiques RE21 et MS22). Les tests statistiques démontrent des différences significatives au seuil minimum de 5 % pour l'ensemble des courbes relatives à l'épinette noire, alors que les courbes d'IQSp du pin gris sont semblables pour les types écologiques RS22 et MS22. Elles peuvent être regroupés si désiré.

Les IQS obtenus démontrent des différences significatives de croissance non seulement d'un type écologique à l'autre, mais aussi d'une essence à l'autre sur un même type. Il s'avère donc très important de considérer le potentiel de chaque espèce sur chaque station lorsque l'on veut modéliser la croissance d'un peuplement et lors des décisions d'aménagement.

Les études de volume, les relations entre le diamètre à hauteur de souche et le diamètre à hauteur de poitrine ainsi que les longueurs utilisables ont aussi mis en évidence l'influence importante des types écologiques sur les rendements et la croissance des deux essences à l'étude. Les sapinières s'avèrent plus productives que les pessières, tel que prévu originalement.

1. Introduction

La loi sur les forêts exige de la part des détenteurs de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) la conception de divers plans d'aménagement. Ces plans doivent tenir compte des caractéristiques biophysiques (écologiques) dans le cadre du plan de protection du territoire et également dans la formulation des divers scénarios sylvicoles. Dans ce contexte, un des besoins fondamentaux de l'aménagiste réside dans l'identification du potentiel de production des stations forestières. Cette connaissance de la forêt permettra : 1) une identification des stations forestières méritant une sylviculture plus intensive (optimisation des investissements); 2) un meilleur choix des objectifs d'aménagement selon les essences que l'on veut favoriser dans les peuplements et 3) l'établissement d'un cadre nécessaire à l'élaboration de tables de production (Bédard, 1998). Selon plusieurs auteurs (Bédard, 1998; Carmean, 1975; Spurr et Barnes, 1980), l'indice de qualité de station (IQS) est la mesure dendrométrique la plus utilisée pour connaître le potentiel de croissance d'une station forestière. Il est reconnu que la hauteur est mieux reliée au potentiel de production que n'importe quelle autre grandeur dendrométrique (Bégin et al, 1990; Newnham 1988). C'est pourquoi l'IQS, défini comme étant la hauteur dominante atteinte à un âge donné (Blais, 1995), a été retenu.

Ce rapport traite des étapes réalisées pour contribuer à l'atteinte d'un des objectifs du projet portant sur «l'intégration de la connaissance écologique du territoire au plan général d'aménagement forestier de l'aire commune 43-20 en accord avec la stratégie de protection des forêts », soit la documentation du PGAF par le calcul d'indices de qualité de station potentiels, c'est-à-dire la confection de courbes hauteur-âge de référence pour les essences sélectionnées en fonction des différents types écologiques. Ces étapes sont les suivantes : 1) estimer la croissance potentielle de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) et du pin gris (*Pinus banksiana* (Lamb)); 2) comparer la croissance potentielle de ces essences pour les principaux types écologiques à l'aide de tests statistiques; 3) comparer la croissance actuelle à la croissance potentielle.

La méthode retenue pour réaliser les IQS est l'analyse de tige. Cette technique est largement utilisée (Ménard, 1999; Tremblay, 1996; Ker et Bowling, 1991; Newnham, 1988) et permet à l'utilisateur de recréer la totalité du patron de croissance en hauteur de chacune des tiges étudiées. Pour chaque année de croissance de l'arbre, il est possible d'obtenir la hauteur associée à cette période précise de la vie de la tige, ce qui produit un couplet hauteur-âge par année de croissance, pour chacune des tiges. Ce sont ces couplets qui sont utilisés par la suite lors de la modélisation des différents indices de qualité de station potentiels. Il est important de noter que les indices de qualité de station potentiels (IQSp) produits sont représentatifs de conditions idéales de croissance et d'aménagement. Par le fait même, ils sont des objectifs à atteindre, et non la représentation des forêts actuelles. Les indices de qualité de station actuels (IQSa) sont plus représentatifs de la réalité.

En plus des différentes courbes d'IQS, trois autres paramètres ont été étudiés dans le cadre de ces travaux : le volume marchand brut (actualisation de la relation hauteur-diamètre), la relation diamètre à hauteur de poitrine en fonction du diamètre à hauteur de souche, ainsi que la hauteur utilisable. Ces trois paramètres sont étudiés en fonction des deux essences et des quatre types écologiques faisant l'objet de cet ouvrage.

2. Matériel et méthode

2.1 Placettes-échantillons

Les données utilisées dans le présent rapport proviennent de 19 parcelles temporaires de 11,28 m de rayon (400 m²) situées entre le réservoir Gouin et le village de Parent, dans l'aire commune 43-20. Les placettes ont été choisies dans les quatre principaux types écologiques de la région. Pour chacune des placettes, le dénombrement des tiges marchandes (DHP des tiges de 9 cm et plus) par classe de 2 cm et par essence a été effectué. De plus, les caractéristiques écologiques suivantes ont été relevées : dépôt, texture, drainage, pente, type forestier, végétation potentielle ainsi que le type écologique. Le tableau 1 présente les caractéristiques dendrométriques des placettes-échantillons retenues par type écologique.

Tableau 1 - Caractéristiques dendrométriques des placettes-échantillons

Type écologique	Nombre de parcelles	Nombre de tiges/ha	Surface terrière/ha (m ² /ha)
MS22	5	580	23,7
RE21	4	1625	27,9
RE22	5	1240	27,6
RS22	5	635	22,5
Total : 19		Moyenne : 988	Moyenne : 25,3

2.2 Analyses de tiges

Le nombre de tiges échantillons récoltées est de 180, soit 100 tiges de pin gris et 80 tiges d'épinette noire. Chaque tige, préalablement identifiée, est abattue, ébranchée et tronçonnée pour permettre la récolte des disques de bois. Ceux-ci sont prélevés à 0.15 m, 0.60 m, 1.3 m et à tous les deux mètres par la suite (3 m, 5 m, etc.), sur toute la longueur de l'arbre. Les rondelles sont ensuite séchées et poncées finement pour rendre possible la numérisation de chacune d'entre elles à l'aide du logiciel de prise de données Windendro®. La lecture des cernes s'est faite sur deux à quatre rayons, selon la forme et l'état des rondelles analysées. Du nombre initial de tiges, trois ont été exclues de l'analyse pour différentes raisons : erreur d'identification, rondelles manquantes et pourriture excessive des rondelles à la base de l'arbre. Les données obtenues ont par la suite fait l'objet d'une validation à l'aide du programme *anatige* (Bégin, 1998). La mesure des accroissements a ensuite permis de reconstituer le développement en hauteur des tiges, toujours avec le même programme. La croissance en hauteur a été corrigée selon la procédure de Carmean (1972, dans

Dyer et Bailey 1987). Cette correction est nécessaire puisque la section prélevée sur la tige se trouve habituellement à un point intermédiaire de la croissance annuelle et non à la fin de cette période. Le tableau suivant présente le nombre de tiges disponibles pour l'analyse.

Tableau 2 - Nombre de tiges récoltées par essence et par type écologique

Essence	Type écologique				Total
	MS22	RE21	RE22	RS22	
PIG	25	20	25	25	95
EPN	15	18	24	25	82
TOTAL	40	38	49	50	177
N.PÉ.	5	4	5	5	19

PIG : pin gris, EPN : épinette noire

2.3 Classification écologique

Le secteur d'étude est situé dans deux régions écologiques : la région 5b, les coteaux du réservoir Gouin et la régions 5c, les collines du haut Saint-Maurice, plus spécifiquement, les sous-régions 5b-T (coteaux du réservoir Gouin) et 5c-T (collines du lac Lareau). La classification écologique utilisée a été développée par le ministère des Ressources naturelles (Grondin et *al.*, 1998). Les différents types sont décrits en détail dans le document cité. La classification est basée sur la présence de groupes d'espèces indicatrices et le lien de ceux-ci avec les caractéristiques de station et la végétation potentielle, ce qui permet de définir des types écologiques. Un type écologique est une unité synthèse de classification qui exprime à la fois les caractéristiques physiques du milieu et les caractéristiques écologiques de la végétation (composition, structure et dynamisme). Le type écologique décrit un lieu donné au moyen d'une combinaison du type de milieu physique et de la végétation potentielle. Seuls les types écologiques les plus importants en superficie sur le territoire (aire commune 43-20) sont décrits ici, puisque ce sont ces derniers qui font l'objet de la modélisation. Ceux-ci sont au nombre de quatre. Le lecteur pourra se référer à l'ouvrage cité précédemment pour plus de détails concernant la méthode de classification et les autres types écologiques.

Les types écologiques retenus sont les suivants :

- **MS22** : Sapinière à bouleau blanc sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage subhydrique

Ce type écologique est très abondant sur ce territoire avec 27 % de la superficie. Il est principalement observé sur les tills mésiques épais (plus de 25 cm) de mi-pente, sur des pentes B,C ou D et à des altitudes fort variables (150 à 600 m).

- **RE21** : Pessière noire à mousses ou à éricacées sur dépôt mince à épais, de texture grossière et de drainage xérique mésique

Ce type écologique occupe 10 % de la superficie de l'aire commune et se rencontre surtout sur les terrasses couvertes de dépôts fluvioglaciers (2A, 2BE) dont la texture est plus grossière que dans les autres sous régions.

- **RE22** : Pessière noire à mousses ou à éricacées sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique

Ce type écologique occupe 20 % de la superficie de l'aire commune. On l'aperçoit principalement sur les mi-pentes et les hauts-de-pentes recouvertes de till mésique.

- **RS22** : Sapinière à épinette noire sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique

Ce type écologique occupe 19 % de la superficie de l'aire commune. On l'aperçoit principalement sur les mi-pentes et les hauts-de-pentes recouvertes de till mésique. Il est une variante plus riche du type RE22

2.4 Traitement des données pour les calculs d'IQS

Les données issues de l'analyse de tiges rendent possible la reconstitution des patrons de croissances dans le temps des arbres, ce qui permet de créer des courbes d'indices de qualité de station potentiels. Cependant, certaines tiges récoltées ont subi des retards de croissance, généralement attribuables à l'oppression qu'a pu subir la tige en bas âge et aux diverses épidémies

de tordeuses des bourgeons de l'épinette (TBÉ) qu'a connu l'arbre au cours de sa croissance. Comme ces retards augmentent l'âge biologique de l'arbre par rapport à son stade de développement (Zarnovican 1983, dans Bédard 1998), ils sous-estiment le potentiel réel du site à l'étude. Il s'avère donc essentiel de tenir compte de ces pertes de croissance lors de la modélisation, si l'on veut obtenir des courbes d'IQSp qui sont véritablement représentatives des stations observées, en l'absence des facteurs externes. Les différentes étapes de la méthode de traitement utilisée, développée par Bédard (1998), permettent d'apporter les corrections nécessaires. Comme la méthode d'analyse retenue est abondamment détaillée dans les travaux de Bédard (1998), seules les grandes lignes seront décrites ici. De plus, un guide d'utilisation du programme de modélisation a été produit par Lapointe (1997).

2.4.1 PÉRIODES D'OPPRESSION

La croissance juvénile n'est pas nécessairement corrélée à celle de l'arbre libre de croître, puisque la période de suppression ne dépend pas des caractéristiques stationnelles mais de la compétition intra et extra-spécifique (Blais, 1995). Une correction est donc nécessaire pour définir le potentiel réel des sites. L'évaluation de la fin de la période d'oppression et de la hauteur des tiges à la fin de cette période a été réalisée, ce qui a permis de corriger l'âge des tiges opprimées. Cette correction est réalisée par comparaison avec l'âge moyen qu'ont pris les arbres non opprimés à atteindre cette même hauteur. Dans notre cas, 54 des 177 tiges (30.5 %) à l'étude comportaient de l'oppression. La correction s'est donc appliquée pour ces tiges.

2.4.2 TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE (TBÉ)

Puisque les divers épisodes épidémiques de TBÉ ont probablement affecté la croissance en hauteur des arbres à l'étude (épinettes seulement), une correction est aussi apportée. Des pertes de croissance ont été détectées pour la totalité des tiges d'épinette récoltées. Lorsque les années pour lesquelles les pertes de croissance ont été détectées correspondent au passage de la tordeuse (les années quarante et soixante-dix), il est plus que probable que celle-ci soit responsable de la baisse de croissance. Près de 33 % des tiges ont souffert d'une épidémie, 1 % de deux épidémies et aucune de plus de deux. Il est donc indispensable d'apporter les corrections nous permettant d'évaluer le potentiel véritable du site. Pour ce faire, la durée de la réduction de croissance est évaluée pour pouvoir estimer la croissance potentielle de chaque tige. La correction des courbes hauteur-âge des tiges affectées par la TBÉ est réalisée à l'aide d'un modèle mathématique. L'équation utilisée est celle de Chapman-Richards (Richards, 1959) (équation 1),

modifiée avec la méthode de Riopel (1998) (équation 2). Encore une fois, le lecteur pourra se référer aux travaux de Bédard (1998) pour le détail de ces méthodes.

$$(1) \text{ Hauteur} = 1.3 + b_1 [1 - \exp(-b_2 \times \text{âge})]^{b_3}$$

$$(2) \text{ Hauteur} = 1.3 + b_1 [1 - \exp(-b_2 \times (\text{âge}_i + c_1 \times Z_{li}))]^{b_3}$$

où

b1, b2 et b3 : coefficients de régression

exp : base du logarithme népérien (base e)

âge : âge à hauteur de poitrine

c : valeur estimée qui représente l'effet de retard sur l'âge de la tige que produit la période d'épidémie

Z : variable binaire qui s'ajoute en fonction du nombre de périodes observées sur une même tige

2.4.3 CALCUL DES INDICES DE QUALITÉ DE STATION POTENTIELS (IQSP) ET ACTUELS (IQSA)

Le modèle retenu pour le calcul des indices de qualité de station (potentiels et actuels) est, comme mentionné précédemment, celui de Chapman-Richards (équation 1) avec trois paramètres. Ce modèle est reconnu pour un ajustement précis aux données de croissance des arbres et des peuplements forestiers (Zeide 1993, *dans* Bédard, 1998). Les tests statistiques pour la comparaison des courbes par essence et par type écologique sont du type de Wald, tel qu'utilisé par Bédard (1998). Le seuil global de décision est fixé à 0.05. Lorsque plus d'une comparaison est réalisée, la correction de Bonferroni pour le seuil (Neter et Wasserman 1974, *dans* Bédard, 1998) est utilisée. Cette correction tient compte du nombre de comparaisons effectuées, en divisant le seuil de décision par le nombre de comparaisons effectuées, rendant ainsi le test plus sévère.

2.5 Relation diamètre volume (tarif de cubage local)

Les volumes marchands bruts (décimètres cubes par tige, dm^3/ti) sont calculées à partir du tarif de cubage général couramment utilisé au Québec (Perron, 1985) (équations 3 et 4). Le tarif utilise comme intrant la hauteur totale (mètres) et le diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (cm). Afin d'obtenir le diamètre avec écorce à partir de nos données, la relation décrite par Perron (1985) est utilisée (équation 5). Une correction de 2% pour le diamètre de chaque rondelle est aussi effectuée pour tenir compte du retrait dû au séchage.

Épinette noire

$$(3) \quad V_{mb} = -16,8426 + 3,0880499D - 4,3988304H + 0,2454040H^2 + 0,0261688D^2H$$

Où V_{mb} : volume marchand brut (dm^3)
D : diamètre à hauteur de poitrine (cm)
H : hauteur totale (m)

Pin gris

$$(4) \quad V_{mb} = -41,4626 + 8,3376703D - 0,314516D^2 - 4,3120804H + 0,128833H^2 + 0,0393611D^2H$$

Où V_{mb} : volume marchand brut (dm^3)
D : diamètre à hauteur de poitrine (cm)
H : hauteur totale (m)

$$(5) \quad d_{sé} = b_0 + b_1 d_{aé}$$

Où $d_{sé}$: diamètre sans écorce (mm)
 $d_{aé}$: diamètre avec écorce (mm)
 b_0 : -3,853565 (epn), -3,235939 (pig)
 b_1 : 0,965169 (epn), 0,969446 (pig)

La relation hauteur-diamètre étant variable selon le stade développement du peuplement, une nouvelle relation est calculée à l'aide d'un modèle non-linéaire proposé par Bégin et Raulier (1995) pour l'actualiser. Le modèle (équation 6) a été calibré pour chaque espèce par type écologique. Les paramètres obtenus pour les différents cas se trouvent à l'annexe 1. Le modèle est le suivant :

$$(6) \quad H_{tot} = 1,3 + \left[\frac{d^2}{(b_1 + b_2 d)^2} \right]$$

Où H_{tot} : hauteur totale (m)
 d : diamètre à hauteur de poitrine (cm)
 b_0 et b_1 : paramètres de l'équation

Le tableau 3 résume les caractéristiques dendrométriques des arbres-études utilisés pour la relation hauteur-diamètre et le calcul des volumes.

Tableau 3 - Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp et hauteur totale) des arbres-études

Type écologique	N	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Épinette noire; dhp (cm)					
MS22	15	24,8	4,6	19,5	35,2
RS22	24	22,9	3,1	16,8	29,3
RE21	18	17,8	1,6	13,3	20,4
RE22	25	19,6	2,6	15,2	24,8
Épinette noire; hauteur totale (m)					
MS22	15	20,8	1,8	18,00	23,92
RS22	24	20,7	2,1	16,80	24,67
RE21	18	16,1	1,7	12,75	18,30
RE22	25	18,1	2,2	14,21	21,15
Pin gris; dhp (cm)					
MS22	24	28,9	4,0	22,6	41,1
RS22	24	25,7	3,1	21,9	32,3
RE21	20	18,0	2,1	14,2	22,5
RE22	24	21,3	3,1	15,3	27,4
Pin gris; hauteur totale (m)					
MS22	24	23,1	1,7	19,16	26,09s
RS22	24	22,7	1,8	19,98	25,83
RE21	20	17,1	1,2	14,84	18,60
RE22	24	18,8	2,1	15,52	22,99

2.6 Relation diamètre à hauteur de souche, diamètre à hauteur de poitrine

Une relation mathématique définissant le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) en fonction du diamètre à hauteur de souche (dhs) est élaborée dans le but de préciser le défilement entre ces deux hauteurs. Cette relation permet de déterminer si le dhs se trouve dans la même classe de diamètre que le dhp lorsque celui-ci devient marchand (de 9,1 cm à 11,0 cm, soit la classe de 10 cm), ou si le défilement est assez important pour que la souche soit dans une classe supérieure de diamètre.

Pour chacune des tiges disponibles, les années durant lesquelles le dhp se trouve dans la classe de 10 cm sont identifiées. Les mesures de dhp et de dhs de l'ensemble de ces années sont retenues pour les calculs. Les corrections requises en ce qui concerne le retrait dû au séchage et à l'épaisseur de l'écorce ont été effectuées tel que décrites à la section précédente. Le tableau suivant présente les statistiques usuelles des données disponibles.

Tableau 4 - Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp et dhs) utilisées

Type écologique	N	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Épinettes; dhp (cm)					
MS22	132	10.09	0.57	9.06	11.04
RS22	177	10.07	0.57	9.06	11.04
RE21	111	10.08	0.57	9.09	11.01
RE22	169	10.06	0.57	9.06	11.04
Épinettes; dhs (cm)					
MS22	132	11.06	0.76	9.59	13.57
RS22	177	11.13	0.82	9.55	14.00
RE21	111	11.69	1.15	9.40	14.53
RE22	169	10.06	0.57	9.06	11.04
Pin gris; dhp (cm)					
MS22	76	10.04	0.58	9.12	11.04
RS22	102	10.09	0.56	9.06	14.03
RE21	148	10.11	0.57	9.06	11.03
RE22	146	10.08	0.59	9.07	11.03
Pin gris; dhs (cm)					
MS22	76	11.46	1.05	9.49	13.90
RS22	102	11.60	1.02	8.96	14.03
RE21	148	11.09	0.77	9.16	13.01
RE22	146	11.16	0.74	9.57	12.86

Le modèle utilisé (équation 7) est ajusté pour chacune des essences sur les quatre types écologiques. Un test de comparaison globale (Zar, 1974, *in* Bégin et al., 1990) (équation 6) nous permet de vérifier le bien-fondé d'analyser les types écologiques séparément.

$$(7) \quad dhs = b_0 + b_1 dhp$$

Où dhs: diamètre à hauteur de souche (cm)
 D_{hp} : diamètre à hauteur de poitrine (cm)
 b_0 et b_1 : paramètres de l'équation

$$(8) \quad F = \frac{(SCE - SCE_o)/(m+1)(k-1)}{SCE_o/(n - km - k)}$$

Où SCE : somme des carrés des résidus des k populations regroupées
 SCE_o : somme de la somme des carrés des résidus de chacune des k populations
 n : nombre d'observations
 m : nombre de variables indépendantes
 k : nombre de groupes

Un test de sous-ensemble de paramètres (Chatterjee et Price, 1977; *in*: Bégin et al., 1990) est aussi réalisé pour vérifier l'utilité d'ajouter une variable du deuxième degré (dhp^2). La description et les résultats de ce test sont détaillés à l'annexe 2, le modèle linéaire du premier degré étant celui retenu.

2.7 Longueurs utilisables

La longueur utilisable se définit comme étant la longueur de la bille comprise entre la hauteur de souche (15 cm) et le diamètre minimum d'utilisation (dmu). Le dmu est de 9,0 cm au Québec. Le calcul des longueurs utilisables a deux objectifs : 1) déterminer la longueur marchande dans chacun des types écologiques pour les deux essences à l'étude, et 2) de quantifier le gain en longueur si le dmu passait de 9,0 cm à 8,0 cm. Le test de comparaison global (Zar, 1974, *in* Bégin et al., 1990), décrit plus haut, est encore une fois utilisé pour vérifier l'utilité d'analyser les types écologiques séparément. Le tableau 5 présente les caractéristiques dendrométriques des arbres-études. Notons que les corrections pour le retrait et l'épaisseur d'écorce sont appliquées.

Tableau 5 - Caractéristiques dendrométriques moyennes (dhp, longueur utilisable) des arbres-études

Type écologique	N	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Épinette noire; dhp (cm)					
MS22	15	24,8	4,6	19,5	35,2
RS22	24	22,9	3,1	16,8	29,3
RE21	18	17,8	1,6	13,3	20,4
RE22	25	19,6	2,6	15,2	24,8
Épinette noire; longueur utilisable (m) (dmu = 9,0 cm)					
MS22	15	15,8	2,3	13,0	21,0
RS22	24	15,5	2,3	11,7	20,4
RE21	18	10,9	1,7	6,5	13,0
RE22	25	12,9	2,5	8,2	16,8
Pin gris; dhp (cm)					
MS22	24	28,9	4,0	22,6	41,1
RS22	24	25,7	3,1	21,9	32,3
RE21	20	18,0	2,1	14,2	22,5
RE22	24	21,3	3,1	15,3	27,4
Pin gris; longueur utilisable (m) (dmu = 9,0 cm)					
MS22	24	19,7	1,6	16,5	23,2
RS22	24	22,7	1,8	19,98	25,83
RE21	20	12,6	1,6	8,9	15,4
RE22	24	14,9	2,4	10,0	19,5

Le modèle ajusté pour les différents cas est décrit à l'équation 9.

$$(9) L_{utile} = b_0 + b_1 dhp$$

Où L_{utile} : longueur utilisable (m)
 D_{hp} : diamètre à hauteur de poitrine (cm)
 b_0 et b_1 : paramètres de l'équation

Le test de sous-ensemble de paramètres (Chatterjee et Price, 1977; in: Bégin et al., 1990) est encore une fois réalisé pour vérifier l'utilité d'ajouter une variable du deuxième degré (dhp^2). La description et les résultats de ce test sont détaillés à l'annexe 3, le modèle linéaire du premier degré étant de nouveau celui retenu.

3. Résultats et discussion

3.1 Courbes spécifiques par type écologique

La modélisation de la croissance en hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire et le pin gris a permis de produire 8 courbes spécifiques par essence pour les types écologiques étudiés. Le tableau 6 présente les résultats obtenus pour les courbes. On y retrouve le type écologique, le nombre de couples hauteur-âge (N) disponibles, l'indice de qualité de station potentiel, la valeur des trois paramètres de l'équation de Chapman-Richards ainsi que leur erreur standard respective. Les coefficients de détermination des équations (R^2) obtenus varient de 0,80 à 0,97, ce qui permet d'affirmer que le modèle utilisé exprime avec précision la croissance en hauteur en fonction de l'âge pour les trois essences. Les indices de qualité de station potentiels varient dans l'ensemble de 11,50 à 17,70 m. Les courbes hauteur-âge spécifiques obtenues à partir de la modélisation pour l'épinette noire sont présentées aux figures 1, 2, 3 et 4. Dans le cas du pin gris, les courbes sont présentées aux figures 5, 6, 7 et 8. On peut y constater que l'ensemble des courbes présente des formes similaires et recherchées.

La modélisation de la croissance en hauteur a aussi été effectuée sans correction pour l'oppression et la TBÉ. Les résultats ainsi obtenus (tableau 6) peuvent être comparés aux IQS potentiels, ce qui nous permet de visualiser la différence entre les rendements présentement disponibles et le plein potentiel. Les courbes d'IQSa obtenues sont présentées dans les mêmes figures que les IQSp.

Tableau 6 - IQSp et coefficients de régression par type écologique

Type écologique	N ^a	IQSp (m)	B ₁	B ₂	B ₃	R ²
Épinette noire						
MS22	1182	13,96	24,835±0,902	0,022±0,000	1,405±0,117	0,89
RE21	1080	12,47	20,368±0,820	0,033±0,001	2,293±0,111	0,88
RE22	1711	11,53	32,469±0,897	0,014±0,000	1,532±0,092	0,80
RS22	1565	13,86	24,724±0,702	0,025±0,000	1,710±0,093	0,93
Pin gris						
MS22	2242	17,72	24,615±0,531	0,034±0,001	1,635±0,019	0,97
RE21	1532	13,97	18,478±0,590	0,040±0,002	1,923±0,033	0,96
RE22	2383	14,59	19,741±0,535	0,037±0,001	1,719±0,025	0,94
RS22	2069	16,81	25,434±0,536	0,0296±0,001	1,603±0,019	0,96

a : nombre de couples hauteur-âge

Tableau 7 - IQSa et coefficients de régression par type écologique

Type écologique	N ^a	IQSa (m)	B ₁	B ₂	B ₃	R ²
Épinette noire						
MS22	1536	13,17	24,943±0,712	0,020±0,001	1,417±0,221	0,88
RE21	1346	11,70	19,532±0,629	0,037±0,001	2,923±2,923	0,90
RE22	2316	10,94	23,454±0,567	0,023±0,000	2,006±0,0174	0,89
RS22	2448	11,65	24,459±0,552	0,0248±0,000	2,168±0,177	0,84
Pin gris						
MS22	2668	17,57	23,894±0,448	0,035±0,001	1,635±0,018	0,97
RE21	1699	13,97	18,697±0,502	0,039±0,001	1,859±0,032	0,95
RE22	2497	14,58	19,769±0,452	0,037±0,001	1,174±0,024	0,93
RS22	2585	16,72	24,057±0,453	0,0325±0,001	1,661±0,019	0,96

a : nombre de couples hauteur-âge

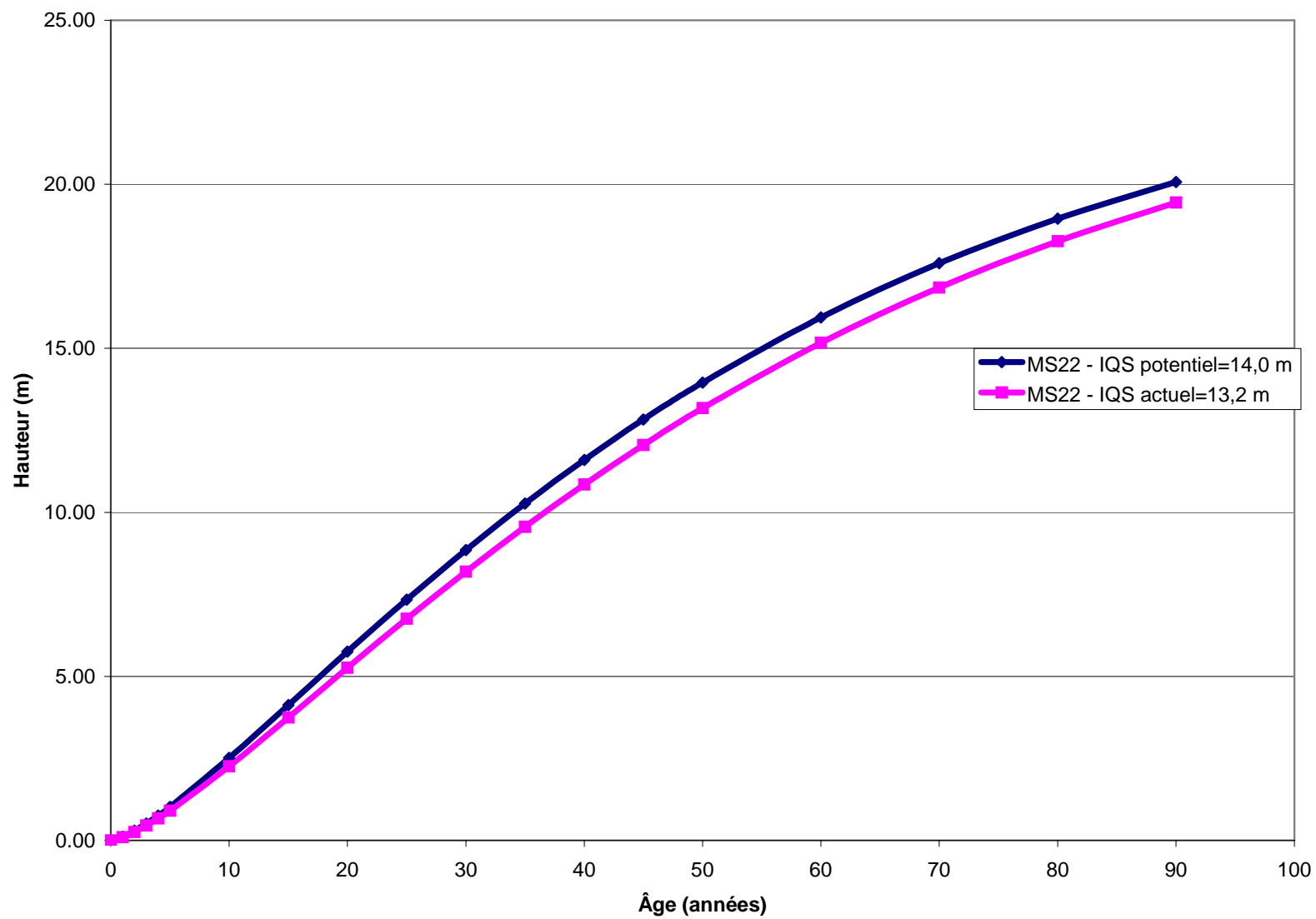


Figure 1 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique MS22

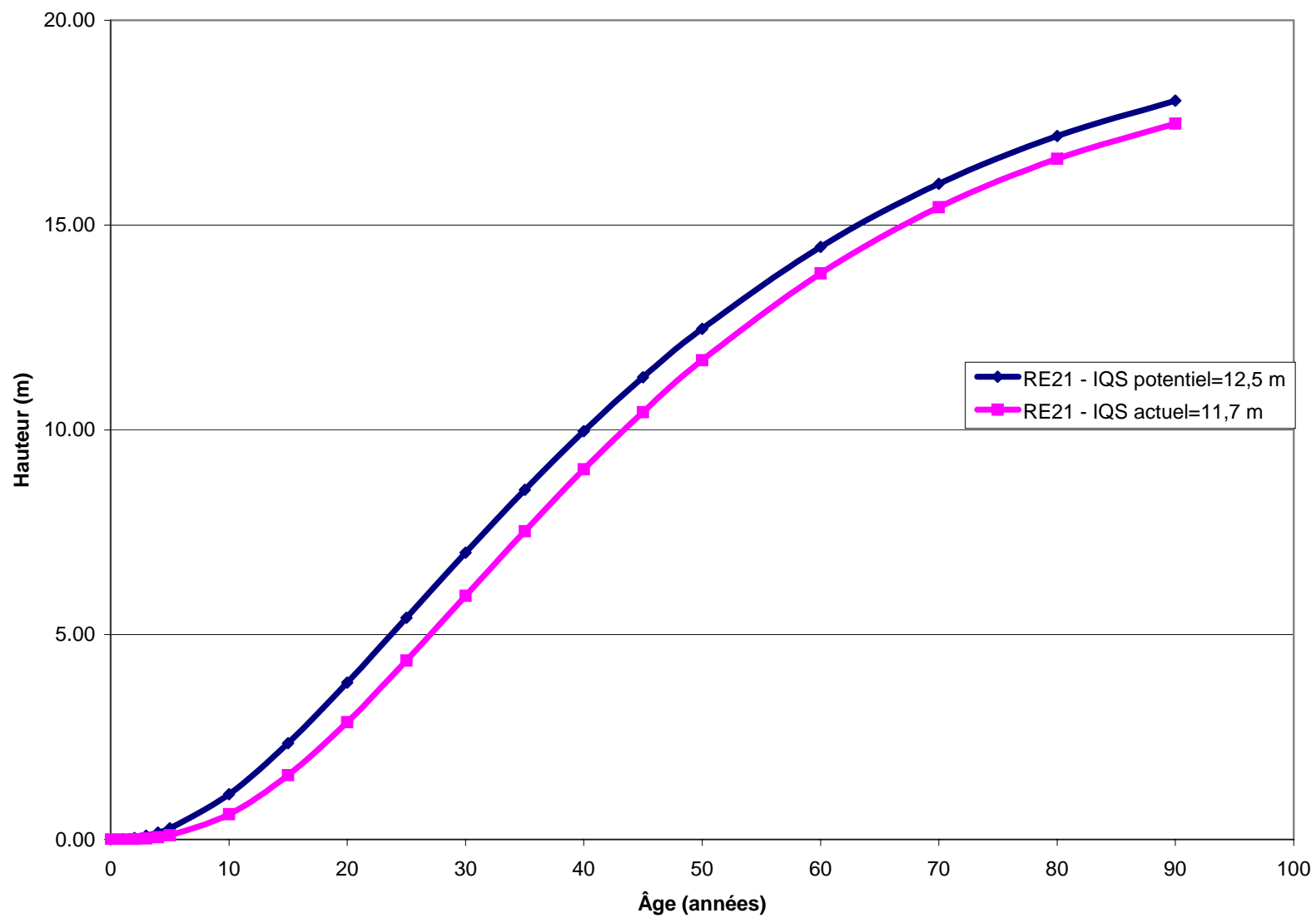


Figure 2 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RE21

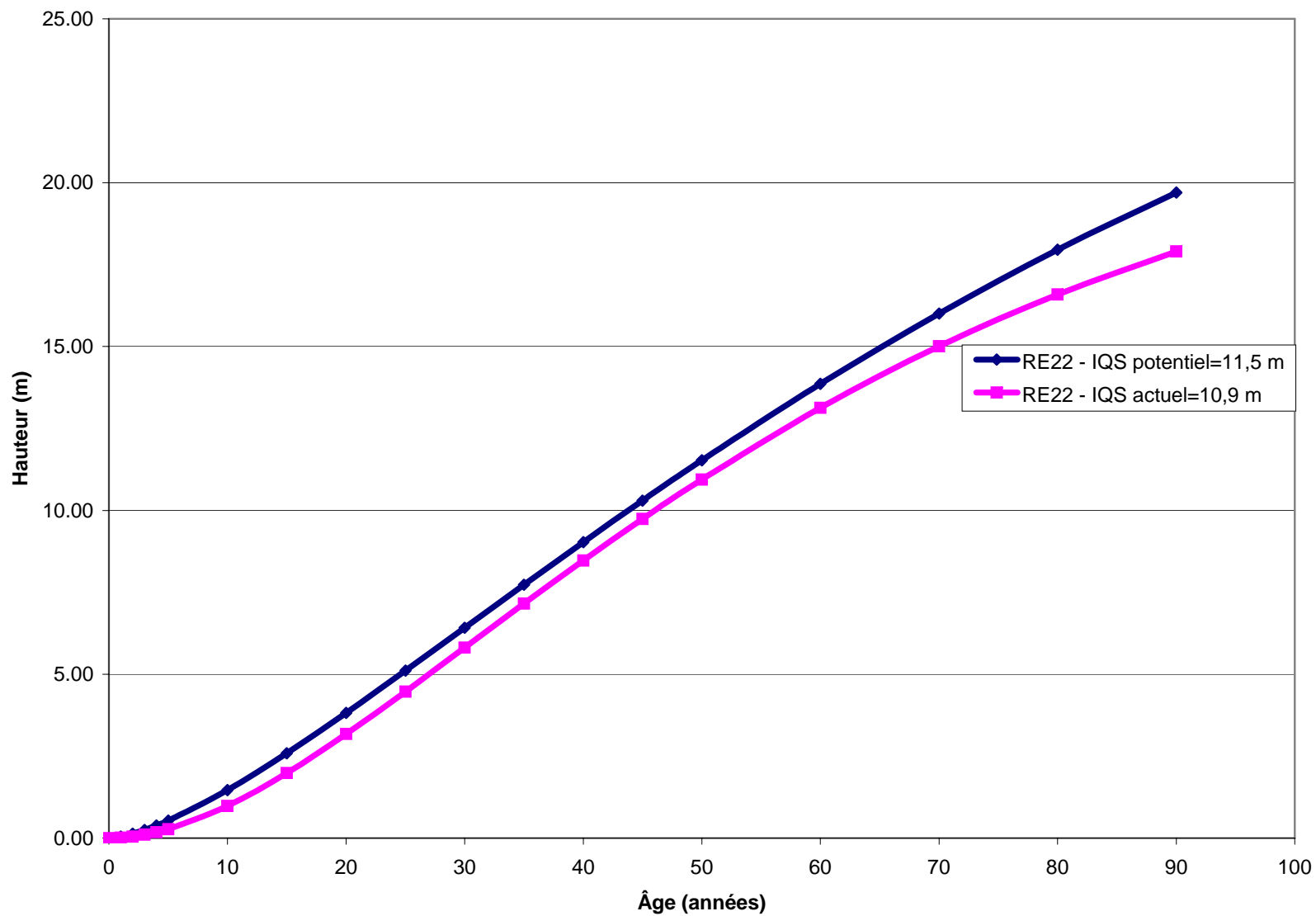


Figure 3 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RE22

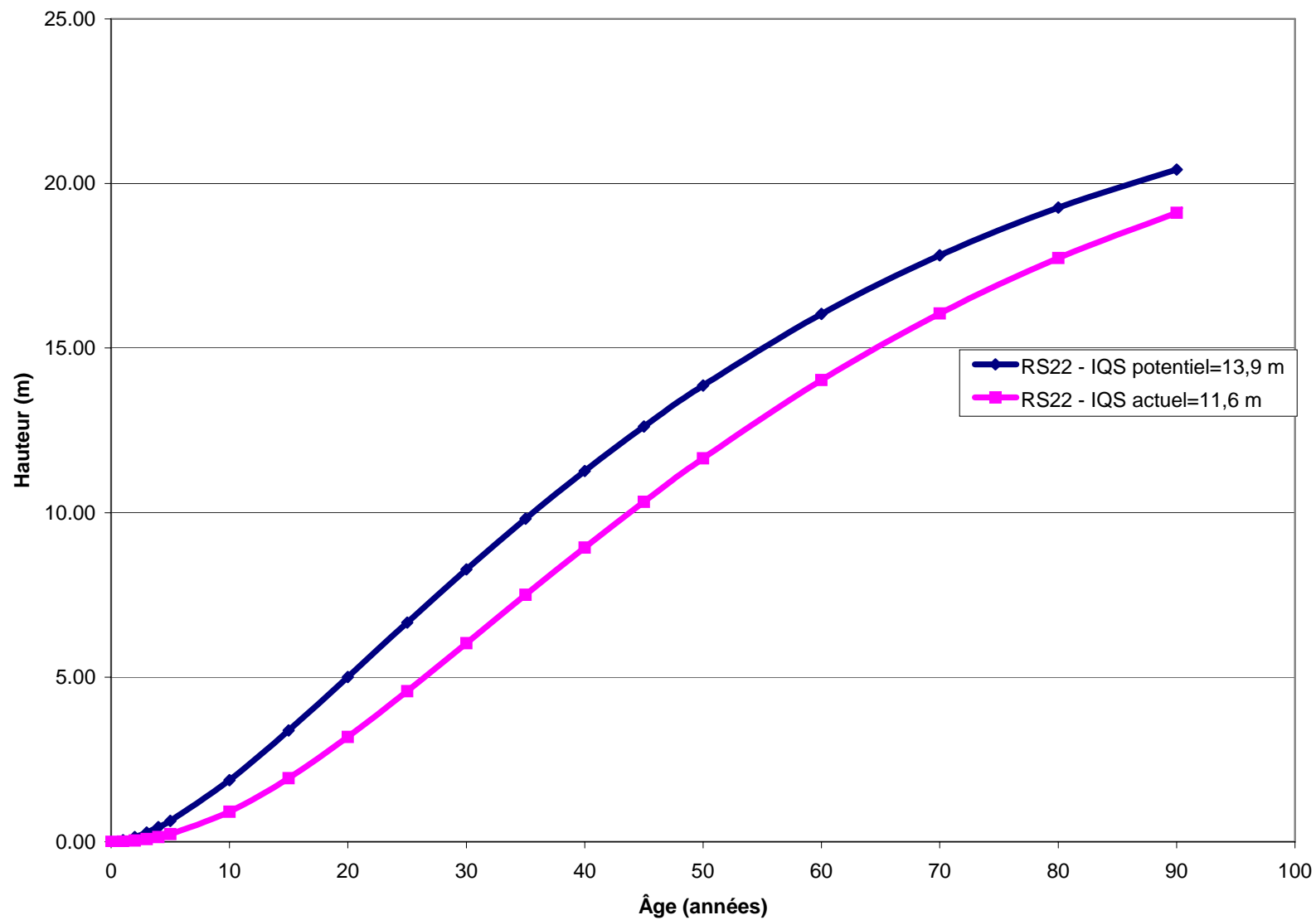


Figure 4 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour l'épinette noire, sur le type écologique RS22

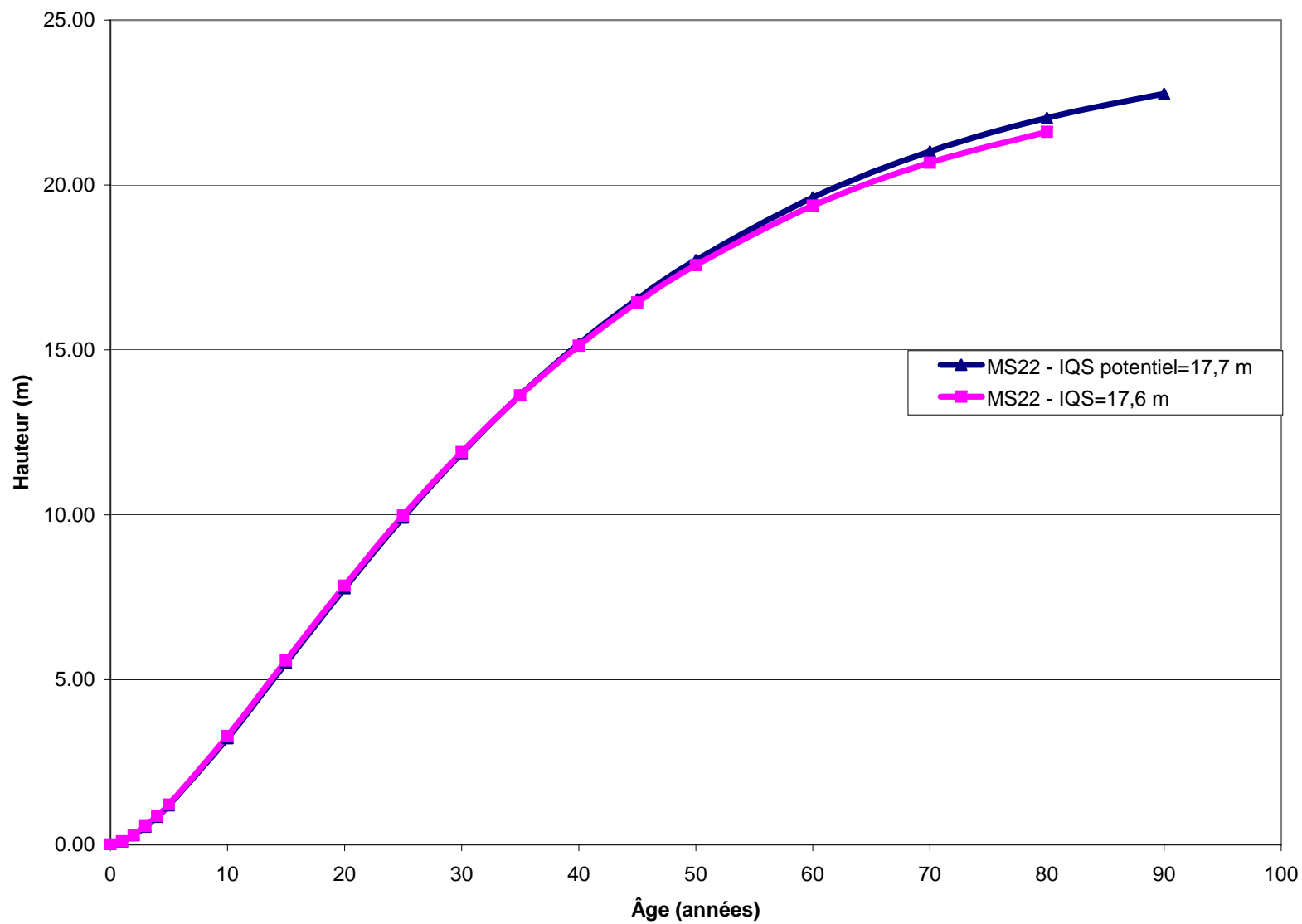


Figure 5 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique MS22

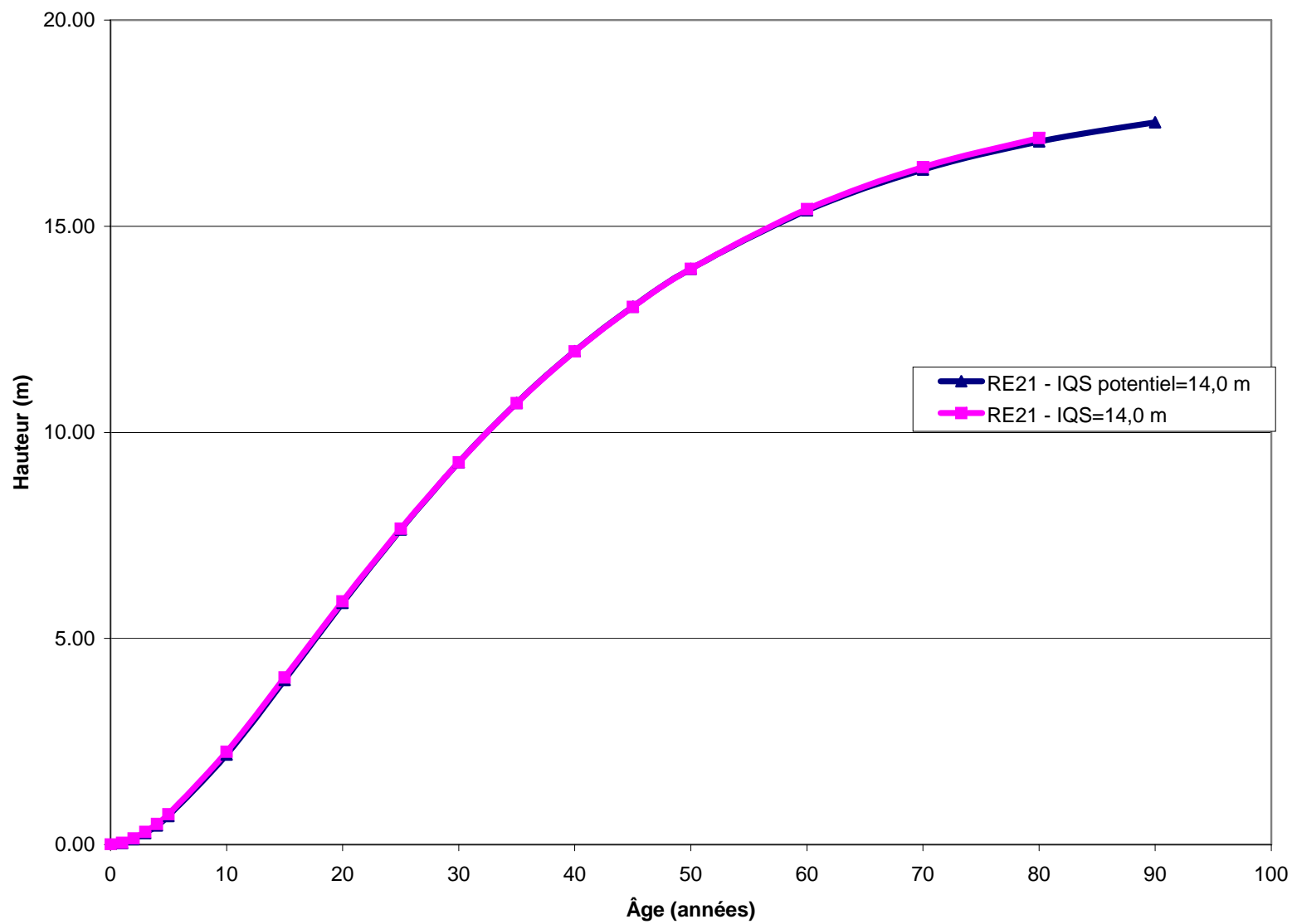


Figure 6 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RE21

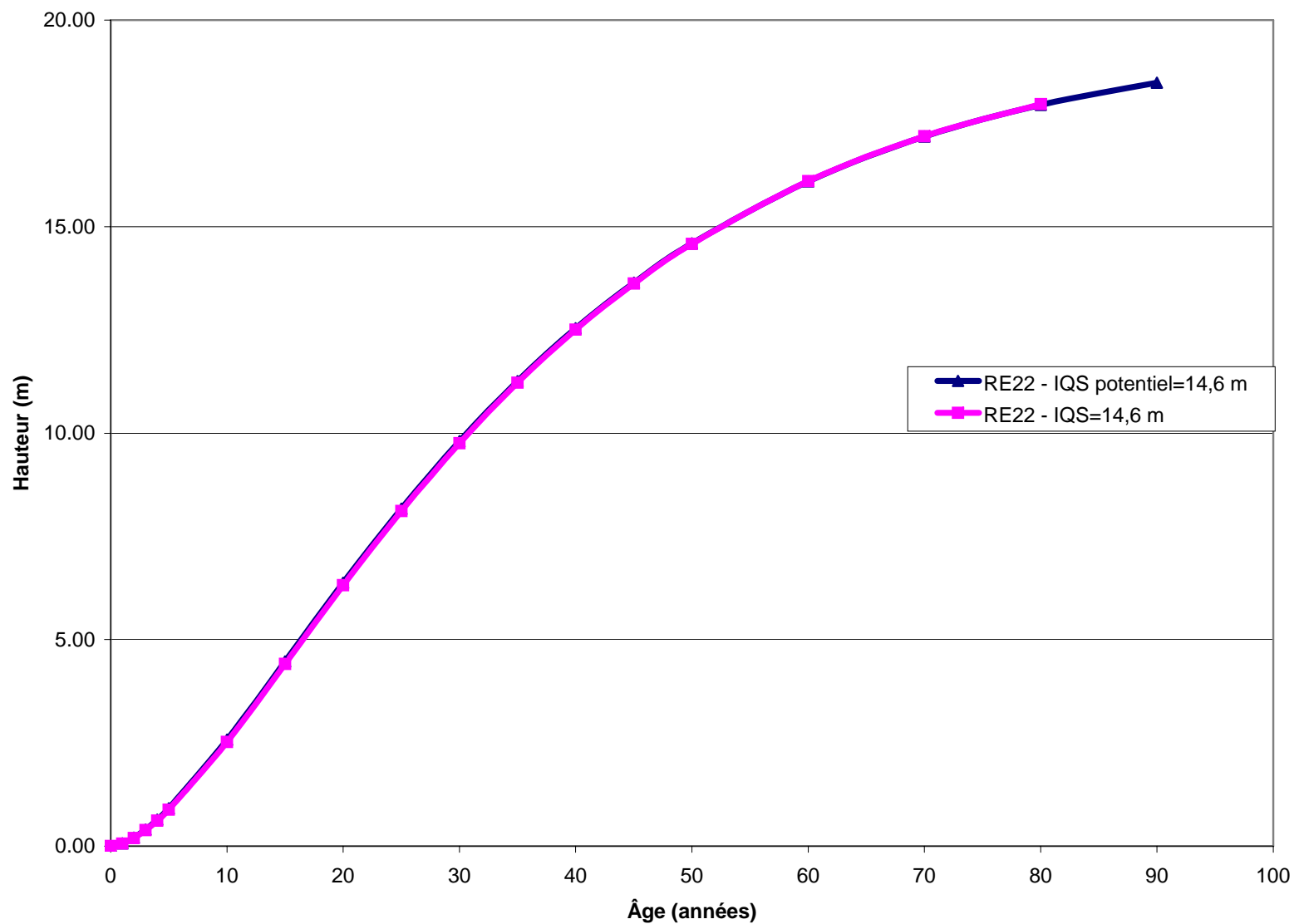


Figure 7 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RE22

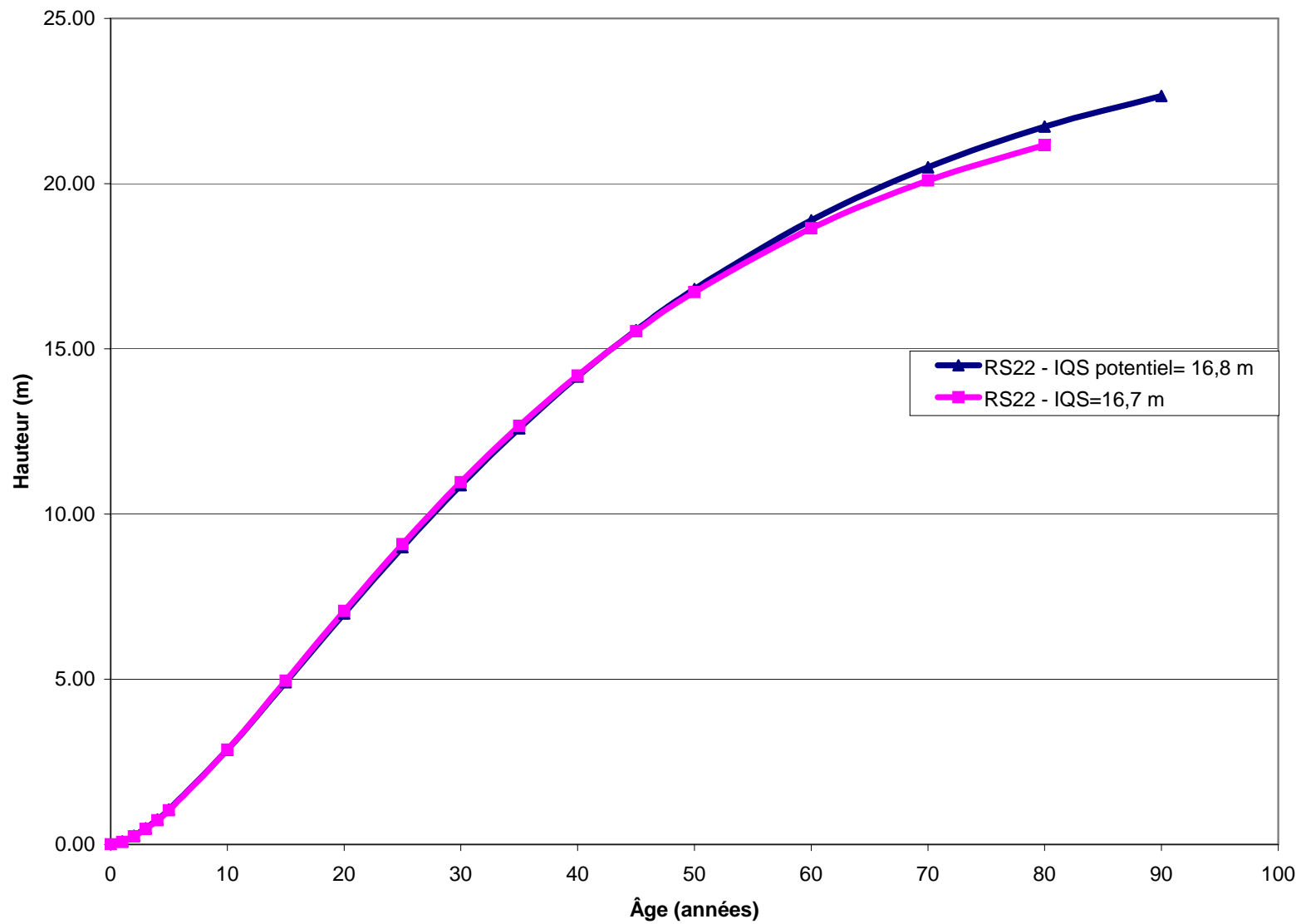


Figure 8 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour le pin gris, sur le type écologique RS22

3.2 Étude comparative des types écologiques

Les résultats des études comparatives entre la croissance sur les types écologiques (IQSp et IQSa) réalisées grâce aux tests de Wald pour un seuil global de 5 % sont présentés pour chacune des espèces au tableaux 8 et 9.

Tableau 8 - Seuils observés des comparaisons des courbes hauteur-âge par type écologique pour les IQSp

Types écologiques	MS22	RE22	RE22	RS22
Épinette noire				
MS22	1	0,0001	0,0001	0,0001
RE21	0,0001	1	0,0001	0,0001
RE22	0,0001	0,0001	1	0,0001
RS22	0,0001	0,0001	0,0001	1
Pin gris				
MS22	1	0,0001	0,0001	0,072
RE21	0,0001	1	0,0001	0,0001
RE22	0,0001	0,0001	1	0,0001
RS22	0,072	0,0001	0,0001	1

(*) indique une différence significative au seuil global de 0.05

Tableau 9 - Seuils observés des comparaisons des courbes hauteur-âge par type écologique pour les IQSa

Types écologiques	MS22	RE22	RE22	RS22
Épinette noire				
MS22	1	0,0001	0,0007	0,0001
RE21	0,0001	1	0,0001	0,0001
RE22	0,0007	0,0001	1	0,0041
RS22	0,0001	0,0001	0,0041	1
Pin gris				
MS22	1	0,0001	0,0001	0,1191
RE21	0,0001	1	0,0084	0,0001
RE22	0,0001	0,0084	1	0,0001
RS22	0,1191	0,0001	0,0001	1

(*) indique une différence significative au seuil global de 0.05

On remarque qu'il existe des différences de croissance dans la grande majorité des cas. Par contre, les résultats obtenus pour le pin gris suggèrent le regroupement des types MS22 et RS22 pour les courbes corrigées et le regroupement des types MS22 et RS22 ainsi que les types RE21 et RE22 pour les courbes sans corrections. Les tableaux 10 et 11 présentent les résultats obtenus pour ces nouvelles courbes

Tableau 10 - IQSp et coefficients de régression pour les types écologiques regroupés

Type écologique	N	IQSp (m)	B ₁	B ₂	B ₃	R ²
Pin Gris						
MS22-RS22	4311	17,30	25,018±0,377	0,032±0,001	1,619±0,013	0,96

Tableau 11 - IQSa et coefficients de régression pour les types écologiques regroupés

Type écologique	N	IQSp (m)	B ₁	B ₂	B ₃	R ²
Pin Gris						
MS22-RS22	5253	17,17	23,985±0,320	0,034±0,001	1,647±0,0131	0,96
RE21-RE22	4196	14,31	19,322±0,337	0,037±0,001	1,785±0,0190	0,93

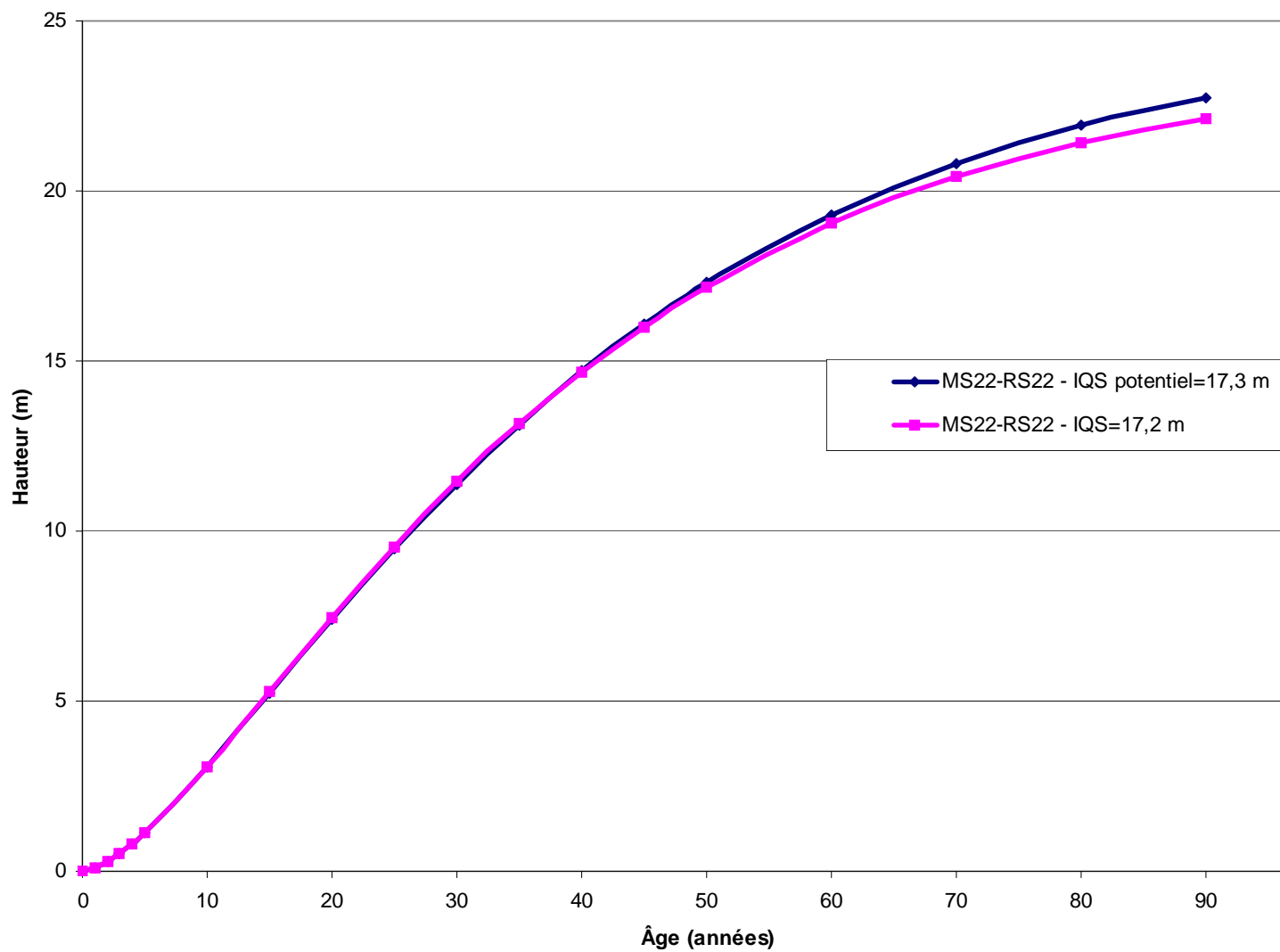


Figure 9 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge pour les pin gris, sur les types écologiques MS22-RS22 regroupés.

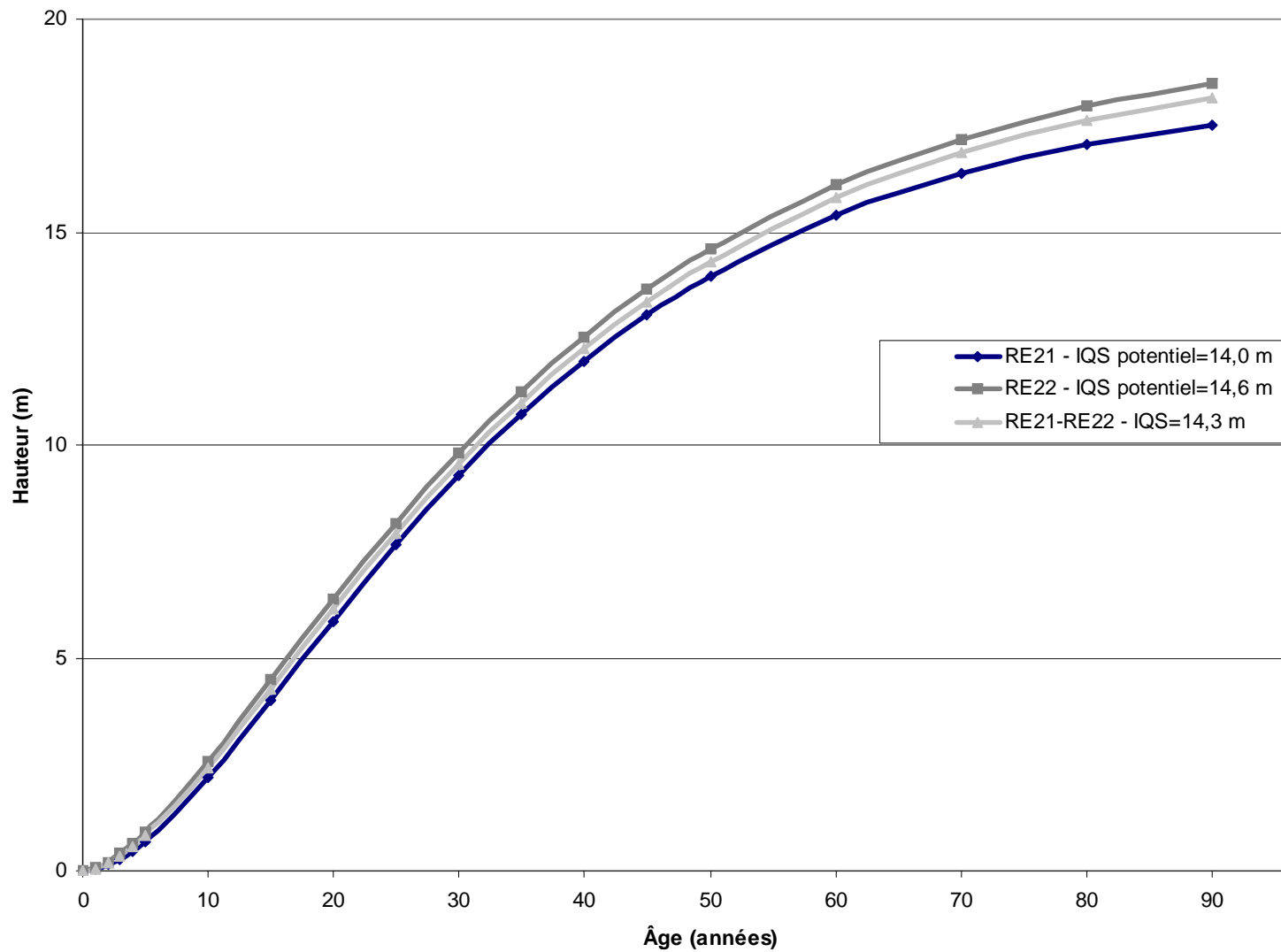


Figure 10 - Courbes de la hauteur en fonction de l'âge (IQSa) pour les pin gris, sur les types écologiques RE21-RE22 regroupés.

Il est important de noter que ces regroupements sont effectués sur la base de la comparaison des courbes, et non sur la comparaison des IQS (hauteur à 50 ans). Des types écologiques ayant des IQS pratiquement identiques ne sont pas automatiquement regroupés, puisque les courbes de croissance peuvent être différentes.

3.2.2 ÉPINETTE NOIRE

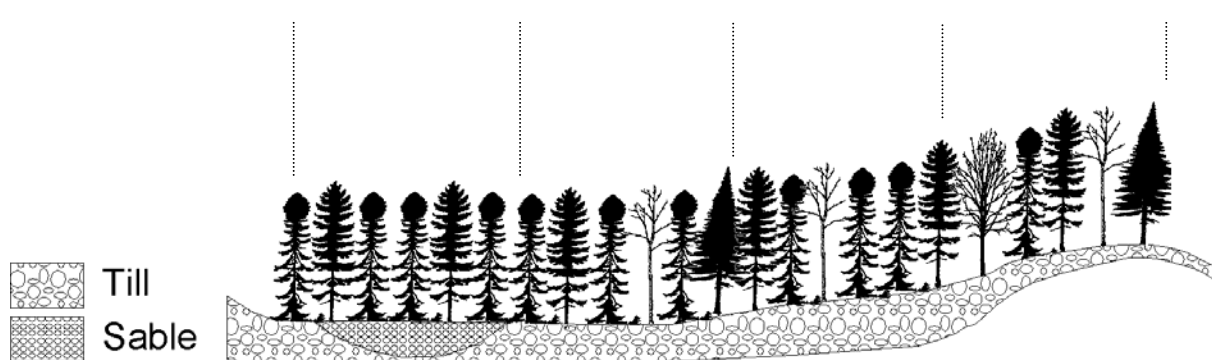
L'analyse des résultats permet de constater que les quatre types écologiques à l'étude diffèrent les uns des autres en ce qui a trait à la croissance en hauteur de l'épinette noire, que les courbes soient ou non corrigées. Pour l'IQSp, les types se classent comme suit, par ordre décroissant de productivité : MS22, RS22, RE21 et RE22. Ce résultat confirme la richesse supérieure des sapinières vis-à-vis des pessières. Notons que les IQSa et IQSp se rapprochent respectivement des IQS de 12 et 15 mètres à 50 ans utilisés par Pothier (1998) dans le manuel d'aménagement (1998).

Lorsque l'on étudie de plus près la différence entre les IQSa et les IQSp, on peut remarquer une différence variant de 0,6 mètre à 2,3 mètres, selon le type écologique. Cette comparaison montre clairement le gain de production qu'il serait possible d'obtenir grâce à un aménagement optimal.

3.2.3 PIN GRIS

Pour sa part, le pin gris nous fournit l'IQSp le plus élevé, 17,7 m à 50 ans pour le type MS22 et un IQSp de 16,8 m à 50 ans pour le type RS22. La supériorité du type MS22 sur les trois autres était prévisible car le type MS22 est reconnu comme étant généralement parmi les plus riches du secteur. Notons cependant que ces deux courbes d'IQSp peuvent être considérées comme statistiquement semblables. Les IQSa et IQSp calculés se comparent tous deux aux IQS de 15 et 18 mètres à 50 utilisés par Pothier (1998) dans le manuel d'aménagement (1998).

En se penchant sur la différence entre les IQSa et les IQSp, on constate que ceux-ci sont fort similaires. Ce phénomène s'explique facilement par l'historique du secteur et par l'écologie du pin gris. En effet, les grands massifs de pin gris de la région ont été très peu perturbés durant leur croissance. La dernière épidémie du Diptrion de Swaine, qui s'attaque au pin gris, remonte au début du siècle, alors que les peuplements étaient très jeunes, et la compétition, autant herbacée que ligneuse, est plutôt rare et peu agressive dans cette région. De plus, le pin gris n'est évidemment pas sujet aux épidémies de TBÉ, contrairement à l'épinette noire. L'étude nous porte donc à croire qu'un aménagement plus intensif pour cette essence se révélerait inutile. Bien entendu, les rendements devront être revus à la baisse si la compétition ou les épidémies devenaient plus importantes dans le futur.



Principales caractéristiques écologiques des types écologiques étudiés				
Type écologique	RE21	RE22	RS22	MS22
Végétation potentielle	Pessière noire à mousse ou éricacées	Pessière noire à mousse ou éricacées	Sapinière à épinette noire	Sapinière à bouleau blanc
Dépôt (code)	Minéral mince à épais (2A, 2BE)	Minéral épais (1A, 1AY)	Minéral épais (1AY, 1A)	Minéral épais (1AY, 1A)
Drainage (classe)	Xérique-mésique (10,20)	Mésique (20, 30)	Mésique (20, 30)	Mésique (20, 30)
Indices de qualité de station potentiels (m)				
Essence				
EPN	12.5	11.5	13.9	14.0
PIG	14.0	14.6	16.8	17.7
Indices de qualité de station actuels (m)				
Essence				
EPN	11.7	10.9	11.7	13.2
PIG	14.0	14.6	16.7	17.6

Figure 11 - Caractéristiques écologiques des types écologiques étudiés.

3.3 Relation diamètre volume (tarif de cubage local)

L'ajustement de l'équation 6 a permis de produire 8 modèles de la hauteur en fonction du dhp. Le tableau 12 montre les paramètres obtenus pour chacun d'entre eux.

Tableau 12 - Valeur des paramètres b_1 et b_2 pour chaque type écologique

Type écologique	n	b_1	Écart-type	b_2	Écart-type
Épinettes					
MS22	15	0,742049964	0,370	0,195684747	0,015
RS22	24	1,186939337	0,371	0,174487692	0,016
RE21	18	1,40109582	0,616	0,180403681	0,035
RE22	25	1,71173437	0,314	0,155737543	0,016
Pin gris					
MS22	24	0,874896505	0,358	0,183712067	0,013
RS22	24	1,461850075	0,289	0,158966136	0,011
RE21	20	0,819755200	0,275	0,205666893	0,015
RE22	24	1,792722249	0,262	0,154383803	0,012

Les hauteurs obtenues pour chacune des classes de diamètre sont ensuite utilisées pour le calcul des volumes pour l'épinette noire et le pin gris. Les volumes produits pour les différents types écologiques répertoriés dans le tableau 13. Les zones ombragées sont celles couvertes par les données provenant des arbres-études. Les valeurs inscrites en dehors de ces zones proviennent d'extrapolations. Elles sont par le fait même à considérer avec une grande précaution.

Tableau 13 – Volume des tiges en fonction du diamètre, par type écologique

Diamètre (cm)	Volume (dm ³ /ti)			
	MS22	RS22	RE21	RE22
Épinette noire				
10	42,7	32,0	24,3	22,9
12	75,7	63,8	51,4	50,9
14	114,0	102,4	84,8	86,5
16	157,6	147,7	124,5	130,1
18	206,4	199,5	170,4	181,4
20	260,6	258,0	222,5	240,7
22	320,0	323,0	280,9	308,0
24	384,9	394,7	345,5	383,3
26	455,3	473,1	416,3	466,7
28	531,1	558,1	493,5	558,2
30	612,4	650,0	577,1	657,9
32	699,3	748,6	667,0	765,8
34	791,7	854,0	763,3	882,0
36	889,8	966,2	866,0	1006,5
38	993,4	1085,3	975,2	1139,4
40	1103,1	1212,2	1091,7	1282,0

Tableau 13 – Volume des tiges en fonction du diamètre, par type écologique (suite)

Diamètre (cm)	Volume (dm ³ /ti)			
	MS22	RS22	RE21	RE22
Pin gris				
10	33,4	24,6	28,5	20,2
12	70,7	57,5	60,7	48,7
14	115,0	98,9	98,2	85,4
16	166,3	149,3	141,1	130,6
18	224,7	208,7	189,3	184,9
20	290,1	277,5	242,8	248,5
22	362,6	355,7	301,5	321,7
24	442,1	443,4	365,6	404,6
26	528,6	540,7	434,9	497,4
28	622,3	647,7	509,4	600,3
30	723,0	764,5	589,3	713,3
32	830,8	891,2	674,4	836,6
34	945,7	1027,7	764,9	970,3
36	1067,8	1174,1	860,6	1114,3
38	1197,0	1330,6	961,7	1268,9
40	1333,4	1497,0	1068,1	1434,0
42	1476,9	1673,4	1179,7	1609,7

Nous pouvons constater les différences de production somme toute assez importantes d'un type écologique à l'autre. Par exemple, en étudiant de plus près les classes de diamètre moyenne de 20 à 30 cm, nous remarquons entre autre une différence appréciable entre les rendements des sapinières (MS22 et RS22) et des pessières (RE21 et RE22), ces dernières produisant sensiblement moins de volume par tige.

3.4 Relation diamètre à hauteur de souche, diamètre à hauteur de poitrine

Les résultats du test de comparaison global (Zar, 1974, *in* Bégin et *al.*, 1990) confirment que la relation entre le dhs et le dhp est différente pour au moins un des types écologiques (tableau 14), ce qui justifie notre choix d'analyser les types écologiques séparément. Les figures 12 et 13 présentent graphiquement les relations dhs en fonction du dhp pour les deux essences.

Tableau 14 - Résultats du test de comparaison global, relation dhs – dhp

Espèces	SCE	SCE _o	n	M	k	F	
Épinette noire	245.202247	209.933212	589	1	4	16.27	**
Pin gris	174.54411	150.717224	472	1	4	12.23	**

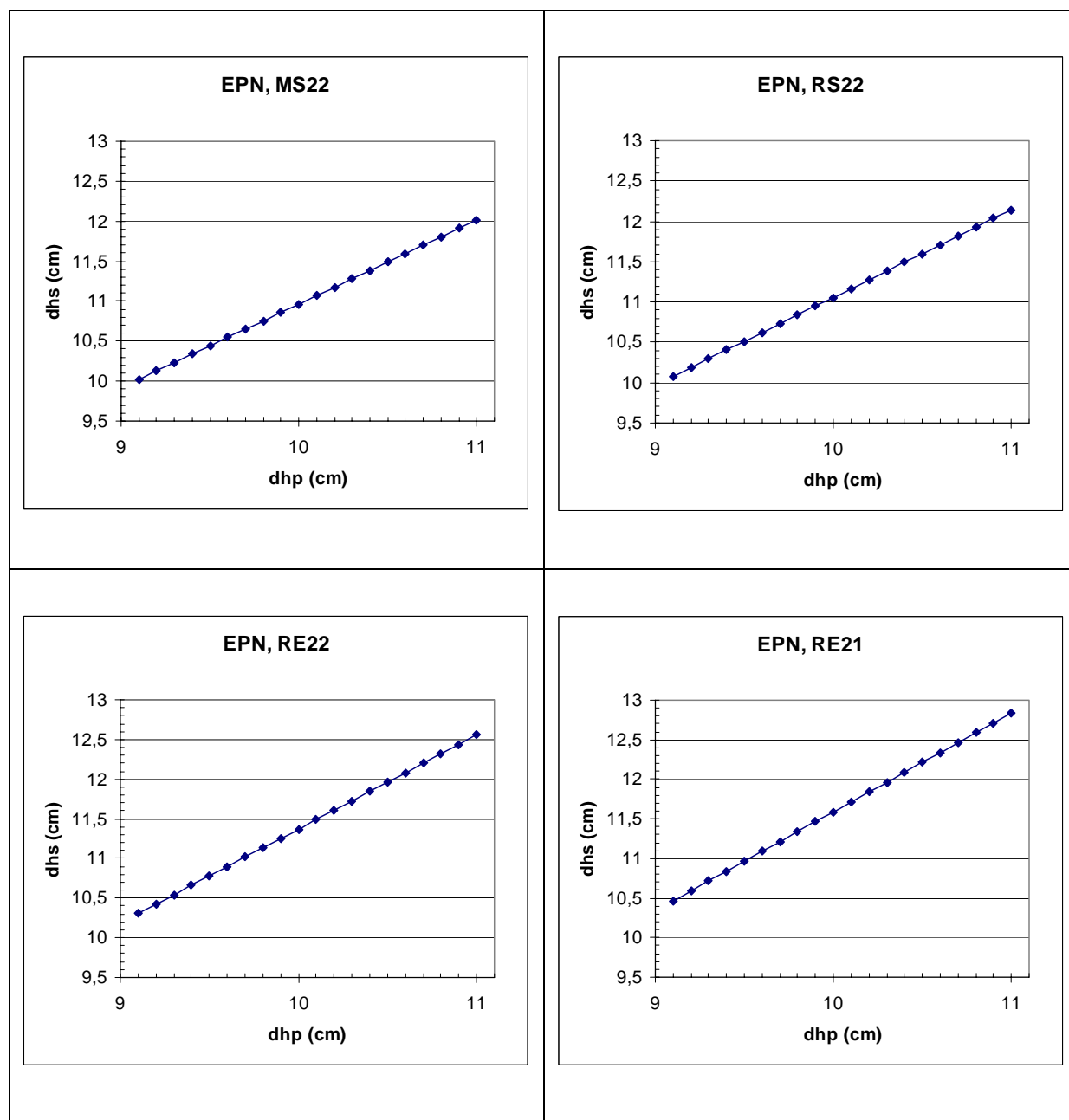


Figure 12 - Valeur du diamètre à hauteur de souche en fonction du diamètre à hauteur de poitrine pour l'épinette noire, par type écologique.

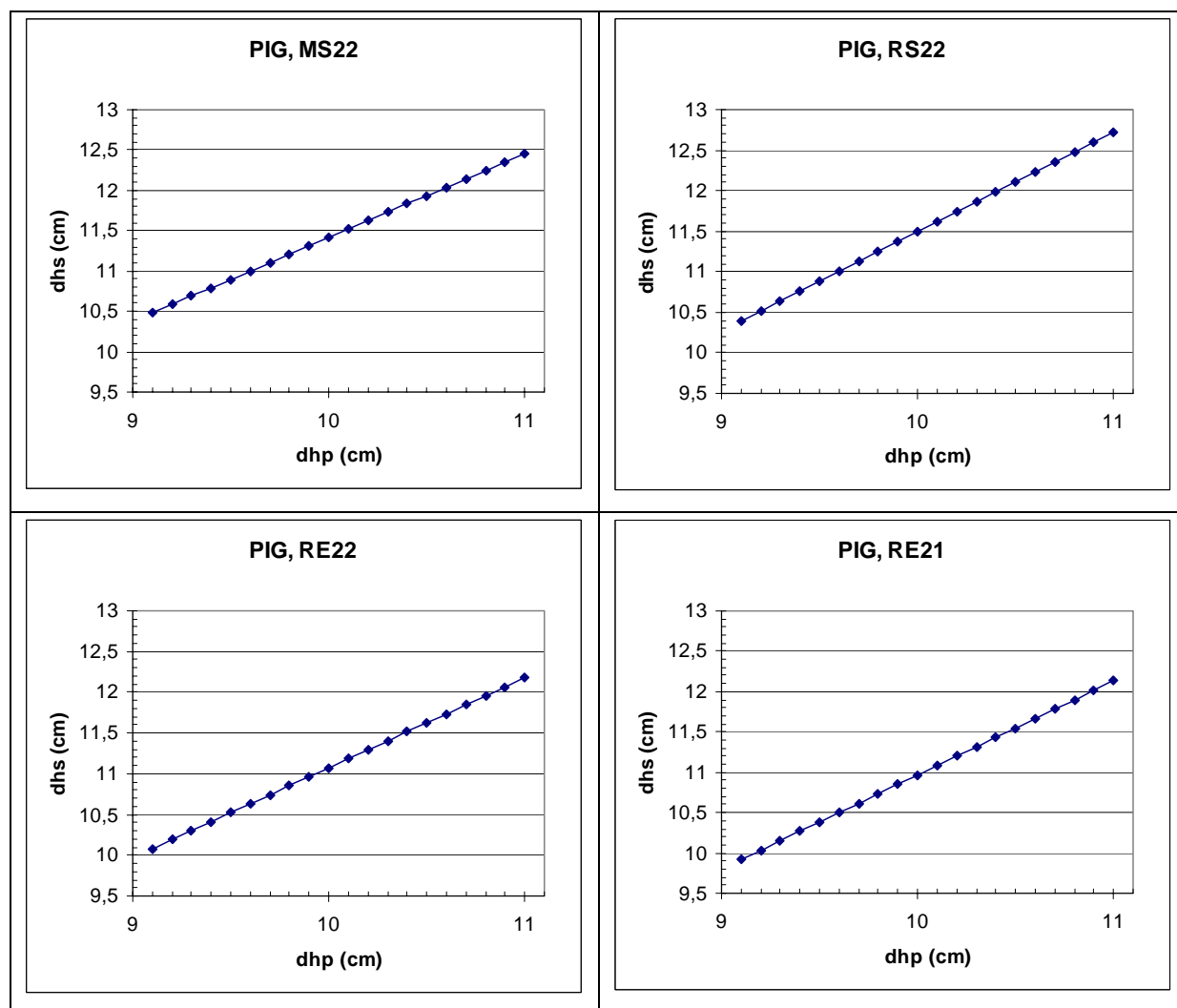


Figure 13 - Valeur du diamètre à hauteur de souche en fonction du diamètre à hauteur de poitrine pour le pin gris, par type écologique.

Tableau 15 - Valeur par type écologique des dhs lorsque le dhp prend la valeur moyenne de 10 cm

	EPN-dhp (cm)	EPN-dhs (cm)	PIG-dhp (cm)	PIG-dhs (cm)
MS22	10	10,96	10	11,42
RS22	10	11,06	10	11,50
RE22	10	11,37	10	11,07
RE21	10	11,59	10	10,97

Après l'étude du tableau 15 et des deux figures précédentes, nous remarquons que les moyennes de dhs sont généralement situées dans la classe de 12 cm. Nous sommes donc en mesure de croire que le défilement dhs-dhp est d'environ une classe de diamètre dans la région, autant pour l'épinette noire que pour le pin gris, lorsque les tiges atteignent des dimensions marchandes.

3.5 Longueurs utilisables

Le tableau 16 présente les résultats obtenus pour chacune des essences, sur les quatre types écologiques. Les valeurs exposées permettent de comparer les longueurs utilisables selon un dmu de 9 cm ou de 8 cm, pour plusieurs classes de dhp.

Tableau 16 - Longueur utilisable en fonction du dhp, par type écologique et selon le diamètre minimum d'utilisation

Diamètre (cm)	Longueur utile (m)							
	MS22		RS22		RE21		RE22	
Épinette noire	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0
10	10,8	11,7	8,6	9,5	5,9	7,0	5,2	7,0
12	11,5	12,4	9,7	10,5	7,2	8,2	6,8	8,2
14	12,2	13,0	10,7	11,5	8,5	9,5	8,4	9,5
16	12,9	13,7	11,8	12,6	9,8	10,7	10,0	10,7
18	13,5	14,3	12,8	13,6	11,1	11,9	11,6	11,9
20	14,2	15,0	13,9	14,6	12,4	13,1	13,2	13,1
22	14,9	15,6	15,0	15,7	13,7	14,3	14,8	14,3
24	15,6	16,3	16,0	16,7	14,9	15,5	16,4	15,5
26	16,3	16,9	17,1	17,8	16,2	16,8	18,0	16,8
28	16,9	17,6	18,1	18,8	17,5	18,0	19,6	18,0
30	17,6	18,2	19,2	19,8	18,8	19,2	21,2	19,2
32	18,3	18,8	20,3	20,9	20,1	20,4	22,8	20,4
34	19,0	19,5	21,3	21,9	21,4	21,6	24,4	21,6
36	19,6	20,1	22,4	22,9	22,7	22,8	26,1	22,8
38	20,3	20,8	23,5	24,0	24,0	24,1	27,7	24,1
40	21,0	21,4	24,5	25,0	25,3	25,3	29,3	25,3
42	21,7	22,1	25,6	26,1	26,5	26,5	30,9	26,5

Tableau 16 - Longueur utilisable en fonction du dhp, par type écologique et selon le diamètre minimum d'utilisation (suite)

Diamètre (cm)	Longueur utile (m)							
	MS22		RS22		RE21		RE22	
Pin gris	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0
10	17,2	17,6	6,9	12,3	7,8	8,7	6,9	7,8
12	17,5	17,9	8,3	13,2	9,0	9,9	8,3	9,1
14	17,7	18,2	9,7	14,2	10,2	11,0	9,7	10,5
16	18,0	18,4	11,1	15,1	11,4	12,1	11,1	11,9
18	18,3	18,7	12,6	16,0	12,6	13,2	12,6	13,2
20	18,5	19,0	14,0	16,9	13,8	14,4	14,0	14,6
22	18,8	19,2	15,4	17,9	15,0	15,5	15,4	15,9
24	19,1	19,5	16,8	18,8	16,2	16,6	16,8	17,3
26	19,3	19,8	18,3	19,7	17,4	17,8	18,3	18,7
28	19,6	20,0	19,7	20,7	18,7	18,9	19,7	20,0
30	19,9	20,3	21,1	21,6	19,9	20,0	21,1	21,4
32	20,1	20,6	22,6	22,5	21,1	21,2	22,6	22,7
34	20,4	20,8	24,0	23,5	22,3	22,3	24,0	24,1
36	20,7	21,1	25,4	24,4	23,5	23,4	25,4	25,5
38	20,9	21,4	26,8	25,3	24,7	24,6	26,8	26,8
40	21,2	21,6	28,3	26,2	25,9	25,7	28,3	28,2
42	21,5	21,9	29,7	27,2	27,1	26,8	29,7	29,5

Encore ici, les zones ombragées sont celles couvertes par les données provenant des arbres-études. Les valeurs inscrites en dehors de ces zones proviennent d'extrapolations. Elles sont par le fait même à considérer avec une grande précaution. De façon générale, pour les quatre types écologiques confondus, un diamètre minimum d'utilisation de 8,0 cm au fin bout procurerait une longueur utile plus grande d'environ 75 cm pour l'épinette noire ($14.51 - 13.74 = 0,77$) et d'environ 50 cm pour le pin gris ($17.29 - 16.77 = 0.52$). Il est intéressant de noter que cet écart diminue avec l'augmentation du diamètre des tiges. Cette diminution est prévisible puisqu'un plafonnement de la croissance en hauteur est tout à fait normal avec le vieillissement des tiges.

4. Conclusion

Les IQS obtenus démontrent des différences significatives de croissance non seulement d'un type écologique à l'autre, mais aussi d'une essence à l'autre sur un même type. Ces résultats sont corroborés par plusieurs études passées (Ménard et *al.* 1999, Bédard 1998, Grondin et *al.* 1993 et Saucier 1992). Il est donc très important de considérer le potentiel de chaque espèce sur chaque station lorsque l'on veut modéliser la croissance d'un peuplement et lors des décisions d'aménagement. Les comparaisons des courbes hauteur-âge ont permis le regroupement de deux types écologiques ayant une croissance potentielle semblable pour le pin gris.

Il est important de se souvenir qu'il s'agit d'indices de qualité de station potentiels, d'où les facteurs externes d'oppression et de tordeuse des bourgeons de l'épinette ont été retirés. Ce potentiel ne pourra être atteint que si l'on pratique des interventions sylvicoles permettant de réduire au maximum les pertes de croissance (Bédard, 1998). Ces IQS se veulent des objectifs à atteindre et non le reflet de la croissance actuelle des forêts, celle-ci étant représentée par les IQSa. Particulièrement dans le cas de l'épinette noire, l'aménagiste devrait utiliser ces IQSp avec soin lors du calcul de possibilité, dans les secteurs d'aménagement intensifs seulement. Notons aussi que ces IQSp, étant donné leur provenance, peuvent être extrapolés au niveau de la sous-région écologique, mais doivent être utilisés avec parcimonie à l'extérieur de ces limites.

Les IQSp se révéleront fort probablement impossibles à atteindre, même grâce à un aménagement intensif. En effet, il est peu probable que l'aménagiste soit en mesure de traiter l'ensemble du territoire et encore moins d'éliminer complètement les pertes dues à la tbé. L'utilité de cette étude ne réside pas dans cette utopie. Elle permet aux intervenants d'identifier les secteurs où une amélioration de rendement est possible et de cibler ceux où il est judicieux d'investir.

Les études portant sur le volume, le défilement et les longueurs utilisables ont aussi démontrées l'importance de traiter les types écologiques séparément, étant donné les différences de production rencontrées sur chacun des sites.

Notons en terminant que la qualité des méthodes utilisées pour le calcul des IQS potentiels a été démontrée à nouveau. Ces méthodes pourront facilement être utilisées dans le même but sur d'autres territoires, tout comme les travaux concernant les études de volume, la relation dhs-dhp et les longueurs utilisables.

5. Références

- Bédard, S. 1998.** L'estimation de la croissance potentielle des stations forestières basée sur l'information écologique : exemple du sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'Est-du-Québec. Mémoire de maîtrise, Fac. de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec, 46 p.
- Bégin, J., L. Bélanger, J. Pfalzgraf et M. Pineau. 1990.** Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec. For. Chr. August, 377-387.
- Bégin, J. et F. Raulier, 1995.** Comparaison de différentes approches, modèles et tailles d'échantillon pour l'établissement de relation hauteur-diamètre locales. Can. J. For. Res. 25(8): 1303-1312.
- Bégin, J. 1998.** Anatige. Programme de compilation des données du logiciel Windendro. Fac. de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec.
- Blais, M. J. 1995.** Les indices de qualité de station. Fac. de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec, 16 p.
- Carmean, W. H. 1975.** Forest site quality evaluation in the United States. Adv. Agron. 27 : 209-269.
- Dyer, M. E. et R.L. Bailey. 1987.** A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. For. Sci. 33 : 3-13.
- Gerardin, V. 1989.** Introduction à l'écologie forestière. Formation continue, OIFQ, L'aubelle, no 73, octobre 1989, 16 p.
- Groncin P., J. Blouin, P et P. Racine. 1998.** Rapport de classification écologique de sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Direction des inventaires forestiers. Québec, 220 p.
- Groncin P., J. Laroche, P. Tardif et J.P. Saucier. 1993.** Utilisation des modèles de croissance dans la définition des stations forestières. Les modèles de croissance et leurs utilisations. Ung. C. H. éd., Service canadien des forêts, Québec, 204-218.
- Lapointe, C. 1997.** Guide d'utilisation du programme FITNLINM.SAS. 8 p.

Ministère des Ressources Naturelles, 1998b. Manuel d'aménagement forestier. MRN, Québec, 122 p.

Newnham, R. M. 1988. A modification of the Ek-Payandeh nonlinear regression model for site index curves. Can. J. For. Res. 18 : 115-120.

Perron, J.Y., 1985. Tarif de cubage général, volume marchand brut. Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, gouv. du Québec. 55 p.

Pothier, D et F. Savard, 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. MRN, direction de la recherche forestière, Gouv. du Québec, 183 p.

Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. J. Exp. Bot. 10 : 290-300.

Riopel, M. 1998. Potentiel de croissance de la haute régénération pré-établie de sapin baumier : une analyse dendrométrique au niveau de la tige et du peuplement. Mémoire de maîtrise, Fac. de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec.

Saucier, J. P. 1992. Croissance et rendement en fonction des types écologiques photo-interprétés de la région écologique 5a-Basses et moyennes Appalaches. Mémoire de maîtrise, Fac. de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec, 189 p.

Spurr, S. H. et B. V. Barnes. 1980. Forest ecology. 3^e édition, John Wiley & Sons, New York. 571p.

ANNEXES

ANNEXE 1

Relations hauteur-diamètre

Valeur des paramètres b_1 et b_2 .

Type écologique	n	b_1	Écart-type	b_2	Écart-type
Épinettes					
MS22	15	0,742049964	0,370403058	0,195684747	0,015239037
RS22	24	1,186939337	0,370984584	0,174487692	0,016219743
RE21	18	1,40109582	0,615542722	0,180403681	0,034564094
RE22	25	1,71173437	0,314078738	0,155737543	0,015856756
Pin gris					
MS22	24	0,874896505	0,357967829	0,183712067	0,012530386
RS22	24	1,461850075	0,289120555	0,158966136	0,011238359
RE21	20	0,819755200	0,274982229	0,205666893	0,015343097
RE22	24	1,792722249	0,262468031	0,154383803	0,012170464

ANNEXE 2

Test de sous-ensemble de paramètres, relation dhs-dhp

Test de sous-ensemble de paramètres (Chatterjee et Price, 1977; in: Bégin et al., 1990), pour la relation dhs-dhp. Le test vérifie l'utilité d'ajouter une variable de second degré (dhp²) au modèle.

Modèle complet

[1] $dhs = b_0 + b_1 dhp + b_2 dhp^2$
 où dhs : diamètre à hauteur de souche
 dhp : diamètre à hauteur de poitrine

Modèle réduit

[2] $dhs = b_0 + b_1 dhp$
 où dhs : diamètre à hauteur de souche
 dhp : diamètre à hauteur de poitrine

[3] $F = \frac{(SCE_{mr} - SCE_{mc}) / (p - q)}{SCE_{mc} / (n - p - 1)}$

où SCE_{mr} : somme des carrés des résidus du modèle réduit

SCE_{mc} : somme des carrés des résidus du modèle complet

n : nombre d'observations

p : nombre de variables indépendantes dans le modèle complet

q : nombre de variables indépendantes dans le modèle réduit

Résultats

Type écologique	SCE_{mr}	SCE_{mc}	n	p	Q	F	
Épinette noire							
MS22	28.8899542	28.8317278	132	2	1	0.26051866	n.s.
RS22	51.7078957	51.5412176	177	2	1	0.56269514	n.s.
RE21	88.9613278	88.9610134	111	2	1	0.00038171	n.s.
RE22	40.3740346	40.3527475	169	2	1	0.08756914	n.s.
Pin gris							
MS22	55.5271692	55.5231181	76	2	1	0.00532623	n.s.
RS22	55.6944943	55.6478548	102	2	1	0.0829737	n.s.
RE21	22.5780352	22.5499351	148	2	1	0.18068859	n.s.
RE22	16.9175253	16.9161774	146	2	1	0.01139415	n.s.

Les F calculés sont inférieurs à ceux des tables ($F_{0,05, 1, n-3}$ environ 4 pour chacun des tests). Donc on doit conclure que l'ajout de la variable diamètre à hauteur de poitrine au carré n'apporte pas significativement à la précision de l'explication de la variable explicative; le diamètre à hauteur de souche. Le modèle réduit, qui est une relation linéaire de premier degré, est donc celui adopté.

ANNEXE 3

Test de sous-ensemble de paramètres, relation longueur utilisable dhp

Test de sous-ensemble de paramètres (Chatterjee et Price, 1977; in: Bégin et al., 1990). Le test vérifie l'utilité d'ajouter une variable de second degré (dhp^2) au modèle.

Modèle complet

[4] $L_{\text{utile}} = b_0 + b_1 \text{ dhp} + b_2 \text{ dhp}^2$

où L_{utile} : longueur utile
 dhp : diamètre à hauteur de poitrine

Modèle réduit

[5] $L_{\text{utile}} = b_0 + b_1 \text{ dhp}$

où L_{utile} : longueur utile
 dhp : diamètre à hauteur de poitrine

Type écologique	SCE_{mr}	SCE_{mc}	n	P	q	F	
Épinette noire							
MS22	40,1494035	37,3360034	15	2	1	0,90424247	n.s.
RS22	65,1590327	65,0434889	24	2	1	0,03730457	n.s.
RE21	30,2915222	21,857646	18	2	1	5,78782102	**
RE22	46,6896492	43,65225858	125	2	1	1,53079348	n.s.
Pin gris							
MS22	50,0046194	42,90340236	24	2	1	3,47584456	n.s.
RS22	30,33026569	29,4278119	24	2	1	0,64400066	n.s.
RE21	17,71277832	17,63408627	20	2	1	0,07586244	n.s.
RE22	24,81840949	21,5812697	24	2	1	3,14995073	n.s.

Les F calculés sont généralement inférieurs à ceux des tables ($F_{0,05, 1, n-3}$ environ 4,4 pour chacun des tests). À l'exception de la relation pour l'épinette dans RE21 l'ajout du dhp^2 n'apporte pas significativement à l'explication de la longueur utile. Le modèle réduit, qui est une relation linéaire de premier degré, est donc celui adopté pour toutes les situations en raison de l'allure générale de la courbe avec le dhp^2 .