
Modélisation de la croissance en diamètre des essences principales du sud-ouest du Québec

(Projet 0901 1570)

Benoit Ménard, ing.f.
Claude Lapointe, statisticien, M.Sc.
Steve Bédard, ing.f., M.Sc.



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

et

Jean-Pierre Saucier, ing.f., D.Sc.
Zoran Majcen, ing.f., PHD.
Ministère des Ressources naturelles du Québec

Rapport présenté à la :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec

Avril 1999

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX	II
LISTE DES FIGURES	II
AVANT-PROPOS	III
INTRODUCTION	IV
1. MATÉRIEL ET MÉTHODES	1
1.1 LOCALISATION ET DESCRIPTION DU TERRITOIRE	1
1.2 PLACETTES ÉCHANTILLONS	3
1.3 ÉTUDES D'ARBRES	4
1.4 TRAITEMENT DES DONNÉES	6
1.4.1 Surface terrière et nombre de tiges	6
1.4.2 Structure et composition.....	6
1.5 ÉTUDE DE L'ACCROISSEMENT DIAMÉTRAL.....	7
1.5.1 Types de modèles généralement utilisés.....	7
1.5.2 Modèle théorique (fonction de base).....	8
1.5.3 Terme de compétition	9
1.5.4 Influence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la croissance du sapin baumier ...	11
2. RÉSULTATS	13
2.1 COEFFICIENTS DES ÉQUATIONS.....	13
2.1.1 Coefficients des résultats pour le sapin, avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette.....	18
2.2 VALIDATION	19
2.2.1 Méthode de validation	19
2.2.2 Résultats de validation	19
2.2.3 Résultats de validation pour le sapin, avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette	28
CONCLUSION	30
RÉFÉRENCES	31
ANNEXE A	34
ANNEXE B	36
ANNEXE C	39
ANNEXE D	42
ANNEXE E	43

Liste des tableaux

Tableau 1 -	Nombre total d'études d'arbres.....	4
Tableau 2 -	Statistiques descriptives des principales variables observées pour les études d'arbres complètes.....	5
Tableau 3 -	Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (BOJ, ERS)	6
Tableau 4 -	Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (BOP, CHR, ERA, FRN, HEG, PET, PIB, PRU, SAB, THO, TIA).....	6
Tableau 5 -	Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (toutes les essences).....	6
Tableau 6 -	Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables de site	14
Tableau 7 -	Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables relatives à la compétition.....	16
Tableau 8 -	Précision (RMSE) et biais (ME) des estimations chez les tiges conservées pour la validation.....	27
Tableau 9 -	Précision (RMSE) et biais (ME) des estimations chez les tiges conservées pour la validation, sapin baumier avec la Tbé.....	29

Liste des figures

Figure 1 -	Localisation des aires d'études.....	1
Figure 2 -	Variation des paramètres du modèle d'accroissement	10
Figure 3 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le bouleau jaune	20
Figure 4 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le bouleau blanc et le chêne rouge	21
Figure 5 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour l'érable argenté et l'érable à sucre	22
Figure 6 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le frêne noir et le hêtre à grandes feuilles	23
Figure 7 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour peuplier faux-tremble et le pin blanc	24
Figure 8 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour la pruche du Canada et le sapin baumier.....	25
Figure 9 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le thuya occidental et le tilleul américain.....	26
Figure 10 -	Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le sapin baumier avec la Tbé.....	28

Avant-propos

Le présent rapport complète et remplace le rapport partiel « Modélisation de la croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune (projet 0901 1570) » présenté à la direction de la recherche en juillet 1998.

Ce projet a été rendu possible grâce au financement fourni par le ministère des Ressources naturelles du Québec (Fonds forestier). Nous tenons à remercier monsieur Zoran Majcen, ing.f., Ph.D., qui a gracieusement fourni les données nécessaires à l'étude. Nous remercions aussi monsieur Laurier Groleau, tech.for. et monsieur Pierrot Boulay, tech.for., pour leur collaboration.

Introduction

La Direction de la gestion des Stocks du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ), plus particulièrement le Service de l'évaluation de l'offre (SEO), développe un modèle d'actualisation des placettes-échantillons temporaires (Modélisa) à partir des placettes-échantillons permanentes (PEP) du Service des inventaires forestiers (SIF) du MRNQ. L'inventaire forestier étant une activité très coûteuse, l'actualisation des anciennes placettes temporaires s'avère une option intéressante pour contribuer à optimiser les campagnes d'inventaire et obtenir un nombre suffisant de placettes-échantillons pour permettre un calcul relativement précis du bois sur pied disponible.

Pour établir un modèle théorique de l'accroissement en diamètre, le groupe de travail sur l'actualisation des placettes temporaires du SEO a besoin d'une étude dendrométrique portant sur la croissance des espèces feuillues nobles et des résineux que l'on peut retrouver en mélange avec ceux-ci. L'objectif général de ce projet est d'améliorer la connaissance de la croissance et du dynamisme des principales essences de la forêt feuillue québécoise et d'exprimer ces phénomènes à l'aide de modèles mathématiques. Plus spécifiquement, les objectifs étaient la calibration d'équations d'accroissement potentiel et réel pour les feuillus et pour les résineux d'importance dans le sud-ouest québécois. À l'origine, le projet visait l'étude de sept essences, mais, étant donné les ressources disponibles et la disponibilité des données terrain, nous avons été en mesure de produire des résultats intéressants pour un total de treize essences forestières, soit le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge, l'érable argenté, l'érable à sucre, le frêne noir, le hêtre à grandes feuilles, le peuplier faux-tremble, le pin blanc, la pruche du Canada, le sapin baumier, le thuya occidental et le tilleul d'Amérique. Toutes ces essences se retrouvent sur une vaste gamme de stations, dans divers types de peuplements.

1. Matériel et méthodes

1.1 LOCALISATION ET DESCRIPTION DU TERRITOIRE

Les données de base proviennent des travaux de terrain de Majcen et *al.* (1977 à 1991). Ces travaux ont été effectués dans le sud-ouest du Québec dans 17 secteurs forestiers : lac Labrador (LL), lac Doyley (LD), lac Isabelle (LI), lac Rond (LR), Lac Windigo (LW), petit lac Cayamant (LC), lac Findlay (LF), lac Usborne (LU), lac du Plomb (LP), lac Normandeu (LN), lac la Blanche (LB), Argenteuil (A), lac Écho (LE), lac du Sourd (LS), lac Murphy (LM), lac Gagnon (LG) et Sainte-Véronique (SV). Chacun de ces secteurs est décrit en détail dans les publications de Majcen et *al.* (1977 à 1991). Nous nous en tiendrons donc à une description plus générale, au niveau des paysages régionaux (Robitaille et Saucier, 1998) dont ils font partie. Les 17 secteurs se retrouvent sur 10 unités de paysages régionaux. Les descriptions complètes de ceux-ci se trouvent dans l'ouvrage de Robitaille et Saucier (1998). Nous ne ferons ici qu'un bref résumé de ceux qui nous occupent.

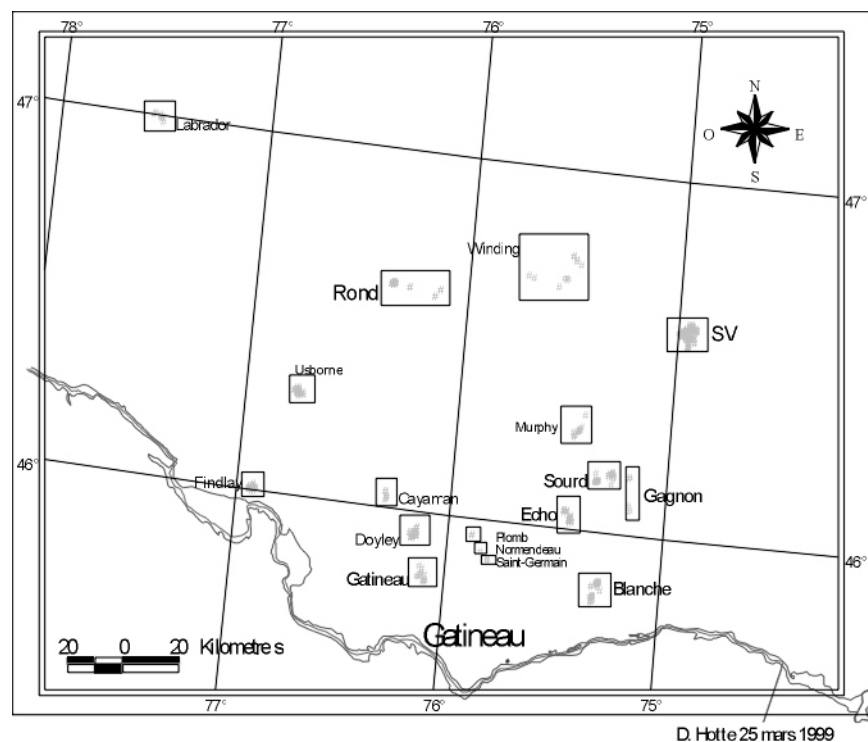


Figure 1 - Localisation des aires d'études

Les secteurs du lac Doyley (LD) et du lac Isabelle (LI) se retrouvent dans le paysage régional du lac Sinclair (unité 4). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul. Elle est située au nord-ouest de la ville de Hull. Le relief est plutôt accidenté. Le substrat rocheux est essentiellement formé de roches cristallines métamorphiques. Les surfaces rocheuses occupent plus de 40 % de la superficie et le till mince 31 %. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 240 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 900 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (75 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à tilleul.

Les secteurs du lac du Plomb (LP), du lac Normandeau (LN) et du lac La Blanche (LB) se retrouvent dans le paysage régional du lac La Blanche (unité 6). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul. Elle est située à quelques km au nord de la rivière des Outaouais. Le relief est accidenté et morcelé. Le substrat rocheux est composé de roches cristallines métamorphiques. Le roc affleure sur 42 % du territoire et le till mince couvre 2 % de la surface. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 223 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 900 à 1000 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (79 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à tilleul.

Le secteur du lac Usborne (LU) se retrouve dans le paysage régional du lac Lynch (unité 19). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à 125 km au nord-ouest de la ville de Hull. Le relief est peu accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé de roches métamorphiques. Le till mince couvre 53 % du territoire et le till épais seulement 16 % de la superficie. Des épandages fluvioglaciaires occupent 10 % de la surface. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 304 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 900 à 1000 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (81 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune.

Les secteurs du lac Petit Cayamant (LC) et du lac Findlay (LF) se retrouvent dans le paysage régional du lac Dumont (unité 20). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à 75 km au nord-ouest de la ville de Hull. Le relief est modérément accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé de roches métamorphiques. Le roc affleure sur 36 % du territoire, le till mince couvre 28 % du territoire et le till épais seulement 10 % de la superficie. Des épandages fluvioglaciaires occupent 13 % de la surface. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 264 m, une température moyenne de 2,5°C à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 800 à 1000 mm (2 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (82 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune, accompagnée de l'érablière à tilleul.

Les secteurs du lac Rond (LR) et du lac Windigo (LW) se retrouvent dans le paysage régional de Mont-Laurier (unité 21). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à 125 km au nord de la ville de Hull. Le relief est peu accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé de roches métamorphiques. Le till mince couvre 32 % du territoire et le till épais 20 % de la superficie. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 288 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 900 à 1000 mm (25 à 30 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (80 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune.

Les secteurs du lac Écho (LE), du lac du Sourd (LS) et du lac Murphy (LM) se retrouvent dans le paysage régional du lac du Poisson Blanc (unité 22). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à 70 km au nord de la ville de Hull. Le relief est accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline, constitué de roches métamorphiques. Le roc affleure sur 20 % du territoire et le till mince couvre 44 % de la surface et des épandages fluvioglaciaires occupent 14% de la surface. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 300 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 1000 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (80 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune ou l'érablière à tilleul.

Le secteur du lac Gagnon (LG) se retrouve dans le paysage régional du lac Simon (unité 23). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à environ 100 km au nord-ouest de la ville de Montréal. Le relief est plutôt accidenté et morcelé. Le substrat rocheux est de nature cristalline, principalement composé de roches métamorphiques. Le till mince couvre 43 % du territoire et

le till épais seulement 13 % de la superficie. Des épandages fluvioglaciaires occupent 13 % de la surface. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 275 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 1 000 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (84 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune ou l'érablière à tilleul.

Le secteur de Sainte-Véronique (SV) se retrouve dans le paysage régional du Nomingue (unité 24). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à environ 125 km au nord-ouest de la ville de Montréal. Le relief est accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé de roches ignées et métamorphiques. Le till mince couvre 39 % du territoire et le till épais 32 % de la superficie. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 275 m, une température moyenne de 2,5 à 5,0°C, une précipitation annuelle moyenne de 1000 à 1100 mm (25 à 30 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (82 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune.

Le secteur d'Argenteuil (A) se retrouve dans le paysage régional de Val-David (unité 26). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Elle est située à environ 60 km au nord de la ville de Montréal. Le relief est plutôt accidenté et morcelé. Le substrat rocheux est de nature cristalline. Le till mince couvre 40 % du territoire et le till épais 29 % de la superficie. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 377 m, une température moyenne de 2,5°C, une précipitation annuelle moyenne de 900 à 1 200 mm (25 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (87 %). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune.

Le secteur du lac Labrador (LL) se retrouve dans le paysage régional du lac Notawassi (unité 46). L'unité fait partie du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune. Elle est située à environ 60 km au nord de la ville de Mont-Laurier. Le relief est modérément accidenté. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé surtout de roches métamorphiques. Les affleurements rocheux occupent 24 % de la superficie. Le till mince 30 % et le till épais 21 %. L'unité est caractérisée par une altitude moyenne de 364 m, une température moyenne de 2,5 °C, une précipitation annuelle moyenne de 1 000 mm (25 à 30 % en neige) et par un régime hydrique majoritairement mésique (87 %). La végétation potentielle des sites mésiques est la bétulaie jaune à sapin et érable à sucre.

1.2 PLACETTES ÉCHANTILLONS

Les données de base proviennent des travaux de terrain de Majcen *et al.* (1977 à 1991) et nous reprenons ici brièvement la méthodologie déjà décrite en détails dans ces publications. Ces données ont été recueillies dans le but de connaître principalement la composition, la structure et le rendement de divers groupements forestiers de la forêt feuillue québécoise. Les dispositifs d'étude de forme rectangulaire sont composés de placettes-échantillons de 0,1ha ou de 0,25 ha. Les placettes de 0,1 ha sont réunies en grappe de cinq pour former un ensemble ayant une surface de 0,5 ha (50 sur 100 m). Les placettes de 0,25 ha font partie d'une grappe de huit placettes d'une superficie de 2 ha (100 m X 200 m).

Les tiges ayant un diamètre supérieur à 1 cm ont été dénombrées par essence et par classe de diamètre à l'intérieur des placettes de 0,1 ou 0,25 ha. La hauteur totale, le diamètre à 1,30 m au dessus du sol (DHP), l'âge, le temps de passage, l'accroissement par décennie à partir du cœur, l'accroissement de la dernière décennie et l'épaisseur de l'écorce ont été mesurés à 1,30 m au dessus du sol pour toutes les tiges de 9,1 cm et plus au DHP dans le premier type de placette (0,1 ha).

1.3 ÉTUDES D'ARBRES

L'âge, le temps de passage et l'accroissement ont été mesurés sur des carottes dendrométriques prélevées à la tarière de Pressler. Dans le cas où il n'était pas possible d'identifier le cœur avec certitude, seulement la longueur de la dernière décennie et le temps de passage étaient mesurés sur les carottes. Les hauteurs ont été mesurées à l'aide d'un dendromètre *Suunto* tandis que l'épaisseur de l'écorce a été estimée à l'aide d'une jauge d'écorce. Des relevés de végétation et de sol complètent également les relevés dendrométriques et sont décrits en détails dans Majcen et al. (1978 à 1988).

Les données des études d'arbres ont été vérifiées et ajustées lors des travaux de Majcen et al. (1978 à 1988). Un ajustement a dû être fait en ce qui concerne la longueur de chacune des décennies mesurées sur les carottes de sondage. En effet, dans le cas d'arbres non cylindriques, lorsqu'on additionne les longueurs des décennies, il arrive que le total ne corresponde pas au diamètre de l'arbre. L'ajustement consiste à ajouter ou à soustraire, à chaque décennie, la partie de la différence entre le total des longueurs des décennies et le diamètre proportionnellement à la longueur de chacune. Notons que les données, des mesures de rayons à l'origine, ont été transposées en mesures de diamètre lors de cette étape. Pour obtenir les accroissements annuels requis dans le cadre de l'étude, l'accroissement décennal est simplement divisé par dix.

Il est important ici de préciser que le présent rapport porte sur une étude qui s'est étendue sur deux ans. La méthode et la programmation requises pour produire les modèles ont été développées lors de la première année. Les modèles pour le bouleau jaune et l'érable à sucre ont aussi été conçus à cette période, alors que les modèles concernant les autres essences ont pour leur part été élaborés durant la deuxième années. Comme les données utilisées diffèrent parfois (à cause des placettes retenues selon l'essence modélisée), le bouleau jaune et l'érable à sucre sont parfois décrits séparément dans les tableaux .

Après la récupération et la vérification des données nous avons retenu 17697 études d'arbres dont 12238 présentent des données d'accroissements par décennies et la mesure de la hauteur totale (études d'arbres complètes) et ce, dans 196 placettes (Tableaux 1 et 2). Les études d'arbres proviennent de plusieurs associations. Le détail des études d'arbres par association est disponible à l'annexe C.

Tableau 1 - Nombre total d'études d'arbres.

Essence	Études partielles	Études complètes	Nb. Placettes
BOJ	1 818	1 045	58
BOP	141	118	5
CHR	1063	841	28
ERA	61	51	1
ERS	9 313	6 527	124
FRN	211	113	5
HEG	1399	899	49
PET	376	286	6
PIB	335	174	11
PRU	1215	880	14
SAB	1169	991	28
THO	294	127	8
TIA	302	186	13

Tableau 2 - Statistiques descriptives des principales variables observées pour les études d'arbres complètes

Essence	N	Variable	Minimum	Maximum	Moyenne
BOJ	1045	Hauteur (m)	8,2	32,0	18,5
	1045	DHP (cm)	9,1	66,4	25,5
	1045	Âge	30	254	81,6
BOP	115	Hauteur (m)	7,9	24,0	18,9
	118	DHP (cm)	9,1	37,1	19,7
	118	Âge	31	137	59,8
CHR	808	Hauteur (m)	7,0	28,0	17,2
	841	DHP (cm)	9,1	64,3	25,8
	841	Âge	31	179	74,7
ERA	51	Hauteur (m)	10,0	22,0	18,1
	51	DHP (cm)	14,0	35,1	24,4
	51	Âge	26	64	46,1
ERS	6527	Hauteur (m)	7,0	36	17,9
	6527	DHP (cm)	8,9	71,1	21,6
	6527	Âge	23	260	71,7
FRN	110	Hauteur (m)	10,0	23,5	16,0
	113	DHP (cm)	9,0	41,8	18,2
	113	Âge	27	270	95,2
HEG	862	Hauteur (m)	7,5	27,4	18,3
	899	DHP (cm)	9,1	52,5	21,8
	899	Âge	24	195	81,3
PET	283	Hauteur (m)	12,0	31,0	21,9
	286	DHP (cm)	9,4	53,4	26,7
	286	Âge	36	82	58,5
PIB	171	Hauteur (m)	4,9	26,8	18,0
	174	DHP (cm)	10,1	56,0	27,6
	174	Âge	20	152	66,5
PRU	859	Hauteur (m)	4,0	31,0	16,3
	880	DHP (cm)	9,1	63,5	28,1
	880	Âge	31	316	143,6
SAB	979	Hauteur (m)	4,5	25,0	14,7
	991	DHP (cm)	9,0	40,5	17,3
	991	Âge	24	134	55,0
THO	122	Hauteur (m)	6,0	20,1	12,9
	127	DHP (cm)	9,4	52,8	21,5
	127	Âge	39	234	93,8
TIA	183	Hauteur (m)	10,4	37,0	22,8
	186	DHP (cm)	10,4	52,6	27,7
	186	Âge	19	144	60,5

1.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

1.4.1 Surface terrière et nombre de tiges

La surface terrière marchande et le nombre de tige à l'hectare ont été calculés pour chaque placette. Le tableau 4 présente les résultats obtenus pour l'ensemble des placettes étudiées. Ces résultats montrent que malgré la diversité des peuplements échantillonnés, ceux-ci sont tout de même de densité relativement élevée et reflètent l'état de peuplements peu perturbés.

Tableau 3 - Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (BOJ, ERS)

Variable	Nb. placettes	Min	Max	Moyenne
Surface terrière (m ² /ha)	142	13,2	43,5	26,9
Nombre de tiges (n/ha)	142	310	1044	536,8

Tableau 4 - Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (BOP, CHR, ERA, FRN, HEG, PET, PIB, PRU, SAB, THO, TIA)

Variable	Nb. Placettes	Min	Max	Moyenne
Surface terrière (m ² /ha)	149	3,4	44,3	27,0
Nombre de tiges (n/ha)	149	33	1840	614,6

Tableau 5 - Caractéristiques dendrométriques de peuplements échantillonnés (toutes les essences)

Variable	Nb. placettes	Min	Max	Moyenne
Surface terrière (m ² /ha)	196	3,4	44,3	27,2
Nombre de tiges (n/ha)	196	33	1840	585,4

1.4.2 Structure et composition

La structure et la composition des peuplements retenus pour cette étude ont déjà été décrites en détails par Majcen *et al.* 1978 à 1992. Nous exposons ici de façon succincte les principaux résultats obtenus dans ces travaux.

Les peuplements à dominance d'érables à sucres ont généralement une structure inéquienne plus ou moins régulière (Majcen *et al.* 1985). Plusieurs espèces accompagnent l'érable à sucre dans ces peuplements, les principales sont : le bouleau jaune, le hêtre à grande feuille, le chêne rouge, l'érable rouge, le tilleul d'Amérique et le frêne d'Amérique. Lorsque les espèces d'ombre dominant, la distribution des tiges se rapproche généralement de celle de Liocourt. Elle se caractérise par un grand nombre de tiges dans les classes de diamètres inférieurs et par une diminution progressive avec l'augmentation du diamètre. Cependant, lorsque l'abondance des espèces peu tolérantes à l'ombre augmente dans le peuplement, les courbes de distribution de l'érable à sucre sont très abruptes avec des coefficients de Liocourt beaucoup plus élevés que dans les érablières. Les essences peu tolérantes ou intolérantes à l'ombre sont distribuées en forme de cloche, caractéristique des peuplements équiennes. On retrouve souvent dans cette situation un peuplement inéquienne composé principalement d'érables en formation sous un peuplement équienne

composé de feuillus intolérants comme le peuplier, ou peu tolérants comme le chêne rouge (Majcen et al. 1989). Le bouleau jaune n'occupe généralement pas une place importante dans la composition des peuplements de feuillus tolérants (Godman et Krefing, 1960). Dans ce type de peuplement, on le retrouve principalement dans les ouvertures, seul ou par petits groupes. Le bouleau jaune ne se retrouve pratiquement jamais en peuplement pur, sauf sur des superficies restreintes à la suite d'une ouverture causée par un chablis, un feu ou une coupe (Godman et Krefing, 1960).

Dans les peuplements mixtes de bouleau jaune et de sapin baumier, le bouleau jaune peut occuper une place importante et domine souvent le couvert principal (Majcen et al. 1984). Les autres principales espèces compagnes sont l'épinette rouge et le thuya. La distribution des tiges de bouleau jaune dans ces peuplements peut prendre la forme d'une courbe de Liocourt aplatie ou d'une branche descendante de la cloche et même d'une cloche typique des peuplements équiennes (Majcen et al., 1984). L'âge du bouleau jaune est très varié et la distribution diamètre-âge donne l'allure de peuplements inéquiennes. La distribution du sapin baumier dans ces peuplements ressemble soit à une courbe abrupte de Liocourt, soit à une branche descendante de la cloche. Les relations diamètre-âge montrent que le sapin peut former des populations équiennes ou inéquiennes.

Dans les peuplements à dominance de pruche, les conifères l'emportent nettement sur les feuillus (Majcen, 1992). La pruche est accompagnée d'une faible proportion de bouleau jaune et de quelques autres feuillus nobles. Les autres résineux, comme le pin blanc, l'épinette rouge, le thuya occidental ou le sapin baumier sont aussi présents. Toujours selon Majcen (1992), la distribution des tiges de la pruche est très variable selon le peuplement. On peut distinguer trois formes de courbes. Les courbes en forme de J inversé, caractérisées par un grand nombre de petites tiges et de petits diamètres moyens, les courbes en forme de cloche plus ou moins étirée, avec un diamètre moyen élevé, et les courbes intermédiaires entre les deux premiers groupes. Elles sont caractérisées par une surabondance de tiges dans les classes moyennes. L'âge de la pruche est très variable pour une même classe de diamètre (Majcen, 1992), mais l'on rencontre un certain nombre de peuplements où la concentration des âges tire vers les peuplements équiennes. Une structure irrégulière ou étagée est parfois aussi observée, lorsque l'on remarque deux concentrations d'âges différents.

1.5 ÉTUDE DE L'ACCROISSEMENT DIAMÉTRAL

1.5.1 Types de modèles généralement utilisés

Les principaux types de modèles utilisés pour la modélisation de la croissance forestière sont les modèles peuplements et les modèles arbres. Les modèles peuplements concernent l'évolution probable de peuplements en tenant compte ou non de la distribution par catégorie de grosseurs des arbres le constituant (Rondeux, 1993). Les tables de rendement ou de production en sont un exemple. Ces modèles s'appliquent bien en peuplements réguliers monospécifiques et sont d'emploi courant (Saucier, 1997).

Les modèles arbres s'attachent à rendre compte de la croissance d'arbres soumis à la compétition au sein d'un peuplement et l'unité de référence de ces modèles est donc l'arbre (Rondeux, 1993). La sommation des arbres individuels permet d'obtenir des estimés pour le peuplement. Les modèles d'arbres sont dits dépendants ou indépendants des distances. Dans le premier cas, ils nécessitent la mesure des distances séparant un arbre de ses plus proches compétiteurs dont on mesure également les dimensions.

Dans le cas des modèles indépendants des distances, on utilise plutôt les variables globales du peuplement afin de déterminer la compétition subie par un arbre. Bien que ces deux types de modèles arbres s'appliquent aux peuplements équiennes et inéquiennes purs ou mélangés et avec des espèces aux caractéristiques écologiques différentes (Houllier et *al.* 1991), les modèles arbres dépendants des distances sont d'utilisation difficile à cause des multiples observations qu'ils requièrent.

Considérant la structure et la composition des peuplements à l'étude (voir plus haut), la nature des données disponibles, ainsi que l'applicabilité d'un modèle selon les mesures habituellement réalisées dans le cadre des inventaires forestiers au Québec, nous considérons que les modèles arbres indépendants des distances présentent les caractéristiques désirées pour cette étude.

Selon Zeide (1992) la structure d'un modèle de croissance oppose d'une part des facteurs favorisant la croissance (facteurs positifs), à des facteurs qui retardent la croissance (facteurs négatifs). On utilise souvent une équation en deux termes où on retrouve un terme de croissance potentielle et un terme modificateur de ce potentiel (Quicke et *al.*, 1994; Zeide, 1992; Bruce et Wensel, 1987; Fairweather, 1987; Chen et Rose, 1977 dans : Saucier, 1997). Le premier terme doit exprimer la croissance potentielle physiologique (Reed et *al.*, 1990), il est estimé à partir d'arbres ayant crû sans contraintes et sans facteurs limitants. On utilisera généralement des arbres présentant une croissance nettement supérieure à la moyenne (Hilt et Teck, 1987). Le terme modificateur, qui est soustrait ou qui multiplie le premier, veut exprimer la compétition et les stress stationnels et climatiques (Saucier, 1997).

1.5.2 Modèle théorique (fonction de base)

La modélisation de l'accroissement diamétral potentiel en fonction du diamètre a été réalisée à l'aide de la fonction décrite par Huang et Titus (1995) qui a la forme suivante :

$$(1) \quad \Delta d(D, Site) = \mu_1 D^{\mu_2} e^{-\mu_3 D} .$$

où μ_1 donne la pente à l'origine entre $D=0$ et $D=1$, μ_2 contrôle la hauteur du maximum et μ_3 contrôle la décroissance de la fonction après l'atteinte du maximum. La figure 2 montre l'impact de la variation de chacun des paramètres sur l'allure de la fonction. Tout comme l'a souligné Saucier (1997), ce modèle possède la forme recherchée puisqu'il a une origine à ($D=0$, $D_{max}=0$), une croissance rapide jusqu'à un maximum et une décroissance plus lente qui tend vers 0 lorsque D est très grand.

Pour fin de modélisation, les données de bases sur l'accroissement diamétral par décennie ont été converties en accroissement annuel moyen, simplement en divisant la valeur par dix, ou par le nombre d'années pour la dernière deccennie. Une fonction de base modulée par des variables associées aux caractéristiques de stations a été retenue. Les variables utilisées sont : la réserve potentiellement utilisable en eau (RPU), l'indice solaire (I_s) et l'indice de productivité (SPI_{30}). La première intègre à la fois la texture, l'épaisseur et la pierrosité du sol. La deuxième variable synthétise l'effet de l'exposition et de la pente tandis que la troisième est un indice de productivité basé sur la hauteur atteinte au diamètre de 30 cm. Cet indice s'inspire des travaux de Huang et Titus (1995).

Ces variables ont été introduites dans le modèle linéairement au travers du paramètre μ_2 , soit

$$(2) \quad \mu_2 = \mu_{20} + \mu_{21} Rpu + \mu_{22} Is + \mu_{23} SPI30.$$

La calibration de chacune des équations a été faite avec PROC MODEL de SAS pour chacune des essences séparément en prenant soin de sélectionner de façon aléatoire une partie des données (environ 20 %) afin d'effectuer une certaine validation de celles-ci. Lorsqu'un terme n'était pas significatif ($p > 0,05$), celui-ci était retranché du modèle de façon successive. Ajoutons que le test de l'autocorrélation des erreurs (Durbin Watson) étant significatif, nous avons été contraints d'ajouter une composante autorégressive d'ordre 1.

1.5.3 Terme de compétition

L'étape suivante consiste à incorporer les six variables retenues et correspondant à des mesures de compétition ou du statut social de l'arbre. Celles-ci étant :

- 1) la surface terrière des tiges marchandes (9,1 cm et plus) exprimée en m^2/ha (Gtot) ;
- 2) le nombre de tiges marchandes (9,1 cm et plus) par hectare (Ntot);
- 3) le pourcentage de la surface terrière constituée de feuillus (Pctgf);
- 4) le rapport du diamètre de la tige sur le diamètre dominant dans la placette (D/D0) ;
- 5) le rapport de la hauteur de la tige sur la hauteur dominante dans la placette (H/H0) ;
- 6) la surface terrière des tiges dont la hauteur excède celle de la tige en m^2/ha (Gsph).

Soulignons que ces variables ont été retenues puisqu'elles sont facilement calculables à partir des données mesurées couramment dans les inventaires dendrométriques. De plus, il faut ajouter que ces variables se sont avérées significatives pour expliquer la compétition dans les travaux de Saucier (1997).

Figure 2 - Variation des paramètres du modèle d'accroissement

Figure 2 a) Modèle d'accroissement (variation du paramètre U1)

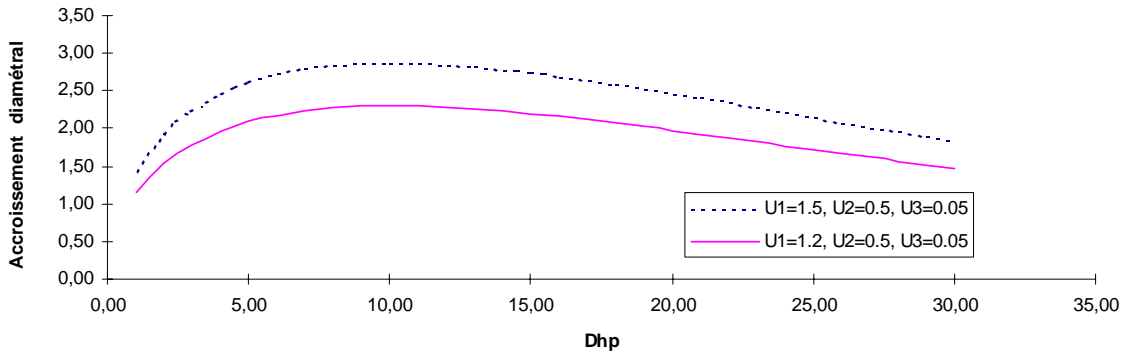


Figure 2 b) Modèle d'accroissement (variation du paramètre U2)

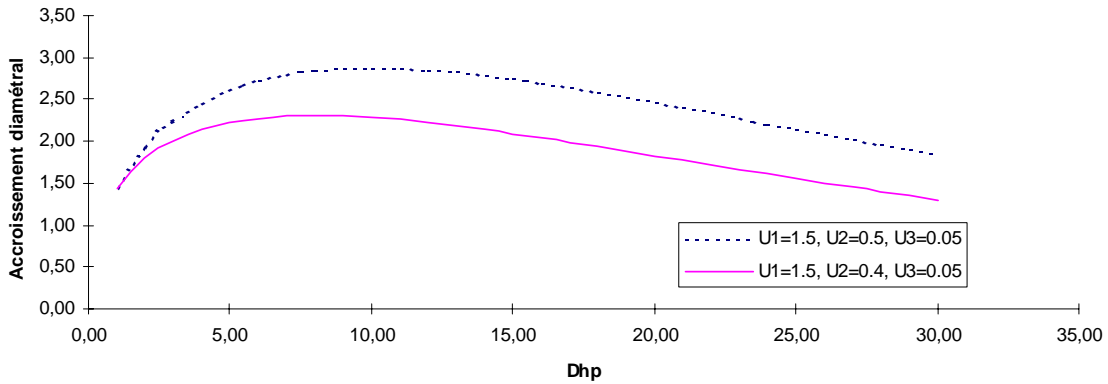
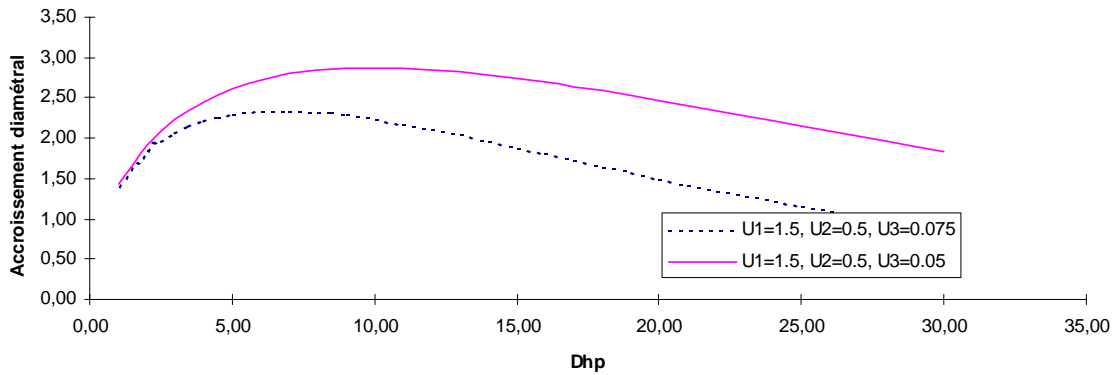


Figure 2 c) Modèle d'accroissement (variation du paramètre U3)



Afin de calculer G_{sup} pour une tige, il nous a fallu estimer la hauteur de toutes les tiges se trouvant dans la placette en question en utilisant des relations hauteur-diamètre pour chacune des essences. Nous avons donc procédé à une modélisation de la relation hauteur-dhp pour chacune des essences se trouvant dans les placettes à l'étude. Le tableau 5 présente les équations obtenues au moyen de la fonction de Chapman-Richards à trois paramètres (quelquefois réduites à deux paramètres en posant $\beta_3 = 1.0$ pour un meilleur ajustement). Nous avons considéré, lorsque le nombre d'observations le justifiait et qu'une différence significative était notée, une modélisation séparée par regroupement d'associations (tableau B1, annexe B). Pour comparer deux à deux les différentes courbes par groupe, nous avons utilisé des tests du rapport de vraisemblance (Lapointe, 1995).

Pour étudier l'impact de ces variables sur les accroissements en diamètre, nous ne pouvons pas utiliser l'ensemble des données d'accroissement par décennie car les caractéristiques dendrométriques des placettes ont évolué dans le temps et nous ne disposons que d'une mesure pour chaque placette. De cette façon nous avons utilisé la dernière décennie (ramené en accroissement annuel) pour chacune des tiges. Nous ne disposons donc que d'une observation par tige. Le modèle à ajuster est le suivant :

$$(3) \quad \Delta d(D, Site, compet) = \hat{\Delta} d(D, Site) * e^{\mu_{40} + \mu_{41} G_{tot} + \mu_{42} N_{tot} + \mu_{43} Pctgf + \mu_{44} D / D0 + \mu_{45} H / H0 + \mu_{46} G_{sup} h}$$

Nous voyons que les variables explicatives interviennent à l'intérieur d'un facteur multiplicatif de l'accroissement prédit par le modèle précédent n'impliquant que les variables de site et le diamètre. Le modèle de simulation, une fois complet, s'exprime de la manière suivante :

$$(4) \quad \Delta d(D, Site, compet) = \mu_1 D^{(\mu_{20} + \mu_{21} Rpu + \mu_{22} Is + \mu_{23} SPI30)} e^{-\mu_3 D} * e^{(\mu_{40} + \mu_{41} G_{tot} + \mu_{42} N_{tot} + \mu_{43} Pctgf + \mu_{44} D / D0 + \mu_{45} H / H0 + \mu_{46} G_{sup} h)}$$

1.5.4 Influence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la croissance du sapin baumier

Étant donné l'importance des épidémies cycliques de la TBÉ au Québec, nous avons décidé de produire deux modèles d'accroissement pour le sapin baumier. Le premier, présenté plus haut, est le même que pour l'ensemble des autres essences. Le second, présenté ici, inclut l'influence de la TBÉ sur la croissance en diamètre. Cette inclusion prend la forme d'un terme modificateur multiplicateur. Saucier (1998) a développé plusieurs indices de TBÉ. Ces indices sont chronologiques et augmentent de 1 à chaque année d'épidémie et diminuent de 1 les années sans épidémies. De ces indices, les indices TbeX et Tbe53 ont été retenus dans nos travaux. Le premier étant un indice cumulatif sans valeur plafond, alors que le deuxième est un indice cumulatif avec plafond à 5 et un décalage de 3 ans.

Le décalage est nécessaire pour tenir compte du fait que la perte de croissance due à la tordeuse se fait sentir quelques années après le début de l'épidémie et a encore une influence quelques années après la fin de celle-ci. À titre d'exemple, l'indice Tbe53 de l'année 1975 est égal à l'indice sans décalage de 1972. L'équation 5 exprime le modèle de base en tenant compte de l'influence de la TBÉ. Les paramètres ayant trait au site demeurent les mêmes que dans l'équation sans TBÉ. Les paramètres de compétition sont ensuite recalculés avec le modèle contenant les indices de TBÉ (équation 6).

$$(5) \quad \Delta d(D, Site, tbé) = \Delta d(D, Site) * e^{(\mu_{50} + \mu_{51} tbéX + \mu_{52} tbé53)}$$

$$(6) \quad \Delta d(D, Site, tbé) = \Delta d(D, Site, tbé) * e^{(\mu_{40} + \mu_{41} Gtot + \mu_{42} Ntot + \mu_{43} Pctgf + \mu_{44} D / D0 + \mu_{45} H / H0 + \mu_{46} G \text{ sup } h)}$$

2. Résultats

2.1 COEFFICIENTS DES ÉQUATIONS

Les estimés des paramètres du modèle de base, avant l'ajout du terme de compétition, retenus pour les essences étudiées sont présentés au tableau 6. Mentionnons qu'un paramètre positif signifie qu'une augmentation de la valeur de la variable associée a un effet favorable sur l'accroissement diamétral. Le modèle a été réduit successivement jusqu'à ce que seuls les termes significatifs ($p < 0,05$) demeurent. Le tableau 7 indique que la variable Rpu est significative pour six des 13 essences étudiées. Elle a un effet négatif sur le sapin et le pin blanc alors qu'elle a un effet positif sur la pruche, le hêtre, l'érable à sucre et le bouleau jaune. L'Is est significatif pour 8 essences, de manière négative pour l'érable à sucre et le bouleau jaune, et de manière positive pour le tilleul, le thuya, la pruche, le pin blanc, le peuplier et l'érable à sucre. Quant à l'indice de productivité de station (SPI_{30}), il est significatif dans le cas du pin blanc et du peuplier (positif), ainsi que pour le bouleau blanc, le tilleul, le chêne et l'érable à sucre (négatif). Notons que, pour l'érable argenté et le frêne noir, aucune des trois variables de station mentionnées plus haut ne s'est avérée significative. À l'opposée, elles le sont toutes trois dans le cas du pin blanc et de l'érable à sucre. Les coefficients de corrélation (R^2) varient de 0,32 dans le cas du tilleul à 0,6359 pour le frêne noir. Les erreurs types estimées (ETE) vont quant à elles de 0,621 à 1,296. Finalement, la statistique de Durbin Watson a une valeur près de 2 après l'ajout d'une terme autorégressif d'ordre 1, ce qui signifie qu'il y a plus d'autocorrélation des erreurs. Rappelons que cette statistique, qui prend des valeurs entre 0 et 4, indique la présence d'autocorrélation positive si elle s'approche de 0 et négative lorsqu'elle se situe près de 4. Une valeur de 2 signifie l'absence d'autocorrélation des erreurs.

Le tableau 8 présente le sommaire des équations de l'accroissement radial modifié par les variables relatives à la compétition. Ce tableau montre que chacune des essences a au moins une variable de compétition ayant un effet significatif sur la croissance en diamètre. La variable D/D_0 étant celle qui ressort le plus, puisqu'elle est significative pour toutes les essences, sauf pour le frêne noir. Dans tous les cas, l'effet est positif. Gtot est significatif pour le sapin, le peuplier et l'érable à sucre (négatif), ainsi que pour le bouleau à papier (positif). Ntot a une influence négative significative sur le bouleau à papier, le tilleul, le thuya, la pruche, le pin blanc, le chêne, l'érable à sucre et le bouleau jaune. Le pourcentage de feuillus (Pctgf) est significatif pour le bouleau à papier (positif) ainsi que pour le sapin, la pruche, le peuplier et le frêne noir (négatif). Le rapport hauteur sur hauteur dominante (H/H_0) n'est significatif que pour le tilleul, le pin blanc et l'érable argenté. L'effet est négatif sur ces essences. La surface terrière des tiges plus hautes que la tige simulée a un effet significatif négatif pour le bouleau à papier, la pruche, le pin blanc, l'érable argenté et le bouleau jaune. Seul le thuya connaît un effet positif significatif de cette variable. Les R^2 vont de 0,0294 (PET) à 0,477 (BOJ). Les ETE varient de 0,597 à 1,332. Le tableau 9 présente, pour le sapin baumier, les paramètres des variables relatives à la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des variables relatives à la compétition. Il importe de noter que les paramètres de l'équation de croissance potentielle demeurent les mêmes que pour le modèle sans tordeuse pour cette essence.

Tableau 6 - Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables de site

Espèce	Nb obs.	Paramètres (erreur-type)						R2	ETE	Durbin Watson
		U1	U20	U21	U22	U23	U3			
BOJ	7161	1,1368 (0,0678) **	0,2338 (0,01645) **	0,0001605 (0,000049) **	0,01242 (0,004387) **	n.s.	0,001505 (0,000131) **	0,377	0,773	2,096
ERS	39477	0,8859 (0,02069) **	0,2339 (0,01027) **	0,0001774 (0,000031) **	-0,0105 (0,002158) **	0,001487 (0,000431) **	0,0007174 (0,000055) **	0,46	0,772	2,07
CHR	5327	0.832435 (0.05413) **	0.233768 (0.04901) **	n.s.	0.033449 (0.01484) *	0.00949532 (0.0024512) **	0.00460069 (0.0002141) **	0.4540	0.848	2.098
ERA	196	0.794438 (0.34267) *	0.499083 (0.11988) **	n.s.	n.s.	n.s.	0.00420796 (0.0010967) **	0.1935	1.296	2.014
FRN	997	0.561610 (0.06815) **	0.461265 (0.03977) **	n.s.	n.s.	n.s.	0.00433083 (0.0006366) **	0.6359	0.621	2.080
HEG	6239	1.003829 (0.06954) **	0.205810 (0.01930) **	0.00034474 (0.00005609) **	n.s.	n.s.	0.00074677 (0.0001608) **	0.4439	0.715	1.996
PET	1387	0.354072 (0.05955) **	2.216887 (0.17140) **	n.s.	0.246261 (0.02485) **	-0.068936 (0.0076590) **	0.00802677 (0.0004772) **	0.4986	1.233	2.143
Variable associée au paramètre				Rpu	ls	SPI ₃₀				

** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; + significatif à 0.1; n.s. non significatif

Tableau 6 - Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables de site (suite)

Espèce	Nb obs.	Paramètres (erreur-type)						R2	ETE	Durbin Watson
		U1	U20	U21	u22	U23	U3			
PIB	913	1.464095 (0.28922) **	0.669642 (0.12938) **	-0.00121072 (0.0003693) **	0.068756 (0.02504) **	-0.018197 (0.0055488) **	0.00217917 (0.0004615) **	0.4843	1.265	2.067
PRU	10237	1.107974 (0.03908) **	n.s.	0.0013601 (0.0001295) **	0.105067 (0.0078872) **	n.s.	-0.00072905 (0.0000883) **	0.4663	0.773	2.012
SAB	4681	0.639160 (0.05890) **	0.502630 (0.02901) **	-0.00013927 (0.00003079) **	n.s.	n.s.	0.00559325 (0.0003937) **	0.4035	1.098	1.941
THO	1069	0.907042 (0.15162) **	0.151551 (0.05072) **	n.s.	0.172591 (0.04075) **	n.s.	0.00125414 (0.0004715) **	0.5179	0.655	2.027
TIA	958	1.227486 (0.23427) **	n.s.	n.s.	0.044814 (0.01596) **	0.014583 (0.0022058) **	0.00345051 (0.0004667) **	0.3200	1.255	2.167
BOP	608	0.460602 (0.06826) **	n.s.	n.s.	n.s.	0.027355 (0.0020778) **	0.00596940 (0.0005933) **	0.5443	0.824	2.078
Variable associée au paramètre				Rpu	ls	SPI ₃₀				

** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; + significatif à 0,1; n.s. non significatif

Tableau 7 - Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables relatives à la compétition

Espèce	Nb obs.	Paramètres (erreur-type)							R2	ETE	Durbin Watson
		U40	U41	U42	U43	U44	U45	U46			
BOJ	834	n.s.	n.s.	-5,765E-05 (1,387E-5) **	n.s.	0,09445 (0,02584) **	n.s.	-0,002635 (0,000768) **	0,477	0,706	1,82
ERS	5199	n.s.	-0,004977 (0,0003537) **	-1,535E-05 (6,007E-6) *	n.s.	0,10928 (0,01311) **	n.s.	n.s.	0,455	0,746	1,90
CHR	673	-0.860820 (0.11534) **	n.s.	-0.00038236 (0.0001527) *	n.s.	1.362627 (0.06099) **	n.s.	n.s.	0.0723	0.902	1.687
ERA	39	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1.953452 (0.26321) **	-1.491265 (0.22743) **	-0.018086 (0.0040556) **	0.4442	0.909	1.787
FRN	82	-0.983514 (0.18558) **	n.s.	n.s.	0.010188 (0.0028492) **	n.s.	n.s.	n.s.	0.1947	0.597	1.860
HEG	722	-0.340855 (0.03024) **	n.s.	n.s.	n.s.	0.426822 (0.05058) **	n.s.	n.s.	0.1600	0.784	1.793
PET	220	-2.599292 (0.60002) **	-0.029982 (0.01148) **	n.s.	0.013423 (0.0045601) **	2.307521 (0.16590) **	n.s.	n.s.	0.0294	1.131	0.0159
Variable associée au Paramètre			Gtot	Ntot	Pctgf	D/D0	H/H0	Gsuph			
** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; + significatif à 0.1; n.s. non significatif											

Tableau 7 - Sommaire des équations de l'accroissement en diamètre par les variables relatives à la compétition (suite)

Espèce	Nbobs.	Paramètres (erreur-type)							R2	ETE	Durbin Watson
		U40	U41	U42	U43	U44	U45	U46			
PIB	129	n.s.	n.s.	0.00030591 (0.0001610) +	n.s.	0.957925 (0.17222) **	-0.941079 (0.23475) **	-0.025329 (0.0038783)	0.2978	1.332	1.192
PRU	698	-0.883748 (0.11095) **	n.s.	0.00029585 (0.0001079) **	0.012464 (0.0020962) **	0.654722 (0.11264) **	n.s.	-0.00573689 (0.0030301) +	0.2290	1.114	1.765
SAB	792	-1.289890 (0.19160) **	-0.00972993 (0.0051204) +	n.s.	0.00589916 (0.0012894) **	1.900425 (0.10959) **	n.s.	n.s.	0.1199	1.119	1.444
THO	110	n.s.	n.s.	-0.00058817 (0.0001656) **	n.s.	0.377859 (0.15487) *	n.s.	0.00784275 (0.0026983) **	0.1906	0.997	2.265
TIA	151	n.s.	n.s.	-0.00103031 (0.0001243) **	n.s.	1.768243 (0.16504) **	-0.855457 (0.12203) **	n.s.	0.2398	1.154	2.089
BOP	95	-2.246409 (0.50998) **	0.028778 (0.01541) +	-0.00169651 (0.000038) **	0.021055 (0.0071485) **	1.734094 (0.21934) **	n.s.	-0.012925 (0.0063651) *	0.3789	0.730	2.2273
Variable associée au Paramètre			Gtot	Ntot	Pctgf	D/D0	H/H0	Gsuph			
** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; + significatif à 0.1; n.s. non significatif											

2.1.1 Coefficients des résultats pour le sapin, avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Espèce	# obs.	Paramètres (erreur-type)										R2	ETE	Durbin Watson
		U50	U51	U52	U40	U41	U42	U43	U44	U45	U46			
SAB (tbe)	792	-0.036622 (0.0033352) **	-0.015598 (0.002436) **	-0.024297 (0.0025245) **	-1.467312 (0.09333) **	n.s.	n.s.	0.00562941 (0.0012848) **	1.896693 (0.10472) **	n.s.	n.s.	0.1021	1.131	1.434
Variable associée au Paramètre			TBEx	TBE53		Gtot	Ntot	Pctgf	D/D0	H/H0	Gsuph			
** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; n.s. non significatif														

2.2 VALIDATION

2.2.1 Méthode de validation

Afin de valider les équations obtenues, nous avons conservé une partie des données, environ 20 %, pour chacune des essences. Il s'agit d'utiliser les équations obtenues sur les données n'ayant pas servi à la calibration, et de comparer les valeurs prédites aux valeurs observées sur le terrain. La méthode utilisée nous permet d'obtenir une mesure de précision (RMSE), et une mesure de biais (ME) des estimations pour chacune des essences. La technique est décrite par Sheiner et Beal (1981). La mesure de précision est obtenue par l'extraction de la racine carrée de la moyenne des erreurs de prédiction au carré (root mean squared prediction error, ou RMSE). L'erreur de prédiction étant obtenue par la soustraction de la valeur observée de la valeur prédite. La mesure de biais est simplement la moyenne des erreurs de prédiction (mean prediction error, ou ME). Cette technique est, selon Sheiner et Beat (1981), une excellente méthode d'évaluation de la performance prédictive d'un modèle.

2.2.2 Résultats de validation

La figure 2 et le tableau 9 présentent les résultats de validation pour chacune des essences étudiées dans le cadre de ce projet. La figure résume la qualité de la prédiction du diamètre pour chaque période de modélisation. La diagonale illustre le cas idéal. Les périodes de prédiction représentent les trois dernières mesures observées sur le terrain. La période entre les mesures 1 et 2 est toujours de 10 ans, alors que la période entre les mesures 2 à 3 peut varier de 1 à 10 ans, selon l'âge de la tige à la récolte des données. Par exemple, pour une carotte de 65 ans récoltée en 1985, les mesures 1, 2 et 3 correspondent respectivement aux années 1970, 1980 et 1985. Le tableau résume les mesures de précision et de biais pour chacune des périodes pour les différentes essences.

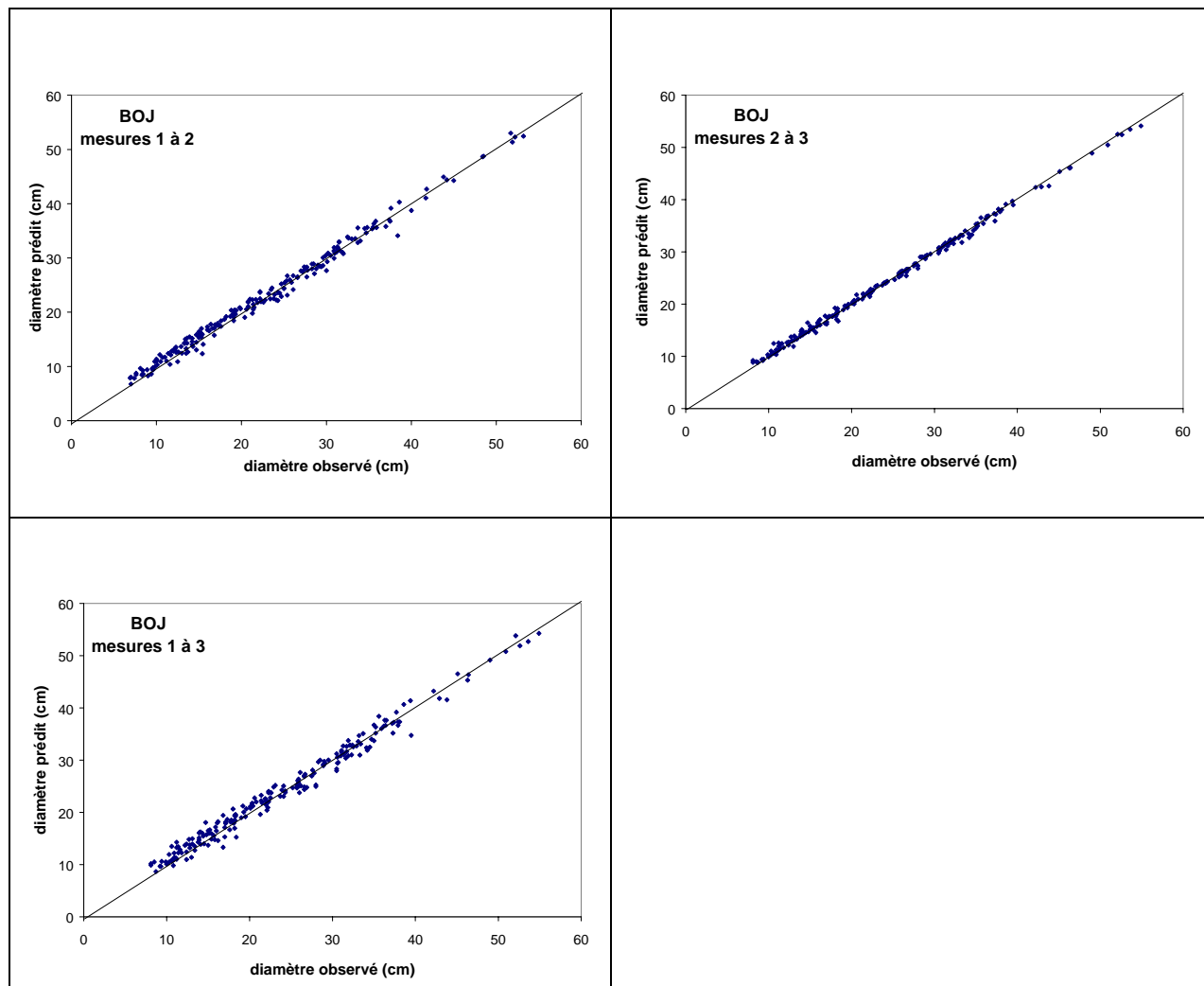


Figure 3 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le bouleau jaune

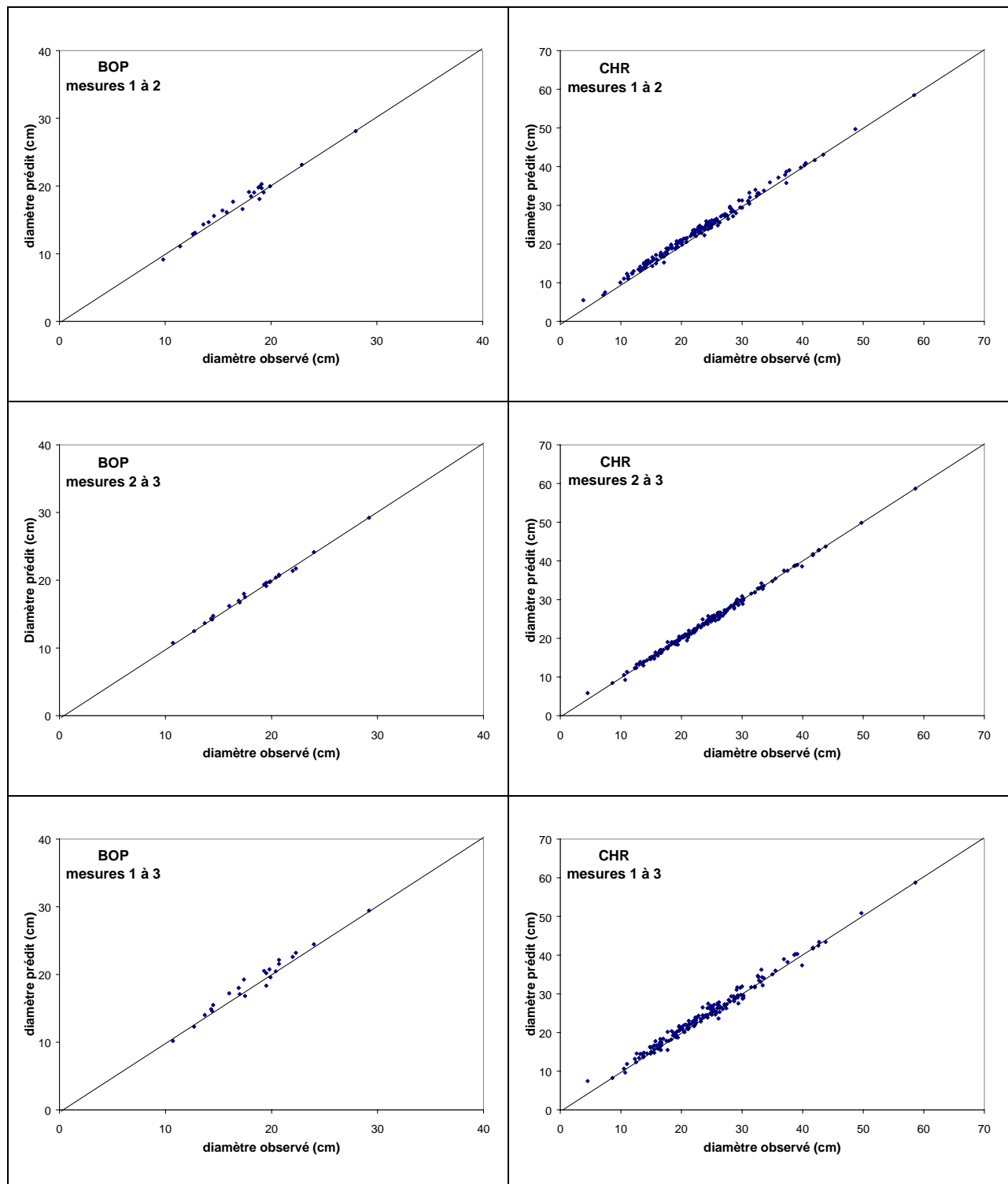


Figure 4 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le bouleau blanc et le chêne rouge

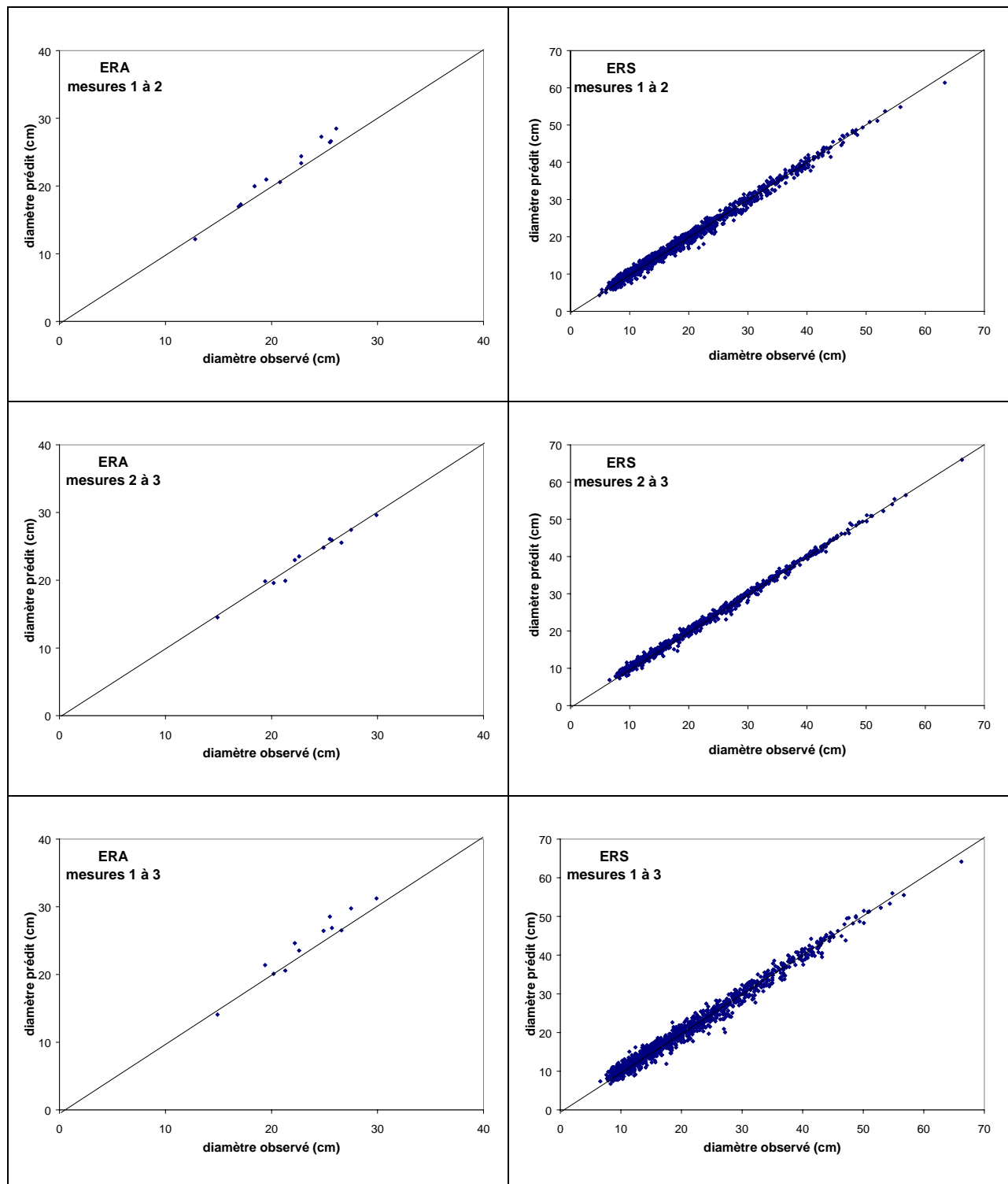


Figure 5 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour l’érable argenté et l’érable à sucre

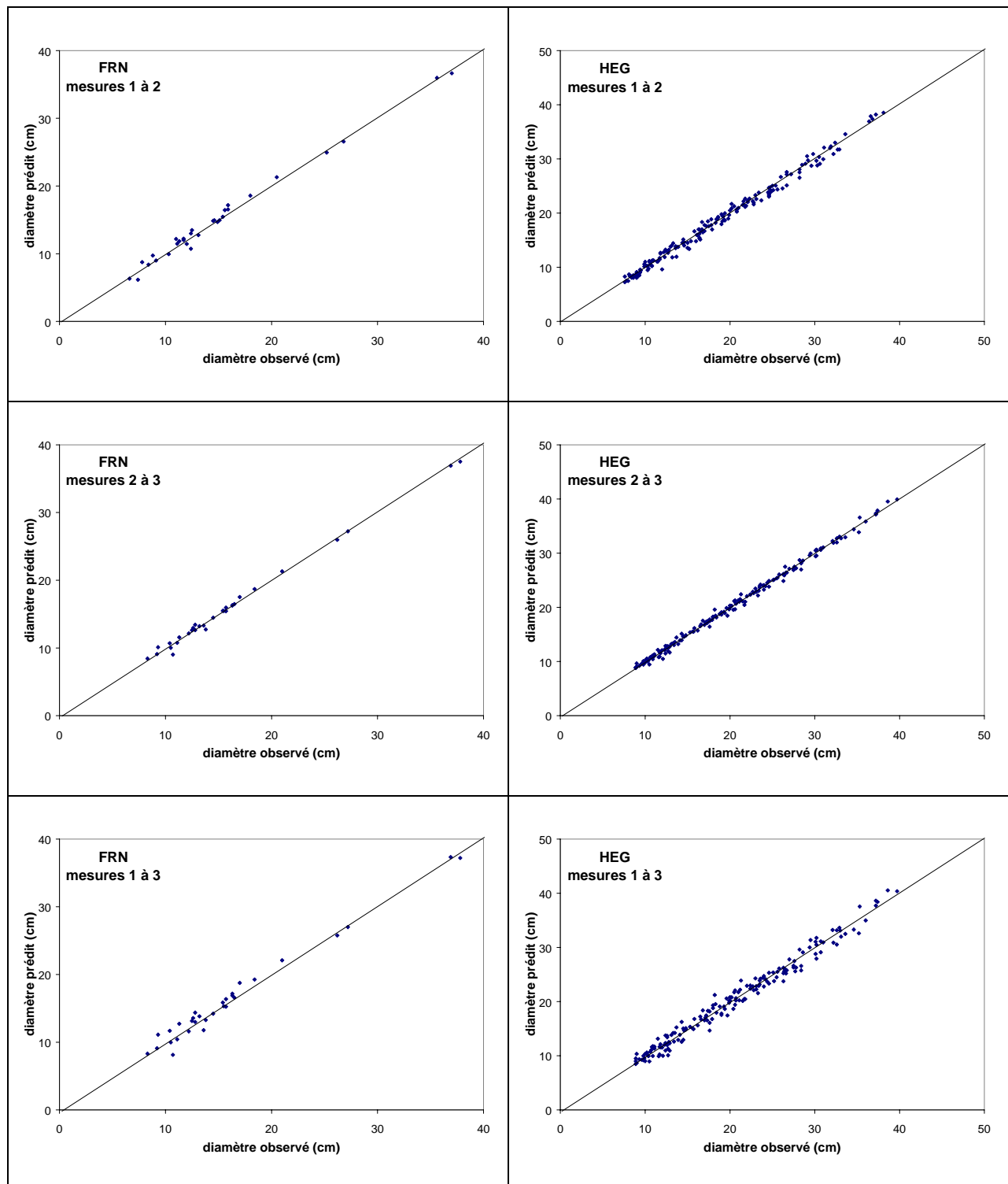


Figure 6 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le frêne noir et le hêtre à grandes feuilles

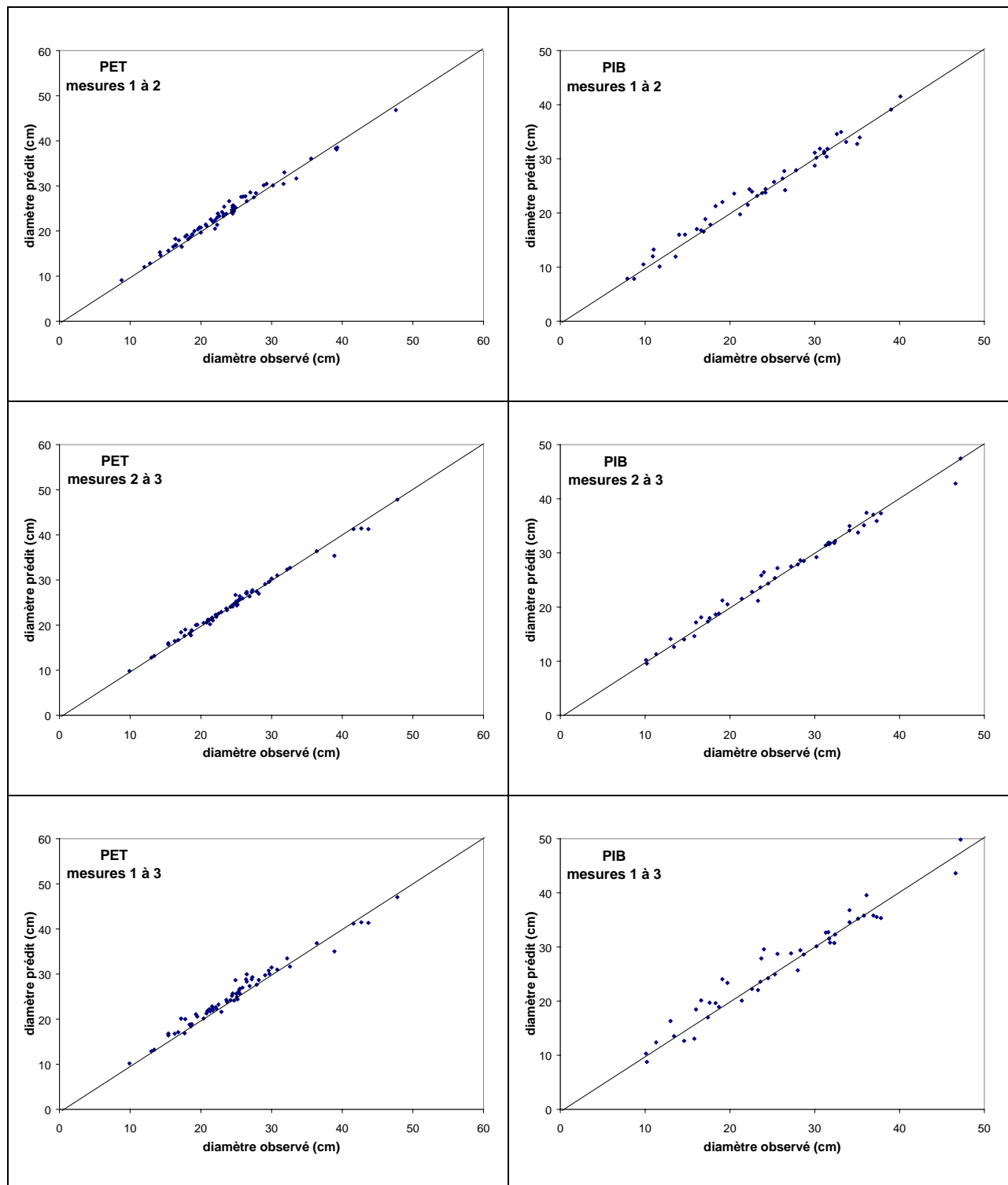


Figure 7 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour peuplier faux-tremble et le pin blanc

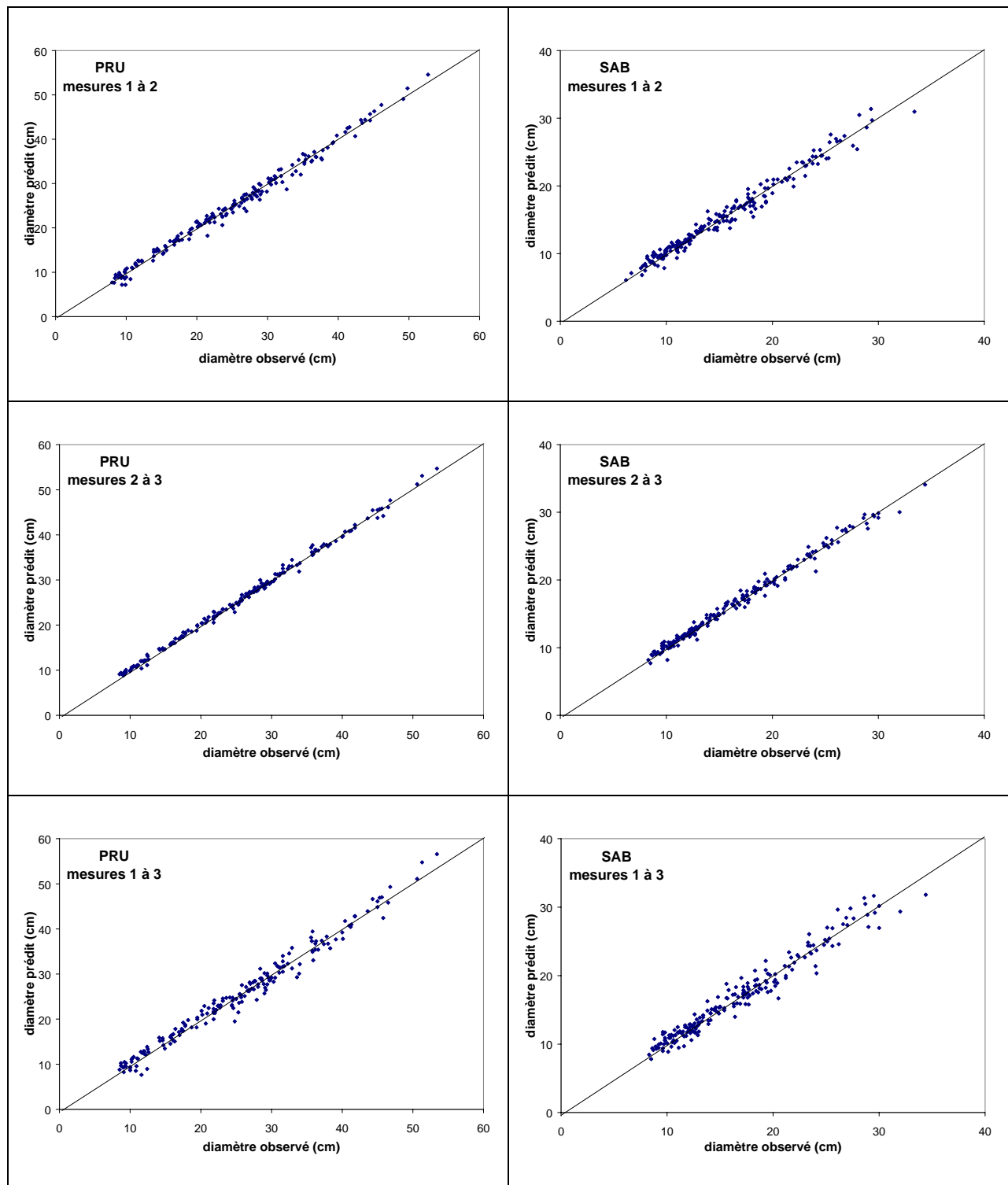


Figure 8 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour la pruche du Canada et le sapin baumier

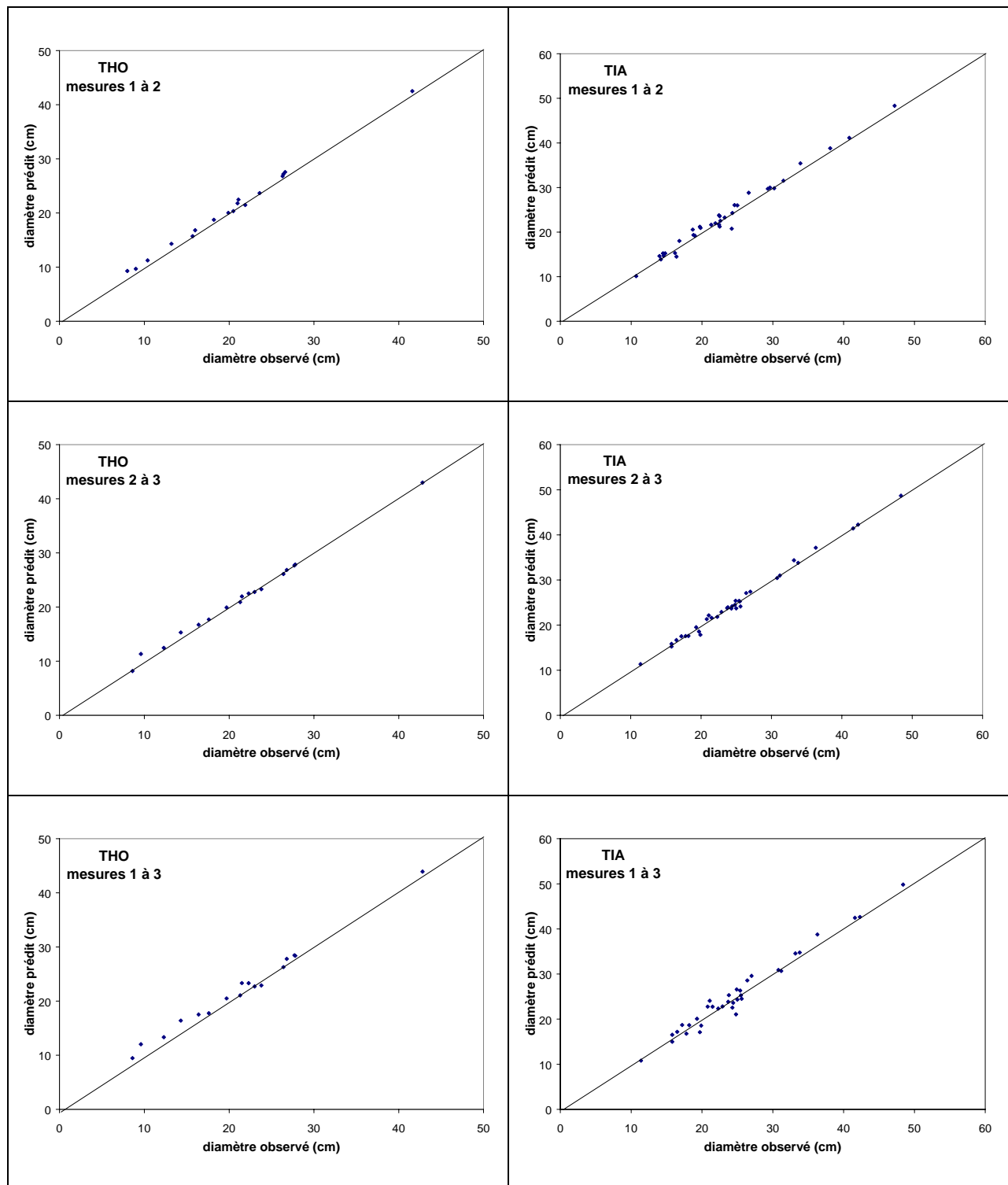


Figure 9 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le thuya occidental et le tilleul américain

Tableau 8 - Précision (RMSE) et biais (ME) des estimations chez les tiges conservées pour la validation

Essence	Nb tiges	Mesures 2 à 3		Mesures 1 à 2		Mesures 1 à 3	
		Précision	Biais	Précision	Biais	Précision	Biais
BOJ	211	5,30 *	0,42	10,11 *	-0,07	14,00 *	0,36
BOP	23	2,24 *	0,38	6,33 *	-0,47	7,60 *	-0,11
CHR	168	4,89 *	0,51	8,21 *	1,82 *	11,45 *	2,26 *
ERA	12	6,44 *	0,48	12,91 *	0,54	16,62 *	1,04
ERS	1323	5,72 *	-0,05	10,40 *	-2,68 *	14,53 *	-2,79 *
FRN	31	4,59 *	-0,25	8,66 *	-1,11	12,51 *	-1,44
HEG	177	5,07 *	-0,88 *	8,41 *	-2,57 *	12,39 *	-3,48 *
PET	66	6,51 *	-0,55	9,71 *	-0,51	13,69 *	0,15
PIB	45	10,66 *	1,33	13,86 *	-0,59	21,70 *	0,71
PRU	182	5,98 *	0,75	10,63 *	-1,26	15,22 *	-0,51
SAB	199	6,00 *	0,81	11,23 *	-3,66 *	14,47 *	-2,73 *
THO	17	5,49	1,56	7,20 *	4,67 *	10,92 *	6,25 *
TIA	35	6,50 *	-0,22	11,74 *	-1,12	16,11 *	-1,39

* significatif au seuil de 5%

Nous pouvons constater que les résultats des prédictions sont généralement excellents, les valeurs de diamètres prédites étant très proches des valeurs observées. Les biais observés peu élevés démontrent aussi la qualité des prédictions. Les modèles développés sont donc acceptables pour être utilisés dans le programme d'actualisation des placettes temporaires, à l'aide du logiciel Modelisa. Évidemment, il est important de noter que plus l'horizon de prédiction est court, meilleurs sont les résultats.

2.2.3 Résultats de validation pour le sapin, avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La méthode de validation utilisée est la même que précédemment. Cependant, les mesures 1,2 et 3 sont ici les 3 trois dernières années de vie des tiges, étant donné le format annuel des données portant sur la TBÉ. La figure et le tableau suivants illustrent les résultats obtenus.

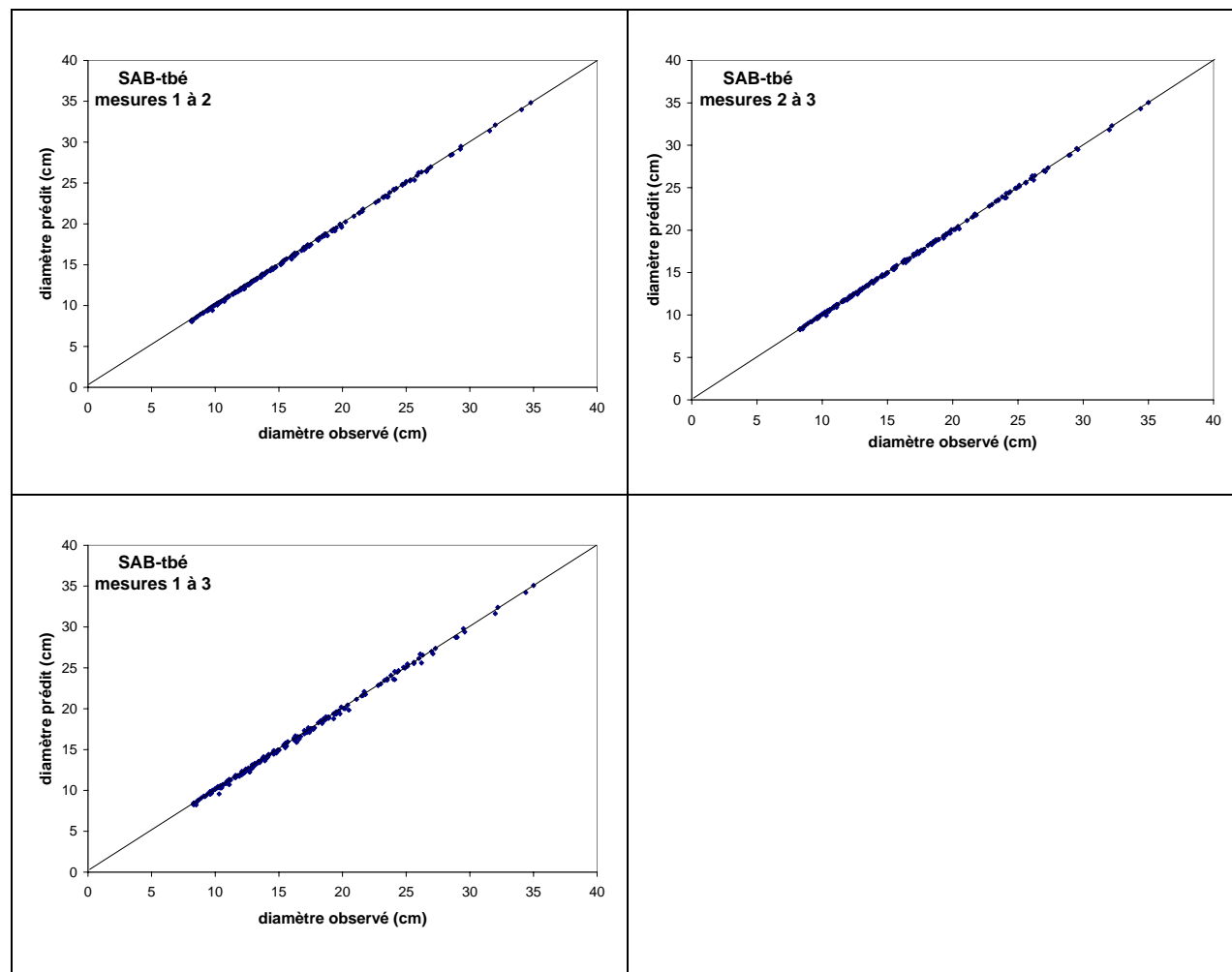


Figure 10 - Diamètre prédit en fonction du diamètre observé par période de modélisation pour le sapin baumier avec la Tbé

Tableau 9 - Précision (RMSE) et biais (ME) des estimations chez les tiges conservées pour la validation, sapin baumier avec la Tbé

Essence	# tiges	Mesures 2 à 3		Mesures 1 à 2		Mesures 1 à 3	
		Précision	Biais	Précision	Biais	Précision	Biais
SAB (tbe)	199	1,03 *	0,14	1,05 *	0,16 *	2,07 *	0,30 *
* significatif au seuil de 5%							

La validation effectuée démontre ici aussi une bonne capacité de prédiction pour la croissance en diamètre du sapin, en tenant compte de l'effet de la TBÉ.

Conclusion

De sept essences prévues à l'origine du projet, nous sommes finalement parvenus à produire des résultats plus qu'intéressants pour treize essences, soit toutes celles pour lesquelles les données de base étaient disponibles en quantité suffisante.

L'objectif principal du projet était de développer des équations permettant de prédire adéquatement la croissance en diamètre des essences les plus importantes du sud-ouest du Québec, en tenant compte des variables associées au site et des variables associées à la compétition normalement rencontrée en forêt. De plus, toutes les variables retenues dans les modèles devaient être facilement calculables à partir des données généralement recueillies sur le terrain. Nous croyons, à la lumière des résultats obtenus à l'aide des équations développées à l'origine par Saucier (1998), avoir atteint ces objectifs. Les modèles élaborés performant très bien et permettront d'actualiser les placettes-échantillons temporaires du SIF. Ils pourront être intégrés au logiciel Modélisa (Blais et *al.* 1997), et, nous l'espérons, améliorer les méthodes présentement utilisées.

Références

- Blais, G., S. Bernier, A. Larouche, J.-P. Saucier, C.-H. Hung et J.-P. Carpentier. 1997.** Modélisa, un modèle de croissance pour actualiser les placettes-échantillons temporaires du MRNQ. Poster présenté au Carrefour de la recherche forestière, fév. 1999, Québec.
- Godman, R. M. et L. W. Krefing. 1960.** Factors important to yellow birch establishment in Upper Michigan, *Ecology* 41 (1) : 18-28.
- Houllier, F., J. Bouchon et Y. Birot. 1991.** Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers : état et perspectives. *Revue forestière française*, XLIII(2) : 87-108.
- Huang, S. et J. Titus. 1995.** An individual tree diameter increment model for white spruce in Alberta. *Can. J. For. Res.* 35 : 1455-1465.
- Hilt, D. E. et R. M. Teck. 1987.** Individual-tree diameter growth model for northern New-England. IUFRO Forest Growth Modeling and Prediction Conference, Ek. A. R., S. R. Shifley et T. E. Burk eds, USDA, Forest Service, North Central forest Experiment Station, Minneapolis, Minnesota, 86-93.
- Lapointe, C. 1995.** Tests statistiques pour la comparaison de courbes. Analyses de données indépendantes et de mesures répétées. MRNQ, Dir. de la recherche forestière. Rapport interne, 8 p.
- Majcen, Z., M. Ménard et Y. Richard. 1990.** Description écologique et cartographie des groupements forestiers des secteurs du lac Usborne, du lac Findlay et du lac Doyley dans la région administrative de l'Outaouais. MER, Serv. de la recherche forestière, Québec, 193 p.
- Majcen, Z., Y. Richard et M. Ménard. 1984.** Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers. MER, Serv. de la recherche (terres et forêts), Mém. N° 85, 333 p.
- Majcen, Z., Y. Richard et M. Ménard. 1987.** Composition structure et rendement des tremblaies à érable à sucre et des bétulaies jaune à sapin baumier dans trois secteurs forestiers du sud-ouest québécois. MER, Dir. de la recherche et du développement, Serv. de la recherche appliquée, 105 p.
- Majcen, Z., Y. Richard et M. Ménard. 1985.** Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais. MER, Dir. de la recherche et du développement, Serv. de la recherche appliquée, Mém. N° 88, 130 p.
- Majcen, Z. 1989.** Composition et structure des tremblaies à érable à sucre et des chênaies à érable à sucre dans quatre secteurs forestiers de sud-ouest québécois. MER (Forêts), Dir. de la recherche et du développement, Serv. de la recherche appliquée, Mém. N° 95, 114 p.
- Majcen, Z et Y. Richard. 1992.** Composition et structure des prucheraies dans cinq secteurs forestiers du Sud-Ouest québécois. Ministère des Forêts, Dir. de la recherche, Mém. de recherche forestière N° 107, 67 p.

- Reed, D. D., M. J. Holmes, E. A. Jones, H. O. Liechty et G. D. Mroz. 1990.** An ecological growth model for four northern hardwood species in upper Michigan Process modeling of forest growth responses to environmental stress, R. K. Dixon, R.S. Meldhal, G. A. Ruark, et W. G. Warren, eds., Timber Press, Portland, Oregon, 288-293.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1980.** Variation de la hauteur du diamètre, de l'âge, de l'accroissement et de l'écorce du bouleau jaune dans neuf groupements forestiers du sud-ouest Québécois. MER, Serv. de la recherche forestière, Mém. N° 64, 70 p.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1980.** Variation de la hauteur du diamètre, de l'âge, de l'accroissement et de l'écorce de l'érable à sucre dans douze groupements forestiers du sud-ouest québécois. MER, Serv. de la recherche forestière, Mém. N° 62, 72 p.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1980.** Variation de la hauteur du diamètre, de l'âge, de l'accroissement et de l'écorce de seize essences forestières dans plusieurs groupements forestiers du sud-ouest québécois. MER, Serv. de la recherche forestière, Mém. N° 66, 77 p.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1981.** Étude dendrométrique des groupements végétaux des secteurs des lacs La Blanche, Écho et Rond. MER, Serv. de la recherche forestière, Québec. 100 p.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1981.** Étude dendrométrique des groupements végétaux des secteurs des lacs Du Plomb, Du Sourd et Labrador et du petit lac Cayamant. MER, Serv. de la recherche forestière, Québec, 58 p.
- Richard, Y., Z. Majcen et M. Ménard. 1982.** Étude dendrométrique des groupements végétaux du secteur de Sainte-Véronique. MER, Serv. de la recherche (terres et forêts), Québec. 105 p.
- Richards, F. J. 1959.** A flexible growth fonction for empirical use. Journal of experimental Botany, 10(29), 290-300.
- Saucier 1959.** A flexible growth fonction for empirical use. Journal of experimental Botany, 10(29), 290-300.
- Robitaille, A. et J.P. Saucier. 1998.** Paysages régionaux du Québec méridional. Direction de la gestion des stocks forestiers, Ministère des ressources naturelles du Québec. Les publication du Québec, 213 p.
- Sheiner, L. B. et S. L. Beal. 1981.** Some suggestions for measuring predictive performance. J. of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics. 9 (4), 503-512.

Annexes

Annexe A

Courbes hauteur-diamètre par essence (boj et ers) (hauteur = $\beta_1 \cdot (1 - e^{-\beta_2 \cdot \text{DHP}})^{\beta_3}$)

Tableau A1 - Détails des équations hauteur-dhp

Espèce	Gr. Assoc.	B1	B2	B3	R2	# obs.
BOJ	Général	23,943	0,0459	0,639	0,606	1818
BOJ	1	23,898	0,0614	0,766	0,531	455
BOJ	2	22,291	0,0464	0,580	0,648	826
BOJ	3	23,057	0,0717	0,847	0,585	443
BOJ	6	25,145	0,0219	0,466	0,567	30
BOJ	17	26,674	0,0932	1,740	0,828	24
BOJ	21	18,765	0,0711	0,910	0,612	40
BOP	Général	21,650	0,1430	1,939	0,555	362
CET	Général	21,659	0,0931	1,000	0,302	38
CHR	Général	20,057	0,0792	0,958	0,375	860
CHR	7	20,539	0,0896	1,000	0,520	203
CHR	8	23,019	0,0707	1,000	0,350	97
CHR	9	19,776	0,0753	1,000	0,419	537
CHR	14	20,642	0,0574	1,000	0,622	22
EPB	Général	46,474	0,0188	1,000	0,916	11
EPR	Général	29,273	0,0351	1,000	0,831	78
ERR	Général	15,385	0,1398	1,000	0,171	25
ERS	Général	26,285	0,0424	0,673	0,709	9313
ERS	1	27,194	0,0360	0,593	0,648	1244
ERS	3	25,676	0,0489	0,701	0,760	1812
ERS	4	25,549	0,0621	0,838	0,749	1084
ERS	7	22,003	0,0656	0,824	0,704	1102
ERS	8	25,800	0,0388	0,656	0,805	269
ERS	9	19,589	0,0800	0,857	0,572	431
ERS	12	28,463	0,0749	1,274	0,875	125
ERS	13	27,868	0,0357	0,685	0,783	1097
ERS	14	28,378	0,0196	0,488	0,735	286
ERS	15	21,832	0,0764	0,791	0,708	1109
ERS	16	30,616	0,0294	0,557	0,706	612
ERS	17	36,771	0,0111	0,415	0,588	142
FRA	Général	28,358	0,0413	1,000	0,653	36

Tableau A1 - Détails des équations hauteur-dhp (suite)

Espèce	Gr. Assoc.	B1	B2	B3	R2	# obs.
FRN	Général	23,154	0,0625	0,806	0,723	212
HEG	Général	23,478	0,0823	1,170	0,679	1487
HEG	1	18,286	0,0994	1,000	0,631	64
HEG	3	23,863	0,0703	1,000	0,694	720
HEG	4	25,132	0,0695	1,000	0,730	546
HEG	13	22,309	0,0737	1,000	0,672	131
HEG	14	22,324	0,0835	1,000	0,555	26
ORA	Général	24,770	0,0510	1,000	0,779	23
PEG	Général	23,886	0,0926	1,000	0,549	104
PET	Général	27,126	0,0625	0,867	0,613	275
PIB	Général	26,431	0,0495	1,172	0,722	538
PRU	Général	26,876	0,0411	1,000	0,817	25
SAB	Général	24,410	0,0320	1,843	0,793	913
SAB	2	36,812	0,0296	1,000	0,808	842
SAB	13	22,875	0,0521	1,000	0,603	71
THO	Général	24,737	0,0320	1,000	0,751	37
TIA	Général	27,883	0,0527	0,794	0,448	235

Annexe B

Courbes hauteur-diamètre par essence (bop, chr, era, frn, heg, pet, pib, pru, sab, tho, tia) (hauteur = $\beta_1 * (1 - e^{-\beta_2 * DHP})^{\beta_3}$)

Tableau B1 - Détails des équations hauteur-dhp

Espèce	Gr. Assoc.	B1	B2	B3	R ²	NOBS
BOJ	Général	24,051	0,0465	0,655	0,618	1732
BOJ	1	23,968	0,0766	1,000	0,600	401
BOJ	2	20,665	0,0859	1,000	0,635	826
BOJ	3	22,852	0,0808	1,000	0,574	411
BOJ	6	21,414	0,0668	1,000	0,513	30
BOJ	17	27,618	0,0612	1,000	0,818	24
BOJ	21	18,454	0,0788	1,000	0,612	40
BOP	Général	23,430	0,0902	1,000	0,530	141
BOP	1	24,138	0,0940	1,000	0,760	58
BOP	2	19,295	0,1443	1,000	0,157	52
BOP	7	23,663	0,0870	1,000	0,480	31
CET	Général	21,659	0,0931	1,000	0,301	38
CHR	Général	20,009	0,0826	1,095	0,385	1063
CHR	7	20,539	0,0896	1,000	0,520	203
CHR	8	21,508	0,0775	1,000	0,295	192
CHR	9	19,776	0,0753	1,000	0,419	537
CHR	10	21,417	0,0518	1,000	0,536	109
CHR	14	20,642	0,0575	1,000	0,622	22
EPB	Général	44,341	0,0194	1,000	0,881	31
EPN	Général	25,840	0,0551	1,000	0,696	30
EPR	Général	24,160	0,0688	1,615	0,842	79
ERA	Général	23,944	0,0563	1,000	0,502	120
ERA	11	21,802	0,0733	1,000	0,380	61
ERR	Général	15,385	0,1398	1,000	0,171	25
ERS	Général	26,368	0,0423	0,676	0,712	9049
ERS	1	25,081	0,0699	1,000	0,670	1104
ERS	3	24,246	0,0746	1,000	0,757	1756
ERS	4	25,076	0,0744	1,000	0,753	1016
ERS	7	21,296	0,0817	1,000	0,702	1102
ERS	8	23,543	0,0692	1,000	0,797	269
ERS	9	19,137	0,0939	1,000	0,572	431

Tableau B1 - Détails des équations hauteur-dhp (suite)

Espèce	Gr. Assoc.	B1	B2	B3	R²	NOBS
ERS	12	29,363	0,0590	1,000	0,872	125
ERS	13	25,190	0,0621	1,000	0,776	1097
ERS	14	22,239	0,0705	1,000	0,714	286
ERS	15	21,363	0,0945	1,000	0,706	1109
ERS	16	26,590	0,0687	1,000	0,691	612
ERS	17	25,630	0,0692	1,000	0,561	142
FRA	Général	28,358	0,0413	1,000	0,653	36
FRN	Général	23,311	0,0608	0,794	0,719	211
FRN	5	22,317	0,0848	1,000	0,796	171
FRN	20	17,532	0,1052	1,000	0,383	40
HEG	Général	23,716	0,0812	1,161	0,699	1399
HEG	3	23,862	0,0709	1,000	0,699	750
HEG	4	25,114	0,0698	1,000	0,733	492
HEG	13	22,309	0,0737	1,000	0,672	131
HEG	14	22,324	0,0835	1,000	0,553	26
ORA	Général	24,770	0,0510	1,000	0,771	23
PEG	Général	23,928	0,0921	1,000	0,553	105
PEG	3	23,713	0,1057	1,000	0,526	29
PEG	4	24,077	0,0869	1,000	0,572	76
PET	Général	25,951	0,0696	0,873	0,508	376
PET	2	22,162	0,0955	1,000	0,267	50
PET	3	26,522	0,0735	1,000	0,596	326
PIB	Général	27,206	0,0411	1,000	0,687	335
PIB	6	31,956	0,0410	1,000	0,705	20
PIB	10	27,709	0,0341	1,000	0,795	124
PIB	18	25,900	0,0485	1,000	0,668	191
PIG	Général	23,206	0,0969	1,000	0,248	74
PIR	Général	23,030	0,0491	1,000	0,765	32
PRU	Général	26,495	0,0429	1,201	0,773	1215

Tableau B1 - Détails des équations hauteur-dhp (suite)

Espèce	Gr. Assoc.	B1	B2	B3	R²	NOBS
SAB	Général	24,741	0,0833	1,757	0,783	1169
SAB	2	25,230	0,0821	1,835	0,816	842
SAB	3	18,232	0,1459	2,980	0,899	5
SAB	5	20,773	0,1262	2,404	0,777	111
SAB	20	23,420	0,0829	1,411	0,609	210
THO	Général	20,642	0,0485	1,000	0,767	294
THO	20	20,139	0,0516	1,000	0,772	226
THO	21	22,476	0,0390	1,000	0,754	68
TIA	Général	27,651	0,0639	1,000	0,446	302
TIA	1	31,215	0,0511	1,000	0,482	67
TIA	12	31,725	0,0580	1,000	0,634	6
TIA	13	26,540	0,0536	1,000	0,224	14
TIA	16	26,646	0,0691	1,000	0,432	215

ANNEXE C

Répartition des études d'arbres complètes par association, boj et ers

ASSOC	BOJ	ERS	NBPLAC
(BOJ) ERSBOJ	57	-	1
(PET) ERSBOJHEG	-	220	4
(PET) ERSTIAHEG	-	60	1
BOJSAB	528	-	16
CHRRERS	-	57	1
CHRRERSTIA	-	335	7
ERSBOJ	140	731	15
ERSBOJ(PET)	43	-	1
ERSBOJ(TIA)	37	64	3
ERSBOJHEG	230	1093	24
ERSBOJPOC	-	85	1
ERSCHR	-	128	1
ERSOSVHEG	-	27	1
ERSOVS	-	44	1
ERSOSVCHR	-	159	4
ERSOSVHEG	-	756	12
ERSOSVORA	-	849	6
ERSTIA	-	404	13
ERSTIACHR	-	772	11
ERSTIAHEG	-	665	15
ERSTIANOC	-	54	2
ERSTIAORA	10	24	2
TOTAL	1045	6527	142

Répartition des études d'arbres complètes par association, bop, chr, era, frn, heg, pet, pib, pru, sab, tho et tia.

ASSOC	BOP	CHR	ERA	FRN	HEG	PET	PIB	PRU	SAB	THO	TIA	NBPLAC
(BOP)BOJSAB	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
(PET)BOJSAB	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	1
(PET)ERSBOJHEG	-	-	-	-	-	247	-	-	-	-	-	5
BOJSAB	-	-	-	-	-	-	-	-	728	-	-	18
BOPERSBOJTIA	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
BOPERSTIACHR	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
CHRRERS	2	131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
CHRRERTIA	-	465	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
CHRPBIB	-	30	-	-	-	-	29	-	-	-	-	3
CHRPBIBHEGERR	-	14	-	-	-	-	17	-	-	-	-	2
ERAORA	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSBOJHEG	-	-	-	-	450	-	-	-	4	-	-	23
ERSBOJPOC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
ERSBOJTIAPET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	1
ERSCHR	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSOSVCHR	-	8	-	-	14	-	-	-	-	-	-	2
ERSOSVHEG	-	-	-	-	96	-	-	-	-	-	2	8
ERSTIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	9
ERSTIACHR	-	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
ERSTIAHEG	-	-	-	-	296	-	-	-	-	-	-	15
FRNBOJ	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	1
FRNSAB	-	-	-	88	-	-	-	-	91	-	-	2
HEG	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	1
HEGERSBOJ	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	1
PIBBOP	5	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	1
PIBPIR	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	3
PIBPIRSABLE	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	-	1
PRUBOJ	-	2	-	-	-	-	-	825	-	-	-	12
PRUBOJHUM	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	-	1
PRUBOPPIB	-	-	-	-	-	-	10	11	-	-	-	1
SABAUR	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	1
SABTHO	-	-	-	-	-	-	-	-	80	30	-	2
SABTHOEPN	-	-	-	-	-	-	-	-	29	22	-	1
SABTHOFRN	-	-	-	10	-	-	-	-	29	-	-	3
THOBOJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1
THOBOJSAB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	1
THOSAB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	1
THOSABFRN	-	-	-	8	-	-	-	-	-	20	-	2
TOTAL	118	841	51	113	899	286	174	880	991	127	186	149

Répartition des études d'arbres complètes par association, toutes les essences

ASSOC	BOJ	BOP	CHR	ERA	ERS	FRN	HEG	PET	PIB	PRU	SAB	THO	TIA	NBPLAC
(BOJ)ERSBOJ	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
(BOP)BOJSAB	-	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
(PET)BOJSAB	-	-	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	1
(PET)ERSBOJHEG	-	-	-	-	220	-	-	247	-	-	-	-	-	5
(PET)ERSTIAHEG	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	1
BOJSAB	528	-	-	-	-	-	-	-	-	-	728	-	-	19
BOPERSBOJTIA	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
BOPERSTIACHR	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
CHRRERS	-	2	131	-	57	-	-	-	-	-	-	-	-	4
CHRRERSTIA	-	-	465	-	335	-	-	-	-	-	-	-	-	7
CHRPIB	-	-	30	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	3
CHROIBHEGERR	-	-	14	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	2
ERAORA	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSBOJ	140	-	-	-	731	-	-	-	-	-	-	-	-	15
ERSBOJ(PET)	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSBOJ(TIA)	37	-	-	-	64	-	-	-	-	-	-	-	-	3
ERSBOJHEG	230	-	-	-	1093	-	450	-	-	-	4	-	-	24
ERSBOJPOC	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	-	1	1
ERSBOJTIAPET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	1
ERSCHR	-	-	1	-	128	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSOSHEG	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSOSV	-	-	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ERSOSVCHR	-	-	8	-	159	-	14	-	-	-	-	-	-	4
ERSOSVHEG	-	-	-	-	756	-	96	-	-	-	-	-	2	12
ERSOSVORA	-	-	-	-	849	-	-	-	-	-	-	-	-	6
ERSTIA	-	-	-	-	404	-	-	-	-	-	-	-	130	13
ERSTIACHR	-	-	190	-	772	-	-	-	-	-	-	-	-	11
ERSYIAHEG	-	-	-	-	665	-	296	-	-	-	-	-	-	15
ERSTIANOC	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	2
ERSTIAORA	10	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	2
FRNBOJ	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	1
FRNSAB	-	-	-	-	-	88	-	-	-	-	91	-	-	2
HEG	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	1
HEGERSBOJ	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	1
PIBBOP	-	5	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	1
PIBPIR	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	3
PIBPIRSABLE	-	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	-	1
PRUBOJ	-	-	2	-	-	-	-	-	-	825	-	-	-	12
PRUBOJHUM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	-	1
PRUBOPPIB	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	-	-	-	1
SABAUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	1
SABTHO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	30	-	2
SABTHOEPN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	22	-	1
SABTHOFRN	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	29	-	-	3
THOBOJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1
THOBOJSAB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	1
THOSAB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	1
THOSABFRN	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	20	-	2
TOTAL	1045	118	841	51	6527	113	899	286	174	880	991	127	186	196

ANNEXE D

Groupement d'associations	Associations
1	(BOJ)ERSBOJ, BOPERSBOJTIA, ERSBOJ, ERSBOJ(PET), ERSBOJ(TIA), ERSBOJTIAPET
2	(BOP)BOJSAB, (PET)BOJSAB, BOJSAB
3	(PET)ERSBOJHEG, ERSBOJHEG, HEG HEGERSBOJ
4	(PET)ERSTIAHEG, ERSTIAHEG, ERSTISHEG
5	BOJFRN, FRNBOJ, FRNSAB
6	BOJPRUTHOERR, PRUBOJ, PRUBOJHUM, PRUBOPPIB
7	BOPERSTIACHR, ERSTIACHR
8	CHRERS, ERSCHR
9	CHRERSTIA
10	CHRPIB, CHRPIBHEGERR
11	ERAORA
12	ERSBOJPOC
13	ERSOSHEG, ERSOSVHEG
14	ERSOSV, ERSOSVCHR
15	ERSOSVORA, ERSOSVORA(CET)
16	ERSTIA
17	ERSTIANOC, ERSTIAORA
18	PIBBOP, PIBPIR, PIBPIRSABLE
19	PIGBOP
20	SABAUR, SABTHO, SABTHOEPN, SABRHOFRN, THOSAB, THOSABFRN
21	THOBOJ, THOBOJSAB

ANNEXE E

CD-ROM du projet – Structure des répertoires

