

# AJUSTEMENT DE MODÈLE HYPERBOLIQUE HAUTEUR-CIRCONFÉRENCE POUR LE CHÊNE ZÉEN (*Quercus canariensis* Willd) DE L'AKFADOU (ALGÉRIE)

K. RABHI<sup>1</sup> et M. MESSAOUDENE<sup>2</sup>

1 : Université Abou Bekr Belkaid, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers (Tlemcen).

2 : INRF-Station régionale de Recherche Forestière (Tizi-Ouzou, Algérie).

## ملخص

في هذا العمل، تم تجهيز نموذج القطعي بين ارتفاع و محيط أشجار البلوط الزان في قطعتين من أشجار بغابة أكفادو. فهي متجانسة من حيث الظروف البيئية، ولكنها مختلفة فيما يتعلق هيكلها. يتم تطبيق التجهيز على مجموع 825 أشجار أي 378 شجرة (قطعة P1) و 447 شجرة (قطعة P2). تظهر النتائج أن النموذج القطعي يبدو أكثر انسجام في الهيكل العادي (P2)، ويتم خفض قوتها في حالة هيكل الذي فيه تنوع أعمار الأشجار (P1). في كلتا الحالتين، الثابت الشكلي مستقر نسبياً. الفرق بين قطعتي الأرض يكمن في نمو مقارب.

**الكلمات الدالة :** أكفادو، نموذج القطعي، بلوط الزان هيكل الغابة، العلو و محيط الأشجار.

## RÉSUMÉ

Dans le présent travail, un modèle hyperbolique est ajusté entre la hauteur et la circonférence des arbres de deux peuplements de *Quercus canariensis* de la forêt d'Akfadou. Ils sont homogènes du point de vue des conditions de milieu, mais différents par rapport à leurs structures. L'ajustement est appliqué à un effectif global de 825 arbres, soit 378 arbres (P1) et 447 arbres (P2). Les résultats montrent que le modèle hyperbolique apparaît plus approprié à la structure régulière (P2) ; sa puissance est réduite dans le cas de la structure jardinée (P1). Dans les deux cas, le paramètre de forme est relativement stable. La différence entre les deux parcelles réside au niveau de la croissance asymptotique.

**Mots clés :** Akfadou, circonférence, hauteur, modèle hyperbolique, *Quercus canariensis*, structure.

## INTRODUCTION

L'absence d'étude sur la dynamique globale des peuplements de *Quercus canariensis* Willd de la forêt d'Akfadou pose le problème de la connaissance et de l'évaluation de la production en bois. Depuis les fortes exploitations des années 1940, cette forêt d'une superficie avoisinant les 12000 ha, représentant 25% des formations à chênes caducifoliées d'Algérie, n'a subi aucun aménagement, ni de travaux sylvicoles permettant de réduire

les contraintes croissance et de développement en diamètre et en hauteur des arbres qu'on peut lier aux compétitions entre arbres (Lanier, 1986). Actuellement, elle présente une mosaïque de structures, de régimes (futaie, taillis et taillis sous-futaie) et de densité allant de 800 à 2500 arbres par hectare à des âges de 70 à 240 ans. L'ensemble est soumis à une diversité édaphique, topographique et micro-climatique (Messaoudène, 1989 ; Messaoudène *et al.*, 2006).



Dans ce travail, nous nous intéressons à l'ajustement de modèle hyperbolique entre les hauteurs et les circonférences des arbres de deux peuplements homogènes du point de vue des facteurs du milieu et contrastées par rapport à leurs structures et leurs densités d'arbres par hectares. L'objectif est de comprendre la relation qui pourrait exister entre ces deux descripteurs et d'appréhender les analogies ou les divergences rattachées au statut social des arbres (Dhôte, 1991). Dans ce contexte, plusieurs types de modèles sont établis pour de nombreuses situations forestières, notamment pour décrire la productivité des peuplements, la croissance des arbres, l'évolution des profils des houppiers, la biomasse forestière, la structure et l'architecture des arbres forestiers, la qualité du bois et la sylviculture (Canadell *et al.*, 1988 ; Dhôte et de Herce, 1994 ; Deleuze et Houllier, 1995 ; Deleuze *et al.*, 1996 ; Dhôte, 1996 ; Deleuze et Houllier, 1998 ; Guilley *et al.*, 1999 ; Gourlet-Fleury S., Houllier F., 2000 ; Rathgeber *et al.*, 2004 ; Ngo Bieng, 2007 et Picard, 2007). D'après Dhôte et de Herce (1994), la forme hyperbolique est plus indiquée pour modéliser la hauteur en fonction du diamètre et/ou de la circonférence ; il est relativement simple à paramétrer et dont l'interprétation ouvre des perspectives sur la modélisation et l'optimisation simultanées des variables dendrométriques, en relation avec l'état des peuplements.

L'application de cette forme hyperbolique à la zénaie de l'Akfadou Ouest, allant de Mehagga au col de l'Akfadou, consiste en

un premier test d'analyse qu'il est possible d'élargir à l'ensemble de la forêt. Il s'inscrit dans le cadre de l'étude globale sur la typologique des peuplements du massif, et ce dans la perspective de son aménagement ultérieur.

## MATERIEL ET METHODES

Le travail a été réalisé dans deux parcelles pures de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) du massif forestier de l'Akfadou situé à environ 160km à l'Est d'Alger et à moins de 20 km à vol d'oiseau de la mer méditerranée (Fig. 1). Les deux parcelles s'étendent sur une superficie globale de 50ha, présentent une homogénéité édaphique et topographique, mais différentes au point de vue de la structure et de la densité du peuplement (Tab. I ; Fig. 2) (Rabhi, 2011).

L'inventaire dendrométrique pied par pied a été effectué sur un total de 44 placettes circulaires de deux ares (200m<sup>2</sup>) choisies aléatoirement dans chacune des deux parcelles, soit 20 et 24 placettes (P1 et P2). Les mesures des hauteurs (H) et les circonférences à 1.30m du sol ( $C_{1,30}$ ) ont été faites à l'aide respectivement du Vertex III et du ruban-mètre sur un effectif total de 825 arbres, soit 378 pour P1 et 447 pour P2. L'analyse comparée des hauteurs et des circonférences entre les deux parcelles montrent des différences significatives au seuil  $\alpha = 0,05$  avec  $F_{obs} = 61,70$  ;  $p = 0,0001$  pour  $C_{1,30}$  et  $F_{obs} = 257,71$  ;  $p = 0,0001$  pour H (Rabhi, 2011).



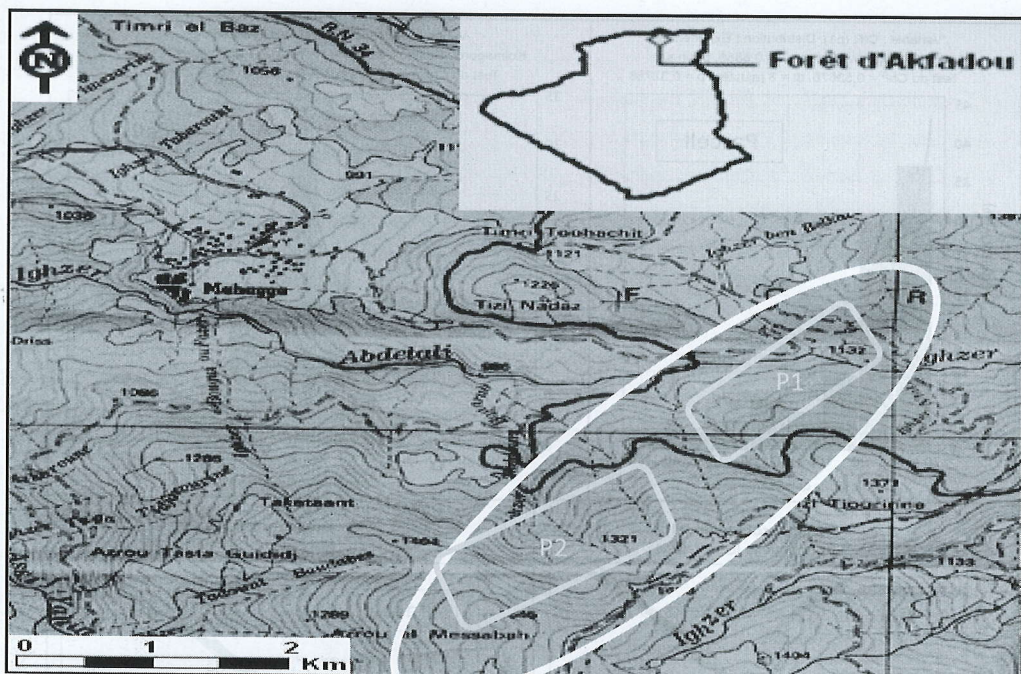


Figure 1 : Localisation des parcelles P1 et P2 étudiées (Carte Sidi Aich NJ-31-V-41 Ouest).

Tableau I : Caractérisation abiotique et dendrométrique des deux parcelles étudiées.

Caractéristiques	Parcelle 1 (P1)	Parcelle 2 (P2)
Bioclimat	Humide à variante tempérée	(Messaoudène et <i>al</i> , 2007)
Altitude (m)	1332	1321
Exposition	Nord-Ouest	Nord-Ouest
Pente (%)	35%	38%
Substrat	Grès numidien	Grès numidien
Sol	Brun lessivé acide	Brun lessivé acide
Type de peuplement	Futaie	Futaie
Densité de peuplement	860 arbres/ha	1015 arbres/ha
Âge moyen du peuplement	125	130
Hauteur moyenne (m)	12,89	10,80
Circonférence moyenne (cm)	89,70	77,90
Structure globale	Jardinée	Régulière



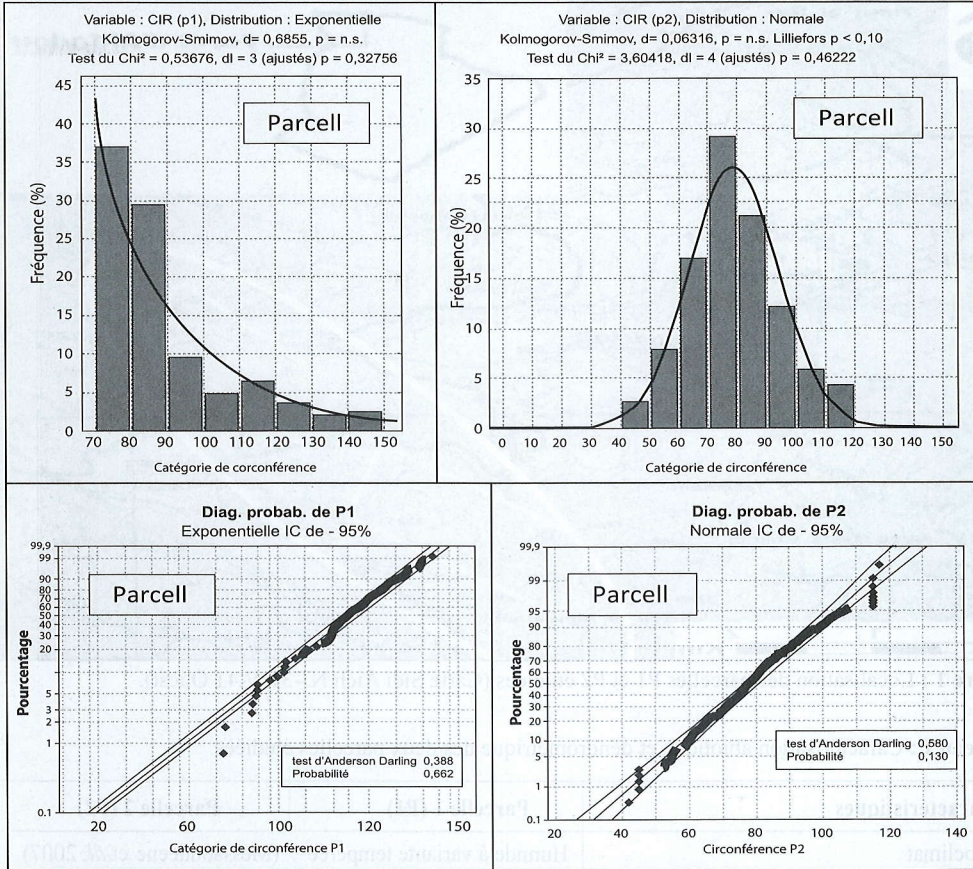
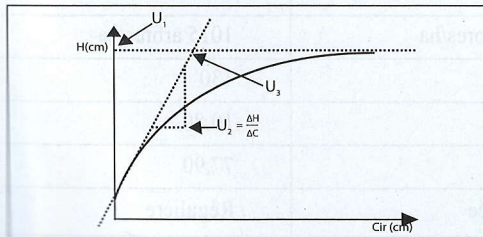


Figure 2 : Résidus en fonction du volume estimé par l'équation de cubage à une entrée pour l'ensemble des pinèdes.

Le modèle hyperbolique retenu pour ajuster la relation Hauteur-circonférence suit la forme ci-après (1) et schématisé graphiquement par la figure 3.

$$H(C) = \frac{U_1 + U_2 C - \sqrt{(U_1 + U_2 C)^2 - 4U_1 U_2 U_3 C}}{2U_3} + 1.3$$



Où  $U_1$  : caractérise la courbure de la fonction de la variable expliquée et représente l'estimation de la hauteur pour les circonférences maximales (hauteur asymptotique) ;  $U_2$  : symbolise la pente à l'origine ou le rapport  $H/C_{1,30}$  ;  $U_3$  : est un paramètre de forme (géométrie de la courbe).

Figure 3 : Représentation théorique du modèle hyperbolique.



Pour l'appréciation de la qualité des ajustements, plusieurs tests statistiques ont été mis en œuvre : le coefficient de détermination ( $R^2$ ), l'Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike, 1973 *in* Beal, 2005) qui est basé sur la méthode du maximum de vraisemblance et évalue la ressemblance entre le modèle estimé et le modèle "réel théorique", le carré moyen résiduel (CMR), le modèle est d'autant plus efficace que ce dernier tend vers zéro et le rapport de variance (RV). Quant au test graphique, la droite d'Henry est utilisée pour vérifier la normalité des résidus du modèle.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les paramètres estimés ainsi que les tests de vérification de la qualité des modèles sont récapitulés dans le tableau (IV) d'où les modèles (2) et (3). Les résultats de l'estimation des paramètres affichent une nette dissimilitude des deux parcelles d'étude quant au paramètre  $U_1$ , le peuplement de la parcelle 1 est plus productif comparé à celui de la parcelle 2. Ce paramètre est étroitement lié à la hauteur dominante et à la fertilité de la station

(Pauwels *et al.*, 1999). Bien que les deux unités d'échantillonnage soient proches du point de vue géographique, les résultats obtenus montrent que la parcelle 2 est moins fertile par rapport à la parcelle 1. Le rapport H/cir du peuplement régulier est légèrement plus supérieur par rapport à celui jardiné. D'après Becker (1992), ce rapport apparaît être un bon intégrateur des conditions moyennes de compétition auxquelles l'arbre a été soumis tout au long de sa vie ; ces conditions de compétition englobent à la fois le statut social de l'arbre au sein du peuplement et la densité de ce dernier, l'élancement est plutôt favorisé dans le cas des peuplements denses ce qui, évidemment, se répercute sur la valeur du rapport (Lanier, 1986). Les valeurs affichées par les modèles sont le résultat des conditions de densité et de compétition constatées dans les deux peuplements étudiés. Quant au paramètre de forme, les deux valeurs obtenues [0.95 (P1) et 0.89 (P2)] sont presque égales. A ce sujet, Deleuze *et al.*, (1996) note que ce paramètre observe une stabilité autour de 0.9 pour l'épicéa, le hêtre et le chêne rouvre et ce quelque soit l'âge.

**Tableau IV** : Estimation des paramètres et qualité des modèles.

	Paramètres estimés			Qualité des modèles				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R^2$	P	AIC	CMR	RV
P. 1	27.49	0.13	0.95	0.44	0.001	-12.41	0.58	0.40
P. 2	17.47	0.24	0.89	0.41	0.002	-74.47	0.12	0.79

$R^2$  : coef. de détermination ;  $P$  : probabilité ;  $AIC$  : Akaike information criterion ;  $CMR$  : carré moyen résiduel ;  $RV$  : rapport de la variance.



$$H = \frac{27.49+0.13C-\sqrt{(27.49+0.13C)^2-13.58C}}{1.9} + 1.3.....(2)$$

$$H = \frac{17.47+0.24C-\sqrt{(17.47+0.24C)^2-14.92C}}{1.78} + 1.3.....(2)$$

Les deux modèles ont été simulés à l'aide d'une même série de circonférence (fig. 4). Au démarrage, les deux courbes représentant les deux modèles se superposent parce que les pentes à l'origine respectives ne sont pas très différentes (0,13 ; 0,24), même constatation pour la forme géométrique des deux courbes. Cependant, l'élément de discrimination majeur des deux peuplements est la hauteur asymptotique que nous pourrions attribuer à la différence de fertilité caractérisant les deux parcelles. Egalement, il apparaît qu'à partir des circonférences proches de 50 cm, la hauteur maximale de P2 présente une stabilité précoce. Cette situation, mettant en évidence les différences d'amplitude de la hauteur maximale, traduirait l'effet de la structure jardinée ou irrégulière à travers sa discontinuité horizontale et verticale dans l'espace (Dhôte *et al.*, 2005 ; Ngo Bieng, 2007 ; Fortin *et al.*, 2009).

Les tests statistiques réalisés confirment que les deux modèles ajustés pour les deux peuplements sont acceptables, mais celui établi pour le peuplement équienne apparaît de qualité supérieure d'où un AIC égale à -0,74 et un RV=0,79. Il apparaît que la structure jardinée réduit la puissance de l'ajustement à la forme hyperbolique. La figure 5 montre que dans l'intervalle de confiance (IC=0,95) les résidus sont parfaitement normaux à part quelques valeurs extrêmes qui sont insignifiantes.

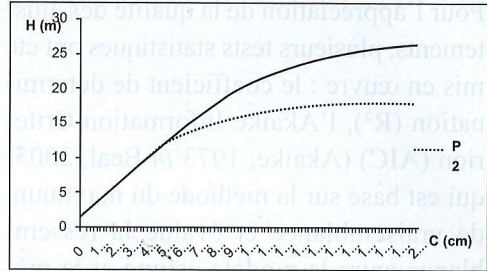


Figure 4 : Simulation des deux modèles estimés.

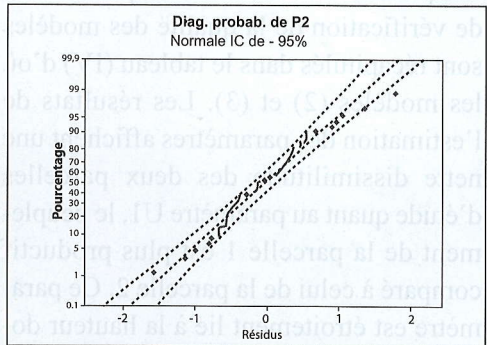
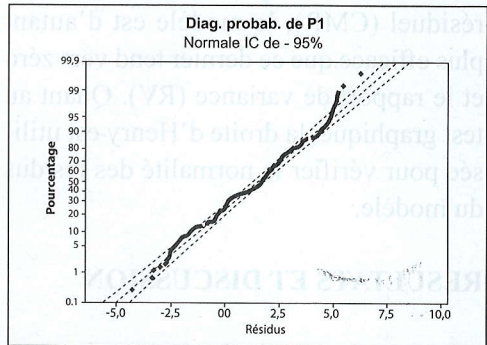


Figure 5 : Test de normalité des résidus.

Pour vérifier si la densité a une influence sur la relation hauteur-circonférence et si elle influe significativement sur les paramètres des modèles, nous avons représenté les résidus des modèles en fonction d'un gradient croissant. L'observation de la figure 6 montre que les résidus sont importants pour les densités faibles et très fortes. Dans ce cas, respectivement, les



modèles tendent à sous-estimer et surestimer la hauteur. De la forme du nuage de points, on peut déduire que les modèles ne prennent en considération que l'effet des densités moyennes proches de 800 tiges/ha.

Dhôte et Hervé (2000) estiment que l'absence de structure ou de tendance claire pour les résidus des peuplements ne signifie pas l'absence de l'effet de ce facteur. On peut bien admettre qu'une influence d'intensité faible n'apparaît qu'une fois le facteur soit mesuré pour chaque arbre alors que dans notre cas nous avons mesuré la densité que par placette. Dans ce cas, la tendance d'un nuage de point plus dense deviendra facile à déceler. Le cas contraire, l'attribution d'une valeur moyenne du facteur en question pour tous les individus de la placette provoquerait des compensations et la tendance deviendra alors brouillée.

## CONCLUSION

Le modèle hyperbolique proposé pour décrire la hauteur en fonction de la circonférence dans de deux peuplements de *Quercus canariensis*, contrastés du point de vue de la structure, ne constitue qu'un premier diagnostic que nous pensons élargir à l'ensemble de la forêt de l'Akfadou. A ce stade de perception, nous pouvons retenir que le modèle hyperbolique s'ajuste mieux à un peuplement de structure régulière alors qu'il est peu puissance au niveau de la structure jardinée. Dans les deux cas, nous constatons que la croissance en hauteur diminue avec l'évolution du diamètre.

Les contraintes d'ajustement pourraient résulter d'un déséquilibre des fréquences des classes de hauteurs et de circonférences dans les deux parcelles et des densités d'arbres par hectares dans les

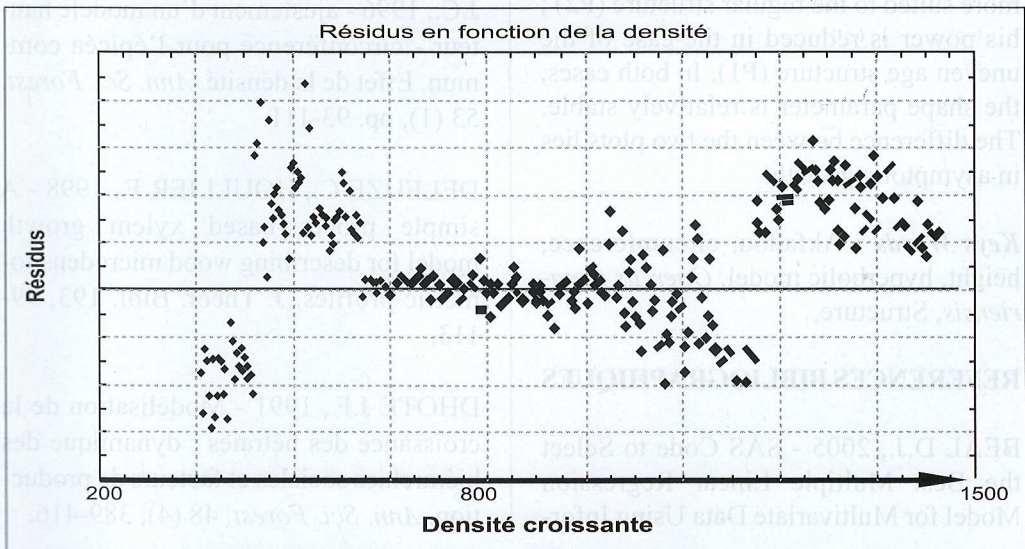


Figure 6 : Représentation des résidus en fonction de la densité.



placettes d'inventaire que nous pourrions rattacher à la stratégie de choix de placette aléatoirement. Un dispositif systématique serait mieux indiqué par assurer l'uniformité de répartition des placettes d'inventaire.

### Ajustment of hyperbolic model height-circumference for the zeen oak (*Quercus canariensis* Willd) of Akfadou (Algeria).

#### Summary

In the present work, a hyperbolic model is adjusted between the height and the circumference of the trees of two stands of *Quercus canariensis* of Akfadou forest. They are homogeneous from environmental condition, but different with regard to their structures. The adjustment is applied to a global size of 825 trees (378 trees (P1) ; 447 trees (P2)). The results show that the hyperbolic model seems more suited to the regular structure (P2) ; his power is reduced in the case of the uneven age structure (P1). In both cases, the shape parameter is relatively stable. The difference between the two plots lies in asymptotic growth.

**Keys Words :** Akfadou, circumference, height, hyperbolic model, *Quercus canariensis*, Structure,

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEAL D.J., 2005 - SAS Code to Select the Best Multiple Linear Regression Model for Multivariate Data Using Infor-

mation Criteria. Science Applications International Corporation (SAIC), Tennessee, USA, 6 pages.

BECKER M., 1992 - Deux indices de compétition pour la comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre d'arbres aux passés sylvicoles variés et inconnus. *Ann. Sci. Forest.* 49 (1), 25-37.

CANADELL J., RIBA M., ANDRES P., 1988 - Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. *Forestry*, Vol. 61, N° 2, 137-147.

DELEUZE C., HOULLIER F., 1995 - Prediction of stem profile of *Picea abies* using a process-based tree growth model. *Tree physiology* 15, 113-120.

DELEUZE C., BLAUDEZ D., HERVE J.C., 1996 - ajustement d'un modèle hauteur - circonférence pour l'épicéa commun. Effet de la densité. *Ann. Sci. Forest.* 53 (1), pp. 93-111.

DELEUZE C., HOULLIER F., 1998 - A simple process-based xylem growth model for describing wood microdensitometric profiles. *J. Theor. Biol.* 193, 99-113.

DHOTE J.F., 1991 - Modélisation de la croissance des hêtraies : dynamique des hiérarchies sociales et facteurs de production. *Ann. Sci. Forest.* 48 (4), 389-416.



DHOTE J.F., DE HERCE E., 1994 - Un modèle hyperbolique pour l'ajustement de faisceaux de courbes hauteur-diamètre, *Can. J.For. Res.* 24, (9), pp. 1782-1790.

DHÔTE J.F., 1996 - A model of even-aged beech stands productivity with process-based interpretations. *Ann. Sci. Forest.* 53, 1-20.

DHOTE J.F, HERVE J.C., 2000 - Changement de productivité dans quatre forêts de chêne sessile depuis 1930 : une approche au niveau du peuplement. *Ann. Sci.Forest.* 57 (7), 651-680.

DHOTE J.F., CORDONNIER T., DREYFUS P., LE GOFF N., 2005. Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées. *Rendez vous techniques*, ONF Fontainebleau, vol. 10, 22-31.

FORTIN M., BERNIER S., SAUCIER J-P., LABBE F., 2009 - Une relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et du climat pour 20 espèces commerciales du Québec. *Mém. Rech. Forest.* N° 153, Dir.Rech. For., Québec, 40 pages.

GOURLET-FLEURY S., HOULLIER F., 2000 - Modelling diameter increment in a lowland evergreen rain forest in French Guiana. *Forest Ecology and Management* 131 (1-3), 269-289.

LANIER L., 1986 - Précis de sylviculture. ENGREF., Nancy 467 pages.

MESSAOUDENE M., 1989 - Dendroécologie et productivité de *Quercus afares* POMEL et *Quercus canariensis* WILLD. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghobri en Algérie. Th. Doct. ès sciences, univ. Aix - Marseille III. Fac. St Jérôme, Marseille, 123 pages.

MESSAOUDENE M., LARIBI M., DERRIDJ A., 2007 - Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques*, 2007, N° 291 (1), 75-81.

NGO BIENG M.A., 2007 - Construction de modèles de structure spatiale permettant de simuler des peuplements virtuels réalistes. Application aux peuplements mélangés chêne sessile-pin sylvestre de la région centre. Thèse de Doctorat, ENGREF., Paris, 209 pages.

PICARD N., 2007 - Modélisation de la dynamique de forêts naturelles tropicales : quel niveau de description? Mémoire de Synthèse de l'Habilitation, Univ. Montpellier II, 99 p.

PAUWELS D., THIBAUT A., LEJEUNE P., RONDEUX J., 1999 - Elaboration de courbes de croissance en hauteur dominante pour les mélèzes (*Larix decidua* Mill. et *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) en Belgique méridionale. *Ann. Sci. Forest.* 56 (1), pp. 27-34.



RABHI K., 2011 - Ajustement de modèles hauteur - circonférence - âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ousou); effet de la densité et de la station. Mém. Mag. For. Univ. Tlemcen, 67 pages.

RATHGEBER C., BLANC L., RIPPERT T C., VENNETIER M., 2004 - Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en région méditerranéenne française. Ecol. Médit. Tome 30, fasc. (2), 205-218.

DHOTE J.F., DE HERCE B., 1994 - Un modèle hyperbolique pour l'ajustement de paramètres de courbes hauteur-diamètre. Can. J. For. Res. 24 (9), pp. 1782-1790.

DHOTE J.F., 1996 - A model of even-aged beech stands productivity with process-based interpretations. Ann. Sci. Forest. 53, 1-20.

DHOTE J.F., HERVE J.C., 2000 - Changement de productivité dans quatre forêts de chêne sessile depuis 1930 : une approche au niveau du peuplement. Ann. Sci. Forest. 57 (7), 651-680.

DHOTE J.F., GORDONNIER T., DREYFUS P., LE GOFF N., 2005. Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées. Rendez vous techniques, ONF. Fontainebleau, vol. 10, 22-31.

FORTIN M., BERNIER S., SAUCIER J.-P., LABBE F., 2009 - Une relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et du climat pour 20 espèces commerciales du Québec. Mém. Rech. Forest. N° 153, Dir. Rech. For., Québec, 40 pages.

GOURLET-FLEURY S., HOULLIER F., 2000 - Modelling diameter increment in a lowland evergreen rain forest in French Guiana. Forest Ecology and Management 131 (1-3), 269-289.