

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش - الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE (El Harrach)

Département de Foresterie et Protection de la Nature

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de

Magister en sciences agronomiques

Option : Biodiversité et Biotechnologie Végétales

**Etude des relations entre les variables dendrométriques du Chêne zeen
(*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Ath Ghobri (wilaya de
Tizi-Ouzou).**

Présenté par Mme HAMIDOUCHE CHAFIAA _SI MOHAMMED

Soutenue le 20/01/10 devant le jury composé de :

Président de jury

M. M. BELLATRECHE : Professeur, ENSA Alger.

Directeur de Thèse

M. M. MESSAOUDENE : Maître de Recherche, INRF.

Examineurs

M. A. DERRIDJ : Professeur, université Mouloud Mammeri (Tizi Ouzou).

M. L. KHELIFI : Professeur, ENSA d'Alger.

M. E. OLDACHE : Maître de conférences, ENSA d'Alger.

Année universitaire 2009/2010

Dédicace

A ma très chère mère

Remerciements

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à :

- **M. MESSAOUDENE**, de m'avoir encadré et conseillé tout au long de ce travail.
- **M. BELLATRECHE** pour m'avoir orienté pour le choix de ce thème et d'avoir accepté de présider le jury.

Je remercie également le professeur **M. DERRIDJ**, **M. KHELIFI** et **M. OLDACHE** Qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

- Ceux qui ont collaboré étroitement à mon travail de terrain tous particulièrement mon mari pour son aide très efficace, le personnel de la circonscription d'azazga et les agents du district de yakouren.
- Je remercie également M. IBAZIZEN, M. MEHERI et M. HADJAS enseignants à la faculté des sciences exacte à l'université de Mouloud Mammeri, pour m'avoir écouté et donné du temps et de l'importance à mon travail.
- Mes vifs remerciements vont aussi à tous les enseignants de la faculté d'agronomie, spécialement Mme NEIT KACI et ceux du laboratoire de biologie végétale (en particulier Melle ADJAOUUD) ; sans oublier le personnel de la bibliothèque de la faculté des sciences biologiques et agronomiques (Mme MAMOU, LYNDA et HOURIYA).

PLAN

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : La monographie du Chêne zéen

Introduction.....	5
1. 1 La systématique	5
1.2 Répartition géographique.....	5
1.3 Caractéristiques botaniques et andrologiques.....	6
1.4 Caractéristiques anatomiques et technologiques du bois.....	6
1.5 Conditions écologiques.....	8
1.5.1 Climat et bioclimat	8
1.5.2 Altitude et étage de végétation.....	11
1.5.3 Le substrat.....	11
1.6 Les agents destructeurs de bois du Chêne zéen.....	13
1.7 La sylviculture du Chêne zéen.....	13
1.7.1 Les traitements sylvicoles.....	13
1.7.2 La régénération du Chêne zéen.....	13
Conclusion partielle.....	17

Matériel et Méthodes

Chapitre II: la description de la zone d'étude.

Introduction.....	18
2.1 Localisation.....	18
2.2 Le milieu physique.....	18
2.2.1 Élément géologique.....	18
2.2.2 Élément de relief et topographie.....	18
2.2.3 Élément pédologique.....	20
2.2.4 Élément du climat.....	20
2.2.5 La végétation.....	22
Conclusion.....	24

Chapitre III : la méthodologie et l'inventaire forestier

Introduction.....	25
3.1 Le choix des stations et des placettes d'études	25
3.2 La forme, la délimitation et la taille de l'échantillon	26
3.3 Les relevés dendrométriques	26
3.4 Traitement de données.....	28
3.4.1 calcul de coefficient dendrométriques.....	28
3.4.2 Analyse descriptive unidimensionnelle.....	28
3.4.2.1 Etude de la normalité des populations.....	29
3.4.2.2 Etude de la structure et de la densité des peuplements.....	29
3.4.2.3 Comparaison des moyennes.....	30
3.4.3 Analyse multidimensionnelle.....	30
3.4.3.1 le calcul des corrélations	30
3.4.3.2 La méthodologie modélisation.....	30
3.4.3.3 Ajustement des modèles	32
3.4.3.4. Analyse des résidus.....	33
3.4.3.5. Analyse graphique.....	33

Résultats

Chapitre IV : Analyse statistique et interprétation des résultats

4.1 Analyse des paramètres statistiques des trois stations.....	34
4.1.1. La hauteur (m).....	34
4.1.2 Le diamètre à 1,30m.....	34
4.1.3. La circonférence.....	35
4.1.4 Diamètre à mi- hauteur.....	35
4.1.5 Le diamètre du houppier	40
4.1.6 L'espace moyen.....	40
4.1.7 Le coefficient de défilement.....	42
4.1.8 Le volume.....	42
4.2. Etude de la structure et de La densité.....	44
4.2.1 Etude de la structure.....	44
4.2.2. Etude de la densité.....	44

4.3. Etudes des relations entre les variables.....	47
4.3.1. Corrélations à l'échelle de placette.....	47
4.3.2. Liaisons globales entre les variables dendrométriques intra stations.....	48
4.4. Modélisation des variables dendrométriques	48
4.4.1. Régression simple.....	48
4.4.1.1. Ajustement de la Hauteur (HT) en fonction du Diamètre ($D_{1.30}$).....	48
4.4.1.2. Ajustement de la Hauteur (HT) en fonction du diamètre ($D_{1/2ht}$).....	53
4.4.1.3. Ajustement du Volume (V) en fonction de la hauteur (HT).....	56
4.4.1.4. Ajustement du Volume (V) en fonction du Diamètre ($D_{1.30}$).....	60
4.4.1.5. Ajustement du Volume (V) en fonction du diamètre ($D_{1/2ht}$).....	63
4.4.2 Régressions multiples.....	66
4.4.2.1 La station TiziOufellah.....	66
4.4.2.2 La station Sidi Brahim.....	71
4.4.2.3 La station El Aincur.....	75
4.4.2.4 Le peuplement global.....	81
Discussion	88
Conclusion Générale	94
Références Bibliographiques	98
Annexes	106

Liste des figures	page
Figure I : Aire de répartition schématique de deux chênes caducifoliés ibéro- magrébins, le Chêne faginé (<i>Quercus faginea</i> Lamk.) <i>sensu lato</i> et le Chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i> Wild) (QUEZEL, 2003)...	7
Figure II : Répartition Géographique du Chêne zéen en Algérie (QUEZEL, 1956)	7
Figure III: arbre adulte de Chêne zéen	9
Figure IV: feuilles Chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i> Wild)	9
Figure V : Amplitude de la répartition bioclimatique de <i>Quercus faginea</i> (S.L) sur la climagrame d'emberger (Quezel,1976).	12
Figure VI : Dommages exercés par l'homme dans la forêt	16
Figure VII a : placette mélangée	16
Figure VII b : Placette futaie régulière	16
Figure VII c : placette dense de haut perchis	16
Figure VIII : Localisation de la région d'étude	19
Figure IX : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Yakouren	22
Figure X: Localisation des stations d'études	27
Figure XI : Schéma représentant le choix des placettes sur le terrain	27
Figure XII a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station de Tizi oufella	38
Figure XIII a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station de Sidi Brahim	38
Figure XIV a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station d'El Ainceur	38
Figure XII b : Tracé de normalité des données de $D_{1.30m}$ dans la station Tizi Oufella	38
Figure XIII b : Tracé de normalité des données de $D_{1.30m}$ dans la station Sidi Brahim	38
Figure XIV b : Tracé de normalité des données de $D_{1.30m}$ dans la station El Ainceur	38
Figure XII c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station Tizi Oufella	39
Figure XIII c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station Sidi Brahim	39
Figure XIV c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station El Ainceur	39

Figure XII d : Tracé de normalité des données de $D_{1/2ht}$ dans la station Tizi Oufellah	39
Figure XIII d : Tracé de normalité des données de $D_{1/2ht}$ dans la station Sidi Brahim	39
Figure XIV d : Tracé de normalité des données de $D_{1/2ht}$ dans la station El Ainceur	39
Figure XII e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station de Tizi oufellah	41
Figure XIII e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station Sidi Brahim.	41
Figure XIV -e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station El Ainceur	41
Figure XII f : Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station Tizi Oufellah	41
Figure XIII f : Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station Sidi brahim	41
Figure XIV f : Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station El Ainceur	41
Figure XII g : Tracé de normalité des données de F dans la station Tizi Oufellah	43
Figure XIII g : Tracé de normalité des données de F dans la station Sidi Brahim	43
Figure XIV g : Tracé de normalité des données de F dans la station El Ainceur	43
Figure XII h : Tracé de normalité des données du volume dans la station Tizi Oufellah	43
Figure XIII h : Tracé de normalité des données du volume dans la station Sidi Brahim	43
Figure XIV h : Tracé de normalité des données du volume dans la station El Ainceur	43
Figure XV : Répartition des arbres en classe de Hauteur (HT)	46
Figure XVI : Répartition des arbres en classe de Diamètre ($D_{1.30}$)	46
Figure XVII : Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station Tizi Oufellah	51
Figure XVIII: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station Sidi Brahim	51
Figure XIX: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station El Ainceur	51
Figure XX: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la forêt Ath Ghobri	51
Figure XXI: Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- D_{130}) dans la station de TiziOufellah.	52
Figure XXII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- D_{130}) dans la	52

station Sidi Brahim

Figure XXIII: Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- D_{130}) dans la station d'El Ainceur	52
Figure XXIV: Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- D_{130}) dans forêt Ath Ghobri	52
Figure XXV: Tracés de normalité (HT- D_{130}) dans la station de Tizioufella	52
Figure XXIV: Tracés de normalité (HT- D_{130}) dans la station de Sidi Brahim	52
Figure XXVII: Tracés de normalité (HT- D_{130}) dans la station d'El Ainceur	52
Figure XXVIII: Tracés de normalité (HT- D_{130}) pour la forêt d'Ath Ghobri	52
Figure XXIX : Ajustement HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station Tizioufella	54
Figure XXX : Ajustement HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station Sidi Brahim.	54
Figure XXXI : Ajustement de HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station El Ainceur	54
Figure XXXII : Ajustement de HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la forêt Ath Ghobri	54
Figure XXXIII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Tizi Oufella	55
Figure XXXVI : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim.	55
Figure XXXV : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station d'El Ainceur	55
Figure XXXVI : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) pour la forêt Globale	55
Figure XXXVII: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Tizi Oufella	55
Figure XXXVIII: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim.	55
Figure XXXIX: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station d'El Ainceur	55
Figure XL: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) pour la forêt Globale.	55
Figure XLI : Ajustement de volume en fonction HT dans la station de Tizi Oufella	58
Figure XLII: Ajustement de volume en fonction HT dans la station Sidi Brahim	58
Figure XLIII: Ajustement de volume en fonction HT dans la station d'El Ainceur	58
Figure XLIV : Ajustement de volume en fonction HT dans la Forêt d'Ath Ghobri	58
Figure XLV : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V -HT) dans la	59

station de Tizi Oufellah

Figure XLVI : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V_{-HT}) dans la station Sidi Brahim 59

Figure XLVII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V_{-HT}) dans la station d'El Ainceur. 59

Figure XLIII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V_{-HT}) pour la forêt Globale 59

Figure XLIX : Tracés de normalité (V_{-HT}) dans la station de Tizioufella 59

Figure L: Tracés de normalité (V_{-HT}) dans la station de Sidi Brahim 59

Figure LI: Tracés de normalité (V_{-HT}) dans la station d'El Ainceur 59

Figure LII: Tracés de normalité (V_{-HT}) pour la forêt Globale 59

Figure LIII: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station de Tizi Oufellah 61

Figure LIV: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station de Sidi Brahim 61

Figure LV: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station d'El Ainceur 61

Figure LVI: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la forêt d'Ath Ghobri 61

Figure LVII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V_{-D_{130}}$) dans la station Tizi Oufellah 62

Figure LVIII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V_{-D_{130}}$) dans la station Sidi Brahim 62

Figure LIX: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V_{-D_{130}}$) dans la station d'El Ainceur 62

Figure LX: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V_{-D_{130}}$) pour la forêt d'Ath Ghobri 62

Figure LXI: Tracés de normalité ($V_{-D_{130}}$) dans la station de Tizi Oufellah 62

Figure LXII: Tracés de normalité ($V_{-D_{130}}$) dans la station de Sidi Brahim 62

Figure LXIII: Tracés de normalité ($V_{-D_{130}}$) dans la station d'El Ainceur 62

Figure LXIV: Tracés de normalité ($V_{-D_{130}}$) pour la forêt d'Ath Ghobri 62

Figure LXV : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station de Tizi Oufellah 64

Figure LXVI : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station de Sidi Brahim 64

Figure LXVII : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station d'El Ainceur 64

Figure LXXVIII : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la forêt d'Ath Ghobri	64
Figure LXXIX : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Tizi Oufella.	65
Figure LXX : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim	65
Figure LXXI : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station d'El Ainceur.	65
Figure LXXII: Ajustement des valeurs observées en fonction les valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la forêt d'Ath Ghobri	65
Figure LXXIII: Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Tizi Oufella	65
Figure LXXIV : Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim	65
Figure LXXV : Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station d'El Ainceur	65
Figure LXXVI: Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la forêt d'Ath Ghobri	65
 Station de Tizi Oufella :	
Figure LXXVII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs prévues HT en fonction de toutes les variables	69
Figure LXXVIII : Tracés de normalité des résidus HT en fonction de toutes les variables	69
Figure LXXIX : Ajustement des valeurs observées en fonction des Valeurs prévues D_{130} en fonction de toutes les variables	69
Figure LXXX: Tracés de normalité des résidus de D_{130} en fonction de toutes les variables	69
Figure LXXXI: Ajustement des valeurs observées en fonction de valeurs prévues D_{130} en fonction de DHP et ESPM.	69
Figure LXXXII: Tracés de normalité des résidus de D_{130} en fonction de DHP et ESPM.	69
Figure LXXXIII: Ajustement des valeurs observées en et valeurs prévues D_{130} (ESPM, DHP et $D_{1/2ht}$)	70
Figure LXXXIV: Tracés de normalité des résidus de D_{130} en fonction (ESPM, DHP, et $D_{1/2ht}$)	70
Figure LXXXV: Ajustement des valeurs observées et valeurs estimées du V * toutes variables	70
Figure LXXXVI: tracés de normalité des résidus de V en fonction de toutes les variables variables	70
Figure LXXXVII: Ajustement des valeurs observées et valeurs estimées de V * (DHP, ESPM et D_{130})	70
Figure LXXXVIII: tracés de normalité des résidus du V en fonction de DHP, ESPM et D_{130}	70

Station de Sidi Brahim :

Figure LXXXIX : Répartition des valeurs prévues et estimées de HT en fonction de toutes les variables	73
Figure XC: Tracé de normalité de la régression de HT *toutes les variables	73
Figure XCI: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de HT * DHP et ESPM	73
Figure XCII: Tracé de normalité de la régression de HT * DHP et ESPM	73
Figure XCIII: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de HT * DHP et ESPM et D ₁₃₀	73
Figure CXIV: Tracé de normalité de la régression de HT * DHP et ESPM D ₁₃₀	73
Figure XCV: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de D ₁₃₀ * toutes les variables	74
Figure XCVI: Tracé de normalité de la régression de D ₁₃₀ * toutes les variables	74
Figure XCVII: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de D ₁₃₀ * DHP et ESPM	74
Figure XCVIII: Tracé de normalité de la régression de D ₁₃₀ en fonction de DHP et ESPM	74
Figure XCIX: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de D ₁₃₀ * DHP et ESPM	74
Figure C: Tracé de normalité de la régression de D ₁₃₀ en fonction de DHP et ESPM et D _{1/2ht} et D _{1/2ht}	74
Figure CI : Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables	76
Figure CII : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes les variables	76
Figure CIII : Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées du V en fonction de DHP et ESPM	76
Figure CIV: Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP et ESPM	76
Figure CV: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et Ht	76
Figure CVI: Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et HT.	76

Station d'El Ainceur :

Figure CXVII: Répartition des valeurs prévues et valeurs estimées de HT en fonction de toutes les variables	78
Figure CXVIII: Tracé de normalité de la régression de HT en fonction de toutes les variables	78

Figure CXIX: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de DHP et ESPM et D_{130}	78
Figure CXX: Tracé de normalité de la régression de la HT en fonction de DHP et ESPM et D_{130}	78
Figure CXXI: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} en fonction de toutes les variables	79
Figure CXXII: tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de toutes les variables	79
Figure CXXIII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} en fonction de DHP et ESPM	79
Figure CXXIV: tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM	79
Figure CXXV: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} en fonction de DHP et ESPM	79
Figure CXXVI: tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM et $D_{1/2ht}$ et $D_{1/2ht}$	79
Figure CXXVII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables	80
Figure CXXVIII: tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes les variables	80
Figure CXXIX: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et F	80
Figure CXXX: tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et F	80
Figure CXXXI: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et HT	80
Figure CXXXII: tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et HT	80
Forêt d'Ath Ghobri :	
Figure CXXXIII : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de toutes les variables	84
Figure CXXXIV: Tracé de normalité de la régression de HT en fonction de toutes les variables	84
Figure CXXXV: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de DHP, ESPM et D_{130}	84
Figure CXXXVI: Tracé de normalité de la régression de la HT en fonction de DHP, ESPM et D_{130}	84
Figure CXXXVII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} en fonction de toutes les variables	85
Figure CXXXVIII : Tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de toutes les variables	85

Figure CXXXIX: Tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM	85
Figure CXL: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} en fonction de DHP et ESPM et D1/2ht	85
Figure CXLI: Tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM et D1/2ht	87
Figure CXLII : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables	87
Figure CXLIII : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes les variables	87
Figure CXLIV : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et HT	87
Figure CXLV : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et HT	87

Liste des tableaux

	page
Tableau I : Répartition des surfaces forestières Algériennes par essence.	1
Tableau II: Caractéristiques botaniques et dendrologiques du Chêne zéen	8
Tableau III : Caractéristiques anatomiques et technologiques du Chêne zéen	10
Tableau IV : Quelques exemples de champignons et d'insectes qui s'attaquent au Chêne	14
Tableau V : Présentations des données climatiques de Yakouren (1980-2003)	21
Tableau VI: Précipitations saisonnières pour la station de Yakouren en période (1980-2003).	22
Tableau VII : Description des stations d'étude	25
	36
Tableau VIII : Résultats du test de CHAPIRO et WILK	36
Tableau IX : Résultats de synthèse des variables dendrométriques	36
Tableau X: Résultats de l'analyse de la variance à un facteur pour une comparaison de moyennes entre les placettes et entre les stations	37
	44
Tableau XI : Répartition des arbres en classe de hauteur (HT).	44
Tableau XII : coefficient d'aplatissement et d'asymétrie pour la hauteur et le diamètre dans les trois stations.	45
Tableau XIII : Répartition des arbres par catégorie de diamètre des trois stations	47
tableaux XIV: Synthèse des corrélations à l'intérieure des placettes de Tizi Oufellah	105
	106
Tableau XV : Synthèse des corrélations par placettes dans la station Sidi brahim	106
Tableau XVI : Synthèse des corrélations par placettes dans la Station d'El Ainceur	108

Tableau XVII : Matrice de Corrélation des données des trois stations	109
Tableau XVIII : Résultats de la régression simple de la variable hauteur (HT) en fonction du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$).	50
Tableau XIX : vérification de la précision des modèles de la régression simple pour la Hauteur	50
Tableau XX : Résultats de la régression simple de la variable volume (V) en fonction de la Hauteur (HT), du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$).	57
Tableau XXI: vérification de la précision des modèles de la régression simple pour le volume	60
Tableau XXII : Modèles établis pour la station Tizi Oufellah	68
Tableau XXIII : Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la Station de Tizi Oufellah	68
Tableau XXIV: Modèles établis pour la station Sidi Brahim	72
Tableau XXV: Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la station de Sidi Brahim	72
Tableau XXVI : Modèles établis pour la station El Ainceur	81
Tableau XXVII: Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la station d'El Ainceur	81
Tableau XXVIII : Modèles établis pour le peuplement global	83
Tableau XXIX: Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la forêt d'Ath Ghobri	86

Liste des abréviations :

HT : Hauteur totale (m).

C_{130} : La circonférence à 1.30m (m).

D_{130} : Le diamètre à 1.30m (cm).

$D_{1/2ht}$: Le diamètre à mi hauteur (cm).

DHP: Le diamètre du houppier (m).

ESPM : L'espace moyen entre les arbres (m).

F: Le coefficient de défilement

V : le volume (m^3)

TO : Tizi Oufellah

SB : Sidi Brahim

El A : El Ainceur

AG : Forêt d'Ath Ghobri

Introduction générale

L'Algérie possède un potentiel forestier couvrant presque 4,1 millions d'hectares, soit un taux de boisement de 16,4% pour le nord de l'Algérie et 1,7 % de la superficie totale de l'Algérie. Le tableau I résume les différentes espèces qui le constituent. Ce potentiel est valorisable pour la production ligneuse, pour la protection de l'environnement, la récréation, et ce dans le contexte politique de l'aménagement durable.

Tableau I : Répartition des surfaces forestières Algériennes par essence.

Espèces	Superficies (ha)		
	BOUDY	PNDF	DGF
Le Pin d'Alep	1162000	880 000	881000
Le Cèdre de l'Atlas	29000	16 000	16000
Le Pin maritime.	-	32 000	31000
Le Chêne liège	573000	230 000	230000
Les Chênes zéen et afares	129000	48 000	48000
Les Eucalyptus	-	43 000	43000
Le Chêne vert,	762000	1219000	108000
Le Thuya	187000		48000
Le Genévrier	287000		
Autres	161000		

Sources: BOUDY, 1954; PNDF, 1984 in FAO, 1999; DGF, 2004

Le chêne Zéen (*Quercus canariensis Willd*) objet de notre étude, avec le Chêne Afares (*Quercus Afres pomel*) occupent 65000 ha (MESSAOUDENE et Al. ; 1991). Le Chêne zéen a tendance à dominer puis à en éliminer d'autres espèces telle que le hêne liège. A côté de ces deux chênes caducifoliés, en Algérie, ce genre *Quercus* est représenté par trois autres espèces (*Quercus Ilex L.*, *Quercus Suber L.* et *Quercus Coccifera L.*) qui globalement couvrent 882000 ha soit 36% de superficie totales des la forêt Algérienne (BOUDY, 1952 et HAROUNI, 1991).

Autrefois, pendant la période coloniale, l'Etat Algérien en retirait les 4/5eme de son revenu du domaine boisé. La période 1939-1946 a montré l'importance des activités de production en matière de bois d'œuvre, de mine et de traverses de chemin de fer. Dans ce contexte le Chêne zéen avait joué le rôle le plus important. A cette époque, BOUDY (1955) soulignait le rôle producteur de la forêt algérienne.

Aujourd'hui, la forêt est confrontée à une dégradation progressive et irréversible. Des maquis et des broussailles se sont installés au détriment des essences principales et nobles notamment le Chêne liège, le Chêne zéen et le cèdre, et ce sous l'influence de plusieurs facteurs, tel que les incendies répétés et l'action anthropique (les défrichements, le surpâturage et l'exploitation abusive). PLAISANCE (1964), a souligné que l'homme a partout assisté, déclenché et accéléré le déboisement et empêché ou freiné les régénérations naturelles avec une inconscience et un fatalisme nocif. En outre, les différentes maladies, insectes ravageurs et les changements climatiques jouent aussi un rôle négatif, exemple de dépérissement des cédraies algériennes notamment la cédraie des Aurès. Aussi ; nous ajoutons à cet ensemble de facteurs l'absence de l'aménagement et de traditions sylviculturales en Algérie. Par conséquent ce patrimoine se trouve incapable de satisfaire les besoins de la société en matière de bois. Face à cet antagonisme (forte demande et une offre très réduite), l'Algérie se trouve dans le besoin intense d'asseoir et/ou de renforcer sa politique forestière par une meilleure connaissance de ses ressources naturelles et /ou de ses potentialités forestières, d'où l'intérêt de choix des méthodes à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés dans ces programmes.

Dans le contexte de l'aménagement forestier et de l'application des règles sylvicoles adéquates, le recours à la dendrométrie constitue un moyen efficace pour apprécier les potentialités productives d'une forêt. Cette discipline est préalable pour connaître la production d'une forêt.

La dendrométrie en tant que science et méthodes permet de fournir un ensemble d'informations nécessaires aux scientifiques et aux opérateurs économiques et gestionnaires sur la forêt, l'arbre ou ses produits et même sur l'impact des modifications environnementales. Dans une forêt, il s'avère donc important de :

- Connaître les formations boisées et arborées existantes : des inventaires dendrométriques doivent se faire continuellement pour avoir une idée précise ;
- Approfondir les recherches et les études dans le sens de la gestion des forêts ;
- Déterminer les opérations sylvicoles qui contribueront à la sauvegarde et à la bonne conduite des peuplements tout en suivant l'évolution de la structure élémentaire et globale.
- Aménager les forêts en fonction des besoins de la société et des régimes des feux de forêts.
- Estimer les volumes de bois des forêts par la réalisation d'inventaires plus détaillés que possible par région forestière. D'après BERTHIER (1984), la plus part des estimations

forestières sont des données volumiques, elles nous permettent de reconstituer le rythme de croissance et de calculer la production ligneuse.

Dans ce point de vue, la zénaie algérienne est très peu étudiée, la majorité des travaux consacrés au Chêne zéen se limitent à la biosystématique (MAIRE, 1927 ; CAMUS, 1938 ; EMBERGER, 1939 ; DEL VILLAR, 1949 ; MAIRE, 1961 ; QUEZEL et SANTA, 1962 ; QUEZEL et BONIN, 1980 et HAROUNI et OUDNI, 1991), à la dendroécologie (MESSAOUDENE, 1989), à la phytoécologie (LAPIE, 1909 ; QUEZEL, 1956, 1999 et LARIBI, 2001) à la qualité du bois (HAMMACHI, 1978 ; AMMEELS, 1989 ; TAFER, 2003 ; MESSAOUDENE et al, 2009). Les aspects liés aux tarifs de cubage et à la modélisation se résument aux travaux de SKENDRAOUI et IRMOULI (1992) et MOKHTARI (2005).

Nous constatons que la valorisation de cette essence forestière est rarement considérée. Il s'avère donc très important d'orienter les travaux de recherche dans le but d'améliorer la production en quantité et en qualité, tout en ajustant une sylviculture apte à renforcer ses potentialités. C'est dans cet esprit que s'inscrit ce travail, il s'agit d'une étude dendrométrique sur trois stations différentes. Notre approche est complémentaire au travail de MOKHTARI (2005) portant sur la modélisation des peuplements de Chêne zéen dans deux régions différentes : Ath Ghobri et Souk Ahras. En plus des variables hauteur et diamètre, introduites dans l'analyse par MOKHTARI (2005), nous avons introduit trois autres variables explicatives complémentaires : le diamètre du houppier, l'espacement moyen entre les arbres et le coefficient de défilement. Le but recherché est de savoir comment évaluer la hauteur et le diamètre en fonction de ces variables qui, en terme de sylviculture conditionnent le peuplement et sa qualité. La finalité de ce travail est de fournir au forestier un outil de travail pertinent en lui permettant de disposer de modèle de gestion.

La description du comportement d'un peuplement forestier peut se traduire par un modèle mathématique qui tient compte de plusieurs variables. Plusieurs travaux ont été réalisés dans ce domaine (HOULLIER, 1997 ; COURBEAU, 2000 ; DHOTE, 2000 ; BOULET, 2002 , THIBAUTET *Al.*, 2003), seulement la modélisation ne concerne pas les variables dendrométriques seuls mais d'autres facteurs ont été intégrés dans les modèles construits à savoir la densité des peuplements, les opérations sylvicoles, l'indice de compétition inter et intra spécifique pour la lumière et l'eau, la disponibilité en ressource dans le sol, et l'influence du climat sur la croissance des arbres.

Afin de mener cette étude à terme, un inventaire dendrométrique est essentiellement inévitable pour une bonne collecte des données. Pour cela, nous avons choisi trois stations différentes l'une de l'autre de point de vue écologique (relief, altitude, exposition), pédologique et sylvicole. Ainsi nous recherchons à mettre en évidence les divergences dendrométriques entre les stations et étudier les mécanismes qui pourraient résulter des traitements sylvicoles et de la nature de l'aménagement.

CHAPITRE I

MONOGRAPHIE DU CHENE ZEEN

INTRODUCTION

Cette monographie permet de situer le Chêne zéen sur le plan systématique, biogéographique, botanique, dendrologique, anatomique, technologique, écologique et sylvicultural. Ainsi le but recherché est de donner un aperçu sur l'espèce et son importance.

1.1 Systématique

Plusieurs auteurs ont signalé que le Chêne zéen présente un grand polymorphisme (EMBERGER, 1939 ; MAIRE, 1961 et QUEZEL & SANTA, 1962). Cette hétérogénéité est le résultat d'une large variabilité génétique naturelle, qui est sous la dépendance des facteurs externes, internes et de leur interaction (LACAZE & TOUZET, 1986). Vu cette grande variabilité à travers son aire de répartition, les taxonomistes ont classé différemment cette espèce.

Cette espèce a connu donc une large divergence dans sa classification. QUEZEL et BONIN (1980) reconnaissent l'existence de *Quercus cannariensis* Wild en Algérie. Le travail de HAROUNI et OUDNI (1991) à travers une étude sur la variabilité morphologique des populations de Chêne zéen et chêne vert ont confirmé l'existence de deux sous espèces en Algérie : ssp *Quercus cannariensis* et ssp *tlemsenensis* et que le massif d'Ath Ghobri abrite la sous espèce ssp *cannariensis*.

La classification suivante a été adoptée pour le Chêne zéen :

Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Fagales

Famille : Fagacées.

S/Famille : *Quercinées*.

Genre : *Quercus*.

Esp : *Q. cannariensis* Wild.

1.2 Répartition géographique

D'après QUEZEL et BONIN (1980) et MEDAIL (2003), le Chêne zéen (*Quercus cannariensis*) se situe dans le pourtour méditerranéen et se localise dans l'ensemble Ibéro-Maghrébin. C'est une espèce endémique du Maghreb. Au Maroc, il est réparti sur le Rif, le moyen Atlas, le plateau central et le haut Atlas (FigureI). L'ensemble occupe une superficie de 17000ha. En Tunisie, il forme deux vastes massifs, l'un à Fedja et l'autre à Ain Draham, leur surface est estimée à 20000ha (TAFER, 2000). Enfin, c'est en Algérie que les plus belles

futaies du chêne zéen se rencontrent (BOUDY, 1950 ; QUEZEL et SANTA, 1962 et LARIBI, 2000).

La zénaie s'étend de Chréa jusqu'à Kroumerie en Tunisie elle occupe 65000ha et recouvre, avec le Chêne afares, une superficie de 75000ha (MESSAOUDENE, 1989). Les peuplements les plus importants se rencontrent dans le secteur numidien, répartis en trois régions :

- La grande Kabylie où se trouvent les massifs d'Ath Ghobri et d'Akfadou.
- La petite Kabylie représentée par les massifs des Babours, Tamsguida, Guerrouche et Elma El Bared.
- Les Monts de la Meurdja dans le Djbel El Gorra.
- A Souk Ahres dans les massifs de l'Ain Zana et celle d'Ouled Bechih.

En outre, des boisements de moindre importance sont à signaler dans les régions suivantes : Collo, Edough, Djbel Bissa, Sidi Bernous, l'Ouarsenis, Teniet El Had, l'Atlas Blideen, Djurdjura et enfin dans les Aurès (Figure II).

1.3 Caractéristiques botaniques et dendrologiques

Le Chêne zéen est un bel arbre à feuilles tombantes tardivement au printemps lorsque les nouvelles sont déjà développées (MAIRE, 1927). Il présente un fût droit et très élancé avec un houppier très étalé en peuplement très clair et fastigié en peuplement dense (Figure III). Les principales caractéristiques botaniques et dendrologiques sont résumées dans le tableau II.

1.4 Caractéristiques anatomiques et technologiques du bois

Les principales caractéristiques sont récapitulées dans le tableau III. Le bois de Chêne zéen est souvent réputé de médiocre pour les contraintes et les propriétés physiques et mécaniques qu'il présente. Toutefois, plusieurs études ont prouvé le contraire (KAOUANE, 1987 ; AMEELS, 1989 ; MARCHALL, 1989 ; MESSAOUDENE, 1989 ; BERRICHI, 1993 ; MESSAOUDENE, 1996 ; LAMRAOUI, 1998 ; TAFER, 2000 ; LAMRAOUI, 2000 et MESSAOUDENE, 2009). Vu sa ténacité, sa couleur, son aspect, sa durabilité, sa résistance aux chocs et aux flexions, ce bois est classé dans la même catégorie que celui des chênes européens (AMEELS, 1989 ; TAFER, 2000 et MESSAOUDENE, 1996 et 2009), il peut avoir un avenir prometteur dans l'économie du pays dans le cas où une sylviculture adéquate lui est appliquée.

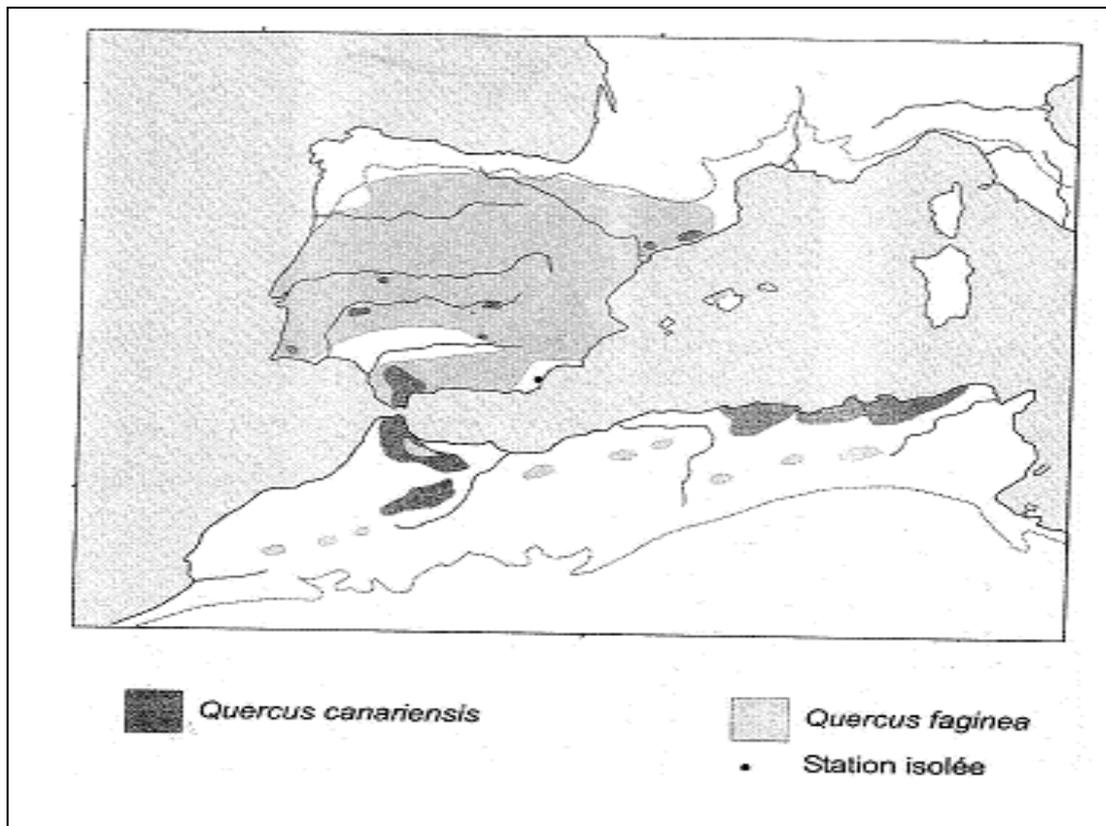


Figure I : Aire de répartition schématique de deux chêne caducifoliés ibéro- magrébins, le Chêne faginé (*Quercus faginea* Lamk.) *sensu lato* et le Chêne zéen (*Quercus canariensis* Wild) (QUEZEL, 2003).

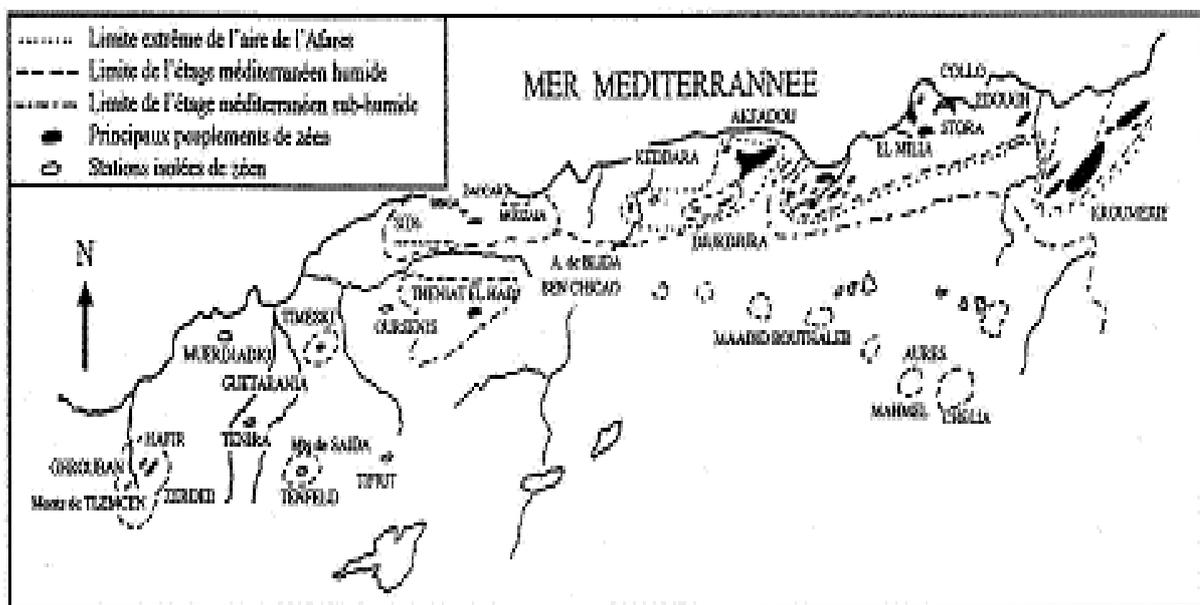


Figure II : Répartition Géographique du Chêne zéen en Algérie (QUEZEL, 1956)

Selon LACROIS (1973) et HOUACINE (1978), le bois de Chêne zéen, mélangé à celui des résineux, se porte bien à la fabrication de panneaux de particule et de la pâte à papier. Par rapport à cette dernière le rendement ne dépasse pas 37%. Par contre en mélange à d'autres essences à fibres longues, la caractéristique de la pâte à papier devienne meilleure.

Tableau II: Caractéristiques botaniques et dendrologiques du Chêne zéen

Désignations	Caractéristiques
Hauteur	Allant jusqu'à 30m (peut même les dépasser).
Houppier	Très développé
Circonférence	Atteint 6m à 1.30m.
Ecorce	Présentant des fissures de couleur brin gris.
Fût	Allant jusqu'à 20m et généralement unique
Feuilles (Figure IV)	Caducue à limbe plus au moins découpées et pubescente et polymorphe : ovales, obvale, oblongues et elliptiques 10 à 15 cm sur 5 à 8 cm
Inflorescences	Essence monoïque, fleurit du mois d'avril à mai, dès l'âge de 15 ans
L'enracinement	Pivotant, profond et puissant.
Fruits	Se sont des glands qui arrivent à leur maturité en octobre.
Accroissements	Croissance en hauteur : estimé de 1.2 à 1.5 m/an.
	Croissance radiale : oscille de 1 à 1.5cm /an (2cm en sol profond).

Source : CAMUS, 1939; BOUDY, 1952; MAIRE, 1961 ; QUEZEL et SANTA, 1962.

1.5 Conditions écologiques

Le Chêne zéen est une espèce de lumière, à l'état juvénile il est sciaphile, puis à l'âge adulte, il se caractérise par son envahissement des milieux qu'il occupe lorsque ces derniers sont très favorables à son développement.

1.5.1 Climat et bioclimat

En raison de ses exigences écologiques très strictes, cette espèce ne prospère que dans les régions à fortes précipitations avec une tranche pluviométrique supérieure à 800 mm par an. Le Chêne zéen atteint son plein développement sur les expositions les plus fraîches et les bassins versants ombrageux, il supporte les basses températures allant de - 8 à -10°C (MAIRE, 1926).

Quant à sa répartition bioclimatique, le Chêne zéen occupe les bioclimats subhumide et humide à variante tempérée. Toutefois, c'est en étage humide que son aire botanique se situe en



Figure III: Arbre adulte de Chêne Zéen (MESSAOUDENE, 2008).



Figure IV : feuilles de Chêne Zéen (*Quercus cannariensis* Wild).

Tableau III : Caractéristiques anatomiques et technologiques du Chêne zéen

	Désignation	Caractéristiques
c. macroscopique	Aubier	Bois vivant, de couleur brun grisâtre, blanc pâle, se distingue nettement du duramen.
	Duramen	Bois parfait, de couleur brun claire.
	Porosité	Présente des zones poreuses très importantes, augmente et diminue avec la largeur du cerne.
c. Microscopiques	Rayon ligneux	Gros rayons avec de belles maillures: il existe des rayons unisériés et d'autres multi sériés.
	Vaisseaux	Ils se trouvent de façon très inégale, dans le bois initial et final leur nombre est inversement proportionnel à leur diamètre qui est estimé de 0.042 à 0.192 mm..
	Fibres	Elles sont très abondantes, de longueur moyenne de 1.545 m et se répartissent irrégulièrement.
	Parenchyme	C'est un tissu de réserve, se présente en arcs concentriques d'une épaisseur de 0.021mm
c. technologiques	Usinage	Utilisation de matériaux de bonne qualité est à conseillé, toutefois il ne présente pas des difficultés particulières avec d'autres moyens.
	Séchage	Très difficile, ce qui suggère de le débiter en quartiers, et de respecter les conditions optimales de température, d'humidité et du temps.
	Collage	Bois facile à coller.
	Clouage	Difficilement clouable surtout dans le sens des mailles, il provoque des fentes.
c. physico- mécaniques	Compression (kg/cm ²)	Moyenne à supérieure : 400 à 893.33
	Flexion (kg/cm ²)	Moyenne à forte : 880 à 2149.33.
	Dureté	Mi dur à dur.
	Traction (kg/cm ³)	Moyenne. : 39 à 41.6.
	Fendage (kg/cm cube)	Moyen à fort : 29.53 à 30.2.
	Cisaillement (kg/cm ²)	Forte résistance : 139 à 163.

Source : T.F.T.1970; KAOUANE, 1987 ; MARCHALL, 1989 ; AMEELS, 1989; MESSAOUDEN, 1989; MESSAOUDENE, 1996; BERRICHI, 1993; LAMRAOUI, 1998 ; TAFER, 2000 ; LAMRAOUI, 2001 ; MESSAOUDENE ET AL., 2009).

grande partie (QUEZEL, 1976 ; QUEZEL et BOUNIN, 1980) (Figure V) où il forme de belles futaies régulières ou jardinées avec 200 à 400 arbres/ha à l'âge de 80 à 150 ans à l'hectare (BOUDY 1952).

1.5.2 Altitude et étage de végétation

QUEZEL (1956, 1985) et QUEZEL et *Al.* (2003), souligne que le Chêne zéen trouve son optimum de développement entre 800 et 1500m dans un niveau altitudinal supraméditerranéen, comme il arrive à pénétrer localement dans le montagnard méditerranéen où il se trouve en contact avec les cédraies et les sapinières. D'une manière générale, en Algérie le Chêne zéen se localise entre 850 et 2000m d'altitude. En Kabylie, il s'étend entre 800 et 1646 m d'altitude (Djbel zen) et atteint 2000m dans les Babors (MESSAOUDENE, 1989). Dans les massifs d'Ath Ghobri et de l'Akfadou, ils appartiennent aux thermo et mesoméditerranéen et accompagné d'une grande richesse floristique (AIME et *Al.*, 1986 ; MEDOUR, 1993 ; LARIBI, 2000 ; MESSAOUDENE et *Al.*, 2009). Sur les versants sud et les lignes de crêtes jusqu'à 1400 m d'altitude, le Chêne afares domine le zéen (MESSAOUDENE, 1996).

Toutefois, sur les pentes exposées au nord, on retrouve le Chêne zéen à 700m d'altitude. Il ne descend plus bas que lorsque les conditions exceptionnelles de fraîcheurs et d'humidité sont disponibles (LEFEBVERE, 1900), et il progresse indiscutablement dans les subéraies mésoméditerranéen surtout en grande Kabylie (MEDOUR, 1993).

1.5.3 Le substrat

Les chênes caducifoliés sont généralement peu sensibles à la composition chimique des substrats et à la nature du sol (QUEZEL et *Al.*, 2003). Toutefois, ils préfèrent les sols plus au moins évolués qu'ils ont contribué à constituer. Le Chêne zéen prospère beaucoup dans les substrats à grés numidiens. Et, il s'accommode dans les sols siliceux et profonds. Selon EMBERGER (1939), on le retrouve sur balsate, schiste, granite... Il ne tolère pas les sols peu profonds et les calcaires compacts. Cette essence se développe sur presque tous les substrats à l'exception des argiles, des roches dures et les sols salés (MAIRE, 1926). Il est réputé calcifuge en Espagne méridionale (MARTINEZ - PARRA et PIENNADO LORCA, 1987 ; TONNERIO et *Al.*, 1998 in QUEZEL et *Al.*, 2003).

Le Chêne zéen craint l'hydromorphie, même temporaire, c'est ce qui explique son bon développement sur les sols bruns lessivés (MESSAOUDENE, 1989).

Dans la forêt d'Ath Ghobri, le Chêne zéen se localise dans les endroits à forte et moyenne pentes sur sols acides de type (A C) et (AB_tC) (FERRAHI, 2002).

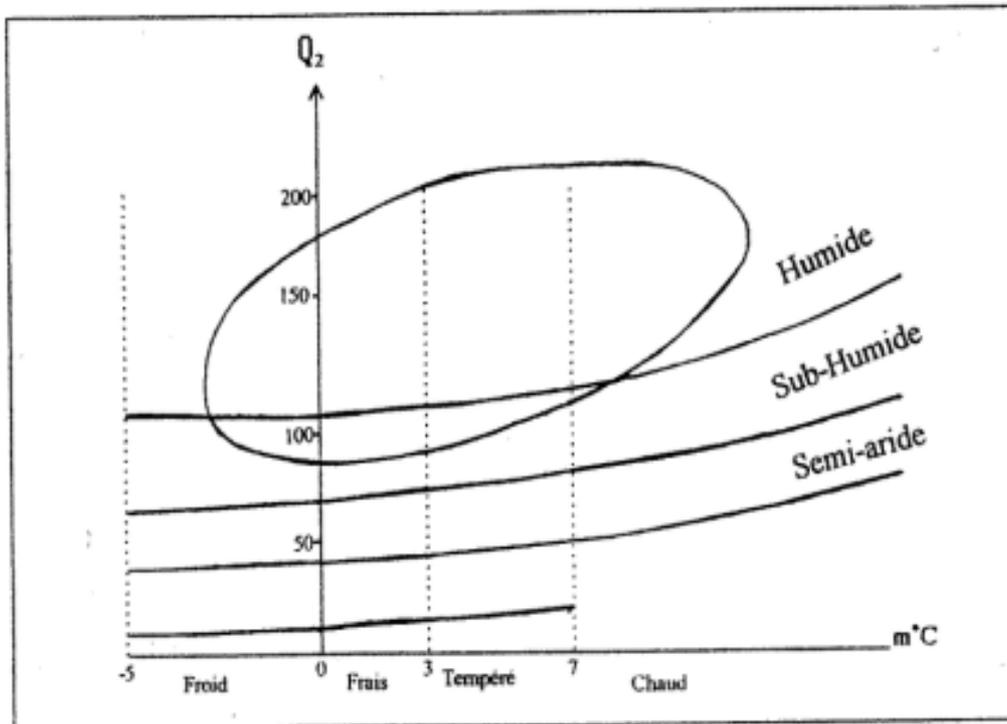


Figure V : Amplitude de la répartition bioclimatique de *Quercus faginea* (s.L.) sur le climagramme d'Emberger (D'après QUEZEL, 1976)

1.6 Les agents destructeurs de bois de Chêne zéen

Le Chêne zéen, dans un peuplement pur, constitue une barrière contre la propagation du feu, vu le manque de sous bois (SEIGUE, 1985). Dans les peuplements mélangés, les incendies répétés entraînent de graves dommages pour cette espèce. Les pressions exercées par l'homme (coupes illicites, défrichements et surpâturages), réduisent aussi les superficies des zénaies (Figure VI). Quant à la dégradation de la valeur et de la qualité du bois, on peut citer différents types de maladies résultantes des attaques d'agents pathogènes, de champignons et d'insectes xylophages. Certains provoquent une destruction totale de l'arbre d'autres sont à l'origine de la réduction de la croissance de l'arbre et la dépréciation de la qualité technologique du bois. SMAIL (1989) in TAFER (2000) note que la maladie de l'oïdium est la plus commune et grave chez les chênes. SMAIL (1994) dans son étude sur l'écologie des macromycètes lignicoles, décrit un nombre de champignons qui s'attaquent aux bois de Chêne zéen (Tableau IV). MANSOUR (1984) de son côté souligne que l'agent inféodé des fagacées est le *Microsphaera alphitoides*.

1.7 La sylviculture de chêne zéen

1.7.1 Les traitements sylvicoles

Le Chêne zéen se trouve en peuplement pur ou mélangé (Figure VII a et b). C'est une espèce qui peut recevoir différents traitements en fonction des objectifs de l'aménagement. Dans les peuplements purs, c'est le traitement en futaie régulière (Figure IIV c) qui s'accommode en général (BOUDY ,1952). C'est un traitement convenable surtout quand l'âge d'exploitabilité est fixé à 100 - 120 ans, révolution permettant une bonne production de bois d'œuvre. Pour les traitements en futaie jardinée, l'exploitabilité se fait à base de choix d'un diamètre qui est fixé selon les objectifs recherchés, tout en respectant donc la rotation des coupes. Généralement, on fixe le diamètre d'exploitabilité pour des rotations de 10 ans.

1.7.2 La régénération du Chêne zéen

La régénération constitue la base de la sylviculture, le Chêne zéen se régénère par semis naturel, par rejets de souches et par drageons et par régénération assistée (MESSAOUDENNE, 1989).

Le peuplement de Chêne zéen âgé assure sa régénération naturelle à partir de sa propre semence. Dans le cadre de la régénération assistée le choix au préalable de semenciers des arbres d'élite présentant des critères intrinsèques et extrinsèques et une bonne adaptation au milieu.

Tableau IV : Quelques exemples de champignons et d'insectes qui s'attaquent au Chêne zéen.

	Agent causal	Type d'attaque	Conséquences
Champignons	<i>Fomes fomentarius</i>	-Parasite	Pourritures blanches
	<i>Trichamptum abietinum</i>	-Parasite facultatif -Saprophyte de faible activité	-
	<i>Tometes versicolor</i>	-Saprophytes très actif	Pourritures blanches
	<i>Caloporus taxicola</i>	-	Pourritures blanches
	<i>Stereum hirsutum</i>	-Parasite facultatif -Saprophytes actif	-
	<i>Poliporus squamosus</i>	-Saprophytes très actif	Pourritures blanches
	<i>Hypholoma fascicular</i>	-Parasite et/ ou saprophyte	Pourritures rouges
Insectes	<i>Cerambyx heros</i>	Défoliation	Dépérissement prématuré
	<i>Lymantria dispar</i> (famille de bombycidées)	Défoliation	Ralentissement de la croissance
	<i>Catocala nymphaea</i> (Lepidoptera ; Noctuidae)	Défoliation	Ralentissement de la croissance
	<i>Euproctis chresoraea</i> (Lepidoptera ; Lymantriidae)	Défoliation	Ralentissement de la croissance
	<i>Tortrix viridana</i> L. (Lepidoptera ; Tortricidae)	Défoliation	Ralentissement de la croissance

Source : SMAIL, 1994 ; Khouss et Gachi, 1996.

a- La régénération naturelle : elle est gérée par le peuplement sans aucune intervention de l'homme, un tapis de semis est formé tout autour des arbres. La compétition entre les plants, réduit au fur et à mesure le nombre des individus, seuls les plants les plus vigoureux survivent et progressent pour former la futaie.

b- les rejets de souches et drageons : ce traitement est préconisé+ pour répondre aux besoins de production des bois de petits diamètres. Cette méthode aboutit au régime de tallis sous futaie.

c- la régénération assistée : cette méthode passe en plusieurs étapes :

- Le choix des semenciers (ppg) pour l'obtention de la semence de qualité.
- La germination des graines : les graines récoltées seront mises à germer dans des boîtes de pétri sous des conditions contrôlées de température et de l'humidité.

- L'élevage en pépinière : les graines germées seront plantées en pépinières dans des conteneurs adaptés au type d'enracinement, les plans ainsi obtenus seront transférés dans une autre pépinière pour l'acclimatation.
- Le reboisement : cette étape se fait après une préparation de terrain par un labour profond suivi d'un bon ameublement, afin d'avoir une bonne adhérence des plants élevés en pépinière.



Figure VI: Dommages exercés par l'homme dans la forêt



Figure VII a: Placette mélangée (Chêne zéen et Chêne liège)

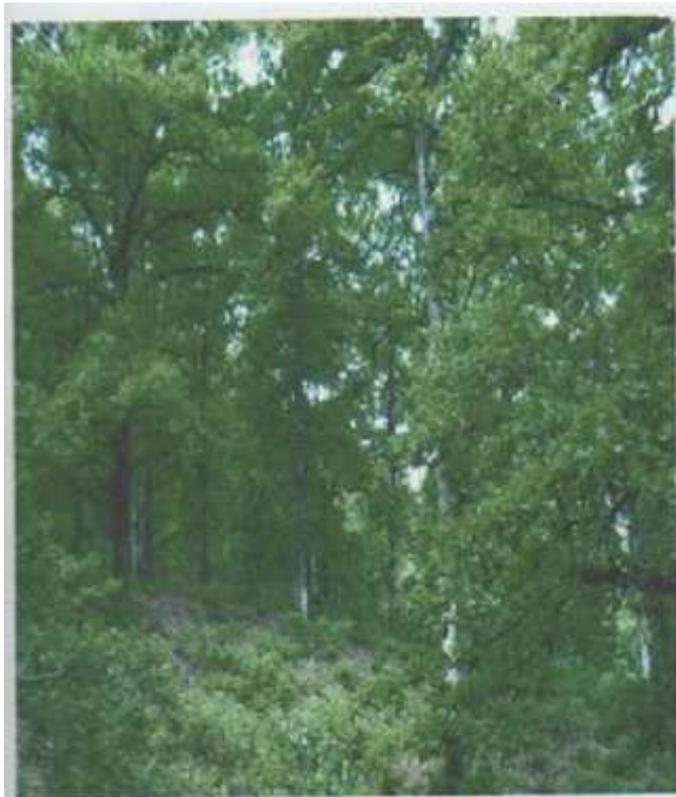


Figure VII b: Futaie adulte de Chêne zéen



Figure VII c: Placette dense de haut perchis (MESSAOUDENE, 2008)

Conclusion

Le Chêne zéen fait partie d'un groupe d'espèces caducifoliées endémique du Maghreb où il occupe 102 000ha.

Le Chêne zéen est un bel arbre présentant un fut droit très élancé allant jusqu'à 30 mètres de hauteur et 6 mètres de circonférence. MESSAOUDENE (2008) souligne que dans son aire le Chêne zéen peut atteindre des âges de plus de 550 ans et présentant des circonférences allant jusqu'à huit mètres. La qualité du bois de cette espèce est classée différemment, les forestiers le considèrent comme étant médiocre mais des études faites dans ce contexte ont montré que ce bois peut présenter un intérêt économique et contribuer au développement durable

Le Chêne zéen est une espèce de lumière dominante dans les conditions qui lui sont favorables et envahissantes. Elle prospère sur les expositions les plus fraîches avec une tranche pluviométrique supérieure à 800mm par an et supporte les basses températures jusqu'à -10° C. Il se rencontre dans les bioclimats subhumide et humide à variante tempérée et trouve son optimum de développement dans le supraméditerranéen. La tranche altitudinale élective de cette espèce se situe entre 800 et 1500m d'altitude. Quant à la nature du substrat il préfère les sols profonds, meubles et évite les sols argileux.

CHAPITRE II
DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction

La forêt d'Ath Ghobri, d'une étendue de 5705ha et 66 ares, répartie sur 28 contons, se caractérise par une grande diversité topographique, édaphique et physiologique de la végétation. Devant cette complexité, une étude descriptive s'avère importante pour soulever toutes ces différences qui pourraient mener vers un choix judicieux des stations d'études.

2.2 Localisation

La forêt d'Ath Ghobri, au statut juridique domaniale, dépend administrativement de la conservation de la wilaya de Tizi Ouzou et de la circonscription des forêts de la daïra d'Azazga (Figure VIII). Elle est délimitée au nord par une ligne de Crête la séparant de la forêt de Tamgout, à l'ouest par la ville d'Azazga, à l'est par la forêt de l'Akfadou et l'oued d'Acif El Hamam et enfin au sud par les villages Cheurfa et Assiakh Bouadda. Ces coordonnées géographiques sont : 36°42 à 36°47, latitude Nord et 4°22 à 4°24, longitude est.

La forêt d'Ath Ghobri est soumise à la loi 84-12 portant régime général des forêts. Cette législation confère à la forêt les objectifs de protection et de production.

2.2 Le milieu physique

2.2.1 Élément géologique

De point de vue géologique plusieurs auteurs ont signalé que dans la région forestière Kabyle on rencontre des formations appartenant aux terrains anciens et irruptifs du secondaire et du tertiaire (BOUDY, 1955 ; GELARD, 1978 et LEFEBVER, 1900). GELARD (1978) a signalé l'appartenance des terrains de la région d'Ath Ghobri à l'éocène supérieur, il est représenté par trois types de substrats : les grès numidiens, les grès sous numidiens et les flyches à microbrèches. Ces terrains occupent une surface considérable, elle est représentée par une ligne passant par Azazga et Tizi n'charia et la partie supérieure du bassin versant de Sebaou et de l'oued Acif el Hamam.

2.2.2 Élément de relief et topographie

La forêt d'Ath Ghobri se situe sur la chaîne côtière, elle présente un relief très accidenté, formé de versant et de glacis (BENHASSAINE in BOUCHEK et BOUZELHA. 1989). On distingue des versants Nord et d'autres Sud accompagnés d'une succession de lignes de crête, avec la dominance des expositions Nord – Ouest et Nord – Est (MESSAOUDENE, 1989). Le relief est globalement accidenté, où l'on rencontre des pentes variables allant de 25 à 50%.

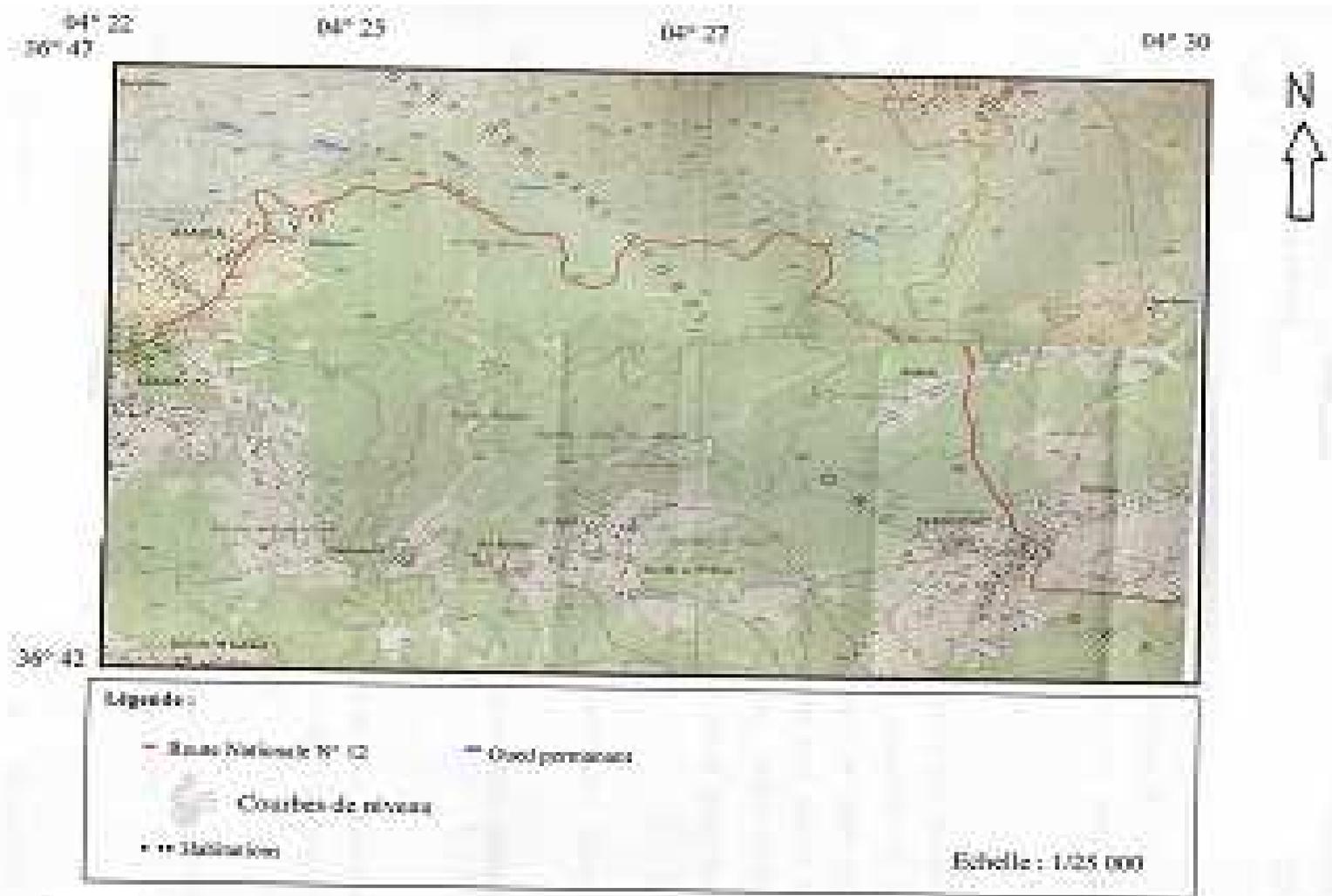


Figure VIII : Localisation de la région d'étude Carte à scanner

2.2.3 Elément pédologique

L'abondance des grés numidiens dans la région d'Ath Ghobri donne naissance à des terrains à texture sablonneuse à interaction argileux parsemés de blocs rocheux (LAPIE, 1909 ; STEWART, 1974). Plusieurs études dans ce cadre ont été réalisées. Les résultats ont montré que les sols de cette région sont acides à $pH \leq 6$. L'humus est de type mull riche en matière organique (ALLALOU, 1986 et FERRAHI, 1997). FERRAHI (1994) a déterminé dans les Ath Ghobri quatre types de sols en fonction de la pente du terrain :

- $P < 12\%$, les sols sont lessivés et acides à horizon d'accumulation argileux B_t superficiel ($B_t < 25\text{cm}$).
- $12 < P < 20\%$, les sols sont lessivés et acides à horizon d'accumulation argileux B_t profond ($B_t > 50\text{cm}$), et les formations de type AA_2B_t .
- $p > 30\%$ les sols sont superficiels, peu évolués de type AC.
- Et enfin sur les versants humides et ombrageux se sont les sols lessivés peu différenciés qui sont constitués de deux horizons (A_1-A_2) intercalés entre des éléments grossiers et les horizons B_t se trouvent par endroit.

BOUZELHA et BOUCHEK (1989) ont noté que sur substrat argileux, c'est les sols bruns à hydromorphie temporaire et des sols à pseudo-gley qui s'y installent.

2.2.4 Elément du climat

Les facteurs climatiques influent sur la répartition, la croissance et le développement des végétaux. La région d'Ath Ghobri, située au nord de l'Algérie, se caractérise par un climat méditerranéen. Elle est nettement plus chaude en été et plus froide en hiver et se caractérise par des précipitations irrégulières qui y sont extrêmement réduite d'avril à octobre (REBRIN, 1954). L'étude du climat de la région de Yakouren, correspondant à la période allant de 1980 jusqu'à 2004 (Tableau V), fait apparaître que le maximum de pluie est enregistré au mois de décembre avec une quantité de 208.36 mm alors que le minimum est de 5.06 mm au mois de juillet.

Par contre les températures de la région, extrapolées à partir du post météologique de Tizi Ouzou montre que la température maximale la plus élevée est enregistrée au mois d'août (32.18°C) alors que la plus basse est pour le mois de janvier (10.83°C). Par contre, les minimales affichent la plus grande valeur au mois d'août (18.64°C) et la plus petite au mois de janvier (3.37°C).

Tableau V : Présentations des données climatiques de Yakouren (1980-2003).

Mois	P (mm) Yakouren	T(°C) Tizi Ouzou		T(°C) Yakouren		
		M(°C)	m (°C)	M(°C)	m(°C)	(M+m)/2
Janvier	163.68	14.9	5.7	10.83	3.37	7.1
Février	129.88	16.68	5.97	12.60	3.64	8.12
Mars	105.9	19.41	8.42	15.34	6.09	10.71
Avril	113.2	20.62	9.8	16.55	7.47	12.01
Mai	68.98	26.12	16.26	22.05	10.93	16.49
Juin	12.7	31.72	16.92	27.65	14.59	21.12
Juillet	5.06	35.68	20.76	31.61	18.43	25.02
Août	9.43	36.2	20.97	32.18	18.64	25.41
Septembre	40.04	32.25	18.14	28.18	15.82	22
Octobre	82.61	26.1	14.25	22.03	11.92	16.97
Novembre	130.51	19.38	10.7	15.31	8.37	11.84
Décembre	208.36	15.93	6.65	11.086	4.32	8.09
Total	1070.32	-	-	-	-	-

Source : ANRH ,2004 ; ONM ,2004

L'examen du diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN montre une saison sèche allant du début du mois de juin jusqu'au mi septembre et une période humide pour le restant de l'année (Figure IX).

L'analyse du tableau VI montre la répartition des pluies à travers les saisons et détermine un régime saisonnier de type HPAE ce qui concorde avec le résultat de TAFER (2000) pour la période allant de 1972 à 1999. D'après MESSAOUDENE (1989 et 1991) pour la période allant de 1920 à 1984, le régime saisonnier est de type H.A.P.E.

Tableau VI: Précipitations saisonnières pour la station de Yakouren en période (1980-2003)

Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Type
P (mm)	501.92	288.08	27.19	253.13	H.P.A.E

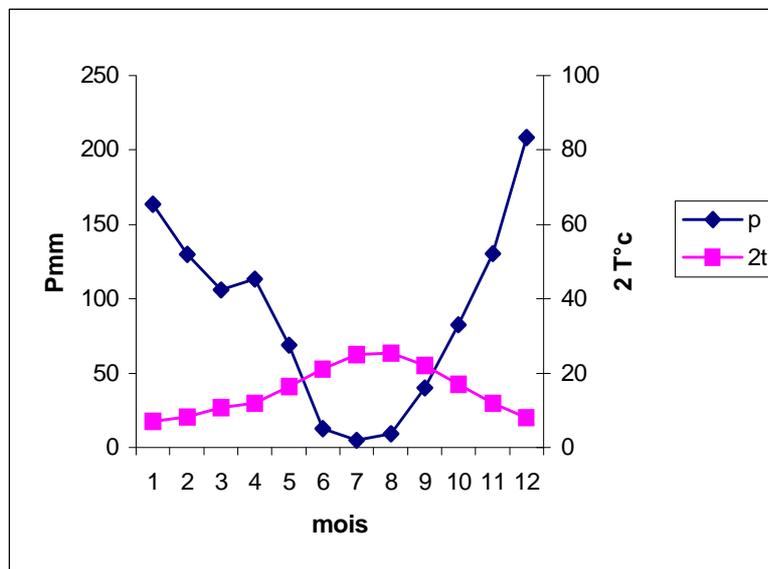


Figure IX : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Yakouren

2.2.4 La végétation

La forêt d'Ath Ghobri est constituée de trois espèces arborescentes : le Chêne zéen (*Q. canariensis Wild*), le Chêne liège (*Q. suber L.*) et le Chêne afaras (*Q. afares Pomel*). Ces trois espèces se retrouvent en peuplements purs ou mélangés accompagnés de sous bois très claires à denses et très développés. Ce dernier dépend du recouvrement et de la densité du peuplement.

Sur cette moyenne montagne, la chênaie caducifoliée se localise dans une tranche altitudinal allant de 800 à 1400 m (LAPIE, 1909 ; QUZEL, 1956 ; MESSAOUDENNE, 1989). Le Chêne zéen commence à apparaître déjà à 500 m d'altitude dans la forêt de d'Ath Ghobri. Les chênes caducs sont fréquemment en mélange, toutefois le Chêne zéen domine dans les fonds de vallons et le Chêne afaras est plus abondant sur les versants chauds (QUEZEL, 1956). Quant au Chêne liège, il atteint rarement les 1300 d'altitudes en exposition favorable et ne constitue des peuplements qu'en dessous des 1000 m avec un optimum entre 600 et 800 m (LAPIE, 1909 ; LAPIE & MAIGE, 1914 ; MAIRE, 1926).

Les strates arbustives et herbacées inventoriées sont composées essentiellement des familles suivantes (MEDOUR, 1993 et LARIBI, 2000)

- Cistaceae : *Cistus monpeiliensis*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*
- Rosaceae : *Colycolome spinosa* lamk, *Rubus ulmifolius* schott, *Crataegus monogyna*
- Leguminosae : *Genista tricuspidata*
- Papilionaceae : *Cytisus triflorus* L
- Mystaceae : *Myrtrus comimunis*
- Anacardiaceae : *Pistachia lentiscus*l
- Labioceae : *Lavandula stoechas*
- Oleaceae : *Olea europoea* L

Quant à la strate herbacée, MEDDOUR (1993) inventorie des espèces sylvatiques montagnardes caractéristiques de la clase *Quercetea pubescentis* et des espèces sylvatiques de basse altitude caractérisant la classe des *Quercetea ilicis* à savoir :

Pulicaria odora, *Galium elipticum*, *Satuiga vulgaris*, *Pliridium aquilinum*, *Lenaria reflexa*, *Myositis collina*, *Andryala integrefolia*, *Crepis vecicaria*, *Tymus communis*, *Dactilis glomerata*, *Brumella vulgaris*, *Brachypodium sylvaticum*.

Conclusion

Notre région d'étude fait partie de la forêt domaniale des Ath Ghobri, administrativement dépendante de la conservation des forêts de Tizi-Ouzou se caractérise par un relief mouvementé avec des pentes très variées parfois très raides, une présence de micro bassin versant, des expositions différentes, et un substrat géologique composé de grès numidiens. Ses sols sont acides et présentent une texture sablonneuse.

La région d'étude se situe dans le bioclimat humide à variante tempérée, avec une tranche pluviométrique annuelle comprise entre 900 et 1400mm (MESSAOUDENE, 2007), et un régime saisonnier de type HPAE, constituée de formations à *Q. canariensis*, *Q. afares* et *Q. suber*.

L'hétérogénéité de la région d'étude, que ce soit sur le plan physiognomie de la végétation, topographie, ou pédologie, il nous est très difficile de réaliser un échantillonnage homogène d'une façon à couvrir toutes ces variations.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE ET INVENTAIRE FORESTIER

Introduction

Dans le but d'atteindre des objectifs assignés à notre travail et vu la diversité topographique et physiologique des peuplements, nous avons sélectionné des stations représentatives dans la forêt d'Ath Ghobri. L'inventaire est établi de manière à inclure dans l'analyse l'ensemble des facteurs dendrométriques susceptibles d'expliquer leurs relations avec la croissance et la production.

3.1. Le choix des stations et des placettes d'études

Après une première sortie de reconnaissance et de prospection du terrain, trois stations ont été choisies selon la stratégie d'échantillonnage stratifiée progressive (Tableau VII et Figure X).

Tableau VII : description des stations d'étude.

Station	Sidi Brahim	El Ainceur	Tizi Oufellah
Exposition	Sud-Ouest	Nord-est	Nord-Ouest
Altitude	703 m	722 m	1009 m
Pente	11%	8%	15%
Superficie	332 ha	282 ha	212ha
Type de peuplement	CZ+CA+CL	CZ+CL	CZ
Densité	326 tige / ha	320 tige / ha	336 tige /ha
Taux de recouvrement	70%	60%	80%

Dans chaque station, des placettes de 5 ares ont été installées sur un transect de manière à couvrir l'ensemble des conditions stationnelles, le choix de la première placette peut être fait au hasard, mais toutes les autres placettes seront localisées d'une manière régulière par rapport à la première (DAGNELIE et al, 1978). Les placettes sont distantes les une des autres de 200m, tout en évitant l'effet lisière ainsi que l'action anthropique dans le peuplement. Dans chacune des placettes les arbres sont inventoriés pied par pied. Cette approche est appliquée dans le cas de forêts de petites superficies où des peuplements de grandes valeurs (DUPLAT et PEROUT, 1981 et PARDE et BOUCHON, 1988). C'est le plus rapide et le plus recommandé surtout pour la gestion et l'aménagement des forêts. Il s'agit de choisir objectivement un certain nombre N de placettes à échantillonner dont la superficie S est constante pour chaque hectare de peuplement. La taille et la nature des placettes doivent être identique, de même pour le critère de leurs choix.

Au sens statistique du terme, une forêt constitue une population, où la placette représente une unité d'observation. D'après PALM (1977) un échantillonnage ou sondage est l'ensemble des observations qui ont pour but de prélever dans une population des unités d'échantillonnages

3.2. La forme, la délimitation et la taille de l'échantillon

Au total 3 stations et 22 placettes ont été matérialisées sur le terrain avec un effectif de 364 arbres, soit une moyenne de 7 placettes par station et de 16 arbres par placette. Cette contenance répond aux critères fixés par DUPLAT et PEROUT (1981). Elle est de 10 à 12 arbres en moyen.

Nous avons opté pour des placettes circulaires de 500 m² de surface. C'est la plus recommandé dans le cadre des inventaires forestiers en raison de ses avantages. Elle est définie par son diamètre et son centre, le principe est de prendre un point que l'on considère comme étant le centre de la placette, grâce au clisimètre on définit la pente ; le diamètre correspondant sera lu sur la table de DUPLAT et PERROUT (1981), donnant les distances qui séparent le centre du périmètre selon la pente correspondante. Ainsi l'assiette de la placette sera déterminée en utilisant un ruban décimétrique

3.3. Les relevés dendrométriques

Dans chaque placette nous avons mesuré les paramètres dendrométriques suivants :

- La hauteur totale de l'arbre (**HT**) en mètres, c'est un paramètre essentiel dans la caractérisation de la distribution verticale des peuplements et de leurs productivités. Elle est définie à l'aide du relascope de betterlich qui mesure la différence métrique entre le niveau du sol et le sommet de l'arbre.
- Le diamètre à 1.30m au dessus du sol (**D_{1.30}**) en centimètres, il est mesuré à l'aide du compas forestier. Le diamètre exprime la grosseur la plus universelle d'une section d'arbre.
- La circonférence à 1.30m au dessus du sol (**C_{1.30}**) en mètres, elle est fournie directement par un double décimètre. Comme elle peut se calculer à partir du diamètre au même niveau : $C = \pi D$.
- Le diamètre à mi hauteurs mesuré au moyen du relascope de betterlich (**D_{1/2 HT}**), en centimètres.
- L'espacement moyen entre les quatre arbres voisins (**ESPM**) en mètres. Cette variable nous semble être la plus intéressante pour une description plus fine de la répartition des arbres dans un peuplement forestier et il indique aussi l'intensité du peuplement.

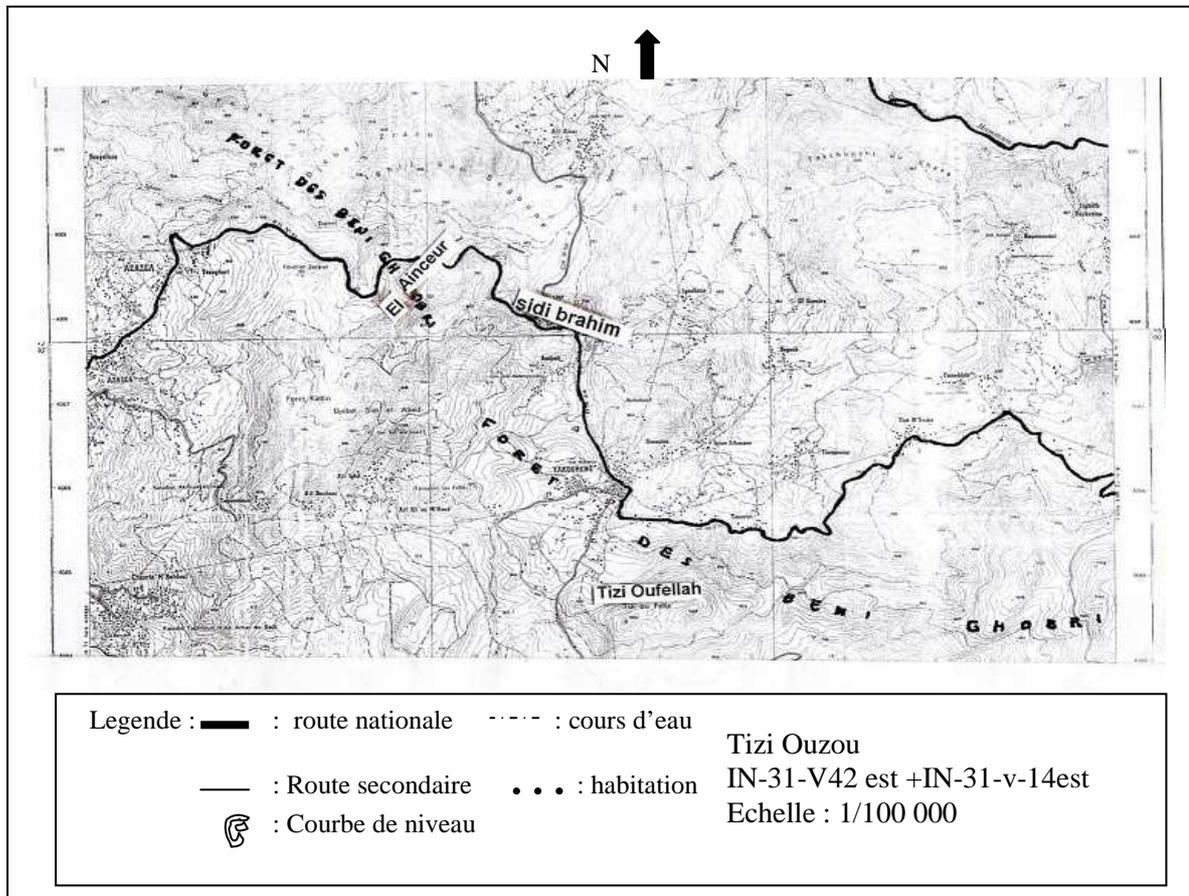


Figure X: Localisation des stations d'études

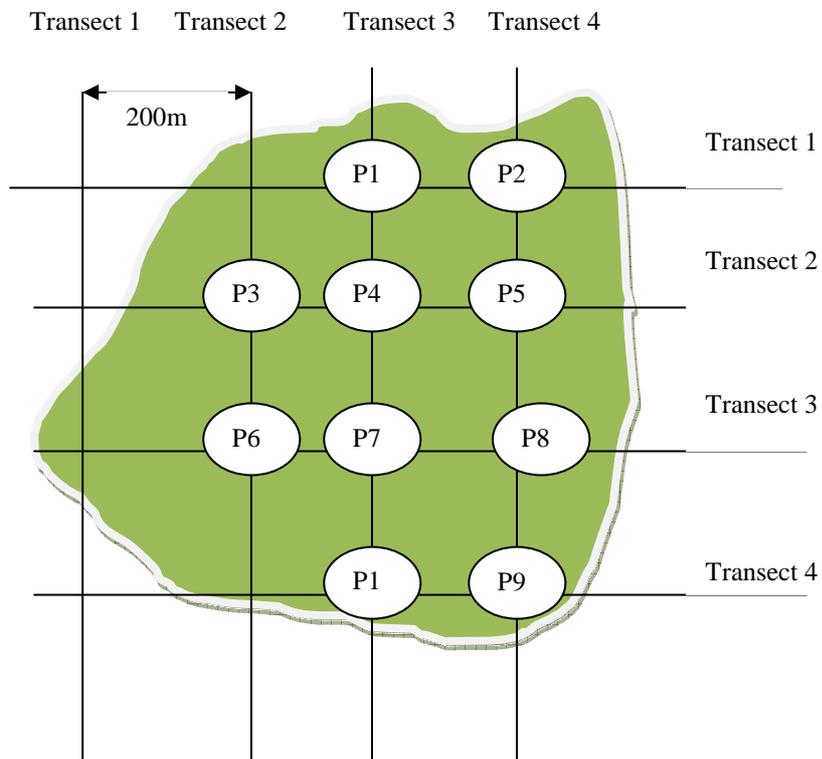


Figure XI : Schéma représentant le choix des placettes sur le terrain.

- Le diamètre du houppier (**DHP**) en mètres, c'est la projection des deux plus longues branches sur le sol mesuré avec un double décimètre, cette caractéristique est intéressante dans l'appréciation du recouvrement et la biomasse du houppier. Ce descripteur peut varier en fonction de l'espacement entre les arbres, de la densité du peuplement et il nous informe aussi de l'état de compétition entre les arbres.

3.4. Traitement de données

Pour l'analyse statistique, nous avons fait appel à deux approches : une analyse descriptive unidimensionnelle et une analyse multidimensionnelle. Auparavant, quelques variables dendrométriques ont été calculées.

3.4.1. Calcul de coefficient dendrométrique

Nous avons calculé quelques paramètres à partir de des variables mesurées tel que :

- Le coefficient de décroissance **K**, il exprime le rapport entre le diamètre à 1.30m et celui à mi-hauteur de l'arbre.

$$K = D_{1/2ht} / D_{1.30}$$

- Le coefficient de forme (**F**), qui est le carré de coefficient de décroissance. Il intervient dans le calcul du volume.

$$F = K^2$$

- Le volume (**V**) en mètre cube, qui est la caractéristique fondamentale pour l'appréciation de la productivité d'un peuplement forestier :

$$V = GHF, \quad (G : \text{surface terrière})$$

$$V = (\pi/4) D^2 H F$$

$$V = (\pi/4) D^2 H K^2$$

3.4.2. Analyse descriptive unidimensionnelle

Dans un premier temps, il est nécessaire de faire une analyse visuelle des données ensuite prendre une décision sur le type et la nature de la méthode statistique adéquate et vérifier les conditions de leurs applications.

3.4.2.1 Etude de la normalité des populations

Les données collectées sont soumises à analyse de normalité, son utilité s'impose dans l'application des méthodes relatives aux moyennes, variances, écart type, aux coefficients de corrélations et de régressions notamment. La vérification de cette condition indique que la distribution des populations parents suit également une loi normale (DAGNELIE, 1973), Dans le cas de la non satisfaction de la condition, les variables seront transformées pour améliorer la situation.

Dans notre cas, nous avons utilisé les diagrammes de probabilité pour illustrer l'allure de la répartition des observations par rapport à la loi normale : c'est une méthode purement visuelle qui est très utile dans la pratique ; elle est complétée par le test de CHAPIRO et WILK. Ce dernier consiste à calculer la statistique w , plus cette valeur est proche de 1, plus les points qui constituent le diagramme sont colinéaires et il est d'autant plus petit que le diagramme est fortement non linéaire (DAGNELIE, 1999).

La deuxième étape consiste à faire une analyse descriptive à une dimension pour chacune des variables considérées séparément à savoir : le calcul de la moyenne, de l'écart type et le coefficient de variation.

3.4.2.2 Etude de la structure et de la densité des peuplements

Les données sont représentées sous forme de graphes et de tableaux (histogrammes, box plot, distribution de fréquence...etc.).

La structure offre une idée sur la façon dont sont agencés les arbres d'un peuplement, soit donc la répartition des individus d'un peuplement en classe de diamètre ou de circonférence d'égale amplitude chacune.

La nature de la structure est donc déterminée après avoir regroupé les données recensées par catégorie de grosseur. Elle se traduit en courbe de Gauss (en cloche) dans le cas d'un peuplement équié et en « j » inversé pour un peuplement jardiné (PARDE et BOUCHON, 1988). Son intérêt réside dans la détermination de la quantité de bois par catégorie de diamètre ou de circonférence entre autre le type de traitement sylvicole qui y convient.

Tout comme la structure, la densité des peuplements est particulièrement intéressante à considérer dans l'appréciation des opérations sylvicoles (éclaircie, élagage, plantations...) à appliquer au préalable. M'HIRIT (1982) la définit comme un moyen de chiffrer le couvert optimal pour obtenir la productivité la plus intéressante sans nuire à l'état du sol. Elle se mesure

par le nombre de tiges à l'hectare. Ces deux caractéristiques sont liées entre elles et influencées par la compétition qui existe entre les arbres. DHOTE et HOULLIER (1993) soulignent que l'étude de la structure est liée à l'étude de la concurrence entre les arbres sur les ressources disponible dans le sol, l'allocation de ces dernières influe directement sur la croissance des peuplements et détermine la forme et la fonction de chaque tige.

3.4.2.3. Comparaison des moyennes

Il s'agit d'une comparaison de plusieurs moyennes de plusieurs populations supposées être normale et admettant que les échantillons sont tirés aléatoirement et indépendamment les uns des autres. L'intérêt de cette analyse est de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'égalité de moyennes des populations étudiées.

Ce type de comparaison se fait par une analyse de variance pour accepter ou rejeter l'hypothèse nulle, la fonction observée est comparée à la fonction théorique. Cette dernière est prélevée de la table de Fischer Snedecor au seuil de probabilité choisi : 5%, 1%, 1%₀.

3.4.3. Analyse multidimensionnelle

Les analyses bi et multidimensionnelles appliquée concernent le calcul des relations entre les variables et la modélisation.

3.4.3.1. Le calcul des corrélations

En vue de déterminer le degré de liaison entre deux et plusieurs variables, les coefficients de corrélation sont calculés par la formule suivante :

$$r = C_{xy} / (C_{xx} C_{yy})^{1/2}$$

C_{xy} : la covariance de x et y

C_{xx} : la variance de x

C_{yy} : la variance de y

Dans notre travail, les corrélations ont été calculées par placette pour chaque station pour soulever l'existence ou non de l'effet de la placette sur les variables calculées et les liaisons qui existent entre elles, puis une matrice qui regroupe toutes les données d'une même station, et cela pour montrer l'influence de la station.

3.4.3.2. La méthodologie de la modélisation :

La modélisation consiste à réduire une réalité complexe à un système structuré d'éléments et de relations qui permet d'estimer l'évolution probable du peuplement au cours du temps. (BOUCHON, 1995). Elle constitue un outil important pour planifier les régimes de coupe et estimer l'âge de l'exploitabilité et de la production (GOREAUD et Al., 2005). L'approche fait

appelle à des modèles mathématiques répondant à un but bien précis. Leur intérêt réside dans l'établissement d'un lien entre tout type de données récoltées sur le terrain. CHAVE (2000) note qu'un modèle est une aide à l'utilisation optimum des données, c'est également un outil d'investigation de mécanisme physique et biologique de la croissance des plantes ligneuses. Selon DAGNELIE, (1999) la modélisation de croissance est une opération mathématique qui s'ajuste aux courbes. Pour mieux comprendre et évaluer les relations qui existent entre les variables, nous avons utilisé les régressions simples et multiples : il s'agit d'une relation mathématique et logique qui explique l'évolution d'un ensemble de variables descriptives dans un peuplement forestier. Ces dernières seront associées à des diagrammes de dispersion dont l'examen permet de mettre en évidence la liaison qui existe entre le couple de variable en considération. HOULLIER et Al. (1991) in CARPENTIER (1996).

L'objectif est de prédire l'évolution de la variable dépendante en fonction des variables indépendantes. De ce fait, nous pourrions obtenir d'un modèle mathématique qui servira à la fois comme outil de calcul, facile à utiliser aussi bien que par les agents forestiers dans les calculs rapides sur le terrain que par les administrateurs pour la gestion et l'aménagement des forêts, notamment quand il s'agit de variables facile à mesurer telles que : l'espacement entre les arbres (ESPM), le diamètre du houppier (DHP), le diamètre ($D_{1.30}$) et la circonférence (C_{130}).

Dans un premier temps, nous allons prédire la hauteur et le volume en fonction d'une seule variable pour déduire le degré et la façon dont évoluent ces variables dépendantes en fonction de chacune des variables dendrométriques étudiées. Puis nous essayerons d'étudier l'influence de plusieurs variables explicatives sur la croissance des arbres en hauteur, en diamètre et en volume. Pour cela nous avons fait appelle à des régressions simples et multiples.

Dans le cas de la régression simple, nous avons testé cinq type d'équations et retenu juste celle qui fournit un coefficient R^2 le plus élevé et une variation résiduelle $\hat{\sigma}$ moindre. Il s'agit du meilleur ajustement de nos données. (DAGNELIE, 1973 ; TOMASSON et Al., 1995 ; FONWEBEN et HOULLIER, 1995 ; DAGNILLIE, 1999).

- 1- Linéaire : $Y = b_0 + b_1 X$
- 2- Exponentielle : $Y = b_0 e^{b_1 X}$
- 3- Puissance : $Y = b_0 (X)^{b_1}$
- 4-Logarithmique : $Y = b_0 + b_1 \log(X)$
- 5- Polynomiale : $Y = b_2 X^2 + b_1 X + b_0$

b_0 : représente l'ordonnée à l'origine.

B_1 : représente la pente de la courbe, il peut avoir une relation avec le peuplement (DHOTE et HERVE, 2000).

B_2 : exprime une variabilité de forme propre à chaque courbe et peut être sensible à la densité (DEULEUZE et al, 1996 ; DUPLAT et TRANS HA, 1997).

Les régressions multiples consistent à exprimer une variable par une combinaison linéaire d'autres variables (NEUPVEU, 1986), en supposant que la relation est approximativement linéaire, l'équation s'écrit :

$$Z = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \dots + b_nx_n.$$

b_1 et $b_2 \dots b_n$ sont des coefficients de régression qui mesurent l'effet de chaque variable une fois que les autres sont dans le modèle.

Trois variables dépendantes (HT, D_{130} , et V) feront l'objet de trois modèles différents :

1. Nous introduisons l'ensemble des variables explicatives à la fois pour mettre en évidence la contribution de chacune d'elles dans l'explication de la variable dépendante.

2. Seulement les variables dont on veut tester leur influence (le diamètre du houppier (DHP) et l'espacement moyen (ESPM) entre les arbres seront combinés pour la construction d'un modèle.

3. Dans le but d'améliorer ce dernier, une troisième variable explicative sera imbriquée dans le modèle.

3.4.3.3 Ajustement des modèles

Pour tous les modèles de régressions utilisés, la qualité des ajustements est appréciée comme cité précédemment, par un coefficient de détermination R^2 le plus élevé ou proche de 1, un écart type résiduel minimal.

La signification de la régression est valable une fois que l'hypothèse H_0 concernant la nullité des coefficients de régression ($b_0, b_1, b_2 \dots b_k$) est rejetée, ce test est vérifié par une analyse de variance ($F_{obs} > F_{th}$ au seuil α pour $k-1$ et $n-k-1$) (BAILLARGEON, 2002), suivie d'une analyse de résidus. Graphiquement la variance résiduelle n'est que l'écart entre les points observés et la courbe de régression.

3.4.3.4. Analyse des résidus

L'analyse des résidus présente un intérêt à plusieurs égards, elle permet de vérifier la validité du modèle utilisé, en ce qui concerne la forme (linéarité ou non linéarité de la relation) ; la normalité des résidus et la variance résiduelle (PALM, 1986).

Pour tester le modèle, confirmer la signification des coefficients de régression et vérifier la précision des modèles, 30 individus sont choisis au hasard sur les données de l'inventaire; et nous les avons soumis à une vérification par les modèles, puis nous avons calculé l'écart moyen et l'intervalle de résidus.

3.4.3.5. Analyse graphique

En outre, une appréciation graphique est nécessaire pour la validation des modèles établis. Soit des courbes de régression qui nous donnent une idée de la façon dont varie en moyen la variable dépendante (y) en fonction de la variable indépendante (x) ; et des analyses graphiques des résidus (tracé de normalité et l'ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées) de manière à détecter d'éventuels biais.

CHAPITRE IV

PRESENTATION DES RESULTATS

4.1. Analyse descriptive des données dendrométriques

4.1.1. La hauteur totale

Dans les stations étudiées, la hauteur totale moyenne maximale observée est de 28,23m. La station de Sidi Brahim fournit la hauteur la plus importante, soit $h=28,6m$. Par rapport aux hauteurs enregistrées dans les placettes d'inventaires, la station de Tizi Oufellah se manifeste par une hauteur moyenne la plus élevée (22,44m) (Tableau IX). Les figures XII a, XIII a et XIV a montrent que quelle que soit la station, la distribution des hauteurs suit le tracé de la loi normal, et cela est confirmé par le test de CHAPIRO et WILK dont les valeurs oscillent entre 0,92 et 0,97 (Tableau VIII).

La variation de cette variable dans la station de Tizi Oufellah est relativement faible ($CV=17,6$; $\sigma=3,94$; Tableau IX), alors que la station d'El Aincur se caractérise par une forte variation ($CV=26,3$; $\sigma=5,21$).

La comparaison des hauteurs moyennes entre les placettes dans chacune des stations fait apparaître des différences très hautement significatives dans les stations de Sidi Brahim ($F_{obs}=19,44$; $ddl=181$; $\alpha=0.001$) et Tizi Oufellah ($F_{obs}=26,29$; $ddl=95$; $\alpha=0.001$) (Tableau X). Par rapport aux hauteurs moyenne entre les stations, également les différences sont significatives ($F_{obs}=9,09$; $ddl=373$; $\alpha=0.01$).

4.1.2 Le diamètre à 1.30 m

Les arbres ayant une grosseur maximale se localisent dans la station de Tizi Oufllah ($D_{1.30}=38,1$) (Tabl.9). Pour cette variable, la variation inter placettes de chacune des stations caractérise davantage la station d'El Aincur ($D_{1.30}=28,25$; $CV=35,8$; $\sigma=10,12$) contrairement aux deux autres stations.

Pour les trois stations, les tracés de normalité affichent une distribution normale, notamment pour les diamètres les plus représentatifs (figures XII b, XIII b et XIV b). Cette distribution de type normal est confirmée par le test (w) dont les valeurs varient entre 0,94 et 0,96.

La comparaison des moyennes inter-placettes pour chacune des stations révèle des différences significatives pour les stations de Tizi-Oufellah ($F_{obs}=3,96$; $ddl=95$; $\alpha=0.01$) et Sidi-Brahim ($F_{obs}=30,93$; $ddl=181$; $\alpha=0.001$) (Tableau X). Quant à la comparaison des diamètres moyens entre les stations, elles montrent aussi des différences significatives avec $F_{obs}=31,64 > F_{th}=13,33$, $ddl=373$ et $\alpha=0.001$.

4.1.3. La circonférence

Les données de la circonférence suivent la même tendance que celles des diamètres, ce qui est évident dans la mesure où ces deux caractères sont redondants. On constate que Tizi Oufellah se distingue avec une circonférence moyenne la plus élevée ($C_{1,30}=1,31\text{m}$). En revanche, la station d'El Aincur affiche une moyenne plus faible ($C_{1,30}=0,92\text{m}$) (Tableau IX).

Pour ce qui concerne la normalité de cette variable, les données sont plus aux moins colinéaires sur la courbe du diagramme de probabilité (figures XII c, XIII c et XIV c), et le test W de CHAPIRO et WILK confirme ce résultat (0.94, 0.95, 0.96) (Tableau VIII).

La comparaison des moyennes inter-placettes au sein de chacune des stations par l'analyse de la variance montre, comme pour les diamètres, des différences d'une placette à l'autre à Tizi-Oufellah ($F_{\text{obs}}=3,79$; ddl=95 ; $\alpha=0.01$) et Sidi-Brahim ($F_{\text{obs}}=30,79$; ddl=181 et $\alpha=0.001$). (Tableau X). De même pour la comparaison des moyennes entre les stations, les différences sont significatives ($F_{\text{obs}}=27.27$; ddl=373 ; $\alpha=0.001$).

4.1.4 Diamètre à mi- hauteur

La station Tizi Oufllah est représentée par les diamètres à mi hauteur les plus élevés, soit une valeur de 24.7cm. Elle se caractérise par une variation réduite ($CV=20.49$; $\sigma=7.71$). Dans les deux stations de Sidi Brahim et El Aincur, les valeurs sont assez proches ($19.29 < D_{1/2\text{ht}} < 19.4$). Cependant, la variation à l'intérieur de la station est plus élevée pour la station d'El Aincur ($CV=43,3\%$) (Tableau IX).

Les données du diamètre à mi hauteur suivent la distribution de la loi normale et est vérifiée par le test de CHAPIRO et WILK, $0.90 < w < 0.96$ (Tableau VIII et figures XII d, XIII d et XIV d).

La comparaison des moyennes de ce caractère entre les placettes dans chacune des stations montre sa variation dans la station de Tizi Oufllah ($F_{\text{obs}}=3.92$; ddl=95 ; $\alpha=0.01$) et Sidi Brahim ($F_{\text{obs}}=32.5$; ddl=181 ; $\alpha=0.01$) (Tableau X). Pour les moyennes des trois stations, là aussi, elles se caractérisent par une grande variation ($F_{\text{obs}}=17.96$; ddl=373 ; $\alpha=0.001$).

Tableau VIII : Résultats du test de CHAPIRO et WILK

Variables	Tizi Oufellah	Sidi Brahim	El-Aincer
Hauteur (m)	0,94	0,97	0,92
Circonférence (m)	0,96	0,95	0,94
Diamètre (cm)	0,96	0,95	0,94
Diamètre à mi hauteur (cm)	0,91	0,94	0,91
Diamètre du houppier (m)	0,90	0,95	0,96
Espace moyen (m)	0,95	0,95	0,81
Volume v (m ³) (Log v)	0,89 (0.95)	0,85 (0.91)	0,51 (0.89)
Coefficient de défilement.	0.96	0,95	0,96

Tableau IX : Résultats de synthèse des variables dendrométriques.

Variables/ stations	Tizi Oufellah	Sidi Brahim	El Ainceur
HT max (m)	28.2	28.6	27.7
HT totale (m)	22.4 ± 3.94 ; 17.6 %	20.29 ± 4.62 ; 15.33 %	19.86 ± 5.21 ; 26.3 %
D _{1.30} (cm)	38.1 ± 7.71 ; 17.62 %	29.42 ± 10.04 ; 21.25 %	28.25 ± 10.12 ; 35.8 %
C _{1.30} (m)	1.31 ± 0.24 ; 18.41 %	0.95 ± 0.34 ; 21.42 %	0.92 ± 0.34 ; 31.85 %
D _{1/2HT} (cm)	24.7 ± 5.71 ; 20.49 %	19.4 ± 8.01 ; 23.9 %	19.29 ± 8.43 ; 43.3 %
DHP (m)	8.27 ± 2.82 ; 33.53 %	7.92 ± 2.69 ; 24.39 %	8.41 ± 2.55 ; 28.72 %
ESPM (m)	5.12 ± 1.09 ; 18.57 %	4.22 ± 1.48 ; 21.63 %	4.97 ± 1.2 ; 22.94 %
F	0.46 ± 0.18 ; 23.98 %	0.44 ± 0.16 ; 28.69 %	0.43 ± 0.11 ; 39.98 %
V (m ³)	1.18 ± 0.24 ; 46.69 %	0.7 ± 0.74 ; 58.22 %	0.78 ± 0.62 ; 78.71 %

Tableau X: Résultats de l'analyse de la variance à un facteur pour une comparaison de moyennes entre les placettes et entre les stations

Variabes	Tizi Oufellah	Sidi Brahim	El-Ainceur	Entre stations
HT (m)	26.29 ***	19,44***	1.94 ns	9.09 **
C _{1.30} (m)	3.79 **	30,79 ***	0.73 ns	27.27 ***
D _{1.30} (cm)	3.96 **	30,93 ***	0.99 ns	31.64 ***
D _{1/2ht} (cm)	3.92 **	32,57 ***	0.64 ns	17.96 ***
DHP (m)	1.30 ns	17,45 ***	4.1**	1.2 ns
ESPM (m)	5.43 ***	28,53 ***	7.45***	15.35 ***
Log V (m ³)	3.49 **	5,92 ***	2.18 ns	10.76 **
F	6.89 ***	28,25***	0.84 ns	1.16 ns

K1=5 et k2=95 : Fth = 2.31 pour $\alpha = 0.05$;
 Fth = 3.21 pour $\alpha = 0.01$;
 Fth = 4.48 pour $\alpha = 0.001$

K1=5 et k2=181 : Fth = 2.06 pour $\alpha = 0.05$;
 Fth = 2.83 pour $\alpha = 0.01$;
 Fth = 3.88 pour $\alpha = 0.001$

K1= 2 et k2 =373 : Fth =5.66 pour $\alpha = 0.05$;
 Fth =8.78 pour $\alpha = 0.01$;
 Fth=13.33 pour $\alpha = 0.001$

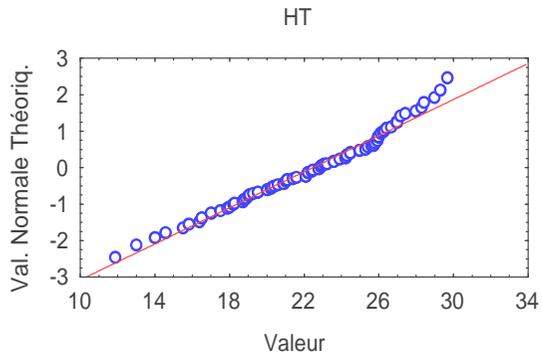


Figure XII a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station de Tizi oufellah.

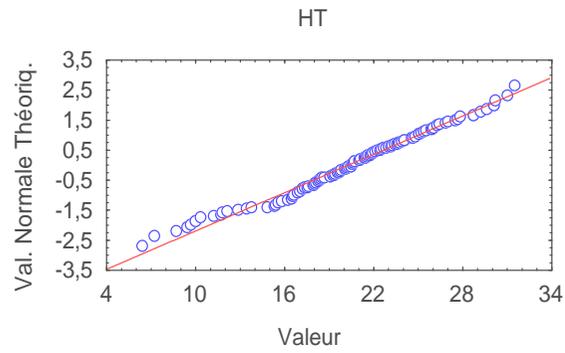


Figure XIII a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station de Sidi Brahim.

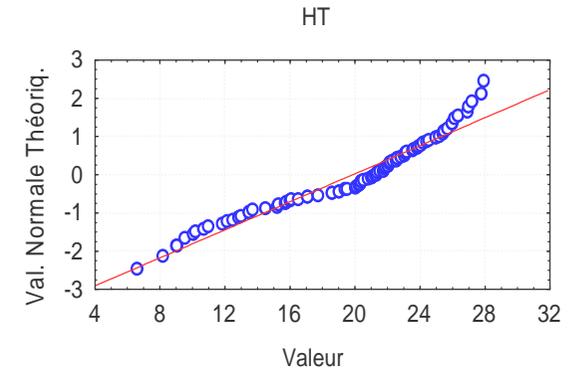


Figure XIV a : Tracé de normalité des données de la Hauteur dans la station d'El Ainceur.

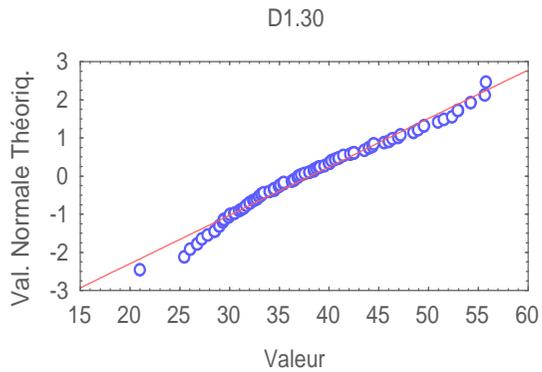


Figure XII b : Tracé de normalité des données de D_{1.30m} dans la station Tizi Oufellah

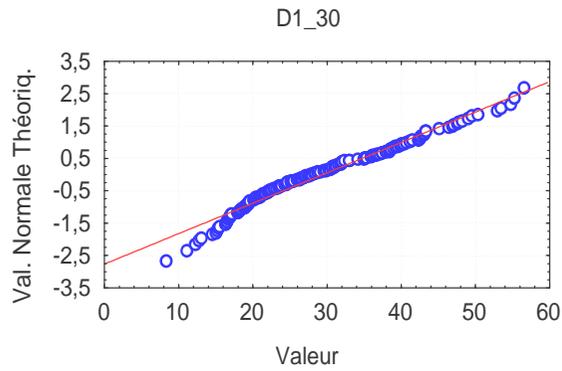


Figure XIII b : Tracé de normalité des données de D_{1.30m} dans la station Sidi Brahim

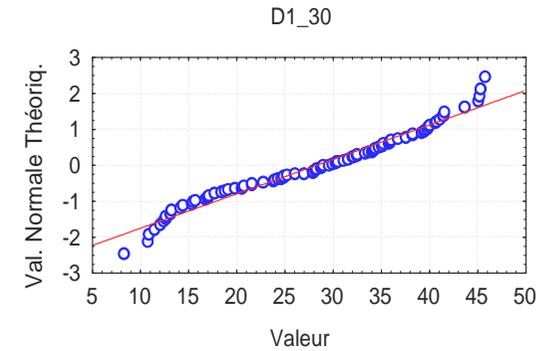


Figure XIV b : Tracé de normalité des données de D_{1.30m} dans la station El Ainceur.

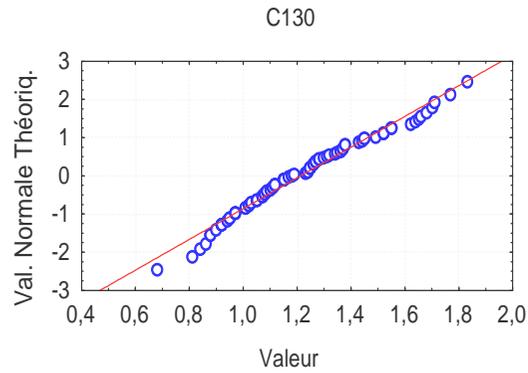


Figure XII c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station Tizi Oufellah

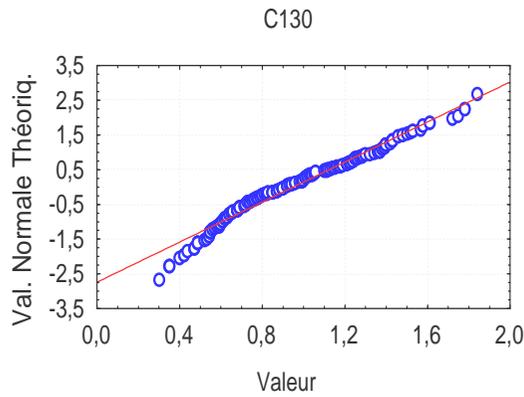


Figure XIII c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station Sidi Brahim

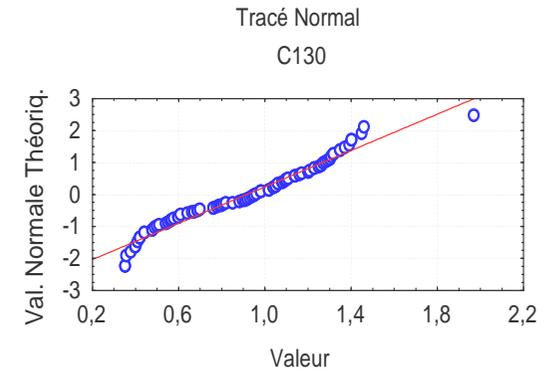


Figure XIV c : Tracé de normalité des données de C_{130} dans la station El Aincur

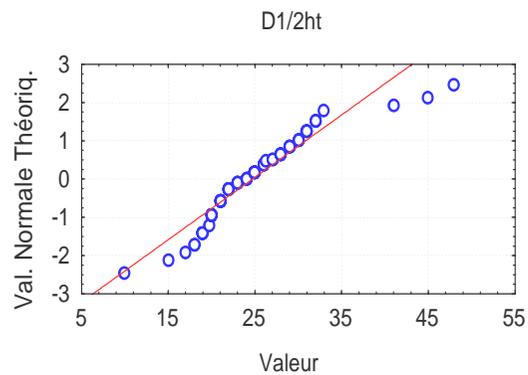


Figure XII d : Tracé de normalité des données de $D1/2ht$ dans la station Tizi Oufellah

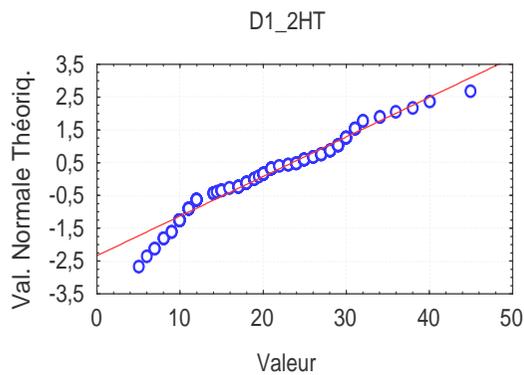


Figure XIII d : Tracé de normalité des données de $D1/2ht$ dans la station Sidi Brahim

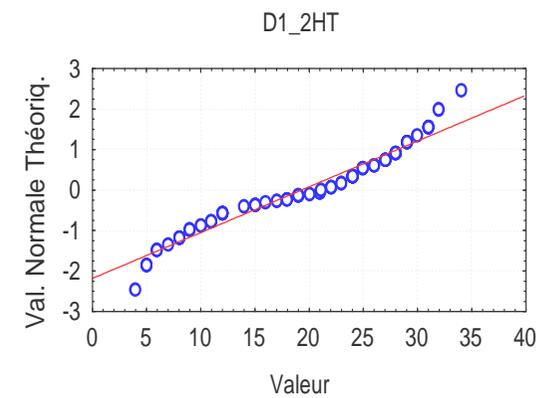


Figure XIV d : Tracé de normalité des données de $D1/2ht$ dans la station El Aincur

4.1.5 Le diamètre du houppier

Dans la station Tizi Oufllah la longueur des branches se situe entre 6 à 10m pour la majorité des arbres, mais certaines dépassent largement cet intervalle où on observe des diamètres allant jusqu'à 18m, ce sont des arbres à houppiers très développés. A Sidi Brahim, ce descripteur est très variable ; il oscille entre 2 et 15m. C'est aussi le cas au niveau d'El Aincur où l'étalement des branches atteint 16m. Ces résultats donne une idée précise sur l'agencement et la biomasse des houppiers et le recouvrement par rapport au sol.

Le diamètre moyen du houppier enregistré dans les trois stations est de 8,21m. Par rapport aux données des placettes, la station de Tizi Oufellah renferme des diamètres très variable ($cv= 33.53\%$) (Tableau IX).

Le tracé de normalité pour ce caractère suit la tendance de la loi normale et cela est confirmé par le test W dont les valeurs oscillent entre 0.90 et 0.96 (Figures XII e, XIII e, XIV e). L'analyse de la variance indique la présence de différences significatives dans les stations Sidi Brahim ($F_{obs}=17.45$; $ddl=181$; $\alpha=0.001$) et El Aincur ($F_{obs}=4.41$; $ddl=95$; $\alpha=0.01$) (Tableau X). Cela peut être expliqué par la présence de différents espacements entre les arbres. Il a été observé dans la plupart des zénaies que, le plus souvent, les arbres qui s'écartent le plus se manifestent par des houppiers plus étalés et engendrent une forte biomasse. Dans ce cas, cette forte biomasse est favorable pour la production ligneuse dans la mesure où elle peut développer un fort pouvoir photosynthétique. Cependant, entre les stations, le diamètre du houppier semble être homogène, probablement, elle se caractérise par une même densité régie par un facteur espacement proche.

4.1.6 L'espacement moyen

L'espacement moyen entre les arbres est un paramètre d'importance majeure. Il marque la fertilité de la station et la densité du peuplement et nous renseigne aussi sur les compétitions qui pourraient s'exercer entre les arbres (RION-NIVERT 1981 in PARDE et BOUCHON 1988). Les moyennes les plus faibles sont enregistrées dans les placettes à effectifs élevés d'arbres. Dans le cas où le facteur espacement apparaît important, il a été constaté une abondance de jeunes arbres représentant les différents stades de la futaie jardinée, à savoir du Gaulis au haut perchis. C'est le cas des placettes 9 et 10 de la station de Sidi Brahim où la moyenne est de 4m, un CV de 21.63% et un $\sigma=1.4$ (Tableau IX).

Pour la normalité des données de cette variable, le test de CHAPIRO et WILK ($w= 0.81$ à 0.95) et le tracé graphique des données met en évidence la distribution normal de cette variable à l'échelle des trois stations (Tableau VIII et (Figures XII f, XIII f, XIV f).

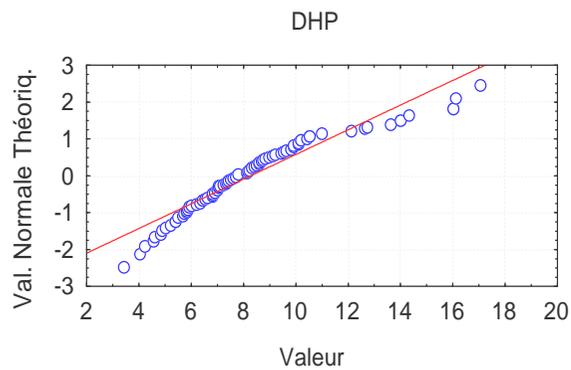


Figure XII e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station Tizi oufellah.

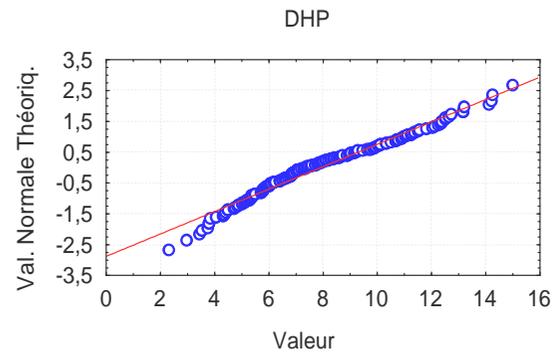


Figure XIII e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station Sidi Brahim

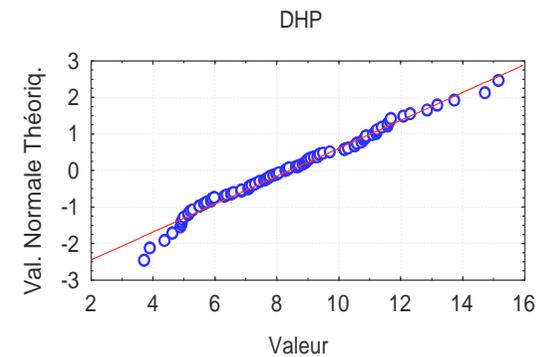


Figure XIV -e : Tracé de normalité des données du Diamètre du Houppier dans la station El Ainceur

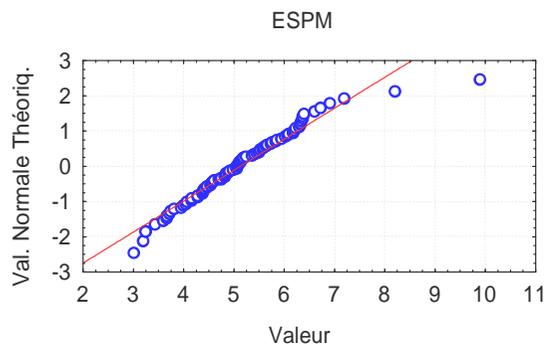


Figure XII f : Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station Tizi oufellah.

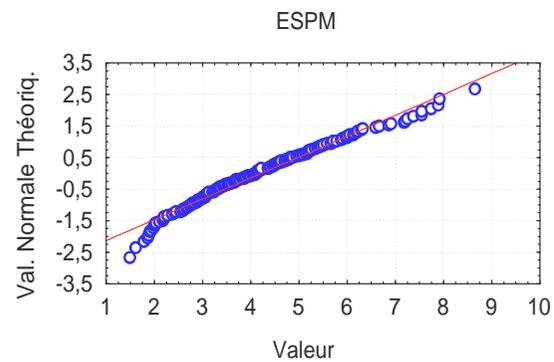


Figure XIII Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station Sidi Brahim

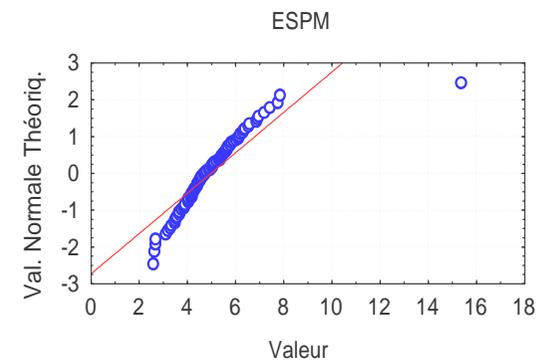


Figure XIV f : Tracé de normalité des données de l'espacement moyen dans la station El Ainceur

L'analyse de la variance indique la présence des différences significatives entre les placettes des trois stations : Tizi Oufellah ($F_{\text{obs}} = 5,435$; $\text{ddl}=95$; $\alpha=0.001$), Sidi brahim ($F_{\text{obs}} = 28,5$; $\text{ddl}=181$; $\alpha=0.01$) et El Aincur ($F_{\text{obs}} = 7,45$; $\text{ddl}=95$; $\alpha=0.001$) (Tableau X). Des différences significatives sont également signalés dans la comparaison des moyennes entre les trois stations ($F_{\text{obs}} = 15,35$; $\text{ddl}=373$; $\alpha=0.001$).

4.1.7 Le coefficient de défilement

Les résultats obtenus pour le coefficient de défilement attestent que la croissance en hauteur évolue de la même façon dans les trois stations. Il varie de 0,43 à 0,46 à l'intérieur des stations avec une plus grande variation dans la station d'El Aincur ($\text{cv}=39,98\%$; $\sigma=0.11$) (Tableau IX).

D'après le test de CHAPIRO et WILK les valeurs de la statistique calculées (W) sont de 0,96, 0,95, et 0,96 (Tableau VIII) et les Figures XII g, XIII g, XIV g) indiquent que les données observées suivent la distribution de la loi normale.

L'analyse de la variance pour la comparaison de moyennes à l'intérieur des stations fait ressortir des différences significatives pour la station de Tizi Oufellah ($F_{\text{obs}} = 6,89$; $\text{ddl}=95$; $\alpha=0.001$) et la station de Sidi Brahim ($F_{\text{obs}} = 28,2$; $\text{ddl}=181$; $\alpha=0.05$) et (Tableau X). En revanche, la comparaison des moyennes inter-stations n'affiche aucune différence significative.

4.1.8 Le volume

Dans les trois stations, le volume est estimé en moyen de $0,79\text{m}^3$ par arbre pour les stations Sidi Brahim et El Aincur, et de $1,18\text{m}^3$ par arbre pour les arbres de la station Tizi Oufillah. Les écarts type et les coefficients de variation calculés sont très élevés dans les trois cas de chênaies (Tableau IX).

Les données brutes globales de ce descripteur ne suivent pas la distribution normale. Dans le but de corriger cette tendance, la transformation des données brutes en valeur logarithmique a été effectuée (Figures XII h, XIII h, XIV h), ce qui a permis d'obtenir une meilleure représentation des données.

Comme pour les autres descripteurs, les moyennes inter-placettes dans chacune des stations apparaissent différentes pour Tizi Oufellah ($F_{\text{obs}} = 3,49$; $\text{ddl}=95$; $\alpha=0.01$) et Sidi Brahim ($F_{\text{obs}} = 5,92$; $\text{ddl}=181$; $\alpha=0.001$) (Tableau X.). La comparaison des moyennes entre les trois stations marque des différences significatives ($F_{\text{obs}} = 10,76$; $\text{ddl}=373$; $\alpha=0.001$) (Tableau X).

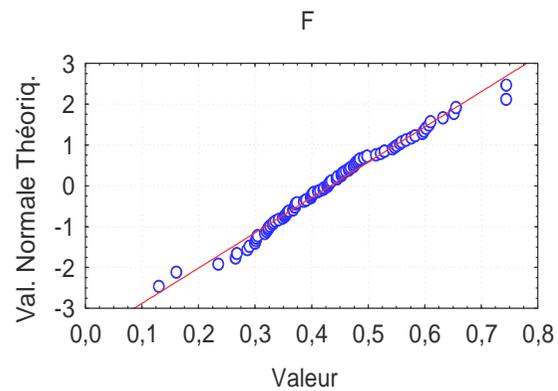


Figure XII g : Tracé de normalité des données de F dans la station Tizi Oufellah

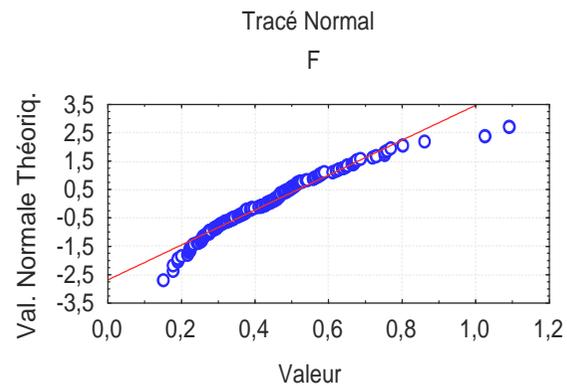


Figure XIII g : Tracé de normalité des données de F dans la station Sidi Brahim

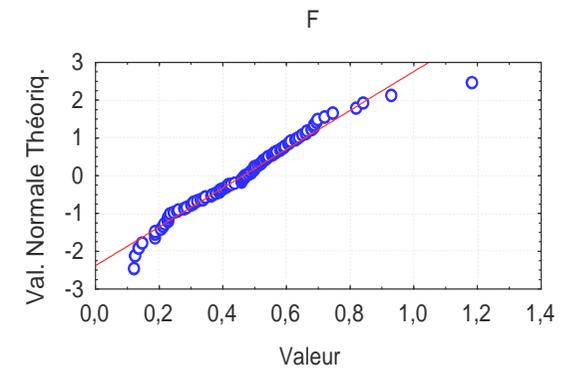


Figure XIV g : Tracé de normalité des données de F dans la station El Aincur

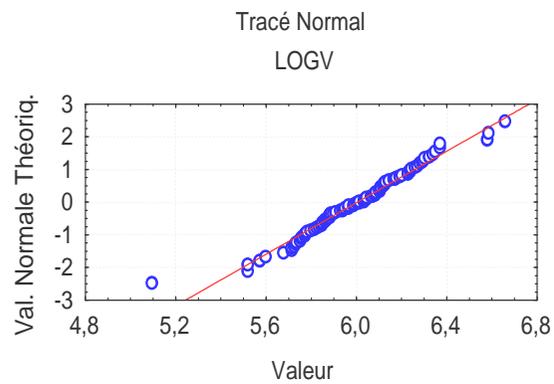


Figure XII h : Tracé de normalité des données du volume dans la station Tizi Oufellah

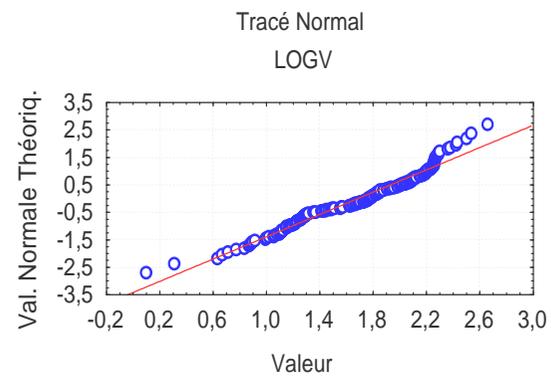


Figure XIII h : Tracé de normalité des données du volume dans la station Sidi Brahim

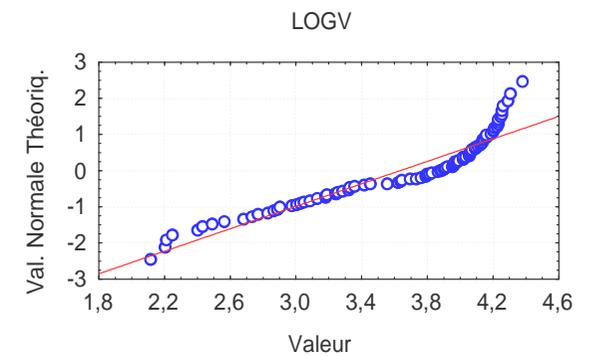


Figure XIV h : Tracé de normalité des données du volume dans la station El Aincur

4.2. Etude de la structure et de la densité

4.2.1. Etude de la structure

L'analyse de la figure XV montre des différences de distribution et de répartition des classes de hauteur d'une station à une autre. Pourtant le nombre de tige à hectare ne diffère pas entre les trois stations si l'on admet que les compétitions entre les arbres seraient les mêmes, il varie de 320 à 336 tiges par hectare. La station de Sidi Brahim se caractérise par un nombre d'arbres élevé pour les classes de [15-20m] et [20 - 25 m] (Tableau XI). Les autres classes sont moins représentées. Par contre, dans la station de Tizi Oufellah, la majorité des arbres appartiennent aux classes des hauteurs de [20 - 25 m] et [25-30m]. Quant à la station El Ainceur on remarque une large hétérogénéité de ses hauteurs. Comme pour les deux stations citées précédemment la classe la plus représentative est celle des hauteurs de [20-25m]. La figure 15 indique l'aplatissement des distributions au niveau de deux stations (Tizi Oufellah $\phi=-0.33$, El Ainceur $\phi = -0.39$). Les valeurs négatives du kurtosis signifient qu'il y a une grande dispersion des données par rapport à la moyenne (SANDERS, 1984). La station de Sidi Brahim présente un kurtosis positive ($\phi=0.5$) ce qui indique que la distribution est pointue par rapport à la distribution normale, la dispersion des données autour de la moyenne n'est pas importante. Toutefois le coefficient d'asymétrie est négatif pour les trois cas (Tableau XII), elle indique une distribution unilatérale décalée vers les petites valeurs (SANDERS, 1984). Les distributions des hauteurs suivent relativement les tendances de la loi normale.

Tableau XI : Répartition des arbres en classe de hauteur (HT).

classe de HT	Tizi Oufellah	Sidi Brahim	El Ainceur
>10	4	13	9
(10-15)	4	9	13
(15-20)	21	65	16
(20-25)	37	70	43
(25-30)	30	25	15

4.2.2. Etude de la densité

Les diamètres $D_{1.30}$ et d'après le tableau XIII et la figure XVI, dans la station de Tizi Oufellah, les arbres semblent avoir la même allure, ils présentent des dimensions très importantes, et sont très élancés avec des gros diamètres. La répartition des sujets en classe de diamètre $D_{1.30}$ suit une distribution en cloche avec une asymétrie à droite ($\beta=0.4$) et un kurtosis $\phi=-0.4$; Ce qui explique que les diamètres supérieurs au diamètre moyen sont plus nombreux que les diamètres inférieurs à la moyenne. Les classes de [35-40] et [40-45] présentent le pourcentage le plus élevé (22.91%) pour chacune d'elles ; mais la distribution est aplatie par

rapport à la distribution normale avec une grande hétérogénéité des données autour de la moyenne. D'après cette répartition, les pourcentages obtenus pour les diamètres montrent que cette station est une futaie âgée.

La station de Sidi Brahim présente une répartition des arbres par bouquets, on retrouve des placettes qui présentent seulement de gros arbres et d'autres que de petits diamètres. Les classes les plus représentatives sont celles ayant des $D_{1,30}$ appartenant aux intervalles [15-20], [20-25] et [25-30]. La distribution des diamètres est très hétérogène ($\phi=-0,5$) ; et présente une asymétrie droite ($\beta=0.47$) par rapport à la distribution normale, ce qui explique la large hétérogénéité entre les diamètres.

Quand à la station d'El Aincur, l'analyse des l'histogrammes de la figure 16 montre une répartition des diamètres suivant une distribution en cloche présentant une asymétrie à gauche ($\beta=-0.17$); avec absence des classes de [50-60cm]. Comme les deux stations précédentes, la station d'El Aincur présente un kurtosis négatif, la distribution est donc aplatie par rapport à la distribution normale. Cela signifie qu'il y a une grande hétérogénéité entre les diamètres.

Tableau XII : coefficient d'aplatissement et d'asymétrie pour la hauteur et le diamètre dans les trois stations.

Variables		Tizi Oufellah	Sidi Brahim	El Aincur
HT	Asymétrie	-0.44	-0.25	-0.7
	Aplatissement	-0.33	0.5	-0.39
D_{130}	Asymétrie	0.4	0.47	-0.17
	Aplatissement	-0.4	-0.5	-1.07

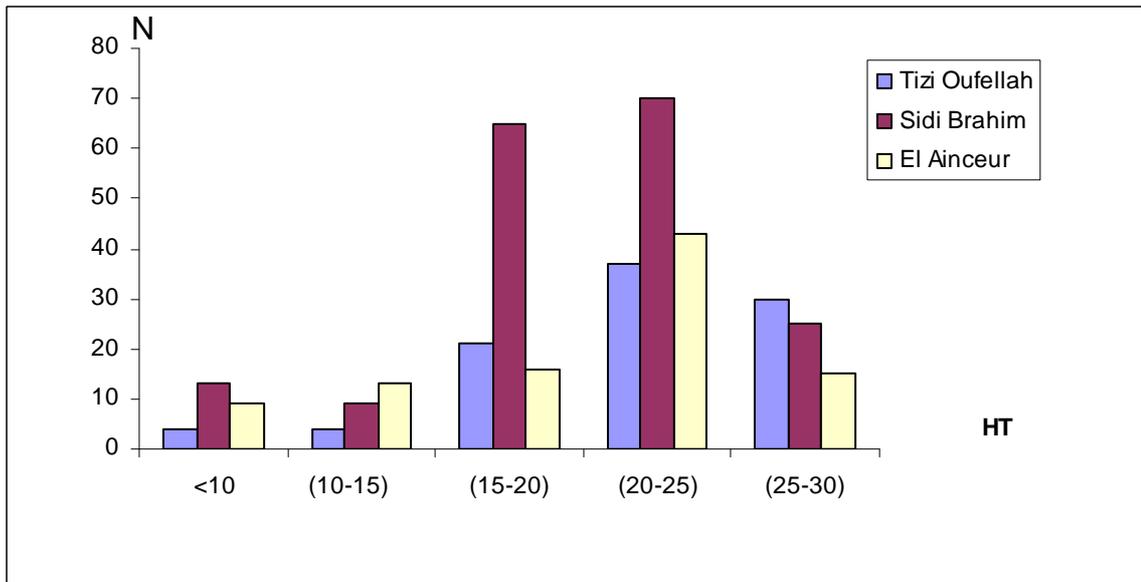


Figure XV : Répartition des arbres en classe de Hauteur (HT)

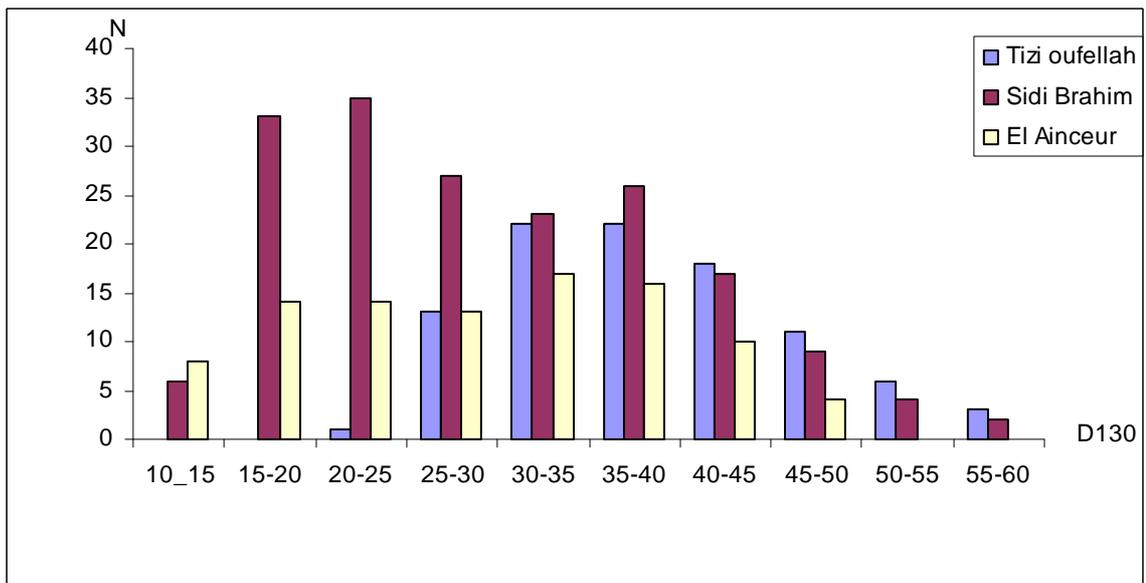


Fig. XVI : Répartition des arbres en classe de Diamètre D_{1.30}.

Tableau XIII : Répartition des arbres par catégorie de diamètre des trois stations

Stations	Tizi Oufellah		Sidi Brahim		El Ainceur	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
10 < D<15	0	0	6	3,297	8	8.3
15 <D<20	0	0	33	18,13	14	14.58
20 < D<25	1	1.04	35	19,23	14	14.58
25 < D<30	13	13.54	27	14,84	13	13.54
30 < D<35	22	22.91	23	12,64	17	17.7
35 < D<40	22	22.91	26	14,29	16	16.66
40 <D<45	18	18.75	17	9,341	10	10.4
45 <D<50	11	11.45	9	4,945	4	4.16
50 <D<55	6	6.25	4	2,198	0	0
55 <D<60	3	3.12	2	1,098	0	0

4.3. Etudes des relations entre les variables

4.3.1. Corrélations à l'échelle de placette

Les tableaux XIV, XV et XVI en annexes I récapitulent les corrélations calculées entre toutes les variables dendrométriques au niveau de chacune des stations. Le but recherché est de mettre en évidence l'interdépendance qui pourrait exister entre elles.

- 1- **Relation hauteur et les deux diamètre** : la hauteur est positivement liée aux deux diamètres ($D_{1,30}$; $D_{1/2ht}$) dans la majorité des placettes avec des (r) oscillant entre 0.48 à 0.94 pour les trois stations.
- 2- **Le volume** : globalement, à l'échelle des placettes, le volume est étroitement lié à la majorité des variables dendrométriques. Les (r) calculés varient de 0.59 à 0.99.
- 3- **Le diamètre du houppier** : Il est lié positivement le diamètre à 1,30m ($r=0.56$ à 0.89). Partiellement, il est lié au volume ($0.56 < r < 0.74$) et avec la hauteur, mais dans le seul cas de la station El Ainceur ($r=0.53$ à 0.77).
- 4- **Le coefficient de défilement** : A Tizi Oufellah et Sidi Brahim les liaisons sont négatives avec le diamètre à 1.30 m ($- 0.72 < r < - 0.62$). Par contre, ce paramètre est positivement dépendant du diamètre à mi hauteur ($0.38 < r < 0.96$). Contrairement à Tizi Oufellah et Sidi Brahim, à El Ainceur, les liaisons sont plutôt positives.

5- L'espace moyen entre les arbres : Le facteur espace est significativement corrélé avec le diamètre à 1.30m ; il est mis en évidence dans trois placettes de la station Tizi Oufellah et deux placettes de la station de Sidi Brahim ($0.56 < r < 0.76$).

4.3.2. Liaisons globales entre les variables dendrométriques intra stations.

Pour avoir un aperçu sur les relations entre les variables dendrométriques dans chacune des stations, nous avons regroupé les données des placettes dans un seul tableau.17 en Annexe 1 Ainsi, la matrice des stations de Tizi Oufellah et El Aincur est de 96 observations * 7 variables et de (182 *7) pour Sidi Brahim.

Les résultats acquis montrent que l'ensemble des variables étudiées sont étroitement corrélé entre elles. Les corrélations les plus élevées marquent plus la liaison entre le volume et le diamètre $D_{1/2ht}$ ($r=0.97$) (Tableau XVII). Contrairement à l'absence de cause à effet entre l'espace et l'ensemble des descripteurs dendrométriques au niveau des placettes, à ce niveau les liaisons apparaissent significatives. Tizi Oufellah fournit des (r allant de 0.25 à 0.42). Dans les stations de Sidi Brahim et d'El Aincur des (r) plus important dont les valeurs varient de 0.46 à 0.70.

Quand au coefficient de défilement, la relation est positive. Il est corrélé à toutes les variables sauf dans la station de Tizi Oufellah où il n'est corrélé qu'avec le diamètre ($D_{1/2ht}$) ($r=0.45$) (Tableau XVII). Les stations de Sidi Brahim et d'El Aincur fournissent des coefficients significatifs pratiquement avec toutes les variables, mais avec des niveaux de significations différentes, (r) allant de 0.17 à 0.61.

En revanche, la matrice globale pour la forêt d'Ath Ghobri (Tableau XVII), fait ressortir des liaisons dont les coefficients sont significatifs pour l'ensemble des variables dendrométriques.

4.4. Modélisation des variables dendrométriques

4.4.1. Régression simple

Les résultats des modèles retenus sont récapitulés dans les tableaux 18 et 20 et l'annexe 2. Aussi, ils sont représentés graphiquement dans les figures XVII à LXXVI. Par type de variables dendrométriques, les modèles se présentent comme ci-après :

4.4.1.1. Ajustement de la Hauteur (HT) en fonction du Diamètre ($D_{1.30}$)

La relation HT en fonction de $D_{1.30}$ est de type polynomial pour les deux stations de Tizi Oufellah et El Aincur et logarithmique pour Sidi Brahim (Tableau XVIII) et annexe II. On remarque qu'à ce niveau d'analyse les modèles des deux stations (El Aincur et Sidi-Brahim) fournissent une meilleure précision ($0.69 < r < 0.71$), mais une variation résiduelle élevée ($2.7 < S_{xy} < 3.17$), et le nuage de points correspondant à ces deux stations montre que les arbres sont plus regroupés auprès des courbes par rapport à la station de Tizi Oufellah (Figures XVII, XVIII et XIX). Les individus éloignés de ces courbes représentent les arbres dont les dimensions sont exceptionnelles et que nous considérons non représentatifs. Probablement, l'élimination de ces arbres de l'établissement des modèles pourrait améliorer la précision du modèle.

Pour la régression globale, le modèle suit la tendance d'une fonction de type polynomiale. Il se caractérise par un R^2 élevé ($R^2 = 0.64$) et un écart-type résiduel élevé de 2.98m. La présentation graphique du modèle montre que le nuage de points ne s'écarte pas de manière assez importante de la courbe, hormis certains arbres exceptionnels et nous considérons là aussi non représentatifs (figureXX). Cette fonction globale apparaît proche du modèle de la station d'El Aincur. Toutefois, il ressort de l'ajustement des modèles stationnels une différence entre les deux stations (Tizi Oufellah et El Aincur) et la station Sidi Brahim. Cette dernière affiche une dynamique de (HT) en fonction de ($D_{1.30}$) plus lente que dans les deux autres stations.

La répartition des valeurs observées en fonctions des valeurs estimées par les modèles paraît plus satisfaisante pour Sidi Brahim et El Aincur, leurs ajustements sont linéaires et les écarts moyen entre ces deux types de valeurs sont faible, il se situent entre de 0.06 à 0.42 cm (Tableau XIX). En revanche, le nuage de point est biaisé au niveau de la station de Tizi Oufellah (Figures XXI, XXII, XXIII et XXIV). L'examen du tracé de normalité met en évidence la distribution normale des résidus de la majorité des individus (arbres) à l'exception de quelques arbres que nous intégrons dans les catégories d'arbres jeunes et âgés dont les dimensions sortent de l'intervalle des arbres majoritaires qui, au niveau du peuplement, forme respectivement les arbres dominés et ceux dominant (Figures XXV, XXIV, XXVII et XXVIII).

Tableau XVIII : Résultats de la régression simple de la variable hauteur (HT) en fonction du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$).

Type	station	Modèle	R ²	S _{xy}
HT D₁₃₀	- Tizi Oufellah	$HT = 1.2 (D_{130}) - 0.01 (D_{130})^2 - 7.8$	0.40	3.17
	Sidi Brahim	$HT = 10.49 \log (D_{130}) - 14.5$	0.69	2.7
	El Ainceur	$HT = 1.02 (D_{130}) - 0.01 (D_{130})^2 + 1.01$	0.71	3.04
	Forêt d'Ath Ghobri	$HT = 0.0007 (D_{130})^2 + 0.81 (D_{130}) + 3.2$	0.64	2.98
HT D_{1/2ht}	- Tizi Oufellah	$HT = - 0.01 (D_{1/2ht})^2 + 1.02 (D_{1/2ht}) + 4.8$	0.28	3.43
	Sidi Brahim	$HT = 8.74 \log (D_{1/2ht}) - 4.8$	0.70	3.05
	El Ainceur	$HT = 1.2 (D_{1/2ht}) - 0.02 (D_{1/2ht})^2 + 4.9$	0.71	2.71
	Forêt d'Ath Ghobri	$HT = 8.29 \log (D_{1/2ht}) - 3.66$	0.64	3.01

Tableau XIX : vérification de la précision des modèles de la régression simple de la Hauteur.

Station	type de relation	Val. moy. observée	Val. Moy. estimée	intervalle des écarts individuels	écart moyen
Tizi oufellah	HT- D_{130}	22.45	22.16	[-3.89, 3.68]	0.29
	HT- $D_{1/2ht}$	22.45	22.24	[-5.06, 3.62]	0.20
Sidi Brahim	HT- D_{130}	19.7	19.76	[-1.88, 5.78]	-0.06
	HT- $D_{1/2ht}$	19.7	19.3	[-2.21, 4.18]	0.4
El Ainceur	HT- D_{130}	19.75	19.33	[-6.63, 5.31]	0.42
	HT- $D_{1/2ht}$	19.75	19.25	[-7.15, 8.01]	0.49
Forêt D'Ath Ghobri	HT- D_{130}	21.1	21.19	[-5.80, 4.92]	-0.06
	HT- $D_{1/2ht}$	21.1	21.07	[-6.77, 6.53]	0.05

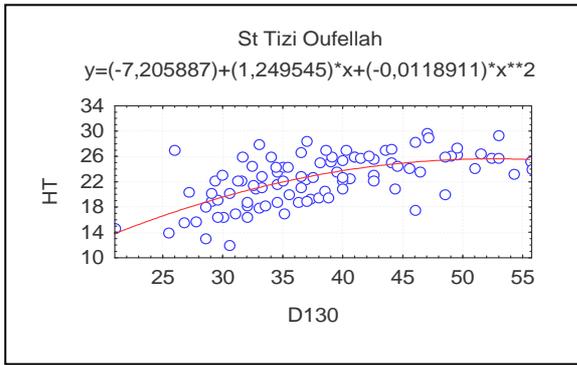


Figure XVII : Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station Tizi Oufellah

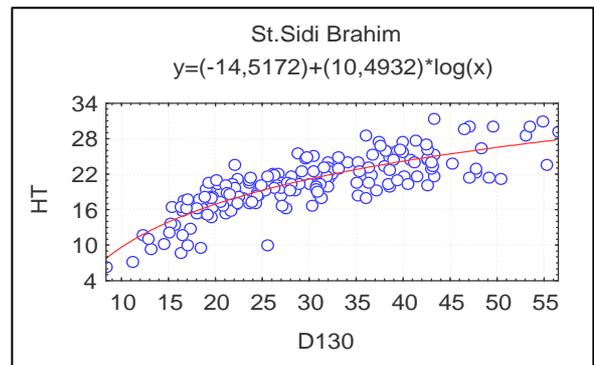


Figure XVIII: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station Sidi Brahim

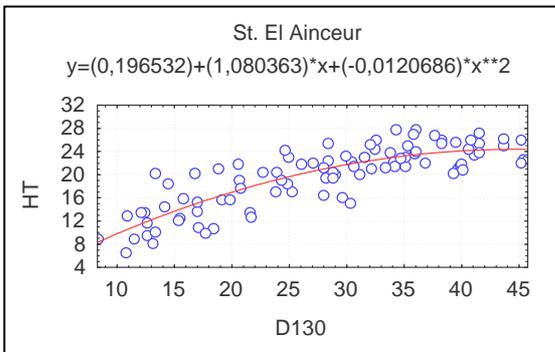


Figure XIX: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la station El Aincur

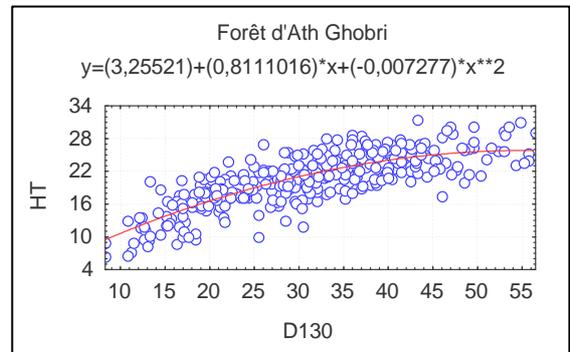


Figure XX: Ajustement de la hauteur en fonction de D_{130} dans la forêt Ath Ghobri

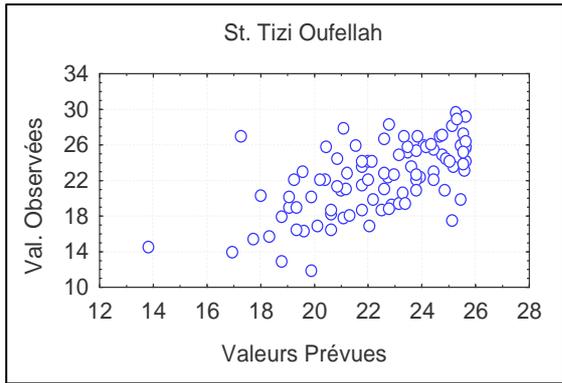


Figure XXI: Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT-D₁₃₀) dans la station de T.O.

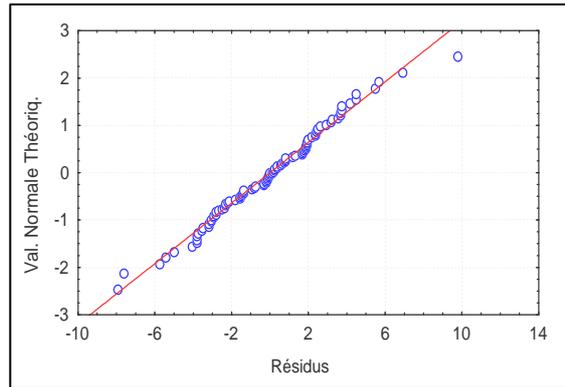


Figure XXV: Tracés de normalité (HT-D₁₃₀) dans la station de Tizioufellah

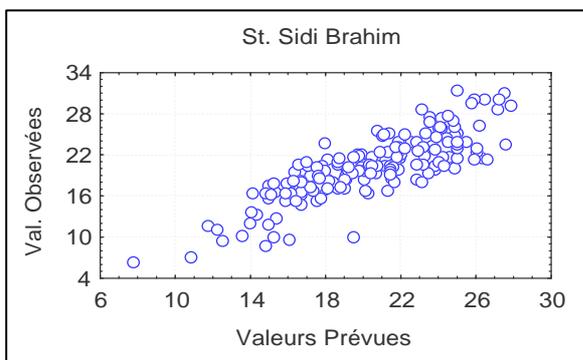


Figure XXII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT-D₁₃₀) dans la station S.B.

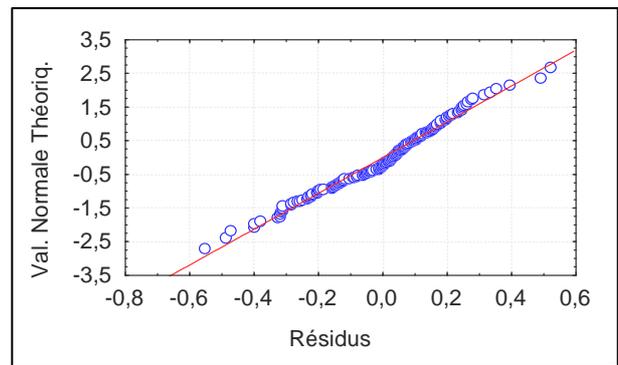


Figure XXIV: Tracés de normalité (HT-D₁₃₀) dans la station de Sidi Brahim

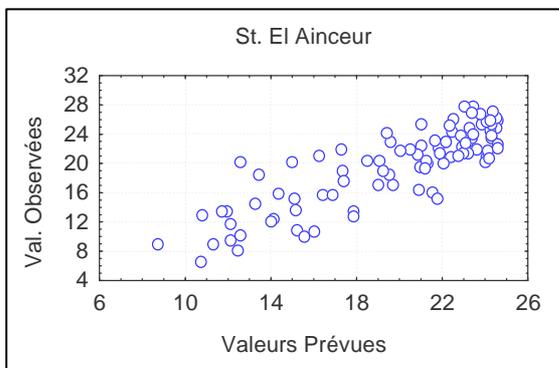


Figure XXIII: Tracés des valeurs observées en fonction

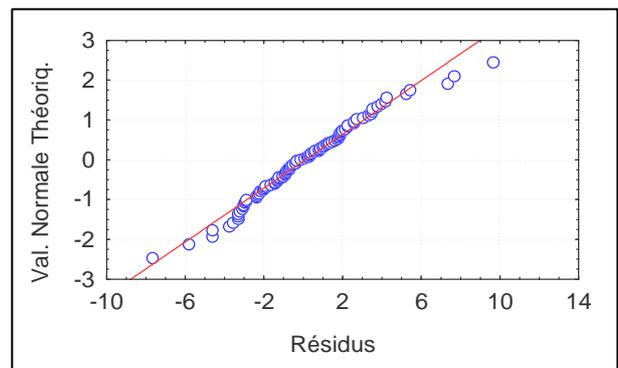
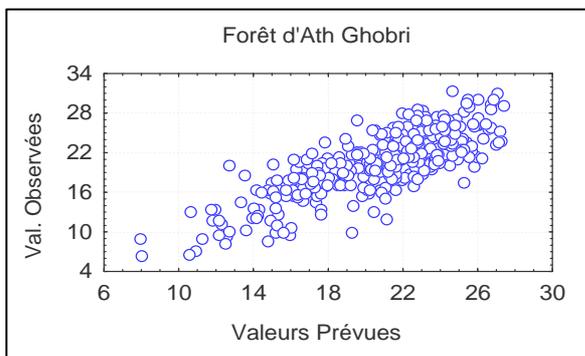
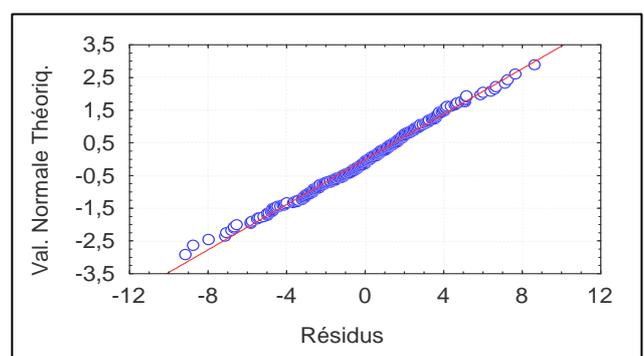


Figure XXVII: Tracés de normalité (HT-D₁₃₀) dans



des valeurs estimées (HT-D₁₃₀) dans la station d'El. A
Figure XXIV : Tracés des valeurs observées en fonction



la station d'El Ainceur

Figure XXVIII: Tracés de normalité (HT-D₁₃₀)

des valeurs estimées (HT-D₁₃₀) pour la forêt D'Ath Ghobri pour la forêt D'Ath Ghobri.

4.4.1.2. Ajustement de la Hauteur (HT) en fonction du diamètre (D_{1/2ht})

Cet ajustement donne des modèles polynomiaux pour la station de Tizi Oufellah et El Ainceur et logarithmique pour Sidi Brahim (Figures XXIX, XXX, XXXI). Comme pour D_{1.30}, Tizi Oufellah enregistre toujours un R² plus faible (R²=0.28) et un S_{xy}= 3.43 d'où le manque de précision de modèle. Par contre, les deux autres stations engendrent une meilleure précision (R²= 0.70 et 0.71 ; S_{xy} = 2,71 et 3,05) (Tableau XVIII).

La répartition des valeurs observées et estimées par les modèles montre que la distribution, dans chacun des cas, du nuage de points est diffuse. Elle est plus accentuée dans les stations de Tizi Oufellah (Figures XXXIII, XXXIV, XXXV). La vérification de la validité des modèles donne des écarts moyens relativement faible, les valeurs oscillent entre 0.05 et 0.49 (Tableau XIX). Quant à la distribution des résidus, la tendance du nuage de points n'est pas très linéaire, parfois elle est sinueuse surtout au niveau des stations de Sidi Brahim et d'El Ainceur. Contrairement aux résultats des précédentes analyses où seules les valeurs extrêmes sortent de la droite, Ici l'allure du nuage de point est biaisé au niveau des diamètres proches de 15 cm. On peut penser qu'elles ne sont pas représentatives (Figures XXXVII, XXXVIII, XXXIX).

Pour la relation globale, le modèle est de type logarithmique fournissant un R²=0,64 et S_{xy} =3,01 (Fig. 32). A l'opposé des configurations des valeurs observées et estimées dans les stations (Fig. 33, 34 et 35), à l'échelle globale il apparaît une meilleure linéarité des résultats donc une meilleure précision du modèle (Figure XXXVI). La précision et les écarts des résidus sont relativement de même grandeur que dans les cas des modèles HT en fonction de D_{1.30}. La différence avec ces derniers réside au niveau de la projection du nuage de points. Ici, on constate un étagement des hauteurs pour une même valeur de D_{1/2ht}. Cela laisse supposer l'hétérogénéité des hauteurs observées par rapport à la même classe de D_{1/2ht}. Autrement dit, nous pouvons déduire qu'une même classe de hauteur ne correspond pas automatiquement à un même diamètre à mi hauteur. D'ailleurs, par rapport au tracé de normalité, l'alignement du nuage de points le confirme ; il est aussi sinueux, ce qui affecte la distribution normale des résidus (Figure XL).

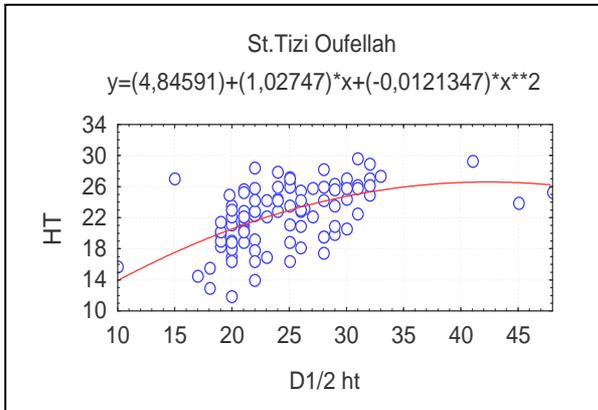


Figure XXIX: Ajustement de HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station

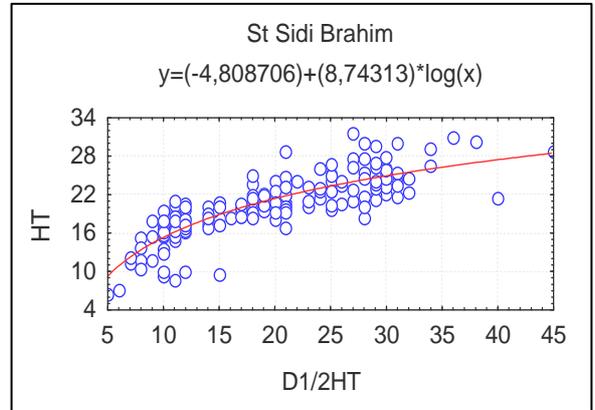


Figure XXX : Ajustement HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station Sidi Brahim.

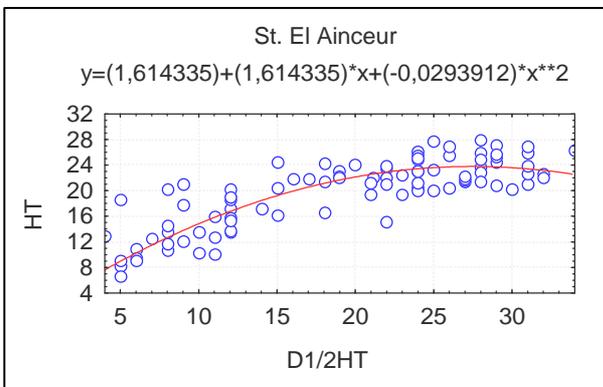


Figure XXXI : Ajustement de HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la station El Ainceur

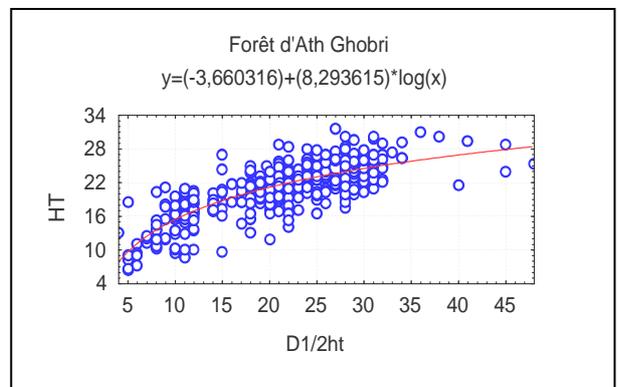


Figure XXXII : Ajustement de HT en fonction de $D_{1/2Ht}$ dans la forêt Ath Ghobri

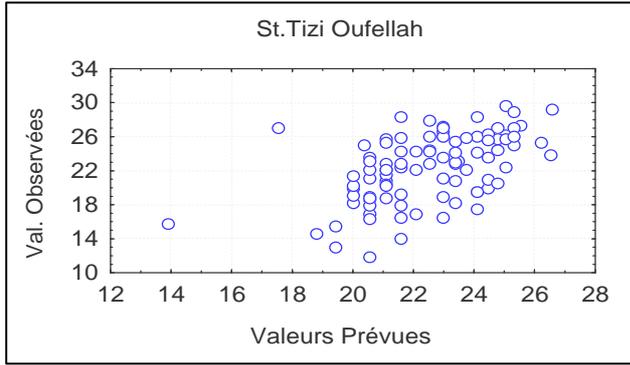


Figure XXXIII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de T.O.

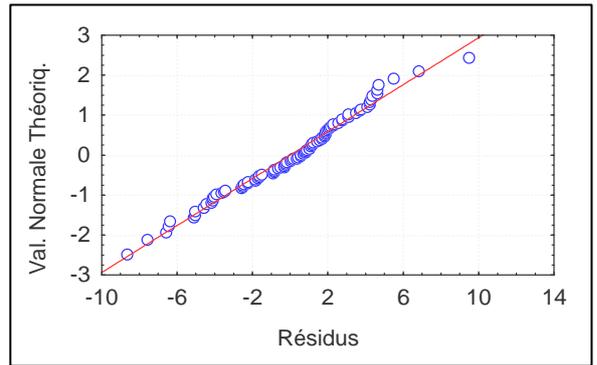


Figure XXXVII: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Tizi Oufellah

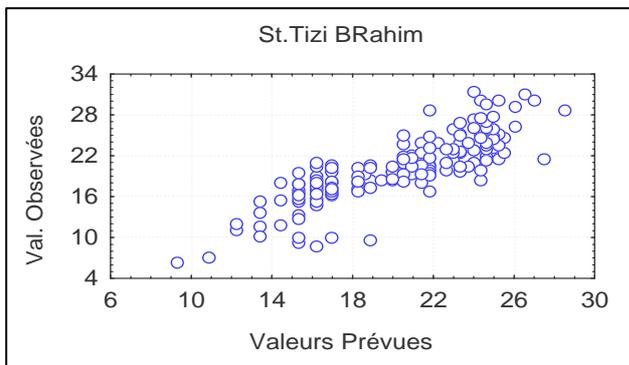


Figure XXXIV: Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station S.B.

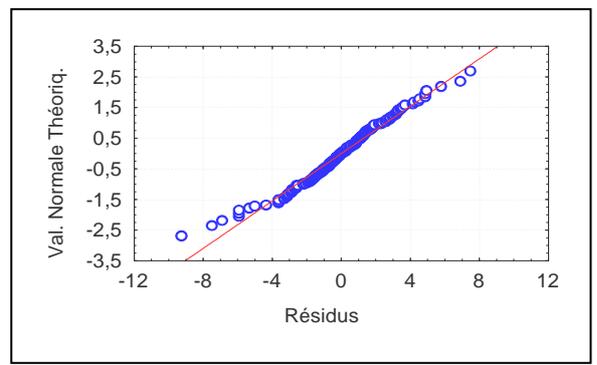


Figure XXXVIII : Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim.

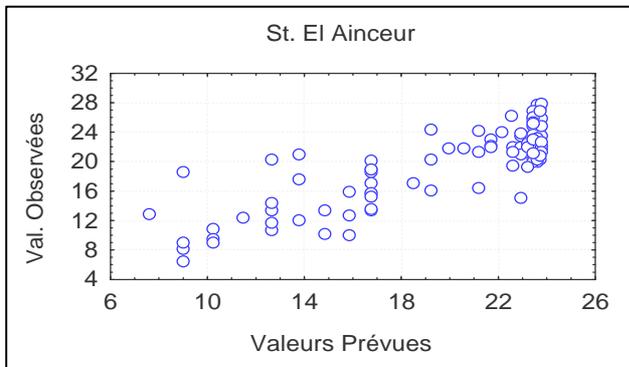


Figure XXXV : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station d'El. A.

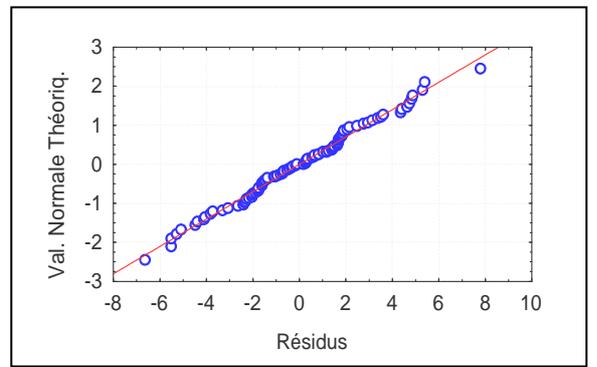


Figure XXXIX: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2ht}$) dans la station d'ElAinceur

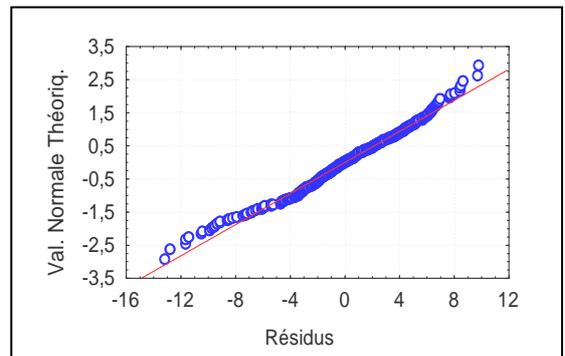
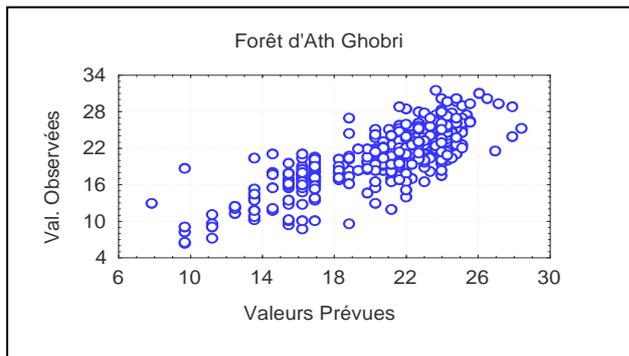


Figure XXXVI : Tracés des valeurs observées en fonction estimées (HT- $D_{1/2 ht}$) pour la forêt Globale

Figure XL: Tracés de normalité (HT- $D_{1/2 ht}$) des valeurs pour la forêt Globale.

Les résultats de la modélisation du volume en fonction des variables dendrométriques inventoriées sont synthétisés dans le tableau XX et annexe III. Au vue des divergences des valeurs observées lors de l'analyse de la normalité, nous avons transformé les données brutes en données logarithmiques sur lesquelles sont établis les modèles. L'ajustement donne pour les stations et la forêt d'Ath Ghobri des modèles logarithmiques où se manifestent des précisions très variées.

4.4.1.3. Ajustement du volume en fonction de la hauteur (HT)

Le modèle défini entre ces deux variables est logarithmique. L'examen des R^2 et des S_{xy} montrent que la précision de ce modèle est plus importante dans la chênaie d'E Aincur ($R^2=0.81$, $S_{xy}=0.26$) qu'au niveau Tizi Oufellah ($R^2=0.54$, $S_{xy}=0,16$). Ce résultat est proche de celui obtenu pour Sidi Brahim ($R^2=0.78$, $S_{xy}=0.21$); contrairement à l'écart moyen calculé entre les valeurs observées et celles estimées par le modèle, il apparaît très faible pour la station de Tizi Oufellah ($0.006 m^3$) (Tableau XXI). Les figures XLI, XLII et XLIII montrent, pour chacune des stations, que la dispersion du nuage de point, représentant les hauteurs d'arbres inventoriés, ne suit pas la même tendance. Le nuage est plus regroupé autour de la courbe à Sidi brahim contrairement à El Aincur et Tizi Oufellah. Le nombre élevé de points éloignés de la courbe de Tizi Oufellah explique la faible valeur de R^2 . Pour El Aincur, la dispersion caractérise davantage les hauteurs inférieures à 20m et se concentre pour les arbres dont les hauteurs sont supérieures à 20m.

La projection des valeurs observées et estimées par le modèle montre, à quelques exceptions, la même configuration que celle obtenue dans les figures précédentes. Nous observons que la forte précision caractérise surtout et globalement le volume supérieur à $5,7m^3$ pour Tizi Oufellah, $2,8m^3$ pour Sidi Brahim et environ $3.8m^3$ pour El Aincur (Figures XLV, XLVI et XLVII). Ce résultat peut être rattaché au stade d'évolution de la chênaie. Apparemment, la futaie âgée, cas de Tizi Oufellah fournit un volume plus important. En revanche, la station de Sidi-Brahim apparaît plus jeune.

Le tracé de normalité ne montre pas une parfaite distribution normale des résidus. Comme pour les cas précédemment décrits, la projection des résidus des volumes individuels (arbres), ne s'étale pas sur la droite théorique. L'allure des nuages est biaisée par les valeurs extrêmes, parfois même au niveau des classes centrales (Figures XLIX, L et LI), cas de Sidi-Brahim.

Pour le modèle globale, il fournit une précision de 76% et donne un écart-type résiduel (S_{xy}) égal à 0.24. Le nuage des volumes observés apparaît proche de la courbe du modèle pour les hauteurs supérieures à 15m. Au dessous, le nuage se manifeste par une forte distribution des volumes (Figure XLIV). En ce qui concerne les volumes observés et estimées, la tendance de dispersion des volumes est la même, l'écart moyen entre les valeurs moyennes observées et celles estimées est de 0.001 m^3 (Tableau XXII), ce qui indique la fiabilité du modèle construit; les points les plus proches de la droite expliquent mieux le modèle, les valeurs prévues calculées pour ces points sont égales ou supérieures à 2.8m^3

Le type de modèle ainsi ajusté en relation avec HT montre qu'à l'échelle des trois stations et globalement pour d'Ath Ghobri, l'évolution des volumes du Chêne zéen apparaît lente.

Tableau XX : Résultats de la régression simple de la variable volume (V) en fonction de la Hauteur (HT), du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$).

Type	station	model	R ²	S _{xy}
V- HT	Tizi Oufellah	$\text{Log V} = 0.95 \log (\text{HT}) + 3.03$	0.54	0.16
	Sidi Brahim	$\text{Log V} = 1.63 \log (\text{HT}) - 1.16$	0.78	0.21
	El Ainceur	$\text{Log V} = 1.7 \log (\text{HT}) - 1.38$	0.81	0.26
	Forêt d'Ath Ghobri	$\text{Log V} = 1.61 \log (\text{HT}) - 1.09$	0.76	0.24
V- D₁₃₀	Tizi Oufellah	$\text{Log V} = 2.36 + \log (D_{130})$	0.67	0.14
	Sidi Brahim	$\text{Log V} = 1.05 \log (D_{130}) + 2.36$	0.86	0.22
	El Ainceur	$\text{Log V} = 1.33 \log (D_{130}) - 0.72$	0.87	0.25
	Forêt d'Ath Ghobri	$\text{Log V} = 2.21 \log (D_{130}) - 0.34$	0.86	0.23
V -D_{1/2ht}	Tizi Oufellah	$\text{Log V} = 1.05 \log (D_{1/2ht}) + 2.36$	0.94	0.15
	Sidi Brahim	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) + 0.5$	0.98	0.13
	El Ainceur	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) + 0.58$	0.98	0.09
	Forêt d'Ath Ghobri	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) + 0.60$	0.99	0.16

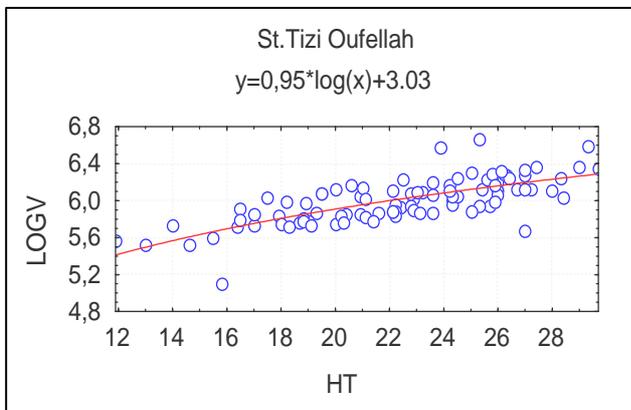


Figure XLI : Ajustement de volume en fonction HT dans la station de Tizi Oufellah

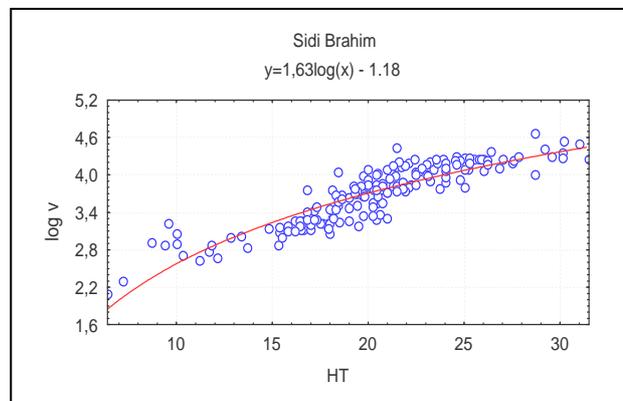


Figure XLII: Ajustement de volume en fonction HT dans la station Sidi Brahim

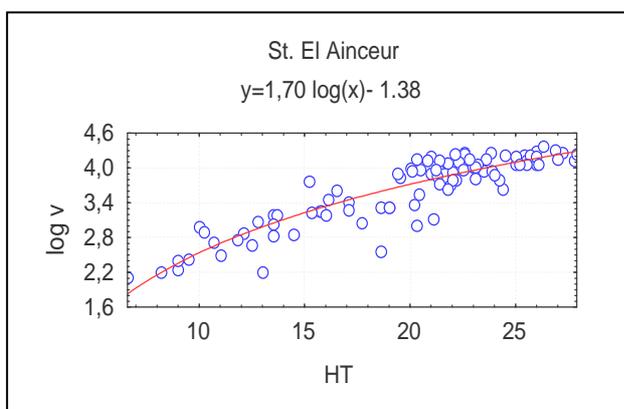


Figure XLIII: Ajustement de volume en fonction HT dans la station d'El Ainceur

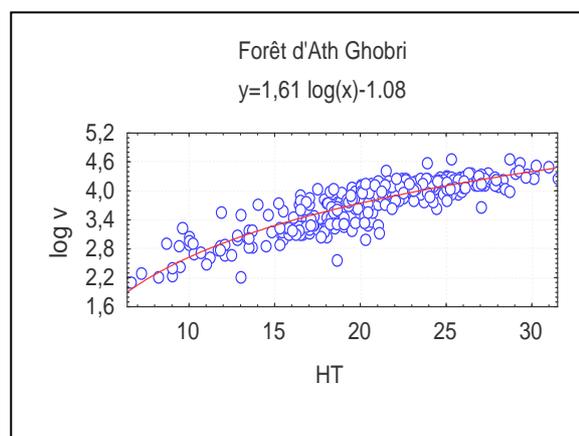


Figure XLIV : Ajustement de volume en fonction HT dans la Forêt d' Ath Ghobri

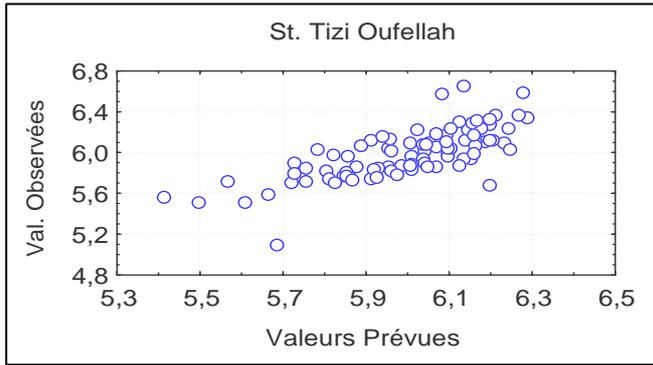


Figure XLIV : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V -HT) dans la station deTizi Oufellah

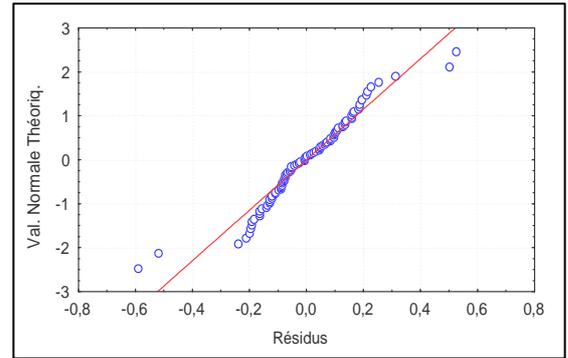


Figure XLIX : Tracés de normalité (V -HT) dans la station deTizioufellah

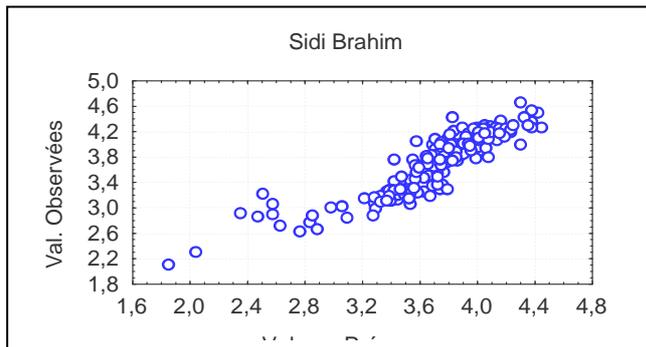


Figure XLVI : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V -HT) dans la station Sidi Brahim

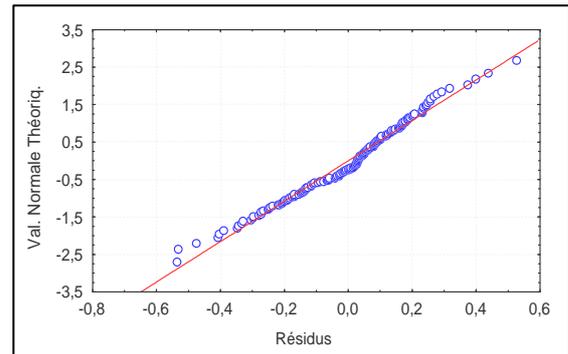


Figure L: Tracés de normalité (V-HT) dans la station de Sidi Brahim

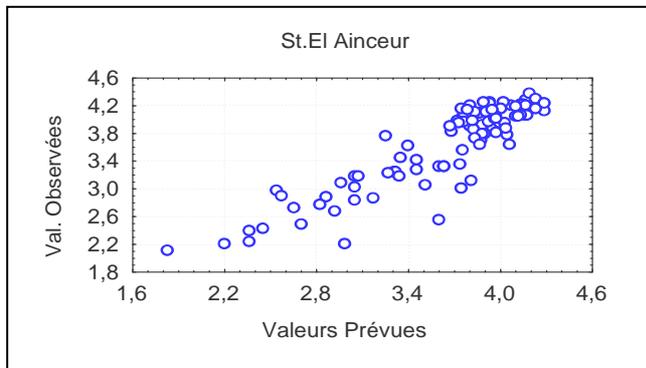


Figure XLVII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V -HT) dans la station d'ElAinceur.

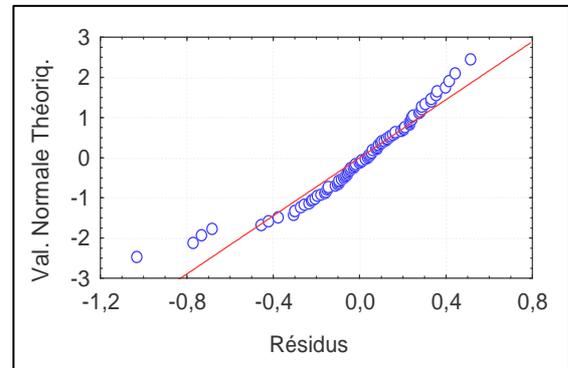


Figure LI: Tracés de normalité (V- HT) dans la station d'ElAinceur

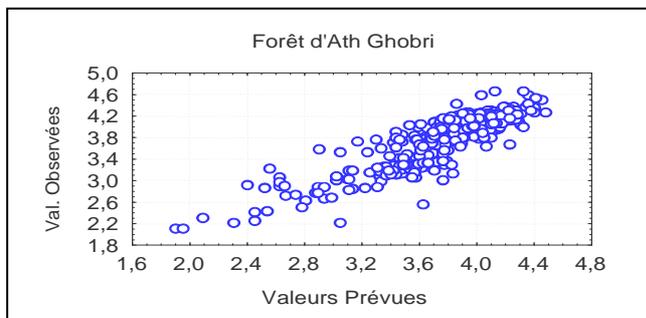


Figure XLIII : Tracés des valeurs observées en fonction des valeurs estimées (V- HT) pour la forêt Globale

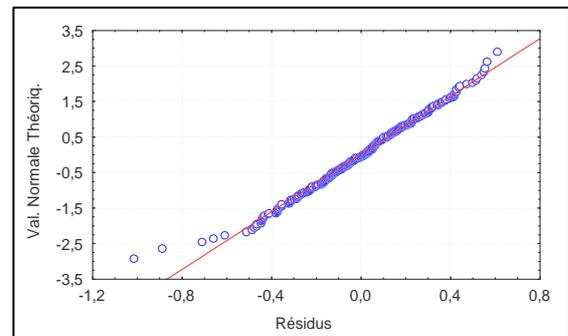


Figure LII: Tracés de normalité (V -HT) pour des la forêt Globale

Tableau XXI: vérification de la précision des modèles de la régression simple pour le volume.

Station	type de relation	Val. moy. observée	Val. moy. estimée	intervalle des écarts individuels	écart moyen (Ec m)
Tizi oufellah	V- HT	5.99	5.98	[-0.50, 0.30]	0.006
	V- D ₁₃₀	5.99	5.99	[-0.27, 0.25]	-0.01
	V- D _{1/2ht}	5.99	5.99	[-0,23, 0.17]	-0.009
Sidi Brahim	V-HT	3.54	3.577	[-0.38, 0.38]	0.03
	V- D ₁₃₀	3.54	3.541	[-0.34, 0.52]	0.006
	V- D _{1/2ht}	3.54	3.545	[-0.20, 0.51]	-0.01
El Ainkeur	V-HT	3.60	3.55	[-0.30, 0.40]	0.06
	V- D ₁₃₀	3.60	3.01	[-0.43, 0.52]	0.05
	V- D _{1/2ht}	3.60	3.71	[-0.10, 0.09]	-0.01
Forêt D'Ath Ghobri	V-HT	3.874	3.862	[-1.06, 0.60]	-0.001
	V- D ₁₃₀	3.874	3.61	[-0.32, 0.57]	0.01
	V- D _{1/2ht}	3.874	3.866	[-0.23 ,0.23]	0.007

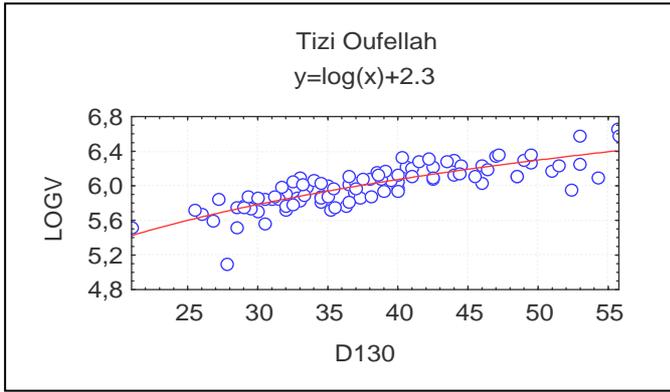
4.4.1.4. Ajustement de la relation entre le volume (V) et le diamètre (D_{1.30}).

Les modèles sont logarithmiques et les R² estimés varient de 0.67 à 0.87 et des S_{xy} de 0.14 à 0.25 (Tableau XX). La station de Tizi Oufellah se caractérise toujours par une faible précision (R²=0,67) tandis que les autres station affichent des R²≥0.86. Comme pour la HT, cette variable se caractérise par un faible écart moyen du volume entre les valeurs observées et celles calculées par le modèle établi (de 0.006 à 0.05m³) (Tab.21), ce qui indique la fiabilité des modèles obtenus. Les figures LIII, LIV et LV indique le nuage de point est regroupé d'une façon homogène autour de la droite théorique.

La répartition des valeurs observées en fonction des valeurs estimées par les modèles donne un nuage de points plus regroupé auprès de la droite pour Sidi Brahim et dispersé pour El Ainkeur (FiguresLVII, LVIII et LIX). En ce qui concerne les tracés des résidus des volumes, ceux de Sidi Brahim et d'El Ainkeur s'apparente davantage à une distribution normale (Figures LXII et LXIII). Alors que dans la station de Tizi Oufellah, les valeurs extrêmes s'écartent de la droite théorique (Figure LXI).

La vérification de la précision, indique que pour cette variable explicative le modèle de la station de Sidi Brahim est plus performant que les autres (Ec.m= 0.006m³), avec un intervalle de résidus de [-0.34, 0.52] (TableauXXI).

Le modèle global est logarithmique et donne un R² égal à 0.86 et un S_{xy} égal à 0.23. La projection des volumes calculés sur le plan V*D_{1.30} montre la netteté de la précision du modèle. En effet, la majorité des volumes (V) est très



FigureLIII: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station de Tizi Oufellah

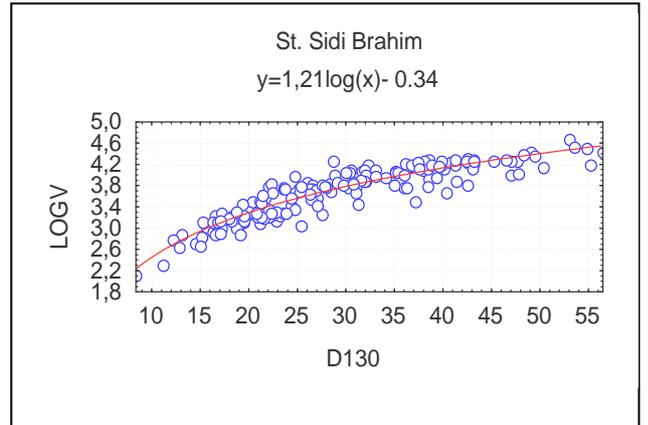


Figure LIV: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station de Sidi Brahim

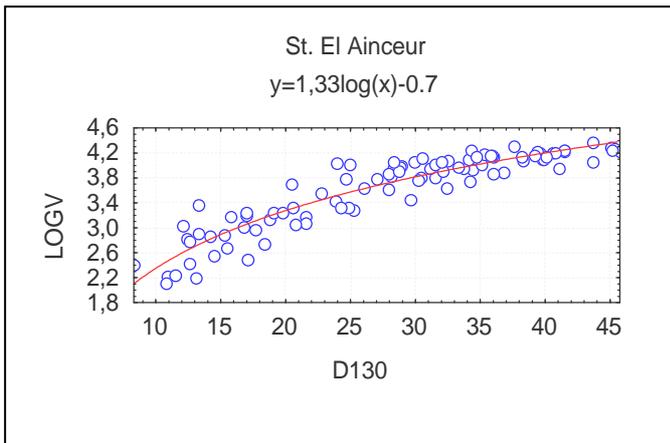
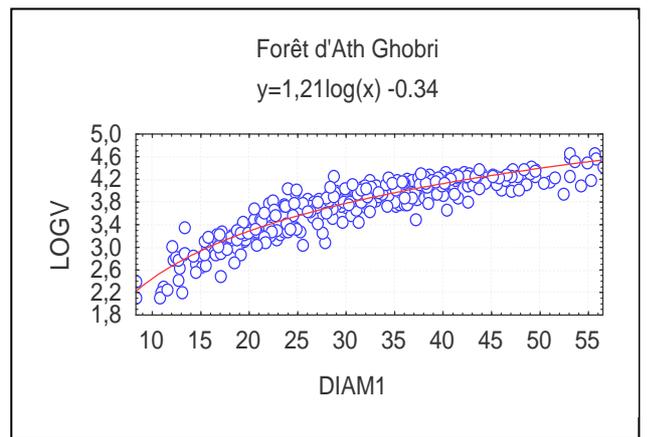


Figure LV: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la station d'El Ainceur



FigureLVI: Ajustement de volume en fonction D_{130} dans la forêt d'Ath Ghobri

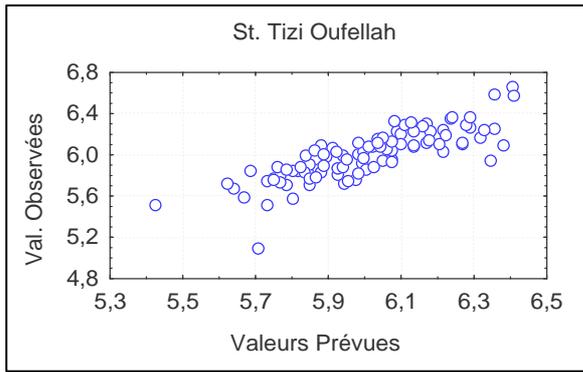


Figure LVII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{130}$) dans la station T. O

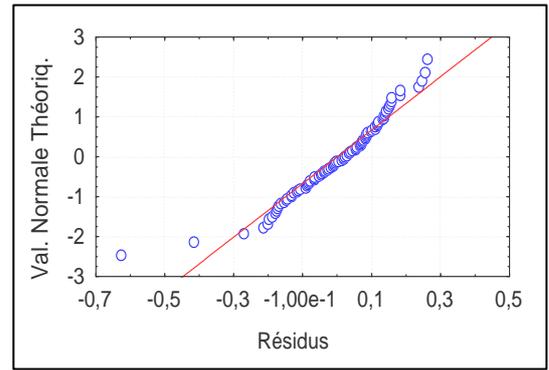


Figure LXI: Tracés de normalité ($V - D_{130}$) dans la station de Tizi Oufellah

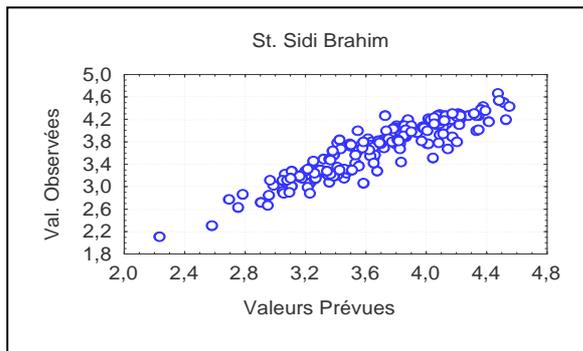


Figure LVIII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{130}$) dans la station S. B.

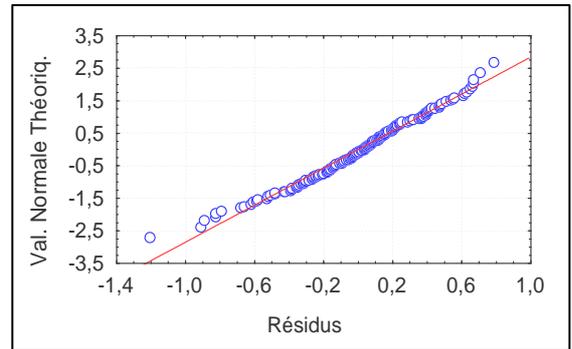


Figure LXII: Tracés de normalité ($V - D_{130}$) dans la station de Sidi Brahim

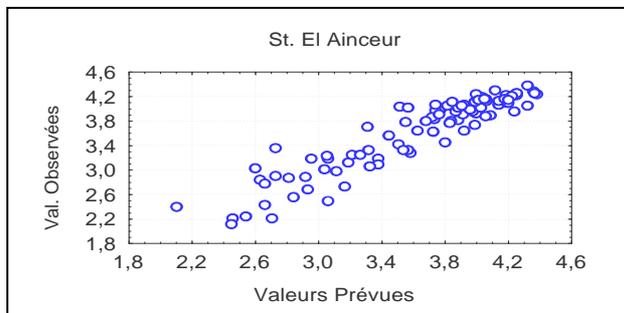


Figure LIX: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{130}$) dans la station d'EIA.

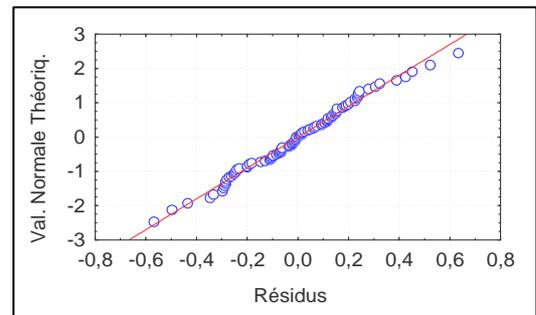


Figure LXIII: Tracés de normalité ($V - D_{130}$) dans la station d'El Ainceur

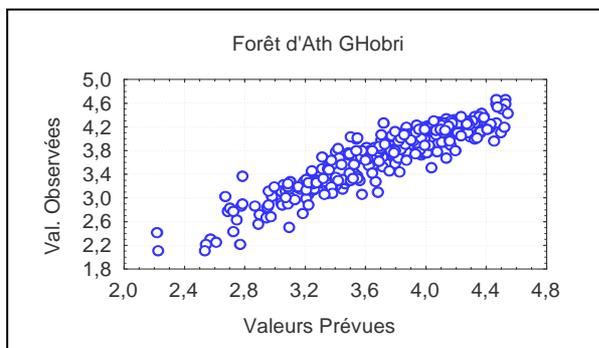


Figure LX: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{130}$) pour la forêt d'Ath Ghobri

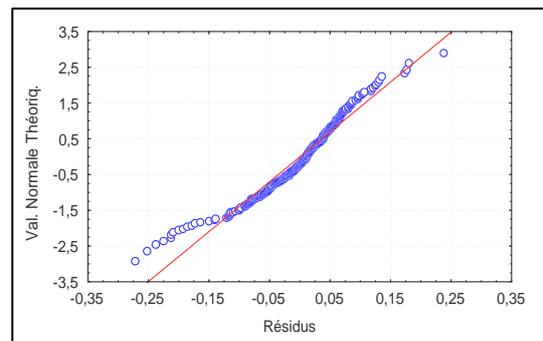


Figure LXIV: Tracés de normalité ($V - D_{130}$) pour la forêt d'Ath Ghobri.

proche de la courbe issue du modèle (Figure LVI). Toutefois, ce n'est pas le cas pour la projection des volumes observés et estimés où nous observons une forte dispersion pour les faibles classes de volume (Figure LX). Cette situation affecte le tracé de la distribution des résidus. La figure LXIV permet de rejeter l'hypothèse de la distribution normale de ces résidus. Les résidus exprimés demeurent dans tous les cas faibles, ils sont situés dans l'intervalle $[-0.35, 0.35]$ pour l'ensemble des données, et un intervalle de $[-0.32, 0.57]$ pour la partie de donnée utilisée pour la vérification de la précision et de la validité du modèle.

4.4.1.5. Ajustement de la relation volume (V) en fonction de $D_{1/2ht}$.

Le diamètre à mi hauteur ($D_{1/2ht}$) explique mieux le volume. Le modèle retenu est de type logarithmique comme pour les autres cas et fournit des R^2 les plus élevés ($0.94 < R^2 < 0.99$) et S_{xy} les plus réduits allant de 0.09 et 0.15m^3 . La projection des volumes calculés sur le plan $D_{1/2ht} * V$ montre une parfaite adhérence des volumes par rapport à la courbe, ce qui exprime une très forte précision (Figures LXV, LXVI et LXVII). Néanmoins la station de Tizi Oufellah se discrimine des deux autres où le nuage de points présente une faible dispersion. Contrairement aux autres variables, dans ce cas on n'observe pas une rupture entre les valeurs extrêmes, ce qui pourrait expliquer l'homogénéité de la variable $D_{1/2ht}$.

La répartition des valeurs observées en fonction des valeurs prévues suit également la même tendance (Figures LXIX, LXX et LXXI). La station de Sidi Brahim présente le meilleur alignement des volumes par rapport à la courbe. Pour les résidus, ils ne suivent pas la même allure, ici, les valeurs extrêmes biaisent sensiblement la normalité. Toutefois, les trois stations présentent un intervalle général de résidus réduits $[-0.60 \text{ à } 0.60]$. Cet intervalle est minimisé à El Ainceur $[-0.25 \text{ à } 0.25]$ (Figures LXXIII, LXXIV et LXXV). ces intervalles apparaissent plus rétrécis dans l'échantillon pris au hasard pour la vérification de la validité des modèles établis, de -0.23 à 0.17 pour la station de Tizi Oufellah il est de -0.20 à 0.51 pour Sidi Brahim et enfin la station d'El Ainceur se caractérise par un intervalle très réduit de -0.1 à 0.09 . l'écart moyen le plus faible, calculé pour le diamètre à mi hauteur entre les valeurs observées et celles prévues par les modèles est enregistré dans la station de Tizi Oufellah avec une valeur de -0.009m^3 et 0.01m^3 pour les deux autres stations.

Le modèle global ajusté à Ath Ghobri est aussi logarithmique pour lequel R^2 est de 0.99 et $S_{xy}=0.16$. L'examen de la figure LXVIII montre un excellent ajustement des volumes par rapport à la courbe du modèle. Par contre, une sensible dispersion

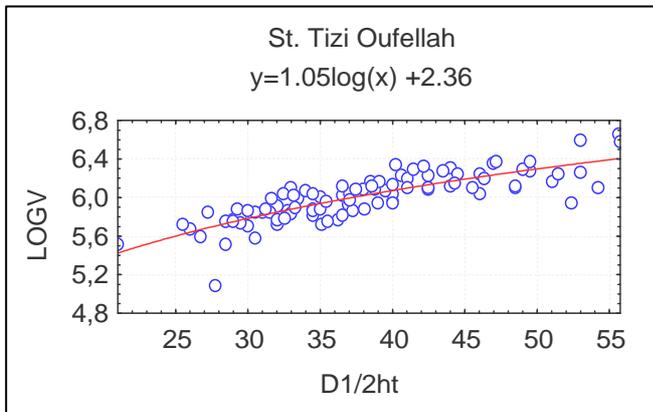


Figure LXV : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station de Tizi Oufellah

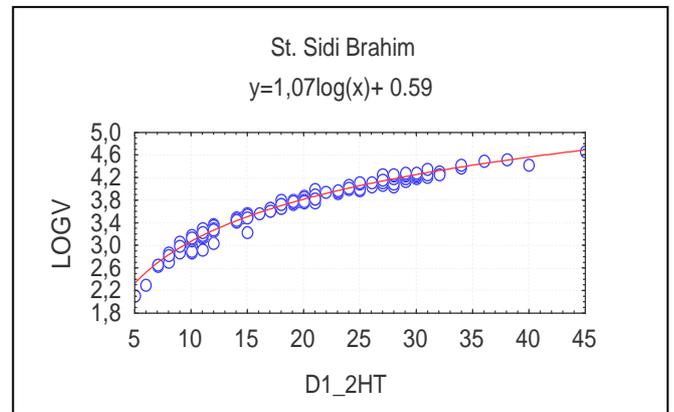


Figure LXVI : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station de Sidi Brahim

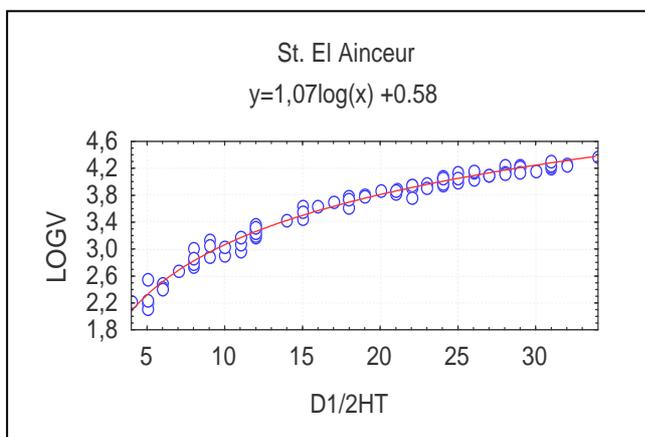


Figure LXVII : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la station d'El Ainceur

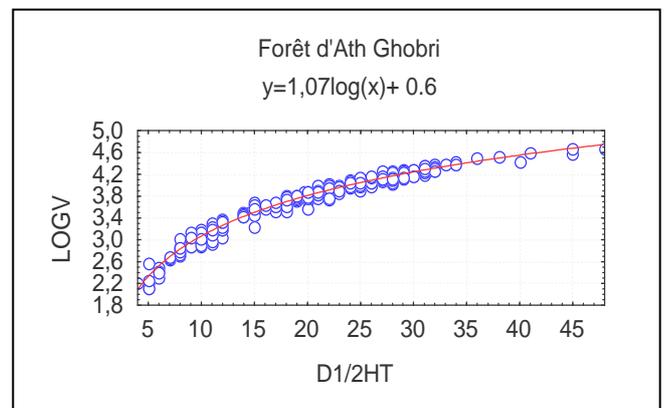


Figure LXVIII : Ajustement de volume en fonction $D_{1/2ht}$ dans la forêt d'Ath Ghobri

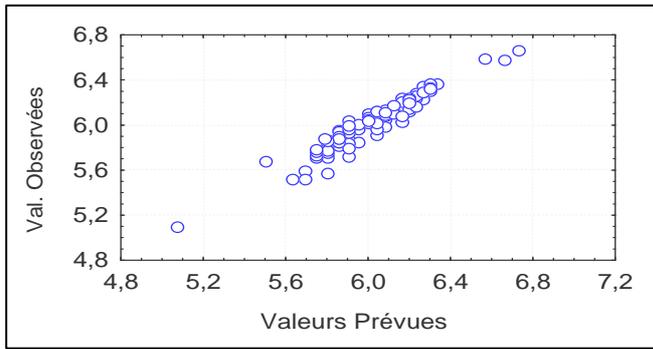


Figure LXIX : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de T.O.

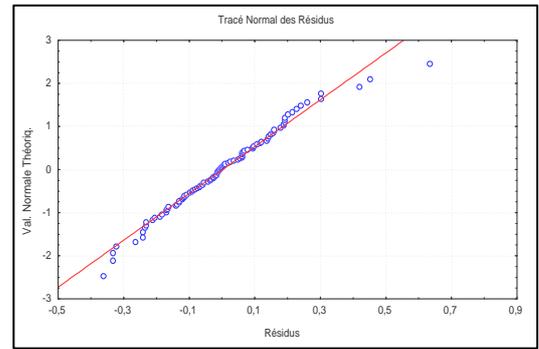


Figure LXXIII: Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Tizioufellah

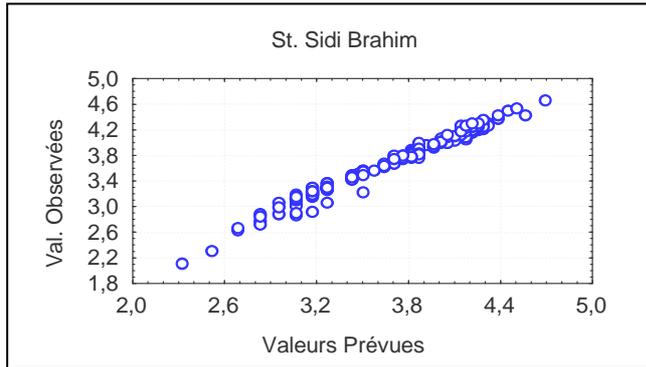


Figure LXX : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim

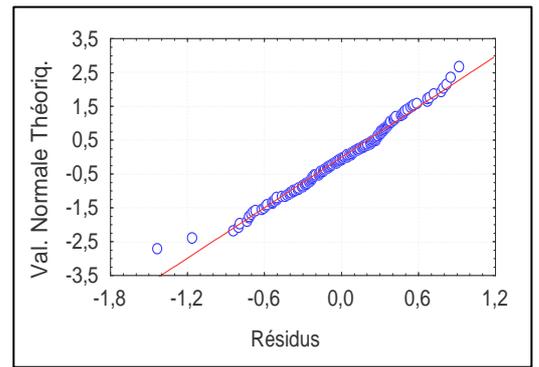


Figure LXXIV : Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station de Sidi Brahim

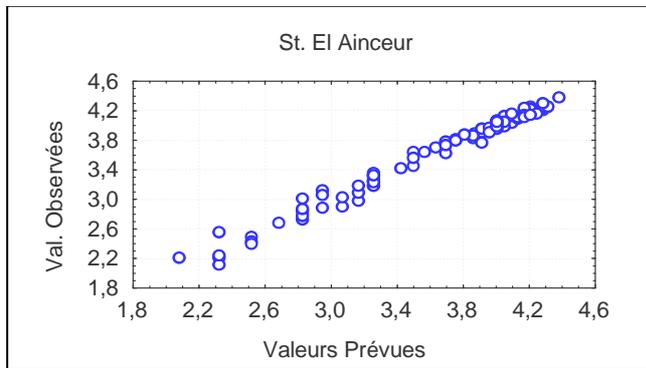


Figure LXXI : Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la station d'ElAineur.

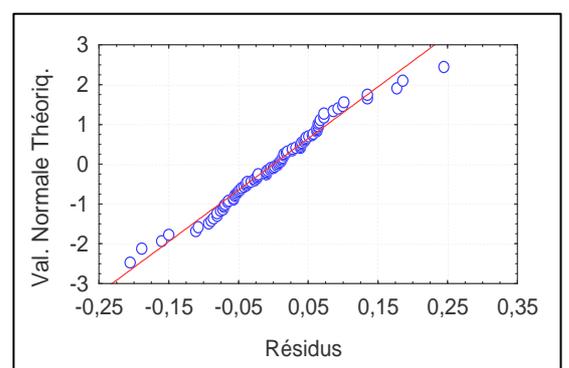


Figure LXXV : Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la station d'El Aineur

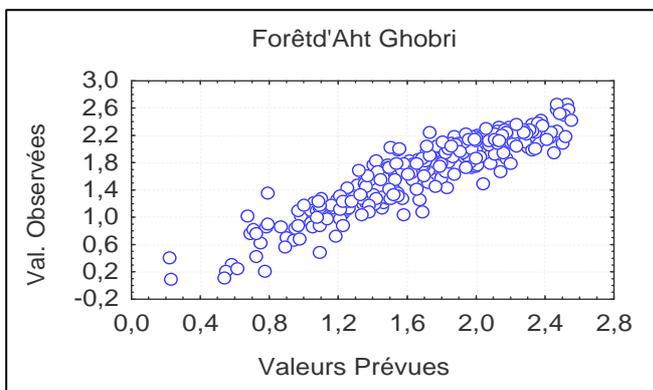


Figure LXXII: Ajustement des valeurs observées en fonction les valeurs estimées ($V - D_{1/2ht}$) dans la forêt d'Ath Ghobri

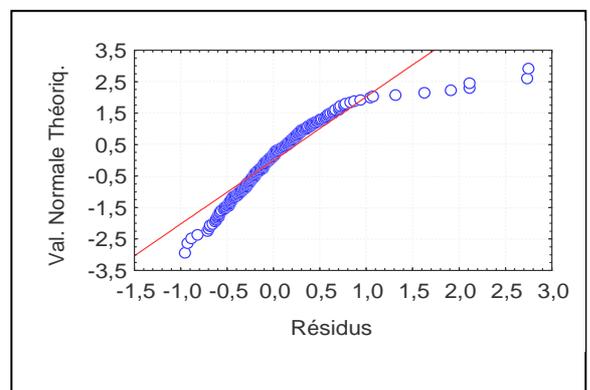


Figure LXXVI: Tracés de normalité ($V - D_{1/2ht}$) dans la forêt d'Ath Ghobri

apparaît sur le tracé des volumes observés et estimés surtout les faibles volumes (Figure LXXII). L'analyse des résidus issue de la calibration et de la vérification du modèle affiche une relative faible précision, et ce dans la mesure où l'intervalle des résidus est le plus important [-0.60 à 0.60] sur la figure donc pour toutes les données inventoriées (Figure LXXVI), mais l'intervalle se rétrécit pour la partie de données utilisée dans la vérification de la précision [-0.23 à 0.23]. Le tracé des résidus s'éloigne de la linéarité, il suit plutôt l'allure d'une fonction sigmoïde ou courbe en « S ». Finalement, l'intervalle est amplifié pour les arbres fournissant les volumes les plus importants. Bien que les R^2 soient élevés, l'analyse fait apparaître que les résidus peuvent être importants et affectés l'estimation des volumes pour les gros arbres.

4.4.2 REGRESSIONS MULTIPLES

A titre de rappel, la régression multiple est appliquée au $D_{1.30}$, HT et V, variables considérées comme dépendantes et les autres variables telles que $C_{1.30}$, $D_{1/2ht}$, DHP, ESPM et F comme variables indépendantes. Le but est de prédire l'évolution de l'une en fonction des autres.

4.4.2.1 Station Tizi-Oufellah

Parmi les cinq variables explicatives testées pour expliquer et prédire la hauteur (HT), seuls deux sont significatives : $D_{1.30}$ et DHP, pour chacune des variables, le coefficient de régression $B1 \neq 0$ ($F_{obs} = 22.35$; $k1=91$ et $k2=4$; $\alpha=0.001$) (Tableau XXII). Le modèle obtenu fournit un coefficient de régression multiple $RM = 0.65$, un coefficient de détermination $R^2=39$ et une erreur estimée par le modèle $Er=3.04$; contrairement au

D_{130} , le diamètre du houppier montre une relation inverse avec la Hauteur ($b2=-0.44$) ce qui signifie que lorsque l'arbre investit dans sa croissance en hauteur, la biomasse du houppier se développe très lentement. L'ajustement de ce modèle par la répartition des valeurs observées et estimées ne donne pas une forte précision dans la mesure où la majorité des hauteurs se situe en dehors de la zone de confiance (Figure LXXVII). Par contre, le tracé des résidus montre leur distribution normale (Figure LXXVIII). Le faible écart moyen (0.38m) (Tableau XXIII), obtenu lors de la vérification de la précision du modèle établi indique que malgré que R^2 soit faible les valeurs estimées par le modèle sont proches de la réalité.

Quant à $D_{1.30}$, il est expliqué par $D_{1/2ht}$, DHP et F. Les paramètres de la régression sont : $R^2=0.96$, $RM=0.98$ et $Er = 1.43$ (Tableau XXII) ; et le coefficient de régression de chaque variable explicative sont positif pour $D_{1/2ht}$ et DHP mais négatif pour le coefficient de défilement ($b3=-42.1$) (Tableau XXII). Ce résultat est confirmé par une bonne répartition des points

observés en fonctions de ceux calculés par le modèle et la normalité des résidus (Figure LXXIX et LXXX). En revanche, l'introduction de DHP et de l'ESPM dans un autre modèle, pour prédire $D_{1.30}$ fournit un modèle peu précis ($R^2 = 0.47$ et $Er = 5.6$) (Figure LXXXI). Pour améliorer ce modèle, on a introduit une autre variable supplémentaire $D_{1/2ht}$. Le nouveau modèle obtenu apporte une meilleure précision avec $R^2=0.74$. La figure LXXXIII, correspondant à ce modèle, affiche une meilleure tendance, mais avec très peu d'individus à l'intérieur de l'intervalle de confiance. Les résidus de ce modèle suivent la tendance d'une distribution normale (Figure LXXXIV). L'examen des tableaux XXII et XXIII montre que le modèle (M2) est celui qui estime le mieux le diamètre à 130m en fonction de plusieurs variables, car la vérification de la précision donne un écart moyen très faible ($E_{cm} = 0.06$ cm).

Pour le volume, le modèle construit à partir de $D_{1.30}$, ESPM, DHP, F, HT et $D_{1/2ht}$ apporte 97 % d'efficacité et il est vérifié par le nuage de point colinéaire des valeurs observées en fonction des valeurs prévues (Figure LXXXV). Dans ce modèle, les variables DHP et ESPM sont éliminés automatiquement du fait que leurs coefficients de régression ne sont pas significatifs.

La combinaison de DHP et ESPM ne contribue pas à établir un modèle multiple, car l'ESPM est exclut de l'équation ($b_2 = 0$). Quand $D_{1.30}$, est imbriqué dans le modèle, la précision devienne plus importante ($R^2=0.68$ et $Er=0,14$). Pour ce dernier modèle la répartition des points représentant les valeurs prévues en fonction des valeurs estimées par le modèle suivent le tracé théorique de la régression (Figure LXXXVII) et l'analyse des résidus indique que, à l'exception des faibles volumes, la répartition des résidus suit une loi normale (Figure LXXXVIII). La vérification de la validité des modèles expliquant le volume nous incite à choisir le modèle (M5) comme le plus précis et plus adéquat car sa précision est très élevés et un écart moyen très faible ($E_{c.m} = 0.002m^3$) avec une erreur moins importante.

Tableau XXII : Modèles établis pour la station Tizi Oufellah

Equation	R ²	RM	Er	F _{obs}
M1 : $HT = 0.41D_{130} - 0.44 DHP + 11.30$	0.39	0.65	3.04	22.35****
M2 : $D_{130} = 1.3D_{1/2ht} + 0.16 DHP - 42.1 F + 19.42$	0.96	0.98	1.43	652.64****
M3 : $D_{130} = 1.58 DHP + 1.62 ESPM + 16.67$	0.47	0.69	5.6	41.18****
M4: $D_{130} = 0.79D_{1/2ht} + 0.89 DHP + 1.07 ESPM + 5.3$	0.74	0.86	3.96	88.25****
M5: $\text{Log } V = 0.02 HT + 0.01 D_{130} + 0.01 D_{1/2ht} + 0.47 F + 4.47$	0.97	0.99	0.04	443****
M6 : $\text{Log } v = 0.03 D_{130} - 0.01 DHP + 5.05$	0.68	0.82	0.14	52.14****

Tableau XXIII : Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la Station de Tizi Oufellah

Type de modèle	Val. moy. observée	Val. moy. estimée	intervalle des écarts individuels	Écart moyen (Ec. M)
M1 (Ht) m	22,89	23,27	[-9.07, 6.85]	-0,38
M2 (D ₁₃₀) cm	40,11	40,18	[-2.98, 5.25]	-0,06
M3 (D ₁₃₀) cm	40,11	39,12	[-9.30, 12.89]	0,99
M4 (D ₁₃₀) cm	40,11	40,48	[-7.74, 6.74]	-0,36
M5 (V) m ³	6,076	6,078	[-0,13, 0,04]	-0,002
M6 (V) m ³	6,07	6,05	[-0.36, 0.56]	0,02

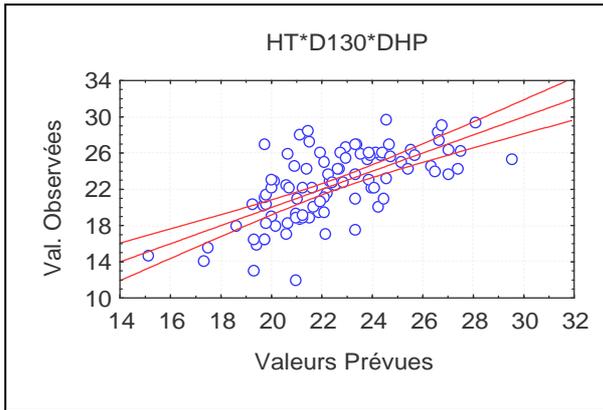


Figure LXXVII: Ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs prévues HT *toutes les variables

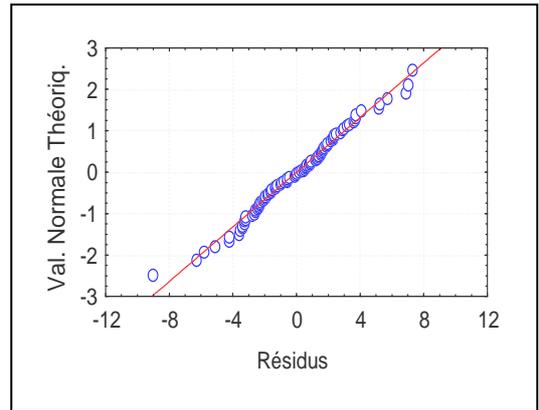


Figure LXXVIII : Tracés de normalité des résidus HT en fonction de toutes les variables

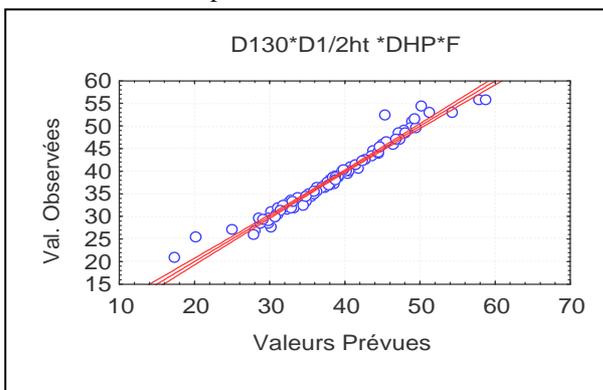


Figure LXXIX : Ajustement des valeurs observées en fonction des Valeurs prévues D_{130}

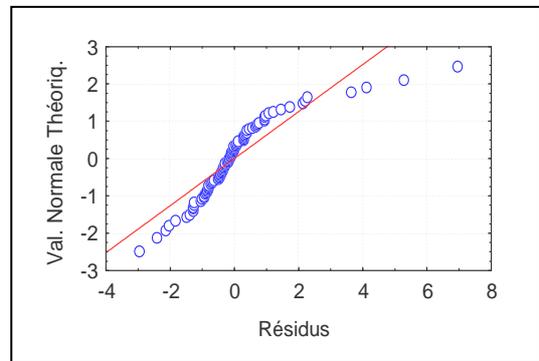


Figure LXXX: Tracés de normalité des résidus de D_{130}

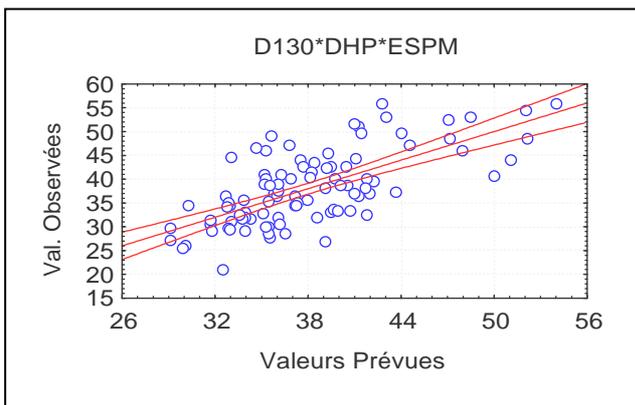


Figure LXXXI: Ajustement des valeurs observées en fonction de valeurs prévues D_{130} en fonction de DHP et ESPM.

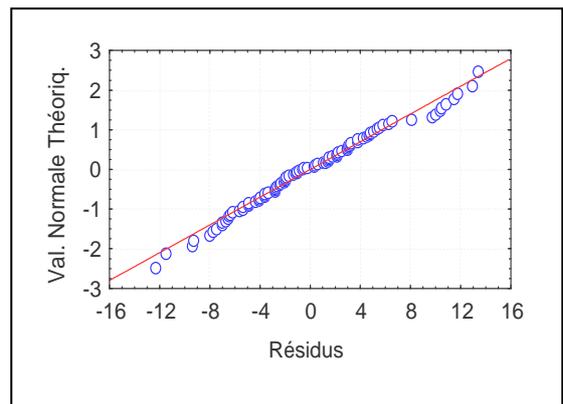


Figure LXXXII: Tracés de normalité des résidus de D_{130} en fonction de DHP et ESPM.

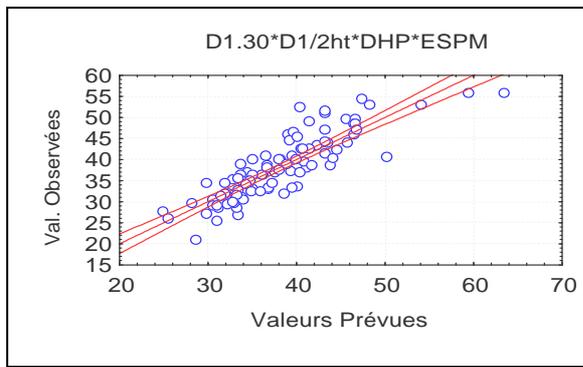


Figure LXXXIII: Ajustement des valeurs observées en et valeurs prévues D_{130} (ESPM, DHP et $D_{1/2\text{ht}}$)

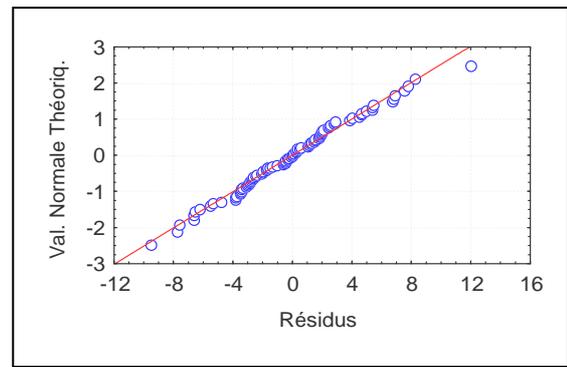


Figure LXXXIV: Tracés de normalité des résidus de D_{130} en fonction (ESPM, DHP, et $D_{1/2\text{ht}}$)

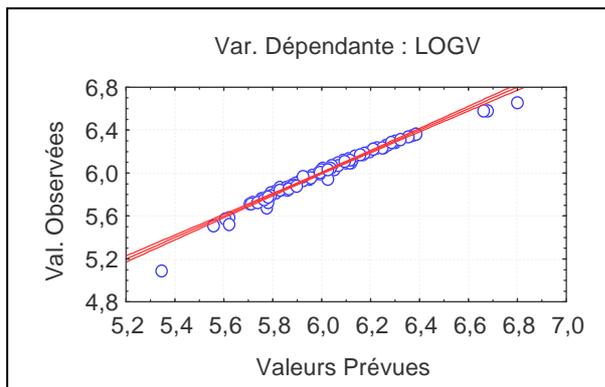


Figure LXXXV: Ajustement des valeurs observées en et valeurs estimées du V * toutes variables

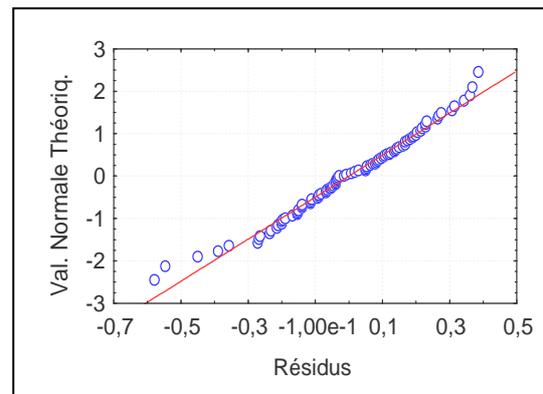


Figure LXXXVI: tracés de normalité des résidus de V en fonction de toutes les variables .

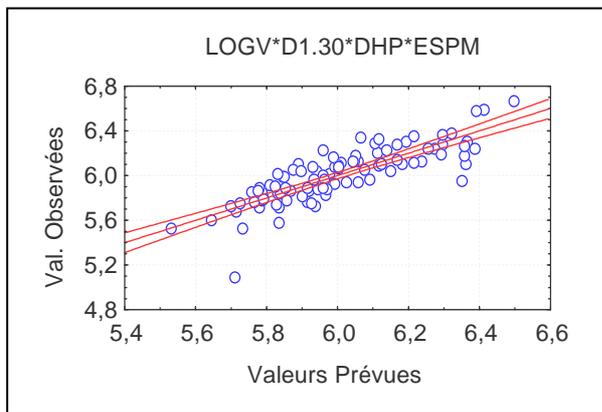


Figure LXXXVII: Ajustement des valeurs observées et des valeurs estimées de V * (DHP, ESPM et D_{130})

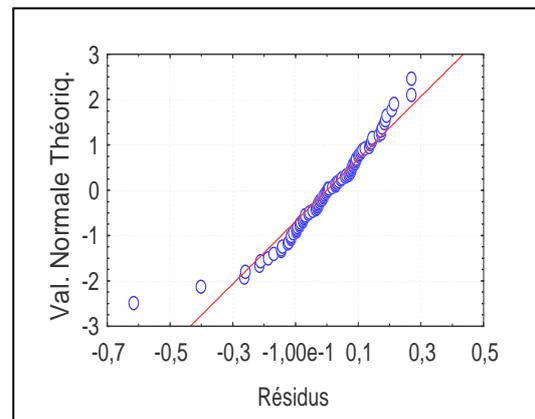


Figure LXXXVIII: tracés de normalité des résidus V en fonction de DHP, ESPM et D_{130}

4.4.2.2 La station Sidi Brahim

Les résultats de cette station sont résumés dans le tableau XIV. Nous constatons que le modèle complet de la hauteur en fonction de toutes les variables dont les paramètres statistiques sont : $R^2=0.71$, $RM=0.85$ et $Er= 2.5$, fait exclure le diamètre ($D_{1.30}$), l'espacement moyen (ESPM) et le coefficient de défilement (F). Les variables explicatives évoluent dans le même sens que la hauteur, à l'opposé du diamètre du houppier qui marque une relation inverse avec la hauteur ($b_3=-0.43$).

La figure LXXXIX nous renseigne sur la façon dont les valeurs observées sont agencées avec les valeurs prévues, à part les valeurs inférieures à 16m, constituant un lot se détachant de l'intervalle de confiance, les autres hauteurs se regroupent autour de l'intervalle et forment un faisceau droit qui se traduit par une répartition des résidus selon une loi normale (Figure XC).

L'introduction du DHP et ESPM dans un autre modèle pour expliquer la hauteur ne fournit pas une bonne précision ($R^2 = 0.32$). Ainsi, le nuage de points lui correspondant présente une grande dispersion par rapport à l'intervalle de confiance (Figure XCI). Par contre, l'implication de D_{130} annule l'effet de ESPM, mais améliore la situation ($R^2 = 0.66$ et $Er=2.7$ et $b_2=-0.36$) tableau XIV. L'ajustement des valeurs observées et estimées s'améliore considérablement (Figure XCIII). Quant à la distribution des résidus, elle suit la loi normale à l'exception des petites valeurs qui s'écartent légèrement de la droite théorique (Figure XCII et XCIV). La vérification de la précision des modèles précédents montre que les valeurs estimées par le modèle (M2) sont plus proches des valeurs réelles ($E_{cm}=0.08m$), seulement, l'intervalle des écarts est un peu plus large $[-5.56, 4.66]$ par rapport aux autres modèles (tableau XV).

L'évaluation du diamètre ($D_{1.30}$) en fonction de l'ensemble des variables explicatives, affiche un R^2 de 0.98 et une erreur de 1.6 dans un modèle formé de $D_{1/2 ht}$, DHP et F où le coefficient de défilement (F) marque une influence négative sur le diamètre ($b_3=-30.9$). La figure 95 montre une linéarité parfaite des valeurs observées par rapport aux valeurs estimées par le modèle, et la normalité des résidus est illustrée dans la figure XCVI. Lorsque le diamètre du houppier et l'espacement moyen entre les arbres rentrent en jeu dans un modèle, on remarque la réduction de la précision ($R^2= 0.64$) et l'augmentation de l'erreur estimée ($Er=6.27$). La figure XCVII montre la dispersion des données par rapport à la théorie. Par contre, l'addition de $D_{1/2ht}$ dans le modèle améliore sa précision de 21% et réduit l'erreur à 4.1 ; les figures XCIX et C indiquent une amélioration de la tendance du nuage de points et de la normalité des résidus par rapport au modèle précédent (Figure XCVII et XCVIII). La comparaison des écarts moyens entre les trois modèles expliquant le D_{130} indique que le modèle (M4) nous fournit l'écart le plus

réduit (0.13cm). La prédiction du diamètre à 1.30m est donc plus fiable à partir d'un modèle à plusieurs variables ($D_{1/2ht}$, DHP et F).

Tableau XXIV : Modèles établis pour la station Sidi Brahim

Equation	R ²	RM	Er	F _{obs}
M1 : $HT = 7.51C_{130} + 0.31 D_{1/2ht} - 0.43 DHP + 11.07$	0.71	0.85	2.5	73.88 ***
M2 : $HT = -0.68 DHP + 0.71 ESPM + 11.8$	0.32	0.56	3.8	41.84 ***
M3 : $HT = 0.42 D_{130} - 0.36 DHP$	0.66	0.81	2.7	115.4 ***
M4 : $D_{130} = 1.42 D_{1/2ht} + 0.29 DHP - 30.9 F + 12.48$	0.98	0.99	1.6	1812.3 ***
M5 : $D_{130} = 2.42 DHP + 1.7 ESPM + 2.65$	0.64	0.80	6.27	158.98 ***
M6 : $D_{1.30} = 0.9D_{1/2ht} + 0.87 DHP + 3.15$	0.85	0.92	4.1	311.78***
M7 : $\text{Log } V = 0.04 HT + 0.03 D_{130} + F - 0.24$	0.97	0.99	0.08	898.03 ***
M8 : $\text{Log } V = 0.9 DHP + 0.08 ESPM + 0.55$	0.52	0.73	0.33	99.91***
M9 : $\text{Log } V = 0.8 DHP + 0.7 ESPM + 1.08 F + 0.23$	0.64	0.80	0.28	107.19 ***
M10: $\text{Log } V = 0.07HT + 0.04 DHP + 0.03 ESPM - 0.32$	0.88	0.94	0.16	424.04 ***

Tableau XXV: Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la station de Sidi Brahim

Type de modèle	Val. moy. observée	Val. moy. estimée	intervalle des écarts individuels	Écart moyen (Ec. M)
M1 (Ht) m	19.1	18.61	[-4.84, 4,52]	0,54
M2 (HT) m	19.1	19.25	[-5.56, 4.66]	-0,08
M3 (HT) m	19.1	18.7	[-4.33, 6.03]	0,46
M4 ($D_{1.30}$) cm	24.97	25.1	[-2.69 ,5.75]	-0,13
M5 ($D_{1.30}$) cm	24.97	26.23	[-11.3 ,6.18]	-1,26
M 6 ($D_{1.30}$) cm	24.97	25.31	[-11.66, 11.43]	-0,3
M7 (V) m ³	3.49	3.5	[-0.2, 0.11]	-0,004
M8 (V) m ³	3.49	3.54	[-0.71, 0,50]	-0,04
M9 (V) m ³	3.49	3.53	[-0.56, 0,30]	-0,03

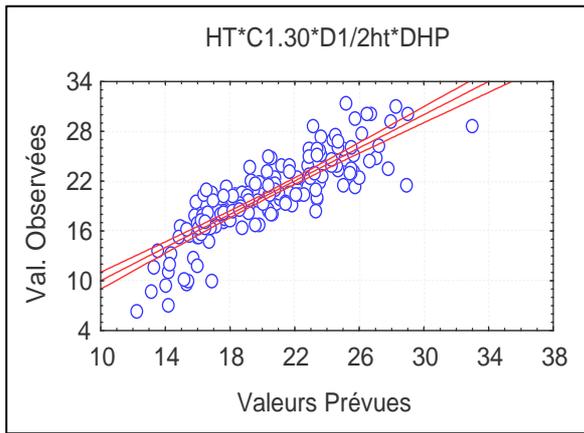


Figure LXXXIX : Répartition des valeurs prévues et estimées de HT * toutes les variables

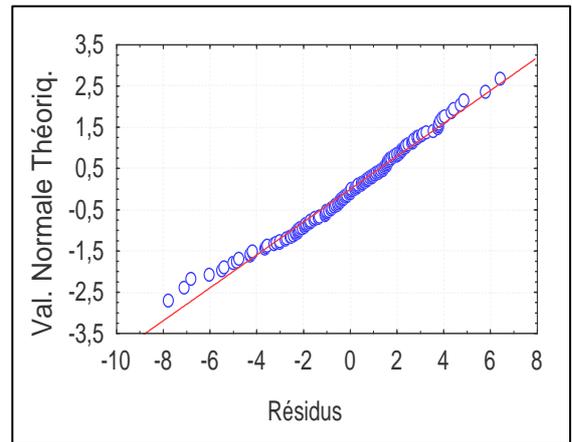


Figure XC: Tracé de normalité de la régression de HT * toutes les variables

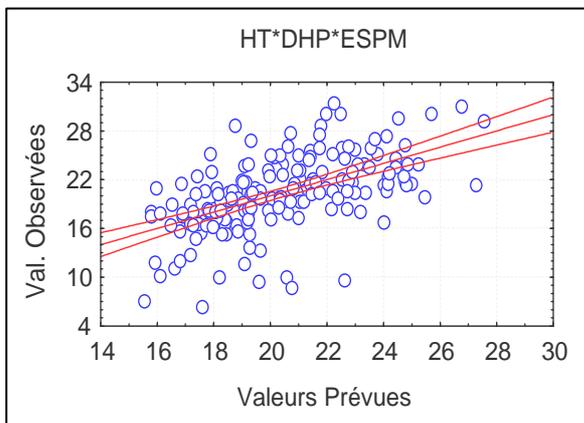


Figure XCI: Répartition des valeurs prévues et Des valeurs estimées de HT * DHP et ESPM

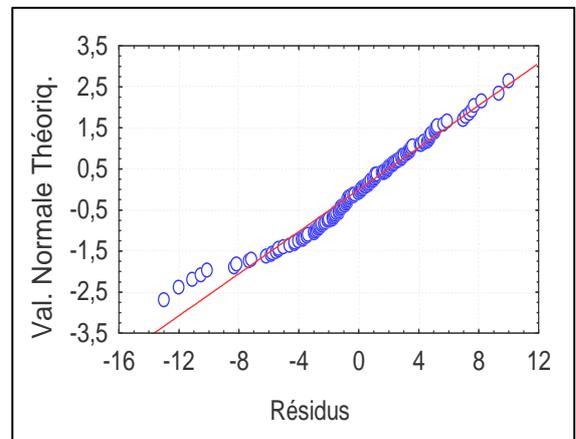


Figure XCII: Tracé de normalité de la régression de HT * DHP et ESPM

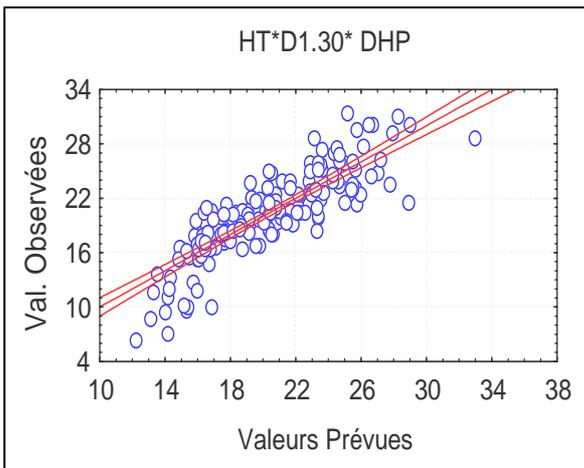


Figure XCIII: Répartition des valeurs prévues et Des valeurs estimées de HT * DHP et ESPM et D_{130}

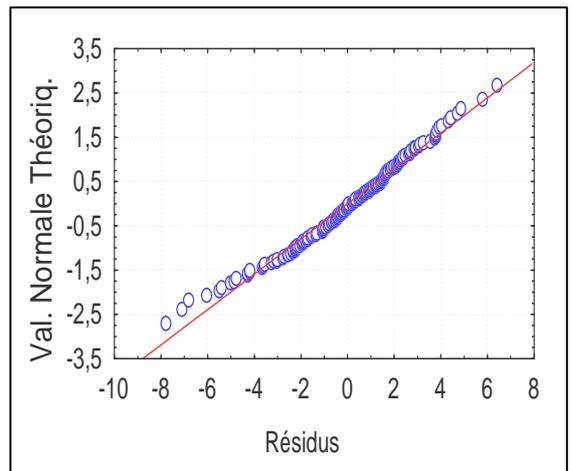


Figure XCIV: Tracé de normalité de la régression de HT * DHP et ESPM D_{130}

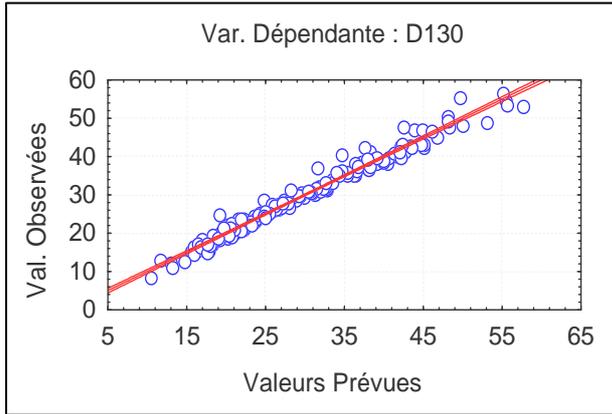


Figure XCV: Répartition des valeurs prévues et Des valeurs estimées de D_{130} * toutes les variables

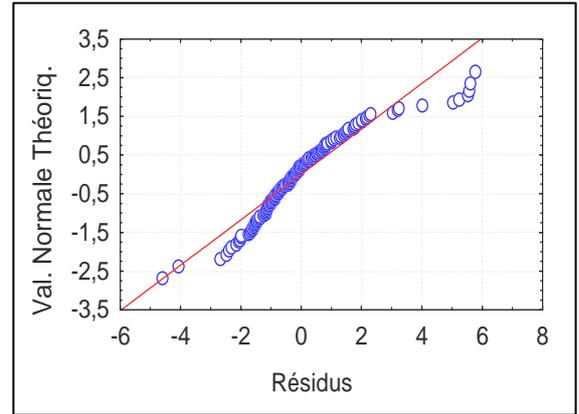


Figure XCVI: Tracé de normalité de la régression de D_{130} * toutes les variables

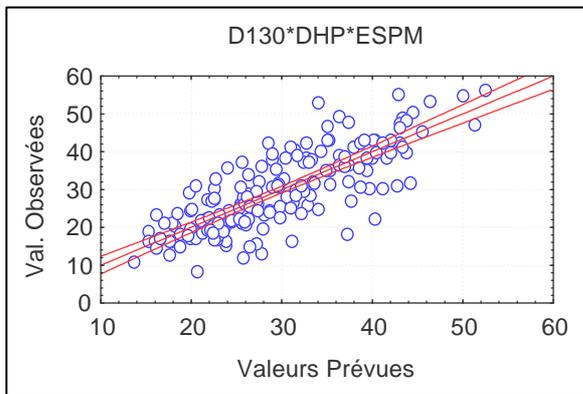


Figure XCVII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} * DHP et ESPM

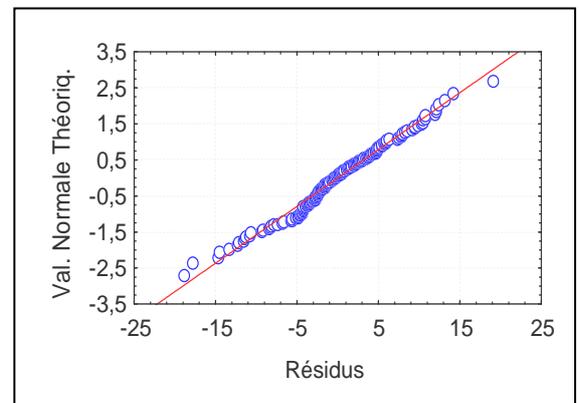


Figure XCVIII: Tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM

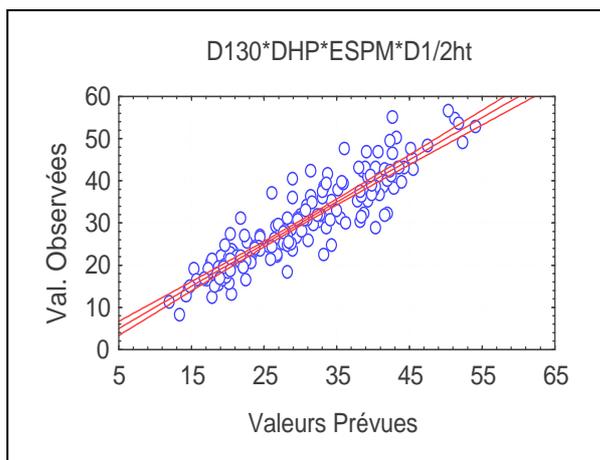


Figure XCIX: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de D_{130} * DHP et ESPM et $D_{1/2ht}$

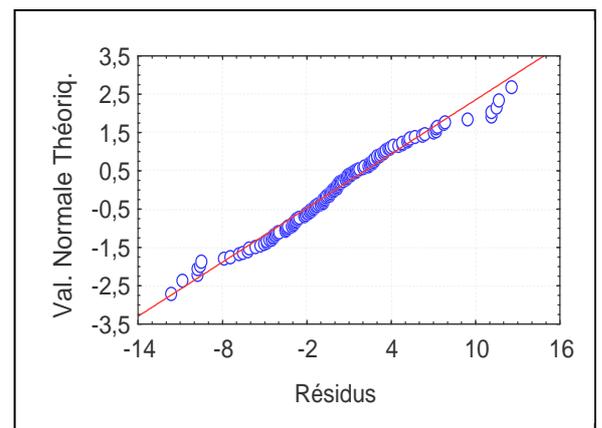


Figure C: Tracé de normalité de la régression de D_{130} en fonction de DHP et ESPM et $D_{1/2ht}$

Pour la prédiction du volume en fonction de l'ensemble des variables explicatives, le modèle retenu rejette le diamètre du houppier et l'espacement moyen entre les arbres et nous fournit ainsi une équation à trois variables : la hauteur totale (HT), le diamètre ($D_{1.30}$) et le coefficient de défilement (F). La précision du modèle est donnée par $R^2 = 0.97$ et $Er=0.08$ (Tableau XXIV). Les valeurs observées forment de ce fait une colinéarité avec les valeurs estimées par le modèle (Figure C) et la figure CI nous renseigne sur la normalité des résidus. La vérification de la validité des modèles et de leurs précisions indique que ce modèle estime d'une façon très précise les volumes en fonction de la hauteur (HT), du diamètre ($D_{1/2ht}$) et du coefficient de défilement (F), l'écart obtenu entre la valeur moyenne observée et celle estimée est de $0.004m^3$ (Tableau XXV).

Le diamètre du houppier et l'espacement moyen entre les arbres contribuent avec 52% dans l'explication du volume (Figure CIII). Le modèle s'améliore de 12 % une fois que F imbriqué et de 36% lorsqu'il c'est HT qui entre en jeu dans le modèle. Dans ce dernier cas, l'erreur devienne moins importante ($Er=0.16$) et améliore la normalité de distribution des résidus (Figures CV et CVI).

4.4.2.3 La station El Aincur

Quand toutes les variables explicatives sont intégrées dans un même modèle pour expliquer et prédire la hauteur, trois d'entre elles sont retenues : le diamètre ($D_{1.30}$), le diamètre du houppier (DHP) et le coefficient de défilement (F). Le DHP agit différemment de D_{130} et F sur l'évaluation de la Hauteur ($b_2=-0.39$) (Tableau XXVI), ce qui explique que lorsque les arbres croissent en hauteur, l'allongement des branches est ralenti. La précision du modèle indique sa fiabilité ($R^2=0.71$, $RM=0.85$ et $Er=2.8$). Le nuage de points formé à partir des valeurs observées et estimées s'écarte légèrement de l'intervalle de confiance (Figure CVII) et le tracé de normalité indique que les résidus se distribuent selon la loi normale (Figure CVIII). Quand on introduit dans un autre modèle DHP et ESPM (prédiction toujours de la hauteur), l'espacement moyen entre les arbres est rejeté du modèle et lorsque on rajoute une troisième variable explicative qui est le diamètre $D_{1.30}$ on obtient une précision de 0.67, et le nuage de point est relativement regroupé auprès de la zone de confiance (Figure CVIX). Quant à la normalité des résidus, ces derniers sont alignés sur la droite théorique de la loi normale (Figure CX). La comparaison entre ces deux modèles établis pour la hauteur soulève le modèle (M1) comme le plus fiable et plus adéquat ($E_{cm} = 0.03m$). Ce qui signifie que l'introduction des variables dendrométriques (D_{130} , DHP et F) apporte une plus grande estimation des hauteurs (Tableau XXVII).

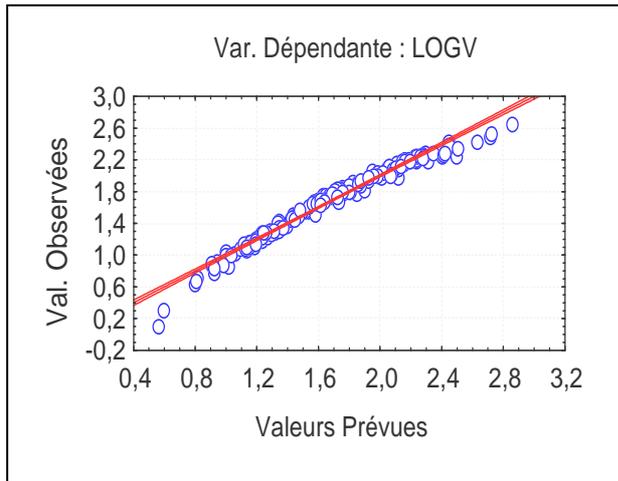


Figure CI : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables

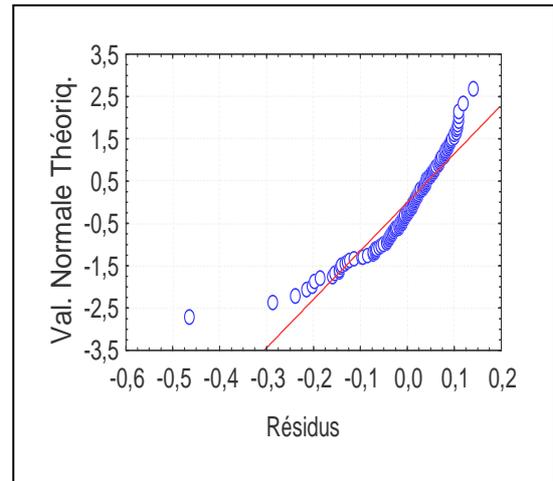


Figure CII : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes les variables

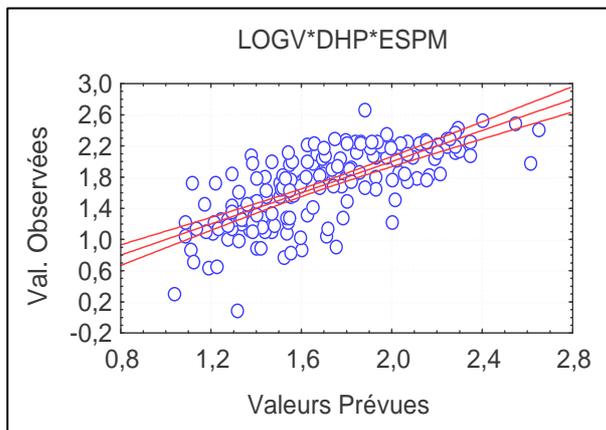


Figure CIII : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP et ESPM

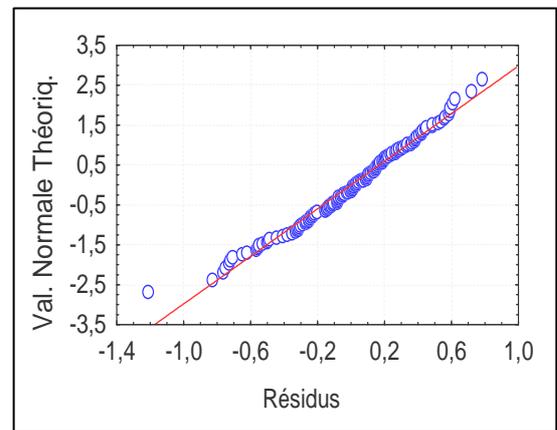


Figure CIV: Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP et ESPM

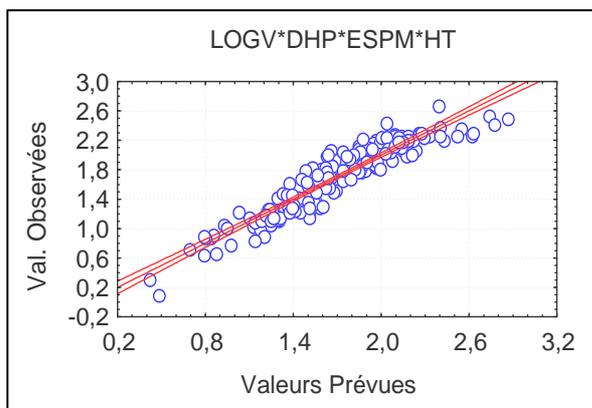


Figure CV: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP et ESPM et Ht

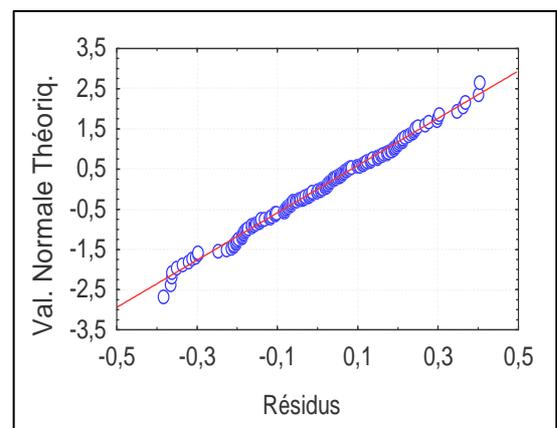


Figure CVI: Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP et ESPM et HT

La prédiction du diamètre $D_{1.30}$ constitue un modèle à trois variables explicatives : $D_{1/2ht}$, DHP et F ($R^2=0.98$, $RM=0.99$ et $Er=1.5cm$) (Tableau XXVI) ; le coefficient de défilement marque son influence négatif sur la variable dépendante ($b_3=-23.1$). Les valeurs observées forment une bonne linéarité avec les valeurs prévues par le modèle (Figure CXI) par contre les résidus ne s'alignent pas d'une façon homogène sur la droite théorique de la loi normale (Figure CXII). L'introduction groupée de DHP et ESPM élimine l'ESPM du modèle. L'addition du diamètre à mi hauteur à cette formule donne un R^2 de 0.87, ainsi il apporte 35% d'information en plus que le coefficient de défilement ; le nuage de point donc, est plus regroupé (Figure CXIII) alors qu'il est dispersé dans le deuxième cas (Figure CXV) et fournit des tracés de résidus conformes à la normalité (Figure CXIV, CXVI). La vérification de la précision montre qu'à partir de trois variables explicatives ($D_{1/2ht}$, DHP et ESPM) on peut estimer le diamètre à 1.30m avec seulement un risque d'écart de 0.01cm. Par contre l'introduction de F et de $D_{1/2ht}$ fait augmenter l'écart moyen entre la valeur moyenne observée et celle estimée (0.08cm et 0.8cm). (TableauXXVII).

Quant au volume, un modèle à trois variables (HT, D_{130} et F) est adapté, et ce dans la mesure où il donne R^2 élevée ($R^2 = 0.97$) et minimise l'erreur ($Er= 0.09$). Les valeurs observées et les valeurs prévues rejoignent la droite théorique (Figure CXVII).

La construction d'un modèle à partir de DHP et ESPM aboutit à l'élimination du facteur espacement du modèle. L'imbrication de F dans le modèle nous donne une équation à deux variables dont $R^2= 0.62$ et $Er=0.37$. Par contre, quand on introduit HT, R^2 s'élève à 0.85 et Er diminue ($Er=0.23$). Les figures CXIX et CXXI montrent la différence entre les deux tendances formées par les deux modèles. Les résidus issus de ces modèles suivent la loi normale (Figures CXX et CXXII).

Les modèles construits pour le volume enregistrent des écarts moyens très réduit, notamment le modèle (M8), où $Ec.m =0.004m^3$ et le modèle (M6) fournit un intervalle des écarts individuels le plus étroit [-0.22, 0.15].

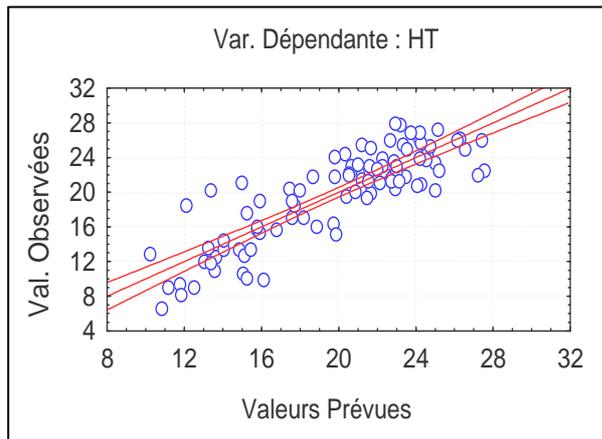


Figure CXVII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de toutes les variables

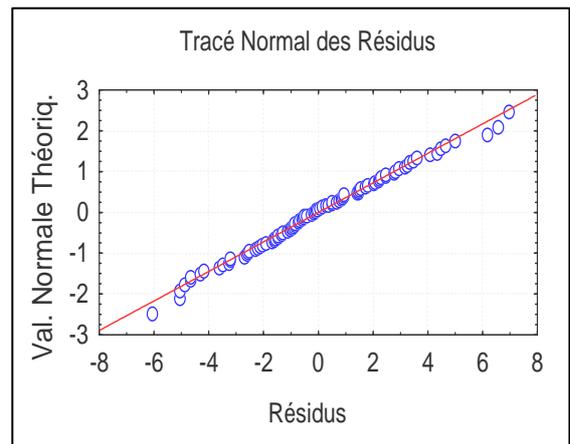


Figure CXVIII: Tracé de normalité de la régression de HT en fonction de toutes les variables

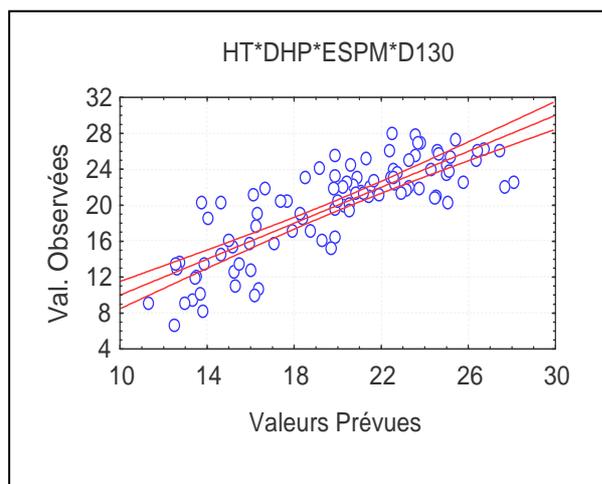


Figure CXIX: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de DHP et ESPM et D_{130}

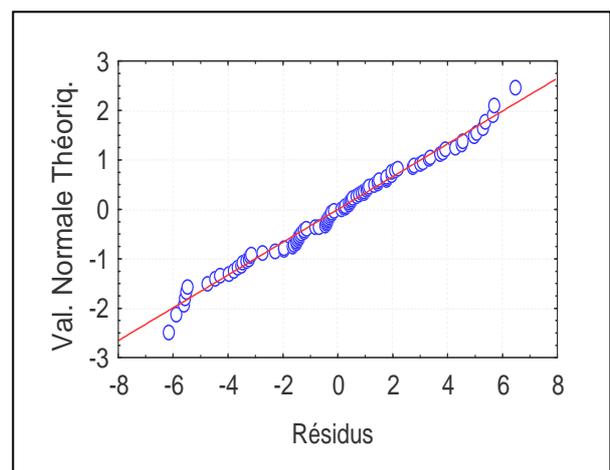
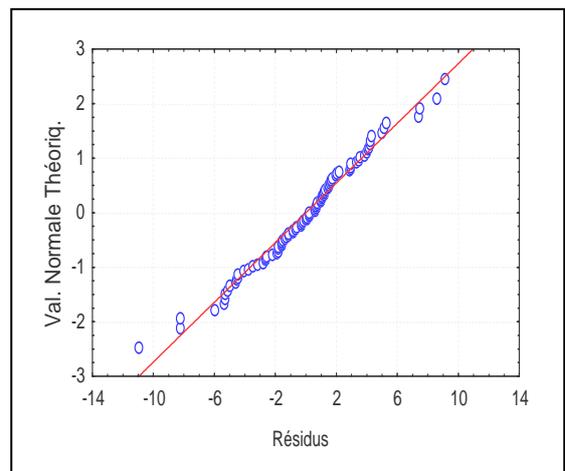
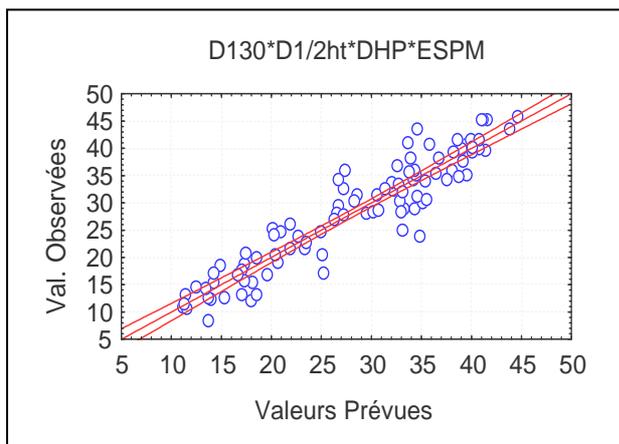
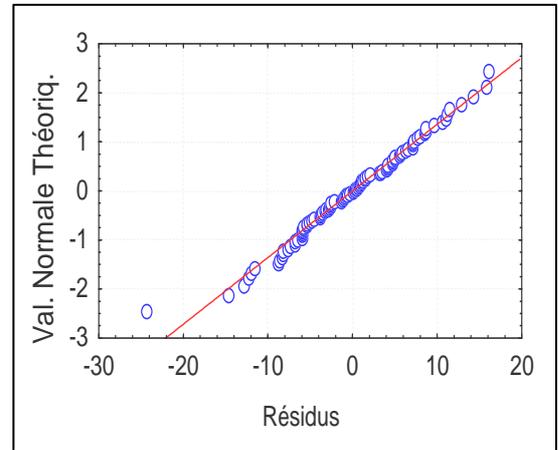
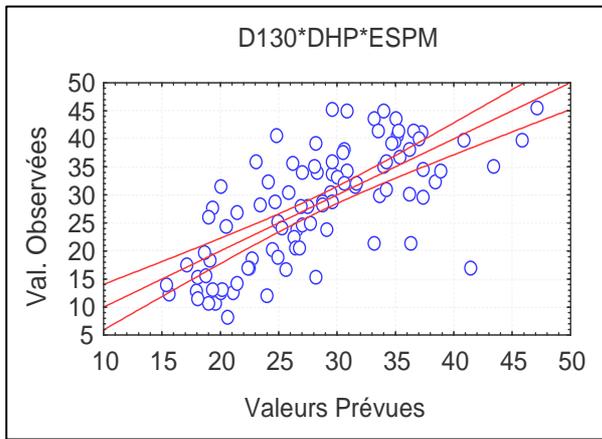
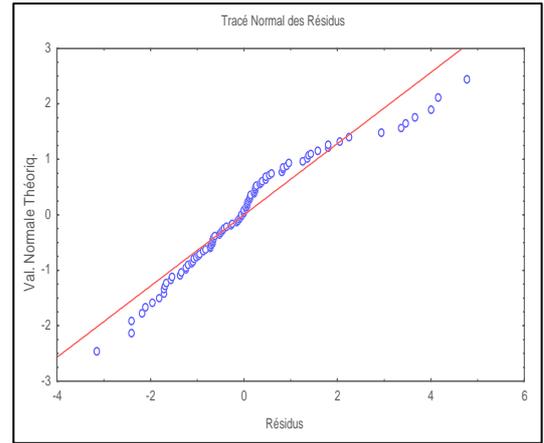
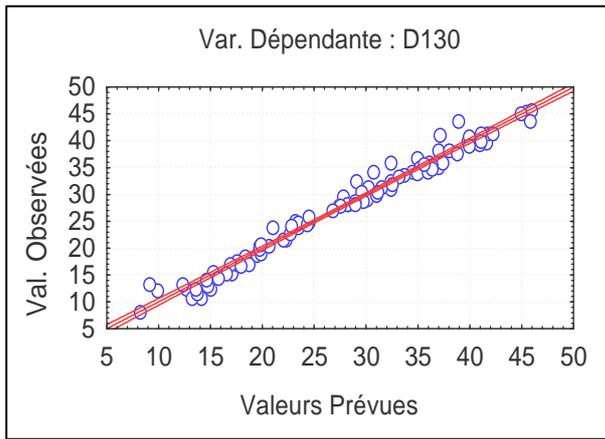


Figure CXX: Tracé de normalité de la régression de la HT en fonction de DHP et ESPM et D_{130}



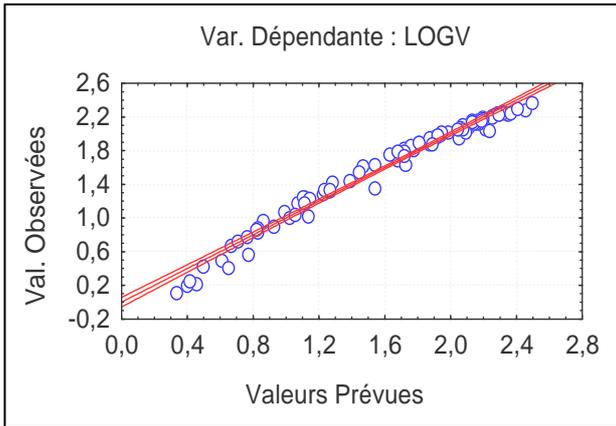


Figure CXXVII: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables

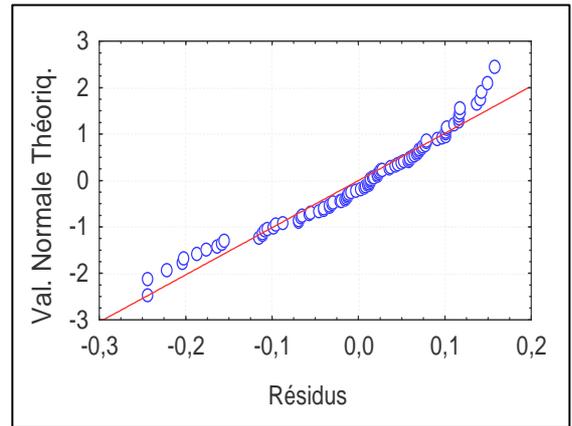


Figure CXXVIII: tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes les variables

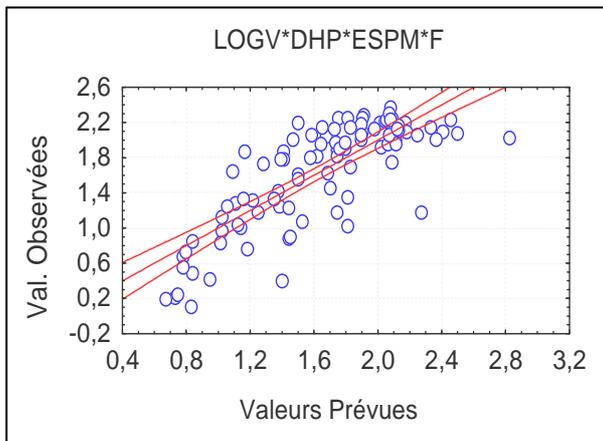


Figure CXXIX: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et F

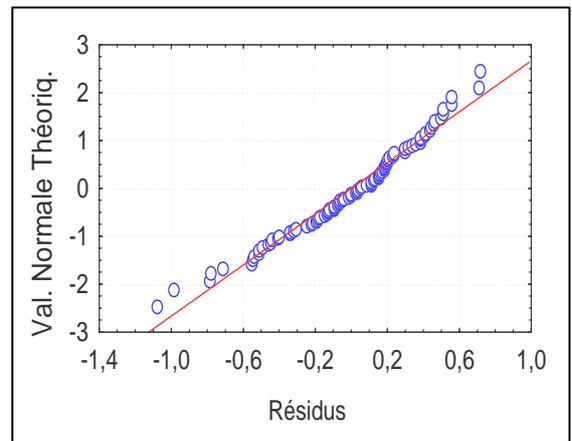


Figure CXXX: tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et F

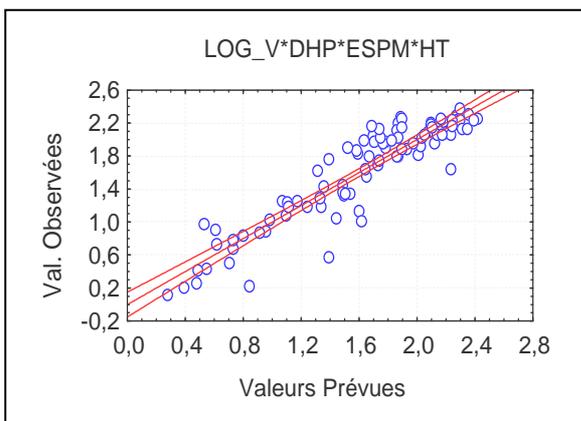


Figure CXXXI: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et HT

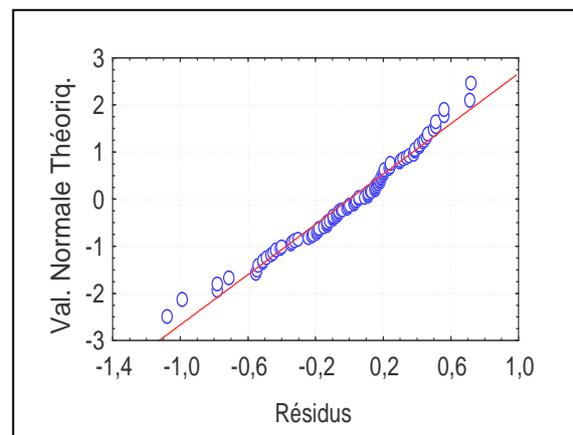


Figure CXXXII: tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et HT

Tableau XXVI : Modèles établis pour la station El Aincur

Equation	R ²	RM	Er	F
M1 : HT= 0.81 D ₁₃₀ – 0.39 DHP + 14.26F	0.71	0.85	2.8	39.81***
M2 : HT= 0.48 D ₁₃₀ – 0.37 DHP +8.82	0.67	0.82	3	64.87***
M3 : D ₁₃₀ = 1.3 D _{1/2HT} +0.21 DHP – 23.1 F + 9.4	0.98	0.99	1.5	1038***
M4 : D ₁₃₀ =2.6 DHP + 8.5F	0.52	0.72	7.1	32.97***
M5: D ₁₃₀ =0.95 D _{1/2ht} + 0.66 DHP+0.5 ESPM + 2.	0.87	0.94	3.6	215.65***
M6 : Log V = 0.03 HT + 0.04 D ₁₃₀ + 1.21 F- 0.54	0.97	0.99	0.09	485.48***
M7 : Log V = 0.12 DHP + 1.59 F	0.62	0.79	0.37	51.49***
M8 : Log V= 0.05 DHP + 0.08 HT- 0.53	0.85	0.92	0.23	170.22***

Tableau XXVII : Vérification de la précision des modèles de régression multiple dans la station d' El Aincur

Type de modèle	Val. moy. observée	Val. moy. Estimée	intervalle des écarts individuels	Écart moyen (Ec. M)
M1 (Ht) m	19.31	19.3	[-6.07 ,6.96]	-0,03
M2 (HT) m	19.31	19.9	[-9.88, 7.70]	-0,63
M4 (D130) cm	27.52	27.60	[-2.41, 3.45]	-0,08
M5 (D130) cm	27.52	28.33	[-140, 8.65]	-0,8
M 6 (D130) cm	27.52	27.54	[-6.00, 7.42]	-0,01
M7 (V) m ³	3.58	3.57	[-0.22, 0,15]	0,01
M8 (V) m ³	3.58	3.61	[-0.78, 0,49]	-0,02
M9 (V) m ³	3.58	3.59	[-0.61, 0,44]	-0,004

4.4.2.4 Le peuplement global

Les modèles globaux, réunissant les peuplements des trois stations, sont récapitulés dans le tableau 28. Pour la HT, le modèle expliquant la hauteur en fonction de toutes les variables dendrométriques explicatives, affiche un $R^2=0.65$ et $Er=2.8$, après avoir rejeté le facteur (ESPM), le diamètre ($D_{1/2ht}$) et retenu donc le D_{130} , DHP et F ($F_{obs}=115.04$, $k_1=6$, $k_2=367$; $\alpha=0.001$); quant à la validité de ce modèle il apparaît que l'écart moyen entre la valeur moyenne observée et celle estimée par le modèle est de 0.22m (Tableau XXIX), ce qui pourrait justifier son application.

Lorsque le diamètre du houppier (DHP) et l'espacement moyen (ESPM) entre les arbres sont associés dans un modèle pour la prédiction de la hauteur, le modèle ne fournit pas une bonne précision : $R^2=0.20$; $F_{obs}=49.29$; $k_1=371$, $k_2=2$; $\alpha=0.001$. Cependant, nous obtenons un meilleur ajustement avec $D_{1.30}$, voir une meilleure efficacité du modèle ($R^2=0.61$, $RM=0.78$ et

$Er=2.93$), modèle qui exclut le facteur ESPM. La hauteur évolue positivement avec l'évolution des deux variables D_{130} et F ($b_1=0.38$, $b_3=5.58$), mais négativement avec le DHP ($b_2=-0.31$). Cette tendance est observée même à l'échelle des stations. Ce dernier modèle estime mieux la hauteur, les valeurs prévues sont proche de celles observées sur le terrain ($E_{cm}=0.05m$). Les résultats obtenus forment une répartition homogène autour de la droite centrale pour les modèles de prédiction de HT (M1) (Figure CXXIII) et le modèle (M2) (Figure CXXV). Les représentations graphiques des résidus des modèles (M1) et (M2) sont illustrées dans les figures CXXIV et CXXVI, elles indiquent une bonne linéarité des résidus, leur répartition suit donc une loi normale.

Le diamètre ($D_{1.30}$) dans le peuplement global fait l'objet d'un modèle à quatre variables explicatives ($D_{1/2ht}$, DHP, ESPM et F) avec un $R^2=0.97$; $RM=0.98$ et $Er=1.84$; à l'exception du coefficient de défilement qui évolue inversement avec le diamètre, les trois autres variables explicatives montrent la même tendance de croissance. Cette grande précision s'explique par la valeur très élevée de la fonction observé ($F_{obs}=2896.3$, $k_1=4$, $k_2=371$, $\alpha=0.001$) et la figure CXXVII montre le regroupement des valeurs observées autour de la droite théorique et les résidus issus du modèle sont alignés selon la loi normale suivant la droite théorique (Figure CXXVIII).

La participation du DHP et de l'ESPM pour prévoir ($D_{1.30}$) est moyennement efficace ($R^2= 0.50$ et $Er =7.47$). L'ajout d'une troisième variable explicative ($D_{1/2ht}$) améliore considérablement le modèle ($R^2=0.83$, $RM=0.91$ et $ER= 4.3$). Les figures correspondantes sont respectivement 129 et 131 ; on remarque que les données se rassemblent plus dans la figure du modèle (M5) (Figure CXXIX) alors que les deux autres figures montrent une dispersion autour de l'intervalle de confiance. Les tracés de normalité des résidus, illustrés dans les figures CXXX et CXXXII montrent, à l'exception de quelques valeurs extrêmes, que les résidus suivent la droite théorique de la loi normale.

Quant à la vérification de la précision des modèles, d'après le tableau XXIX, les écarts moyens sont réduits. Le modèle (M3) apparaît plus fiable, l'intervalle des écarts individuels est très étroit $[-2.28, 3.91]$ et l'écart moyen est de $0.25cm$.

Pour prédire le volume global, nous avons ajusté dans un premier temps un modèle en fonction de toutes les variables explicatives et quatre seulement sont retenus (HT, D_{130} , F et ESPM). Le modèle construit est très puissant et fournit un $RM=0.98$, un de $R^2=0.96$ et une erreur $Er =0.09$ avec une fonction observée significative ($F_{obs}=1377$, $k_1=262$, $k_2=7$) (Tableau

XXVIII). Ce résultat est confirmé par le diagramme des valeurs observées en fonction de celles prévues (Figure CXXXIII). Le nuage de point suit une tendance linéaire à l'exception de quelques valeurs extrêmes qui s'écartent légèrement de la droite théorique. Les résidus suivent la même tendance, ce qui baise le tracé de normalité (Figure CXXIV).

En outre, le deuxième modèle établi à partir de deux variables explicatives seulement (DHP et ESPM), n'est pas fiable dans la mesure où la variance expliquée par le modèle est réduite à 35%. Quand la variable (F) est introduite dans le modèle, R^2 s'élève à 0.52 et $Er=0.33$. Par contre l'élimination de F et l'intégration HT améliore le modèle ($R^2=0.80$, $Er=0.21$) et une fonction observée significative de 517.48. La Figure CXXXV décrit le bon ajustement des valeurs observées et estimées de ce modèle et les résidus sont alignés correctement sur la droite normale (Figure CXXXVI). La comparaison des modèles établis pour le volume indique que la prédiction de cette variable est plus proche de la réalité quand on introduit toutes les variables au même temps.

Tableau XXVIII : Modèles établis pour le peuplement global.

Equations	R^2	RM	Er	Fobs
M1 : $HT = 0.38D_{130} - 0.31 DHP + 5.58 F + 8.6$	0.65	0.80	2.8	115.04***
M2 : $HT = 0.40 D_{130} - 0.28 DHP + 10.85$	0.61	0.78	2.93	198***
M3: $D_{130} = 1.43 D_{1/2 ht} + 0.21 DHP + 0.21 ESPM - 30.5 F + 12.34$	0.97	0.98	1.84	2896.3***
M4 : $D_{130} = 2.21 DHP + 1.8 ESPM + 4.9$	0.50	0.70	7.47	182.51***
M5 : $D_{130} = 0.66DHP + 0.55ESPM + 0.95 D_{1/2 ht}$	0.83	0.91	4.3	606.27***
M6 : $\text{Log } V = 0.03 HT + 0.03 D_{130} + 1.05 F - 0.008 \text{ ESPM}$	0.96	0.98	0.09	1377***
M7 : $\text{Log } V = 0.7 HT + 0.4 DHP + 0.20ESPM - 0.3$	0.80	0.89	0.21	517.48***
M8: $\text{Log } v = 0.07 DHP + 0.06 ESPM + 1.28 F + 0.24$	0.52	0.72	0.33	135.17***

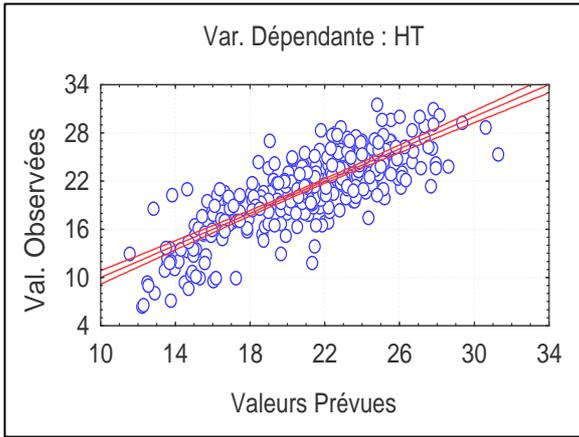


Figure CXXXIII : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de toutes les variables

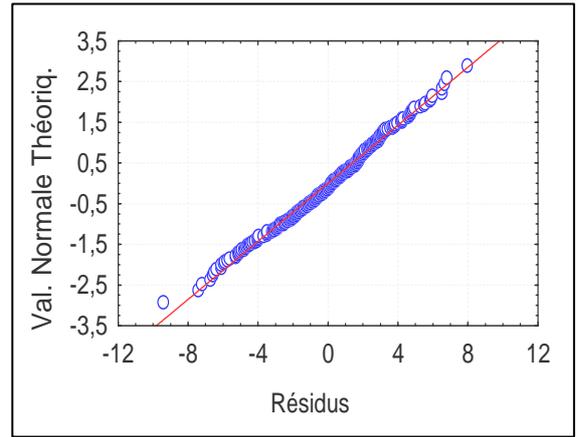


Figure CXXXIV: Tracé de normalité de la régression de HT en fonction de toutes les

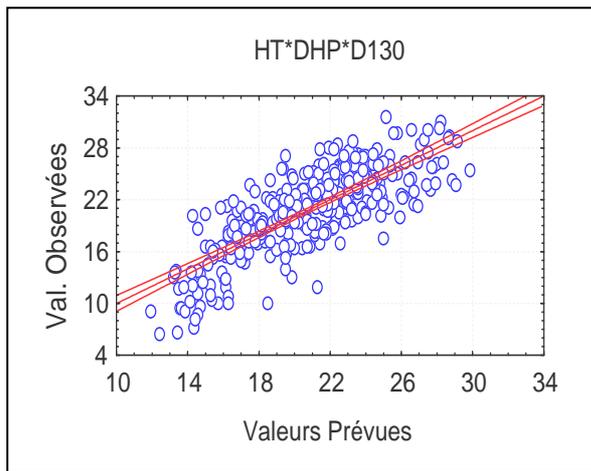


Figure CXXXV: Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées de HT en fonction de DHP, ESPM et D_{130}

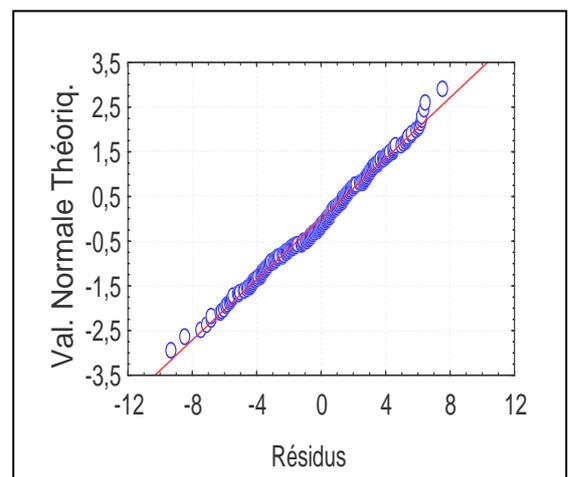


Figure CXXXVI: Tracé de normalité de la régression de la HT en fonction de DHP, ESPM et

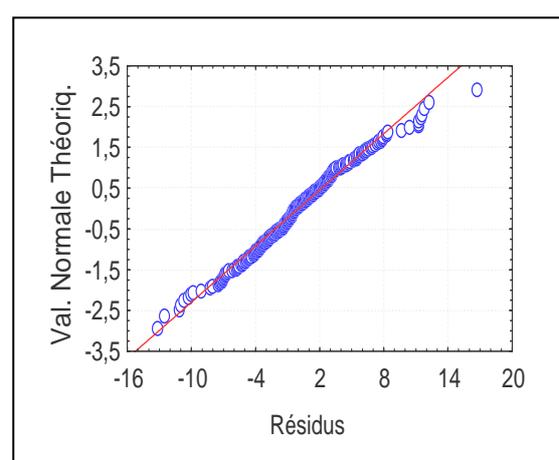
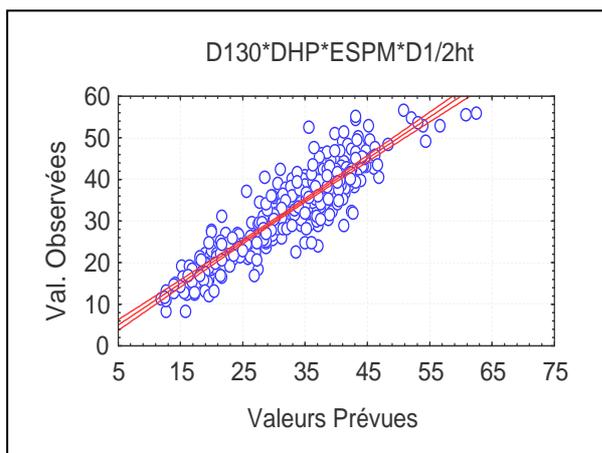
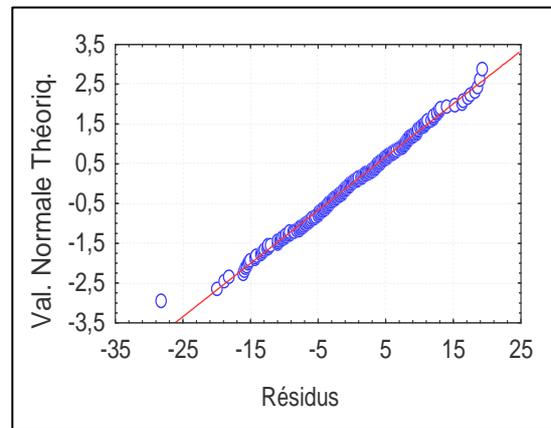
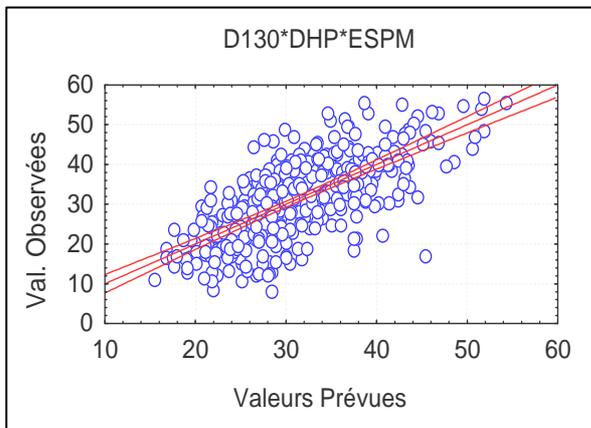
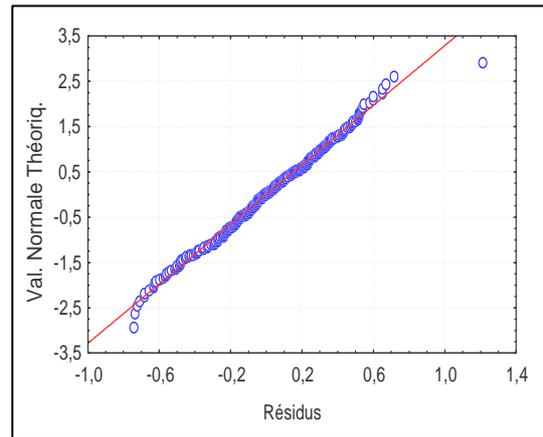
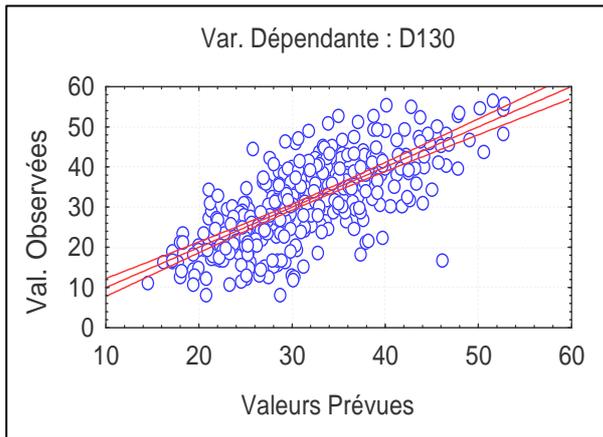


Tableau XXIX: Vérification de la précision des modèles de régressions multiples dans la forêt d'Ath Ghobri

Type de modèle	Val. moy. observée	Val. moy. estimée	intervalle des écarts individuels	Écart moyen (Ec. M)
M1 (Ht) m	21,19	20,87	[-2.9, 6.61]	0.22
M3 (HT) m	21,19	21,13	[-3,1 , 6.00]	0,05
M4 (D ₁₃₀) cm	32,61	32,36	[-2.28, 3.91]	0,25
M5 (D ₁₃₀) cm	32,61	32,13	[-12.61, 15.17]	0,47
M 6 (D ₁₃₀) cm	32,61	31,33	[-10.75, 10.32]	1,27
M7 (V m ³)	1,78	1,788	[-0.20, 0.10]	-0,003
M9 (V) m ³	1,78	1,72	[-0.54, 0,60]	0,05

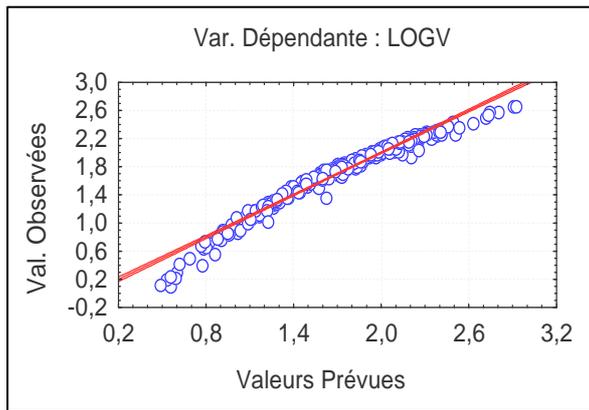


Figure CXLIII : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de toutes les variables

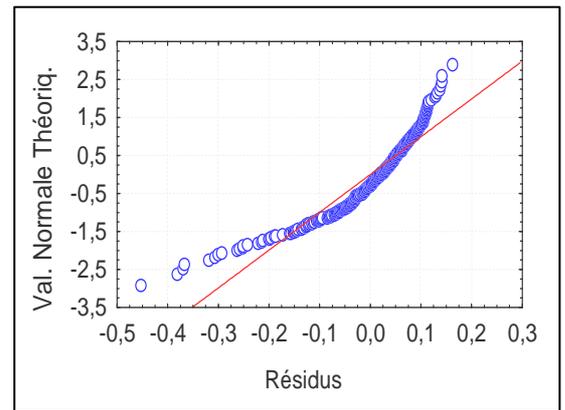


Figure CXLIV : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de toutes variables

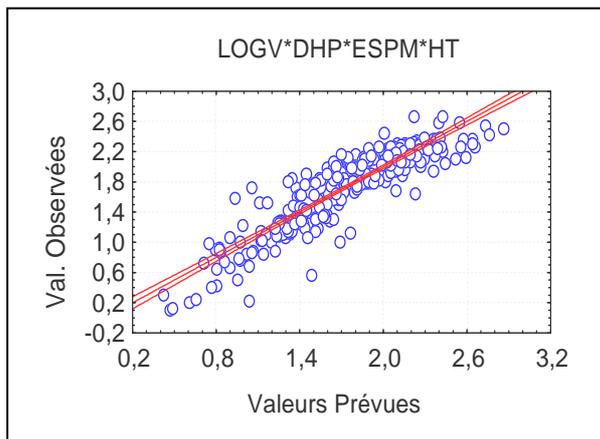


Figure CXLV : Répartition des valeurs prévues et des valeurs estimées du V en fonction de DHP, ESPM et HT

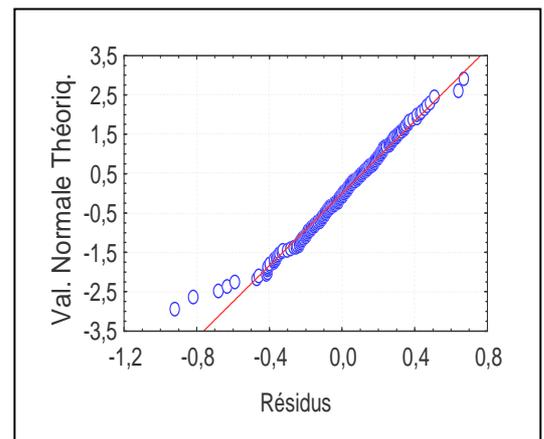


Figure CXLVI : Tracé de normalité de la régression du V en fonction de DHP, ESPM et HT

DISCUSSION DES RESULTATS

DISCUSSIONS

L'étude de la structure des peuplements des trois stations fait apparaître des divergences entre les trois stations. El Ainceur présente une structure régulière où les classes de diamètres]10-30cm] dominant. L'histogramme de distribution de ses individus est plus aplati, marquée par l'absence de symétrie. Contrairement à El Ainceur, la structure de Tizi-Oufellah apparaît plus régulière et dissymétrique à droite où la fréquence de gros arbres, classe de diamètre allant de]30-55cm] est plus représentée. Apparemment, il s'agit d'une futaie adulte dans laquelle on note l'absence de recrutement des stades de fourré et gaulis, classe de diamètres] 10-20]. Sidi-Brahim présente une configuration de la structure que nous pouvons assimiler à une structure plus irrégulière, la distribution de ses arbres est bimodale où la classe de diamètres] 15-25cm] est dominante. Cette station renferme toutes les classes de diamètre, et relativement plus jeune. La densité des peuplements des trois stations ne présente pas de divergences importantes, elle se situe entre 320 à 336 arbres par ha. Ce qui laisse supposer que le facteur espacement dans ces peuplements est homogène, bien évidemment à l'échelle globale. A l'échelle placette, les diamètres des houppiers et l'espacement entre les arbres apparaissent différent d'une placette à l'autre.

Cette hétérogénéité expliquerait les différences de structure et des variables dendrométriques mesurées. Ce résultat est logique dans la mesure où le facteur espace exprime la position sociale relative des arbres les uns par rapport aux autres ; il provoque la variation du degré d'ouverture et de fermeture des peuplements (Lanier, 1986). Par conséquent, il agit de façon prépondérante sur la croissance et le développement de l'arbre. C'est ce que montre la comparaison des variables dendrométriques ; elle met en évidence des différences significatives inter et intra stationnelles qui peuvent avoir comme origine la différence de structure de ces peuplements, le stade d'évolution de la futaie « âge » et aussi la diversité topographique, notamment le relief. Cet état de fait est plus marqué à Sidi-Brahim et Tizi-Oufellah.

Entre les différentes variables quantitatives introduites dans l'étude, il apparaît une interdépendance des variables les unes par rapport aux autres, et engendre des différences de l'intensité de ces liaisons d'une placette à une autre et d'une station à une autre. Les liaisons les plus importantes sont celles qui apparaissent entre la Hauteur (HT) et le Diamètre (D_{130}), la HT et le diamètre ($D_{1/2ht}$) ainsi que le volume (V) et le ($D_{1/2ht}$), où les valeurs de (r) oscillent entre 0.47 et 0.99 pour l'ensemble des ces relation. Ce type de relations explique et donne une idée sur rythme de la croissance de ces peuplements. Ce phénomène est conditionné par le milieu, et les

conditions de concurrence. La croissance des arbres en hauteur augmente avec l'augmentation du D_{130} , C_{130} et $D_{1/2ht}$, de même pour le volume. Ces Liaisons sont plus marquées dans la station d'El Ainceur que dans les autres stations. La croissance des arbres en diamètre indique aussi une croissance du houppier, mais la croissance en hauteur peut ne pas engendrer un développement du houppier. Cette logique est reflété par les résultats obtenus lors de calculs des corrélations, ce paramètre montre des liaisons significatives avec le diamètre (D_{130}) comme avec le volume des arbres (V). Par contre aucune liaison regroupant le DHP avec HT n'est marquée pour les stations de Tizi Oufellh et Sidi Brahim, Son apparition se fait seulement dans la station d'El Ainceur. Quand à la forme de l'arbre exprimé par le coefficient de défilement, ce descripteur apparaît négativement lié au diamètre D_{130} dans les stations de Tizi Oufellah et Sidi Brahim. Par contre les liaisons sont positives dans la station d'El Ainceur. Avec le diamètre $D_{1/2ht}$ le coefficient de défilement marque des liaisons positives quelque soit la station. La distinction d'El Ainceur par rapport à sidi Brahim et Tizi Oufellah est probablement liée à la structure des ces peuplements ; Cet effet est aussi lié à la densité des peuplements, donc à l'espacement entre les arbres, plus le peuplement est serré plus la compétition est accentuée. Les stations étudiées ne présentent pas des densités élevées, ainsi le facteur espacement apparaît lié globalement avec toutes les variables dendrométriques à l'échelle de station et de la forêt d'Ath Ghobri.

La diversité des relations entre les variables dendrométriques, l'hétérogénéité des conditions de milieu entre les trois stations et la structure des peuplements, et ce à l'échelle de la station et de la forêt Ath Ghobri, rendent complexe l'établissement de modèles prévisionnels dans lesquels on peut intégrer les descripteurs le plus souvent utilisés en foresterie. Dans tous les cas, les modèles obtenus se limitent majoritairement au maximum à trois variables, cas des régressions multiples. Pour les régressions simples, les modèles obtenus sont de type polynomial pour les stations de Tizi Oufellah et El Ainceur et logarithmique pour Sidi-Brahim. Quant à leurs précisions, Tizi Oufellah se discrimine des deux autres par de faibles valeurs R^2 . Pour tous les modèles obtenus, les R^2 déduit se positionnent à ceux de nombreux auteurs (BERGEZ et *Al.* (1988) ; DRYFUS (1993) ; DHOTE et HERCE (1994) ; DHOTE (1995) ; DUPLAT et TRAN HA (1997) ; HOULLIER et *Al.* (1997) ; PAUWELS et *Al.* (1999) ; PREGENT (2001) ; THIBAUT et *Al.* (2003) toutefois ils diffèrent d'eux par rapport aux types de modèles. En général, ces auteurs ont mis en œuvre pour l'ajustement des modèles hauteur en fonction des diamètres ou de circonférences des modèles de puissances ou exponentiel. Ils démontrent que dans les stations étudiées, la hauteur évolue rapidement en rapport l'âge, le diamètre ou la circonférence. Il s'agit de modèles proches de la théorie ; la nature du modèle est lie à phase de croissance de l'arbre et aux conditions environnementales où il se trouve. Au stade de semis la

croissance est exponentielle jusqu'à atteindre un certain stade. La vitesse de croissance ralentie puis le peuplement adopte un modèle propre à lui, selon la densité, la structure spatiale, le recouvrement, le type de sylviculture appliqué et les conditions externes qui s'impliquent dans sa croissance et sa dynamique.

En ce qui concerne notre travail les relations étudiées ont révélé des modèles logarithmiques et d'autres polynomiaux avec des R^2 élevés mais qui diffèrent d'une station à une autre, ce qui confirme l'effet station évoqué par l'analyse de la variance. La station de Sidi Brahim se caractérise pour tous les modèles par une fonction logarithmique, cela peut être dû à la nature du peuplement où les différentes classes d'âge sont présentes. Ce type de fonction indique que la croissance du chêne zéen dans les peuplements de la forêt d'Ath Grobri est lente. DHOTE (1997) note que la reconquête plus lente chez les chênes n'est pas nécessairement un inconvénient sylvicole puisque elle entraîne une productivité plus durable des houppiers.

Pour les relations (HT- $D_{1.30}$), nos résultats sont différents de ceux trouvés par MOKHTARI (2005) mais les fonctions sont dans les deux cas soit polynomiale ou logarithmique. Dans la station de Sidi Brahim la croissance est logarithmique, cela explique que la croissance des arbres de ce peuplement est relativement lente, mais la vitesse de croissance à l'état juvénile apparaît plutôt rapide. Pour des D_{130} allant de 10 à 25 cm on remarque que la hauteur atteint 20m, la majorité des arbres présentent des hauteurs entre 15 et 20m. La croissance commence ensuite à se réduire puis à se stabiliser pour les hauteurs de 25 à 30m pour des D_{130} allant de 35 à 45cm.

Pour les précisions des modèles et les résidus, MOKHTARI (2005) a obtenu des $R^2=0.83$ et des écart types résiduels S_{xy} , compris entre 1.48 et 2.15, pour la relation (HT- D_{130}). Ces résultats sont supérieurs à ceux que nous avons trouvés (R^2 (0.40, 0.69 et 0.71) alors que dans notre cas S_{xy} oscillent entre 2.7 et 3.17. Pour le modèle global, les résultats sont proches ($R^2 = 0.61$ et 0.64 , $S_{xy} = 2.28$ et 2.9).). D'une manière globale, à l'exception de la station de Tizi-Oufellah, les modèles fournissent une bonne précision comparativement aux résultats de la littérature (PAUWELS et al, 1999; DHOTE et HERCE, 1994).

Si nous comparons les résultats de DHOTE et HERCE (1994) issus sur le chêne sessile, les modèles obtenus sont de type de puissance ($R^2=0.66$) et hyperbolique ($R^2=0.85$ et $S_{xy}=1.46$), les valeurs R^2 trouvés dans nos stations avec des modèles polynomiaux et logarithmiques se situent entre ces deux résultats, quant à l'écart type résiduel il est d'autant plus élevé dans nos stations. et HOULLIER et al (1997) de leur côté, ont mis en évidence un modèle de croissance

en hauteur dominante ainsi que des tarifs de cubage, où les valeurs de R^2 dépassent 0.90 et $S_{xy} = 0.12$. D'autres auteurs ont opté pour des modèles allométriques et linéaires (BERGEZ et al, 1988 ; Deuleuse et al, 1996).

La relation (HT- $D_{1/2ht}$) est de type logarithmique pour la station de Sidi Brahim et polynomiale pour les stations de Tizi Oufellah et d'El Ainceur, la station de Tizi Oufellah se distingue par la faible précision ($R^2=0.28$; $S_{xy} =3.43$). La différence qui apparaît entre les stations peut s'expliquer par la différence de l'exposition, de l'altitude, ainsi que la structure des peuplements.

En outre la relation de type (V - HT) se caractérise d'un R^2 de 0.54 à 0.81 à l'échelle de station et de 0.76 à l'échelle globale avec un S_{xy} de 0.16 à 0.26. Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par MOOSMAYER (1957) in PARDE et BOUCHON (1988) par une fonction polynomiale de troisième degré ($R^2=0.98$, $S_{xy} =0.05$). Cependant la relation (V- D_{130}) enregistre des R^2 variant de 0.67 à 0.86. Par contre le modèle pour le $D_{1/2 ht}$ semble être le plus performant R^2 atteint le pic (0.99). Les résultats trouvés par PERGENT et al (2001) pour la prédiction du volume en fonction du diamètre D_{130} , sont supérieures à ceux que nous avons trouvés ($R^2 =0.92$) par contre les écarts types résiduels sont proches ($S_{xy} =0.29$).

Les relations de types (HT –DHP) ont fourni des R^2 situant entre 0.04 et 0.36 (annexe2). Les S_{xy} sont très élevés ($3.88 < S_{xy} < 4.59$). Quand à la relation (V-DHP) les précisions sont légèrement plus élevées ($0.18 < R^2 < 0.48$; $0.22 < S_{xy} < 0.48$). Malgré la faible précision obtenue dans la majorité des modèles établis en fonction de DHP, BECHTOLD (2003), in HESHMATOL VAEZEN (2006) de son côté a mis en évidence une liaison linéaire entre le D_{130} et le DHP, ce paramètre constitue une caractéristique importante dans la description d'un peuplement car il contribue dans la production ligneuse.

De nombreux auteurs (CURTIN, 1970 ; BERTRAND ET BRAGG, 2001 in HESHMATOL VAEZEN, 2006) considèrent en effet, le diamètre du houppier comme un bon indicateur de la vigueur d'un arbre et l'utilisent dans les modèles pour décrire la croissance potentielle. L'importance du houppier indique l'existence de traitement sylvicole antérieur subi par l'arbre. En effet, les peuplements ayant gardé une densité élevée présentent des sujets avec des houppiers peu développés, à l'inverse des arbres ayant davantage subi des éclaircies, bénéficient donc d'une cime très développée. En outre, le contact des cimes d'arbres est considéré comme un indicateur de l'intensité de la compétition.

RION-NIVERT (1981) in PARDE et BOUCHON (1988) note que l'influence de l'espacement est tributaire à l'intensité de la lumière et à la fertilité de la station en considération. BOUCHON (1995) souligne que les modèles dépendants des distances qui prennent en compte la répartition spatiale des arbres font appel à des indices de densité globale.

En revanche, la construction des modèles complexes à plusieurs variables nous a permis d'obtenir des R^2 élevé allant jusqu'à 0.98 pour le diamètre et le volume et 0.71 pour la hauteur et cela, quand on introduit toutes les variables explicatives à la fois dans un modèle. Ces résultats concordent avec ceux trouvées par PERGENT et al (2001) qui a trouvé des R^2 de 0.99 pour un modèle de prédiction du volume en fonction de la hauteur et du diamètre à 1.30m.

La modélisation de la hauteur en fonction de toutes les variables explicatives (D_{130} , $D_{1/2ht}$, DHP, ESPM et F) à l'échelle de station et de la forêt indique que le meilleur ajustement de cette variable est celui des stations de Sidi Brahim et El Aincur ($R^2=0.71$). En revanche, tous les modèles fournissent un coefficient de régression (b4) négatif pour la variable (DHP), ce qui explique que l'augmentation de la hauteur des arbres implique le ralentissement dans le développement du houppier (DHP), ces proportions sont liées directement à la densité et aux relations de concurrence entre les arbres des peuplements (DHOTE et HOULLIER, 1993). D'autre part l'ajustement du diamètre en fonction de l'ensemble des variables explicatives ($D_{1/2ht}$, DHP, ESPM, et F) nous a fourni des coefficients de détermination très élevé pour toutes les stations et la forêt d'Ath Ghobri (0.98 et 0.97), Par contre THEBAUT et al (2003) ont trouvé de R^2 entre 38.3 et 49.1% pour un modèle expliquant la circonférence. Pour ces modèles, il apparaît que le coefficient de régression (b3) expliquant la variation du coefficient de défilement (F) est négatif, cette relation inverse entre le (D_{130}) et (F) peut s'interpréter par le fait que toute augmentation de D_{130} réduit la décroissance de l'arbre. Cette constatation est aussi apparue dans les matrices de corrélation dans quelques placettes dans les stations de Sidi Brahim et Tizi Oufellah.

L'introduction de l'ESPM et DHP au même temps fournit des précisions peu acceptable, la variation expliquée est de (0.47 à 0.64) pour le diamètre D_{130} , de 0.35 à 0.50 pour le volume et de 0.20 à 0.64 pour la hauteur. BERTRANT (2001) in HESHMATOL VAEZEN (2006) a établi une relation parabolique entre le diamètre du houppier et le diamètre D_{130} avec un $R^2=0.95$. Ceci suit la logique de la croissance et du développement de l'arbre ; les arbres espacés (ESPM important) avantagent le développement global de l'arbre qui se caractérise par une biomasse du houppier importante. Cette dernière renforcerait l'activité photosynthétique par

conséquent une forte activité cambiale. L'addition de $D_{1/2ht}$ dans les modèles expliquant le D_{130} améliore suffisamment sa précision (0.74 à 0.87). Et l'introduction de D_{130} dans les modèles expliquant la hauteur améliore légèrement la situation ($0.61 < R^2 < 0.67$).

L'ajustement du volume en fonction des toutes les variables explicatives (HT, D_{130} , $D_{1/2ht}$, DHP, ESPM et F) donne de très bonne précision pour l'ensemble des peuplements testés. Les modèles établis rejettent globalement le diamètre du houppier, l'espacement et le diamètre à mi-hauteur ($b_2=b_4=b_5=b_6=0$). La prédiction du volume en fonction de ESPM et DHP ne fournit pas des coefficients de détermination élevé, mais l'association de la hauteur (HT) ou du diamètre D_{130} améliore leur ajustement ($0.68 < R^2 < 0.88$).

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail dont l'objectif principal est l'ajustement de modèles en vue de mettre en évidence les relations existantes entre les variables dendrométriques de *Quercus canariensis* Willd (Chêne zéen), trois zéenaies ont été inventoriées : Sidi Brahim, Tizi Oufellah et El Ainceur. Le choix de plusieurs placettes dans chacune des trois zéenaies et/ou stations a permis d'avoir une idée précise sur la structure des peuplements, les relations entre les variables dendrométriques le plus couramment utilisées en foresterie à savoir : la hauteur totale, la circonférence et le diamètre à 1.30m du sol, l'espacement entre les arbres, le diamètre du houppier qui exprime la biomasse de la couronne, le coefficient de défilement, le diamètre à mi-hauteur de l'arbre et le volume. L'utilisation des régressions simple et multiple a permis, en plus des relations déduites des corrélations, la construction de modèles de prédiction de la productivité des peuplements.

Il apparaît dans les trois stations que la structure élémentaire, au niveau placette d'inventaire, est régulière. Cependant, au niveau des stations, la structure globale est biaisée et ne s'apparente à la structure de la futaie régulière. En général, elles révèlent l'absence de symétrie, le plus souvent asymétrique à droite ou à gauche, caractéristique des formations forestière naturelle perturbées qu'elles soient d'ordre anthropiques (cas des opérations sylvicoles pratiquées dans le passé ou rattachées aux incendies de forêts remontant à des périodes récentes), et des différences de leurs coefficients d'aplatissement et du kurtosis. Cette tendance met en évidence des différences très prononcées des classes de diamètre, de circonférence et de hauteurs entre les placettes et entre les stations. Ces effets « placette » et « station » ont provoqué des différences de comportement au niveau de l'espèce d'où son impact sur l'ensemble des variables dendrométriques, à l'exception du diamètre du houppier et le coefficient de défilement pour Tizi Oufellah et de Sidi Brahim. Ces deux dernières démontrent la plus ou moins homogénéité du degré d'ouverture ou de fermeture de la chênaie caducifoliée d'Ath Ghobri. Pour El Ainceur, l'effet placette est discret par rapport à la majorité des caractères, sauf pour le diamètre du houppier et le facteur espacement entre les arbres.

L'étude des corrélations met en évidence l'interdépendance des variables dendrométriques prises en considération dans notre travail ; les liaisons déduites présentent un niveau de signification élevé. Elles expliquent que chacun des caractères évoluent de la même façon que l'autre, mais avec une amplitude de croissance différente. Cette dépendance est non linéaire entre les caractères ; l'évolution de l'une par rapport à l'autre s'effectue différemment et que la croissance s'effectue globalement lentement.

Les modèles obtenus, de types polynomial et logarithmique, le confirme fortement dans la régression simple. La part de dépendance expliquée par les divers modèles, établis à l'échelle de la station et de toute la forêt d'Ath Ghobri, est élevée ($R^2 > 0.60$) et les écarts types résiduels minimisés. L'ajustement de la relation entre les valeurs observées et les valeurs estimées par les modèles permet de conclure que les modèles retenus sont assez puissant pour qu'ils soient utilisés par les forestiers et gestionnaire dans le cadre des inventaires forestiers. Le modèle est validé dans la mesure où la reconstitution des données observations ne présente pas d'écarts significatifs par rapport aux résultats obtenus des modèles. De ce fait, le type de relation qui fournit une forte précision est celle liant le volume avec le diamètre à demi hauteur ainsi que le volume avec le diamètre à 1.30m du sol. En revanche, pour les modèles multiples, le R^2 le plus élevé et l'écart type résiduel le plus faible sont enregistrés au niveau des modèles estimés à l'aide de $D_{1.30}$ et du V (variables dépendantes) en fonction des autres variables, considérées comme variables indépendantes.

Bien que les trois stations étudiées appartiennent à la même forêt et soumises au même climat local, les divergences constatées entre les stations découleraient vraisemblablement de la diversité topographique et de structure des peuplements à l'échelle élémentaire (placette). Ces deux facteurs apparaissent moduler la croissance et le développement du Chêne zéen. Aussi, l'action de l'homme, très marquée dans certains endroits (coupes illicites et incendies) a joué un rôle défavorable ; la création de troués anciennes dans le peuplement a favorisé, dans certains cas, le facteur espacement d'où par conséquent l'étalement du houppier. Cette caractéristique est importante quand on sait qu'une forte biomasse du houppier stimule le pouvoir photosynthétique de l'arbre par conséquent il en résulte une forte activité cambium Donc l'aboutissement à des diamètres et circonférences plus importantes. Au contraire, dans les peuplements plus serrés et/ou à fortes densités, le Chêne zéen a tendance à développer sa croissance en hauteur, et ce suite aux compétitions pour la lumière au niveau de la cime. D'ailleurs, dans certaines placettes, le Chêne zéen aux stades perchis et haut perché, présente des hauteurs parfois égale ou supérieure aux arbres de la futaie. Cette situation non représentative et parfois discrète dans la forêt d'Ath Ghobri et que nous n'avons pas prise en compte lors des inventaires, n'a permis de tirer un diagnostic définitif sur l'interdépendance entre le facteur espacement et les variables hauteur, diamètre ou circonférence. La mise en évidence de cette interdépendance aurait permis d'établir les normes d'espacement idéal pour une meilleure conduite des peuplements de Chêne zéen. Bien qu'elle apparaisse à certains niveaux de la modélisation, elle ne peut être généralisée.

L'étude montre que les ajustements établis, toutes variables confondues, la forêt de Tizi Oufellah se discrimine des deux stations de Sidi Brahim et El Ainseur. Cette station diffère de ces deux stations du point de vue des conditions de milieu. Elle est plus en altitude, sur un relief plus accidenté et dans l'étage de végétation mésoméditerranéen. Il s'agit d'une futaie adulte dont l'âge moyen dépasse les 150 années, dépassant l'âge optimum d'exploitabilité. Bien que Sidi Brahim et El Ainseur soient géographiquement proches et qu'elles se situent dans le même étage de végétation (étage de séparation entre le thermo et mésoméditerranéen) et sur une même courbe de niveau, l'étude fait apparaître des divergences entre les deux stations. Si sur ce plan elles sont identiques, la différence entre les deux stations réside surtout au niveau topographique. El Ainseur est confinée dans un plateau ombrageux à pentes faibles alors que pour Sidi Brahim le relief est plus accidenté, plus ensoleillé. Eu égard à ces résultats, la proposition éventuelle d'aménagement de cette partie de la forêt d'Ath Ghobri doit tenir compte de la diversité topographique et de la structure élémentaire des peuplements. L'omission de ces facteurs pourrait biaiser l'estimation des volumes.

Par rapport à la littérature, les ajustements mis en œuvre pour la hauteur en fonction du diamètre et circonférence ne s'apparentent pas à ceux ajustés pour les chênaies caducifoliées d'Europe ; le plus souvent, les ajustements effectués ont donné des modèles de puissance ou exponentiel. A notre avis, la différence entre nos deux chênaies résiderait du fait que nous avons travaillé dans une formation naturelle et partiellement perturbée alors que dans l'autre rive de la méditerranée, il s'agit de forêt bien prise en charge.

Comme perspective, il est intéressant d'élargir ce même travail à d'autres cantons de la forêt d'Ath Ghobri et toute la forêt de l'Akfadou qui sont deux forêts en un seul tenant et couvrent environ 11000ha. L'idéal est de travailler dans les stations les plus homogènes possibles du point de vue topographique et de structure. Aussi, contrairement à ce travail, les ajustements ultérieurs doivent impérativement intégrer l'âge des arbres comme variables indépendantes. Pour l'estimation des volumes, pour une meilleure précision possible, il serait plus intéressant de faire appel aux techniques de calcul de volume par billonnage de manière à estimer l'erreur qui pourrait résulter de l'utilisation du diamètre à mi-hauteur de l'arbre et obtenu avec le Bitterlich. Dans le cadre de la typologie des stations de ces deux forêts, la mise au point d'un modèle intégrant les facteurs du milieu (pentes, exposition, altitude, type de sol, intensité de la lumière et climat) sera d'un apport important pour mieux appréhender l'interaction entre les facteurs dendrométriques et les facteurs du milieu responsables de la croissance et du développement. Il faudrait rechercher l'interaction génotype x milieu et ceci sera inscrit dans le contexte de l'amélioration forestière tout en créant un « pont » entre les variables

dendrométriques et ceux liées à l'amélioration génétique des espèces forestières, car toutes les règles adoptées par la sylviculture ou la plus part d'entre elles ont pour but d'améliorer l'environnement mais c'est sur le facteur interne, le génotype, que s'appuie l'amélioration proprement dite des arbres forestiers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDESLAME M., 1987-** Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de Djurdjura occidentale (Algérie). Rapport de D.E.A. Univ. De Toulouse. 74p.
- AIME S., BONIN G., CHAABANE A., LOISEL R., et SAOUDI H., 1986** – contribution à l'étude phytosociologique des zénaies de litorales Algéro- tunisien. Ecologia Méditerranæa. Tome XII.Fasc.3-4, pp.113-131.
- ALLALOU Y., 1986-** Contribution à l'étude préliminaire de quelques propriétés des sols forestiers de la Kabylie de Djurdjura. Mém. D.E.S. Inst. Bio. de Tizi-Ouzou.45p
- AMEELS, 1989** - Etude des technologies et anatomiques de *Quercus canariensis* Willd dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Béni- Ghobri en Algérie. Mém. Ing. Univ. Louvin. Belgique. 127 p.
- ANONYME, 1925-** fascicule de gestion. Forêt domaniale de Béni Ghobri, 25 p.
- ARICHE M., 1991-** Contribution à l'étude de la production de chêne zéen dans la forêt de Guerrouch en fonction des facteurs stationnels. Thèse. Ing. INA.EL Harrach, Alger, 34p.
- BAILLARGEON G., 2002-** Probabilité statistique et techniques de régression. Les éditions SMG.631p.
- BELABAS Z., 1997-** Contribution à l'évaluation de la disponibilité en azote minéral du sol d'une subéraie méditerranéennes sous *Erica arborea* et *Cytisus triflorus* : cas de la subéraie de Béni Ghobri (Willaya de Tizi-Ouzou – Algérie) 104p.
- BENABID A., 1984** -Etudes phyto sociologiques et phytoécologiques et leur utilité. Ann. Rech. Forest. Du Maroc, n° 24, pp3-35.
- BENTOUATI A., OUDJEHIB B., ALATOU D., 2005-** croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'alep (*pinus halepensis mill.*) dans le massif de ouled-yakoub et des beni-oudjana (khenchela –aures). Rev. Sci. et Tech. C-N°23. Univ. Mentouri Constantine, Algérie. pp : 57-62.
- BERKANE M., 1994-**Analyse du déséquilibre entre les ressources forestières et la consommation du bois en Algérie. Thèse doc. ENGREF, 243p.
- BERRICHI M., 1993-** contribution à l'étude de la production de la qualité du bois de trois espèces du genre *Quercus* : Chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lamk.) ; chêne liège (*Quercus suber* L.) et le chêne zéen (*Quercus faginea* Lamk.), cas des monts de Tlemcen. Thèse Magistère I.N.A., El -Harrach, Alger. 175p.
- BERTHIER B., 1984-**Fonctionnement d'un écosystème forestier : croissance, biomasse et productivité du compartiment ligneux épigé des taillis du chatignier (*Castina sativa* Mill) du sud est de la France. Th. Doc. univ. sc. Med. Grenoble p.
- BOUCHON J., 1979-** Structure des peuplements forestiers .Ann.Sci.For. : 175-209.

- BOUCHON J., 1995a-** : Concepts et caractéristiques des divers modèles de croissance. INRA. Champenoux : Journées Scientifiques de l'INRA, juin 1995. 12 p.
- Bouchon J. - 1995b** : Prise en compte des changements d'échelles en forêt. Séminaire "les modèles au CEMAGREF", CNRS Gif sur Yvette. 17 p.
- BOUDY P., 1948** - Economie forestière Nord-africaine. Milieu Physique et milieu humain. Ed. Larose. (Paris), 686 p
- BOUDY P., 1950-** Economie forestière Nord-africaine, Tome 2, Fasc. I, Ed. Larose, Paris. 575p.
- BOUDY P., 1952-** Guide du forestier en Afrique du Nord. Edition la Maison. Rustique, Paris. 505p.
- BOUDY P., 1955-** Economie forestière Nord Africain ; Tome 4, Ed. Larose.472p.
- BOUZELHA et BOUCHEK 1989** - Contribution à l'étude morpho-pédologique de la région de Beni- Ghobri. Mém. d'ing., Univ. De Tizi ouzou, 77 pages + annexes.
- CAMUS, 1938-1939** - Les chênes : Monographie du genre Quercus. Trois volumes .ed .lechevalier et fils ,1314p.
- CARPENTIER J.P., 1996-** Modélisation du rendement et de la production des Bétulaies jaunes à Résineux. Mém. Rech. For. N°121. Gouvernement du Québec, Direction de la recherche forestière. 235p.
- Centre technique Forestier Tropical (C.T.F.T),1970** – Résultats des essais effectuées sur les Chênes zéen et afarés d'Algérie.31p. + annexes.
- CHAVE J., 2000-** Dynamique spatiotemporelle de la forêt tropicale. Annphys.Fr.25 N°6.157p.
- COLIN F., HOULLER F., LEBAN J. M. et NEPVEU G., 1992** – Modélisation de la croissance des Arbres, des peuplements et de la qualité du bois. Rev. For. Fr. XLIV (2) : 248-254.
- COURBAUD B., HOULLIER F., RUPEC., 1993-** un modèle de croissance en hauteur des arbres en pessière pure irrégulière de montagne .Ann. Sci.For. 50 :337-351.
- COURBAUD B., GOREAUD F., DREYFUS PH. ET BONNET F.R., 2000-** Sylviculture et modèle de croissance dépendant des distances: mise en oeuvre du logiciel CAPSIS3 sur des pessières irrégulières de montagne. Rev. For. Fr. L II (5) : 542-439.
- DAGNELIE P. ; RONDEUX J. et THILL A., 1969-** Etude dendrométrique du frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.). Bull. Rech. Agron. N.s.-T IV,N°3-4,Gembloux. Pp 378-410.
- DAGNELIE P., 1973** - Théories et méthodes statistiques : Applications agronomiques. Volume 1 (Les statistiques descriptives et les fondements de l'inférence statistiques). Ed. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 362 p.

- DAGNELIE P., 1975 a-** Théories et méthodes statistiques : Applications agronomiques. Volume 2 (les Méthodes de l'inférence statistiques). Ed. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 378 p.
- DAGNILLIE P., 1975 b** - Analyse statistique à plusieurs variables. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 361 p.
- DAGNILLIE P. ; GRAYET J.P. ; RONDEUX J. et THILL A., 1978-** Estimation de la production forestière : principes et applications. Bul. soc. Roy. for. De Belgique pp 98-122.
- DAGNILLIE P., 1999-** Statistique théorique et appliquée T2, inférence statistique à une et à deux dimensions. univ. DEBOECK. 659p.
- DAHMANI M., 1997** – Le chêne vert en Algérie : syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse doc. Sci. BIO. veg., USTHB, Alger, 331p.
- DEL VILLAR, 1949** – Les Quercus de la section «galliferae» de l'Afrique du nord. In travaux botaniques dédiés à R. Maire. Mem H.S..Soc.Hist. Nat. Afr. Nord, 2, Alger, pp. 165-175.
- DERRIDJ A., 1990-** Etude des populations de *Cedrus Atlantica* Manetti en Algérie. Doctorat d'écologie, Univ. Paul Sabastier de Toulouse, 288p.
- DEULEUZ C., BLAUDEZ D., HERVE JC. 1996-** Ajustement d'un modèles hauteur – circonférence pou l'épicéa commun. Effet de la densité .Ann. Sci. For. Elsevier/INRA : 92-111.
- DHOTE J.F., et HOULLIER 1993-** Modélisation de la dynamique des peuplement forestier : niveau d'organisation, échelle spatiales et temporelles. Biométrie et environnement, société française de la biométrie. Ed. Masson (Paris), pp : 175-203.
- DHOTE J. F. et DE HERCE E., 1994** – Un modèle Hyperbolique pour l'ajustement de faisceaux de courbes hauteur – diamètre. Can. Jor. For. Vol 24 pp: 17-82
- DHOTE J. F., 1997** – Effets des éclaircies sur le diamètre dominants dans les futaies régulières du hêtre et de chêne sessile. Rev. For. Fr.XIIX (6) : 557- 577.
- Dhôte J.F. - 1998** : Modélisation de la dynamique des peuplements de grands feuillus sociaux. Applications à la sylviculture du Hêtre et du Chêne. Dossier de candidature à l'Habilitation à Diriger des Recherches, Nancy I. 101 p.
- DHOTE J. F., 1999-** Compétition entre classe sociale chez le chêne sessile et le hêtre. Numéro spécial : fonctionnement des arbres et écosystème forestier. Avancées récentes et conséquences sylvicoles. Rev. For. Fr. LI(2) : 309-324.
- DHOTE J. F., et HERVE J. C., 2000** – Changement de productivité dans quatre forêts de chêne sessile depuis 1930. Une approche au niveau des peuplements. Ann. Sci. For. 57 (7) :651-680.
- DUPLAT P. et PERROUT G -1981-** Inventaire forestier et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers. Sec. tech. de l'ONF. Fontaine bleu, 432p.

DUPLAT P., ET TRAN-HA M., 1997-modélisation de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile *Quercus petaea* Liebl. En France, variabilité inter régionale et effet de la période récente (1959-1993).Ann. Sci.For54(7) pp : 611-634.

DREYFUS P., 1993- sylviculture et modèle de croissance. Exemple du pin noir d'Autriche. Rencontres forestiers- chercheurs en forêt méditerranéenne. Ed. INRA (Paris) pp : 149-162.

DREYFUS P., 1999- Diversité des approches fonctionnelles de la dynamique et de la production des peuplements : intérêt pour la gestion sylvicole. Numéro spécial : fonctionnement des arbres et des écosystèmes forestiers Avancées récentes et conséquences sylvicoles. Rev. For. Fr. LI (2). Pp : 281-295.

EMBERGER L., 1939 - Aperçu général sur la végétation au Maroc. Travaux de botanique et d'écologie. Ed. Masson. 380p.

FERRAHI M.O., 1997- Variations spatiales et saisonnières des paramètres physico-chimiques du sol sous la subéraie de Yakouren et de l'Akfadou. Ann. INRF (n°1). Ed. INRF. Bainem (Alger) : 25-33.

GELARD M., 1978 - Carte géologique du nord -est la grande Kabylie .Ech .Ramo., Travaux du laboratoire associé au CNRS, N°157.

GOREAUD F. ; COLIGNY F. ; COURBAUD B. ; DHOTE J.F. ; DRYFUS PH. et PEROT T., 2005- La modélisation : un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt. Vertigo- Rev. Sc. env., v 6 n° 2,12p.

GOUNOT M., 1969- Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson et Cie, Paris ,365p.

GRECO, - Technologie forestière Algérienne. Notions sur les estimations forestières. Edition JOYEUX.

HAMMICHE A., 1978- Etude de relation entre le milieu stationnel et des caractéristiques dendrométriques des peuplements de *Quercus mirbekii*. Dur sur le versant nord de la forêt de l'akfadou ouest (w de Tizi Ouzou) Mem. Ing. Agr., INA, ElHarrach, Alger

HAROUNI F. et OUDNI H., 1991 - Application de l'analyse multifactorielle à la variabilité morphologique des populations de Chêne zéen (*Quercus faginea* Lamk.S.I)et du Chêne vert (*Qercus rotundifolia* Lamk) Approche taxonomique .Mém.Ing.Agr.Univr.de Tizi -ouzou Inst.d'agronomie.116p.

HESHMATOL VAEZEN S.M., 2006- Modèles économiques et gestion des peuplements réguliers, irréguliers ou en transition; illustration dans le cas du hêtre dans le nord-est de la France.Th. doc. ENGREF, INRA. 337p

KAOUANE A., 1987- Analyse dendrométrique d'un peuplement naturel de chêne zeen dans la foret de Gerrouhe (w de Jijel).Thèse ing. Agr. INA, Elhrrch, Alger. 80 p+ Annexes

- LAMRAOUI A., 2001**-Contribution à l'étude de la variabilité inter arbre de quelques caractères anatomique du bois de Chêne zéen *Quercus canariensis* Willd dans la forêt de beni Ghobri.56p
- LANIER L., 1986** –Précis de sylviculture. Ed. École nationale de génie rurale,des eaux et des forêts,Nancy(France)467p.
- LARRIBI M., 2000**- contribution à l'étude phytosociologique des formations caducifoliés à *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel du massif forestier d'Ath Ghobri et l'Akfadou (Grande kabylie). Thèse Maj. Univ. Mouloud Mameri (Tizi Ouzou),140p.
- LAPIE G., 1909** - Etude phytogéographique de la Kabylie du Djurdjura. Thèse Fac. des Sci. Univ. de Paris Ed Delagrave, 156p.
- LEFEBRE H. ,1900**- Les forêts de l'Algérie. Alger .438p.
- M'HIRIT O., 1982**- Etude écologique et forestières des céderais du Rif marocain. Ann. Rech. Forest. Maroc, 502p
- MAIRE R., 1926**- Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie .Gouver . Génér. Alg., Serv. Cart., Alger, 78p.
- MAIRE R., 1961** :- Flore de l'Afrique du nord. Vol. VII LECHEVALIER Ed Paris. 329P
- MAIRE R., 1963**- Flore de l'Afrique du Nord. Encyclopédie biologique. Vol. VII. Ed. LECHEVALIER. Paris. Pp.80-134.
- MARCHALL R., 1989**- Valorisation par tranchage et déroulage des bois de chênes méditerranéens (*Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Quercus suber*) Thèse docteur de L'INPL. 294P.
- MANSOUR M., 1984** – Détermination des Oïdium du Chêne zéen (*Quercus mirbickii* Dur.) de la forêt de Béni Ghobri de Tizi-Ouzou. D. E. S. en biologie végétale. Univ. Tizi-Ouzou.
- MEDOU R., 1993** : - Analyse phytosociologique de la chênaie caducifoliée mixte de la Tala-Kitane (Akfadou-Algerie). Ecologia Mediterranea, XIX(3/4).pp.1-9.
- MESSAOUDENE M., 1989** – Dendroécologie et productivité de *Quercus afares* Pomel et *Quercus canariensis* Willd dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Béni Ghobri en Algérie. Thèse de Doctorat Université D'Aix Marseille III, 123p.
- MESSAOUDENE M. ,1992**-Relation climat –croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd et de *Quercus Afares* Pomel dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghobri (Algérie). Annale INRF (2eme sem). Ed. INRF, Bainem (Alger) :3-27.
- MESSAOUDENE M. et TESIÈRE L., 1991**- Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd. Et *Quercus afares* Pomel. En Kabylie (Algérie). Ecologia Mediterranea XVII pp. 119-133.
- MESSAOUDENE M., 1995**-Régénération par rejet de souches de *Quercus canariensis* Willd et de *Quercus Afares* Pomel dans la forêt de l'Akfadou. Annale INRF (1^{er} sem). Ed. INR, Bainem (Alger) :77-92.

- MESSAOUDENE M., 1996-** Chêne zeen et Chêne afares. La forêt Algérienne (Fev- Mars n°1) Ed. INRF, Bainem (Alger) :18-25.
- MESSAOUDENE M., TAFER M., LOUKKAS A., et MARCHALR., 2008-** Propriété physiques du bois de Chêne zéen de la forêt des Ait Ghobri (Algérie). Gestion de la ressource ligneuse, Bois et forêt tropique N° 298(4) pp : 39-50.
- MOKHTARI, 2005 -** Modélisation de la croissance des peuplements du Chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) dans la forêt de Beni Ghobri (Yakourene) et de Souk Ahras. Th. Mag. Agr. INA, El Harrach, Alger. 100p + Annexes
- NEPVEU G., 1984-** Variabilité de la qualité de bois chez les peupliers. Quelques résultats récents de la recherche. Document à distribution limitée. INRA, CNRF, SRQB, NANCY, 11P.
- OZANDA P., 1954-** La température, facture de réparation de la végétation en montagne. Année biologique, III série, 31 (5-6), pp. 295-312.
- PALM R., 1986 -** Etude des résidus de régression : principes et application. Collection : note de statistique et d'informatique. Fac. sci. Agr. Gembloux.13p.
- PALM R., et CHENTOUF J., 1986-** Ajustement de faisceaux de courbes : Application au cas de Hauteurs d'arbres. Collection : note de statistique et d'informatique. Fac. sci. Agr. Gembloux.15p.
- PARDE et BOUCHON 1988-**dendrométrie, 2^{ème} ed. Ecole National des Génie Rural, des Eaux et des Forêts 282p+ annexes.
- PAUWELS D., THIBAUT A., LEJEUNE P. et RONDEUX J., 1999-** Elaboration de courbe de croissance en hauteur dominante pour les mëlèzes (*Larix decidua* Mill et *Larix kaempferi* (Lamb) carr.) en Belgique méridionale. Ann. Sci. For. 56(1), pp : 27-34.
- PAUWELS D., LEJEUNE P. et RONDEUX J., 2003-** Modèles de croissance pour les plantations de Mëlèze. Bio. Tech. Agr. Sci. Env. 7(2), pp : 87-97.
- PREGENT G., SAVARD F., DESAULNIERS G. 2001-** Tarif de cubage à diamètre et longueur variables, d'utilisation pour le pin gris en plantation au Quebec. Mémoire de recherche forestière N°139.31p.
- QEZEL P., 1999-** Biodiversité végétales des forêts méditerranéennes, son évolution éventuelle d'ici à trente ans. Forêts méditerranéennes, Tome (1) : 73-79
- QUEZEL P., et SANTA S., 1962 -** Nouvelles flores de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. C.N. R. S., 2 tomes, Paris. 1170p.
- QUEZEL et MEDAIL, 2003-** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen .Ed ELSIVIER .SAS. 571 p.
- QUEZEL P. et BONIN G., 1980 :-** Les forets de feuillus du pourtour méditerranéen , conservation écologique ,situation actuelle ,perspectives, Rev.For.Fra.1982(3) PP. 253-268.

- QUEZEL P., 1956** : - Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. Mem. Soc. hist. Nat. Afri. Du nord, 57 p.
- Rondeux J., 1993**- La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Ed .Les presses Agronomiques de Gembloux, (Belgique), 521p.
- SANDERS D.H., MURPH A.F. et ENG R.J. 1984**- Les statistiques, une nouvelle approche. Ed. Mc Graw - hill (Canada), 418p.
- SEIGUE A., 1985**- La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maison neuve et Larose, 502 p.
- SMAIL J., 1988** – Traité de pathologie végétale. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux. 621p.
- STEWART Ph., 1974**- Cours de sylviculture. I. N. A. El Harrach. 74p.
- TAFER M., 2000** - Contribution à l'étude de la variabilité stationnelle de la qualité du bois de *Quercus canariensis* Willd dans la forêt de Beni Ghobri (Tizi-ouzzou). 104p +annexes.
- THIBAUT A., RONDEUX J. et CLAESSENS H., 2002**-Indice de fertilité pour les peuplements de Douglas [*Pseudotsuga manziessii* (Mirb.) Franco] en Belgique. Les cahiers de forestier de Gembloux N°16.ISSN. 12p.

Annexe I

Tableau XIV : Synthèse des corrélations à l'intérieure des placettes de Tizi Oufellah

Placette1		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 13	D _{1.30}		0,84***				
	D _{1/2 HT}		0,65**	0,63*			
	DHP		-	0,58*			
	ESPM		-	0,65**			
	V		0,79***	0,74**	0,94***	-	0,64**
Placette 2		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 14	D _{1.30}	-					
	D _{1/2 HT}		-	0,82***			
	DHP		-	0,57*			
	ESPM		-	0,62**	-	0,80***	
	F		-	-	-	-0,60*	
V		-	0,79***	0,98***	-	-	-
Placette 3		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 18	D _{1.30}		0,58**				
	D _{1/2 HT}		-	0,74***			
	DHP		-	0,74***	0,69***		
	ESPM		-	-	-	-	
	F		-0,57**	0,83***	-		
V		0,59**	0,62**	0,93***	0,71***	-	-
Placette 4		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 14	D _{1.30}		0,70**				
	D _{1/2 HT}		0,75***	-			
	DHP		-	0,87***	0,61*		
	ESPM		-	0,7**			
	F		-	0,69**			
V		0,79***	-	0,98***	0,56*	-	0,70**
Placette 5		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 13	D _{1.30}	-					
	D _{1/2 HT}		-	0,88***			
	DHP		-	0,53*	0,59*		
	V		-	0,88***	0,98***	-	-

Placette 6		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 12	D _{1.30}	-					
	D _{1/2 HT}	-	0,91***				
	DHP	-	0,91***	0,73**			
	ESPM	-	-	-	-		
	F	-	-	-	0,83**		
	V	-	0,76**	0,99***	0,71**	-	0,81***

Tableau XV : Synthèse des corrélations par placettes dans la station Sidi Brahim

Placette 1		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 16	D _{1.30}	0,53*					
	D _{1/2 HT}	0,48*	0,83***				
	DHP	-	-	0,48*			
	V	-	0,82***	0,98***	-	-	-

Placette 2		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 12	D _{1.30}	-					
	F	-	-0,67***	0,74***			
	V	0,59*	-	0,95***	-	-	0,73***

Placette 3		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 09	D _{1.30}	-					
	DHP	-	0,89***	0,63***			
	F	-	-0,72*	-			
	V	-	-	0,93***	-	-	-

Placette 4		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 08	D _{1.30}	0,80**					
	D _{1/2 HT}	0,86**	0,74*				
	F	-	-	0,69*	-		
	V	0,77*	0,69*	0,96***	-	-	-

Placette 5		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 07	D _{1.30}	0,85**					
	D _{1/2 HT}	0,71*	0,89**				
	DHP	-	0,73*	-			
	V	0,84**	0,92***	0,97***	-	-	-

Placette 6		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 25	D _{1.30}	0,80***					
	D _{1/2 HT}	0.72***	0.83***				
	DHP	0.42*	0.72***	0.69*****			
	F	-	-	0.72***			
	V	0.68***	0.78***	0.96***	0.71***	-	0.68***

Placette 7		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 16	D _{1.30}	0,73***					
	D _{1/2 HT}	0.72***	0.78***				
	DHP	-	0.80***	0.66**			
	V	0.95***	0.75***	0.98***	0.68***	-	-

Placette 8		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 10	D _{1.30}	0,80***					
	D _{1/2 HT}	0.59***	0.86***				
	DHP	-	0.76***	0.72***			
	V	0.76***	0.93***	0.97***	0.74***	-	-

Placette 9		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 29	D _{1.30}	0,69***					
	D _{1/2 HT}	0.76***	0.82***				
	DHP	0.54***	0.74***	0.71****			
	F	-	-	0.38**			
	V	0.71***	0.82***	0.98***	0.67***	-	-

Placette 10		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 30	D _{1.30}	0,70***					
	D _{1/2 HT}	0.76***	0.79***				
	DHP	-	0.54**				
	ESPM	-	0.37*	-			
	F	-	-	0.71**			
	V	0.75***	0.79***	0.97***	-	-	0.64*

Tableau XVI : Synthèse des corrélations par placettes dans la Station d'El Ainceur

Placette 1		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 1	D _{1.30}	0,73**					
	D _{1/2 H}	0.60*	0.80****				
	DHP	0.69**	0.73****	-			
	V	0.58*	0.81****	0.96****	0.71****	-	-
Placette 2		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 12	D _{1.30}	0,89****					
	D _{1/2 H}	0.89****	0.94****				
	DHP	0.53*	0.70****	0.61*			
	F	0.72**	0.67**	0.87****			
	V	0.84****	0.93****	0.97****	0.56*	-	0.79
Placette 3		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
DDL :15	D _{1.30}	0,87****					
	D _{1/2 HT}	0.83****	0.96****				
	DHP	0.53*	0.71**	0.72****			
	F	-	0.50*	0.71****	0.51*		
	V	0.89****	0.94****	0.96****	0.70**	-	0.57*
Placette 4		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 18	D _{1.30}	0.91****					
	D _{1/2 HT}	0.94****	0.98****				
	DHP	0.77*	0.85****	0.85****			
	F	0.84****	0.71****	0.81****	0.62		
	V	0.89****	0.98****	0.97****	0.86****	-	0.69****
Placette 5		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 15	D _{1.30}	0,90****					
	D _{1/2 HT}	0.92****	0.96****				
	DHP	0.53*	0.62**	0.70****			
	V	0.88****	0.93****	0.96****	0.70**	-	-
Placette 6		HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
Ddl : 18	D _{1.30}	0,70****					
	D _{1/2 HT}	0.63****	0.90****				
	DHP	-	0.65****	0.66****			
	F	-	-	0.57**	-		
	V	0.67****	0.88****	0.98****	0.66**	-	0.55*

Tableau XVII : Matrice de Corrélation des données des trois stations.

Tizi Oufellah	HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
D _{1.30}	0,59***					
D _{1/2 HT}	0,49***	0,78***				
DHP	0,20*	0,65***	0,46***			
ESPM	-	0,40***	0,25**	0,29***		
F	-	-	0,45***	-	-	
V	0,62***	0,77***	0,95***	0,42**	0,24**	0,38**

Ddl : 94 ; $\alpha = 5\%$ (0.17) ; $\alpha = 1\%$ (0.23) ; $\alpha = 1\%$ o (0.42)

Sidi Brahim	HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
D _{1.30}	0,80***					
D _{1/2 HT}	0,81***	0,90***				
DHP	0,53***	0,77***	0,73***			
ESPM	0,46***	0,62***	0,61***	0,56***		
F	0,33***	0,17*	0,56***	0,25***	0,23**	
V	0,79***	0,86***	0,94***	0,67***	0,56***	0,46***

Ddl : 180 $\alpha = 5\%$ (0.145) ; $\alpha = 1\%$ (0.19) ; $\alpha = 1\%$ o (0.24)

El Ainceur	HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
D _{1.30}	0,81***					
D _{1/2 HT}	0,81***	0,92***				
DHP	0,48***	0,70***	0,63***			
ESPM	0,20**	0,18*	0,19**	0,19**		
F	0,42***	0,28***	0,61***	0,18*	0,10	
V	0,80***	0,89***	0,96***	0,57***	0,24***	0,54***

Ddl : 94 ; $\alpha = 5\%$ (0.145) ; $\alpha = 1\%$ (0.19) ; $\alpha = 1\%$ o (0.24)

Forêt d'Ath Ghobri	HT	D _{1.30}	D _{1/2 HT}	DHP	ESPM	F
D _{1.30}	0,78***					
D _{1/2 HT}	0,77***	0,90***				
DHP	0,43***	0,67***	0,62***			
ESPM	0,33***	0,48***	0,44***	0,42***		
F	0,28***	0,13**	0,53***	0,15***	0,11**	
V	0,76***	0,85***	0,94***	0,57***	0,41***	0,43***

Annexe II

Résultats de la régression simple de la variable hauteur (HT) en fonction de la circonférence ($C_{1.30}$), du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$) et diamètre du houppier(DHP). Légende : T.O=TiziOufellah ; SB=Sidi Brahim ; ElA : El Ainkeur ; AG=Aït Ghobri).

Type	station	Modèle	R ²	S _{xy}
HT - D₁₃₀	T.O	$HT = 1.2 (D_{130}) - 0.01 (D_{130})^2 - 7.8$	0.40	3.17
	SB	$HT = 10.49 \log (D_{130}) - 14.5$	0.69	2.7
	El A	$HT = 1.02 (D_{130}) - 0.01 (D_{130})^2 + 1.01$	0.71	3.04
	AG	$HT = 0.0007 (D_{130})^2 + 0.81 (D_{130}) + 3.2$	0.64	2.98
HT - D_{1/2ht}	T.O	$HT = - 0.01 (D_{1/2ht})^2 + 1.02 (D_{1/2ht}) + 4.8$	0.28	3.43
	SB	$HT = 8.74 \log (D_{1/2ht}) - 4.8$	0.70	3.05
	El A	$HT = 1.2 (D_{1/2ht}) - 0.02 (D_{1/2ht})^2 + 4.9$	0.71	2.71
	AG	$HT = 8.29 \log (D_{1/2ht}) - 3.66$	0.64	3.01
HT – DHP	T.O	$HT = 2.5 \log (DHP) + 17.22$	0.04	3.88
	SB	$HT = 6.93 \log (DHP) + 6.36$	0.28	3.92
	El A	$HT = - 0.23 (DHP)^2 + 5.165 (DHP) - 5.1$	0.36	4.59
	Glob	$HT = 8.29 \log (DHP) - 3.6$	0.20	4.27
HT-espm	T.O	$HT = 2.6 \log (ESPM) + 17.99$	0.02	5.23
	SB	$HT = 5.66 \log (ESPM) + 12.47$	0.20	3.2
	El A	$HT = 0.39 (ESPM)^2 - 3.4 (ESPM) + 26.5$	0.03	3.4
	AG	$HT = 4.6 \log (ESPM) + 13.8$	0.10	3.5
HT- F	T.O	$HT = 18.15 (F) + 23.7(F^2) + 19.33$	0.02	6.5
	SB	$HT = 4.63 \log (F) + 24.43$	13.05	5.03
	El AI	$HT = -23.8(F)^2 + 36.2(F) + 9.03$	0.25	3.5
	AG	$HT = -22.17 (F)^2 + 30.7 F + 12$	0.11	5.46

Annexe II

Résultats de la régression simple de la variable volume (V) en fonction de la Hauteur (HT) circonférence ($C_{1.30}$), du diamètre ($D_{1.30}$) et du Diamètre ($D_{1/2ht}$) et diamètre du houppier (DHP).

Légende : T.O=TiziOufellah ; SB=Sidi Brahim ; ElA : El Aincur ; AG=Aït Ghobri).

Type	station	model	R ²	Sxy
V- HT	T.O	$\text{Log V} = 0.95 \log (\text{HT}) + 3.03$	0.54	0.16
	SB	$\text{Log V} = 1.6 \log (\text{HT}) - 3.18$	0.78	0.21
	El A	$\text{Log V} = 1.7 \log (\text{HT}) - 3.3$	0.81	0.26
	AG	$\text{Log V} = 1.61 \log (\text{HT}) - 3.09$	0.76	0.24
V- D₁₃₀	T.O	$\text{Log V} = 2.36 + \log (D_{130})$	0.67	0.14
	SB	$\text{Log V} = 1.21 \log (D_{130}) - 2.34$	0.86	0.22
	El A	$\text{Log V} = 1.3 \log (D_{130}) - 2.7$	0.87	0.25
	AG	$\text{Log V} = 1.21 \log (D_{130}) - 2.34$	0.86	0.23
V - D_{1/2ht}	T.O	$\text{Log V} = 1.05 \log (D_{1/2ht}) + 2.6$	0.94	0.15
	SB	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) - 1.04$	0.98	0.13
	El A	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) - 1.04$	0.98	0.09
	AG	$\text{Log V} = 1.07 \log (D_{1/2ht}) - 1.39$	0.99	0.16
V - DHP	T.O	$\text{Log V} = 5.33 + 0.33 \log (\text{DHP})$	0.18	0.22
	SB	$\text{Log V} = 0.9 \log (\text{DHP}) - 0.2$	0.48	0.34
	El A	$\text{Log V} = 1.24 \log (\text{DHP}) - 0.9$	0.44	0.47
	Glob	$\text{Log V} = 0.86 \log (\text{DHP}) - 0.02$	0.36	0.40
V-ESPM	T.O	$\text{Log V} = 5.51 + 0.30 \log (\text{ESPM})$	0.06	0.23
	SB	$\text{Log V} = 0.7 \log (\text{ESPM}) + 0.6$	0.32	0.39
	El A	-	-	-
	Glob	$\text{Log V} = 0.84 + 0.61 \log (\text{ESPM})$	0.17	0.5
V - F	T.O	$\text{Log V} = 6.26 + 0.29 \log (\text{F})$	0.12	0.25
	SB	$\text{Log V} = 0.7 \log (\text{F}) + 2.3$	0.31	0.40
	El A	$\text{Log V} = 0.8 \log (\text{F}) + 2.4$	0.48	0.47
	Glob	$\text{Log V} = 0.73 \log (\text{F}) + 2.3$	0.34	0.44

Résumé :

Le but du travail consiste à mettre en évidence les différentes relations qui pourraient exister entre les variables dendrométriques, par les méthodes des corrélations, régressions simples et multiples. L'étude a été réalisée dans la forêt d'Ath Ghobri, située dans la zone bioclimatique Humide à variante tempérée.

Au totale 3 stations ont été choisies et 22 placettes ont été matérialisées selon la méthode d'échantillonnage stratifié progressif. Les variables prises en considération sont : la hauteur totale (HT), le diamètre à 1.30m (D_{130}), la circonférence (C_{130}), le diamètre à mi hauteur ($D_{1/2ht}$), le diamètre du houppier (DHP), l'espacement moyen (ESPM), le coefficient de défilement (F) et le volume (V).

Les résultats obtenus montrent que le modèle logarithmique et le modèle polynomiale prédominent pour les ajustements de la HT, et le modèle logarithmique domine pour l'ajustement du volume.

Quant aux régressions multiples, il apparaît que les modèles à plusieurs variables explicatives expliqueraient mieux les variables dépendantes.

Mots clés : *Quercus cannaiensis* Willd (Chêne zéen), modélisation, station, Ath Ghobri, Algérie.

Abstract:

The study aimed to characterise different relations may exist between dendrometric variables, by correlation's methods, simple regressions and multiple regressions. The study was carried out in the area of Ath Ghobri forest which has a humid bioclimate with temperate variant.

Tree stations were chosen, and 22 sample plots have been sorted according to the progressive stratified sampling method. The variables were taken into account are: total height (HT), circumference (C_{130}), diameter at 1.30m (D_{130}), Diameter at $\frac{1}{2}$ ht ($D_{1/2ht}$), Diameter of the humpier (DHP), defilement coefficient (F) and volume (V).

The obtained results proved that the polynomial and logarithmic models appeared to be dominant in the adjustment of total height. For the adjustment of volumes the logarithmic model appears prominent.

For the multiple regressions, the models with a large number of variables are the best, to express the relationship between dependent and independent variables.

Key words: *Quercus cannaiensis* Willd, modelisation, station, Ath Ghobri, Algeria.

ملخص:

الهدف من العمل المقدم يكمن في البحث عن العلاقات الموجودة بين المتغيرات المأخوذة بعين الاعتبار. عن طريق نماذج نمو أحادية و متعددة المتغيرات عند بلوط الزان *Quercus cannaiensis* Wild في منطقة أث غبري ذات مناخ رطب و معتدل. تم اختيار 3 محطات و 22 وحدات قياس، قمنا بقياس الطول الكلي للشجرة (HT)، قطر الجذع (D_{130})، محيط الجذع (C_{130})، قطر الجذع في نصف طول الشجرة ($D_{1/2ht}$)، قطر القسم العلوي للشجرة (DHP)، المسافة بين الأشجار (ESPM) وحجم الشجرة (V). النتائج المتحصل عليها تظهر أن النموذج اللوغاريتمي و كثير الحدود هما الأكثر دقة لشرح طول الشجرة، أما لشرح حجم الشجرة النموذج اللوغاريتمي هو الأكثر رجوحا. فيما يخص نماذج نمو المتعددة المتغيرات لشرح الطول، القطر و الحجم تبين أن كثير حدود بعدد أكبر من المتغيرات يعطي لنا دقة أكبر للمتغيرات المذكورة.

كلمات مفتاح:

Quercus cannaiensis Willd، تمثيل نموذج، وحدة، محطة، أث غبري، الجزائر.