

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU



Faculté des sciences de la nature et de la vie, des sciences
de la terre et de l'univers
Département des sciences agronomiques et forestières

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention de Diplôme de

Master

Spécialité : Écologie forestière

THEME

Modélisation de la structure et de la croissance du
chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) dans la
forêt d'Akfadou-Ouest (Tizi-Ouzou)

Présenté par : **FELLAK Yacine**

Devant le jury composé de :

Président : **Mme KROUCHI Fazia**

Encadreur : **Mr RABHI Khellaf**

Examineur I : **Mme AMIRAT Yassina**

Examineur II : **Mr GUETTAS Ali**

Professeur à l'U.M.M.T.O

Maitre de conférences 'A' à l'UMMTO

Maitre-assistant 'A' à l'UMMTO

Attaché de recherche à INRF

Soutenue le : / /2020.

Remerciements

Avant tout je remercie Dieu tout puissant, le Clément et le Miséricordieux pour toute sa bonté. Il m'a donné la force, la santé, les moyens et le courage pour accomplir ce travail que j'espère être utile.

*Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadreur «**Mr KHELLAF RABH**», Maître de conférences 'A' au département des sciences Agronomiques, faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques à l'université de Tizi-Ouzou (U.M.M.T.O) pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin ce mémoire. sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Il a été très patient lors de mes questions. Ses explications et ses conseils ses recommandations, son soutien et surtout ses critiques constructives m'ont été d'une grande aide à structurer ce travail. Je lui dois une immense reconnaissance et un très grand respect.*

*Je remercie également mon équipe de terrain, «**Mr KHELLAF RABH**» et mon oncle «**B. MOUHAMED**», avec qui les mesures sous la pluie se sont déroulées dans les meilleures conditions.*

*Je remercie aussi «**A. NASRINE**» qui m'a accompagné tout au long de la structure de ce document.*

*Je remercie profondément «**Mme KROUCHI FAZIA**» professeur au département des sciences Agronomiques, faculté des Sciences Biologiques et des sciences Agronomiques à l'université de Tizi-Ouzou (U.M.M.T.O) qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de soutenance, malgré ses innombrables taches et activités.*

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à «*Mme AMIRAT YASSINA*», Maître Assistant 'A' au département des sciences Agronomiques, faculté des Sciences Biologiques et des sciences Agronomiques à l'université de Tizi-Ouzou (U.M.M.T.O) d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie monsieur *A GUETTAS*, attaché de recherche à INRF, pour l'honneur qu'il me fait d'avoir accepté d'examiner ce travail

Je tiens aussi à exprimer mes plus profondes gratitude à l'ensemble du corps enseignants de foresterie qui ont contribué à ma formation de Master 2 en spécialité d'écologie forestière sous la responsable *Mme KEROUCHI FAZIA*, à qui j'adresse vigoureusement mes sincères remerciements

Mes vifs remerciements vont à tous les amis, et collègues qui n'ont pas cessé de m'encourager même par un mot pour l'achèvement de ce travail



Dédicaces



Au symbole de tendresse et de sympathie mon cher père

AKLI et ma chère mère NADIA pour leurs amours et ses sacrifices.

A mes chers frères : NORDINE & SALIM

A mes chères sœurs : ZAHIRA, KAMILIA & TINHINANE

A toute ma grande famille, voisine et voisine.

*A Mes amis de travail et d'études qui ont été toujours présents durant la
préparation de ce travail : NASRINE &*

MOUHAMED

A tous mes collègues (promotion de science et écologie forestière)

A tous mes amis,

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce modeste travail.

YACINE FELLAH



SOMMAIRE

Partie I : Etudes bibliographique

Chapitre I : généralités sur le chêne zéen

Introduction.....	1
I.1. Place taxonomique du chêne zéen	4
I.2. Répartitions géographique	5
I.2.1. A l'échelle mondiale	5
I.2.2. Aire de répartition en Algérie	5
I.3. Caractéristiques de l'espèce	6
I.3.1. Caractéristiques botaniques et dendrologiques	6
I.3.2. Caractéristiques anatomiques, technologiques et chimiques	9
I.4. Exigences écologiques	10
I.4.1. Conditions climatiques et bioclimatiques	10
I.4.2. Altitudes et étages de végétation	11
I.4.3. Facteurs édaphiques	12
I.4.4. Substrats	12
I.5. Associations du chêne zéen	12
I.6. Régénération de l'espèce	13
I.7. Sylviculture et aménagement	14
I.8. Ennemies et facteurs de dégradations	14
I.9. Incendie	15
I.10. Utilisation	15

Chapitre II : Milieu physique

II.1. Présentation juridique et géographique de la forêt d'Akfadou	18
II.2. Aperçus géologique, pédologique et géomorphologique	19
II.3. Elément climat et bioclimat	19
II.4. Végétation	21

Partie II :Etude expérimentale

Chapitre I : Matériel et Méthodes

I.1 Approche méthodologique d'acquisition de connaissance	25
I.2 Type d'inventaire	25
I.3. Réalisation de l'inventaire	25
I.3.1 Phase de préparation de l'inventaire sur carte	26
I.3.2.Phase de matérialisation sur le terrain	26
I.4. Récolte des données.....	27
I.4.1. notion de la station et récolte des données stationnelles	27
I.4.2. Mesure des caractéristiques dendrométriques	27
I.4.2.1. Instruments utilisés.....	28
I.4.2.2. Données dendrométriques collecté	29
I.4.2.2.1. Données quantitatives.....	29
I.4.2.2.2. données qualitatives	31
I.5. Traitement des données.....	32
I.5.1. Calcule de coefficient dendrométrique.....	32
I.5.1.1. Le coefficient d'aplatissement (kurtosis).....	32
I.5.1.2 le coefficient d'asymétrie (Skewenss).....	32
I.5.2. Analyse descriptive	33
I.5.2.1. Etude de la normalité des populations	33
I.5.2.2. Analyse de la structure horizontale et verticale des peuplements	33
I.5.2.3. Comparaison des moyennes des peuplements par placette	34
I.6. Objectifs du travail et méthodologie de la modélisation	34
I.6.1. Matériels et méthodes de modélisation de structure	35
I.6.1.1. Structure de peuplement.....	35
I.6.1.2. Loi de la distribution	35
I.6.1.2.1. Distribution de Weibull	36
I.6.1.2.2. Distribution normale	36

I.6.1.3. Estimation des paramètres	37
I.6.1.4. Appréciation de la qualité du modèle	38
I.6.2. Matériels et méthodes de la modélisation de la croissance en hauteur	38
I.6.2.1. Hauteur de peuplement.....	38
I.6.2.2. Méthode de construction de modèle	39
I.6.2.3. Présentation du modèle hyperbolique de Dhôte et de Hercé (1994)	40
I.6.2.4. Hauteur dominante	41
I.6.2.5. Ajustement des modèles	42
I.6.2.5.1. Le coefficient de détermination (R^2).....	42
I.6.2.5.2. Carré moyen résiduel (CMR)	42
I.6.2.5.3. Akaike information criterion (AIC).....	43
I.6.2.5.4. Analyse des résidus	43
I.6.2.5.5. Analyse graphique.....	43
I.6.3. Evaluation de compétition.....	44
I.6.3.1. Compétition des peuplements.....	44
I.6.3.2. Projection horizontale de houppier	44
I.6.3.3. Indice de compétition	46
I.6.3.3.1. Le facteur de compétition des houppiers	47
I.6.3.3.2. Indice de REINEKE (IR) ou encore Stand Density Index	48
I.6.3.3.3. Facteur d'espacement de HART-BECKING	49

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1.1 Analyse descriptive des données dendrométriques	53
II.1.1.1 La hauteur	53
II.1.1.2 La circonférence	54
II.1.1.3. Paramètres dendrométriques des variables (Hauteur-Circonférence).....	54
II.1.1.4. Longueur des branches de houppier	57
II.1.1.5. Les espacements des arbres.....	59
II.1.2. Analyse d'égalité des moyennes des peuplements (ANOVA)	60

II.1.3. Etude descriptive de la densité et de la structure des peuplements	61
II.1.3.1. Description statistique de la densité	61
II.1.3.2. Etude de la structure des peuplements.....	62
II.1.4. Résultats et interprétation de la modélisation des variables dendrométriques	63
II.1.4.1. Modélisation de structure des peuplements par placette.....	63
II.1.4.1.1. Estimation des paramètres.....	63
II.2.4.1.2. Interprétation des résultats	64
II.1.5. Construction de modèle de croissance en hauteur et hauteur dominante.....	66
II.1.5.1. Calcul de la hauteur dominante (h_0)	66
II.1.5.2. Modèle hyperbolique de DHOTE et de HERCE	67
II.1.5.3. Qualité des ajustements et validation des modèles	68
II.1.5.3.1 Analyse arithmétique	68
II.1.5.3.2. Analyse graphique	69
II.1.5.4. Validation des modèles	70
II.1.6. Résultats d'évaluation de la compétition par placette	71
II.1.6.1. Projection horizontale de houppier.....	71
II.1.6.2. Indice de compétition.....	73
II.1.6.2.1. Estimation de facteur de compétition des houppiers	73
II.1.6.2.2. Indices de compétition de REINEKE (IR), HART-BECKING (IH) et de TOME et BURKHART (IC)	74
II.2. Discussion des résultats	79
II.2.1. Structure de peuplement	79
II.2.2. Modélisation de la structure de peuplement	80
II.2.3. Modélisation de croissance en hauteur et en circonférence	82
II.2.4. Evaluation de la compétition inter-placette	83
Références bibliographiques	88

Résumé

Liste des Figures

Figurepage

Figure I.1 : répartition de chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i> WILLD) dans le monde	5
Figure I.2 : Répartition de Chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i> WILLD).....	6
Figure I.3 : Face inférieure et face supérieure de la feuille de chêne zéen.....	8
FigureI.4 :Glande de chêne zéen.....	8
FigureI.5 :Bourgeonde chêne zéen.....	8
FigureI.6 : écorce de chêne zéen.....	8
Figure I.7 : Inflorescence de chêne zéen.....	9
Figure I.8 : les différents bioclimats méditerranéens: 4-Céderais, 5-zeenais, 6-Pinedes de pin d'Alep.....	12
Figure I.9 : Localisation de massif forestier d'akfadou-ouest.....	19
Figure I.10 : Projection météorologique sur le climagramme d'EMBERGER de massif forestier d'Akfadou	21
Figure I.11 : Diagramme ombrothermique pour le point d'altitude moyenne de la forêt d'Akfadou.....	22
Figure II.12 : Loclisation de centre des placettes sur carte	26
Figure II.13 : mesure de circonférence à la hauteur de poitrine (CHP) à l'aide de mètre-ruban.....	31
Figure II.14 : prélèvement des carottes de sondage à l'aide de la tarière (sonde) de Pressler à hauteur de poitrine.....	32
Figure II.15 : Représentation graphique de modèle hyperbolique (à trois paramètres).....	44
Figure II.16 : Rayons obtenus par projection horizontale d'une couronne.....	48
Figure II.17 : Tracé de la normalité des données empiriques (circonférence) à l'échelle des Placettes.....	56
Figure II.18 : Tracé de la normalité des données empiriques (hauteur) à l'échelle des Placettes.....	56
Figure II.19 : la normalité de la variable R1.....	57

Figure II.20 : la normalité de la variable R2.....	59
Figure II.21 : normalité des distances des arbres de centre de la placette.....	59
Figure II.22 : Figure II.21: Répartition des tiges de peuplement de chêne zéen en fonction des classes de circonférence ($C_{1.30m}$) et de hauteur (h) à l'échelle des placettes.....	61
Figure II.23: Structure en circonférence par placette échantillonnées avec surimposition de la distribution Normale.....	64
Figure II.24: Structure en circonférence par placette échantillonnées avec surimposition de la distribution Weibull.....	66
Figure II.25 : Évolution de la structure en fonction de la circonférence (cm).....	66
Figure II.26 : La tracée de la droite d'henry et la Hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour Tala-Kitane.....	68
Figure II.27: La tracée de la droite d'henry et représentation de la hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour la placette d'Avrid-Iharkane.....	71
Figure II.28: La hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour la placette de Tacherchourt.....	72
Figure II.29: La compétition des houppiers à l'échelle des placettes.....	72
Figure II.30 : Variation des indices de compétition de REINEKE (IR) par placettes.....	76
Figure II.31: Variation des indices de compétition de HART-BECKING (IH) par placettes.....	56
Figure II.32 : compétition en fonction de la surface terrière (g_m)(ha/an).....	78

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau I.1 : caractéristiques botaniques du chêne zeen.....	7
Tableau I.2 : les compositions chimiques de bois de chêne zeen.....	10
Tableau II.3 : les instruments utilisés pour réaliser l'étude.....	28
Tableau II.4 : les données prise en compte pour l'etude.....	29
Tableau II.5 : fiche présentative des paramètres de terrain dans le massif forestier d'Akfadou-ouest.....	33
Tableau II.6 : caractéristiques stationnelles et dendrométrie des deux placettes étudiées au massif forestier d'AKFADOU ouest.....	54
Tableau II.7 : Données dendrométriques sur le chêne zéen à l'échelle des placettes échantillonnées.....	60
Tableau II.8 :Résultats des mesures dendrométriques de longueur de houppier.....	61
Tableau II.9 : Variation des espacements des individus de l'arbre centre de la placette.....	63
Tableau II.10 : Analyse de la variance à un facteur d'égalité des moyennes des variables (hauteurs-circonférences, espacements, R) des peuplements échantillonnées.....	64
Tableau II.11 : Répartition des tiges en classe de circonférence d'amplitudes de 16cm.....	65
Tableau II.12 : Répartition des arbres par catégorie de hauteur d'amplitude égale de 5m.....	68
Tableau II.13 : Paramètres et valeurs des distributions : normal, weibull et l'indiced'ajustement.....	69
Tableau II.14 : Hauteur dominante à l'échelle des placettes.....	71
Tableau II.15 : Estimation des paramètres du modèle de DHOTE et de HERCE.....	73
Tableau II.16 : Ajustement de la qualité des modèles au niveau de confiance : 95,0% ($\alpha=0,05$).....	74
Tableau II.17 : présentation des résultats dendrométriques calculé.....	75
Tableau II.18 :Représentation des résultats de surface et d'indices de forme estimés.....	76
Tableau II.19 : Résultats d'estimation du facteur de concurrence des cimes (F.C.C) pour le chêne zéen.....	75
Tableau II.20 : Résultats d'estimation des indices de compétition (IR et IH).....	77

Liste d'abréviations

α : alfa

β : beta

C° :Celsius

σ : sigma

CHP (cm) : circonférence à la hauteur de la poitrine,

Dist (m) : espacement (distance) entre arbre et le centre de la placette.

γ : gamma

H (m) : hauteur totale

HAPD

Km: kilomètre.

K° : kelvin

m: mètre.

mm: millimètre.

MXVS : maximum de vraisemblance

N°: numéro d'arbre

Pro 01 : première projection de houppier au sol

Pro 02 : deuxième projection de houppier au sol.

π : pi (quotient constant à 3.14).

% : pourcentage

° : degré

Σ : la somme

Introduction

Classiquement, les forêts caducifoliées sont considérées comme caractéristiques d'un étage supra-méditerranéen, qu'elles définissent d'ailleurs (Ozenda, 1975, Quézel, 1976), se développant au-dessus des forêts sclérophylles de type eu-méditerranéen, et au-dessous des forêts généralement à conifères (Pins noirs, Cèdres, Sapins méditerranéens), permettant de définir l'étage montagnard méditerranéen (Quézel, Bonin, G, 1980) ; elles ont fait l'objet d'agressions multiples se traduisant par l'exploitation arbustive et l'anthropisation excessive de ses chênaies, ce qui a induit une atténuation de leurs surfaces initiales.

Face à l'importante croissance connue des agressions humaines contre son milieu naturel. Une prise de conscience collective a donné lieu à de nouvelles orientations mondiales pour le maintien de la biodiversité et le développement durable des écosystèmes ou l'intérêt écologique des essences prime sur leur valeurs économiques (Laribi, 2000)

L'Algérie fait partie intégrante du bassin méditerranéen, l'un des berceaux des plus anciennes civilisations au monde et l'une des régions où les ressources naturelles (faune, sol, végétation) ont fait l'objet de sollicitations précoces (Louni, 1994).

La chênaie caducifoliée en Algérie occupe une aire près de 65 000 ha. Elle est essentiellement constituée par les deux espèces *Quercus canariensis* Willd et *Q. afares* Pomel (Louni, 1994; Messaoudene et Tessier, 1996). Les forêts de l'Akfadou (Algérie) en parc naturel régional, présentent un attrait touristique réel, en sus d'une production ligneuse et subéri-cole soutenue (Messaoudene, 1991). Offrent un paysage botanique excentrique et très diversifié, lié aux circonstances du climat, du sol et du relief. Sur une superficie d'environ 12 000 ha (Rabhi, Ket Messaoudene, 2013), les forêts constituées essentiellement des peuplements de chêne afares (*Quercus afares* Pomel), de chêne liège (*Quercus suber* L.) et de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) essence dominante jusqu'à 1 646 m d'altitude, où il occupe environ 45% de la superficie boisée. Ces peuplements présentent une mosaïque d'âges divers (Messaoudene, 2007).

Dans le contexte de l'aménagement forestier et de l'application des traitements sylvicoles adéquats, 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 fixation du potentiel de production de cette essence par niveaux constitue le point de passage obligé de la construction de tables de productions adaptées à la sylviculture moyenne observée et ultérieurement à divers types de traitements qui pourraient être préconisés

(Thibault et *al.*, 1995). De ce fait, la construction et ajustement des modèles, l'un des besoins majeurs de la planification des aménagements forestiers, est une étape nécessaire pour la classification des peuplements forestiers selon la qualité du site et la prédiction de leur évolution (Palahi et *al.*, 2004).

Malgré les évolutions importantes, observées au niveau des techniques de modélisation dans le domaine forestier (Houllier et *al.*, 1991), les modèles de type peuplement, qui sont apparus les premiers (Munro, 1974), connaissent encore de nos jours une grande popularité auprès des forestiers. Ces derniers décrivent l'évolution au cours du temps des variables globales (volume par hectare, nombre de tiges par hectare, circonférence moyenne, hauteur dominante,...) pour

des peuplements équiennes et mono-spécifiques, en fonction du niveau de fertilité et éventuellement du type de sylviculture (Dahneli et *al.*, 1988).

L'absence d'étude sur la dynamique globale des peuplements de *Quercus canariensis* (Willd.) dans la forêt d'Akfadou depuis les fortes exploitations des années 1940, pose le problème de la connaissance et de l'évaluation de la production en bois (Rabhi et Messaoudene, 2013).

Pour contourner cet inconvénient, nous proposons dans cette étude dendrométrique la construction de modèles de répartition des tiges et de croissance hauteur – circonférence pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou-Ouest. Qui vise à réduire les contraintes de croissance et de développement en grosseur et en hauteur des arbres qu'on peut lier aux compétitions subis.

Ainsi, le présent document est structuré en deux parties, la première est consacrée à la revue théorique englobant toutes les notions de base et les généralités sur le thème étudié qui comporte deux chapitres :

- 1er chapitre concerne les généralités sur le chêne zéen ;
- 2em chapitre élabore les notions sur le milieu physique.

La deuxième partie de ce travail est réservée à l'expérimentation comportant deux chapitres :

- Le premier dit « matériels et méthodes » présente le matériel utilisé et les méthodes suivies pour la construction des modèles ainsi les démarches suivies des analyses statistiques d'ajustement, qui est de même scindé en cinq sous-chapitres qui sont comme suit:

- ✧ Type d'inventaire de la collecte des données;
- ✧ Traitement des données « description statistique » ;
- ✧ Modélisation de la structure des peuplements;
- ✧ Modélisation de la croissance en hauteur et en circonférence;
- ✧ Evaluation de la compétition inter-placettes.

- Le deuxième dit « résultats et discussions » afin de pouvoir ressortir avec une conclusion finale sur l'étude réalisée.

Partie I

Etude Bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le Chêne zéen

I.1. Place taxonomique du chêne zéen

Le chêne zéen présente une difficulté d'identification systématique d'autant qu'il s'hybride facilement, ce qui due à un polymorphisme foliaire extraordinaire. (Maire, 1961 ; Achhalal,1980;Zine El abidin et Fennane, 1995).

En Algérie (Quezel et Bonnin, 1980) reconnaissent l'existence de *Quercus canariensis*Willd, ajoutons le travail de Haroune et Oudni(1991), à travers une étude sur les variables morphologiques des populations du chêne zéen et celui de chêne vert, qui ont confirmé l'existence de deux sous espèces en Algérie telle que *Quercus canariensis* Willd et *Quercus tlemsensis*. Du point de vue systématique à la lumière des données actuelles (Zine El Abidine, 1987 et Harouni et Oudni, 1991), il convient de nommer le chêne zeen de l'Afadou *Quercus faginea*. *Subspcanariensis* ou tout simplement de le nommer *Quercus canariensis*Willd, ceci pour des raisons d'antériorité (Quezel et Bonnine 1980 ; Benabid, 1984).

Position systématique : Zine El abidine (1987), a proposé d'intégrer l'ensemble des formes de chêne zéen au sien d'une seule espèce collective *Quercus faginea* Lam S.L, laquelle est subdivisée en :

- *Quercus faginea*subsp. *eu-faginea* Maire.
- *Quercus faginea*subsp. *tlemcenensis* Maire et Weiller.
- *Quercus faginea*subsp. *canariensis*Willd.

Actuellement la classification adoptée par Arramon (2001), pour le chêne zéen est :

- Règne : végétaux.
- Embranchement : spermaphytes.
- Sous embranchement : angiospermes.
- Classe : dicotylédones.
- Sous classe : apétales.
- Ordre : fagales.
- Famille : fagacées.
- Genre : *Quercus*.
- Espèce : *Quercus canariensis*Willd.

I.2. Répartitions géographiques

I.2.1. A l'échelle mondiale

Le chêne zéen se limite à la rive sud-occidentale de bassin méditerranéen territoire ibéro-magrébin (Achahl et al, 1980 ; Tassin, 2012). L'aire de distribution, est localisé dans la péninsule ibérique dans l'est et sud d'Espagne, en Portugal, en Afrique du Nord, en Algérie, au Maroc et dans les montagnes Tunisiennes et quelque fois dans le sud-est de France (Zulueta,1980 ; Cebalos et Ruiz de la terre, 1971 ; GBIF.org, 2019 in AABDELDJALIL AISS, 2019). C'est en Algérie que les belle futaies du chêne zéen se rencontrent (Boudy, 1950 ; Laribi, 2000). Comme est illustré dans la (figure I.1) qui représente la répartition de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) dans le monde.

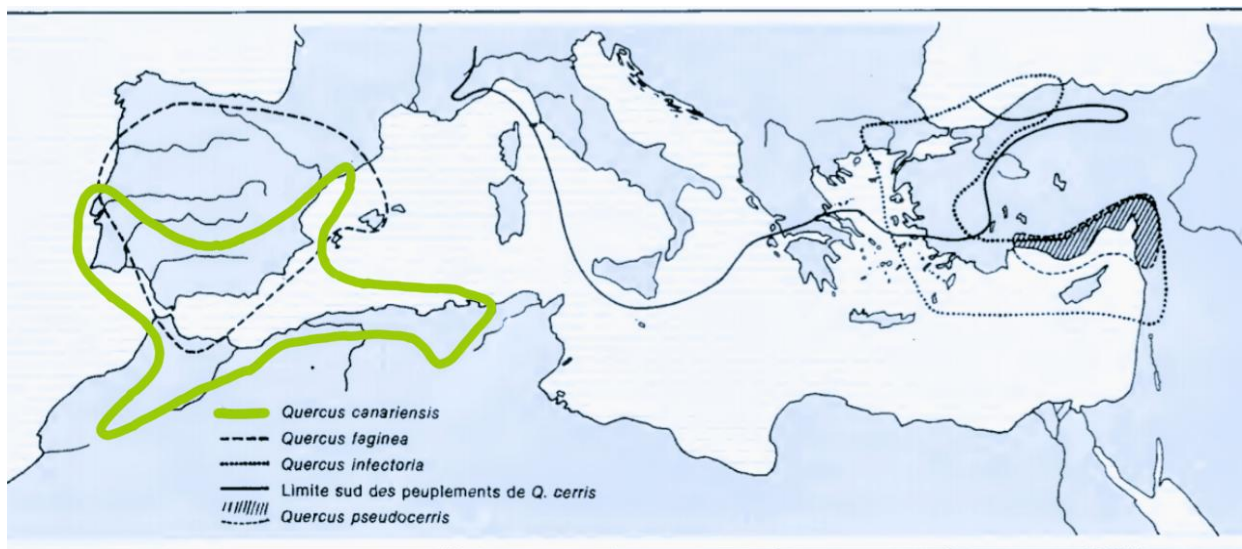


Figure I.1: répartition de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) dans le monde (Quézel et Bonin, 1980).

I.2.2. Aire de répartition en Algérie :

En Algérie la répartition de chêne zéen est montagnarde occupant ainsi une place très importante qui couvre 6500 ha (Messaoudene et Tessier, 1991), en couvrant presque les massifs montagneux septentrionaux. Les plus importants peuplements se rencontrent principalement dans la région numidienne (Boudy, 1952) notamment de très beaux peuplement et les plus vigoureux à base de *Quercus canariensis* Willd sont répartis allant de la Kabylie jusqu'à la frontière Tunisienne (Zerizer A, et Mensseri A, 2003), ainsi en petite Kabylie (massif des Babor, Tamesgida, Kefrida, Tassentout) sur la portion orientale de la grande Kabylie plus précisément à la forêt d'Akfadou et Ath-Ghobri (Laribi et al, 2008 ;

Messaoudene et al, 2008). On les distingue aussi dans la région de Jijel (forêt de Guerouche), à Annaba (forêt de l'Edough) (Homelt, 2013), à l'extrême et sur la montagne de Medjerda djebel El-Chora en continuité avec la Koumrie en Tunisie, à El Taref (Gourak) et dans la forêt domaniale d'OuledBechiche à Souk Ahras.

Des peuplements à l'état disséminés sont localisés dans la région de Tenes, Thniet Elhad, Cherchel, Chrea, Djurdjura, l'Aures et le Hodna (Maire, 1961 ; Medour, 2010). Ainsi des boisements de moindre importance s'observent à Skikda (El-Koll) et à Annaba (l'Edough), d'autres très réduits sont éparpillés sur presque tous les massifs montagneux algériens (Quezel, 1956). La figure ci-dessous montre la répartition de chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) en Algérie.

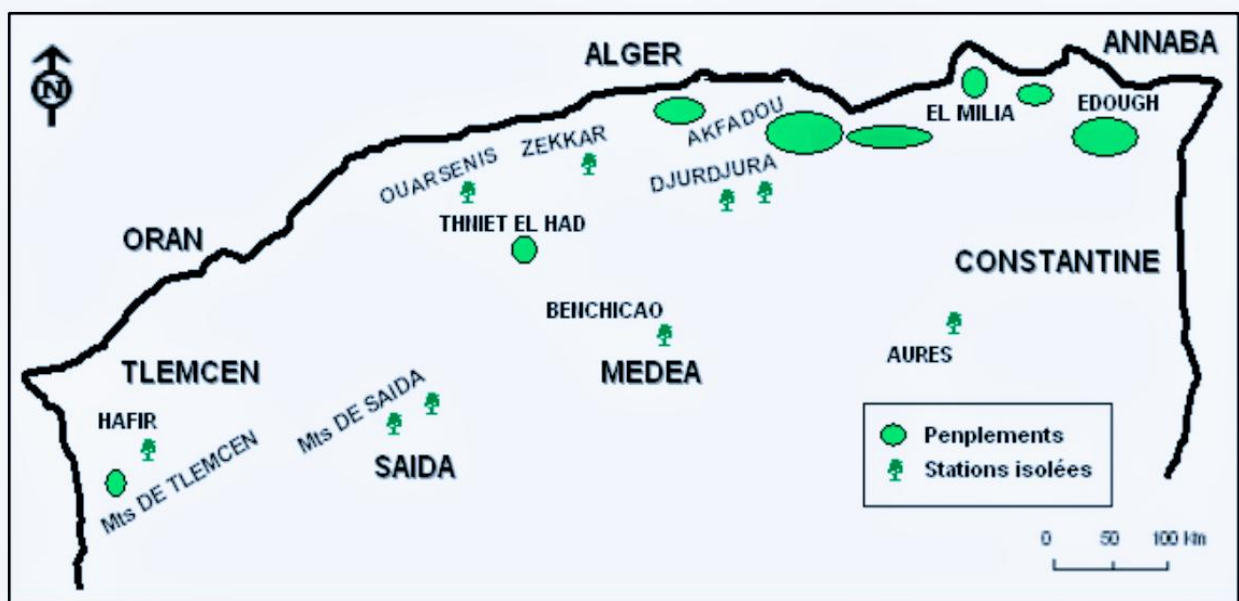


Figure I.2 : répartition de chêne zéen (*Quercus canariensis* WILLD) en Algérie (RABHI.K, 2011).

I.3.Caractéristiques de l'espèce

I.3.1.Caractéristiquesbotaniques et dendrologiques

Le chêne zéen est caducifoliées (Quezel et Bonnin, 1980), qui est une espèce monoïque peuvent atteindre plus de 30m de hauteur et un diamètre allant de 1.30 à 2m du sol. Accroissement en hauteur estimé de 1.2 à 1.5 m/an, avec un fut très élancé et un houppier étalé en peuplement claire et fastigié dans les formations très denses. Les arbres de chêne majestueux, âgé de 550 années dont la circonférence peut atteindre 8m dans des bonne conditions favorables. (Tafer, 2000 ; Messaoudene, 2008).

- **Synthèse des caractéristiques botaniques de chêne zéen :** Le chêne est une espèce solide plus au moins couverte sur de grandes surfaces par un lichen qui permet d'identifier à distance. L'ensemble des caractéristiques botaniques du chêne sont présentées dans le tableau I.1 ainsi ces caractéristiques sont bien illustrés dans les figures I.3, I.4, I.5, I.6 et I.7.

Tableau I.1 : caractéristiques botaniques du chêne zeen (Roux et Thinon,1988; Maire et *al.*,1963; Messaoudene, 2008; Tafer, 2000; Sarir R,2016, Med-Patrimonium).

Désignations	caractéristiques botaniques
Feuilles	Semi-sempervirente, alternes, présente plusieurs forme obovales, lancéolées, ovale et elliptiques plus au moins auriculées a la base mesurant 10 à 15 cm en longueur et 6 à 8 cm en largeur. (Figure I.3)
Bord du limbe	Est sub-lobé ; divisions plutôt aiguës (Figure I.3).
Poil du limbe	Uniquement sur la face inferieure, brun roussâtre très tôt caduc (Figure I.3).
Nervure principale	Saillante claire a la face inférieure sont de 8-15cm, (Figure I.3).
Fleur	Inflorescences entre avril-mai dès l'âge de 15ans. Chaton mal : 4-8cm de longueur a rachis velus, périanthe à 6 lobes laciniés. Fleur femelle : sur pédoncule court, à périanthe pubescent, campanulé à 6 lobes(Figure I.7).
Fruit	Gland à cupule peu profonde couvrant 1/3 de fruit, de longueur de 20-40mm et 10-15mm de diamètre, agglomérés par 2 à 3 glands.écailles courte (Figure I.4).
Rameaux	Gris-vert très pubescent glarbe et lisse a lenticelles abondantes (Figure I.6).
Bourgeon	Coniques de 7mm environ à écailles brun pale recouvertes de poils blanc et ciliée sur les bords (Figure I.5).
Ecorce	Gris-brun, lisse les premières années puis crevasse rapidement (Figure I.6).
L'enracinement	profond, pivotant et puissant. Les racines sont non drageonnantes.



Figure I.3 : Face inférieure et face supérieure de la feuille de chêne zéen



Figure I.4 : Gland de chêne zéen.

Figure I.5 : bourgeon de chêne zéen.



Figure I.6 : écorce et branche de chêne zéen.



Figure I.7 : Inflorescences de chêne zéen.

I.3.2.Caractéristiques anatomiques, technologiques et chimiques

✓ **Caractéristiques anatomiques**

Messaouden et *al* (2008), signalent que, le chêne zéen présente des cernes entement distincts avec un bois initial de dross vaisseaux alignés en bandes tangentielles et isolés les uns des autres et de 1 à 4 assises de pores, le bois final est formé de vaisseaux nettement plus petits et de tailles variables (0,042 à 0,192 mm), composé de pores disposés en plages radiales étroites en forme de flamme. Le bois présente de gros ligneux multi séries (1/5) et de petits rayons unisériés nombre de 36/5, des bandes de parenchyme (tissu de réserve) d'une épaisseur de 0,021mm, des fibres qui sont très nombreuses dans le bois final de longueur moyenne de 1,545mm irrégulièrement réparties et à trajet rectiligne- oblique présentant des zones poreuses très importantes qui augmentent et diminuent avec la largeur du cerne. (Ameels, 1989; Haddad, 1990).

✓ **Caractéristiques technologiques**

Le bois est une matière ligneuse, compacte et sans doute le matériau le plus anciennement utilisé par l'homme. Produit de la nature, il ne nécessite pas pour la mise en oeuvre peu d'énergie. C'est un matériau hygroscopique dont le comportement mécanique et fortement dépendant des échanges hydriques avec le milieu ambiant (Grossman, 1976 in Osaifouni, 2012).

De point de vue technologique le chêne zéen possède le bois le plus dense avec une valeur de retrait volumique totale moyennement élevée plus de 15% présentant ainsi une rigidité plus grande avec un module d'élasticité supérieure à 21,86% à des caractéristiques proches des autres chênes (Haddadou 2012).

Le bois de chêne zéen sur le plan physico-chimique est dur, retrait radiaux et tangentielle important et plus au moins médiocre ce qui limite son utilisation (Louni, 1994). Il fait partie de la catégorie des bois à fort retrait, nerveux à très nerveux et de mi-lourd à lourd, la sévérité de ces contraintes physiques dévalorisent le bois de l'essence, il est distingué par rapport aux bois de chêne méditerranéen et européens par sa faible anisotropie qui est un caractère indicateur de la stabilité dimensionnelle de son bois (Messaoudene, 2008).

✓ Composition chimique de bois de chêne zéen

La composition chimique de bois de chêne de zéen est résumée dans le tableau I.2.

Tableau I.2: les compositions chimiques de bois de chêne zéen (Haddadou, 2012)

Désignation	Duramen	Aubier	écorce
Cellulose (%)	44,3	43,78	30,28
Hémicelluloses (%)	25,8	29,86	14,09
Lignine (%)	22,16	20,87	29,27
Taux de cendres (%)	0,05	2,07	12,97
Extractibles (%)	7,69	3,42	13,39

I.4. Exigences écologiques

Du point de vue écologique le chêne zéen a des exigences très strictes et ne forme des peuplements que dans des stations humides à forte quantités de précipitation. Il est par contre indifférent à la nature physico-chimique du sol, son déterminisme est surtout bioclimatique (Achhaletal., 1980 et Zine El Abidine, 1988). Il a une tendance marquée par l'envahissement des peuplements par d'autres essences, notamment le chêne liège (Seigue, 1985) ce qui permet sa localisation surtout sur les hauteurs. Aux basses altitudes on trouve le chêne zéen dans les dépressions cuvettes ou en taches dans les ravins à bilan hydrique relativement favorable ou encore sur les versants exposés au nord (Quezel, 1956 ; Messaoudene, 1996 ; Zine El abidine, 1988).

I.4.1. Conditions climatiques et bioclimatiques

Le chêne zéen a un rôle souvent subordonné, dans les peuplements forestiers de la variante froide. Il peut aussi se développer dans le subhumide frais, et il n'est pas absent de l'humide chaud.

Son optimum de production est atteint dans le supra-méditerranéen (Quezel et Medail, 2003 ; Messaoudene et Tessier et al, 1996 ; Zine El abidine, 1988).

Les peuplements apparaissent avec des précipitations annuelles supérieures à 800mm/an (Boudy, 1955 ; Med-Patrimonium). Ne prenant son développement optimal que dans les zones de 100mm/ans voir plus, la nébulosité et le brouillard favorisent son développement, il est résistant vis-à-vis le froid, le vent violent, la neige. Les amplitudes thermiques de 8°C à

14°C et peut supporter des minima de -8°C voir -10°C (Maire,1926 ; Mhiri et Blerot,1999).les différents bioclimats méditerranéens sont illustrés dans la figure I.8.

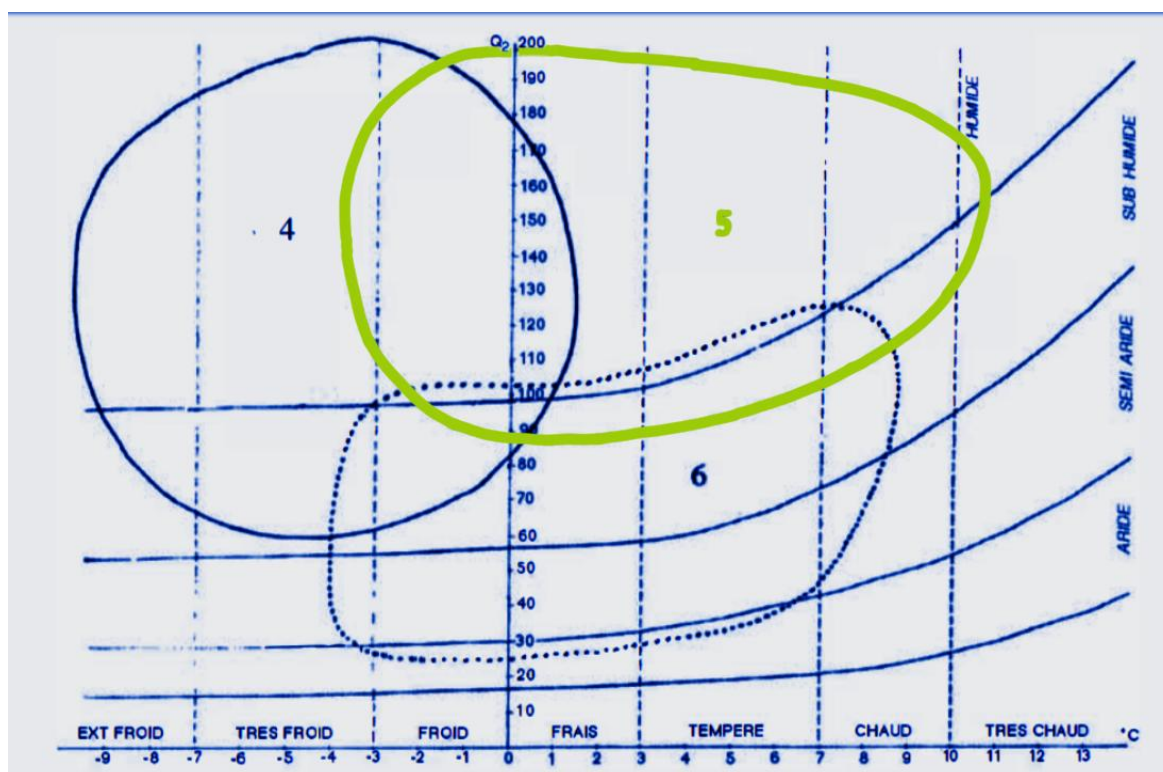


Figure I.8 : Les différents bioclimats méditerranéens : 4 - Cédraies, 5 -Zénaies, 6 - Pinèdes de pin d'Alep (Bonin, 1994).

I.4.2. Altitudes et étages de végétation

Classiquement, les forêts caducifoliées sont considérées comme caractéristiques d'un étage supra-méditerranéen, qu'elles définissent d'ailleurs (Ozenda, 1975 in Quezel et *al.*, 1980), se développant au-dessus des forêts sclérophylles de type Eu-méditerranéen, et au-dessous des forêts généralement à conifères (Pins noirs, Cèdres et Sapins méditerranéens), permettant de définir l'étage montagnard méditerranéen. En Algérie, le chêne zéen se trouve jusqu'à une altitude de 2000m (Babors), les peuplements les plus importants se situent dans la tranche 1000m à 1600m. En Kabylie, il s'étend entre 800m et 1646m d'altitude (Djebel Zen) (Messaoudene, 1989 ; Alatou, 1984) soulignent que le chêne zéen trouve son optimum de développement dans un niveau altitudinal supra-méditerranéen, comme il n'est pas absent aux étages de végétation des thermo-méso-méditerranéen (Medour, 1993 ; Laribi, 2000).

I.4.3. Facteurs édaphiques

Du point de vue édaphique le chêne zéen semble indifférent à la nature physico-chimique du sol, prospère aussi bien sur le sol calcaire que siliceux toute fois l'importance des peuplements augmente avec la profondeur des sols et bien aérés, craint L'hydromorphie même temporaire (Messaoudene, 1989 ; Kalid, 1999). Le chêne zéen; une espèce intéressante pour les régions où il n'ya pas d'autre espèces (Ruiz De La Terre, 1971 in AabdeldjalilAissa, 2019).

I.4.4. Substrats

Le chêne zéen prospère relativement dans les substrats à grès numidien et il s'accommode dans les sols siliceux et profonds (Emberger, 1939). Il se développe sur presque tous les substrats à l'exception des argiles des roches dures et les sols salés (Maire, 1926) ; empêche la régénération et la pénétration des racines en profondeur.

I.5. Associations du chêne zéen

L'association de la végétation naturelle est considérée comme le meilleur intégrateur de tous les facteurs écologiques responsables de leurs répartitions, cette dernière ne se porte pas seulement sur les groupements arborescents, elle s'étend systématiquement aux autres formations végétales, celle arbustive et herbacée (Beguín et *al.*, 1979 in Laribi, 2016 ; Santa et *al.*, 1950).

Les formations du chêne zéen ont fait l'objet de plusieurs travaux phytoécologiques et phytosociologiques et plusieurs groupements ont été décrits. Parmi ces travaux, nous citons (Achahl et *al.*, 1980 ; Barbero et *al.*, 1981 à 2001 ; Benabid, 1982 et Boukil., 1984).

Vu son élasticité écologique le chêne zéen ne se présente pas à l'état pur mais plutôt apparaît associé à de nombreuses espèces forestières.

- **En état arborescent**

Le *Quercus canariensis* Willd se trouve mixte avec *Quercus suber*, *Quercus afares*, en haute altitude se partage avec *Cedrus atlantica* ; et ainsi partage l'espace avec *Quercus ilex*, *Abies numidica*, *Acers obtusatum* et *campestris*... (Zine El Abidine 1988 ; Laribi, 2008).

- **En formation arbustive**

Le chêne zéen en strate arbustive est accompagnée d'un sous-bois généralement clair dont le degré de recouvrement peut toute fois atteindre 50%, de plus il est constitué par *Cytisustriflorus*, *Erica arborea*, *Mytuscommunis*, *Crataegus monogyna*, *Robusincanescens* et

Tamuscommun, Accompagnées des thermophiles *Genistatricuspidata* et le *Robusulmifolius* occupe les vides ensoleillés (Debazac, 1959).

- **Formation herbacée**

La formation hédéracée est plus au moins complète, la litière essentiellement est formée de feuille de chêne zéen ; très abondante précisons que le chêne zéen à une marcescence très marqué (Debazae, 1959).

La formation en strate herbacée de *Quercus canariensis* Willd caractérise les espèces suivantes comme Les taxons les plus répandus de cette association sont *Alliaria officinalis* Andr., *Carex silvatica* Huds., *Doronicum atlantica* (Chabert) Rouy, *Lathyrus niger* (L.) Bernh., *Myosotis alpestris* Schm., *Potentilla micrantha* Ramond, *Senecio perralderianus* (Coss.) Dur., *Vicia ochroleuca* Spreng (Laribi, 2000). Omniprésente sont *Asphodelus microcarpus* Salzmann et Viv., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. B., *Carex distachya* Desf., *Chrysanthemum fontanesii* (B. et R.) Q. et S., *Dactylis glomerata* L., *Eryngium tricuspdatum* L., *Festuca atlantica* Duv., *Galium rotundifolium* L., *Linaria reflexa* Desf., *Melica minuta* L., *Moehringia trinervia* Clairv., *Satureja vulgaris* (L.) Fritsch., *Specularia perfoliata* A. DC. Et *Teucrium kabylicum* Batt. (Messaoudene et al., 2007; Laribi, 2000).

I.6. Régénération de l'espèce

La remonté biologique de chêne zéen est abondamment assurée par semis ou par rejet de souche, sa croissance est plus rapide que le chêne liège.

Comme toutes les essences feuillues, le chêne zéen se multiplie soit par voie de régénération naturelle ou bien par régénération artificielle.

- Régénération naturelle: par gland est très avantageuse car elle permettra de faire évoluer progressivement les peuplements dans une continuité dynamique de maturation en offrant une forte capacité de résistance au attaque parasitaire (Letrouche, 2009). Comme il se régénère par semis qui peut se produire sans la présence d'un sous-bois, qui fait d'ailleurs à peu près défaut où est très réduit ; c'est l'un des rares cas de ce genre que l'on puisse signaler (Boudy, 1950 in BABALI, 2014), par rejet de souche ; il rejette vigoureusement d'une manière générale, la grande partie des arbres issus de ce mode de régénération croissent naturellement plus vite que les brins de semence, et par drageon.
- Artificiellement ou régénération assistée: Messaoudene (1989) se fait par plantation ou des semis direct ; qui consiste à semer directement les glands dans une parcelle préalablement préparé.

I.7. Sylviculture et aménagement

Les principes fondamentaux de la sylviculture sont basés sur les lois de la biologie végétale ; demeurant les mêmes quelque soit la région envisagée.

La régénération, qui constitue la base de la sylviculture ; (le chêne zéen se régénère par semi direct, plantation, rejet de souche et par drageon), et la pratique de coupe d'éclaircies (Lapie, 1928 ; Lamrioui, 1999). Le massif forestier d'Akfadou s'étend sur une superficie avoisinante de 12000 ha représentant 25% des formations caducifoliées d'Algérie, n'a subi aucun aménagement, ni de travaux sylvicoles permettant de réduire les contraintes de croissance et de développement en diamètre et en hauteur des arbres qu'on peut lier à la compétition entre arbres (Lanier, 1986). Actuellement elle présente une mosaïque de structure, des régimes (futaie, taillis, taillis sous-futaie) et de densité allant de 800 à 2500 arbres par hectare à des âges compris 70 et 240 ans (Rabhi, 2013).

I.8. Ennemies et facteurs de dégradations

Les maladies et les insectes en majeure partie la cause des pertes en valeur et en production de nos ressources forestières (Mammani, 1985 in Kerris).

Le chêne zéen représente une richesse inestimable ; d'intérêt patrimonial, écologique et taxonomique. En Algérie l'espèce est très menacée par une action anthropique accrue due au pâturage intense et à l'ébranchage qui ont pour conséquences l'affaiblissement des arbres et la régénération réduite des peuplements (Abdessemed, 1984 ; Quézel et Barbero, 1990). Et en dehors du processus traditionnel d'extinction du capital forestier le chêne zéen subit une importante dégradation dont les causes sont multiples qui sont du point de vue entomologique au sein du complexe des lépidoptères défoliateurs des chênes :

- *Lymantria dispar* ; l'un des ravageurs les plus dangereux, polyphage s'alimente sur plusieurs essences, dans la région méditerranéenne se trouve essentiellement sur le chêne zéen, liège et vert (Khouss, 1993; Linnaeus, 1758 in Zamoum, 2014).
- D'autres défoliatrices provoquent l'infestation sont : *E.Chrysorrhoea* qui peuvent causer d'importants dégâts aux feuillus, sont recensés dans l'Akfadou sur le *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel, ainsi les plus communes sont *Tortrix viridana* (tordeuse verte du chêne), *Hypoxylon méditerranéen* (maladie du charbon de la mère) ; influence la croissance de l'arbre (Hammani, 1985 ; Saaid, 1992 ; Paul du merle, 1983).

- *L'armillaire* ; champignon responsable d'un pourridié (Guillaumin et al, 1984), qui est un agent pathogène primaire des feuillus retrouvait sur le chêne zeen et chêne liège dans la forêt de Bainem par INRF.
- *Neurotrus quercus baccarum*L ; provoque la formation de nombreuses galles rouges sur les feuilles de chêne, *Neurotrustricolore* est l'espèce signalée pour la première fois en Algérie sur le chêne zeen (Villar et al, 2012), de même pour *Andrricuset Cynipe divisa*.
- *L'Hyménoptère galicalecalluchytrsglandiuma* été récemment cité pour la première fois pour le nord d'Afrique ; qui attaque le gland et se trouve dans les jeunes rameaux du chêne zéen.

I.9. Incendie

Le feu constitue un moyen pour le défrichage ou pour l'extension des pâturages (Abdessemede, 1984). Il est l'un des facteurs de dégradation, de perturbation et d'extinction dramatique des capitales forestiers selon l'intensité de leur passage (Medour et Chistine, 2013). Les peuplements du chêne zéen sont peu vulnérables au feu en raison de la dureté de son bois, mais en mélange avec le chêne liège ; il subit de gros dommages remarquables (Bouazzaoui, 2011).

I.10. Utilisation

Le bois de chêne zéen est utilisé comme bois pour chauffage et d'autres usages domestiquent car il constitue un bon combustible comme bois de feu (Babali, 2014). L'utilisation de bois de chêne zéen dans le domaine industrielle où il est de haute qualité de résistance aux chocs et de haute adhérence de ses fibres, il est utilisé comme des travers de chemin de fer, carrosseries, gosse de fusil, tables, chaises, tamis et support, des poteaux de mine et des charpentes traditionnelles (Messaoudene, 08 ; Luni, 1994 ; Derbel et Zerizere, 2015 ; Marc, 1916).

Chapitre II

Milieu Physique

II.1. Présentation juridique et géographique de la forêt d'Akfadou

L'Akfadou est un massif montagneux de la Kabylie, son massif forestier est l'un des plus grands complexes des forêts caducifoliées d'Algérie. Il s'étend sur la superficie avoisinante de 12000 ha soit 25% des formations caducifoliées d'Algérie (Rabhi, 2013). Au statut juridique domanial il dépend administrativement des départements de Bejaia et de Tizi-Ouzou.

✧ **Localisation de la forêt d'Akfadou :** Notre zone d'étude petite chêne de montagne et massif forestier par les quelles se termine le Djurdjura (Chaker S, 1986). Située à 160 km environ à l'est d'Algérie et distante de 20 km de la mer. Son orographie est assez compliquée car elle s'articule autour d'une succession de lignes de crête globalement orientées nord-est et sud-ouest (Messaoudene et al, 2007 ; Haddar, 2016).

La station d'étude choisie localisée dans la partie ouest de massif forestier ; délimité par :

- Au nord est : par la tranchée par feu (TPF A) séparant l'Akfadou-Est (Bejaïa) et Akfadou-Ouest (Tizi-Ouzou).
- Au nord ouest : la forêt domaniale de Beni-Ghobri.
- A l'ouest : la forêt domaniale de Beni-Ghobri et des terrains particuliers.
- A l'est et sud est : le massif forestier de l'Akfadou-Est.
- Au sud ouest : les terrains particuliers de la daïra de Bouzguène.

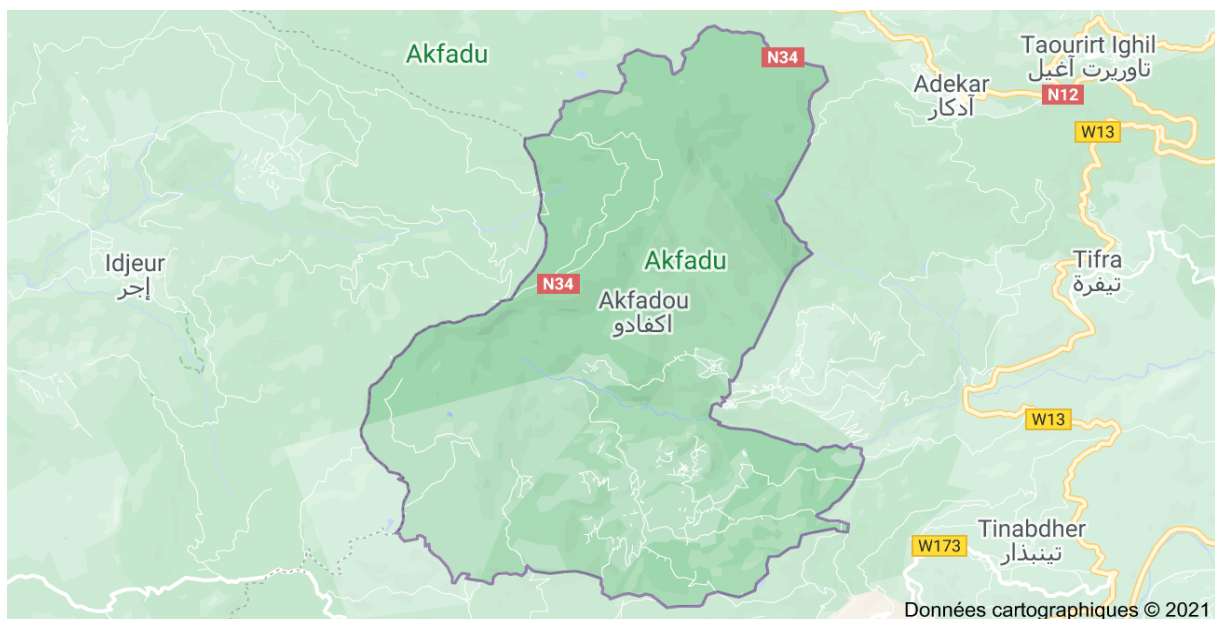


Figure II.9 : localisation de massif forestier d'Akfadou-Ouest. (Google maps 2021)

II.2. Aperçus géologique, pédologique et géomorphologique

Sur le plan physique, plusieurs auteurs ont signalé que dans la région forestière Kabyle ont rencontré des formations appartenant aux terrains plus anciens et éruptifs du secondaire et du tertiaire (Boudy, 1955 ; Gelard, 1978 et Durand, 1959).

L'Akfadou varie en altitude entre 800 à 1646m (Djebel Ezzéen) avec une orographie assez compliquée et un relief généralement assez accidenté (pente de 15 à 45%), notamment dans sa partie sud-orientale (Messaoudén M et *al*, 2007). Du point de vue géologique, trois substrats de Djurdjura qui sont présentés telle que; les grès numidiennes, les argiles sous numidiennes et le flysch à microbreche (Gellar, 1978 in Messaoudene et *al*, 1991).

La différenciation des sols dépend essentiellement de la roche-mère et à d'un degré moindre de la topographie, la végétation n'y joue qu'un rôle d'indicateur (Durand, 1959). Dans l'Akfadou les sols sont évolués de type ABC, acides ; l'humus est de type mull riche en matière organique, de profondeur supérieure à 50 cm. En générale, les plus fréquents sont les sols bruns lessivés par endroit, on rencontre des sols à hydro-morphie temporaire en contact avec les argiles sous numidiennes. L'abondance de grée de numidien donne naissance à des terrains à texture sablonneuse à interaction argileux parsemés de blanc rocheux (Lapie, 1909 ; Stewart, 1974).

Le flysch numidien couvre 1/3 du nord-est du territoire, du nord au sud la largeur de son affleurement avoisine 30 km au méridien de l'Akfadou (Gelard, 1978 in Meddour, 2010).

II.3. Élément climat et bioclimat

Les facteurs climatiques influent sur la répartition, la croissance et le développement de la faune et la flore. Le massif forestier d'Akfadou, situé au nord de l'Algérie, se caractérise par un climat méditerranéen, il est nettement plus chaud en été et plus froid en hiver, et se caractérise par un bioclimat humide à variante fraîche et tempérée (Messaoudene, 1989; Defaut, 1990; Rabhi, 2013).

Selon Djebaili (1978), la pluviosité est définie comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. Le massif forestier d'Akfadou est placé parmi les zones les plus arrosées attiens rapidement plus de 1000 mm/an, de ce point de vue elle apparait comme la plus humide. Sur les hauts sommets de la façade nord (Akfadou, Djurdjura) au delà de 1200 m la pluviosité annuelle est sans doute importante atteignant jusqu'à 2000 mm/an, compte tenu du relief qui intervient par sa masse et surtout par son orientation. Le régime saisonnier est de type HAPE (Meddour, 2010 ; Messaoudene, 1989 ; Haddar et *al*, 2016).

Pour une approche bioclimatique de massif d'Akfadou nous retenons le système d'EMBERGER (1952) conçu spécialement pour la région méditerranéenne. La station de référence prise en considération et servant de base à notre étude a été placée sur le climagramme d'Emberger (1952) en fonction du calcul de quotient pluviothermique (Q_2) ; qui est un indice bioclimatique qui combine deux facteurs à savoir la température et la pluviométrie permettant ainsi de se renseigner sur la vigueur des conditions climatiques et la répartition des formations végétales, il est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = P \cdot 100 / (M+m) \cdot (M-m) / 2 = 2000 \cdot P / (M^2 - m^2)$$

Avec:

- ◆ P : Précipitation annuelle en (mm);
- ◆ M: Moyenne des maximale mensuelle des températures du mois le plus chaud en (k);
- ◆ m : Moyenne des minimale mensuelle des températures du mois le plus froid en (k);
- ◆ Q_2 : Quotient pluviothermique d'Emberger : permet de déterminer pour notre station l'étage bioclimatique auquel elle appartient en représentant les résultats obtenus sur le climagramme bioclimatique proposé par Emberger (1952).

La figure ci-dessous montre la projection météorologique sur le climagramme d'Emberger de massif forestier d'Akfadou.

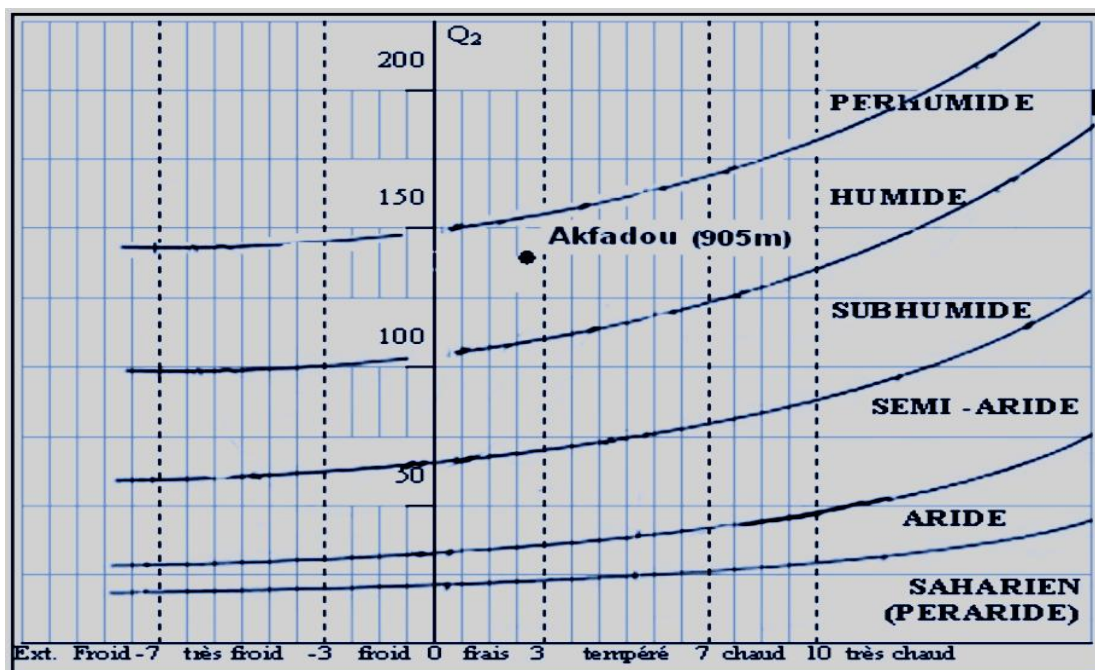


Figure II.10 : Projection météorologiques sur le climagramme d'Emberger de massif forestier d'Akfadou (Rabhi, 2011)

L'examen du diagramme ombro-thermique de Bagnoule et Gaussen représente une saison sèche et une période humide durant toute l'année. Cette représentation graphique est obtenue

par la superposition entre les deux courbes de variation annuelles des précipitations et des températures, donné par la relation $P = 2t$.

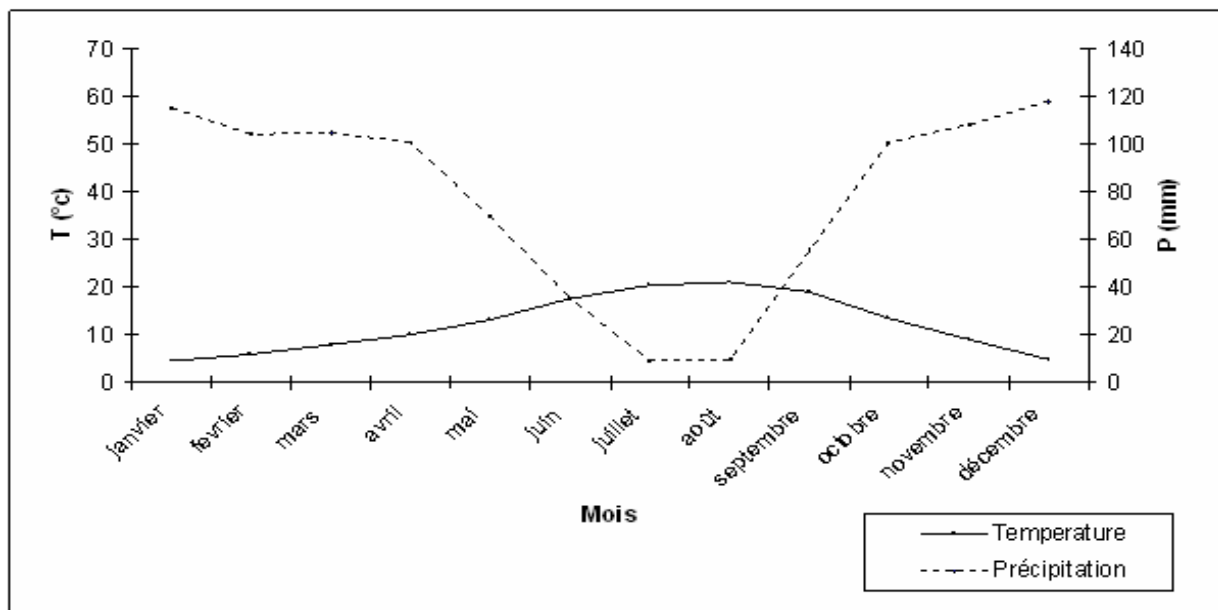


Figure II.11 : Diagramme ombro-thermique pour le point d'altitude moyenne de la forêt d'Akfadou. (Rabhi, 2011)

II.4. Végétation

Globalement selon Meddour(2010), Laribi (2016) et Messaoudene (1989), il est aisé de remarquer que l'ensemble des stations appartiennent à un bioclimat humide à variante fraîche à tempérée en ambiance per-humide déterminant ainsi l'étage supra-méditerranéen, il est réservé aux forêts caducifoliées.

La forêt d'Akfadou est constituée de trois espèces arborescentes : le chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd), le chêne liège (*Quercus suber*. L) et le chêne afares (*Quercus afares* Pomel), ces trois peuplements présentent une mosaïque d'âge divers, se trouvant à l'état pur ou bien mixte accompagnés de sous bois très clairs à dense et développés; qui dépendent de l'houpplier et de la densité de recouvrement du peuplement.

Dans ce massif forestier la chênaie caducifoliée se localise dans un tranché altitudinale allant de 800 à 1400m (Lapie, 1909 ; Quézel, 1956).

Le chêne zéen commence à apparaître déjà à 500m d'altitude dans la forêt d'Ath-Ghobri, et l'essence dominante jusqu'à 1646m, où il occupe environ 45% de la superficie boisée. Le chêne afares abonde sur quelques lignes de crête sur le versant chaud, quant au chêne liège il constitue des peuplements qu'en dessous de 1000m avec un optimum entre 600 et 800 m ; il

attient rarement les 1300m en exposition favorable (Messaoudene et *al.*, 2007 ; Quézel, 1956 ; Lapie, 1909 et Maire, 1926).

D'après Meddour (et *al.*, 2010) ; Laribi (2016) et Messaoudene (2007), cet habitat est une unité naturelle bien indentifiable, essentiellement caractérisée par sa végétation dont les strates arbustives et herbacées relevés.

La strate arbustive est constituée des familles suivantes :

- *Cristaceae* : *Citrus Monpliansis* ; *Erica Arborea* ; *Arbutus unedo*;
- *Myrtaceae* : *Myrtus Communis*;
- *Leguminosea* : *Genista Tricuspidata*;
- *Rosaceae* : *Calycotome Spinosalmaak*, *Crataegus Monogyna*;
- *Oleaceae* : *Olea Europoea* L;
- *Anacardiaceae* : *Pistacia Lentiscus*;
- *Labiaceae* : *Lavandula Stoechas*;
- *Myrtaceae* : *Myrtus Communis*.

Quant à la strate herbacée des espèces sylatiques ont été inventories dans les hautes et les basses altitudes de la classe des *Quercetea* à savoir:

satureja vulgaris (L), *Dactylis Glomerata* (L), *Brachypodium sylvaticum* (Huds) P.B, *Linaria Reflexa* (Desf), *Teucrium Kabylicum* (Bott), *Galium Rotundifolium* (L), *Carex Distachya*, *Asphodulus Microcarpus* (Slazm), (Messaoudene et *al.*, 2007; Meddour, 2010).

- ✓ L'arborescence d'AgoulmineAberkane, constitué de:
- ✓ Châtaignier (*Castanea sativa* Mill.);
- ✓ Cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti);
- ✓ Aulne glutineux (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.);
- ✓ Bouquets d'ifs (*Taxus baccata* L.);
- ✓ Houx (*Ilex aquifolium* L.);
- ✓ Pin noir (*Pinus nigra* Ait.);
- ✓ Pin Coulter (*Pinus coulteri* D. Don.);
- ✓ Cyprès (*Cupressus horizontalis* L.);
- ✓ Sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann.);
- ✓ L'érable (*Acer obtusatum* W. et K.);
- ✓ Sorbier (*Sorbus torminalis* (L.), Crantz et le merisier (*Cerasus avium* L.).

Partie II

Etude Expérimentale

Chapitre I

Matériels et Méthode

I.1 Approche méthodologique d'acquisition de connaissance

L'acquisition des connaissances forestières se fait au moyen des différentes approches méthodologiques qui permettent d'analyser les produits disponibles et obtenir les variables recherchées. Dans notre station d'étude, comme dans la plupart des cas, la population à étudier est trop importante pour qu'un dénombrement exhaustif ou des mesures complètes pied par pied soient possibles, on ne peut réaliser ce travail que pour certaines unités représentatives de cette population. Rondeux (1993), signale que la réalisation d'un inventaire forestier est une question souvent très importante en matière de gestion forestière pour des raisons de temps et de budget et disons que c'est une affaire d'échantillonnage.

L'échantillonnage est une technique indispensable utilisée pour des raisons économiques dans la plupart des inventaires forestiers car les populations à inventorier sont généralement trop vastes pour être entièrement dénombrées, quelles soient composées d'arbres (estimation des données dendrométriques, étude des défauts, élaboration des tarifs de cubage dans des plantations et...) ou parcelle (Rome, 1981).

I.2 Type d'inventaire

Le massif forestier d'Akfadou est une mosaïque des stations. La station forestière est l'étendue du terrain définie par ses caractéristiques physiques et biologiques (topographie, sol, exposition, pente, végétation naturelle, etc.), plus ou moins elle présente des conditions homogènes de croissance des arbres. L'objectif de notre étude est la modélisation de la structure et de la croissance de chêne zéen dans le massif-Ouest pour faire, en réalisant l'inventaire par échantillonnage aléatoire, qui consiste de désigner au hasard des unités d'échantillonnage plus homogènes et représentatives.

I.3. Réalisation de l'inventaire

En inventaire éco-forestier comme dans tout autre domaine d'activité, la planification est une étape clé que si elle est bien faite, le travail sur le terrain est moins long et les risques d'erreurs seront par conséquent moins nombreux. L'inventaire est le premier niveau de la gestion forestière, qui est une technique utilisée pour obtenir, organiser et évaluer les informations quantitatives et qualitatives décrivant un peuplement forestier à un moment donné. Selon (Rondeux, 1993), la réalisation d'un inventaire comporte deux phases distinctes :

- (1) L'analyse des documents cartographiques tels que les cartes.
- (2) L'analyse sur le terrain

I.3.1 Phase de préparation de l'inventaire sur carte

Cette partie a été traitée selon la répartition des placettes qui consiste à matérialiser sur carte l'emplacement du centre de chaque point de sondage de manière aussi précise que possible.

Pour notre étude l'emplacement c'est fait à base des coordonnées géographiques de l'arbre centre de la placette, comme c'est illustré dans la figure II.12.

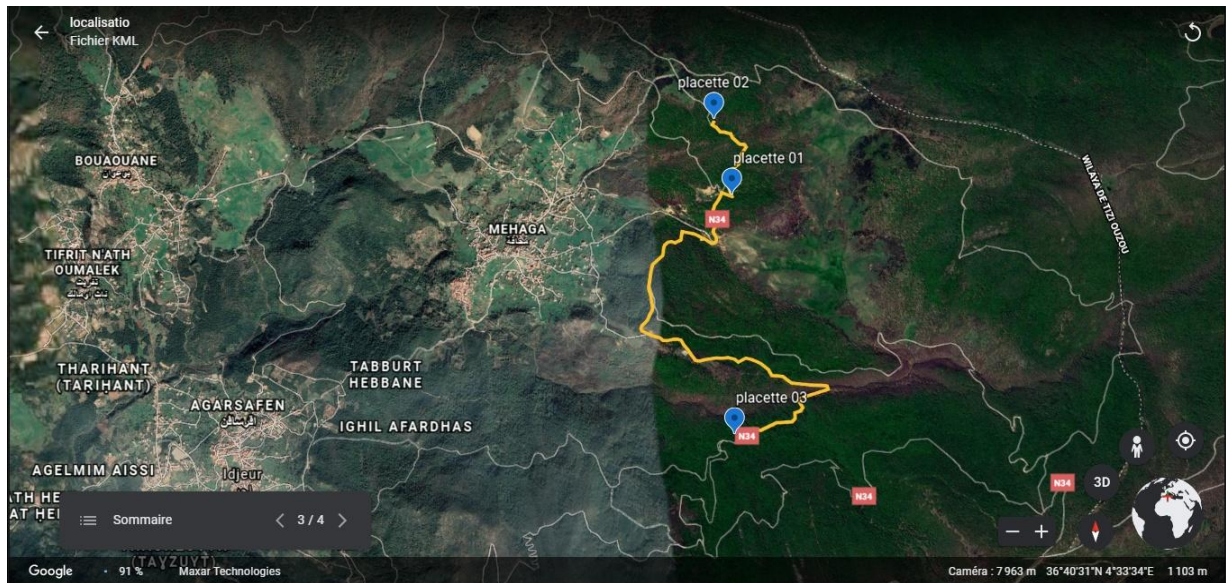


Figure II.12 : Localisation de centre des placettes sur carte (Fellak, 2020)

I.3.2. Phase de matérialisation sur le terrain

La partie de délimitation des centres des unités échantillonnées (placette) sur le terrain.

Au terme de cette étape différentes formes de placettes peuvent être choisies sur le terrain, mais les plus fréquemment utilisés pour des raisons pratiques (plus grande facilité d'implantation) sont ceux qui donnent à la projection horizontale de la placette une forme circulaire, rectangulaire ou carré (Duplat et Perrote, 1981 in BELARBI, 2017).

Rondeux et al., (1992) signale que, les placettes de forme circulaire sont plus intéressantes et plus recommandées en raison de leur installation facile et rapide sur le terrain, ainsi elles permettent de réduire considérablement le nombre de cas douteux et d'appartenance ou non d'arbre à la placette. Dans cette optique, pour notre cas, nous avons installé un nombre de trois (03) placettes circulaire de 200 m² de surfaces et de huit mètre (8m) de rayon, tous les arbres dont plus de la grande moitié de la souche sont situés dans le périmètre ainsi mesuré sont dénombrés. Tous ceux qui croissent à la limite de rayon mesuré sont marqués d'une bande de peinture rouge pour s'assurer de la délimitation des placettes. Le choix de la localisation des placettes peut être fait au hasard.

I.4. Récolte des données

Les données sont récoltées sur le terrain en deux catégories dont les premières relèvent d'informations que l'on peut cataloguer comme caractéristiques abiotiques de chaque station, alors que les secondes résultent des mesures dendrométriques relatives à notre étude telles que la hauteur, circonférence, azimuth (α), la distance entre le centre et les individus de chaque placette, la projection au sol du houppier et l'âge moyen de des arbres dans chaque placette.

I.4.1. Notion de la station et récolte des données stationnelles

La notion de station pour le forestier est plus généralement pour le naturaliste une unité biologique intuitive. Elle correspond à la perception d'un paysage végétal homogène quant à sa composition et occupant une position topographique déterminée. Elle est donc liée à un certain niveau de perception et d'homogénéité (Michel, 1973) dans la quelle le forestier peut pratiquer la même sylviculture, gestion et peut espérer une même production et évolution. Elle est définie par ses caractéristiques physique et biologique telle que :

- ✧ L'Altitude : mesurée à l'aide d'un altimètre;
- ✧ La Pente : déterminée par un clésimètre;
- ✧ L'Exposition : orientée au moyen d'une boussole;
- ✧ La Localisation : GPS;
- ✧ La Densité : nombre de tige (n) par surface (S), $N = n / S$;
- ✧ Le Micro relief.

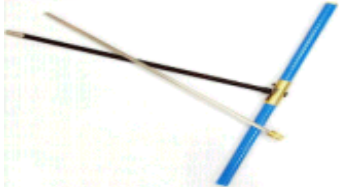
I.4.2. Mesure des caractéristiques dendrométriques

Dans chaque placette d'échantillonnage, nous mesurerons les différentes variables décrites au point sous un inventaire pied par pied réalisé dans chacune.

I.4.2.1. Instruments utilisés

L'ensemble d'instruments utilisé sont illustré dans le tableau II.3

Tableau II.3: les instruments utilisés pour réaliser l'étude.

Mètre ruban	
Bouteilles de peinture	
Double décamètre	
Vertex III	
Boussole	
Tarière de Pressler	
GPS	

I.4.2.2. Données dendrométriques collecté

I.4.2.2.1. Données quantitatives

◆ Circonférence de l'arbre à hauteur de poitrine (CHP)

Tous les arbres de la placette d'échantillonnage sont mesurés pied par pied sur toute la surface indiquée. L'instrument utilisé est le ruban forestier, la figure II.13 illustre la technique de mesures de circonférence effectuées pour l'ensemble (arbre) dans la placette.

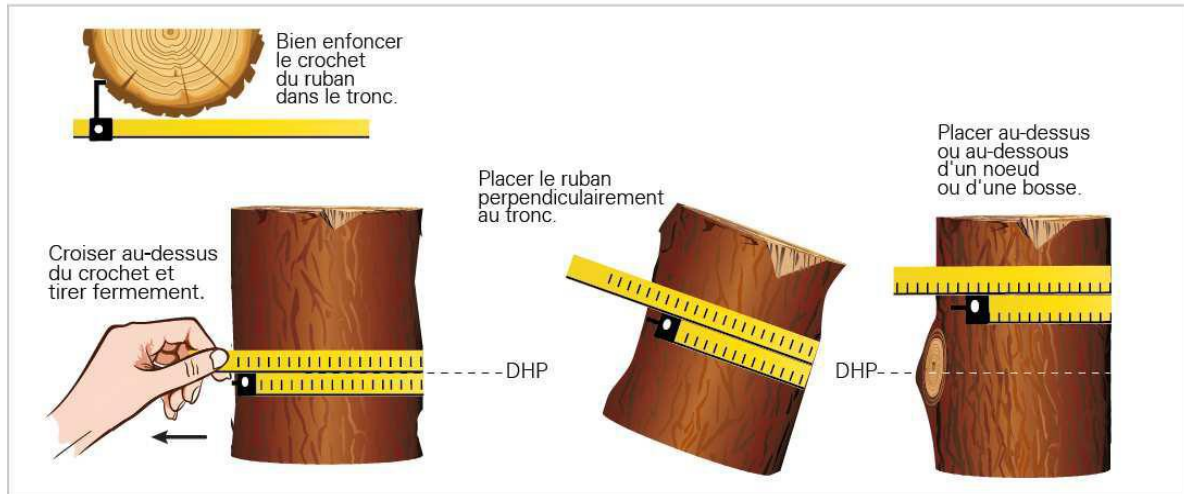


Figure II.13 : mesure de circonférence à la hauteur de poitrine (CHP) à l'aide de mètre-ruban. (Jean-Yves et al., 2002)

◆ La hauteur totale (H) des arbres

La hauteur est la caractéristique la plus importante à mesurer ou à estimer en vue de détermination de la fertilité, le volume ou divers paramètre de forme, elle joue ainsi un rôle essentiel dans la caractérisation de la productivité des stations forestières, dans notre cas les arbres-encercler dans les placettes d'échantillonnage sont mesurés pied par pied, pour la réalisation de cette mesure on a utilisé le vertex III.

◆ L'âge moyen des arbres

La collecte d'échantillons de bois peut être effectuée de deux façons, soit par le prélèvement de carottes (carottage), ou bien par la réalisation de sections transversales (Slimani, 2017). Dans notre étude la méthode d'échantillonnage utilisé est le carottage, dont on fait le prélèvement des carottes des tiges de rayon moyen à la hauteur de la poitrine (1,30m) dans les placettes étudiées à l'aide d'une tarière (sonde) de Pressler. La datation des échantillons du bois vivant repose sur un simple comptage à partir de dernier cerne en direction de la moelle

(Slimani, 2017). La figure II.14 montre la méthode de prélèvement des carottes de sondage à l'aide de la tarière de Pressler à hauteur de poitrine.



Figure II.14 : prélèvement des carottes de sondage à l'aide de la tarière (sonde) de Pressler à hauteur de poitrine (Fellak, 2020)

◆ Taux de recouvrement de houppier

Le taux de recouvrement des cimes des arbres est déterminé par la projection au sol de la couverture des cimes (Méthot et al, 2014). La mesure est faite en deux projections au sol des branches, la plus longues mesuré perpendiculairement à la plus petite longueur un angle de 90°.

◆ La distance des arbres de centre de la placette

L'espacement entre le centre de point de sondage et les arbres qui l'entourent mesuré à l'aide de double-décamètre, ce dernier conduit à une estimation correcte de la densité autour de ce point, quelle que soit la structure de la population. (Bouchon, 1979) utilisent toutes ces mesures de distances pour tester les distributions spatiales rencontrées en forêt ou dans les analyses de végétation.

◆ Azimut

Dans le champ Az (DMG), on note l'azimut magnétique de chacun des arbres contenus dans la placette. Mesure d'angle effectué dans le plan horizontale entre la direction de l'arbre et la direction d'arbre centre de la placette, ces mesures sont faites à l'aide de la boussole.

I.4.2.2.2. données qualitatives

- ✓ **Sous-bois** : appréciation de recouvrement de la strate végétale entre le sol et les arbres, indique par : présence ou absence;
- ✓ **Régénération** : nombre de sujet régénéré dans chaque placette;
- ✓ **Sujets dépéris** : nombre de pied mort dans les placettes étudiées.

Tableau II.6 : caractéristiques stationnelles et dendrométrique des placettes étudiées au massif forestier d'AKFADOU-Ouest.

Caractéristiques	Placette 01	Placette 02	Placette 03
Massif forestier	Canton Thala Kitane	Canton Thala-Kitane	Canton Tacherchort
Lieu	En face la maison forestière	Avrid-Iharkane	Tacherchort
Micro climat	Versant	Haut de colline	Bas-fond
Substrat	Grés numidien	Grés numidien	Grés numidien
Altitude	1138 m	1113 m	1074m
Cordonnées	36° 41' 00" 8,3 " N 4° 33' 40,6 " E	36° 41' 26,4 " N 4° 33' 40,6 " E	36° 40' 10,3 " N 4° 33' 47,1 " E
Exposition	Ouest	Sud-ouest	Sud-ouest
Pente %	12~15%	5%	15~20 %
Densité	1050 arbres/ha	1300 arbres/ha	450 arbres/ha
Type de peuplement	Futaie	futaie	futaie
Structure globale	Futaie régulière	Futaie régulière sur souche	Futaie régulière
Hauteur moyenne	12,20 m	8,09 m	20,02 m
Circonférence	52,38 cm	25,12 cm	118,34 cm
Age moyen	29 ans	18 ans	96 ans
Sous-bois	Moyen (bruyère, cytise)	Faible (cytise en générale)	Moyen (cytise, férule, grand-houx, ronce et lierre)
Nombre de sujet dépéris	07 sujets (fourré)	18(stade fourré et gaulis)	03 sujets
Nombre de régénération	07 régénérations naturelles	03 régénérations naturelles	39 régénérations naturelles

I.5. Traitement des données

Pour l'analyse statistique, nous avons fait appel à une analyse descriptive.

I.5.1. Calcule de coefficient dendrométrique

Pour mieux comprendre une distribution des données et la forme de répartition, deux coefficients nous indiquent ces derniers.

I.5.1.1. Le coefficient d'aplatissement (kurtosis)

L'aplatissement reflète la répartition des données autour de leur centre, sa mesure permet d'apporter des informations importantes autour des extrémités et le pic d'une distribution. Il est donné par la formule :

$$\beta = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3$$

Le coefficient d'aplatissement peut être positif, négatif :

- **Coefficient d'aplatissement positif** : Indique une distribution avec un pic moins plat et des extrémités plus épaisses par rapport à la distribution normale (distribution *leptokurtique*).
- **Coefficient d'aplatissement négatif** : Indique une distribution plus plate avec des extrémités moins épaisses par rapport à la distribution normale (distribution *platykurtique*). L'aplatissement de la distribution normale est égal à 0 (distribution *mésokurtique*).

I.5.1.2 le coefficient d'asymétrie (Skewness)

L'asymétrie, ou dissymétrie, mesure l'écart de la distribution par rapport à la symétrie. Une distribution est dite symétrique si les observations se répartissent de manière uniforme autour de la moyenne, le mode et la médiane (ex : distribution normale). La valeur du coefficient d'asymétrie pour une telle distribution est égale à 0. En revanche, si la valeur du coefficient est positive (>0) alors la distribution unilatérale est étalée à droite de la moyenne. Si la valeur est négative (<0) alors la distribution unilatérale est étalée à gauche de la moyenne. Il est donné par la formule :

$$\gamma = \frac{(n+1)n}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 - \frac{(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

I.5.2. Analyse descriptive

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.

I.5.2.1. Etude de la normalité des populations

Les données collectées sont soumises à une 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 notre cas, nous avons utilisé les diagrammes de probabilité pour illustrer l'allure de la répartition des observations par rapport à la loi normale, qui est considérée comme une méthode purement visuelle très utile dans la pratique

I.5.2.2. Analyse de la densité et de la structure des peuplements

Les données sont représentées sous forme de graphes (histogrammes) et de tableaux.

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 circonférence d'amplitude égale.

La nature de la structure est donc déterminée après avoir regroupé les données recensées par classe de circonférence. Elle se traduit en courbe de Gauss (en cloche) dans le cas d'un peuplement équien 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 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. Mhirit(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.

I.5.2.3. Comparaison des moyennes des peuplements par placette

Il s'agit d'une comparaison de plusieurs moyennes de plusieurs populations supposées être normales et admettant que les échantillons sont tirés aléatoirement et indépendamment les uns des autres.

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 : $\alpha=5\%$.

L'intérêt de cette analyse est de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'égalité de moyennes des populations étudiées.

I.6. Objectifs du travail et méthodologie de la modélisation

La modélisation consiste à réduire une réalité complexe à un système structuré d'éléments et de relations qui permettent 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). Selon Bouchon (1995), un modèle empirique est dit dendrométrique lorsque les mesures dendrométriques prélevées à partir de placettes permanentes ou de données d'inventaire, telles que les tables de production de la gestion forestière qui rendent compte des phénomènes observés, en prenant en considération implicitement les mécanismes de croissances qui les génèrent. Par conséquent, les modèles dendrométriques sont la base de la gestion forestière telle que le modèle hauteur-circonférence qui illustre la relation entre ces deux variables et qui est le plus utilisé.

Il existe plusieurs classifications de modèle de croissances et de rendement, en tenant compte de l'état et du niveau modélisés.

L'état différencie les modèles statiques des modèles dynamiques selon qu'ils ne rendent pas compte de la croissance des arbres ou qu'ils décrivent l'évolution des variables dans le temps. Le niveau permet de distinguer les modèles de peuplement des modèles d'arbres selon l'entité élémentaire dont la croissance est modélisée (Munro, 1974 in Pauwles, 2003).

L'objectif de l'innovation 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 faciles à mesurer telles que,

l'espacement entre les arbres (ESPM), la longueur du houppier (LHP), le diamètre (D1.30) et la circonférence (C130).

En premier lieu nous devons estimer la structure des peuplements à l'échelle des placettes par deux approches théoriques.

Dans une seconde étape, nous allons prédire la hauteur dominante variable dépendante en fonction d'une seule variable dendrométrique indépendante, la circonférence du tronc sur écorce mesurée à hauteur de poitrine. Puis nous essayerons d'évaluer l'influence de la compétition sur la croissance des arbres, pour plusieurs variables explicatives (diamètre, longueur du houppier, hauteur, surface terrière).

I.6.1. Matériels et méthodes de modélisation de structure

I.6.1.1. Structure de peuplement

La structure d'un peuplement est définie comme étant la manière avec laquelle sont agencées les variables dendrométriques d'un peuplement (Stewart et Roustide, 1974 in Rabhi, 2015). En effet la répartition de nombre de tige par classe de diamètre nous renseigne sur la structure de peuplement, définissable par (schémas, silhouettes) ou par critère quantitatifs (formules, histogrammes, données chiffrées). D'après Parde et Bouchon (1988), un peuplement équienne d'une même essence verra ces tiges se répartir suivant la loi de Gausse ou loi normale (en cloche), alors que pour un peuplement in-équienne, la distribution des tiges se fait suivant une courbe exponentielle à concavité tournée vers le haut (J-inversé).

L'aménagement des peuplements forestiers nécessite la maîtrise de la structure en diamètre des arbres (Van Laar&Akça, 2007). Il est par ailleurs utile de modéliser la structure observée d'un peuplement afin de pouvoir tirer des conclusions intéressantes quant aux conditions de vie des arbres dans la formation considérée, à partir des paramètres de la distribution théorique considérée. Ceci permet aussi de comprendre les conditions stationnelles des peuplements et de définir de meilleures options d'aménagement.

I.6.1.2. Loi de la distribution

Pour faciliter la compréhension de la dynamique forestière, depuis longtemps plusieurs méthodes ont été élaborées par les chercheurs du domaine des statistiques spatiales pour caractériser la structure des peuplements forestiers, ces auteurs ont d'ailleurs souvent utilisé entre autres des exemples forestiers pour illustrer ces méthodes (in Gorebaud, 2000). Parmi

les principales, il convient de citer les distributions normales, log-normale, gamma, beta, Sb de Johnsson et Weibull (Borders et al, 1987 in Lejune, 1994). Nous avons choisi de comparer les performances de la distribution de Weibull est plus adéquate car elle se caractérise par une grande souplesse d'emploi et présente une grande variabilité de formes suivant les valeurs prises par ses paramètres théoriques (Bullock Burkhart, 2005 in Glélé Kakai. 2016), prend ainsi en compte la distribution théorique normal dont la mise en œuvre est très simple.

I.6.1.2.1. Distribution de Weibull

La loi de Weibull proposée par l'ingénieur et mathématicien suédois Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1887-1979), est une loi de probabilité à 03 paramètres (a, b et c) qui est très utilisée pour modéliser la durée de vie des produits en raison de sa grande flexibilité et l'existence d'une forme explicite de sa fonction de répartition. La fonction de densité de probabilité et la fonction de répartition de la distribution de Weibull sont décrites ci-dessous (équations [1] et [2]). Les 3 paramètres apparaissant dans ces relations sont respectivement :

- a: le paramètre de localisation, donnant la valeur minimum de la distribution;
- b: le paramètre d'échelle;
- c: le paramètre de forme, qui détermine la dissymétrie de la distribution droite ou gauche, selon que c est supérieur ou inférieur à 3,6.
 - Pour une valeur de $c = 1$ la distribution prend l'allure d'une exponentielle décroissante ;
 - pour une valeur de $c = 3,6$ la distribution est approximation de la courbe normale.

$$[1]F(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c}$$

Les paramètres selon LEJEUNE (1994), pour $x \geq a$ les paramètres doivent être comme suit : $a \geq 0, b > 0, c > 0$.

$$[2]F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c}$$

I.6.1.2.2. Distribution normale

La loi normale porte de nombreux noms différents, introduite en 1780 par Laplace, popularisée par Gauss en 1809 qui montre que les erreurs de mesures en astronomie fluctuent

selon cette loi, reconsidérée par Laplace en 1810 qui montre qu'elle est la loi de nombreux phénomènes naturels en donnant une première version du théorème limite central, on l'appelle parfois loi des erreurs, loi de Gauss ou loi de Laplace-Gauss. C'est le célèbre statisticien Pearson qui la nomma loi normale dans un article de 1893. La distribution normale est moins fréquemment utilisée dans la construction de modèles de répartition des grosseurs d'arbres. Elle est caractérisée par une forme uni-modale symétrique qui ne permet pas une aussi grande flexibilité que la distribution de Weibull. (Gérard, 1975 ; Rondeux, 1973 ; Lejeune, 1994). La fonction de densité de probabilité et la fonction de répartition de cette distribution correspondent aux équations [1] et [2] :

$$[1]f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2}$$

$$[2]F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) \cdot dx$$

Pour déterminer la fonction $F(x)$, la distribution est définie par deux paramètres qui sont la moyenne arithmétique et l'écart type de la population.

I.6.1.3. Estimation des paramètres

Il est important de distinguer dans le processus de construction d'un modèle de répartition des grosseurs de tiges, la phase d'estimation des paramètres et la phase de prédiction des paramètres. La phase d'estimation consiste à calculer par une méthode adaptée les paramètres d'une distribution théorique définie pour un échantillon de population donné. L'estimation des paramètres de la distribution de Weibull peut-être par plusieurs démarches existantes, dans cette étude nous nous limiterons à l'utilisation des données de circonférence des arbres pour l'estimation des paramètres b, c et a grâce à un algorithme basé sur la méthode du maximum de vraisemblance, disponible dans la plupart des logiciels statistiques par exemple pour notre cas c'est à l'aide de logiciel STATISTICA. Et pour la distribution normal l'estimation s'effectue par le calcul des deux paramètres de la moyenne et l'écart-type estimés de la population sont données par :

- **La moyenne arithmétique** : Paramètre de position que nous désignerons par $(\bar{X})$ comme certain ouvrage préfèrent. C'est la somme des valeurs observées divisée par le nombre d'observations (Dagnelie, 1973) donnée par :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- **Ecart-type** : Paramètre de dispersion désigné par (σ), cette grandeur est une mesure de la dispersion des valeurs (X) du paramètre autour de la valeur moyenne ($\bar{X}$) du paramètre, est égale à La racine carré de la variance (Rome, 1981). L'écart-type n'est pas un nombre pur mais dépend du système d'unités de mesure, donné par la relation :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

I.6.1.4. Appréciation de la qualité du modèle

Il est important de pouvoir apprécier si la distribution théorique que l'on utilise donne une bonne représentation de la distribution des tiges d'un peuplement.

Ce test de conformité peut être utilisé à différents stades de la construction du modèle de répartition au moment de l'estimation des paramètres.

Dans cette optique, la vérification de correspondance entre les distributions théoriques est observée au niveau de chaque placette, nos comparaisons s'appuyaient sur l'utilisation de l'indice de Reynolds, qui correspond à la sommation des différences absolues entre les effectifs prédites et observés au sein de chaque classe de circonférence, sert comme utile par lequel on aura une idée de choisir la démarche la plus adéquate à représenter le type de peuplements concerné.

I.6.2. Matériels et méthodes de la modélisation de la croissance en hauteur

I.6.2.1. Hauteur de peuplement

La hauteur totale de l'arbre comme son grosseur, sont deux variables dendrométriques fondamentales pour le développement de la recherche forestière (vanclay, 1994 ; wykoff, crookston et stage, 1992 in Chourou, 2014), de nombreuses opérations de recherche forestier nécessitent la mesurer en tant que variable d'entrée de base, indispensables à la prise des décisions en aménagement forestière. La gestion des ressources forestières repose essentiellement sur la capacité de prévoir la croissance et le rendement des forêts (Chourou, 2014). Cependant mesurer la hauteur de chaque arbre est une tâche fastidieuse. En conséquence la hauteur n'est généralement mesurée que sur un échantillon de tige dans la

plupart des inventaires forestiers. Dans cette optique, une étude (hauteur-circonférence) illustre la relation entre deux variables dendrométriques et qui est la plus utilisée pour déterminer par exemple la fertilité, la biomasse et autres variables jugées fondamentales pour l'inventaire sylvicole. Ainsi les hauteurs totaux des arbres peuvent être estimés voire déterminer avec fiabilité dans un peuplement à partir du diamètre, est un objectif primordial dans la gestion forestière. La connaissance de la relation entre ces deux variables permet aux gestionnaires sylvicoles d'éviter d'importants investissements financiers dans les mesures de la hauteur dans le but d'obtenir les valeurs d'entrées nécessaires pour estimer le volume des arbres.

Dans ce mémoire nous nous intéressons à modéliser la croissance en hauteur et en circonférence à hauteur de la poitrine des arbres de peuplement pur de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd). Homogène du point de vue facteur du milieu et contrasté par apport à leur structure et leur densité d'observation à l'hectare. Pour titre de prédire l'évolution de cette variable dépendante (hauteur) en fonction de variable indépendante (circonférences), ainsi de déterminer les niveaux de productivité des peuplements inventoriés dans la partie d'Akfadou-ouest.

I.6.2.2. Méthode de construction de modèle

La modélisation de croissance des peuplements est une démarche essentielle, ainsi un système d'aide à la décision, fournit des prévisions de l'état future des peuplements (Raulier et al., 2009 in Fortin.M, 2009). D'une manière générale, elle consiste à réduire une réalité complexe à un système structuré d'élément et de relation (Bouchon, 1995).

Les modèles de peuplement reflètent généralement une sylviculture moyenne, où les modèles d'arbre permettent de décrire des peuplements soumis à des scénarios sylvicoles plus variables.

La recherche des modèles théoriques adéquats pour modéliser la relation hauteur-circonférence représente l'étape la plus délicate. Car selon la structure de peuplement auquel on s'intéresse (régulière ou irrégulière), ces relations peuvent être linéaire ou non linéaire (Dagnele, 1973).

Le choix du modèle pour représenter ces relations n'est pas neutre. Nous avons opté pour l'exploitation de données issues d'analyses de tige car cette méthode est la plus rapide et la plus cohérente, voire la plus recommandée sur le plan théorique, pour déterminer la forme des courbes de croissance, parmi les modèles souvent utilisés, citons la droite, la parabole (Ker et

Smith, 1955) ou les fonctions logarithmiques (Curtis, 1967 ; Wykoff et *al.*, 1982). Ces modèles ont l'avantage d'être facilement ajustables avec des procédures de régression linéaire (Curtis, 1967 ; Farr *et al.*, 1989), mais présentent en contrepartie un comportement divergent pour des valeurs extrêmes des circonférences. L'extrapolation de la relation s'avère alors délicate (Dolph, 1989), surtout si l'échantillon utilisé pour l'ajustement est réduit et déséquilibré (Deleuze, 1996). Le modèle hyperbolique de DHOTE et de HERCE (1994) semble plus robuste et mieux adapté à la géométrie du nuage de points hauteurs-circonférences (en particulier il possède une asymptote à l'infini). Ce modèle a été introduit par les auteurs pour deux feuillus (le hêtre et le chêne) ; nous nous proposons de le tester ici sur chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd), suivant les travaux de Rabhi (2015) et Messaoudene (2013).

I.6.2.3. Présentation du modèle hyperbolique de Dhôte et de Hercé (1994)

Modèle hyperbolique (sans point d'inflexion) qui, sous forme générale, comprend trois paramètres, ainsi qu'une procédure de para-métrisation qui permet de réduire l'estimation à un seul paramètre par jeu de donnée (Dhote et de Hercé, 1994). Le modèle initial correspond au modèle hyperbolique de Dhôte et de Hercé, utilisé pour le hêtre et le chêne. Il donne la hauteur (H en m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (C en cm). D'après Deleuze (1996) le modèle donné par l'équation suivante:

$$H(C) = \frac{\mu_1 + \mu_2 C - \sqrt{(\mu_1 + \mu_2 C)^2 - 4\mu_1 \mu_2 \mu_3 C}}{2\mu_3} + 1,3$$

Avec:

μ_1 : donné en (m) correspond à l'asymptote pour les fortes valeurs de circonférence.

μ_2 : donné en (m/cm) est la pente à l'origine. Le rapport de variation de la hauteur et de la circonférence ($\Delta H / \Delta C$), reflète l'effet de la densité sur la croissance en hauteur et en circonférence;

μ_3 : (Sans unité), un paramètre de forme (quand μ_3 tend vers 1, l'hyperbole tend vers deux segments de droite). Présentation schématique des paramètres (figure II.15)

Ce modèle présente les avantages synthétisés de (Dhote et De Hercr, 1994 et Deleuze et *al.*, 1996) qui sont comme suit:

- Un comportement qualitatif satisfaisant dans un large domaine (courbe croissante positive sur R^+) passant à 1,30 m, $C = 0$;

- il possède une asymptote pour les plus fortes circonférences, qui est en pratique liée à la hauteur dominante du peuplement;
 - dans le cas du hêtre ou du chêne, deux paramètres sur les trois semblent très stables pour un même peuplement, ce qui permet d'ajuster des faisceaux de courbes, où le seul paramètre estimé μ_1 ; est lié à la hauteur dominante;
 - Des estimations successives de hauteur dominante cohérente pour une même placette.
- Le modèle rend compte de la structuration sociale du peuplement des arbres dominants avec les plus fortes circonférences et une croissance en hauteur peu liée à la circonférence (palier de l'asymptote), et des arbres dominés avec une croissance en circonférence très ralentie et une croissance en hauteur faible (liaison linéaire au départ) (Deleuze, 1996).

Tous les ajustements présentés ont été réalisés à l'aide du logiciel statistique (SAS ou STATISTICA), ce qui nous a permis d'obtenir des valeurs des paramètres, (μ_1 , μ_2 et μ_3), intervenant dans l'équation du modèle.

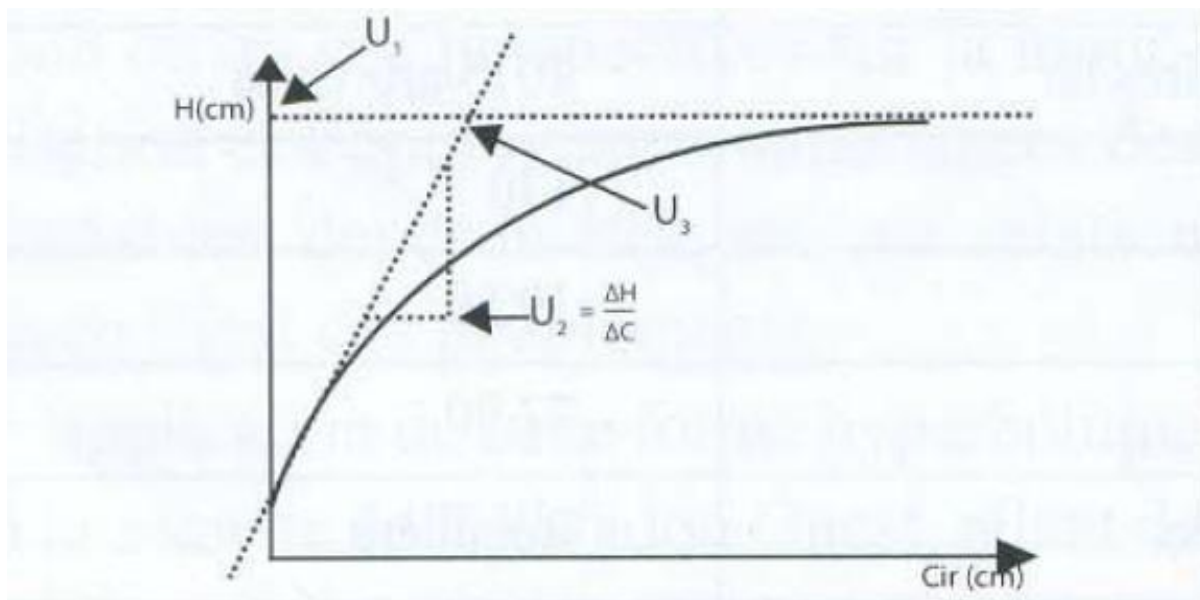


Figure II.15: Représentation graphique de modèle hyperbolique (à trois paramètres) de Dhoteet de Hercé (1994) modifié par Deleuze et *al.*, (1996).

I.6.2.4. Hauteur dominante

Dans la majorité des peuplements, on a une certaine hétérogénéité de hauteur des arbres. La notion de hauteur dominante a été introduite Intuitivement, elle correspond à la hauteur des arbres ayant le statut social de dominant. On la définit de manière plus précise en disant que

c'est la hauteur des cents (100) plus gros arbres sur un hectare. Cette hauteur est un bon indicateur des potentialités stationnelles. Elle permet de classer les peuplements réguliers car elle évolue au cours du temps.

I.6.2.5. Ajustement des modèles

Pour l'appréciation de la qualité des ajustements des modèles indiqués précédemment, plusieurs tests statistiques ont été mis en œuvres telle que le coefficient de détermination (R^2), l'Akaik information criterion (AIC) (Akaik, 1973 in Beal, 2005), qui est basé sur la méthode de maximum de vraisemblance, le carré moyen résiduel (CMR) et le rapport de variance (RV). Quant au test graphique, la droite d'Henry est utilisée pour vérifier la normalité des résidus du modèle (Rabhi et Messaoudene, 2013). Pour tous les modèles de régressions utilisés, la qualité des ajustements est appréciée par le coefficient de détermination (R^2) et l'écart-type résiduel.

I.6.2.5.1. Le coefficient de détermination (R^2)

Est le carré de coefficient de corrélation, il traduit la part de variation de la variable dépendante (Y), expliqué par la variable indépendante (X). Indicateur pour juger la qualité d'une régression linéaire, simple ou multiple, d'une valeur comprise dans l'intervalle de [0 ; 1]. Il est donné par la relation :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

I.6.2.5.2. Carré moyen résiduel (CMR)

Correspond à l'écart-type des différences entre les valeurs observées de la variable (y_i) et les valeurs estimées ($\hat{y}_i$) par l'équation de régression pour la même variable. Le modèle d'autant plus efficace quand l'écart tend vers zéro. L'avantage de son utilisation réside dans la capacité de tenir en compte du nombre de paramètre surtout en cas de régression multiple. Il est donné par la formule suivante :

$$CMR = \frac{1}{n - p} \sum_{j=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Avec:

n : nombre d'observation;

p : nombre de paramètre dépendant et indépendant.

L'équation retenue, est celle qui fournit un coefficient de détermination (R^2) le plus élevé et un écart-type résiduelle plus faible. S'agit du meilleur ajustement de nos données (Dagnelie, 1973).

I.6.2.5.3. Akaike information criterion (AIC)

C'est un indice de sélection du meilleur modèle basé sur la minimisation de la distance de Kullback-Liebler. Les meilleurs modèles montrent des valeurs faibles d'AIC (Rabhi, 2015). Il est donné par l'équation suivante:

$$AIC = N \cdot \ln \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N} + 2p$$

I.6.2.5.4. Analyse des résidus

Le degré de signification de la régression est valable une fois que le test de l'analyse de la variance ($F_{obs} > F_{th}$ au seuil α pour $k-1$ et $n-k-1$) (Baillargeon, 2002) rejette l'hypothèse nulle des coefficients de régression ($b_0, b_1, b_2 \dots b_k$), suivie d'une analyse des résidus, elle permet de vérifier la validité du modèle retenue en ce qui concerne la forme de la courbe (linéarité ou non linéarité de la relation), la normalité et la variance résiduelle (Palm R, 1986)

I.6.2.5.5. Analyse graphique

Graphiquement la variance résiduelle n'est que l'écart maximum entre la fonction de répartition observée et la courbe de régression (fonction de répartition théorique), cette analyse est nécessaire pour la validation du modèle établi de plus elle nous permet mieux d'apprécier la précision. La courbe de régression nous donne une idée de la façon dont varie en moyenne la variable dépendante (y) en fonction de la variable indépendante (x) (tracé de normalité et l'ajustement des valeurs observées en fonction des valeurs estimées). La droite d'Henry nous permis aussi de vérifier la normalité des résidus.

I.6.3. Evaluation de compétition

I.6.3.1. Compétition des peuplements

La croissance individuelle d'un arbre pour une espèce et un type de milieu donnés est sous la dépendance de nombreux facteurs.

De nombreux indices empiriques de compétition ont été élaborés (Houllie, Bouchon, Birot, 1991) qui sont d'efficacité limitée quand on descend à l'échelle de l'arbre.

La compétition entre arbres s'exprime en fait à travers la concurrence pour une ressource du milieu : lumière, eau, éléments minéraux et éventuellement espace. Ces facteurs du milieu agissent de manière conjointe en pratique, il est cependant indispensable de les hiérarchiser. L'énergie radiative disponible pour chaque individu est le résultat de la diffusion des rayons solaires au sein de la canopée, l'influence des compétiteurs pour cette lumière intervient sur l'extension de houppier au suivi de la trajectoire de chaque rayonnement provenant direct de la direction de soleil.

Comme tout végétal, l'arbre a besoin de lumière pour assurer sa croissance, elle a un impact important à la fois sur la croissance et la morphologie des arbres, apparaît donc comme un facteur très variable, bon candidat pour expliquer la diversité des croissances individuelles (Courbau, 1995), ainsi la croissance des paramètres empiriques.

Dans cette partie de travail, nous avons donc pris le parti d'axer notre modèle sur la compétition pour la lumière en tenant compte cependant des déformations du houppier dues au contact.

I.6.3.2. Projection horizontale de houppier

La biomasse du houppier joue un rôle fondamental dans le bilan photosynthèse-respiration et dans l'allocation annuelle des ressources de l'arbre (Makela.E.G, 1986 in Frederic, 1997). Son développement est limité par la présence physique des arbres voisins et aussi par le bilan énergétique de l'arbre. Le niveau d'éclairement du houppier des arbres est apprécié visuellement sur le terrain et ne fournit pas des informations qualitatives sur la concurrence entre arbres du peuplement pour l'accès à la lumière. La mesure de la surface de la projection horizontale d'une cime est d'autant intéressante, notamment lorsqu'on cherche les effets d'une éclaircie.

Des études ont été menées sur des peuplements obtenus (figure II.12), pour comparer la mesure réelle de la superficie projetée des cimes à celle qu'on obtiendrait en l'estimation à partir de plusieurs rayons (Parde et Bouchon, 1988). Pour notre étude à partir d'un point

intérieur à la cime (base de tronc), pris comme centre de rayonnement, on trace deux rayons (02) décalé de 90°, le premier étant pris au hasard, le second par angle (Figure II.16)

$$S_2 = \frac{\pi}{2}(r_1^2 + r_2^2)$$

Avec:

(S) : surface de cime;

(π) : Quotient à valeur de 3,14;

(r): rayon projetés.

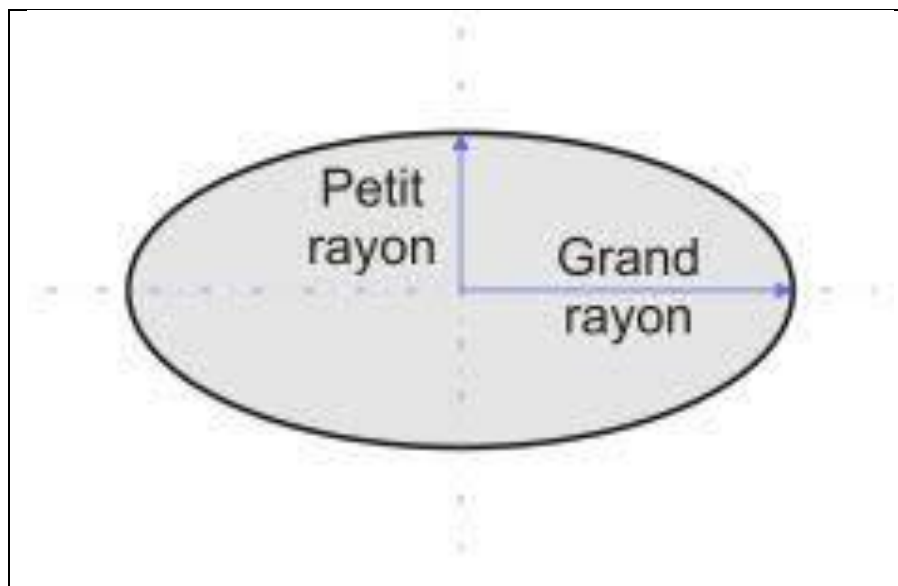


Figure II.16 : Rayons obtenus par projection horizontale d'une couronne (Fellak, 2020)

Le travail a porté sur 96 arbre ; les formes des surface projetées des houppiers étaient relativement classiques sous forme de cercle, ellipse, haricot, poire et cœur (Parde et Bouchon, 1988). L'utilisation de la forme houppiers de base symétrique (circulaires) est choisie pour bien décrire relativement la croissance des peuplements, en vue d'éviter l'influence de la distorsion des couronnes, ces déformations peuvent être évitées par la prise en compte de ces trois paramètres de forme l'asymétrie (A) et l'excentricité (e) du houppier telle que définies par (Curtin, 1970 et Bragg, 2001 in RABHI, 2015) ainsi que le coefficient d'extension maximale (CE) établi par Piboule (2005). Cette procédure a pour objectif de prédire une forme idéale du houppier et ainsi optimiser la robustesse des modèles construits. Le coefficient d'extension maximale (CE), permet d'évaluer à quel point l'extension du houppier dans une direction particulière est importante par rapport à une extension isotrope théorique. Il est toujours supérieur ou égal à un(1). Une valeur de 1 indique que le polygone

délimité par les rayons systématiques est régulier, donc la forme du houppier est un cercle (Piboule, 2005). Il caractérise l'extension maximale du houppier par rapport à son extension moyenne.

Les formules de ces trois paramètres sont données par les équations suivantes :

- **Asymétrie** : $A = \frac{P}{\bar{R}}$

Avec:

P : Rayon de projection maximale des branches;

$\bar{R}$: Moyenne des autres rayons de projection.

- **Excentricité** : $e = \sqrt{\frac{(CW_{\min}/2)^2}{(CW_{\max}/2)^2}}$

Avec:

$CW_{\min}$ et $CW_{\max}$: sont respectivement les largeurs maximale et minimale du houppier mesuré.

- **Coefficient d'extension** : $Ce = \frac{R_{\max}}{R_{eq}}$

Avec:

$R_{\max}$: Rayon maximal.

R_{eq} : Rayon d'un cercle de même aire que le houppier.

I.6.3.3. Indice de compétition

Les indices de compétition sont des indices statistiques calculés en fonction de la proximité et des dimensions des arbres voisins. Ils permettent d'expliquer les variations de croissance d'un arbre-sujet associées à la pression de compétition locale. Fréquemment, ces modèles s'écrivent sous la forme d'un produit potentiel-réducteur (Dreyfus, 1999).

Les indices de compétition déterminés portent sur deux classes distinctes (Prévosto, 2005 in Lucie, 2010), ceux dit dépendants de la distance où la position de chaque arbre est connue, la compétition est considérée comme un phénomène localisé à l'entourage immédiat de l'arbre, qui diminue avec la distance. Ces indices sont mieux adaptés pour évaluer la compétition dans des peuplements complexes. D'autres indices indépendants de la distance, exprimant la densité locale et le statut social (indice d'éclairement du houppier) des arbres par rapport au peuplement (Mbonayem, 2017).

Sur la même gamme, notre travail tient à estimer la compétition des cimes cela par le F.C.C (facteur de compétition des houppiers) et à calculer la densité relative des peuplements à l'aide de deux indices de compétition ; indice de REINEKE (IR) et le facteur d'espacement de HART-BECKING ainsi que l'indice de compétition proposé par Tome et Burkhart (1989), qui sont fondés sur des principes peu compliqués et se prêtent à des mesures non couteuses sur le terrain, ces indices présentent également d'avantage en évitant l'estimation délicate et imprécise de l'âge et de l'indice de site (Parde et Bouchon, 1988). D'après Piboule (2005), on peut utiliser le coefficient d'extension (Ce) comme indice de compétition, et l'interprété comme une capacité de fuite de la compétition, dans le cas où cette compétition est intense et ne laisse que quelques directions libres à un houppier pour s'étendre.

I.6.3.3.1. Le facteur de compétition des houppiers

En forêt, le développement latéral des couronnes est limité par la compétition et dans la publication de Krajicek, Brinkman, Gingrich, publié en 1961 sous le titre : « La concurrence des cimes — Une mesure de densité », ces auteurs ont proposé une démarche de mesure de densité axée sur la concurrence des houppiers. Elle est fondée sur l'observation qu'il existe, pour les arbres forestiers de chaque espèce s'étant développé sans concurrence, une relation entre leur diamètre à 1,30 m et le diamètre de leur couronne (Ottorini, 1978).

Pour chaque espèce on peut calculer avec la méthode des moindres carrés, deux coefficients a et b tels que le diamètre moyen CW de la couronne des arbres de plein champ, de diamètre D à 1,30 m soit donné par la relation :

$$CW = a + bD$$

Pour tout arbre de diamètre D (à 1,30 m), la surface moyenne maximum de couronne ou «MCA» (pour Maximum Crown Area), est alors définie par :

$$MCA = \frac{\pi \cdot CW^2}{4} = \frac{\pi(a+bD)^2}{4}$$

Si on considère les N tiges occupant une surface de terrain S , on appellera facteur de compétition des couronnes F.C.C, le rapport entre la surface qu'occuperaient des arbres

virtuels de même diamètre en croissance libre et la surface S de terrain (Parde et Bouchon, 1988), donné par la relation suivante :

$$F.C.C = \frac{100}{S} \sum_{i=1}^N MCA$$

La compétition est d'autant plus forte que le facteur F.C.C est supérieur à 100 ; le facteur 100 correspond à peu près à la croissance libre, au-delà de cette valeur, la croissance individuelle devrait être ralentie par la concurrence. Beaucoup d'études sylvicoles, sont basées maintenant sur ce facteur utilisé comme estimateur de la densité d'un peuplement donné (Parde et Bouchon, 1988 ; Ottorini, 1978).

I.6.3.3.2. Indice de REINEKE (IR) ou encore Stand Density Index

Observons que différents peuplements à densité complète, tels que ceux faisant l'objet des tables de production à densité normale et qui présente le même diamètre moyen (d_m), ces derniers ont approximativement le même nombre maximale de tige à l'hectare. C'est-à-partir de cette observation que Reineke a pu établir un indice qui met en relation avec différents diamètres moyens. Chaque peuplement est caractérisé par un nombre de tige connu (N) et un diamètre moyen (d_m). d'après Prevosto (2005), Cet indice est donné par la formule suivante :

$$IR = N \left(\frac{25}{d_m} \right)^P$$

Avec:

d_m : Diamètre moyen, dont diamètre à (1.30) est donné par ; $d_{1.30} = C_{1.30}/\pi$

$C_{1.30}$: Circonférence mesurée à hauteur de poitrine;

P : Pente de la droite de régression entre le logarithme du diamètre et de densité.

N : nombre de tige à l'hectare.

D'une façon équivalente, certains indices utilisent une mesure simple de la compétition. D'après Balandier et al., (2010), En peuplement pur et régulier, la variable la plus simple considérée comme un bon indicateur d'éclairement, qui permet d'estimer avec une assez bonne précision la lumière dans le sous-bois, est bien la surface terrière du peuplement G (m^2/ha). La mesure est obtenue en calculant la surface terrière du peuplement dans lequel se trouve l'arbre sujet, peut être calculée pour tous les arbres compétiteurs ou pour une fraction d'entre eux (Prevosto 2005). A titre de travail, on pose la combinaison Tome et Burkhart(1989), par la relation :

$$IC = \left(\frac{10000}{N} \right) \left(\frac{g_i}{g_m} \right)$$

Avec:

g_i, g_m : Respectivement surface terrière de l'arbre i et surface terrière moyenne du peuplement;

N : densité (arbres/ha).

Lorsqu'on regarde la section horizontale d'un arbre, on l'assimile souvent à un disque et calculer la surface terrière d'un arbre à l'aide d'un inventaire revient alors à calculer la surface du disque ayant le même diamètre que le tronc, c'est-à-dire : $g_i = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ (Parde et Bouchon, 1988).

I.6.3.3. Facteur d'espacement de HART-BECKING

Le facteur d'espacement est principalement employé pour chiffrer l'intensité d'une éclaircie, également pour matérialiser la densité du peuplement. Le rapport est exprimé en pourcentage de l'espacement moyen (a) des arbres d'un peuplement à la hauteur dominante (h_0) de ce dernier.

Ce facteur est un critère synthétique, tient compte à la fois de la fertilité de la station (indiquée par la hauteur dominante) et de la densité du peuplement (représenté par N). (Riou-Nivert, 1981 in Parde et Bouchon, 1988). Il est donné par la formule suivante :

$$IH = 100. \left(\frac{a \text{ (m)}}{h_0 \text{ (m)}} \right) \quad \text{Avec : } a = \left(\sqrt{\frac{20000}{N\sqrt{3}}} \right).$$

Chapitre II

Résultats et Discussions

Dans cette partie nous présenterons les principaux résultats obtenus lors de cette analyse, qui seront par la suite interprétés et discutés, en élaborant des comparaisons avec les résultats des autres auteurs.

Nous commencerons par la présentation des résultats des paramètres dendrométriques calculés à l'échelle des placettes échantillonnées pour les variables retenues dans cette étude.

II.1.1 Analyse descriptive des données dendrométriques

II.1.1.1 La hauteur

Dans l'échantillonnage réalisé au massif forestier d'Akfadou-Ouest, la hauteur totale moyenne importante enregistrée sur les trois stations étudiée est de 18,85m.

La station (03) au niveau de Tacherchourt présente la hauteur maximale la plus importante mesurée soit de ($h = 24,2$ m), avec une moyenne de toutes les mesures qui est de ($h = 20,02$ m). La placette présente les observations les plus remarquables par apport à d'autres placettes de l'inventaire. Dans la même variable, la faible valeur mesurée est de ($h = 3,2$ m), enregistrée sur Tala-Kitane avec une moyenne de ($h = 12,38$ m).

La variation de cette variable marquée d'une placette à une autre. La placette (02) au niveau de Avrid-Iharkane présente une variation de ($CV = 25,46\%$; $\bar{\sigma} = 2,06$), la plus faible est observée dans la placette (03) au niveau de Tacherchourt soit. ($CV=21,32$; $\sigma=4,27$). Concernant la placette (01) à Tala-Kitane ; est relativement la plus variée en hauteur ($CV=45,88$; $\sigma=5,68$).

Quant à la répartition des observations autour de la moyenne, le coefficient d'asymétrie (Skewness) nous donne une valeur positive (>0) pour la placette 01 soit 0,08, alors la distribution unilatérale est étalée à droite de la moyenne, indique le pic se trouve dans les petites tailles.

Contrairement aux deux autres placettes qui sont négative (<0) alors la distribution unilatérale est étalée à gauche de la moyenne, le pic dans les grande taille (tableau II.3). Concernant la répartition de cette variable autour de leur centre pour toutes les placettes échantillonnées, le coefficient d'aplatissement est positive, indique une distribution plus pointue pour la placette (03) et plus plate pour la placette (01 et 02) et des extrémités plus épaisses par rapport à la distribution normale (distribution *leptokurtique*) (Mercier.J-L, 2013).

II.1.1.2 La circonférence

Quant à la circonférence, les des données de l'inventaire suivent la même tendance que les hauteurs. Les arbres ayant une grosseur maximale se localisent dans la station (03) au niveau de Tacherchourt qui se manifeste par la plus importante mesure observée soit de ($C_{1,30}=167\text{cm}$), dont la moyenne est enregistrée est de ($C_{1,30} = 118,3\text{cm}$).

La station (02) sur Avrid-Iharkane se caractérise par la mesure la plus faible soit de ($C_{1,30}=9,5\text{cm}$).

La variation de cette variable inter placettes, pour les placettes (01 et 02) montre une forte variation ($CV=61,3$; avec un écart-type moyen de $\sigma=32,12$ pour la placette 01 et $\sigma=12,67$ pour la placette 02), contrairement à la placette (03) qui montre une faible variation ($CV=29,97$; $\sigma=35,46$).

Pour les valeurs données par le coefficient d'aplatissement (Skeweness), la placette (01) de Tala-kitane soit (coef.kurtosis=2,17) et caractérise une courbe plus plate que la place-gausse et diffère de la courbe des autres placettes qui sont plus pointue où le pic s'étale à la droite de la moyenne.

II.1.1.3. Paramètres dendrométriques des variables (Hauteur-Circonférence)

Le tableau (II.7) résume la description dendrométrique des deux variables (hauteur-circonférence à hauteur de poitrine (CHP) de chêne zéen à l'échelle des placettes étudiées.

Tableau II.7. Données dendrométriques sur le chêne zéen à l'échelle des placettes échantillonnées.

Placette	Par	N	$\bar{X}$	σ	max	Min	CV%	Kurtosis	Skeweness
Tala-Kitane	H	21	12,38	5,68	21,16	3,20	45,88	1,23	0,08
	C		52,37	32,12	123	14	61,32	2,17	0,90
Avrid-Iharkane	H	66	8,09	2,06	11,2	3,20	25,46	1,94	-0,63
	C		25,12	12,67	65,5	9,5	61,33	3,90	1,40
Tacherchourt	H	9	20,02	4,27	24,2	10,2	21,32	6,39	-1,69
	C		118,3	35,46	167	47,8	29,97	3,95	-0,74
Légende	N : nombre de tige par surface. / MIN : minimum. / MAX : maximum. /								
	$\bar{X}$: moyenne. σ : écart-type. / CV% : coefficient de variation								

L'analyse du coefficient d'aplatissement (Kurtosis) et du coefficient d'asymétrie (Skeweness) montre une grande hétérogénéité inter-placettes quant à la distribution de leurs hauteurs et de leurs circonférences (tableau II.7). Les valeurs du Kurtosis observées pour les deux variables et pour toutes les placettes sont dispersées entre ($\beta=1,23$ à $6,39$), les distributions issues se varient, d'une part trop plate (distribution platykurtiques) d'autre part trop pointue (distribution leptokurtique), en comparaison à la distribution Normale.

Quant au coefficient d'asymétrie, il présente des valeurs positives et négatives plus ou moins éloignées de zéro (0) dont ($\gamma = -1,69$ à $0,90$) donc les distributions sont légèrement étalées à droite et à gauche de part et d'autre de la distribution Normale. Ceci pourrait résulter des opérations sylvicoles menées dans le passé (Messaoudene, 1989 in RABHI, 2015).

Concernant les résultats d'analyse de la variance à un facteur, la variable aléatoire F observée pour la variable de hauteur ($F_{\text{observé}} = 458,00$) présente un niveau très hautement significative, contrairement de la variable (circonférence) la statistique F observée ($F_{\text{obs}}=32,16$) niveau de significations moins. Quant à la table de Fisher-Snedecor, La variable F théorique donnée avec un degré de liberté au numérateur ($k= 279$) et un degré de liberté au dénominateur ($l = 2$). Ce quantile est dénoté $F_{k,l,\alpha}=F_{279,2,0,005} = 3,04$. On constate que, la variable de la statistique F critique ($F_{\text{critique}} = 3,041$) est inférieure à celle observée, c'est-à-dire, ($F_{\text{obs}} > F_{\text{th}}$).

Donc l'hypothèse nulle est rejetée. Ce qui nous conduit à conclure que, les moyennes des variables analysées (hauteur-circonférence des arbres) sur les trois placettes sont différentes, ainsi les peuplements sont hétérogènes. Ce qui explique la dissimilitude d'effet de la densité ainsi la fertilité des placettes.

L'analyse effectuée montre une variabilité de niveau de signification entre la hauteur et la circonférence, le niveau de signification plus ou moins réduit marqué est observée pour la circonférence (tableau II.4), cette variabilité reflète l'effet des écarts de densité entre les stations, varie de 3300 tiges par hectare pour la station 02 au niveau de Tala-Kitane à 450 tiges par hectare pour la station 03 au niveau de Tacharchort. Par ailleurs, Calma et Montero (2004) considèrent que la relation existante entre la grosseur d'un arbre et sa hauteur varie non seulement en fonction des structures forestières mais qu'elle dépend également de l'environnement de croissance des peuplements. Conséquemment, pour une certaine hauteur, les arbres qui poussent dans les peuplements de haute densité auront des grosseurs plus petites par rapport à ceux qui poussent au sein des peuplements moins denses ; les petites grosseurs étant dus à la concurrence entre les arbres (Calma et Montero, 2004; Sanchez et al., 2003 in Chourou, 2014).

La (figure II.17, II.18) montre la normalité des données empiriques (hauteur-circonférence), ainsi l'écart-maximum entre la fonction de répartition des observations et la fonction théorique montre (l'écart max > **0,05**), cette dernière stipule que la distribution empirique ne provient pas d'une distribution normale.

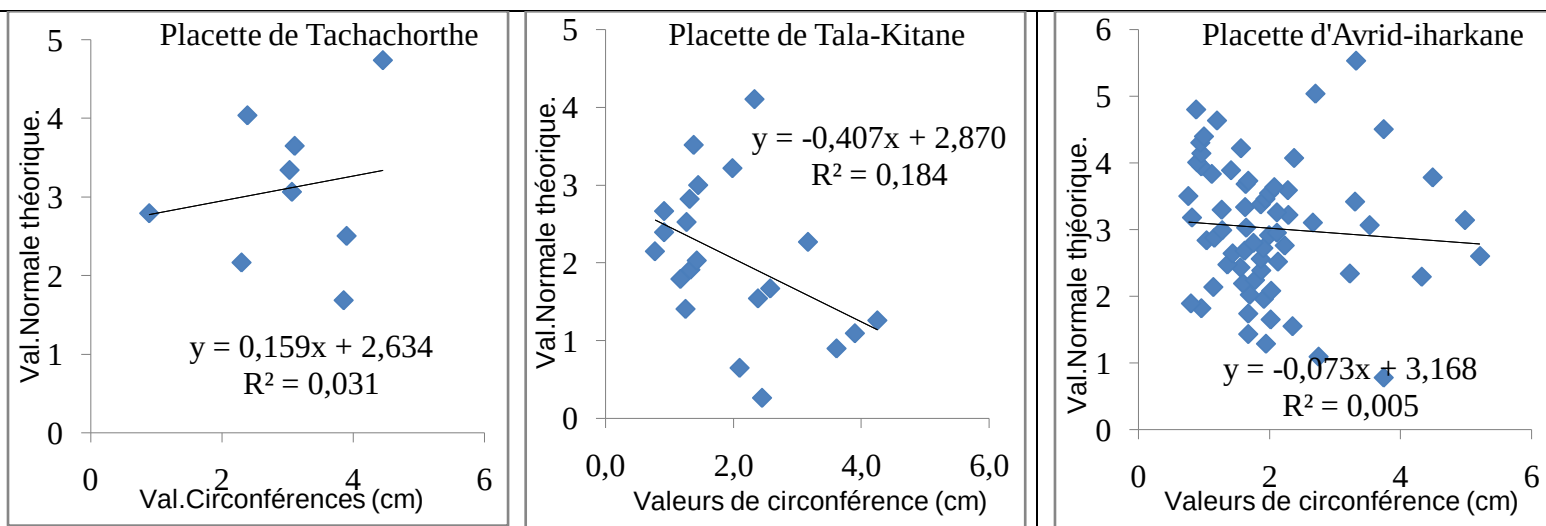


Figure II.17 : Tracé de la normalité des données empiriques (circonférence) à l'échelle des placettes.

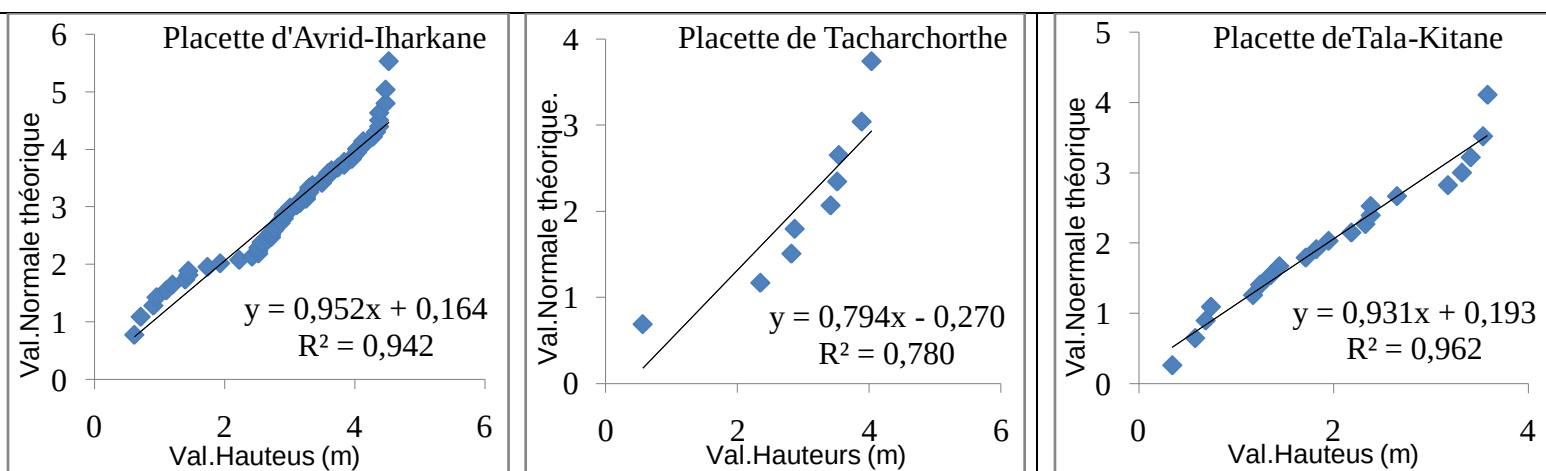


Figure II.18 : Tracé de la normalité des données empiriques (hauteur) à l'échelle des placettes.

II.1.1.4. Longueur des branches de houppier

A l'intérieur de dispositif expérimental de la zone de concurrence définie, tous les arbres ont été mesurés (deux rayons perpendiculaires de houppier 90°) à l'aide d'un mètre ruban.

Dans la placette de Tala-Kitane, le rayon projeté au sol des houppiers compris entre 0,92m à 4,79m pour toutes les tiges de la placette. En moyenne, la placette présente un rayon de projection moyen de ($\bar{R} = 2,42\text{m}$) avec une variation de ($CV = 43,37\%$; $\sigma = 1,05\text{m}$).

De même pour la placette réalisée sur Avrid-Iharkane, celle-ci présente un intervalle faible d'étalement de développement des houppiers compris entre 0,45 à 3,20m. Ce même paramètre (R), présente une moyenne mesurée de ($\bar{R} = 1,37\text{m}$) qui varie entre observations ($CV = 43,90\%$; $\sigma = 0,60\text{m}$). Mais certaines dépassent largement cet intervalle où on observe des diamètres allant jusqu'à 7m, ce sont des arbres à houppiers très développés. Sont des projections enregistrées sur la placette de Tacherchourt, dont le rayon (R) compris entre 2,20 à 7m. La placette manifeste par une longueur moyenne plus élevée soit ($\bar{R} = 3,68\text{m}$), ainsi caractérise une légère faible variation ($CV = 39,25\%$; $\sigma = 1.44\text{m}$), qui dit que la placette est plus homogène par apport aux placettes précédentes vis-à-vis de cette même variable. Le récapitule des résultats de calculs sont représentés dans le (tableau II.8)

Tableau II.8 : Résultats des mesures dendrométriques des longueurs du houppier

placette	variable s	$\bar{x}$	σ	CV(%)	$\bar{X}$	CV (%)
placette (1) Tala-Kitane	R_{grand}	2,95	1,04	35,18	2,42	43,37
	R_{petit}	1,89	0,78	41,03		
placette (2) Avrid-Iharkane	R_{grand}	1,59	0,59	36,80	1,37	43,90
	R_{petit}	1,15	0,54	46,66		
placette (3) Tacherchourt	R_{grand}	4,56	1,43	31,30	3,68	39,25
	R_{petit}	2,79	0,79	28,16		

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.

Pour mieux visualiser la normalité de distribution des données, le tracé graphique met en évidence l'allure de cette variable par placette.

Quant à la comparaison d'homogénéité des moyennes inter-placettes au sein de chacun des peuplements. L'analyse de la variance montre, comme pour les hauteurs et circonférences, des différences d'une placette à l'autre pour deux mesures de rayon projeté au sol par le même arbre i. La première mesure R_1 (le rayon le plus long développé sur l'arbre i) montre la fréquence observée très hautement significative ($F_{\text{observé}} = 375,98$ au seuil $\alpha = 0.05$). (Tableau II.8). De même pour la deuxième mesure de cette même variable R_2 (rayon projeté au sol, mesuré perpendiculairement $\alpha = 90^\circ$ au premier rayon R_1). Comparaison des moyennes le tableau II.8 montre une variable F observée inférieure de R_1 soit ($F_{\text{observé}} = 192,13$ au seuil $\alpha = 0.05$).

La table de Fisher-Snedecor, montre la variable F critique donnée avec un degré de liberté au numérateur ($k = 279$) et un degré de liberté au dénominateur ($l = 2$), est de $F_{k.l.\alpha} = F_{279.2.0,005} = 3,04$. Les résultats des fréquences F observées sont supérieures à la variable F critique donnée par la table de Fisher-Snedecor ($F_{\text{théorique}} = 3,04$) donc l'hypothèse nulle est rejetée.

Nous concluons donc que, les moyennes de la variable analysée (longueur des branches des arbres des peuplements) sur les trois placettes sont différentes, les peuplements sont hétérogènes, ce qui reflète le taux des espacements et le degré de compétition auquel les arbres sont soumis varie d'un peuplement à un autre et d'une placette à une autre.

Pour la normalité des données de cette variable, le tracé graphique des données met en évidence la distribution normale de cette variable (pour les deux mesures R_1 , R_2) à l'échelle des trois placettes (figures II.19 et II.20).

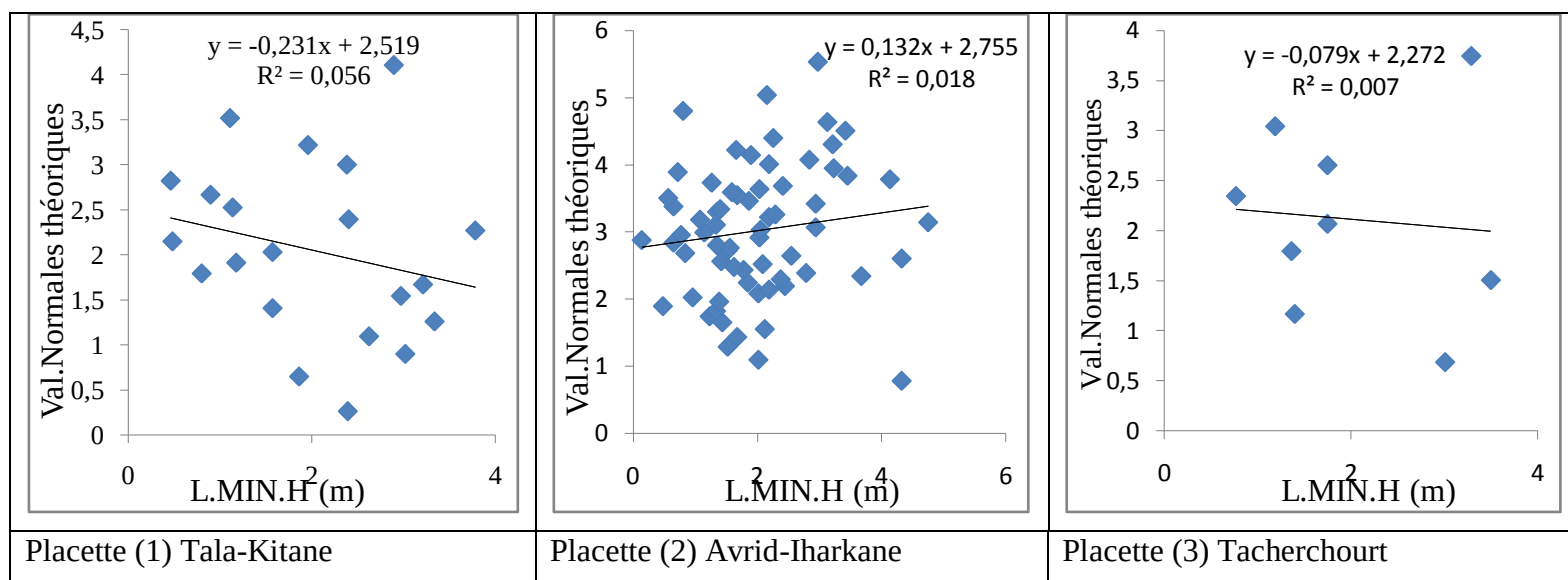


Figure II.19 : La normalité de la variable R_1 (rayon maximal de projection au sol de l'arbre i)

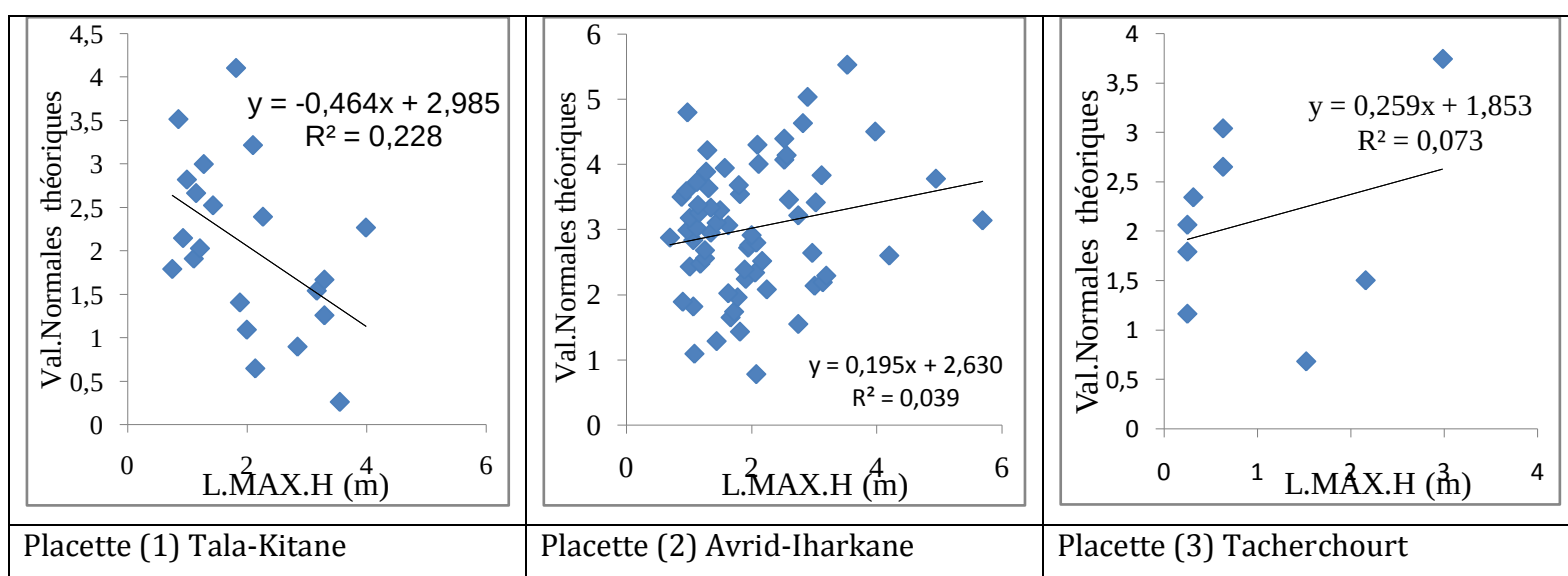


Figure II.20 : La normalité de la variable R_2 (longueur minimal des houppiers de l'arbre i)

II.1.1.5. Les espacements des arbres

Dans la mesure de la distance de chaque arbre de l'arbre centre de chaque placette.

La mesure des distances, 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 (Parde et Bouchon, 1988). Les mesures effectuées sur Tala-Kitane, montre la plus faible distance enregistrée qui est de (Dist = 1,16m) avec une moyenne des distances de (Dist = 5,12 m) avec une variation des (CV = 45,52%) dans un intervalle compris entre 1,15 à 8m de centre considérée. La placette de Avid-Iharkane la plus dense (66 tige/2ares) montre une distance

moyenne de (Dist = 4,9m) qui varie de (CV = 40,78%). Contrairement à la placette de Tacherchourt, une station plus âgée, de faible densité, qui présente une maximale des distances moyennes de (Dist = 5,52m ; CV = 48,38%), la plus espacée des peuplements échantillonnés (tableau II.9).

Tableau II.9 : variation des espacements des individus de l'arbre centre de la placette

placette	$\bar{X}$	σ	CV(%)
placette 1	5,11	2,33	45,52
placette 2	4,9	2,00	40,78
placette 3	5,52	2,67	48,38

L'analyse de la variance de cette même variable, montre une variable aléatoire F observé de ($F_{\text{observé}} = 1,94$). A la statistique critique, de la table de Fisher-Snedecor la variable F donnée avec un degré de liberté au numérateur ($k = 279$) et un degré de liberté au dénominateur ($l = 2$) est noté $F_{k.l.a} = F_{279.2.0,005} = 3,04$

On observe que la F_{obs} est inférieur à la variable F critique donnée par la table de Fisher-Snedecor ($F_{\text{théorique}} = 3,04$), donc l'hypothèse nulle est acceptée. En concluant que, les moyennes de la variable analysée (distance entre les arbres et le centre de la placette) sur les trois placettes sont égaux, les peuplements sont homogènes.

Pour la normalité des données de cette variable, le tracé graphique des données met en évidence la distribution normale de cette variable à l'échelle des trois stations.

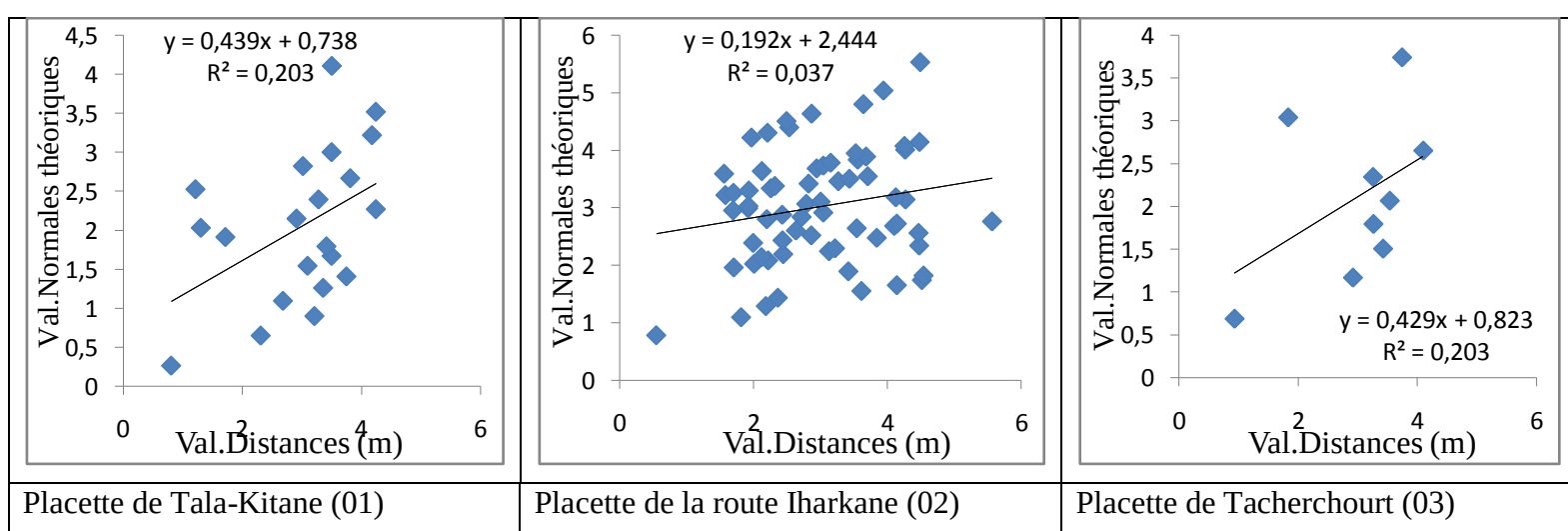


Figure II.21 : normalité des distances des arbres de centre de la placette.

II.1.3. Etude descriptive de la structure horizontale et verticale des peuplements

II.1.3.1. Description statistique de la structure horizontale des peuplements

L'analyse des données montre des différences de distribution et de répartition des arbres par classes de grosseur et en fonction de densité à l'hectare d'une placette à une autre, soit (1050 arbres/ha) pour la placette (01) de Tala-Kitane, (3300 arbres/ha) au niveau de Avrid-Iharkane et en dernière, la placette de Tacharchort par une très faible densité (450 arbres/ha). Leurs distributions par catégorie de circonférence d'amplitude égale de 16 cm. cette dernière, montre que les arbres dans la placette de Tala-Kitane approximativement représente toutes les classes est légèrement dense dans la classe de $[16 - 32[$, son coefficient d'asymétrie positive ($CA=0,90$) (tableau II.9) indique une courbe de Gauss étalée à droite de la moyenne et selon le coefficient de Kurtosis, la distribution avec un pic moins plat de type **Leptokurtique** (figure II.22). Contrairement à la placette de la route Iharkan sur neuf classes de circonférence on trouve une densité de (1850 tiges/hectare) de la totalité qui sont concentrés dans la classe $[16 - 32[$ et une densité de 800 tiges à l'hectare dans la classe de ($C_{1.30m} < 16cm$), une placette très jeune montre un coefficient d'aplatissement positive, ($CK=3,90$) indiquant ainsi une courbe plus pointue étalée à droite de la moyenne ($CA= 1,40$).

Quant à la troisième placette au niveau de Tacharchorthe, celle-ci se manifeste par des pieds plus âgés de (96 ans au moyenne), sur une densité de (450 tige/ha) marque une grande partie qui est concentrée dans une grosseur ($C_{1.30m} \geq 128cm$) soit (300 tiges/hectare), selon la valeur de coefficient d'asymétrie de ($CA = -0,74$), ainsi d'après la représentation graphique (figure II.22), le peuplement montre ainsi une distribution unilatérale étalée à gauche de la moyenne, caractérisée par un aplatissement plus fort vis-à-vis des autres placettes, qui indique une courbe plus pointue que la distribution de Laplace-Gauss (LG) (tableau II.12) résume les résultats de la répartition des tiges par classe de circonférence ($C_{1.30m}$) par placettes, l'observation est représenté sous-forme graphique dans la figure (II.22).

Tableau II.11. Répartition des tiges en classe de circonférence d'amplitudes de 16cm.

Classes	PI (01) Tala-kitane	PI (02) Avrid-Iharkane	PI (03) Tacharchorthe
[0 – 16[	1	16	0
[16 – 32[	7	37	0
[32 – 48[	3	9	1
[48 – 64[	3	4	0
[64 – 80[	3	0	0
[80 – 96[	1	0	1
[96 – 112[	1	0	1
[112 – 128[	2	0	3
≥128	0	0	3

II.1.3.2. Etude de la structure verticale des peuplements

L'analyse de la figure II.22 et de tableau II.12 montrent des différences de distribution et de répartition des classes de hauteur d'une placette à une autre. Ceci est dû au nombre de tige à hectare qui diffère entre les trois placettes, cette dissimilitude explique la variation en degré des compétitions entre les arbres à l'échelle des placettes.

La placette de Tala-Kitane, présente une forte hétérogénéité de ses hauteurs, en représentant toutes les catégories des hauteurs avec une légère variation. Elle se caractérise aussi par un nombre d'arbres plus au moins élevé pour les classes de [10-15[et [5 - 10[. Les autres classes sont moins représentées. Par contre, dans la placette de la route Iharkane, les arbres ne dépassent pas les (h=15m), ainsi que la majorité des arbres appartiennent aux classes des hauteurs de [5 – 10[et [10-15[.Quant à la placette de Tacherchourt, on observe que la placette est plus élancée, elle manifeste par des hauteurs plus de (h≥15m) .Comme pour les deux stations citées précédemment la classe la plus représentative est celle des hauteurs de [20-25[.

Tableau II.12: Répartition des arbres par catégorie de hauteur d'amplitude égale de 5m

classes	PI Tala-kitane	PI Avrid-Iharkane	PI Tacharchorthe
[0 – 5[	2	9	0
[5 – 10[	6	43	0
[10 – 15[	7	14	1
[15 – 20[	3	0	3
[20 – 25[	3	0	5

Les histogrammes basés sur la densité en tiges des différentes classes (figure II.22), permettent de visualiser la structure de la population au niveau de chaque formation végétale

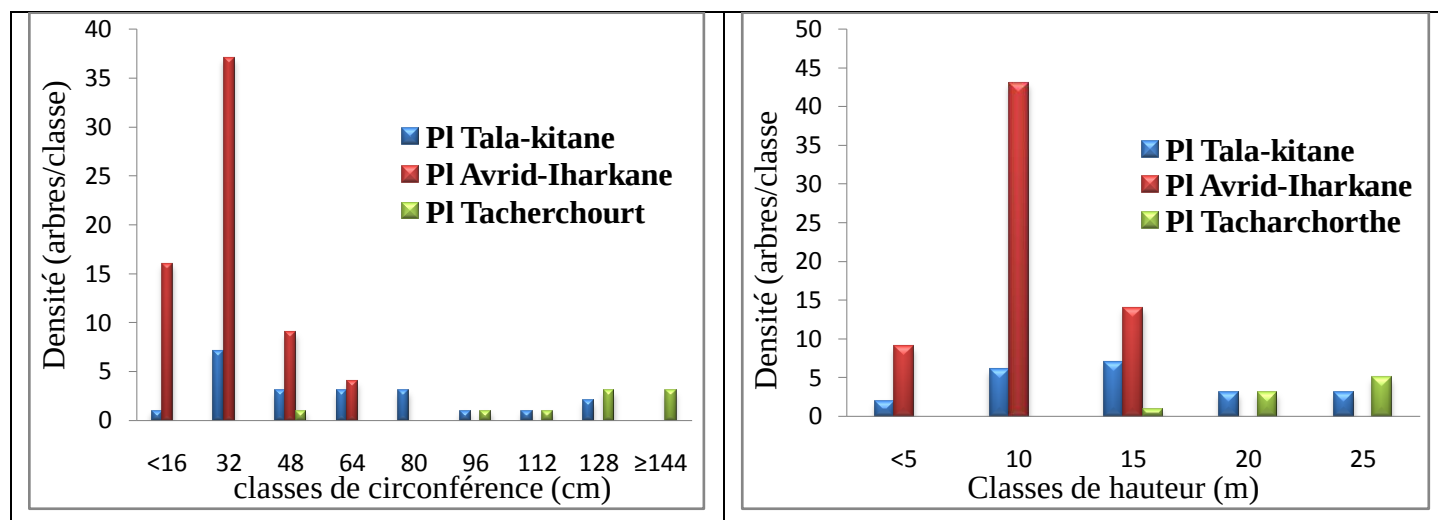


Figure II.22: Répartition des tiges de peuplement de chêne zéen en fonction des classes de circonférence ($C_{1.30m}$) et de hauteur (h) à l'échelle des placettes.

II.1.4. Résultats et interprétation de la modélisation des variables dendrométriques

II.1.4.1. Modélisation de structure des peuplements par placette

II.1.4.1.1. Estimation des paramètres

Nous avons estimé, pour les trois placettes d'échantillon, les paramètres de la distribution de Weibull(a, b, c) par la méthode MXVS, à l'aide du programme STATISTICA. Comme s'est calculé, la moyenne et l'écart-type pour la distribution normale. Ainsi les résultats de l'ajustement obtenues entre les prédites et les observés de ces distributions.

Tableau II.13: Paramètres et valeurs des distributions : normal, weibull et l'indice d'ajustement.

Distribution	Méthode	Placette	$\bar{X}$	σ	a	b	c	IE
Normal		Pl 01	52,38	32,12				18,58
		Pl 02	25,10	12,67				1,75
		Pl 03	118,34	35,46				8,99
Weibull	MXVS	Pl 01			0	59,27	1,78	9,00
	MXVS	Pl 02			0	28,49	2,13	26,27
	MXVS	Pl 03			0	132	3,11	20,79
$\bar{X}$:moyenne. σ : écart-type. IE : indice de Reynolds. (a, b et c) paramètre de weibull								

Chapitre II : Résultats et discussion

Les résultats d’estimation des deux approches théorique (distribution normale et distribution de weibull) pour la structure en densité des classes de circonférences, sont présenté ci-dessous sous-forme d’histogramme.

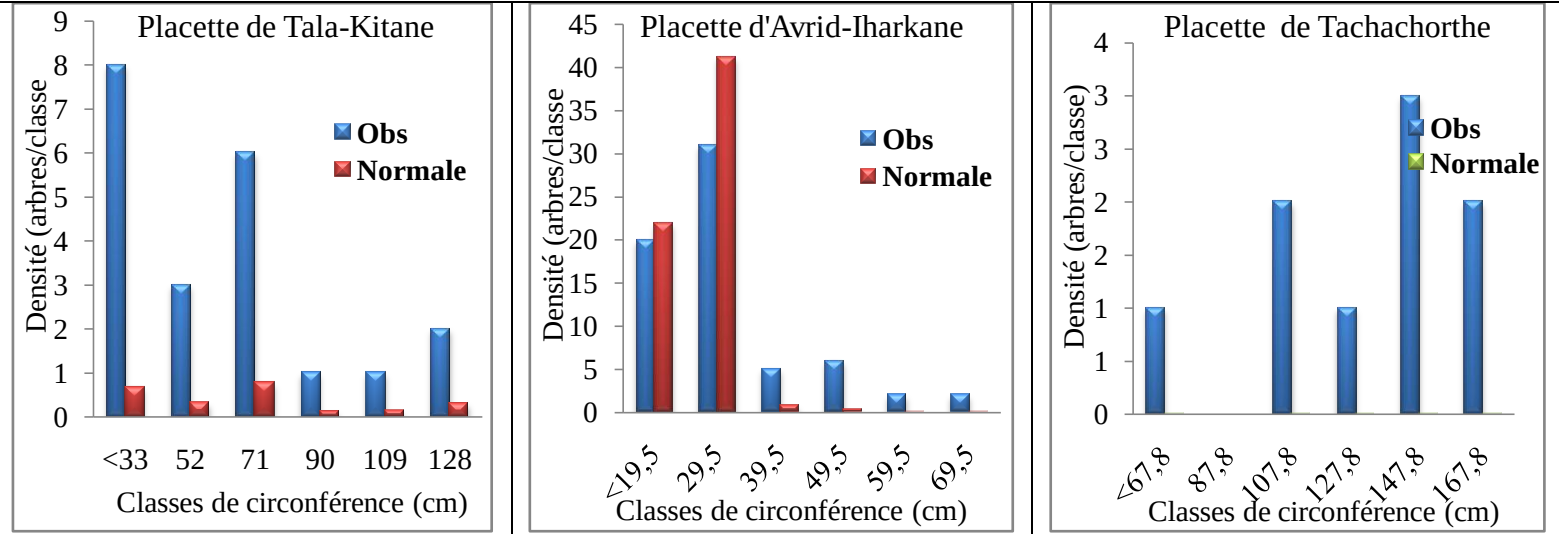


Figure II.23 : Structure en circonférence par placette échantillonnées avec superposition de la distribution Normale

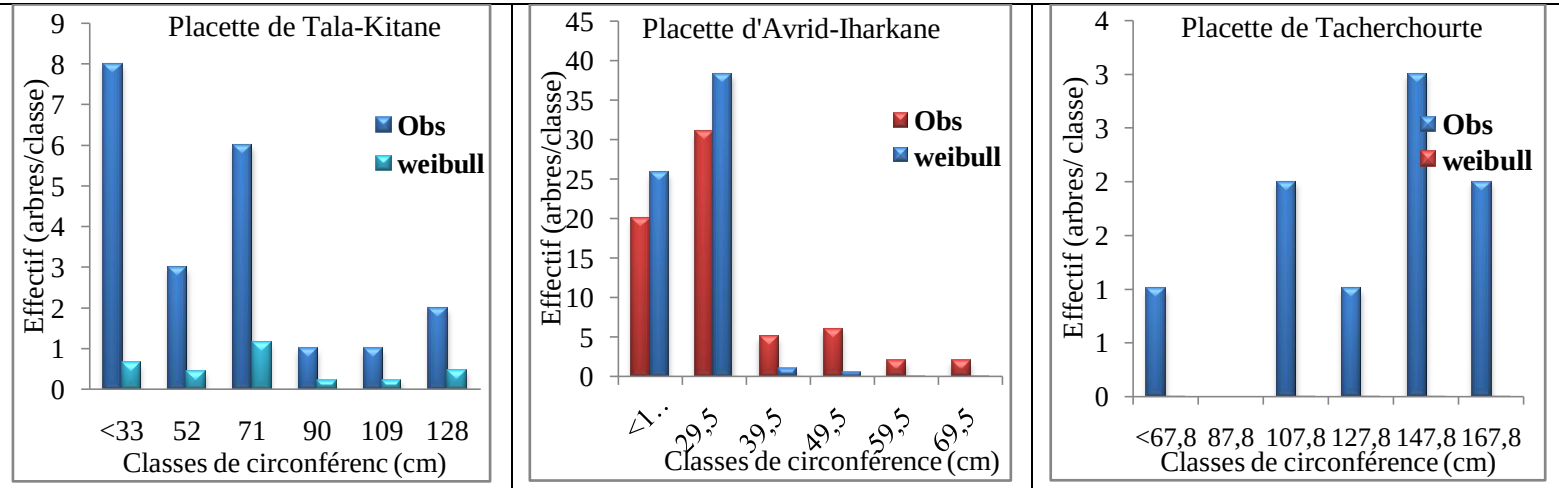


Figure II.24 : Structure en circonférence par placette échantillonnées avec superposition de la distribution Weibull.

II.2.4.1.2. Interprétation des résultats

Les histogrammes ont donné l’allure de la distribution des individus au sien de chaque peuplement inventorié. Le test visuel montre que la placette (02) réalisée au bord de la route d'Iharkane, approximativement semble adéquate avec les deux approches théoriques usées (Weibull et Normale). Celle-là reflète l’effet de la densité, la placette caractérise un nombre d’individus remarquables et homogènes soit de 3300 tiges à l’hectare sur un totale échantillonné de 4800 arbres par hectare. La surimposition de la placette indiquée avec la

distribution normale montre un bon ajustement, on remarque parmi les six classes de circonférences [9,5–19,5[, [19,5–29,5[, [29,5–39,5[, [39,5–49,5[, [49,5–59,5[et [59,5–69,5[.

Les classes les plus représentées sont celle de [9,5–19,5[avec un pourcentage de 30,30% des arbres échantillonnés et la classe [19,5–29,5[avec 46,96% des arbres, de même sous la surimposition avec la distribution de Weibull (figure II.23 et II.24).

Pour s'assurer du bon ajustement de la structure observée vis-à-vis des distributions théoriques, il est nécessaire de réaliser un test statistique d'ajustement. Dans ce cas, la méthode statistique utilisée, comme on a noté en méthodologie, la qualité se fait apprécier seul avec de l'indice de Reynolds (IE).

Selon les observations de tableau II.14, qui nous permettent de distinguer que la distribution théorique normale estimée semble d'avoir été retenue pour la construction du modèle final, observons quelle a donné des résultats aussi satisfaisants des classes de circonférence observées, dont l'indice d'erreur est compris entre ($1,75 < IE < 18,58$), par contre la distribution théorique de Weibull estimée par la méthode des maximums de vraisemblance, montre qu'elle génère l'indice d'erreur le plus élevé soit ($9 < IE < 26,27$).

Le modèle final de répartition de tiges de *Quercus canariensis* (Willd) retenue pour l'estimation des effectifs d'une classe de circonférence $[c_1, c_2]$ est le suivant :

$$F(x) = \int_{c_1}^{c_2} \frac{1}{12,67\sqrt{2\pi}} \left[e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-25,10}{12,67}\right)^2} \right] . dx$$

Cette approche de construction des structures en circonférence est la plus pratique et facile à interpréter. Elle permet aux chercheurs de trouver des options d'aménagement des peuplements, de plus elle est la mieux adaptée pour un enseignement en construction et interprétation de structures en grosseur (Mercier J-L, 2013 ; Lejeune, 1994). La simulation par le modèle retenue nous a fourni la présentation graphique (courbe des trois placettes) (figure II.25)

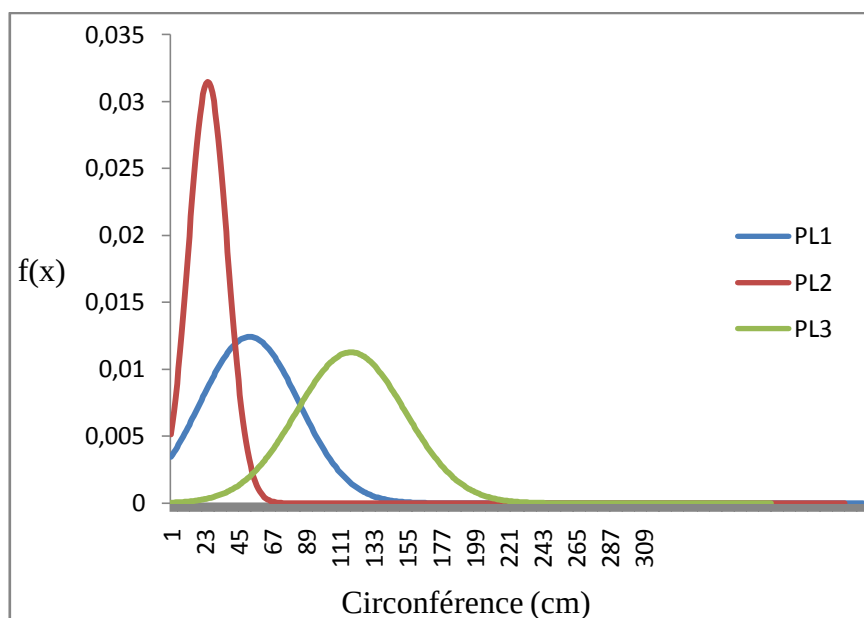


Figure II.25 : Évolution de la structure en fonction de la circonférence (cm)

II.1.5. Construction de modèle de croissance en hauteur et hauteur dominante

II.1.5.1. Calcul de la hauteur dominante (h_0)

Comme c'est indiqué en méthodologie, le (h_0) est les (100) plus gros arbres à l'hectare, pour notre cas la placette est de 2 ares de superficie.

Pour déterminer la hauteur dominante selon la surface, nous passons au calcul de la hauteur totale des deux plus grosses tiges qu'a été mesuré par placette.

La placette de Tacherchourt caractérise la (h_0) la plus importante observée soit (h_0) = 22,95 m), contrairement à Avride-Iharkane ; la plus jeune station dont sa grosseur varie de (9,5cm < C < 65cm), montrant ainsi une très faible hauteur dominante (h_0) = 10,65m). Les variable (h_0) ; sont résumées dans le (tableau II.14).

Tableau II.14: Hauteur dominante à l'échelle des placettes

Placette	Hauteur dominante (h_0)(m)
Tala-Kitane	21,03
Avrid-Iharkane	10,65
Tacherchourt	22,95

II.1.5.2. Modèle hyperbolique de DHOTE et de HERCE

Les modèles les plus utilisés sont ceux de forme hyperbolique, notamment celui de DHOTE et de HERCE (1994), légèrement simplifié par Deleuze (1996). Dans cette partie nous abordons un modèle hyperbolique à trois paramètres pour représenter les liaisons hauteur circonférence réalisé sur le chêne zéen en peuplement équienne.

Le résultat d'estimation des paramètres du modèle sont récapitulés dans le tableau (II.15) pour les données appariées hauteur-circonférence de la zénaie d'Akfadou-ouest.

Tableau II.15: Estimation des paramètres du modèle hyperbolique

station	μ_1	μ_2	μ_3
Tala-Kitane	23,64	0,34	0,899
Avrid-Iharkane	11,85	0,49	0,900
Tacherchourt	-3,51	0,33	-0,001

Les résultats de l'estimation des paramètres montrent une forte dissimilitude entre les peuplements de la zénaie étudié, bien que sont proches de point de vue géographique.

Quant au paramètre μ_1 qui est un paramètre étroitement lié à la hauteur dominante et à la fertilité de la station (Pauwels et *al.*, 1999 in RABHI et MESSAOUDENE, 2013).

Pour la station de Tala-Kitane ; l'asymptote μ_1 est d'une valeur de ($\mu_1 = 23,64\text{m}$) qui est la plus importante observation vis-à-vis de reste des placettes. Cette différence qui est très significative indique la placette de Tala-Kitane est plus fertile ainsi de forte potentialité de production.

Quant au paramètre μ_2 est la pente à l'origine de l'hyperbole qui définit le rapport hauteur/circonférence (H/Cir) des arbres dominés, pourrait se stabiliser avec le retentissement de la hauteur (Dhote et de Hercé, 1994 ; Deleuze et *al.*, 1996). Dans notre estimation, le tableau (II.15) indique une faible dissimilitude entre les placettes dont la plus importante observation est pour le peuplement d'Avrid-Iharkane soit ($\mu_2 = 0,49 \text{ m/cm}$) reste faible de l'asymptote μ_1 ; ce dernier interprète que ce peuplement caractérise une vitesse d'élancement plus grande par rapport à celle du grossement. La placette marquée comme la plus encombrée par le nombre d'effectif, la densité pousse les arbres à s'élancer et à ralentir leurs croissances radiales pour accéder à la lumière et éviter le couvert, ceci reflète que la placette entoure une zone de compétition importante pour la lumière.

Le paramètre de forme μ_3 selon Deleuze et *al* (1996), quand il tend vers 1, l'hyperbole tend vers deux segments de droite. Les valeurs obtenues pour les stations soient entre ($0,89 < \mu_3 < 0,90$), les deux stations sont proportionnelles, dans cette optique d'après DELEUZE et *al* (1996), le paramètre de forme (μ_3) est assez stable et peut même être fixé à 0,9 pour l'épicéa. Dhôte et De Hercé trouvaient des valeurs plus fortes (0,98 pour le hêtre et 0,99 pour le chêne).

Donc, les deux paramètres, de forme et de pente à l'origine, sont des indicateurs du niveau de compétition dans le peuplement et de l'arbitrage (croissance en hauteur et croissance en circonférence) qui en découle.

II.1.5.3. Qualité des ajustements et validation des modèles

La validation des modèles estimés est basée sur des analyses arithmétiques et graphiques des résidus. En se référant à Lopez-Sanchez et *al.*, (2003) et RABHI (2015), nous avons opté pour les tests suivants :

II.1.5.3.1 Analyse arithmétique

II.1.5.3.1.1. Coefficient de détermination (R^2) :

Le R^2 classique a été utilisé pour le choix préliminaire des formes géométriques des modèles. Comme c'est indiqué en méthodologie ; le coefficient montre une valeur proche de 1 est qualifié comme le modèle le plus adéquat. Les résultats obtenus de l'ajustement au coefficient de déterminations R^2 indique que les données de la station de Tala-Kitane est plus adéquat ($R^2=0,77$), mieux adapté par rapport à la station d'Avrid-Iharkane qui est caractérisée par une valeur faible soit ($R^2 = 0,61$).

II.1.5.3.1.2. Carré moyen résiduel CMR :

C'est un indicateur des écarts entre les observations et les estimations du modèle. Le modèle est d'autant plus efficace, plus le résultat tend vers la valeur la plus faible, donc celui-ci analyse la précision des estimations. Le calcul de l'équation montre que la station d'Avrid-Iharkane qui caractérise l'écart le plus faible soit ($CMR=0,31$) pour le modèle hyperbolique par contre pour la station de Tacherchourt qui s'ajuste nettement mieux au modèle parabole en donnant un écart de ($CMR= 0,17$).

II.5.3.1.3. Akaike information criterion (AIC) (Akaike, 1973 in RABHI et MESSAOUDENE, 2013) :

Celui-ci étant défini comme un indice de sélection du meilleur modèle basé sur la minimisation de la distance. Le résultat le plus minime observé, marqué dans la station de Tala-Kitane soit (AIC = 19.97).

Les résultats arithmétiques obtenus pour l'ajustement de la qualité des modèles de DHOTE et De Herce (1994), sont données dans le tableau (II.16).

Tableau II.16: Ajustement de la qualité des modèles au niveau de confiance : 95,0% ($\alpha=0,05$)

Modèles	Stations	R ²	AIC	CMR
Hyperbolique	Tala-Kitane	0,77	19,97	2,98
	Avrid-Iharkane	0,61	90,40	0,31
Parabolique	Tacherchourt	A.N.S	39,07	0,17

II.1.5.3.2. Analyse graphique

L'illustration géométrique des nuages de points(hauteur-circonférence) pour chaque placette échantillonnée, la présentation graphique des modèles, la hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1.30m (cm) ainsi les Résidus en fonction de la variable prédite pour la relation étudiée sont représentés respectivement dans les figures (II.26, II.27 et II.28).

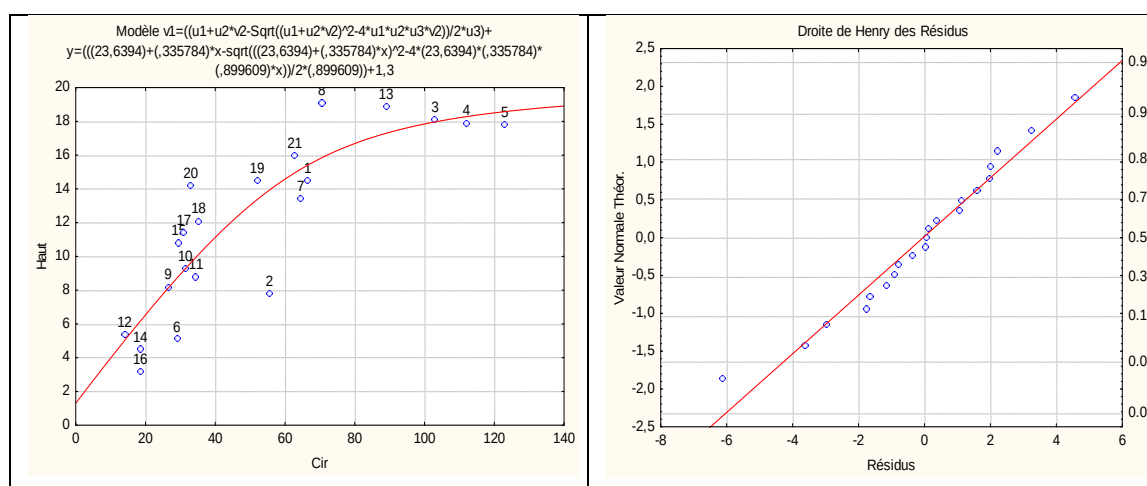


Figure II.26: La traçée de la droite d'henry et la Hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour Tala-Kitane.

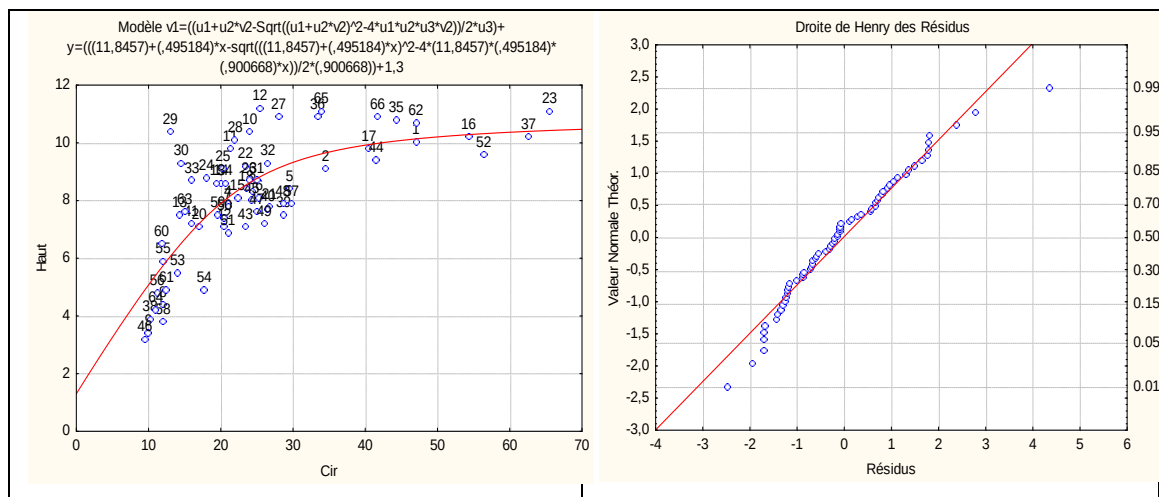


Figure II.27: La tracée de la droite d'henry et représentation de la hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour la placette d'Avrid-Iharkane.

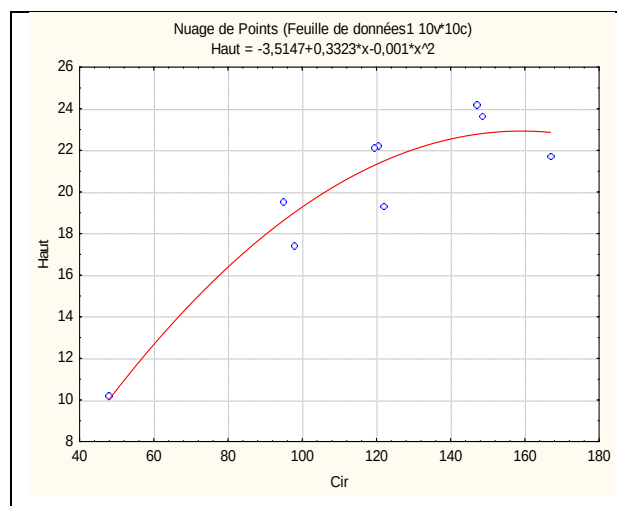


Figure II.28 : La hauteur totale (m) en fonction de la circonférence à 1,30 m (cm) pour la placette de Tacherchourt,

Légende : Les courbes de régression ajustées sont représentées en trait plein. Les cercles (o) correspondent aux arbres de la placette (x).

II.1.5.4. Validation des modèles

Les paramètres estimés ainsi les tests réalisés pour la vérification de la qualité des modèles (tableaux II.15 et II.16) montrent que deux stations telle que (Tala-Kitane et Avrid-Iharkane) s'adaptent mieux au modèle hyperbolique de Dhoteet De Herce (1994), la courbe illustrée pour l'évolution de l'asymptote avec les variables de la circonférence semble plus ou moins proportionnelle. L'apparition de quelques écarts marqués dans les jeux des données d'effectifs n'a aucune signification sur la robustesse de ces modèles (Debouche, 1977 in PAUWELS.D, 2003), on peut les considérer comme des données aberrantes.

Les résultats obtenus de l'ajustement aux tests arithmétiques au niveau de significations ($\alpha=0.05$), indiquent que les préférences d'adaptation aux performances du modèle hyperbolique apparaît mieux sur le couple des données appariées (hauteur-circonférence) de la placette de Tala-kitane dont ($R^2= 0,77$; $AIC = 19,97$). Pour la placette de Tacherchourt, celle-ci montre des résultats non significatifs pour le modèle hyperbolique dont la courbe ne présente pas une croissance positive. Au dernier elle s'adapte aux performances de modèle parabole, illustré sur la forme de la courbe de paramètre μ_4 (figure II.28).

II.1.6. Résultats d'évaluation de la compétition par placette

Le tableau (II.17) résume les résultats des variables dendrométriques retenues pour cette partie de travail.

Tableau II.17: présentation des résultats dendrométriques calculés.

Placette	$h_0(m)$	N (arbres/ha)	Statistiques	$d_m(cm)$	$g_m(m^2/ha)$
PI1	21,03	1050	moyenne	16,68	296,55
			CV (%)	61,33	115,78
PI2	10,65	1300	moyenne	8,00	62,82
			CV (%)	50,46	111,50
PI3	22,95	450	moyenne	37,69	1204,09
			CV (%)	29,97	51,60

On observe que la placette (1) échantillonnée au niveau d'Avrid-Iharkane, présente un diamètre moyen le plus faible marqué dans l'inventaire réalisé soit ($d_m = 8\text{ cm}$) avec variation soit ($CV = 50,46\%$) et une surface terrière moyenne de ($g_m = 62,82$ avec $CV=111,50\%$), la placette de Tacherchourt ; apparaît la plus grosse avec un diamètre moyen de ($d_m = 37,69\text{ cm}$) avec une variation de ($CV = 29,97\%$) et une surface terrière moyenne de ($g_m=1204,06\text{ m}^2$, $CV = 51,60\%$).

II.1.6.1. Projection horizontale de houppier

Comme c'est indiqué en méthodologie, pour caractériser les formes des houppiers d'une placette à une autre, nous tenons à calculer, respectivement la largeur minimale et maximale des branches (CW_{min} et CW_{max}), la surface projetée par la cime (S_2), l'asymétrie (A) et l'excentricité (e) du houppier ainsi que le coefficient d'extension maximale (Ce), au sein de chaque peuplement de chaque placette.

Les résultats de calcul sont résumés en moyennes des ces paramètres de forme dans le tableau (II.18) :

Tableau II.18: Représentation des résultats de surface et d'indices de forme estimés.

placette	CW _{min}	CW _{max}	e	Statistiques	Ce	S ₂	A
PI1	3,19	7,87	0,41	Moyennes	1,30	21,77	1,18
				CV (%)	15,98	66,25	7,86
PI2	1,85	5,05	0,37	Moyennes	1,22	7,02	1,17
				CV (%)	23,24	80,60	11,23
PI3	4,04	9,64	2,39	Moyennes	1,37	11,54	1,23
				CV (%)	17,44	29,40	5,67

Les résultats de tableau (II.18) et de montrent que les surfaces de projection horizontale des cimes, présente une forte dissimilitude d'un arbre à l'autre et d'une placette à une autre.

Les variations de projection moyenne des houppiers augmentent avec la taille de l'arbre comme elle diminue avec la taille la plus petite ainsi le taux de compétition qu'elle subit dans un peuplement (ChourouW, 2014). La placette (01) de Tala-Kitane expose la plus importante surface de l'enveloppe du houppier qui est de ($S_2 = 21,77m^2$) et un coefficient de variation soit ($CV=66,25\%$), la placette indique une productivité sup

La placette (02) au niveau de la route Iharkane présente une surface horizontale moyenne des cimes soit ($S_2=7,02 m^2$), marquant une forte variation de ($CV = 80,60\%$), au dernier. la placette (03) sur Tacherchourt manifeste par une surface moyenne de houppier ($S_2=11,54m^2$) avec une faible variation ($CV=29,40\%$).

Approximativement les peuplements échantillonnés présentent une asymétrie moyenne proche entre les placettes.

Quant aux observations des résultats obtenus pour la géométrie de l'extension latérale du houppier et sa variabilité à la moyenne ceux-ci montrent une faible variation.

La placette (01) de Tala-Kitane présente un coefficient d'extension moyen de ($Ce = 1,30m$) avec un coefficient de variation de ($CV = 15,98\%$).

La placette (2) au niveau d'Avrid-Iharkane, présente une extension moyenne des houppiers de ($Ce = 1,22m$) avec une variation par-apport à la moyenne de ($CV = 23,24\%$). Au final, la placette (03) sur Tacherchourt montre les valeurs les plus élevées, en moyenne qui est de ($Ce = 1,37m$) avec une variation de ($CV=17,44\%$) (Tableau II.18). Selon les analyses de

Piboule.A (2005), la placette (02) sur Avride-Iharkane caractérise une forme des houppiers qui se rapprochent beaucoup plus de la forme circulaire.

II.1.6.2. Indice de compétition

II.1.6.2.1. Estimation de facteur de compétition des houppiers

Le tableau (II.19) récapitule les résultats de l'estimation de la compétition des houppiers échantillonnés, en diamètre moyen CW de la couronne des arbres, la surface moyenne maximale de couronne ou MCA (Maximum Crown Area) et le pourcentage de facteur de concurrence des houppiers.

Tableau II.19: Résultats d'estimation du facteur de concurrence des cimes (F.C.C) pour le chêne zéen.

Placettes	Statistiques	CW (m)	MCA (m ²)	F.C.C (%)
Pl1	Moyennes	4,84	19,81	208
	CV (%)	28,51	59,50	
Pl2	Moyennes	2,74	6,30	208
	CV (%)	26,47	59,02	
Pl3	Moyennes	7,35	44,35	200
	CV (%)	22,68	40,93	

Comme c'est mentionné en méthodologie, le résultat de F.C.C à une valeur de 100% signifie que la canopée ouverte et les individus s'évaluent sans exposition aux influences de la concurrence.

A ce titre, dans notre cas les placettes échantillonnées présentent des résultats supérieures au seuil cité, soit F.C.C varie de 200 à 208, les valeurs trouvées indiquent que le peuplement vit une forte compétition en lumière, le houppier présente une fermeture du couvert ainsi que la cime a un développement limité par la concurrence, présentation schématique des résultats (figure II.29).

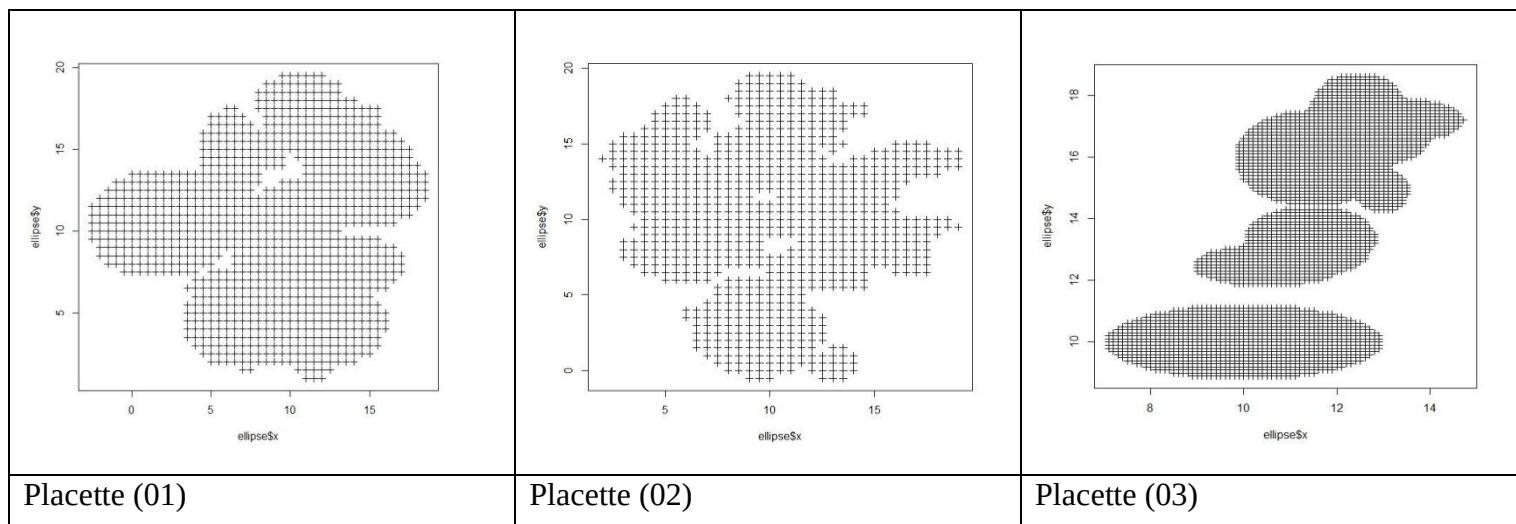


Figure II.29 : La compétition des houppiers à l'échelle des placettes (fellak, 2020).

II.1.6.2.2.Indices de compétition de REINEKE (IR), HART-BECKING (IH) et de TOME et BURKHART (IC)

Le tableau (II.20) résume les résultats des indices de compétition (IR, IC et IH), voir même le coefficient d'extension (Ce) pour chaque arbres, pour les placettes échantillonnées dans le massif forestière de la partie d'Akfadou-ouest. Les variations des indices de compétition estimés sont représentées graphiquement (figures II.30 et II.31).

Tableau II.20: Résultats d'estimation des indices de compétition (IR et IH)

placettes	N	P	IR	IC	IH
PI 01	21	-0,81	15,13	9,52	1,12
PI 02	66	-0,02	64,51	3,03	1,24
PI 03	9	-0,03	9,06	22,22	1,52

Légende : N : (arbres/ha) ; p : pente de la droite de régression ; IH : indice de compétition de HART-BECKING; IR : Indice de compétition de REINEKE ; IC : indice cde compétition de TOME et BURKHART (1989).

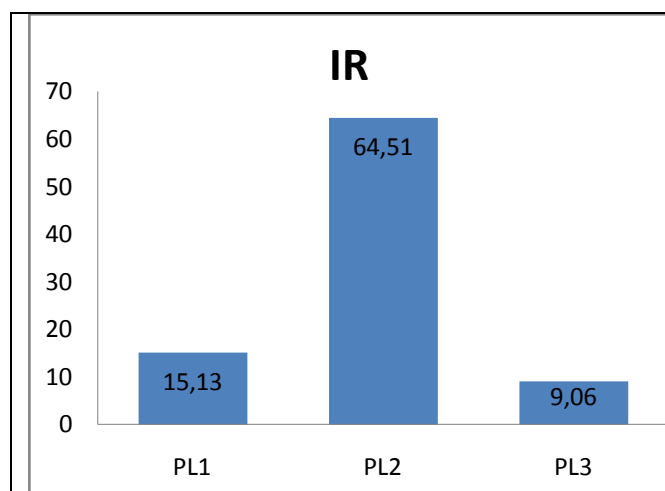


Figure II.30 : Variation des indices de compétition de REINEKE (IR) par placettes.

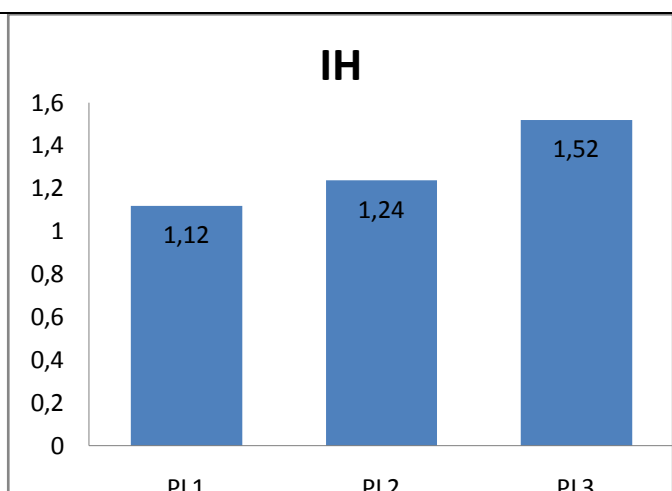


Figure II.31 : Variation des indices de compétition de HART-BECKING (IH) par placettes

La valeur la plus importante de l'indice d'espacement de HART-BECKING (IH) à l'échelle des placettes est observé pour la placette (03) au niveau de la Tacherchort (IH= 1,52%). La placette en réalité, présente un nombre faible d'effectifs par surface soit ($N = 9 \text{ arbres}/200\text{m}^2$) qui sont plus espacés ce qui indique que le degré de compétition plus ou moins réduit par apport aux autres placettes. Les résultats de calcul de l'indice de compétition de REINEKE (IR) expose la placette (02) au niveau de la route de Iharkane par la valeur la plus écarté de la moyenne générale des trois placettes soit ($IR=64,51$) (tableau II.20) (figure II.30).

Quant aux valeurs d'indices de compétition de Tome et Burkhart, les résultats obtenus pour la compétition en fonction de la surface terrière (g_m), sont représentés schématiquement dans la (figure II.32). En moyenne cet indice de compétition, augmente avec l'augmentation des tiges en grosseur (tableau II.20).

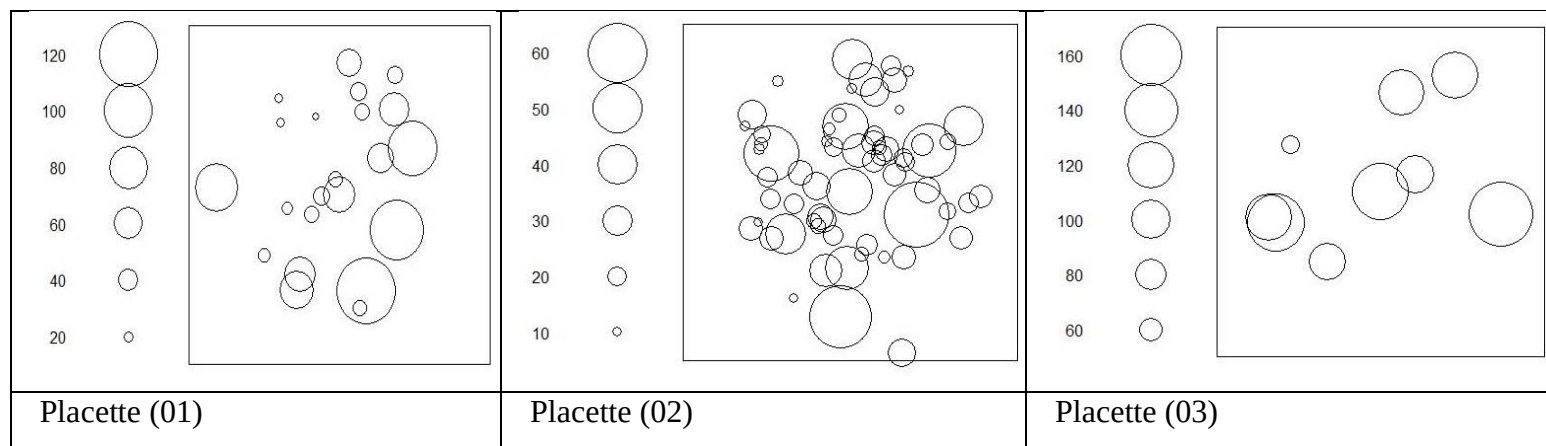


Figure II.32 : compétition en fonction de la surface terrière (g_m)(m^2/ha) (fellak, 2020)

II.2. Discussion des résultats

II.2.1. Structure de peuplement

L'analyse descriptive de la structure des peuplements des trois placettes qui sont pure, régulière et homogène de point de vue des conditions environnementales, mais fait apparait une forte hétérogénéité d'agencement des tiges par surface.

La placette de Tala-kitane montre une répartition représentative, renferme toutes les classes de circonférence, relativement plus jeune et légèrement dominé dans la classe [16-32[. Quant à la représentation graphique de la répartition de ces observations (histogramme de la figure II.22) par rapport à Laplace-gauss est moins plate étaler à droite de la moyenne. Pour le jeune peuplement de la route Iharkane la distribution par classe de circonférences, [0-16[; [16-32[; [32-48[; [48-64[; [64-80[; [80-96[; [96-112[; [112-128[; [128-144[expose une dominance remarquable de la classe [16-32[par un nombre de 37 effectif et la classe [0-16[avec un nombre de 16 tiges respectivement soit 56% et 24% de l'effectif total observé au sein de la placette. A la représentation graphique ; l'histogramme montre une distribution des observations pointue étaler à droite de la moyenne. Contrairement à la structure de la placette de la vieille futaie régulière de Tacherchourt qui caractérise des plus gros arbres dont la distribution par classe de circonférence les observations sont dominées dans les classes [112-128[avec un effectif de 3 individus et la classe [128-144[avec un même effectif de 3 individus soit un pourcentage de 66% pour ces deux classes. Apparemment, s'agit de la futaie adulte d'âge avancé en moyenne est de 96 ans, dans laquelle on note l'absence de recrutement des stades de fourré et gaulis.

La densité des peuplements de ces trois placettes marquent une importante divergence, compris entre 450 et 3300 arbres par hectare. Ce qui nous permet d'interpréter que le facteur d'espacement dans ces peuplements est hétérogène ; plus le peuplement est serré plus la compétition est accentuée, ainsi, explique le potentiel de régénération par placette.

Quant aux résultats de l'analyse de la variance. Ces derniers montrent que l'évolution des démentions dendrométriques des peuplements, exemple : hauteur et circonférence, sont influencés par plusieurs facteurs stationnels tels que la fertilité (Glélé Kakai, 2016 ; Bolstad & Allen, 1987 ; Oswald, 1969) et la densité (Deleuze et al, 1996 ; Asmann, 1970). On remarque que la croissance en circonférence est d'autant plus rapide que les espacements sont larges et la densité est faible. Approximativement les mesures de diamètre et de hauteur moyenne issues des densités indiquées ne sont pas loin de celles obtenues par Messaoudene et Djema (2003) dans leur travail à Akfadou (Tala-Kitane).

II.2.2. Modélisation de la structure de peuplement

Les résultats obtenus incitent la réflexion quant à l'avenir de ces peuplements, des opérations sylvicoles doivent être apportées pour équilibrer l'évolution de peuplement globalement.

Tenant compte de la grande capacité de régénération de l'espèce qui constitue ces peuplements (Messaoudene, 1996) et du fait qu'elles soient des futaies âgées, comme le cas de la placette de Tacherchourt, nécessite une intervention par des coupes d'exploitation s'avère très indispensable afin de les convertir vers des taillis jeunes issus des rejets de souche.

Quant résultats obtenus de la comparaison entre la loi de Weibull, dont nous avons estimé, pour les trois (03) placettes disponibles, les paramètres a , b et c par la méthode des maximums de vraisemblance, à l'aide du programme statistique (STATISTICA) et la loi normale dont les paramètres $\bar{x}$ et σ ; de la distribution ont également été estimés pour ces mêmes placettes. L'ajustement de cette comparaison à l'indice d'erreur créé par Reynolds et al (1988), montres une forte variation de précision inter et intra-placette. Dont en moyenne les faibles erreurs sont observées pour la distribution de la loi normale (tableau II.13).

La placette (01) de Tala-Kitane est la seule qui s'adapte mieux aux performances de la distribution de weibull, en moyenne montre un faible indice d'erreur ($IE = 2,47$) la classe modale présentée est [90-109[présente une erreur de ($IE = 0,77$) (histogramme de la figure II.24).

La structure en classe de circonférence des arbres présentés dans la placette puisse être interprétée en se basant sur la forme indiquée par cette distribution suivant la valeur prises par le paramètre de forme ($c = 1,78$).

Dans ce cas montre une valeur comprise entre $1 < c < 3,6$. Cette structure est donc régressive et caractéristique d'un peuplement d'un artificiels mono-spécifiques avec prédominance relative d'individus jeunes et de faible diamètre, dont on constate que les valeurs de diamètre majoritairement sont entre 8 à 20 cm. Il est rare d'observer plus de 5 arbres à l'hectare pour des diamètres au-delà de 40 cm. La structure montre une Distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, Elle peut aussi être caractéristique de populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes surtout dans les petites classes de diamètre. (Glélé kakai, 2016).

Quant à la distribution théorique normale marche bien que weibull avec les deux autres placettes, dont le jeune peuplement de la placette de la route Iharkane, en moyenne montre l'indice de Reynolds et al (1988), ($IE = 4,31$) avec la classe circonférence modale la plus

présentée dans l'étude est [0-19,5[par l'indice d'erreur intra classe ($IE = 1,90$). La vieille futaie de la placette de Tacherchourt apparaît par la plus faible moyenne d'indice d'erreur ($IE = 1,49$) la classe observée la plus proche celle prédite est [107,8-127,8[avec une erreur de ($IE = 0,99$) comme la représentation graphique l'indique (histogramme de la figure II.23).

La comparaison à la légère des résultats fournie par les deux distributions théorique (normale et weibull) approximativement sont proche à l'échelle des classe de circonférence utilisée dans chaque peuplement de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) inventorié et entre ces trois placettes présenté. Le taux d'erreur reste élevé pour ces deux dernières, cela correspond aux écarts absolus entre les effectifs prédits par les deux distributions et les effectifs observés au sein des classes de grosseur définies pour chaque série des données. Les résultats relatifs à la forme de chaque distribution et la qualité d'ajustement de chaque modèle sont présentés dans le (tableau II.11). Ces observations nous conduit à penser que la plus grande part de l'imprécision du modèle de répartition des tiges trouve son origine soit dans la méthode d'estimation des paramètres (pour weibull). Soit dans La dimension des classes utilisées pour la répartition des tiges. Cette dernière, influence fort logiquement la valeur de l'indice d'ajustement.

En phase de prédiction à l'aide d'un indice proposé par Reynolds et al (1988). Les résultats obtenus pour notre comparaison semblent proche de celles obtenus par Lejeune (1994) pour la construction de modèle de répartition des arbres pour épicéa.

L'effectif par placette d'échantillon est important (au moins une centaine d'arbres par placette), ce qui permettrait de juger les capacités réelles des 2 types de distribution théorique à représenter les peuplements pour lesquels on aurait une image suffisamment représentative de la structure (Lejeune, 1994). Comme dans le cas de la route Iharkane présente une placette étouffée d'arbre (66 arbres/200m²). Cette dernière, caractérise des résultats significatifs pour les deux distributions (normale et Weibull).

Sur la base des données dont nous disposons (3 placettes de 2 ares). Globalement, la distribution normale a donné des résultats aussi satisfaisants dont l'indice de comparaison semble proche de zéro (0) que dans la distribution de Weibull, et ce malgré une flexibilité moindre pour cette dernière.

II.2.3. Modélisation de croissance en hauteur et en circonférence

Le modèle est très significatif, le gain de précision obtenu pour les peuplements de chêne zéen des placettes respectivement sur Tala-Kitane et au bord de la route Iharkane par le modèle hyperbolique ajusté est relativement élevé si on fait référence entre les coefficients de détermination (R^2) obtenu dans l'étude ($R^2_{\text{Tala-Kitane}} = 0,77$ et $R^2_{\text{Avrid-Iharkane}} = 0,61$) et les valeurs trouvées par de nombreux auteurs telle que : Dhote et DE Hercé (1994) pour la construction de faisceau de courbe hauteur totale-diamètre, dans des peuplements équiennes provenant des peuplements purs du hêtre (*Fagus silvatica* L.) et de chêne *Quercus petraea* (Matt.) ; Déleuze & al, (1996); Pauwels et al. (1999) ; Rabhi, (2015); Pregent (2001) ; Rabhi & Messaoudene, (2013). Les résultats de coefficients de détermination indiqués, interprètent que la nature des observations ne représente pas de fortes sensibilités en variable dendrométrique des arbres constituant. Par contre la troisième placette, la vieille futaie de Tacherchourt montre une série des données non significative aux performances de modèle hyperbolique. Dans ce cas la procédure ne converge pas du fait du très faible nombre d'individus enregistré à l'hectare. Nous avons donc fixé pour ce peuplement le paramètre de courbure μ_4 .

Dans la même optique de précision du modèle ajusté, concernant l'écart résiduel obtenu par Dhote et De Hercé (1994) ; Rabhi & Messaoudene (2013) avec ce même modèle respectivement pour le hêtre (1,46m) et pour le chêne zéen est de (0,12m ; 0,58m), il est très proche de celui que nous avons obtenu pour notre étude

Quant à l'analyse graphique d'ajustement des courbes au modèle testé dans cette étude tendent à montrer que les arbres dans ces deux placettes indiquées semblent avoir des comportements semblables et sont globalement bien mélangés. La forme des courbes semble bien s'adapter aux nuages de points pour ces deux peuplements de Tala-Kitane et Avrid-Iharkane, expriment un rythme de croissance proche entre eux. On constate les variables dendrométriques indiqués, se développent dans le même sens de part et d'autre de la courbe d'évolution en hauteur et selon une même loi, mais certainement avec des précisions plus ou moins différentes (figure II.26 et figure II.27).

Ces résultats impliquent l'homogénéité des conditions environnementales qui participe aux faibles variations trouvées. Les différences marquées en précision proviennent des variations de pente et de l'exposition en grande partie et l'effet de la densité.

Sauf dans le cas de vieuxpeuplement de Tacherchourt, la courbe peut-être ne s'ajuste pas bien avec la circonférence des individus qui ne figure qu'à partir des mesures supérieures à 100 cm. Les graphiques de résidus de la droite de Henry en fonction de la variable prédite (figure II.26 ; II.27) indiquent que les hypothèses de la régression sont globalement bien vérifiées et que les modèles ne semblent pas biaisés, le tracé montre deux catégories d'arbre. Un groupe dominant occupe la partie supérieure du nuage de point et le groupe dominé colonise la partie inférieure.

II.2.4. Evaluation de la compétition inter-placette

L'étude que nous avons réalisée porte sur des peuplements naturels réguliers qui ne nous placent pas dans des conditions expérimentales simples mais qui permettent d'étudier concrètement les effets de la densité et de la compétition sur les individus dans chaque peuplement par placette.

Nous comparons l'effet de la compétition sur des paramètres dendrométriques tel qu'un paramètre de croissance en longueur des houppiers, et des paramètres de forme. Ensuite nous étudions les caractéristiques de croissance en hauteur et de croissance radiale des arbres en fonction de la concurrence et de leur âge avant de présenter les résultats préliminaires concernant le couplage de la croissance hauteur-surface terrière.

Les résultats montrent un effet bien marqué de la concurrence sur les paramètres dendrométriques de croissance, en particulier sur le paramètre de projection horizontale des couronnes. L'analyse descriptive de cette même variable (rayons projetés des houppiers) montre une grande variation d'un peuplement à l'autre selon l'effectif d'individu par surface prise. Tala-Kitane affiche des longueurs de projection comprise entre 1 et 4m, en moyenne et de 2,42m avec une variation de 43,37% couvre en moyenne de chaque individu une surface projeté de 21,77m² varie de 66,25%.

Les résidus (figure II.20) indiquent que les hypothèses de la régression sont bien respectées et que la normalité ne semble pas biaisée par rapport aux autres placettes. Cependant nous notons une légère dissymétrie des houppiers avec une faible variation 7,86%. De même pour Tacherchourt, les rayons de projection au sol par chaque individu sont plus élancés les mesure varie de 2,20m la plus petite longueur jusqu'à 6,70m avec une moyenne de 3,68m montre la faible variation 39,25%. En moyenne de surface de couvrement projeté au sol dans le peuplement est de 11,54m² varie entre les observations de 29,40%. L'analyse des résidus (figure II.20) montre une petite proportion d'arbres dont la longueur de houppier est particulièrement présente des écarts importants. Tout à fait le contraire entre ces deux

placettes par apport à celle d'Avrid-Iharkane dont les observations de croissance radiale des houppiers sont coincées entre 0,45 à 2,95 m avec une moyenne de 0,60 m varie de 43,90%. Les arbres sont très empêchés par la densité d'effectif, en moyenne la surface projetée par chaque arbre est de 7,02m² avec l'écart à l'isotropie (position du centre du houppier) de 80,60%. La normalité des observations montre des écarts remarquables pour le peuplement, les ajustements semblent biaisés aux nuages de points (figure II.19 ; II.20). Nous constatons cependant une très grande variabilité de la longueur de houppier quel que soit le diamètre. Depuis l'origine de la Sylviculture, l'action du forestier consistait à faire varier la densité dont les actions et interactions qui se produisent entre les arbres des peuplements comme le cas de la placette Avrid-Iharkane qui est plus encombrée.

Cette hétérogénéité des variables dendrométriques mesurées expliquerait les différences de structure des houppiers. 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). Les résultats estimés montrent un effet bien marqué de la concurrence sur les paramètres dendrométriques synthétiques de croissance, en particulier sur le paramètre de croissance radiale des houppiers et sur les paramètres de forme. Ces résultats obtenus pour la symétrie (A) montrent une forte variation pour la placette de la route Iharkane 11,23% avec une moyenne de dissymétrie de 1,17m. De même pour la croissance radiale montre une forte variation d'extension des longueurs dans la direction des éclaircies soit de 23,24% (Tableau II.18). Ce qui explique que cette dernière entoure une zone de concurrence élevée vis-à-vis des autres placettes. Dont nous avons signalé que cette placette suivant une droite plus inclinée n'est valable qu'en situation de concurrence, les arbres développent à la recherche des issues pour la litière.

Nous allons tenter ici de faire une synthèse des données que nous avons présentées dans ce chapitre, en insistant sur les différences entre les peuplements et en fonction des placettes tracées pour les résultats obtenus des indices de compétition considérés dans ce travail, soit pour la compétition des houppiers soit des dimensions paramétriques (hauteur, moyenne des diamètres et surface terrière à la hauteur de la poitrine).

Quant aux résultats de facteur de compétition des couronnes qui est supérieur à 100%. Indique que les trois peuplements caractérisent des canopées fermées comme indiqué dans la (figure II.29), plus au moins la placette de Tacherchourt figure par une légère ouverture à la lumière. Cette dernière, est confirmée par l'indice d'espacement de HART-BECKING (figure

II.31) dont on trouve des résultats supérieurs, l'importance des éclaircies et la fertilité dans la placette est mieux vis-à-vis des autres placettes.

L'analyse de la compétition en croissance radiale (diamètre ou surface terrière) si on compare les résultats trouvés des indices de REINEKE (IR) et TOME et BURKHART (IC) pour ces trois peuplements de la zénaie de la forêt d'AKFADOU-Ouest. L'analyse montre un effet bien marqué de la concurrence qui s'exerce sur la croissance radiale dans le peuplement de la route Iharkane dont les résultats montrent une très faible croissance en surface terrière (IC = 3,03) avec un effet de densité très élevé (IR = 64,51). Tout à fait le contraire aux résultats de peuplement aux autres placettes telle que : Tacherchourt ; la placette la plus espacée, les indices indiquent une croissance radiale plus importante (IC = 22,22) (tableau II.20) avec un effet de densité plus faible comme le résultat trouvé indique (IR = 9,06) (figure II.30). BOUCHON (1977) souligne que les arbres dominés ne concurrencent pas les arbres dominants et que la concurrence des voisins immédiats est plus forte que celle des arbres éloignés. Ceci confirme notre choix portant sur l'indice de compétition plutôt que sur la densité (figure II.32).

De manière générale, nous observons que la densité conditionne une croissance en hauteur plus importante au sein des modalités et inversement, les faibles densités favorisent la croissance en diamètre. Ceci apparaît particulièrement clair lorsqu'on confronte les modalités denses et lâches, effet marqué entre la placette de la route Iharkane et Tacherchourt. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Bouchon (1977), Decourt et Lemoine (1974), Illy et Lemoine (1970) et Lemoine et Sartolou (1976) portant sur les effets de la concurrence sur la croissance en hauteur et en diamètre en fonction de la densité des peuplements. Ces travaux portent soit sur des dispositifs d'éclaircies soit sur des plantations expérimentales mais, dans les 2 cas, ils rendent compte des effets de la densité. Illy et Lemoine (1970) lors d'une étude sur la concurrence chez le pin, concluent qu'il y aurait un faible effet négatif de l'espacement sur la hauteur de la tige alors que celui-ci est positif sur la grosseur de la tige. C'est ce que nos résultats mettent clairement en évidence dans cette étude. Des interventions sylvicoles nécessaires pour réduire le taux de la concurrence pour la lumière entre individu afin d'assurer une croissance équilibrée des paramètres dendrométrique est de limité la production de bois réaction.

Conclusion

En raison de l'état des peuplements, les forêts de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) sont dans un état affligeant de dégradation, vie dans une obscurité de connaissance de l'évolution et de rendement, la prise en main de la maîtrise de prédiction pour la reconstitution de ce patrimoine forestier sera importante.

Au terme de ce travail qui s'inscrit dans le contexte de la modélisation de la structure, de la croissance et l'évaluation de la compétition des arbres. Nous avons contribué à la mise en évidence des relations mathématiques existantes et les plus utilisées entre les variables dendrométriques du chêne zéen dans le massif forestier d'Akfadou-Ouest homogène de point de vue environnementale contrasté de point de vue de la structure.

La construction d'un modèle de répartition des grosseurs d'arbres des peuplements régulière de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd). Deux types de distributions théoriques ont été testés : la distribution théorique normale et la distribution de Weibull dont les paramètres ont été estimées par la méthode des maximums de vraisemblance. Sur la base des données que nous disposons (03 placettes de 2 ares). La qualité des différents modèles testés a été appréciée, à l'aide d'un indice proposé par Reynolds et al (1988), La distribution normale a donnée des résultats aussi satisfaisants que la distribution de Weibull, Cette observation trouvée nous conduit à penser que la plus grande part de l'imprécision du modèle de répartition des tiges (pour weibull) trouve son origine soit dans la méthode d'estimation des paramètres soit dans le faible contenu en effectif des échantillons utilisés.

Du fait de la mise en œuvre la plus simple, la distribution théorique normale semble devoir être retenue pour la construction du modèle final.

Dans l'objectif d'étude de l'état d'évolution des peuplements de chêne zéen échantillonnés, le modèle hyperbolique proposé pour décrire la hauteur variable dépendante en fonction de la circonférence à l'échelle des placettes. Sur la base des données dont nous disposons.

À l'échelle globale, le modèle de type hyperbolique proposé par Dhote et De Hercé démontre des résultats soulignant une bonne précision en ce sens, il peut être utile dans le cadre de l'aménagement et de la gestion de la forêt d'Akfadou.

Néanmoins, il est peu ou pas significatif de montrer une divergence qui résulte l'effet de la densité d'arbre par hectare dans l'échantillon inventorié. Par ailleurs, une étude pareille

devrait pouvoir être reconduite en disposant d'échantillons beaucoup plus étoffés, ce qui permettrait de juger les capacités réelles de ce type de modèle.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de s'individualiser des travaux ordinaires et habituels portants sur les études dendrométriques, et d'apporter un plus à travers l'analyse des principaux indices liés aux couronnes, relier avec l'utilisation des données dendrométriques liés aux arbres. Tout ceci afin de nous aider à mieux comprendre le fonctionnement et en particulier les interactions entre les arbres.

Nous avons essayé de déterminer l'intérêt d'effectuer des mesures dendrométriques relatives aux houppiers du chêne zéen. Ces mesures permettent de prévoir ou d'estimer la croissance radiale et la croissance en hauteur sous la contrainte de la densité des peuplements dans chaque placette. C'est là l'ensemble des intérêts qu'on peut déceler afin que les services forestiers puissent prendre en considération pendant les opérations de sylvicoles et de reboisement dans ces zones.

L'approche présentée durant l'étude des paramètres descriptifs du houppier par différents indices de compétition considéré. Les résultats obtenus sur ces peuplements inventoriés de (*Quercus canariensis* Willd) nous offrent plusieurs avantages :

- Le développement de l'houppier est limité d'une part par la présence physique ou de concurrence des arbres voisins et aussi par la quantité de lumière mise à sa disposition. Il est donc très important de déterminer la densité à planter en fonction des facteurs édapho-climatiques ainsi les écartements entre espèces.
- La dynamique de croissance et de remontée du houppier qui influence non seulement la production totale de la tige mais aussi sa qualité.
- A l'échelle du peuplement, les tables présentées constituent un outil qui aide à définir les plans d'aménagement et de gestion qui conviennent (comment intervenir dans le peuplement pour aboutir aux objectifs, à quelle fréquence...etc).

Références bibliographiques

A

A ACHHAL et al. 1980 - A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologiaméditerranée*, 5, p. 211-249.

A BENABID. 1984 - Etude phytoécologique des peuplements forestières y pré-forestiers du Rif centro-occidental (Maroc). Travaux de l'institut scientifique, Série Botanique, n° 34, Rabat.

Abdeldjalil Aissi ; Yassine Beghami & Myriam Heuertz. 2019 - Le chêne faginé (*Quercus faginea*, Fagaceae) en Algérie : potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et des semis. pp 437-449.

A BOUKIL. 1984 - Le chêne vert et le chêne zéen dans la forêt de Jaâba (Moyen Atlas). Contribution à l'étude phytoécologique et à la cartographie des types de peuplements et des communautés végétales dans un but d'aménagement. Mémoire de 3ème cycle agronomique, LN.A.V., Rabat, 148 p.

A HADDAD. 1990 - Contribution à l'étude botanique et anatomique de quelques espèces de feuillus autochtones : *Populus tremula* L., *Fraxinus oxyphylla* Bieb., *Quercus mirbeckii* Dur. Thèse ingénieur, Institut national d'agronomie, El-Harrach, Algérie, 56 p.

ALATOU D. 1984 - Facteurs physiologiques de croissance interspécifique du chêne liège et du chêne zeen. P 123. Université de Constantine.

A LAMRIOUI. 1999 - Contribution à l'étude de la caractérisation technologique de chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd.) et qualification de ses états de surface après usinage. Mem. Mag. Univ de Boumerdes. 124p.

ALEXANDRE PIPOULE. 2005 - Influence de la structure du peuplement forestier sur la distribution de l'éclairement sous couvert. Cas d'une forêt hétérogène feuillue sur plateau calcaire. Life Sciences [q-bio]. ENGREF (AgroParisTech). 124p + Annexes.

AMEELS M. 1989 - Étude des propriétés technologiques et anatomiques de *Quercus canariensis* Willd, Dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Beni-Ghobri en Algérie. Mém. Ing. Univ de Louvain, Belgique, 127 p.

A SEIGUE. 1985 - La forêt méditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris : 520p.

ARRAMON G. 2001 - Les tri-terpènes et lignines des bois de chêne Européen *Quercus robur* L. et *Quercus petraea* Liebl. Quantification et apports qualitatifs aux eaux de vie d'armagnac. Doctorant, Université de Bordeaux 2, Bordeaux.

A ZERIZER et A MANSSERI. 2003 - USINABILITE ET QUALIFICATION DES ETATS DE SURFACE DU CHENE ZEEN ALGERIEN (*Quercus canariensis* Willd.): cas de la station de Beni Ghobri, wilaya de Tizi Ouzou. Université Mentouri, Constantine, Algérie. N°19. PP 76-80.

B

B COURBAUD ; F HOULLIER, C RUPE. 1993 - Un modèle de croissance en hauteur des arbres en pessière pure irrégulière de montagne. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 50 (4), pp.337-351.

Benabid, A. 1984. Etude phytoécologique des peuplements forestiers y préforestiers du Rif centro-occidental (Maroc). Travaux de l'institut scientifique. Serie Botanique, n° 34, Rabat.

BOUCHON J. 1995 –Concepts et caractéristiques des divers modèles de croissances. Revue. For. Fr. XLVII, pp 23-33.

BOUCHON J. 1977 - Réflexions sur les premiers résultats d'un dispositif d'éclaircies de pins sylvestres en forêt de Lamotte-Beuvron. Ann. Sci. Forest. 34 (4) : 323-329.

BERNARD PREVOSTO. 2005 - Les indices de compétition en foresterie : exemples d'utilisation, intérêts et limites, outils et méthodes. Revue. For. Fr. LVII (5). P 413-430.

BOUCHON J. 1979 - Structure des peuplements forestiers, Annales des sciences forestières, 36 (3), pp.175-209.

BELARBI Y.2017 - Détermination de la structure du peuplement forestier et propositions d'amélioration de la forêt de Cap-Ivi (wilaya de Mostaganem). Mém. Ing. Univ. ABOU BAKR BELKAID TLEMCEN. 89p.

B DEFAUT. 1990 –Un climagramme et un système d'étages phyto-climatiques utilisables simultanément en Afrique du nord et en Europe occidentale. Vie milieu. 40 (1), p 67-78

BENABID A. 1982 -Etudes phyto-sociologique, biogéographique et dynamique des associations et séries selvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse Doctorat es-sciences, Fac, St. Jérôme, Marseille, 199 p.

Blerot P ; Mhirit O. 1999 - Le grand livre de la forêt marocaine écrit par Collectif, éditeur Mardaga, ISBN 2- 87009-686-0, 297p.

BOUAZZAOUI A. 2011 - Contribution à l'étude histo-morphologique de *Quercus faginea* Lamk dans la réserve de chasse de Tlemcen. Mémoire de master en protection de la nature « écologie. Gestion et conservation de la biodiversité ». Univ de Tlemcen. 59p + Annexe.

BABALI. B. 2014 -Contribution à une étude phytoécologique des monts de Moutas (Tlemcen- Algérie occidentale) : Aspects syntaxonomique, biogéographique et dynamique. Thèse doct. Univ ABOUBAKR BELKAÏD – TLEMCEM, 160p.

C

C TASSIN.2012 - La complexités des étagements végétaux. Paysages végétaux du domaine méditerranéen : bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du sud, Australie méridionale : 283-323.

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

Calama, Rafelet Gregorio Montera. 2004 - Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 34, no 1, p. 150-163.

D

DHOTE J-R et DE HERCÉ. 1994 - Un modèle hyperbolique pour l'ajustement de faisceaux de courbes hauteur-diamètre. *Can. J. For. Res.* 24: p1782-1790.

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, Palm R, Rondeux J et Thill A. 1988 - Tables de production relatives à l'épicéa commun. Gembloux, Presses Agronomiques, 123 p

DECOURT N ; LEMOINE M. 1974 - Premiers résultats d'une expérience clinal d'espacement avec *Populus trichocarpa*. *Ann. Sci. For.* 31 (3) : 171-179.

DOMINIQUE PAUWELS. 2003 - conception d'un système d'aide a la décision pour le choix d'un scénario sylvicole : application aux peuplements de mélèze en région wallonne. Thèse de doctorat. Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques, 236 p., 63 tabl. 49 fig.

Dreyfus P. 1999 - Diversité des approches fonctionnelles de la dynamique et de la production des peuplements : intérêts pour la gestion sylvicole, *Revue Forestière Française*, 51(2):281-297.

DEBAZAC E-F. 1959 -La végétation forestière de la Kroumirie. Ingénieur des Eaux et Forêts Station de Recherches et Expériences forestières, Nancy. 133 p.

DURAND J-H. 1959 - Sur quelques sols de la forêt de l'Akfadou et des environs de

Yakouren (Grande Kabylie). Ann de l'INRA, 2, (A) : 110-126.

DJEBAILI S. 1978 -Recherche phytoécologique et phyto-sociologique sur la végétation des hautes plaines steppiques de l'Atlas algérien", Thèse doct. Univ. Sci. Languedoc. Montpellier, 229 p.

D LOUNI. 1994 -Les forêts algériennes. Forêt Méditerranéen. t. XV, N°1, pp 59-63.

E

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

F

F RAULIER. 1997 - Modélisation fonctionnelle de la *dynamique* des forêts feuillues à prédominance d'érable à *sucm*(Comté de Témiscouata). Thèse de doctorat. Univ laval QUEBEC. 227p + Annexes.

F. GOREAUD. 2000 - Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Sciences de la Terre. ENGREF (AgroParisTech), 340p + annexes.

F Khalid. 1999 -Contribution à l'étude botanique et anatomique de trois espèces du genre Quercus : Chêne liège. Chêne vert et le chêne zeen, cas des monts de Tlemcen .Mém. Ing. Univ de Tlemcen. Inst.for.

G

G LAPIE. 1909 - Etude phytogéographique de la Kabylie du Djurdjura. Thèse doct. èsSci. Nat. Univ. Paris, Delagrave éd., 156 p. et Rev. Géogr. An., III : 1-156, + 2 cartes h.t.

G LAPIE. 1928 - LA SYLVICULTURE FRANÇAISE DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE. Revue des eaux et forêts, pp 30-203.

GELARD J-P. 1979 - Géologie du Nord-Est de la grande Kabylie. Thèse Doct. Univ de Dijon, France, 335p.

G BONIN. 1994 - Quelques aspects des forêts d'Afrique du Nord. Forêt méditerranéen t. XV n°1. PP 69-74.

H

HAMMAMI R. 1985 -Exposé de lutte intégrée: La lutte intégrée en forêt de chêne liège. Inst. Nat. d'Agro. D'El-Harrach, 14 p.

HOULLIER F; BOUCHON J ; BIROT Y. 1991 -Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers : état et perspectives. *Revue Forestière Française*,XLIII(2) : p87-108.

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 (*Quercus rotundifolia*Lamk) Approche taxonomique .Mém.Ing.Agr.Univr.de Tizi –Ouzou. Inst.d'agronomie.116p.

I

ILLY G. LEMOINE B. 1970 - Densité de peuplement, concurrence et coopération chez le pin maritime. 1. Premiers résultats d'une plantation à espacement variable. *Ann. Sci. For.* 27 (2) : 127-155.

I Haddadou ; S Amirou ; P Favre-Bonvin ; A Zerizer. 2012 -Étude comparative de quelques caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du bois de deux espèces de chêne (*Q. canariensis*et *Q. afares*). 1ères journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nov 2012, Montpellier, France. Volume 1, B 19, pp 53-54.

J

JEAN-LUC MERCIER. 2013 - Indices granulométriques et lois de distribution. Vol.19-4, p 379-392.

Jean-Yves Perron, Pierre Morin. 2002 – Normes d'inventaire forestier placettes-échantillons permanentes. Direction des inventaires forestiers Forêt Québec Ministère des Ressources naturelles, 215p.

J OTTORINI. 1978 - Aspects de la notion de densité et croissance des arbres en peuplement. *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, 35 (4), pp.299-320.

J Zulueta. 1980 -Recherche en vue de l'amélioration des pâturages dans des forêts de *Quercus pyrenaica* et *Quercus faginea* en Espagne. Dossier pâturage en forêt. PP 58 – 72.

J-P VILLAR ; N-M CASANOVA ; M-L BEN-JEMAA ; M GRAMI ; M OUAKID ; Y ADJAMI ; R GHANEM ; R BOUHRAOUA ; F BOUKRERIS ; F BENIA ; M MESSAOUDENE ; L HADDAR. 2012 -Les cynipidés gallicoles des chênes d'Afrique du Nord: espèces curieuses et espèces potentiellement dangereuses (Hymenoptera: Cynipidae). Protection intégrée dans les forêts de chêne, bulletin IOBC/waprs, vol 76, pp 225-232.

K

K ABDESSEMED. 1984 - Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie) Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. Forêt méditerranéenne, t. VI, no 1, PP 19-26.

L

LARIBI M. 2000 -Contribution à l'étude phytosociologique des formations caducifoliées à *Quercus canariensis* Willd et *Q. afares* Pomel du massif d'Ath ghobri-Akfadou (Grande Kabylie). Thèse de Magister, Univ. M. Mammeri de Tizi Ouzou, 155 p.

LARIBI M ; DERRIDJ A & ACHERAR M. 2008 - Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans le massif d'Ath Ghobri-Akfadou (Grande Kabylie, Algérie). Fitosociologia 45. p 77-92.

LARIBI M. 2016 - Les mares temporaires du nord-est de la grande Kabylie. Diversité phytocoenotique, floristique et conservation. Thèse doc. Univ MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU : 308p

LANIER L. 1986 - Précis de sylviculture. Ed. École nationale de génie rurale, des eaux et des forêts, Nancy (France) 467p.

LEMOINE B. SARTOLOU A. 1976 - Les éclaircies dans les peuplements de pin maritime d'âge moyen. Résultats et interprétation d'une expérience. Rev. For. Fr. XXVIII, (6) : 447-457.

LETREUCH B-A; LETREUCH B-N; K BENABDELI et B MEDJAHDI. 2009 – Impact des incendies sur la structure des peuplements de chêne-liège et sur le liège : le cas de la subéraie de Tlemcen (Algérie). Forêt méditerranéenne t. XXX, N°3, pp 231- 238.

L HADDAR ; S DOUMANDJI et J-P VILLAR. 2016 - Les Cynipini et les Synergini dans les massifs de l'Akfadou et Beni-Ghobri (Algérie), présences de quelques espèces sur des hôtes atypiques (Hym., Cynipidae). *Boln. Asoc. Esp. Ent.*, 40 (3-4): 479-493.

LUCIE DEBRET. 2010 -Modélisation fonctionnelle de la croissance du jeune hêtre (*Fagus sylvatica* L.) : effet de la compétition pour la lumière. Mémoire de stage. Univ Nancy. 22p + Annexes.

M

MARC M. 1916 - Notes sur les forêts de l'Algérie. Typographie Adolphe Jourdan, Imprimeur - Libraire - Editeur, Alger, 331 p.

MATHIEU FORTIN, SYLVAIN BERNIER, JEAN-PIERRE SAUCIER et F.LABBE.

2009 - Une relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et de climat pour 20 espèces commerciales de QUEBEQUE. Mémoire de recherche forestière N°153, 17p.

MBONAYEM LIBOUM et K-S BOBO. 2017 - Analyse de l'effet de la concurrence végétale sur la croissance du Moabi en forêt dense tropicale perturbée de l'Est – Cameroun. Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(6): pp2671-2692,

M MESSAOUDENE. 1989 - Etude dendro-écologique et dendro-climatologique du chêne zéen et du chêne afarès dans les massifs de Béni Ghobri et de l'Akfadou. Thèse Doct. En Sciences., Univ. Aix-Marseille III, 105p.

M MESSAOUDENE & TESSIER L. 1991 - Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel en Kabylie (Algérie). Ecologia Mediterranea. pp119-133.

M MESSAOUDENE ; L TESSIER. 1996 - Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* Willd et *Quercus canariensis* Pomel en Algérie. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 1997, 54 (4), pp.347-358.

M TAFER. 2000 - Etude de la variabilité stationnelle de la qualité du bois de *Quercus canariensis* Willd, dans la forêt domaniale des Beni Ghobri. Thès. Mag. Univ. U.M.M.T.O.

Marcel Barbero ; Roger Loisel ; Frédéric Médail & Pierre Quézel. 2001 – Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. Biogeographical features and biodiversity of forests in the Mediterranean basin – Bocconeia, 13: 11 -25.

M Messaoudene ; M Laribi ; A Derridj. 2007 - Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES, N° 291, pp 75-81.

Mahand Messaoudène; Mourad Tafer ; Ali Loukkas et Rémy Marchal. 2008 - Propriétés physiques du bois de chêne zéen de la forêt des Aït-Ghobri (Algérie). BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES, N° 298 (4). pp 37-48.

MEDOUR-SAHAR O et C BOUISSET. 2013 - Les grands incendies de forêt en Algérie : problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques. Revue géographique des pays méditerranéens, p 34-40.

Munro DD. 1974 - Forest growth models -a prognosis. In: Growth models for tree and stand simulation. Research note n° 30, Stockholm, Royal College of Forestry, 373 p.

O

O Saifouni ; R Moutou Pitti ; J-F Destrebecq. 2012 - Un modèle mécanosorptif pour l'évaluation des déformations élastiques en phase de séchage du bois. 1ères Journéesscientifiquesdu GDR 3544 Sciences du bois – Montpellier. D 06, pp 85-87.

P

PARDE et BOUCHON. 1988-dendrométrie, deuxième édition. Ecole National des Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), Nancy, 325p + annexes.

PALM R. 1986 - Etude des résidus de régression : principes et application. Collection : notede statistique et d'informatique. Fac. sci. Agr. Gembloux.13p.

PalahiM; Tomé M; Pukkala T; Trasobares A et Montero G. 2004 - Site index model for *Pinus sylvestris* in north-east Spain. For. Ecol. Manage. 187: 35-47.

Paul Du Merle ; René Mazet. 1983 -Les facteurs de mortalité des oeufs de Tortrix viridana L. (Lep., Tortricidae). III. Action régulatrice de chacun des facteurs et examen de la mortalitétotale. Agronomie, EDP Sciences, 3 (5), pp.429-434.

P QUEZEL & M BARBERO. 1990 -Les forêts méditerranéennes problèmes poses parleurs significations historique, écologique et leur conservation. Acta BotánicaMalacitana, Volume 15, PP. 145-178.

P QUEZEL. 1956 - Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. Mem. So. His. Nat. AFN. N°1. 57p.

P QUEZEL & BONIN G. 1980 - Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen, constitution, écologie, situation actuelle, perspectives. Rev. For. Françaises XXXII, N°3, pp. 253-268.

P QUEZEL & MEDAIL F. 2003 - Ecologie et biogéographie des forêts du bassinméditerranéen. Ed. Elsevier SAS. 571p.

P BOUDY. 1950 -Economie forestière Nord-Africaine., Monographie et Traitement des essences.Ed.la rose. Paris, p : 29-249.

P BOUDY. 1952 -Guide forestier en Afrique du Nord. 505p. Ed. La maison rustique, Paris

BOUDY. 1955 -Economie forestière Nord Africain ; Tome 4, Ed. Larose.472p

PREGENT G ; SAVARD F ; DESAULNIERS G. 2001 - Tarif de cubage à diamètre etlongueur variables, d'utilisation pour le pin gris en plantation au Québec. Mémoire derecherche forestière N°139.31p.

P BALANDIER, A MARQUIER, S PERRET, C COLLET, B COURBAUD. 2010–

Comment estimer la lumière dans le sous-bois forestier à partir des caractéristiques dendrométriques des peuplements. Rendez-vous techniques ONF, p 52-58.

P Lejeune. 1994 -Construction d'un modèle de répartition des arbres par classes de grosseur pour des plantations d'épicéa commun (*Picea abies* L Karst) en Ardenne belge. Annales des sciences forestières, N°51(1), pp.53-65.

R

R MAIRE. 1926 - Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie Gouver. Génér. Alg., Serv. Cart., Alger, 78p.

R MAIR 1961 -Flore de l'Afrique du nord. Vol. VII LECHEVALIER Ed Paris. 329P.

R MAIRE. 1963 -Flore de l'Afrique du Nord. Encyclopédie biologique. Vol. VII. Ed. LECHEVALIER. Paris. Pp.80-134.

RONDEUX J ; LAURENT C ; THIBAUT A. 1993 -Construction d'une table de production pour le douglas (*Pseudotsugamensiesii* (Mirb.) Franco) en Belgique. Bull. Rech. Agron. Gembloux 27(3), 327-347.

ROUX C et Michel THINON. 1988 -Présence du chêne zeen (*Quercus faginea*ssp. *canariensis*(Willd.) Zine) dans l'île de Port-Cros, Var. Bull. Soc.linn. Provence. N°39, pp10-99.

ROME. 1981 - Manuel d'inventaire forestière, avec références particulières aux forêts tropicales hétérogènes. Etude FAO : forêt, 186p + annexes.

R. GLÈLÈ KAKAI*, W. BONOU* & A. M. LYKKE. 2016** - Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures des arbres en diamètre. Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE:99-112, pp100-112.

R MEDDOUR. 1993 - Analyse phytosociologique de la chênaie caducifoliée mixte de Tala Kitane (Akfadou, Algérie). Ecol. Medit., 19 (3-4).

R MEDDOUR. 2010 - Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie ;exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne. ThèseDoct. Univ. TiziOuzou, 397 p.

Reynolds MR, Burk TE, Huang WC. 1988 - Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distributions models. Forest Sci 34 (2), 373-399.

R SARIR. 2016- Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière. Mem. Mag. Univ. TLEMCEM. 40p.

RABHIK. 2011 - Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Mém. Ing. Univ. Aboubekr Belkaid – Tlemcen. 67p.

RABHI Ket M. MESSAOUDENE. 2013 - Ajustement de modèle hyperbolique hauteur-circonférence pour le chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) de l'Akfadou Algéri, — Annale de la recherche forestière en Algérie, N°01, pp 83-92.

RABHI K. 2015 - Modélisation et optimisation de la croissance et du fonctionnement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Djurdjura par l'intégration de descripteurs écologiques et dendrométriques. Thèse doct. Univ de Tlemcen, 191p.

S

S Chaker. 1986 - Akfadou. Encyclopedia berbère, 3, p. 417-418

S SLIMANI. 2017 - Dendrochronologie. Cours destiné aux étudiants en Master II écologie forestière. Univ. M.M.T.O.

SAID A. 1992 - Contribution en la conception d'une méthode d'échantillonnage pour l'étude quantitative de *Tortrix viridana* L., I.N.R.F. 1993

STEWART Ph. 1974 - Cours de sylviculture. I. N. A. El Harrach. 74p.

T

Thibault A; Rondeux J et Claessens H. 2005 - Indices et courbes de fertilité pour les peuplements de douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en Belgique. Les cahiers forestiers de Gembloux. 16 : 11 p.

W

W DERBEL; A ZERIZRE; J GERARD; D GUIBAL. 2015 - Caractérisation d'aboutages à entures multiples pour trois essences d'Algérie. Bois et forêts des tropiques, N°325 (3), pp 59-70.

WIDED CHOUROU. 2014 - Développement et évaluation des modèles hauteur-diamètre des pins gris et des épinettes noires à l'échelle provinciale et éco-régionale d'ALBERTA et de QUEBEC. Mémoire de maîtrise. Univ QUEBEC à MONTREAL, 71p.

Z

ZAMOUM M; KHEMICI M et BAHMANE R. 2014 -Gradation et régulation de *Lymantriadispar* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) avec *Bacillus thuringiensis* Berliner var. *kurstaki* dans les subéraies du centre et de l'est algérien. *PHYTOPROTECTION*, Volume 94, p 13-18.

ZINE EL ABIDINE A. 1987 -Application de l'Analyse multidimensionnelle à l'étude taxinomique et phytoécologique du chêne zéen (*Quercus faginea* Lamk.s.l.) et de ses peuplements au Maroc. Thèse de Docteur Ingénieur, Fac. St. Jérôme, Marseille, 127 p.

ZINE EL ABIDIN. 1988 - Analyse de la diversité phyto-écologique des forêts du chêne zeen(*Quercus faginea* Lamk.) au Maroc. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 1988, N°12, pp 69-77.

ZINE EL ABIDINE A et FENNANE M. 1995 -Essai de taxonomie numérique sur le chêne zeen (*Quercus faginea* Lamk.) Au Maroc. *Lagascalia* 18(1) 39-54.

Site-web

- Forums des Forestiers Algériens : [La Flore et La Faune](#) : [Le Monde Des Végétaux](#) : [Arbres forestiers et d'ornement](#).
- Site web personnel de Tayeb Kerris. <https://hacharate-dz.info/?page=cv-de-kerris.php>
- [Med-Patrimoni.e-monsit.com](#)

Résumé :

Pour prédire l'évolution des peuplements forestiers, et ainsi faciliter l'aménagement, les chercheurs ont mis au point différents types de modèles de dynamique forestière.

Dans ce travail on s'intéresse en premier lieu à la construction d'un modèle de répartition d'arbres par classes de grosseur pour les peuplements de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) de la forêt d'Akfadou-Ouest, l'ajustement a été appliqué à un effectif total de 96 arbres envisagés en trois placettes de 2 ares. Qui sont homogènes de point de vue des conditions du milieu, mais marquent une forte dissimilitude par rapport à leurs structures et leurs croissances asymptotiques. L'influence de la distribution théorique de répartition (comparaison des distributions normale et Weibull), dont la méthode d'estimation des paramètres (pour Weibull) est la démarche des maximums de vraisemblance. Malgré une plus grande flexibilité de la distribution de Weibull, son utilisation ne conduit pas à une plus grande précision du modèle. La faiblesse des effectifs des échantillons utilisés semble être la cause principale de l'imprécision fournie par le modèle testé. Sur la base des données utilisées, la distribution normale, plus simple à mettre en œuvre, a été préférée pour la construction du modèle de répartition des grosseurs, pour les peuplements de chêne zéen présentés.

En seconde partie, nous essayons d'établir un modèle de croissance en hauteur et hauteur des arbres de ce même peuplement (*Quercus canariensis* Willd) pure régulière est présenté. De type «modèle hyperbolique, proposé pour la construction de faisceaux de courbes hauteur-diamètre par DHOTE J-R et É DE HERCÉ», il permet de simuler pas à pas l'évolution d'une placette dans laquelle chaque arbre est considéré à la fois comme individu modélisé et comme compétiteur potentiel pour les autres arbres de la placette.

En dernier, les houppiers des arbres étaient caractérisés en peuplement pour ce dernier cas deux catégories d'arbres ont été différenciées en considérant le statut compétitif de l'arbre. Les placettes de chêne zéen subissant la compétition la plus sévère (sujet dominé) a été distinguée des placettes subissant la compétition la plus faible (sujet dominant) pour les peuplements échantillonnées, les arbres ont été localisés d'après leurs coordonnées.

Des paramètres descriptifs du houppier de la zénaie d'Akfadou ont été mis en évidence, il s'agit de diamètre d'arbre, longueur du houppier, surface houppier, ces paramètres ont été utilisés afin de déterminer le facteur de compétition des couronnes (FCC) ainsi d'autres indices de compétition et la densité idéal du peuplement dans chaque placette.

Mots clés : chêne zéen, forêt d'Akfadou-Ouest, modèle de répartition, distribution normale, distribution de Weibull, modèle de croissance, modèle hyperbolique, hauteur, diamètre, statut compétitif, longueur de houppier, FCC, densité.

Abstract

In order to predict the evolution of forest stands, and thus to facilitate forest management, researchers have developed different types of models of stand dynamics.

In the present work, we are first interested in the construction of a model of tree distribution by size classes for stands of Zen oak (*Quercus canariensis* Willd) from the Akfadou-West forest, the adjustment was applied to a total number of 96 trees considered in three plots of 200 m², they are homogeneous in terms of environmental condition, but are highly dissimilar with regard to their structures and their asymptotic growths. The effects of the theoretical distribution (comparison of the normal and Weibull distributions), whose the parameter estimation method (for Weibull) is the maximum likelihood approach. Despite the greater flexibility of the Weibull distribution, its use does not lead to a more accurate prediction of the distribution. The low sample sizes used and the small number of samples measured in the plots seem to be the primary cause of the imprecision provided by the model tested. On the basis of the data used, the normal distribution, which is simpler to implement, is proving to be more suitable for the creation of distribution model for the zean oak stands presented.

In the second part, we try to establish a model of growth in height of trees from this same stand (*Quercus canariensis* Willd) pure regular is presented. A (hyperbolic model), is proposed, for the construction of sets of height-diameter curves by DHOTE J-F and É DE HERCÉ. It allows to simulating step by step the evolution of a plot in which each tree is considered both as a modeled individual and as a potential competitor for the other trees in the plot.

In the last case, the tree crowns were characterized: in stands for the latter case two categories of trees were differentiated by considering the competitive status of the tree. The Zen oak plots with the most severe competition (dominated) were distinguished from the plots with the least competition (dominant) for the sampled stands, the trees were located according to their coordinates. Descriptive parameters of the crown of the Akfadou forest-West were highlighted, i.e. diameter of tree, crown length, crown area, these parameters were used to determine the crown competition factor (C.C.F) and other competition indices, and the ideal stand density in each plot.

Keyword: zean oak, Akfadou forest-West, regular, distribution model, normal distribution, Weibull distribution, growth model, hyperbolic model, height, diameter, competitive status, crown length, C.C.F, density.

ملخص

لقد طور الباحثون انواعا مختلفة من نماذج ديناميات الغابة و هذا لصدد التنبؤ بتطور مستوطنات الغابات.

ولهذا تطرقنا في هذا العمل، اولا الى اعداد نموذج توزيع الشجار حسب فئات حجم اعمدة شجرة البلوط لغابة غرب اكفادو، و هذا عن طريق تعديل طبق على اجمالي 96 شجرة موزعة على 3 قطع مساحتها 2متر مربع التي تعتبر من جهة متجانسة من حيث الظروف البيئية، ومن جهة اخرى تظهر اختلافا قويا فيما يخص هياكلها و نموها المتقارب.

تم تحليل تأثير التوزيع النظري (المقارنة بين التوزيعات العادية و توزيعات (وايبول) و طريقة تقدير المتغيرات (وايبول) على الرغم من المرونة العالية التي يظهرها توزيع وايبول إلا ان استخدامه لا يوفر الدقة المطلوبة و هذا راجع الى انخفاض العينات المستخدمة، ما يدفعنا الى تفضيل التوزيع العادي لإعداد نموذج توزيع الحجم لأشجار بلوط الزان.

في المرحلة الثانية من هذا العمل، حاولنا انشاء نموذج نمو في الارتفاع و الارتفاع الهيمن للأشجار لنفس المستوطنات.

تم تجهيز نموذج القطعي بين ارتفاع و محيط اشجار الزان في ثلاثة قطع من اشجار بغابة اكفادو الذي يسمح خطوة بخطوة بمحاكاة تطور قطع الارض اين تعتبر كل شجرة كفرد و منافس في آن واحد.

في المرحلة الاخيرة، تم تمييز تيجان الاشجار بين فئتين و هذا بأخذ التنافس بينهما بعين الاعتبار أين تم تمييز قطع بلوط زيبين التي خضعت لمنافسة شديدة (موضوع مهمين) عن تلك التي خضعت لأضعف منافسة (موضوع مهمين) حيث تم تحديد موقع الأشجار وفقا لإحداثياتها.

تم تسليط الضوء على المتغيرات الوصفية لتاج الزان لأكفادو فيما يخص طول التاج و سطحه التي استعملت بهدف تحديد (F.C.C) عامل منافسة الغطاء الغابي.

الكلمات المفتاحية: بلوط الزان غابة اكفادو غرب، نموذج التوزيع الطبيعي، توزيع وايبول، نموذج النمو، النمو الزائدي، الارتفاع، القطر، الوضع التنافسي (F.C.C)، طول التاج، الكثافة.