

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques (FSBA)



THÈSE

Présentée pour l'obtention du grade de DOCTEUR EN SCIENCES

En SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : ÉCOLOGIE & ENVIRONNEMENT

Par : ALILECHE Ahmed

Thème

**RÉGÉNÉRATION DANS LES TROUÉES DU CÈDRE DE L'ATLAS
(*CEDRUS ATLANTICA* (ENDL.)) CARRIÈRE DANS LE PARC
NATIONAL DU DJURDJURA, NORD DE L'ALGÉRIE.**

Soutenue publiquement, le 14/07/2022, devant le jury composé de :

Mme KROUCHI F.	Professeur à l'UMMTO	Présidente
M.DERRIDJ A.	Professeur à l'UMMTO	Rapporteur
Feu MESSAOUDENE M.	Directeur de recherche (INRF)	Co-rapporteur
M.RABHI K.	Maitre de conférences A (UMMTO)	Examineur
Mme YAHI N.	Professeur à l'USTHB	Examinatrice
M. SARMOUM M.	Maitre de conférences A (UIKT)	Examineur
M.BEKDOUCHE F.	Professeur à l'université de Batna	Examineur

Résumé

Notre étude a porté sur la régénération par trouées du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière) dans les cédraies de montagne, au niveau du Parc National du Djurdjura, situé au nord de l'Algérie. Certes, de nombreux chercheurs se sont penchés sur la problématique de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas devenue capricieuse, mais l'originalité de notre travail réside dans le fait qu'aucune étude n'a traité la régénération par trouées de cette essence forestière.

L'objectif principal que nous avons assigné à notre étude consiste à mettre en exergue l'effet de l'éclairage lumineux sur l'installation des semis de cèdre et la recherche d'une modélisation de ce processus de régénération. Notre hypothèse de recherche est la suivante : L'éclairage lumineux est-il un paramètre déterminant dans le processus de renouvellement des cédraies du Djurdjura ?

Dans notre méthodologie, nous avons opté pour un échantillonnage stratifié en répartissant de manière proportionnelle nos placettes en fonction de la superficie de la cédraie/station et du degré de perturbation du milieu, tel que recommandé par de nombreux auteurs pour les milieux hétérogènes. L'échantillonnage a été opéré dans les ouvertures de la canopée avec au total 39 placettes d'échantillonnage choisies à travers 05 stations d'étude (Tala Guilef, Ait Ouabane, Tikjda, Tala Rana et Tirourda). Dans chaque placette, nous avons comptabilisé tous les semis établis et relevé les données dendrométriques du peuplement, les données situationnelles, avec un prélèvement d'échantillons de sol pour des analyses pédologiques.

Dans nos résultats, au total, nous avons comptabilisé 395 sujets appartenant au peuplement adulte et 1153 individus de régénération. L'analyse des résultats de cette étude de recherche a révélé que la régénération naturelle de cette essence forestière est sous l'effet conjugué de plusieurs paramètres comme la structure du peuplement, les paramètres stationnels et les paramètres édaphiques. La modélisation de la régénération s'est avérée difficile, en raison du manque à la fois de données disponibles et de connaissances permettant d'intégrer tous les processus impliqués dans la régénération des forêts.

Au grès des résultats obtenus, nous recommandons le choix d'un itinéraire sylvicole adéquat pour doser la lumière transmise au sol en opérant par des éclaircies, tout en tenant compte des paramètres orographiques et de la structure du peuplement.

Mots clés : Cèdre de l'Atlas, régénération par trouées, éclairage lumineux, installation des semis, Djurdjura.

Abstract

Our study focused on the regeneration by gaps of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière) in mountain cedar forests, at the Djurdjura National Park, located in northern Algeria. Admittedly, many researchers have looked into the problem of the natural regeneration of Atlas cedar which has become capricious, but the originality of our work lies in the fact that no study has dealt with the regeneration by gaps of this forest species.

The main objective that we have assigned to our study is to highlight the effect of illuminance on the installation of cedar seedlings and the search for a modeling of this regeneration process. Our research hypothesis is as follows: Is illuminance a determining parameter in the process of renewal of the cedar forests of Djurdjura?

In our methodology, we opted for stratified sampling by proportionally distributing our plots according to the area of the cedar forest/station and the degree of disturbance of the environment, as recommended by many authors for heterogeneous environments. Sampling was carried out in the openings of the canopy with a total of 39 sampling plots chosen through 05 study stations (Tala Guilef, Ait Ouabane, Tikjda, Tala Rana and Tirourda. In each plot, we counted all the established seedlings and noted the dendrometric data of the stand, the situational data, with a collection of soil samples for soil analyses.

In our results, in total, we counted 395 individuals belonging to the adult stand and 1153 regeneration individuals. The analysis of the results of this research study revealed that the natural regeneration of this forest species is under the combined effect of several parameters such as the structure of the stand, the station parameters and the edaphic parameters.

Modeling regeneration has proven difficult, due to the lack of both available data and knowledge to integrate all processes involved in forest regeneration.

Depending on the results obtained, we recommend the choice of an adequate silvicultural route to dose the light transmitted to the ground by operating through thinning, while taking into account oro-topographic parameters and the structure of the stand.

Key words: Atlas cedar, regeneration by gaps, light illumination, establishment of seedlings.

Résumé en Arabe

ركزت دراستنا على التجديد بالفجوات لأرز الأطلس (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carière) في غابات الأرز الجبلية ، في الحظيرة الوطنية لجرجرة ، الواقع في شمال الجزائر. من المؤكد أن العديد من الباحثين قد بحثوا في مشكلة التجدد الطبيعي لأرز الأطلس التي أصبحت متقلبة، لكن أصالة عملنا تكمن في حقيقة أنه لا توجد دراسة قد تناولت التجديد من خلال فجوات هذا النوع الحراجي.

الهدف الرئيسي الذي خصصناه لدراستنا هو تسليط الضوء على تأثير الإنارة على تركيب شتلات الأرز والبحث عن نمذجة عملية التجديد هذه. فرضيتنا البحثية هي كما يلي: هل الإنارة معيار محدد في عملية تجديد غابات أرز جرجرة؟

في منهجيتنا، اخترنا أخذ العينات الطبقيّة عن طريق توزيع قطع الأراضي الخاصة بنا بشكل متناسب وفقاً لمساحة غابة الأرز لكل محطة و كذا درجة اضطراب البيئة، و ذلك على النحو الذي أوصى به العديد من المؤلفين للأوساط الطبيعية المختلفة . تم أخذ العينات في فتحات المظلة الحراجية بإجمالي 39 قطعة عينات تم اختيارها من خلال 05 محطات دراسة (تالا جيليف ، آيت وابان ، تكجدة ، تالا رانا وتيروردا). في كل محطة، قمنا بإحصاء جميع الشتلات التي تم إنشاؤها و قمنا بقياس الأشجار، و تسجيل بيانات المحيط، مع اخذ عينات من التربة لتحليلها في المخبر.

في النتائج التي توصلنا إليها، أحصينا إجمالاً 395 فرداً ينتمون إلى صنف البالغين و1153 فرداً مُجدداً. أظهر تحليل نتائج هذه الدراسة البحثية أن التجدد الطبيعي لهذه الأنواع الحراجية يخضع للتأثير المشترك لعدة عوامل مثل هيكل الشعاب، معاملات المحطة والمعلومات التكوينية الترايبية. أثبتت لنا هذه الدراسة صعوبة النمذجة، بسبب الافتقار الى البيانات والمعارف المتاحة بدمج جميع العمليات التي تتطوي عليها عملية تجديد الغابات.

اعتماداً على النتائج التي تم الحصول عليها، نوصي باختيار مسار حراجي مناسب لجرعة الضوء النافذ إلى الأرض من خلال المقاصة في الغابة، مع مراعاة المعلومات الطبوغرافية الهيكلية وهيكل موقف الغابات.

الكلمات المفتاحية: أرز الأطلس، التجديد بالثغرات، إنارة ضوئية، تركيب شتلات.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement M. DERRIDJ qui a bien voulu accepter mon encadrement après la mort tragique de M. MAHAND MESSAOUDENE. Je le remercie pour toute l'attention qu'il a prêtée pour mener à bien ce travail, et ceci, par son savoir, ses orientations et ses précieux conseils aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan moral.

Je tiens à exprimer également, mes vifs remerciements à M. HIMRANE Hocine qui m'a accompagné tout au long de la rédaction de l'article. Il a partagé avec moi ses connaissances et ses expériences, particulièrement dans le traitement statistique des données. Mes remerciements sont adressés aussi au personnel de l'INRF, particulièrement à M. HAMANI Mokrane et l'équipe du laboratoire de pédologie qui a pris en charge les traitements de mes échantillons de sol.

De même, je tiens à remercier M. SLIMANI Said, enseignant-chercheur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou (UMMTO) pour avoir répondu favorablement à toute sollicitation et pour avoir apporté sa contribution de manière très minutieuse à la publication de l'article, notamment sa translation dans la version anglaise mais aussi dans la correction des remarques des reviewers.

Je remercie Mme YAHY Nassima et Mme ABDOUNE Fatiha, qui répondaient sans hésitation, à chaque fois qu'elles sont sollicitées pour des conseils et des orientations. Elles ont guidé ma réflexion et n'ont jamais cessé de m'encourager dans le sens de la persévérance et de l'amélioration des connaissances.

Je remercie Mme Krouchi Fazia d'avoir accepté de bien vouloir honorer par sa présence et présider le jury de soutenance afin d'évaluer mon travail de doctorat.

J'adresse également ma gratitude envers Mme Yahi Nassima, Professeur à l'USTHB, M. Bekdouche Farid, Professeur à l'Université Hadj Lakhder de Batna, M. Rabhi Khellaf, Maitre de conférence A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, M. Sarmoum Mohamed, Maitre de conférence A à l'Université Ibn Kahldoun de Tiaret, pour avoir accepté d'être dans le Jury et d'avoir accepté d'examiner mon ce présent travail.

Enfin, je n'omettrai pas de remercier vivement M.GHAZOULI et SNOUSSI Sid Ahmed responsables de la revue AGROBIOLOGIA pour avoir accepté mon article pour publication.

Comme, il est de mon devoir de remercier tous les agents du terrain du Parc National du Djurdjura qui m'ont accompagné et aidé sur le terrain lors du travail expérimental, en bravant la chaleur, l'essoufflement et l'obligation de minutie lors de la prise de mesures. M.Moissi Karim, trouve également ici, ma gratitude pour le travail de cartographie qu'il m'a fait.

Un merci tout particulier est également destiné à toute personne ayant apporté son soutien sur le terrain ou moralement tout au long de la préparation de cette thèse. Il s'agit en fait, de la gratitude que j'affiche pleinement à Mme BOURBIA Sofia qui m'a toujours boosté pour ne pas céder aux tentations du laisser-tomber.

Je termine avec un grand Merci à ma famille de m'avoir toujours soutenu tout au long de ce périple scientifique plein d'embûches et de sacrifices.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Ma regrettée mère dont la disparition nous a laissé un grand vide que personne au monde ne pourra combler.

À ma femme qui a eu la patience et le courage de prendre soin de mes enfants Lydia, Yacine et Narcisse durant toute mon absence.

À ma famille qui m'a toujours soutenu, encouragé et contribué à ma réussite.

À mes chères collègues Karim et Anissa qui m'ont encouragé et soutenu. Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail, ainsi qu'à tous ceux qui me souhaitent la réussite, et enfin, à tous ceux qui se consacrent à la science, à la recherche et au savoir.

Hommage à MAHAND MESSAOUDENE

Je rends un grand et vibrant hommage à mon promoteur, feu Mahand Messaoudène, décédé un certain 19 novembre 2016 lors d'une randonnée traversant le canyon de Thabourth Al Ainseur. Il m'a encadré durant l'ingénieurat, le magistère et nous avons entamé la thèse de doctorat avec beaucoup d'ambition, malheureusement, il a été emporté par une mort subite ; suite à quoi, il a été aussitôt remplacé par son ami de toujours, en l'occurrence M. DERRIDJ Arezki qui était déjà co-promoteur. Sa disparition a laissé un grand vide aussi bien au sein de sa famille que dans la communauté scientifique. Il nous a légué un héritage composé de beaucoup de contributions et d'enseignements. Son engagement infailible pour la nature et l'environnement et son rayonnement nous incitent à aller toujours de l'avant. Pour toujours, vous serez dans nos cœurs. Oh Dieu, aide-nous à ce que l'espoir demeure et accorde-lui toute votre bénédiction.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PARTIE 1.	6
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE CÈDRE DE L'ATLAS.....	6
I.1. Présentation générale du cèdre de l'Atlas (<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.)	6
I.2. Systématique du cèdre de l'Atlas	6
I.3. Caractères botaniques du Cèdre de l'Atlas	7
I.4. Longévité du cèdre de l'Atlas	12
I.5. Biogéographie du cèdre de l'Atlas.....	13
A. Aire naturelle du cèdre de l'Atlas.....	12
B. Le cèdre de l'Atlas hors de son aire naturelle	14
I.6. Ecologie du cèdre de l'Atlas	15
1. Substrat et géologie	14
2. Répartition altitudinale.....	15
3. Exigences climatiques	15
3.1. Précipitations	15
3.2. Température	16
4. Exposition.....	16
5. Etages bioclimatiques.....	17
6. Ecophysiologie du cèdre	18
6.1. Capacité germinative.....	18
6.2. Comportement vis-à-vis de la lumière.....	18
I.7. Groupements végétaux.....	18
1. Cédraie pure... ..	18
2. Cédraie mixete.....	18
I.8. Associations mycorhiziennes.....	19
I.9. Ennemis du cèdre de l'Atlas	19
PARTIE 2	20
CHAPITRE II : NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA RÉGÉNÉRATION.....	20
II.1. Définition de la régénération naturelle	20
II.2. Caractéristiques de la régénération naturelle.....	20
II.3. Modes de régénération.....	20
II.4. Occurrence de la régénération naturelle	21
II.5. Etapes de la régénération naturelle	21

II.6. Impacts du changement climatique sur les forêts de montagne	21
II.8. Impacts du changement climatique sur la démographie et les aires de distribution des espèces.....	22
II.9. Effet du changement climatique sur le régime de perturbation en forêt	23
PARTIE 3	24
CHAPITRE III: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	24
III.1. PRÉSENTATION DU PARC NATIONAL DU DJURDJURA (PND).....	24
1. Etymologie du mot « Djurdjura »	24
2. Création du Parc National du Djurdjura et son classement en réserve de biosphère	24
3. Localisation géographique	24
4. Contexte socio-économique du PND	24
III.2. DESCRIPTION PHYSIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	25
1. Caractéristiques géomorphologiques et karstification	26
2. Caractéristiques géologiques et hydrologiques	26
3. Caractéristiques édaphiques du Djurdjura.....	27
4. Caractéristiques climatiques.....	28
4.1. Quotient pluviométrique d'Emberger	29
4.2. Pluviométrie	29
4.3. Régime mensuel et saisonnier des précipitations.....	26
4.5. Régime annuel des précipitations.....	31
4.6. Gradient ou profil pluviométrique.....	31
4.7. Températures	31
4.8. Gradient thermique.....	31
4.9. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	32
4.10. Autres facteurs climatiques	32
A. Gradient altimétrique des chutes de neige.....	32
B. Humidité	33
C. Brouillard.....	33
D. Grêle	33
E. Gelée	33
F. Vents et siroco.....	34
4.11. Synthèse climatique.....	34
III.3. Richesse patrimoniale du Parc National du Djurdjura	34
A. Richesse floristique	34

1. Biodiversité floristique du Parc National du Djurdjura	34
2. Principales essences forestières du PND.....	35
3. Formations forestières du PND	37
4. Présentation des cédraies du Djurdjura	39
B. Richesse faunistique	35
PARTIE 4	42
CHAPITRE IV. MATÉRIEL ET MÉTHODES.	42
Partie 4.1 : MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	42
1. Choix de la méthode d'échantillonnage	42
1.1. Définition de la stratification.....	42
1.2. Avantages et inconvénients de la stratification	43
1.3. Bases de la stratification.....	44
1.4. Définition de la trouée.....	44
1.5. Démarche de sélection et de mise en œuvre de l'échantillonnage.....	46
1.5.1. Choix des unités d'échantillonnage.....	46
1.5.2. Etablissement du plan d'échantillonnage proprement dit	46
A. Définition de la cible de l'échantillonnage.....	46
B. Définition des unités qui composent la population	46
C. Taille de l'échantillon et nombre de placettes	47
D. Visite préalable du terrain et établissement des fiches d'inventaire	47
E. Allocation et sélection de l'échantillon à l'intérieur des strates	47
F. Période de référence de l'échantillonnage	48
G. Forme et taille des placettes	49
1.5.3. Implantation des placettes d'échantillonnage sur le terrain	49
A. Formation des agents accompagnateurs	49
B. Délimitation des placettes d'inventaire	49
C. Détermination du rayon R et de la surface de la placette	50
1.5.4. Relevé des données sur le terrain	53
- Les données générales.....	53
- Les données stationnelles.....	53
A. Les variables écologiques discriminantes	53
B. Les descripteurs édaphiques	54
1. Profondeur du Sol.....	54
2. Epaisseur de la litière	54

C. Les variables dendrométriques analytiques.	55
1. Peuplement précomptable	55
a. Diamètre à hauteur de poitrine (DHP)... ..	55
b. Circonférence à hauteur de poitrine (C.1.30 m)	55
c. Hauteur totale de l'arbre (HT)	56
d. Diamètre du houppier (D.Houp)	56
2. Peuplement non précomptable ou sous-étage	56
3. Régénération établie	56
D. Autres observations	57
Recouvrement de la végétation	57
Indices biologiques.....	57
Facteurs anthropozoiques.....	58
E. Matériel utilisé sur le terrain	58
Partie 4.2: Traitement et organisation des données d'échantillonnage	58
1. Classification des données topoclimatiques	59
1.1. Altitude.	59
1.2. Pente	59
2. Analyse pédologique au laboratoire et classification des données	59
2.1. Analyse granulométrique du sol : classification des éléments minéraux selon leur grosseur	60
2.2 Mesure du pH du sol	61
2.3. Analyse de la matière organique	61
2.4. Mesure de la conductivité électrique (CE)	62
2.5. Classification des données de la profondeur du sol	63
2.6. Classification des données de l'épaisseur de l'humus	63
3. Classification des données dendrométriques.....	63
1. Structure verticale	63
2. Structure horizontale	63
2.1. Catégorisation des classes de bois.....	65
2.2. Catégorisation des individus de régénération.....	64
4. Listing floristique des placettes	65
5. Catégorisation des différents types de données.	65
5.1. Variable expliquée.....	65
5.2. Variables explicatives	65

- Les variables topoclimatiques	65
- Les variables édaphiques	65
- Les variables dendrométriques	65
Partie 4.3: TRAITEMENT STATISTIQUE ET PARAMÈTRES CALCULÉS	66
I. Statistique descriptive unidimensionnelle (univariée)	66
1. Tableau	67
1.1. Tableau de données pédologiques	67
1.2. Tableau de données dendrométriques et stationnelles	67
- Données stationnelles	67
- Données dendrométriques du peuplement précomptable et non précomptable...	67
- Données sur la régénération	67
- Indice de dispersion de la régénération (Id)	67
2. Représentations graphiques	68
2.1. Histogrammes et sectoriels	68
Données pédologiques.....	68
Données dendrométriques (profils structuraux	68
1. Structure diamétrique et indice de richesse stationnelle.....	69
2. Structure verticale (classes de hauteur totale).....	69
3. Coefficient d'élanement du peuplement (H/D).....	69
4. Régénération naturelle	70
4.1. Variabilité interplacettes et inter-stations du nombre de semis (NS).....	70
4.2. Variabilité de l'indice de statut social de régénération (ISSi) par station et pour la zone d'étude.....	71
4.3. Variabilité interplacettes et inter-stations du taux de régénération du peuplement (TRP).....	71
4.4. Densité du peuplement par hectare.....	73
4.5. Variabilité interplacettes et pour la zone d'étude de la densité de la régénération établie/ha.....	74
2.2. Box-plots	74
3. Indicateurs numériques ou paramètres statistiques	75
3.1. Les indicateurs de tendance centrale : moyenne et médiane.....	75
3.2. Les indicateurs de dispersion	75
II. Statistiques descriptives bidimensionnelles (bivariées)	78.

1. Cas de deux variables : quantitative et qualitative	78
1.1. Test d'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA)	78
1.2. Test de Kruskal-Wallis : Nombre de semis (NS)-station d'échantillonnage.....	79
1.3. Test de Khi-deux.....	79
2. Cas de deux variables quantitatives : Régression linéaire simple	80
2.1. Coefficient de corrélation sur les rangs ("Rho de Spearman") : Niveau de la régénération- Densité des tiges adultes.....	.80
2.2. Test de Khi-deux : corrélations bivariées : Nombre de semis (NS)- Paramètres dendrométriques.....	.80
2.3. Test de Khi-deux Ns en fonction du pH et de l'épaisseur de l'humus.	80
III. Statistiques multidimensionnelles (multivariées)	81
3.1. Régression linéaire multiple (RLM)	81
3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	.81
PARTIE 5	84
CHAPITRE V : RÉSULTATS, ANALYSE ET DISCUSSION.....	84
I. Constat établi sur le terrain sur la régénération du cèdre de l'Atlas : Description globale de la régénération du cèdre de l'Atlas au Parc National du Djurdjura	84
1. Forme des zones de régénération	84
2. Sens et orientation de la régénération	84
3. Densité de régénération et lumière.....	86
4. Régénération et sol.....	87
5. Régénération et pente	87
6. Régénération et végétation accompagnatrice.....	87
7. Dimension des trouées de régénération.....	88
8. Dispersion des graines et répartition spatiale de la régénération	88
9. Gradient de colonisation en fonction du relief.....	89
10. Régénération et distance au peuplement adulte	89
11. Régénération naturelle du cèdre dans les sites incendiés.....	89
12. Régénération naturelle et densité du couvert du peuplement.....	89
Synthèse sur le constat établi sur le terrain	89
II. Résultats, analyse et discussion des résultats	90
II.1. Données pédologiques.....	90
1. Texture .....	.92
2. Profondeur du sol	93

3. Epaisseur de l'humus	93
3. Ph ou réaction du sol	94
4. Matière organique (richesse et épaisseur)	95
5. Conductivité électrique et caractère du sol	95
Synthèse sur les résultats des analyses pédologiques.....	96
II.2. Profil structural du peuplement	98
1. Structure horizontale ou distribution des catégories de (DHP)	98
2. Structure verticale ou distribution des catégories de hauteur totale (HT)	113
3. Coefficient de variation (CV)	127
3.1. Coefficient de variation DHP	127
3.2. Coefficient de variation HT.....	131
3.3. Coefficient de variation comparatif DHP-HT	134
4. Facteur d'élanement (H/D)	135
5. Coefficient de couvert du houppier (C.C.Houppier)...	138
6. Eclairage relatif du couvert (Er.Couvert).....	140
7. Relation Facteur d'élanement (H/D) - Eclairage relatif (Er.Couvert)	141
8. Régénération naturelle établie	142
9. Test d'Analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA)	145
10. Niveau de régénération.....	150
11. Classement des semis par catégorie de hauteur	154
12. Densité du peuplement (N/Ha) et densité de la régénération établie	166
13. Taux de régénération du peuplement (TRP)	172
14. Indice de régénération naturelle (IRn)	174
15. Indice social de régénération (ISSi)	178
16. Indice de dispersion (Id) de la régénération du cèdre	181
17. Variabilité de la régénération en fonction du paramètre exposition	183
18. Variabilité de la régénération naturelle en fonction du coefficient de couvert du Houppier (C.C.Houp)	184
19. Variabilité de la régénération naturelle en fonction du paramètre stationnel	185
20. Relations : Nombre de semis (NS) et les variables : Nombre de tiges (NT), diamètre moyen du houppier (DH), éclairage lumineux au sol (Ecl) et profondeur du sol (PS)..	186
21. Régression linéaire multiple (RLM)	188
22. Analyse en composantes principales (ACP)	188
II.3. Discussion des résultats	191

CONCLUSION GÉNÉRALE	209
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	211
ANNEXES	215

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
Tableau 1: Systématique du cèdre de l'Atlas.....	6
Tableau 2: Caractéristiques botaniques des quatre espèces de cèdre	7
Tableau 3: Cycle de reproduction du Cèdre de l'Atlas.....	9
Tableau 4: Données corrigées des précipitations et températures moyennes annuelles	35
Tableau 5: Principales formations végétales du Parc National du Djurdjura	38
Tableau 6: Superficie des cédraies/station d'étude.....	48
Tableau 7: Correction du rayon de la placette en fonction de la valeur de la pente et de la surface désirée.....	55
Tableau 8: Classes de pentes	65
Tableau 9 : Classification Granulométrique des éléments constitutifs d'un sol.	66
Tableau 10: Qualité du pH en fonction de la texture	67
Tableau 11: Classes de qualité des sols selon l'échelle de Durand	68
Tableau 12: Classes de hauteur du peuplement	69
Tableau 13: Classification des bois en catégories.....	70
Tableau 14 : Classification des semis selon la hauteur et le diamètre	71
Tableau 15 : Synthèse sur le sens de régénération du cèdre de l'Atlas dans la zone d'étude.....	96
Tableau 16 : Synthèse des résultats pédologiques	100
Tableau 17 : Richesse dimensionnelle du peuplement	108
Tableau 18 : Paramètres statistiques des données dendrométriques (CV%, Moyenne (X) et $\sigma(X)$ du DHP) / Placette/Station/Zone d'étude).....	133
Tableau 19: Paramètres statistiques des données dendrométriques (CV%, Moyenne (X) et $\sigma(X)$ de HT)/ Placette/Station/Zone d'étude	134
Tableau 20: Coefficient de variation (CV%) comparatif entre le DHP et la HT.....	135
Tableau 21: Variation inter-placettes du coefficient d'élancement (H/D)	138
Tableau 22 : Variation inter-placettes du coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp).....	139
Tableau 23 : Variation de l'éclairement relatif du houppier (Er.Houp)	143
Tableau 24: Corrélation Eclairement relatif du couvert et facteur d'élancement.....	45
Tableau 25: Moyennes des paramètres dendrométriques des placettes étudiées (Test ANOVA)	150
Tableau 26: Variabilité spatiale du niveau de régénération du cèdre de l'Atlas	156
Tableau 27 : Richesse dimensionnelle des semis selon leur hauteur.....	168
Tableau 28: Densité du peuplement (N/Ha)	170
Tableau 29: Densité de régénération établie (NS/ Ha)	171

Tableau 30: Taux de régénération du peuplement (TRP) dans la zone d'étude	175
Tableau 31: Variation de l'indice de régénération du cèdre dans les stations d'étude	179
Tableau 32: Variation de l'indice de dispersion (<i>Id</i>) de la régénération.....	183
Tableau 33: Relation Nombre de semis-Coefficient de couvert du houppier (CCHoup).....	189
Tableau 34: Matrice de corrélation entre les variables quantitatives mesurées et/ou calculées.	192
Tableau 35: Matrice de corrélations 2	193
Tableau 36 : L'inertie totale expliquée par les axes de l'ACP	195
Tableau 37 : Contribution des variables aux axes factoriels.....	196

LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
Figure 1: Evolution morphologique des organes de reproduction femelles	11
Figure 2 : Distance de dispersion de la graine du cèdre de l'Atlas	12
Figure 3: Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Quezel, 1998)	14
Figure 4: Aire de projection du cèdre de l'Atlas (<i>Cedrus atlantica</i> Manetti) sur le climagramme d'Emberger.....	17
Figure 5: Situation du PND dans le climagramme d'Emberger -période (1990-2010)	32
Figure 6: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen du PND.....	36
Figure 7: Groupements végétaux du PND	41
Figure 8 : Forme des zones de régénération par : a : Trouée (O), b : Fer à cheval (C) et c : Lisière uniforme (LU)	49
Figure 9: Triangle des textures	67
Figure 10: Diamètre d'une ellipse.....	68
Figure 11: Texture du sol / station d'échantillonnage et / zone d'étude.....	106
Figure 12 : Nature chimique du sol/ station d'échantillonnage et / zone d'étude.	107
Figure 13 : Catégories de bois dans la station d'étude Ait Ouabane.	110
Figure 14: Catégorie de bois dans la station d'étude Tala Rana.	111
Figure 15: Catégorie de bois dans la station d'étude Tikjda.	113
Figure 16: Catégorie de bois dans la station d'étude Tala Guilef.	115
Figure 17 : Catégories de bois dans la station d'étude Tirourda.....	116
Figure 18: Catégories de bois /station et dans la zone d'étude	117
Figure 19: Répartition des classes de hauteur / placette d'échantillonnage Ait Ouabane	123
Figure 20: Répartition des classes de hauteur / placette d'échantillonnage Tala Rana	124
Figure 21: Répartition des classes de hauteur / placette d'échantillonnage Tikjda.....	125
Figure 22: Répartition des classes de hauteur / placette d'échantillonnage Tala Guilef.....	127
Figure 23: Répartition des classes de hauteur / placette d'échantillonnage Tirourda.....	128
Figure 24: Représentation de la répartition des classes de hauteur/ station/Zone d'étude.....	129
Figure 25: Variation de l'éclairement relatif du couvert arboré en fonction du facteur d'élancement	145
Figure 26: Variation du nombre de semis installés interplacettes et inter-stations.....	147
Figure 27: Variation interplacettes des paramètres nombre de semis NS et C.130 m.	152
Figure 28: Variabilité des paramètres hauteur totale HT, Diamètre du houppier (DH) et facteur d'élancement (H/D)	154

Figure 29: Variabilité des niveaux de régénération naturelle du cèdre et proportions par niveau de régénération / zone d'étude	155
Figure 30: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (station Ait Ouabane.....	157
Figure 31: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (station Tala Rana)	158
Figure 32: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (station Tikjda)	159
Figure 33: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (station Tala Guilef) ...	161
Figure 34: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (station Tirourda)	163
Figure 35: Représentation sectorielle des catégories de semis/placette (Stations et zone d'étude)...	164
Figure 36: Histogrammes de variation de la densité du peuplement/placette et secteurs de la densité du peuplement /zone d'étude.	166
Figure 37: Histogrammes de variation de la densité de régénération établie/placette et secteurs de la densité de régénération /zone d'étude	178
Figure 38: Variation du taux de régénération / inter-placettes et inter-stations.....	181
Figure 39: Histogrammes de la variation interplacettes et inter-stations de l'indice de régénération naturelle (IRn) et secteurs de variation de l'IRn/zone d'étude.....	182
Figure 40: Proportions de variation de l'indice social de régénération /station d'étude et pour la zone d'étude.	185
Figure 41: Boxplot du nombre de semis (NS) en fonction de l'exposition	186
Figure 42 : Variation du niveau de régénération en fonction de l'exposition.....	187
Figure 43: Relation Niveau de régénération naturelle- Coefficient de couvert du houppier	191
Figure 44: Box-plot de la variation du nombre de semis en fonction de la station	191
Figure 45: Relations entre le nombre de semis et (a) le nombre de tiges, (b) le diamètre du houppier, (c) l'éclairement lumineux et (d) la profondeur du sol.....	195
Figure 46: Box-plot de la variation du nombre de semis en fonction de l'exposition.....	191
Figure 47: Analyse en composantes principales	201
Figure 48: Diagramme d'ordination des placettes issu de l'analyse en composantes principales (PCA) des deux premiers axes	202

LISTE DES CARTES

Cartes	Pages
Carte 1 : Situation géographique du Parc National du Djurdjura (PND) dans le contexte méditerranéen... ..	28
Carte 2: Limites géographiques du Parc National du Djurdjura... ..	28
Carte 3: Nature des roches du Parc National du Djurdjura (PND, 2014)	29
Carte 4: Répartition du cèdre de l'Atlas au Parc National du Djurdjura	39
Carte 5: Localisation des stations d'échantillonnage dans la zone d'étude	47
Carte 6: Localisation cartographique des placettes d'échantillonnage	59

LISTE DES PHOTOS

Photo	Pages
Photo 1: Quelques éléments botaniques du cèdre de l'Atlas.....	11
Photo 2: Forme des zones de régénération (Trouée, Fer à cheval et Lisière uniforme... ..)	53
Photo 3 : Photographie hémisphérique d'ouverture dans la canopée de la cédraie	61
Photo 4: Prélèvement de sol dans la zone d'étude... ..	62
Photo 5: Régénération sur sol meuble	96
Photo 6 : Installation des plants de cèdre dans une plage de <i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>	97
Photo 7 : Répartition agrégée des semis de cèdre	98
Photo 8: Dispersion des plants de cèdre autour de l'arbre mère	98

LISTE DES ACRONYMES

FAO: Food and Agriculture Organization

PND : Parc National du Djurdjura

DGF : Direction Générale des Forêts

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

U.N.E.S.C.O : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

EPA : Établissement Public Économique

BET : Bureau d'Etude Technique

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

IUCN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

PE : Placettes d'échantillonnage

DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine

GPS : Système de Positionnement Géographique

CEDFOB : Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale

CRPF : Centre de Recherche de la Propriété Forestière

URSS : Union République Socialiste Soviétique

BNEF : Bureau National des Etudes Forestières

INRF : Institut National des Recherches Forestières

CAF: Club Alpin Français

ANOVA: One-way analysis of variance

ACP : Analyse en Composantes Principales

RLM : Régression Linéaire Multiple

SNK : Test de Student, Newmann et Keuls

IDF : Institut de Développement Forestier

***"If we Knew What we Were Doing it Wouldn't be
Called Research, Would it?
Albert Einstein (1879-1955)"***

Introduction Générale

Introduction

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.)) Ex.Carrière est une essence endémique de l'Afrique du Nord (Algérie, Maroc). Sa présence en Algérie remonte au moins à 4000 ans ; sachant qu'il a été cité dans l'Akfadou par Salamani (1991, 1992) et à El Kala par Benslama *et al.*, (2010). Espèce emblématique, le cèdre de l'Atlas est aussi dit espèce parapluie, voire clé de voûte ou espèce ingénieur, puisque sa présence confère à l'écosystème un caractère écologique particulier. Sa protection garantit et assure celle de l'ensemble de l'écosystème forestier.

Grâce à son pouvoir exceptionnel d'adaptation à la fois aux conditions écologiques, climatiques et édaphiques variées et souvent difficiles, de nombreux forestiers, écologistes, biologistes et botanistes, se sont intéressés à cette essence. Ainsi M'Hirit (1982 et 1993), Toth (1982 - 1984 et 1990), Roques (1983) Ferrandes (1986) et Ripert *et al.*, (1993) signalèrent que le cèdre de l'Atlas est devenu hors de son aire naturelle, l'essence de base pour la revalorisation et la reconstitution des forêts improductives ou dégradées et la restauration des montagnes dénudées. Par ailleurs, Bariteau (1993) dans son étude sur l'amélioration génétique des cèdres, rapporte que *Cedrus atlantica* est potentiellement intéressant pour les reboisements des terrains calcaires dans le sud de la France et qu'en Algérie, les peuplements de cèdre méritent d'être mieux valorisés. Ce potentiel écologique et productif donnant une place privilégiée au cèdre de l'Atlas dans les projets de reboisement et de réhabilitation des cédraies est confirmé par Rabhi *et al.*, (2018).

Outre cette adaptation à des conditions difficiles, il résiste aux incendies, et produit du bois de bonne qualité (Messaoudene *et al.*, 2004). Par son feuillage persistant distinctif et son port qui prend une forme tabulaire avec l'âge, il constitue un beau spécimen d'arbre offrant une vue magnifique et panoramique dans les cédraies surfaciques (Toth, 1990).

Cet intérêt que revêtent les peuplements de cèdre a incité le Comité des Questions Forestières Méditerranéennes « *Silva Mediterranea* » de la F.A.O à créer parmi ses nombreux réseaux de recherches, le réseau « Sylviculture des essences, Cèdre ». Ceci, a eu lieu lors de sa 13^{ème} session à Saragosse (Espagne) en octobre 1987, afin de promouvoir les recherches relatives à cette espèce. Aussi, des symposiums internationaux ont été consacrés au genre *Cedrus* en octobre 1990 à Antalya (Turquie), puis en Juin 1993 à Ifrane (Maroc). C'est ce qui a permis de créer, sous l'égide de la F.A.O un réseau spécial " *Cedrus* " qui fonctionne sur la base d'un programme orienté sur plusieurs aspects écologiques du cèdre.

Malheureusement, pour le cèdre de l'Atlas, nonobstant qu'il soit une essence forestière noble et endémique nord-africaine, il n'en demeure pas moins que les superficies des cédraies

se réduisent aussi bien en Algérie qu'au Maroc, et l'explication se heurte souvent à la complexité de cette régression. L'absence de semis et l'apparition de clairières et de vides dans certaines cédraies sont les indicateurs de la régression spatiale de celle-ci (Ezzahiri & Belghazi, 2000).

Cependant, si en Algérie et au Maroc, la régénération de cette essence forestière est préoccupante à part quelques peuplements privilégiés ; force est de constater qu'elle est facile dans son aire d'introduction (Toth, 1980 ; Abourouh, 1983). Ceci, est dû à une bonne coïncidence climatique avec la fructification, la dissémination des graines et l'installation des plantules (Toth, 1980).

Apparemment, en Algérie et aussi bien qu'au Maroc, la pérennité de cette espèce forestière est devenue problématique (Demarteau *et al.*, 2007). En Algérie, que ce soient les cédraies situées sur les faciès sublittoraux de l'Atlas tellien ou celles situées sur les faciès continentaux des régions des Aurès, elles connaissent toutes un sérieux problème de maintien et développement des semis en raison de pressions diverses (Yahi, 2007).

En effet, le problème de la régénération domine toute la question du traitement du cèdre en Afrique du Nord et plusieurs chercheurs l'ont étudié ; notamment Boudy (1950 et 1952), Marion (1955), Lepoutre & Pujos (1963), Till (1995), Toth (1984), Nedjahi (1988), Derridj (1990), M'Hirit (1999), Ezzahiri & Belghazi (2000), Khanfouci (2005), Messaoudene *et al.*, (2013), Navarro *et al.*,(2013), Madjour (2015) et Addar (2016). Ils ont souligné le caractère capricieux de la régénération du cèdre de l'Atlas en constatant que des semis apparaissent à certains endroits et pas dans d'autres et de belles nappes de semis de 4 à 5 ans disparaissent sans raison apparente.

Cette régénération capricieuse, constitue un problème extrêmement complexe, influencé par divers facteurs agissant en même temps depuis le stade de la floraison, jusqu'à l'installation, le maintien et le développement des semis. Pour Duchauffour (1988), l'échec des régénérations peut être attribué à la convergence de facteurs physiques, chimiques ou biologiques défavorables. De même, Bentouati & Bariteau (2006), soulignent que c'est l'effet combiné (résultante) de plusieurs facteurs, en l'occurrence, les facteurs d'ordre climatiques (sécheresse, stress hydrique, influences sahariennes), anthropiques (surpâturage, exploitation non contrôlée, coupes illicites) et stationnels, notamment édaphiques où certains types de substrats tels que les marnes, paraissent très nettement défavorables à la reprise des arbres, qui explique le caractère aléatoire de la régénération du cèdre de l'Atlas. La mise en place et le développement des semis ne sont possibles que si les conditions écologiques sont favorables à

tout le cycle de production des graines et de l'ensemencement des plants (Khanfouci, 2005). D'autres auteurs, notamment, Toth (1971, 1973, 1975, 1978, 1980a, 1980b, 1984), Muller *et al.*, (1984), Muller (1986), Roque (1983), Derridj (1990), Malki (1992), M'Hirit (1983), Lahmadi *et al.*, (1994) ont mis en évidence d'étroites relations entre la production qualitative et quantitative des graines, la germination et l'installation des plantules de *Cedrus atlantica* Endl.

D'autres auteurs ont mis en évidence l'effet de chaque facteur (biotique ou abiotique) pris séparément sur l'établissement et le maintien des plants. Ces facteurs sont principalement l'espérance pluviothermique (Lepoutre, 1964), sécheresse estivale en rapport avec la date d'apparition de la germination (Lepoutre & Pujos, 1963), structure du peuplement (densité du couvert de la canopée et son corollaire son degré d'ouverture), nature du substrat (Ezzahiri & Belghazi, 2000), altitude ou travail du sol (Khanfouci, 2005) et le microclimat généré par le couvert végétal des espèces facilitatrices (Yahi, 2007).

Toutefois, en Algérie, malgré l'intérêt considérable accordé à cette espèce, le cèdre de l'Atlas n'a fait l'objet que de peu de travaux concernant sa production, sa régénération ainsi que ses aspects sanitaires (attaques parasitaires, dépérissement, etc.) ; ce qui est confirmé par Nedjahi (1988) qui a insisté sur l'état fragmentaire des données relatives à la productivité et la régénération.

Dans la cédraie du Djurdjura, à l'instar de toutes les cédraies d'Algérie, beaucoup de peuplements souffrent de vieillissement et la plupart sont situées dans des aires protégées ; ce qui exclue toute exploitation ou opération sylvicole comme les éclaircies dans les peuplements à forte densité et à couvert fermé avec 250 à 980 arbres/ha (Messaoudene, comm. Pers, 2013). Ceci, est confirmé par M'Hirit (2022) qui a déclaré l'absence d'une sylviculture d'équilibre de la densité et de la structure des peuplements face aux disponibilités hydriques des sols.

À notre connaissance relative à la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas, aucune étude n'a traité la régénération dans les trouées du cèdre de l'Atlas, ni en Algérie, ni au Maroc. Notre étude qui porte aussi sur le maintien des semis établis et non sur les plantules de l'année dont la pérennité est éphémère, est considérée comme une originalité en soi.

Pour l'objectif assigné à ce présent travail, il est subdivisé en deux sous-objectifs, à savoir :

1. La mise en exergue de l'effet du facteur éclaircissement lumineux sur l'établissement de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas ; lequel facteur est déterminé par l'effet conjugué

d'autres paramètres dont il dépend, à savoir, la densité du peuplement ainsi que le degré d'ouverture de la canopée, la topographie du relief (exposition et pente), l'altitude et leur influence sur la transmittance de la lumière au sol.

2. La recherche de paramètres qui permettront de modéliser la régénération du cèdre qui, éventuellement, aboutirait à la construction d'un modèle de dynamique forestière des cédraies.

Hypothèse de recherche

L'analyse de la littérature bibliographique relative à la dynamique de régénération du cèdre de l'Atlas indique que, la structure du peuplement (composition et degré d'ouverture), la nature du substrat et d'autres facteurs stationnels (pente, exposition et altitude) peuvent avoir une influence combinée sur l'abondance et le mécanisme de la régénération (Belghazi, 2000). Dans le cas de notre étude, nous avons émis les hypothèses de recherche suivantes :

La première hypothèse a trait à l'effet induit par la conjugaison des facteurs stationnels, facteurs édaphiques, paramètres structurels du peuplement et de l'éclairement lumineux sur le processus de régénération naturelle du cèdre de l'Atlas, tel que mentionné par divers auteurs, à savoir Lepoutre (1961), Toth (1978), Derridj (1990), Ezzahiri & *al.*, (1994) et Ezzahiri & Belghazi (2000).

La seconde hypothèse repose sur l'idée que la discontinuité du couvert forestier au sein du peuplement, favoriserait l'arrivée de l'éclairement lumineux à la banque de graines au sol ; ce qui déclencherait le processus de régénération à travers toutes ses phases. Autrement dit, l'éclairement lumineux joue-t-il un rôle prépondérant dans le processus de renouvellement des cédraies du Djurdjura, sachant bien que de nombreux auteurs ont énoncé que la lumière est un facteur primordial à la régénération (Rabazanahary, 2011 in Ramanajatovo, 2013) ?

Pour mener notre travail de recherche, nous avons scindé notre démarche en cinq (05) parties.

Dans la première partie, nous avons commencé par une introduction qui nous a permis de faire un état des lieux de la littérature sur l'importance écologique, économique et esthétique de cette essence forestière en Algérie et au Maroc. En outre, elle donne un aperçu sur l'état des connaissances sur les études menées jusque-là sur la régénération naturelle des cédraies, l'avenir incertain de la pérennité des cédraies eu égard à la juxtaposition des effets de dégradation, du vieillissement des peuplements, du réchauffement et de la variation du régime pluviométrique, notamment la diminution des précipitations.

Cette introduction nous a permis aussi d'exposer la problématique de la régénération et toutes les questions qui nous semblent pertinentes à étudier dans le cadre de cette thèse via la théorie de la régénération par trouées.

La deuxième partie est purement bibliographique. Elle se divise en trois (03) chapitres consacrés à la présentation monographique du cèdre de l'Atlas, des notions générales sur la régénération naturelle, en résumant les principaux facteurs qui déterminent la réussite ou l'échec de ce processus biologique, et la description physique, climatique et écologique de la zone d'étude.

La troisième partie portera sur l'approche méthodologique adoptée pour étudier principalement, la relation éclaircissement lumineux-établissement de la régénération. Elle se divise en deux chapitres. Elle porte sur le travail effectué sur le terrain en procédant par la mesure des paramètres responsables ou déterminants dans l'établissement de la régénération, ainsi que les traitements statistiques effectués (méthodes générales d'analyse statistique) pour démontrer l'efficacité ou la fiabilité de ces paramètres mesurés et/ou déterminés.

La quatrième partie sera réservée aux résultats, leur analyse et leur discussion.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale, suivie de quelques recommandations avec une synthèse discursive de l'intérêt et des limites de nos résultats. Cette partie de la thèse met en relief les principaux résultats obtenus avec un regard critique sur les lacunes et l'aspect limité des études précédentes.

Chapitre I

Généralités sur le cèdre de
l'Atlas

CHAPITRE I : Revue littéraire

I.1. Présentation générale du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti

ex.Carrière)

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl.) est dit Inguel en berbère et Arz El-Atlas ou Al Medad en arabe. Cette seconde appellation viendrait selon certains auteurs du fait que les branches de l'espèce, au lieu de se casser, se ploient plutôt sous le poids de la neige. C'est une essence forestière endémique des montagnes de l'Afrique du Nord et constitue l'essence noble des forêts du Maghreb (Maroc et Algérie). Les cèdres actuels dérivent d'un ancêtre tertiaire qui occupait une aire énorme sur une grande partie de l'hémisphère boréale (Peyerimhoff, 1937).

En matière de conservation, le cèdre de l'Atlas est inscrit sur la liste rouge (Red list) des espèces menacées de disparition établie par l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (Thomas et *al.*, 2013).

I.2. Systématique du cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl.) est une Pinaceae appartenant à la sous-famille des Laricoïdeae Melchior et Wedermann (Krussman, 1983 in Farjon, 1990). C'est le genre le plus ancien après *Pinus*. Son existence remonte au tertiaire (fossiles dans le Miocène et le Pliocène) où il occupait de vastes zones, d'où il a complètement disparu (Gaussen, 1967).

Tableau 1 : Systématique du cèdre de l'Atlas

Embranchement	Sous-embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille	Tribu	Genre	Espèce
Spermaphytes	Gymnospermes	Vectrices	Coniférales	Pinacées	Abiétées	Laricées	<i>Cedrus</i>	<i>C.atlantica</i>

Le cèdre de l'Atlas est l'une des quatre espèces du genre *Cedrus*. Les trois (03) autres sont *Cedrus libani* (Cèdre du Liban), *Cedrus brevifolia* (Cèdre de Chypre) et *Cedrus deodora* (Cèdre de l'Himalaya). Seul le cèdre de l'Himalaya est une espèce himalayenne ; les trois autres espèces sont méditerranéennes. Selon Dereix (2022), le cèdre de Chypre est désormais considéré, sur la base d'études génétiques, comme étant une sous-espèce du cèdre du Liban.

Le cèdre de l'Atlas est un arbre de première grandeur difficilement reconnaissable du cèdre du Liban. Ils sont proches et peu différenciés l'un de l'autre mais se distinguent nettement du cèdre de l'Himalaya et celui de Chypre. (Alptekin *et al.*, 1997).

I.3. Caractères botaniques du cèdre de l'Atlas

1. Arbre

C'est un arbre de grande taille pouvant dépasser 40 m de hauteur dans les anciens peuplements serrés ou sur sol profond (Boudy, 1952). Le diamètre du tronc peut atteindre largement 1 m, voire plus (Maire, 1952). Selon Boudy (1952), dans la région d'Azrou au Maroc, les arbres dont la circonférence dépasse 8 m ne sont pas rares. Des individus dépassant les 3 m de circonférence sont aussi nombreux au niveau de la cédraie du Chélia, Chréa, Thniet El Hed et à Tala Guilef, dans le Djurdjura (Slimani, 2022). A Thniet El Had, Sarmoum a mesuré un arbre dont le diamètre a atteint 7.2 m de diamètre.

Tableau 2 : Caractéristiques botaniques des quatre espèces de cèdre.

Espèces	Répartition géographique	Port	Aiguilles	Cônes	Rameaux
Le cèdre de l'Atlas <i>Cedrus atlantica</i>	Afrique du Nord (Algérie-Maroc)	Conique puis tabulaire	10 à 20 cm	5 à 8 cm	Dressés
Le cèdre du Liban <i>Cedrus libani</i>	Proche-Orient Turquie, Syrie et Liban	Conique puis tabulaire	15 à 35 mm	8 à 10 cm	Dressés
Le cèdre de l'Himalaya <i>Cedrus deodora</i>	Ouest de l'Himalaya Afghanistan	Conique puis tabulaire	<15 mm	<15 mm	Dressés
Le cèdre de Chypre <i>Cedrus brevifolia</i>	Île de Chypre	Flèche persistant plus longtemps	30 à 50 mm	7 à 12 cm	Extrémité pendante

2. Port

Droit et pyramidal au stade jeunesse, le port prend une forme tabulaire avec l'âge (Boudy, 1952 ; Maire, 1952 ; Toth, 1970).

3. Tronc et cime

Monopodial et orthotrope, le tronc est à croissance rythmique. L'unité architecturale est caractérisée par cinq (05) catégories d'axes végétatifs qui sont : tronc, branche, rameau long, ramille et rameau court (Barthelemy *et al.*, 1989 in Sabatier & Barthelemy, 1994).

Le fut ou tronc du cèdre de l'Atlas, dans les peuplements serrés ou à forte densité, prend une forme élancée (Boudy, 1952). La cime est trapue quand l'arbre est isolé ; et prend une forme tabulaire quand l'arbre vieillit.

4. Système racinaire

Le système racinaire est développé, pivotant et fixe bien l'arbre au sol (Toth, 1975). Les racines obliques sont très fortes, ce qui permet à l'arbre de coloniser et de prospecter les sols profonds et humides (Toth, 1970). Les plants d'une année ont une profondeur racinaire comprise entre 14 et 20 cm en sol profond (Toth, 1978). Le cèdre de l'Atlas est sage. Il installe ses racines avant de pousser sa tête. Les premières années, en régénération naturelle, la croissance en hauteur est lente, il privilégie le système racinaire. A partir de 40 ans, il investit dans la croissance en hauteur (Dereix, 2022).

5. Ecorce

Selon le CRPF (2009), à l'état juvénile, l'écorce du tronc du cèdre est gris clair et lisse. A l'âge adulte, elle devient parsemée de crevasses sinueuses et de petites écailles.

6. Aiguilles

Selon Derridj (1990), les aiguilles sont persistantes et sont portées isolément sur les rameaux longs dits auxiblastes ou fasciculées et en rosettes sur les rameaux courts dressés dits mésoblastes. Elles sont aciculaires, aiguës, tétragones et souvent un peu incurvées, portant les stomates sur les trois faces (Maire, 1952). Leur persistance sur l'arbre dure trois ans (Ledant, 1975). La longueur des aiguilles varie de 10 à 20 mm (Boudy, 1952) et atteint, en général 25 mm (Debazac, 1964). Quant à leur couleur, elle varie du vert bleuté au vert foncé selon les individus (Boudy, 1952) et peut aussi être verte ou glauque (Debazac, 1964). Selon Krouchi (2010), certains arbres arborent un ton de couleur glauque ou vert, même si parfois, on voit les deux types de couleur sur les rameaux d'un même arbre.

7. Organes reproducteurs

7.1. Inflorescences

Le cèdre de l'Atlas est dit espèce monoïque parce que les organes mâles et les organes femelles sont portés par un même arbre. Les inflorescences mâles sont très nombreuses et de couleur jaunâtre, en forme de chatons ovoïdes allongés (2 à 6 cm) et dressés. Elles se présentent, fin juin, comme un bourgeon arrondi recouvert d'une pellicule cireuse. Les inflorescences femelles sont au début, semblables à celles mâles, mais n'apparaissent que deux mois après. L'inflorescence femelle se développe rapidement pour devenir mûre vers la fin du mois d'août et mi-septembre (Ezzahiri & Belgazi, 2000). Cette date varie en fonction des conditions climatiques (Till, 1995).

7.2. Grains de pollen :

D'après Derridj (1990), le grain de pollen du cèdre de l'Atlas, vu de profil, a un corps long de 57.24 um et large de 47 um, et des ballonnets larges de 4224 um et hauts de 25 um.

7.3. Graine

Les graines du cèdre sont tendres, résineuse, fragiles, triangulaires et ailées, avec une couleur brune et une longueur qui varie de 10 à 15 mm (Toth ,1978). Les moyennes de la longueur et de la largeur des graines du cèdre de l'Atlas obtenues par Derridj (1990) sur des provenances algériennes et par Aidrous (2007) sur des provenances marocaines sont de l'ordre de 12 mm pour la longueur et de 5 mm pour la largeur. Selon Abourouh (1983), la graine du cèdre est assez grosse, pointue avec une aile développée et plus longue que la graine.

8. Cycle de reproduction du cèdre de l'Atlas

Le cycle complet de la production des graines jusqu'à leur dissémination s'accomplit généralement en 3 ans. Dans certaines conditions, ce cycle peut se prolonger pendant 4 ans (Toth ,1987).

9. Pollinisation

La pollinisation s'effectue par le vent, en général à partir de la mi-septembre, moment où les inflorescences arrivent à leur maturité physiologique (CRPF, 2009). Durant la deuxième année, il y a fécondation des ovules par les grains de pollen et croissance des cônes. La fécondation ne s'effectue pas immédiatement après la pollinisation. Il y a un décalage de huit (08) mois entre ces deux stades.

Tableau 3 : Cycle de reproduction du cèdre de l'Atlas.

1-L'année N : année de la floraison et de la pollinisation	2-L'année N+1 : année des principales phénophases	3-L'année N+2 : maturité physiologique du cône	4-L'année N+3
1. Bourgeons floraux fermés. 2. Gonflement des bourgeons floraux. 3. Apparition des fleurs mâles. 4. Apparition des inflorescences femelles. 5. Production des grains de pollen.	9. Croissance lente des Inflorescences femelles. 10. Fécondation et formation de cônelets. 11. Croissance rapide, formation des cônes et des graines. 12. Changement de couleur. 13. Formation de cônes morphologiquement.	1. Déshydratation des cônes. 15. Ouverture des écailles. 16. Désarticulation des cônes. 17. Dissémination des graines.	18. Fin de la désarticulation.

<p>6. Ouverture des bractées des inflorescences femelles. 7. Pollinisation. 8. Chute des fleurs mâles.</p>			
--	--	--	--

Source : (Khanfousi, 2005).

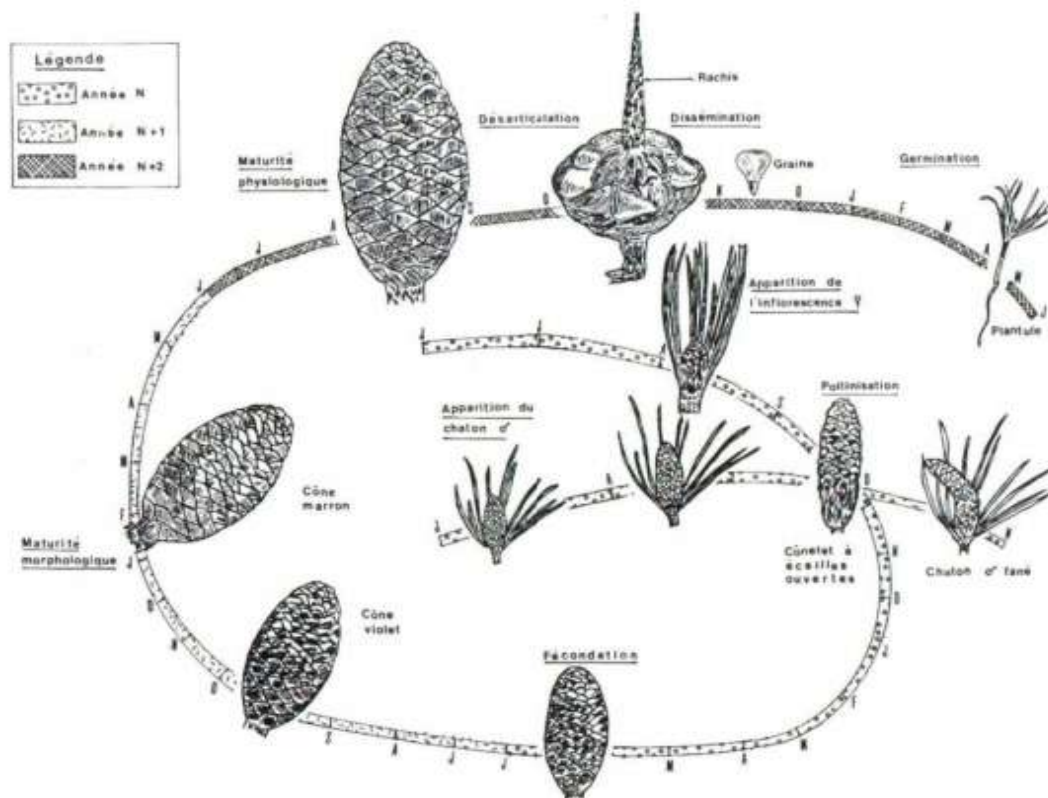


Figure1 : Evolution morphologique des organes de reproduction femelles.

Source : (Derridj, 1990).

10. Désarticulation des cônes

Le gel et l'humidité sont nécessaires à la désarticulation des cônes et la libération des graines.

La désarticulation se manifeste par le détachement des cônes du rachis et la libération des graines de leurs écailles. Ce phénomène s'effectue sous l'effet de l'humidité et de la chaleur (Toth, 1982-1984). Les cônes commencent à se désarticuler vers la mi-novembre avec une ouverture des cônes plus précoce sur les expositions Sud. Cette ouverture, varie aussi selon la

position des cônes dans l'arbre : cônes dégagés et ceux des branches hautes se désarticulent les premiers.

11. Cycle d'ensemencement

Ce cycle comprend quatre étapes : La fructification, la dissémination des graines, leur germination et l'installation des plantules.

a. Fructification

La production semencière chez les essences forestières, varie d'une année à une autre (Skeates & Haavisto, 1987, Haavisto *et al.*, 1988), et n'est généralement abondante que tous les trois à cinq ans (CRPF, 2009). Pour le cèdre de l'Atlas, seule une année sur trois ou sur quatre correspond à une bonne " grainée " avec une production de 50 mille à un million de graines/arbre (Toth, 1980). Dans les stations fertiles, les cônes peuvent apparaître sur les arbres dès 15 à 20 ans, avec une fructification suffisante pour une régénération, à partir de 40 ans. On considère qu'à partir de l'âge de 50 ans, un peuplement aura un stock de graines suffisant pour assurer une bonne régénération (Sigouin *et al.*, 2011). Le cèdre peut donner des graines fertiles jusqu'à un âge avancé (Boudy, 1952).



Chaton mâle



Cône immature



Cône mature



Aiguilles en rosettes



Graine amère

Photo 1 : Quelques éléments botaniques du cèdre de l'Atlas (Alileche, 2014).

b. Dissémination des graines

La dissémination des graines est influencée par le vent local, lui-même influencé par le relief et la végétation. La distance de dissémination par le vent est de 20 à 50 m. Les graines sont réparties d'une façon homogène dans toutes les directions spatiales (Ezzahiri & Belghazi, 2000). Cette dissémination anémophile des graines est très difficile en raison de leur poids qui peut dépasser 0,1 g. D'après Marion (1955) et Toth (1973), la plus grande partie des graines tombe sous l'arbre ou dans ses environs immédiats (10 mètres) avec un fort pourcentage situé à 20 m. Au-delà, le nombre de graines devient faible.

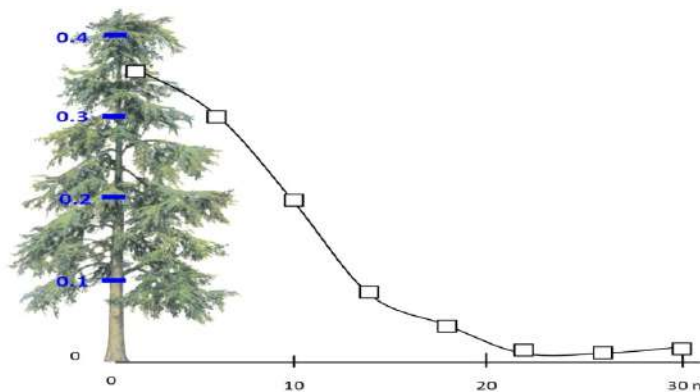


Figure 2 : Distance de dispersion de la graine du cèdre de l'Atlas.

c. Germination des graines et installation des plantules

Selon Maziliak, 1982 in Khanfouci, 2005, la germination est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la racicule. Pour que la graine de cèdre germe, elle a besoin de lumière, d'une humidité modérée, d'oxygène et de certaines conditions thermiques. Les graines du cèdre de l'Atlas présentent des degrés de dormance variables en fonction des conditions climatiques. Elles germent lentement à 4 °C. En dessous de 02°C, il n'y a plus de germination, celle-ci, semble alors être inhibée par le froid (Ezzahiri & Belghazi, 2000). Tributaire des conditions thermiques (9 à 10 °C) pendant une durée d'au moins 9 à 10 jours, la graine du cèdre exige des températures minimales supérieures à - 5 °C et une pluviosité normale (Lepoutre, 1963).

I.4. Longévité du cèdre de l'Atlas

La longévité du cèdre de l'Atlas peut dépasser plusieurs siècles (700 - 800 ans) tout en continuant à produire des graines fertiles (Peyerimhoff, 1941 ; Boudy, 1952). Toth (1980) note qu'il n'est pas rare de rencontrer au Maroc des cèdres âgés dépassant 300 ans. De même, des gros sujets sont indiqués dans la cédraie du Chélia (Aurès) et à l'Ouarsenis (Thniet El Had).

I.5. Biogéographie du cèdre de l'Atlas

A. Aire naturelle du cèdre de l'Atlas

L'aire de répartition du genre *Cedrus* était très vaste au tertiaire et au début du quaternaire. De nos jours, le cèdre ne s'étend plus que sur une étroite bande latitudinale, scindée en quatre espèces réparties en plusieurs territoires distincts, éloignés les uns des autres, depuis le sud de l'Himalaya *Cedrus deodora* Loudon jusqu'au Maroc (*Cedrus atlantica*, Manetti). Ils forment trois ensembles géographiques distincts :

Himalaya : Le cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodora* London) pousse dans les massifs de l'Inde et de l'Afghanistan, et dans le nord ouest de l'Himalaya.

Asie Mineure : Elle est subdivisée en deux (02) parties correspondant chacune à une espèce particulière : Le cèdre du Liban (*Cedrus libani* Barrel) occupant 1700 ha au Liban, quelques centaines d'hectares en Syrie et plus de 160 000 ha en Turquie, dans le Taurus et l'Amanus. Le cèdre de Chypre (*Cedrus brevifolia* Henry) pousse sur l'île de Chypre.

Afrique du Nord : Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl.). Les cédraies marocaines totalisent 116.000 ha dans le Moyen et le Grand Atlas oriental et 15.000 ha dans le Rif occidental et central (M'hirit, 1982). Les cédraies algériennes occuperaient 29.000 ha (Boudy, 1952) ; voire même 16.000 ha (Médiouni, 2000).

Selon les caractéristiques écologiques des cédraies nord-africaines, Gausson (1967), distingue dans l'aire naturelle du cèdre de l'Atlas, deux ensembles écologiques différents :

1. Ensemble méridional adapté à une forte sécheresse d'été.

Au Maroc, il est représenté par la cédraie du Haut Atlas, de Midelt d'une étendue de 1.000 ha, qui occupe les massifs de l'Ayachi et du Masker, ainsi que les avants monts précédant ce dernier, au nord et à l'ouest (Pujos, 1964).

En Algérie, cet ensemble est représenté par les cédraies des Aurès et du Hodna. Les cédraies des Aurès couvrent 17450 ha, avec comme principaux massifs, le Bélezma (8100 ha) à l'ouest, le Chélia, le Sgag, l'Aidel, etc., à l'est (Abdesmed, 1981). Les cédraies des monts du Hodna (8000 ha) prolongent à l'ouest, les massifs des Aurès (cf.fig.2). Elles sont réparties en cantons isolés, notamment à Maadid, Boutaleb et Guethiane (Le Houerou et Claudin, 1975 in Derridj, 1990).

2. Ensemble septentrional dans l'Atlas tellien humide :

Au Maroc, la cédraie humide est représentée par 16.000 ha dans le Rif et le Tazzaca et 100.000 ha dans le Moyen Atlas (Pujos, 1964).

En Algérie, cet ensemble est représenté d'Est en Ouest par :

- Massif des Babors et Tababors avec 1300 ha environ (Derridj, 1990).

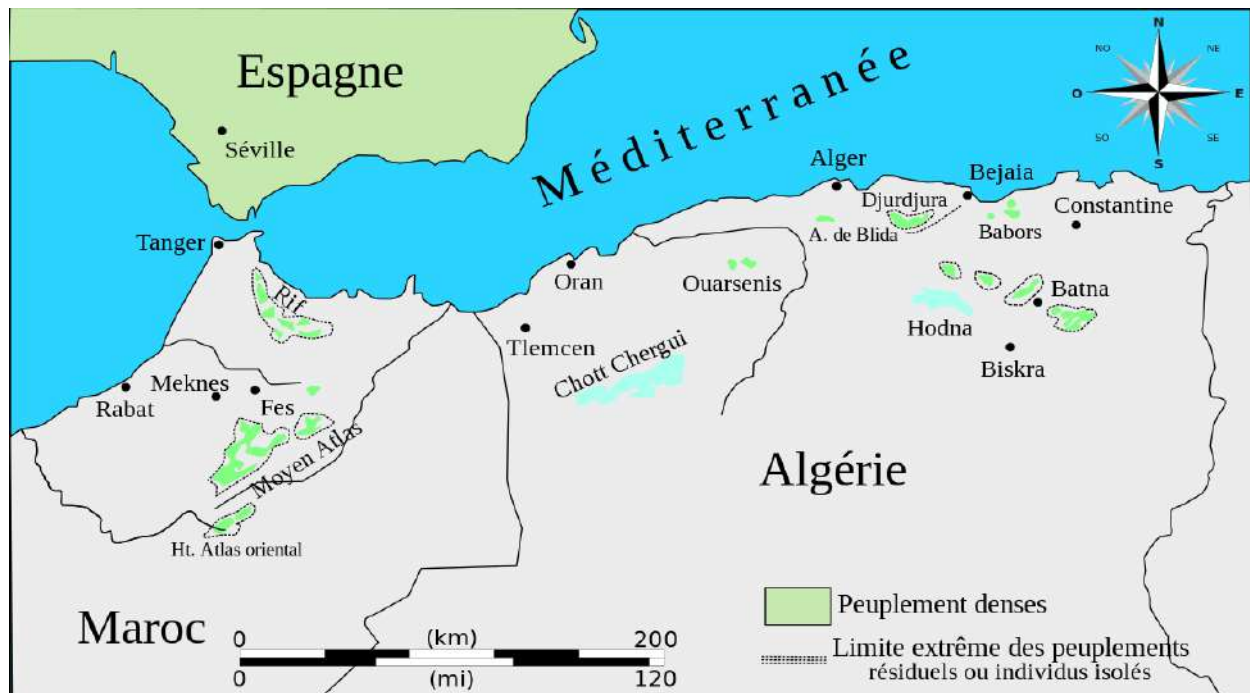


Figure 3 : Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Quezel, 1998).

- Massif du Djurdjura avec 2000 ha (Pujos, 1964) regroupant la cédraie de Tala Guilef sur le flanc Nord-Ouest, la cédraie des Ait Ouabanes sur le flanc Nord-Est et enfin la cédraie de Tikjda et la cédraie de Tala Rana sur le versant Sud.
- Cédraie de l'Atlas blidéen occupant environ 1000 ha (Lapie & Maige, 1952 in Derridj, 1990).
- Cédraies de l'Ouarsenis répartis sur 1500 ha à Thniet El Had et 150 ha Sraa-Si-Abdelkader (Sari, 1977).

B. Le cèdre de l'Atlas hors de son aire naturelle :

Le cèdre de l'Atlas a été introduit hors de son aire naturelle dans divers pays :

France : Son introduction dans le Mont Ventoux remonte à 1862. Les premières graines semées provenaient des montagnes algériennes puis, plus tard, des monts marocains (Parde, 1976). Le cèdre couvre, en France, environ 20.000 ha de forêt. Son succès en France laisse à penser qu'il peut s'acclimater dans des conditions autres que celles de son aire d'origine (Ducrey, 1994).

Italie : Son introduction en Toscane comme arbre d'ornement et en reboisement remonte au 19^{ème} siècle. Il couvre quelque 1000 ha dans plusieurs régions du sud et du centre de l'Italie (Brunetti *et al.*, 2001).

Bulgarie : C'est en 1876 que, les premiers cèdres ont été plantés dans ce pays (Delkov et Grozev, 1994).

Hongrie : Csaba (1994), témoigne du bon comportement du cèdre de l'Atlas dans plusieurs stations situées dans les montagnes au Nord-est du Danube.

Autres pays : Lasram (1994) a évoqué l'introduction du cèdre de l'Atlas dans l'ex-URSS et plus exactement en Russie, comme espèce de reboisement. Toth (2005), indique que le cèdre de l'Atlas a fut l'objet d'introduction au Portugal en 1935. Comme il a été également introduit dans quelques stations aux Etats Unis d'Amérique (M'hirit, 1994), comme la Pensylvanie, New York et la Côte Pacifique. Comme il a cité aussi, son introduction en Crimée (Ukraine) comme espèce de reboisement à grande échelle.

I.6. Ecologie du cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas, bien qu'essence de demi-ombre dans sa jeunesse, est un adepte des climats lumineux à été sec. Il supporte les fortes sécheresses estivales et tolère les hivers froids tant que la température ne descend pas en dessous de - 20° C (CRPF, 2007).

▪ Substrat et géologie

Du point de vue édaphique, le cèdre est indifférent au substrat. D'après Pujos (1966), le cèdre de l'Atlas se développe sur des calcaires dolomitiques, des marno-calcaires et des marno - schistes. Il se rencontre aussi bien sur les calcaires plus ou moins compacts du Lias ou marneux du Jurassique moyen, que sur les schistes calcaires ou gréseux ou les grès. Les neuf dixièmes (9/10) des cédraies algériennes se localisent sur les formations siliceuses et en bien moindre proportion sur les calcaires du Crétacé (Boudy, 1952 et Toth, 1981). Pour Bariteau *et al.* (1990), les cédraies algériennes sont localisées sur des sols développés sur substrats gréseux, schisteux ou calcaires.

La constitution physique du sol quant à elle joue un rôle plus déterminant (BNEF, 1983). Schoenberger (1970) et Toth (1971 ; 1981) notent que sur le plan physique, le cèdre se développe mieux sur sols profonds, meubles, caillouteux et roches fissurées ; il redoute les sols mal drainés, tourbeux ou humides, asphyxiants et hydromorphes ; la structure argileuse lui est défavorable également (Toth, 1971). Il peut s'accommoder même des sols peu évolués qu'il continue à améliorer (Putod, 1979). Dans la région du Djurdjura, bien que la plus grande partie de la zone du cèdre soit constituée par les calcaires du Lias (Flandrin, 1952), c'est sur grès et poudings que Lapie (1909) a signalé les cédraies les mieux conservées du massif, en l'occurrence, la cédraie des Ait Ouabane et celle de Draa Inguel à Tala Guilef.

▪ Répartition altitudinale

Dans son aire naturelle, le cèdre de l'Atlas est considéré comme une essence montagnarde avec des limites inférieures variables, en étroite dépendance avec l'humidité (Emberger,

1938). Selon Till (1985), le cèdre vit entre 1400 et 2000 m sur l'exposition nord et 1600 et 2000 m sur l'exposition sud. Pour la cédraie algérienne, Toth (1980) la situe entre 1100 et 2200 m. Au Djurdjura, le cèdre débute à partir de 1400 m sur les expositions Nord et 1600 m sur les expositions Sud (Derridj, 1990). Toutefois, on rencontre des sujets de cèdre qui descendent à moins de 1000 m d'altitude.

Pujos (1966) distingue, au Maroc, trois types de cédraies selon l'altitude :

- Les cédraies basses : inférieures à 1800 - 1900 m
- Les cédraies moyennes : comprises entre 1900 - 2100 m
- Les cédraies hautes : supérieures à 2100 m.

▪ Exigences climatiques

Du point de vue climatique, le cèdre de l'Atlas s'accommode de climats très différents. Il prospère surtout en climat méditerranéen humide et froid. Aussenac (1984) résume l'amplitude climatique du cèdre comme suit :

- 600 mm/an de précipitation avec ou sans sécheresse estivale prononcée.
- 7,5 C° à 15 C° de température moyenne annuelle avec un extrême de 25 C°.

1. Précipitations

A l'échelle des cédraies algériennes, en se basant sur la méthode d'extrapolation, Derridj (1990) a estimé des tranches de pluies annuelles bien supérieures.

1. Aurès et Hodna : 720 à 770 mm /an.
2. Djurdjura méridional, Ouarsenis, Chréa et Meurdja : 1126 à 1400 mm/an.
3. Babors et Djurdjura septentrional : 1600 à 2100 mm /an.

2. Températures

Selon divers auteurs (Boudy, 1950, Pujos, 1964, Derridj, 1990 et Toth, 1980), le cèdre de l'Atlas croit sous des températures moyennes annuelles comprises entre 8 et 14°C. Dans ses pays d'origine, le cèdre de l'Atlas supporte des extrêmes absolus de - 25° c et + 35°C (Putod, 1979 et Aussenac, 1984). Chez les jeunes semis, l'action des basses températures se traduit par une diminution très nette de la photosynthèse au-dessous de -2°C (Ducrey, 1981)

▪ Exposition

L'exposition joue un rôle très important dans la répartition des hauteurs de la pluie et celle des températures en modelant l'effet des facteurs climatiques et édaphiques. Les belles cédraies sont rencontrées sur les versants nord qui font face aux vents humides (Ducrey, 1981). Aussi bien pour l'Algérie que pour le Maroc, les vents dominants humides sont de directions Nord et Nord-ouest. Ces expositions sont bien arrosées et à l'abri des vents

desséchants comme le sirocco. Au contraire, les versants sud sont exposés aux vents chauds et secs (BNEF, 1983).

▪ **Etages bioclimatiques**

En Afrique du Nord, l'aire de répartition du cèdre s'insère principalement dans l'étage montagnard méditerranéen (Quezel, 1976 - 1980 et M'herit, 1982). Au Maroc, la limite inférieure est de 1500 à 1600 m et la limite supérieure va jusqu'à 2600 et 2800 m. Après 2800 m, il est toujours dominé par le genévrier thurifère (Boudy, 1952).

En Algérie, le cèdre occupe partout le sommet des montagnes (Derridj, 1990). Sur le versant Nord de l'Atlas tellien, il commence à faire son apparition entre 1300 et 1400 m d'altitude (Emberger, 1938). Sur le versant sud de l'Atlas tellien et dans l'Aurès, il n'apparaît qu'à partir de 1400-1500 m d'altitude et il monte jusqu'à 2200 m, c'est-à-dire jusqu'aux plus hautes altitudes de l'Algérie (Emberger, 1938).

Au Djurdjura, le cèdre débute à 1400 m sur le versant nord et à 1600 m sur le versant sud (Lapie & Maige, 1914 in Derridj, 1990). Concernant l'insertion bioclimatique des cédraies algériennes, elle va du semi-aride supérieur froid à l'humide froid (Abdessemed, 1981 ; Derridj, 1990 ; Meddour, 1994 et Yahi, 1995) et se répartit comme suit :

1. Semi-aride à hiver froid : Boutaleb (Hodna), Chélia et Djebel Azreg (Aurès).
2. Subhumide à hiver frais à froid : Theniel El Had (Ouarsenis) et Nord du Belezma.

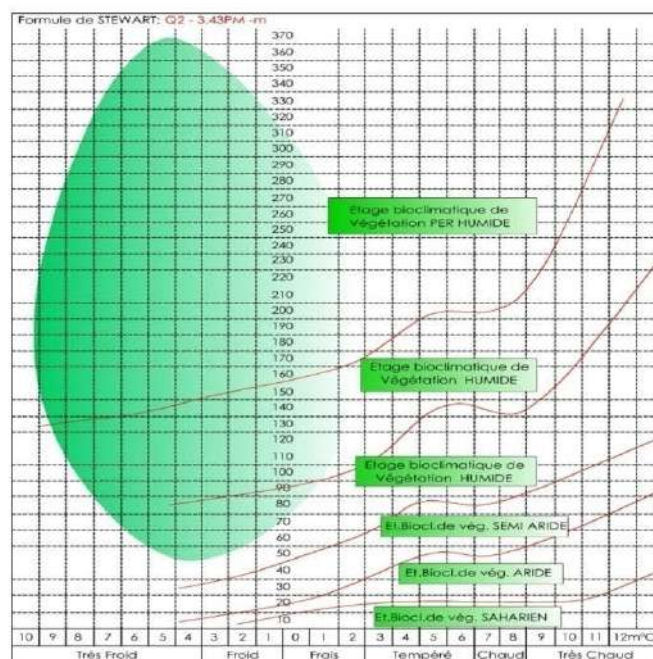


Figure 4 : Aire de projection du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) sur le climagramme d'Emberger.

3. Humide et per-humide, frais à froid : Monts du Djurdjura, Babors, Chréa (Atlas blidéen).

Sur le climagramme d'Emberger (Fig.3), l'aire de projection du cèdre s'étale de la limite supérieure du semi-aride supérieur à variante froide ou très froide jusqu'au perhumide à variante froide à très froide (Byoug- Guieng ; 1976 ; M'Hirit, 1982 ; Till, 1995 et Derridj, 1990).

▪ Ecophysiologie du cèdre

1. Capacité germinative

Selon Derridj (1990), la capacité germinative des graines de cèdre varie selon certains facteurs comme le poids de la graine, la date de récolte, la provenance, le séjour au froid sec (graines conservées dans les cônes), le froid humide et le traitement hormonal (AIA et GA3).

2. Comportement vis-à-vis de la lumière

Le cèdre de l'Atlas est une essence tolérant l'ombrage dans le jeune âge. Il a un tempérament montagnard et continental ; lequel tempérament est assez complexe : Le cèdre offre d'une part le caractère d'essence sciaphile en supportant longtemps le couvert et peut rester de nombreuses années sous le dôme des vieilles futaies denses. D'autre part, il se régénère beaucoup mieux dans les endroits découverts et les lisières, affectant par ainsi, l'allure d'essence de lumière ou héliophile. Il se comporte comme une essence d'ombre à basse altitude et une essence de lumière au-dessus de 1850 m (Lepoure, 1966).

I.7. Groupements végétaux

En Algérie, Maire (1926) a décrit une association du cèdre avec deux (02) faciès : cédraie mixte et cédraie pure.

1. Cédraie pure : Se développant surtout sur les sols peu profonds, cette cédraie est assez bien représentée sur quelques endroits de l'Atlas blidéen. La strate arborescente est formée de cèdre pur, avec un sous bois formé de quelques rares espèces : *Quercus ilex*, *Ilex aquifolium*, *Taxus baccata*, *Genista tricuspidata*, *Berberis hispanica*, *Rosa agristis*, *Rosa canina*.

2. Cédraie mixte : Cette cédraie qui se développe surtout dans les sols profonds des montagnes bien arrosées, est typique des montagnes des Ait Ouabane (Djurdjura Nord-Oriental). La strate arborescente est formée de *Cedrus atlantica*, de *Quercus lusitanica var. mirbeckii*, de *Sorbus aria*, de *Prunus avium* et d'*Ilex aquifolium* (Lapie, 1909 et Maire, 1926).

En Algérie, sur le plan phytodynamique, Médiouni & Yahi (1994), ont proposé des voies de réinstallation de la cédraie des Ait Ouabane (Djurdjura) comportant des successions pionnières sur substrat meuble ou lithophytique où intervient *Juniperus communis sbsp*

hemispherica d'une succession secondaire pyrophytique où interviennent le chêne vert et d'autres espèces.

Yahi (2007) a souligné l'importance de la continentalité et du facteur anthropique dans la délimitation de la phytodynamique des cédraies algériennes.

Selon la synthèse des caractéristiques phytosociologiques des formations à *Cedrus atlantica* faite par Quezel (1998), les cédraies algériennes de l'Atlas tellien s'encartent dans le paenio-atlanticae-Cedrion atlanticae et celles de l'Atlas saharien dans la lamio numidicae-Cedrion atlanticae.

I.8. Associations mycorhiziennes

Le cèdre de l'Atlas forme naturellement plusieurs types d'ectomycorhizes. En Algérie, d'après Nezzar Kebaili (1998), il existe 20 types d'ectomycorhizes chez le cèdre de l'Atlas en peuplement naturel et plus de 50 espèces de champignons (carpophores). Au Parc National du Djurdjura, la flore mycorhizienne du cèdre, est constituée particulièrement par les espèces appartenant aux genres *Cortinarius*, *Inocybe*, *Russula* et *Tricholoma* (Nezzar Kebaili, 1998).

I.9. Ennemis du cèdre de l'Atlas

On peut citer les travaux de Fabre et *al.*, (1994, 1999), Mouna (1994) sur les cédraies marocaines et ceux de Gachi (1994) sur les cédraies algériennes. Gachi (1989) a cité les ravageurs les plus importants comme la processionnaire du cèdre (*Thaumetopoea bonjeani*), les tordeuses du cèdre (*Epinotia cedricida* et *Epinotia algeriensis*), les pucerons (*Cedrobium laportei* et *Cinara cedri*), la cochenille (*Leucapsis pusilla*), le bupreste (*Melanophila marmottani*). Les graines de *Cedrus atlantica* Manetti sont attaquées par de nombreux insectes, notamment le chalcidien *Megastigmus suspectus* var *pinsapini* qui cause des dégâts en dévorant l'embryon. Lanier (1994) cite des parasites comme *Armillaria mellea* (parasite racinaire), *Lophodermium cedrinum* et *Trametes pini* (Xanthochrous), agent du Mjeje.

Chapitre II

Notions générales sur la
régénération naturelle et le
changement climatique

II.1. Définition de la régénération naturelle

Selon Forget(2013), la régénération d'une population d'arbres peut se définir comme l'ensemble des processus démographiques qui assurent le renouvellement des individus, de la graine disséminée lors de la fructification d'un arbre au recrutement d'un nouvel adulte capable de se reproduire. Selon le même auteur, la régénération naturelle peut être définie aussi comme une base de l'équilibre dynamique et démographique des populations végétales en assurant le renouvellement des individus et la pérennité des espèces dans l'écosystème. Pour Rollet (1969), la régénération naturelle désigne "l'ensemble des processus par lesquels la forêt dense se reproduit naturellement". Autrement dit, la régénération naturelle est l'ensemble des étapes postérieures à la germination et au développement de l'embryon en une plantule.

II.2. Caractéristiques de la régénération naturelle

Les caractéristiques de la régénération sont étroitement liées aux types de fruits, aux modes de dissémination et à la survie des diaspores (Ridley, 1930 ; Dansereau et Lens, 1957; Janzen, 1969, 1970, 1971 ;Harper,1977 ; Sabatier, 1983 ; in Gautier-Hion et *al.*, 1985), ainsi qu'à la survie des germinations et à celle des premiers stades de croissance (Connell, 1971). En règle générale, la régénération naturelle des espèces est dépendante de leur écophysiologie en fonction des différents milieux à coloniser (Medina et *al.*, 1984). Tous ces facteurs permettent d'expliquer la répartition et le degré d'agrégation des formes juvéniles et des adultes en forêt, agrégation qui serait d'autant plus élevée que les graines sont grosses et faiblement dispersées (Poore, 1968 ; Hubbell, 1979 in Forget (2013).

II.3. Modes de régénération

On distingue habituellement deux modes de régénération (Gomez-Pompa & Vasquez-Yanes, 1976 ; De Foresta, 1981; in Forget, 2013). Le premier est associé aux espèces à petites graines. Les semis peuvent provenir des diaspores disséminées lors de l'ouverture de la forêt, par le vent (anémochorie) ou par les animaux (zoochorie). On parle alors de potentiel séminal extérieur (Alexandre, 1982). Comme on peut avoir une germination des graines de la banque du sol (potentiel édaphique), par suite de la destruction du couvert végétal (Bazzaz & Pickett, 1980). A l'opposé, le second mode de régénération est caractéristique des espèces à grosses graines qui germent rapidement en sous-bois (Garwood, 1982, 1983, Foster & Janzon, 1985 in Marquis, 1975).

II.4. Occurrence de la régénération naturelle

En règle générale, la régénération succède à une perturbation naturelle ou artificielle du biotope. La taille des zones à reconstituer varie alors de quelques dizaines à plusieurs centaines de m², lors de la chute d'une branche (volis) ou d'un à plusieurs arbres (chablis et abattis ou culture sur brûlis), à des dizaines d'hectares, voire des centaines, après la disparition complète de l'écosystème forestier, suite à son exploitation (Forget, 2013).

II.5. Etapes de la régénération naturelle

Selon Martin (2008), le succès de la régénération arborée est déterminé par l'accomplissement effectif de nombreux événements dans le cycle de vie de l'arbre tels que la floraison, la pollinisation, la production de graines et la dispersion dans des sites viables, l'établissement via la germination et l'état plantule puis la croissance. Le cycle de régénération est bouclé lorsque l'individu atteint la maturité sexuelle et produit à son tour des graines.

La régénération peut être considérée comme le processus s'effectuant depuis la libération de la graine par le parent jusqu'à l'arrivée à l'état de maturité reproductive par l'individu en question. Ces étapes de régénération passent par de nombreux mécanismes et une mortalité souvent importante (Guignabert, 2018). Elles se résument comme suit :

1. La dispersion des diaspores (dissémination) et la germination ou implantation des semis,
2. La structure démographique (répartition, croissance et mortalité) des plantules et celle des jeunes stades de moins de 5 cm de diamètre à 1.30 m de hauteur (dbh) associées ou non aux perturbations du milieu.
3. La répartition et la densité de la population d'arbres (dbh > 5 cm ou dbh > 10 cm).

II-6. Impacts du changement climatique sur les forêts de montagne

Selon Labonne et *al.*, (2019), le changement climatique impacte les processus démographiques des espèces (croissance, mortalité, reproduction), modifiant ainsi les facteurs d'évolution de la structure des peuplements et de leur diversité. La sécheresse constitue le facteur dominant qui compromet la capacité de régénération et/ou provoque le dépérissement de certaines essences. D'après le même auteur, les changements de températures et de précipitations sont susceptibles de modifier les cycles de vie des espèces.

II.7. Désynchronisations entre espèces

Les différences de vulnérabilité au changement climatique associées aux différences de capacité de migration des espèces peuvent conduire à des changements importants de

structure et de composition des écosystèmes. Au sein des écosystèmes forestiers, ces disparités peuvent conduire à des désynchronisations entre espèces au sein des réseaux trophiques, voire même dans les processus de reproduction, notamment la floraison et la pollinisation (Labonne et *al.*, (2019).

II.8. Impacts du changement climatique sur la démographie et les aires de distribution des espèces

Une température plus élevée augmentera la durée de la saison de végétation et le niveau de l'évapotranspiration potentielle (ETP), ce qui se traduira par un accroissement de la consommation d'eau et donc un risque accru de stress hydrique pour les arbres, et particulièrement pour les jeunes plantules. Parallèlement aux effets de la sécheresse, les attaques d'insectes devraient croître, notamment en raison du multivoltinisme (plusieurs générations chez les insectes).

Quant à l'effet du changement climatique sur l'aire de répartition des espèces, la modification de l'aire d'une espèce peut aboutir soit à une migration de celle-ci vers des conditions de température plus en adéquation avec ses caractéristiques écologiques (Pitelka et *al.*, 1997 in Dietz (2020), soit à une extinction locale de cette espèce étant donné qu'elle est confrontée à une situation qui lui est devenue défavorable (Thomas et *al.*, 2004 in Dietz (2020).

La migration d'une espèce peut être altitudinale (Lenoir et *al.*, 2008, 2009; Savage & Vellend, 2015 in Dietz (2020) ou latitudinale, c'est-à-dire, un déplacement vers le Nord de l'aire de distribution (Groom, 2013; Cavanaugh et *al.*, 2014; Sittaro et *al.*, 2017 in Dietz (2020).

En Algérie, le cèdre de l'Atlas est menacé par le dépérissement (sécheresse) (Alileche, 2012, Sarmoum et *al.*, 2019, Taffer et *al.*, 2021,...), particulièrement dans les Aurès et Thniet El Had depuis les années 1980 mais aussi par l'envahissement du pin d'Alep qui ne cesse de gagner en altitude, notamment sur les versants chauds du Djurdjura.

II.9. Effet du changement climatique sur le régime des perturbations naturelles

De nombreuses études en Amérique du Nord (Overpeck et *al.*, 1990; Dale et *al.*, 2001; Westerling, 2006 in Dietz (2020),) et en Europe (Schelhaas et *al.*, 2003; Seidl et *al.*, 2017 in Dietz (2020), montrent l'effet du changement climatique sur l'intensification du régime des perturbations naturelles en forêt.

Et comme, notre étude s'inscrit dans cette dynamique de perturbation, il est important de suivre l'évolution de la dynamique de régénération du cèdre en parallèle avec le changement climatique, chose qui ferait l'objet d'ultérieurs travaux de recherche par d'autres auteurs.

L'intensification du régime de perturbation par l'augmentation en fréquence, intensité, taille, et sévérité des perturbations (incendies, surpâturage, chablis, attaque d'insectes et chute d'arbres morts par sénescence des vieux arbres) peut être fatale pour le cèdre dans le contexte d'un changement climatique accentué. D'ailleurs, un lien direct a été mis en évidence, dans plusieurs forêts du globe, entre le changement climatique, notamment l'augmentation des températures, et les incendies, les sécheresses, ou encore les invasions d'insectes ou de pathogènes (Seidl et *al.*, 2009; Kautz et *al.*, 2017 in Dietz, 2020).

Notions générales sur le changement climatique et le dépérissement.

Les concepts de dépérissement forestier : une perspective historique

Selon Landman (2014), les dépérissements forestiers ne sont pas des phénomènes nouveaux ; les littératures allemande (Schutt, 1977 ; Wachter, 1978 ; Cramer et Cramer-Middendorf, 1984) et nord-américaine (Walker et Auclair, 1989 ; Millers et al ., 1988) en rapportent depuis plus d'un siècle .Certes, la littérature française est relativement moins riche mais fournit tout de même, quelques descriptions pour le sapin pectiné (Landmann, 1993), le chêne (Delatour, 1983) et le hêtre (De Lempis, 1955 ; Schaeffer, 1955).

Mueller-Dombois (1983, 1986 in Landman (2014) a décrit le dépérissement de la canopée forestière (sur *Metrosideros polymorpha* en particulier) sur l'île de Hawaï et d'autres îles du Pacifique à l'aide d'un modèle de sénescence collective synchrone (« synchronous cohort senescence model ») . D'après ce modèle, les individus se développent, deviennent adultes et entrent dans un processus de dépérissement de façon synchrone.

Définition du concept de dépérissement

La notion de dépérissement a été appréhendée de deux façons :

1. Approche descriptive

Le terme “ **dépérissement**” est avant tout un terme de symptomatologie. Il traduit “ une altération durable de l'aspect extérieur des arbres (mortalité d'organes pérennes, réduction de la qualité et de la quantité du feuillage) et une réduction de la vitalité (croissance). La mort d'un certain nombre de sujets est observée mais l'issue n'est pas obligatoirement fatale même

si la situation est préoccupante ” (Delatour, 1990). Cette définition couvre une gamme de types de dépérissement très large.

Pour Manion (1981) in Landman (2014), la définition la plus couramment retenue dans la littérature pour les dépérissements est celle de Manion (1981). Les dépérissements sont définis comme des phénomènes causés par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, et qui entraînent une détérioration générale (portant notamment sur l'aspect et la croissance) et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre.

Mueller-Dombois (1988) in Landman (2014) a défini « forest decline » comme une réduction notable de la vigueur d'un grand nombre d'arbres vivant côte à côte dans de mêmes conditions stationnelles.

Quant à Delatour (1990), le dépérissement est : « Un terme de symptomatologie, c'est-à-dire qu'il caractérise un ensemble d'anomalies perceptibles à l'œil sur le terrain. Ces anomalies correspondraient à l'idée que l'on se fait d'une détérioration globale de la santé de l'arbre : réduction de la qualité et de la quantité de feuillage ou des pousses mais surtout mortalité d'organes existants (rameaux en particulier

Outre la notion de « decline », on trouve dans la littérature anglo-saxonne de nombreuses références à la notion de « dieback ». Ce terme est, comme celui de « decline », employé pour une essence particulière (« birch dieback », « ash dieback ») ou, plus généralement, pour une forêt (« forest dieback »). Ce terme semble être utilisé comme synonyme de « decline » par de nombreux auteurs (par exemple Houston, 1992). Mueller-Dombois (1988, 1992) a défini « dieback » comme une perte anormale, désaisonnalisée, partielle ou totale de feuillage de beaucoup d'arbres dans une même forêt, ou en d'autres termes, comme une forme extrême de « decline »

2. Approche analytique

L'approche analytique est celle des auteurs américains : “ un dépérissement est un phénomène complexe évolutif, dans lequel interviennent des facteurs de plusieurs types : prédisposants, déclenchants, aggravants en partie interchangeable ” (Sinclair, 1964, 1967 ; Manion, 1981). La terminologie de facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants reflète une chronologie des phénomènes : ainsi, un sol inadapté (facteur permanent) peut prédisposer au dépérissement, une défoliation par un insecte peut le déclencher en engendrant un stress

pour les arbres, et un envahissement du tronc ou des racines par des parasites de faiblesse (insectes cambioiphages ou pourridiés racinaires) peut l'aggraver.

Selon Landman (2014), Sinclair (1964, 1967), les facteurs prédisposants seraient, d'après Sinclair, responsables des variations locales d'intensité du dépérissement. Pour Manion (1981), un dépérissement comporte au moins un facteur dans chacun des trois groupes de facteurs (prédisposants, déclenchants et aggravants). L'ensemble des facteurs impliqués et des manifestations visibles constitue un syndrome (Landman, 2014).

Variabilité des symptômes du dépérissement

Un des apports de Manion (1981) est d'avoir avancé que les facteurs impliqués dans un dépérissement ne sont pas obligatoirement les mêmes d'un endroit à l'autre (ce qui complique leur analyse), mais sont en partie au moins interchangeables. Cette absence de constance spatiale des facteurs fait des dépérissements d'arbres un phénomène sensiblement différent de la plupart des autres maladies. L'interchangeabilité des facteurs est également un des principaux messages contenus dans la spirale de Manion (1981). Une autre particularité de cette représentation est qu'elle admet que certains facteurs, par exemple la sécheresse (coup de chaleur/sécheresses prolongées) ou la pollution atmosphérique (aiguë/chronique), peuvent jouer plusieurs rôles, et notamment être prédisposants ou déclenchants selon leur intensité.

Symptômes et éléments de diagnostic

Selon de nombreux auteurs, les symptômes de dépérissement sont essentiellement la mortalité d'organes pérennes (branches, rameaux) et la réduction de la qualité et de la quantité du feuillage. Cette réduction de la masse foliaire et de la ramification se traduit par une transparence accentuée. Les mortalités de branches et de rameaux peuvent concerner tout le houppier ou se manifester en descente de cime (du haut vers le bas).

Ceci dit, d'autres symptômes plus spécifiques tels des colorations anormales du feuillage, des suintements, des écoulements de résine sur le tronc, ... peuvent être observés dans certains dépérissements, selon les facteurs en jeu.

Houston (1967) développa le concept de maladie déclenchée par un stress (« stress-triggered disease »), selon lequel un arbre soumis à un stress répété finit par être endommagé et devient susceptible à l'attaque d'organismes secondaires le conduisant éventuellement à la mort. Ce concept, développé et affiné depuis lors (Houston, 1973, 1981, 1984, 1992), considère le

dépérissement comme une ' maladie ordinaire », en référence au ' triangle de la maladie » constitué par la plante, le pathogène et l'environnement.

Causes du dépérissement

Le dépérissement, selon Houston (1992 in Landman (2014)), n'apparaît plus comme une maladie typique en insistant particulièrement sur les attaques d'organismes secondaires qui, selon lui, déterminent souvent si l'arbre va survivre ou succomber aux stress qui l'ont affecté.

Un certain nombre de caractéristiques générales communes à beaucoup de dépérissements peuvent également être citées :

- des facteurs climatiques et stationnels sont presque toujours impliqués comme facteurs prédisposants ou déclenchants . Les facteurs climatiques les plus souvent invoqués sont les sécheresses et, dans les zones tempérées et surtout nordiques, les dégâts liés au froid. Les facteurs stationnels les plus souvent cités sont les caractéristiques physiques (plutôt que chimiques) du sol (Landmann, 1994 ; Landmann et Bonneau, 1994) ;
- l'importance exacte de la dynamique des peuplements, de la sylviculture qui la module, et plus généralement de l'histoire des forêts, est encore incertaine, car ces aspects ont souvent été ignorés dans l'étude des dépérissements. Cependant, dans la plupart des situations où ces aspects ont été étudiés, leur rôle est apparu déterminant (Landmann, 1993, 1994) ;
- l'âge de l'hôte est un facteur commun à de nombreux dépérissements. Ces derniers, affectent le plus souvent préférentiellement des arbres physiologiquement adultes. D'une certaine façon, un dépérissement peut être considéré, dans le contexte de dynamique de peuplement évoqué ci-dessus, comme la première étape normale du renouvellement des peuplements ;
- des champignons et insectes opportunistes (ou de faiblesse) sont souvent impliqués comme facteurs aggravants, globalement davantage dans les dépérissements de feuillus que dans les dépérissements de résineux (du moins ceux étudiés récemment) . On leur a parfois prêté un rôle plus important qu'ils n'ont peut-être, mais cette question est controversée ;
- l'armillaire est un pourridié racinaire étroitement associé à de nombreux dépérissements (Delatour et Guillaumin, 1993 ; Guillaumin et *al.*, 1983) . Certaines espèces constituent des ravageurs primaires mais la plupart nécessitent un affaiblissement préalable des arbres pour s'installer ;
- les virus, relativement peu étudiés en France, pourraient constituer un dénominateur commun de plusieurs dépérissements de feuillus, aussi bien en Amérique du Nord (Manion,

1991) qu'en Europe (Nienhaus, 1985 in Landman, 2014). Les virus sont détectés à la fois dans des arbres sains et des arbres dépérissants. On ignore s'ils prédisposent les arbres à des maladies ou s'ils fonctionnent comme des facteurs aggravants pour arbres stressés.

Récemment, certains auteurs ont suggéré que la pollution atmosphérique pouvait être un dénominateur commun à la plupart des dépérissements qui s'étaient apparemment développés de façon synchrone en Europe et en Amérique du Nord.

Changement climatique et dépérissement

De l'avis de nombreux auteurs, en raison du changement climatique, les dépérissements augmentent partout, notamment en Europe et plusieurs facteurs combinés expliquent le phénomène :

- des sécheresses répétées ;
- des insectes ravageurs (scolytes...) ;
- des champignons ou autres parasites (chalarose du frêne, encre du châtaignier...).

Dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie est un phénomène complexe qui a affecté les cédraies des Aurès et Theniet El Had depuis les années 1980, et dont les causes restent inconnues.

Selon Sarmoum et *al.*, (2019), le phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas a davantage marqué la cédraie de Theniet El Had vers sa limite inférieure, dans des stations situées à basse altitude, sur des terrains à forte pente et aux expositions ensoleillées et chaudes. Les arbres dépéris sont des arbres adultes et/ou âgés. Ces arbres dépéris se distinguent par une faible croissance et une sensibilité moyenne au climat très élevée. En plus de l'effet de l'âge, la sécheresse prolongée dans la région au cours de la période 1980-2002 a affecté et aggravé l'état de santé du cèdre de l'Atlas.

Pour Quézel et Médail (2003) in Alileche (2012), les changements globaux prédits dans le cadre du réchauffement climatique seront fâcheux pour les écosystèmes méditerranéens. En Algérie, particulièrement dans la région des Aurès (Cédraies de Belezma et Chélia), le cèdre a subi un dépérissement massif dans la cédraie du Bélezma et à un degré moindre au Chélia (Alileche, 2012). Située à la porte du désert, cette cédraie méridionale ne cesse de se réduire comme une peau de chagrin. D'après Keller et al. 1997 Rathgeber et *al.*, 2000, le ratio signal

climatique / bruit se produit dans les peuplements localisés à la limite de leur aire biogéographique. Des études d'ordre dendroécologique, se sont attelées à étudier la relation climat – cerne de croissance, c'est-à-dire analyser le déterminisme climatique des variations annuelles de la croissance radiale du cèdre de l'Atlas.

L'étude de l'intervention des différents facteurs climatiques sur la croissance radiale du cèdre montre l'impact du déterminisme climatique dans la production annuelle de bois. Cette interdépendance climat-croissance radiale a été mise en relief par le calcul des fonctions de réponse. C'est ainsi que le rôle prépondérant des précipitations par rapport à celui des températures a été démontré. Ces résultats sont en parfaite concordance avec l'effet du paramètre pluviométrie, considéré comme facteur limitant dans la région méditerranéenne, notamment continentale. L'insuffisance et l'irrégularité des précipitations, couplées à l'élévation des températures, constituent une dérive climatique dont l'avènement s'est corsé davantage depuis la décennie 1980.

Chapitre III

Présentation de la zone d'étude

L'objectif de cette partie est de présenter la la zone d'étude qui est le Parc National du Djurdjura (PND) où a été menée notre étude.

III.1. Présentation générale du Parc National du Djurdjura.

✚ Etymologie du mot « Djurdjura ».

Le Djurdjura ou **JerJer** en Thamazight signifie la montagne des montagnes ou montagne des glaces. Les Romains le dénommaient "**Mont Ferratus**" eu égard à l'aspect compacte et massif de l'ensemble montagneux mais aussi semble-t-il, en référence à ses habitants résistants et hostiles à toute invasion étrangère.

✚ Création du Parc National du Djurdjura et classement en réserve de biosphère

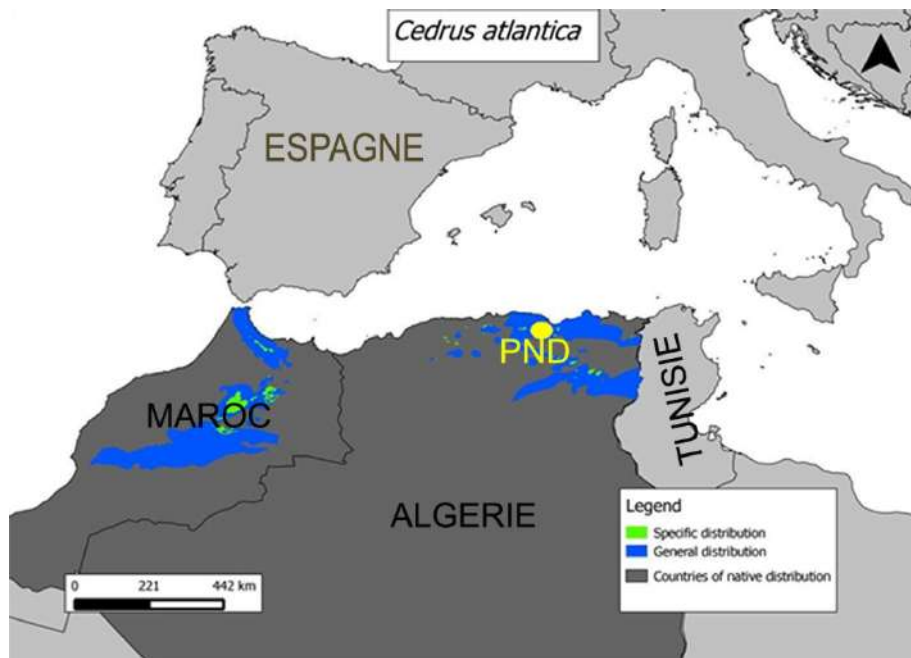
Le Parc National du Djurdjura (PND) est un établissement public à caractère administratif (EPA), crée le 23/07/1983 par le décret présidentiel n°83-460 et érigé en Réserve de Biosphère le 15 décembre 1997 par l'U.N.E.S.C.O. Il relève sur le plan administratif du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR) avec un droit de regard et de collaboration technique, exercé par la Direction Générale des Forêts (DGF).

✚ Localisation géographique

Le Parc National du Djurdjura se trouve dans la partie nord de l'Algérie à environ 40 Km à vol d'oiseau de la mer méditerranéenne et à 150 Km à l'Est d'Alger, et s'étend sur une superficie de 18550 ha. Il présente une chaîne montagneuse ayant une forme d'un arc de cercle ouvert vers le nord et allongée selon la direction est-ouest sur 50 km de longueur et 3 à 10 km de largeur. Par la hardiesse de son relief et malgré son altitude relativement faible (2308m), le Djurdjura figure parmi les hautes montagnes maghrébines; cette position est entièrement confirmée sur le plan floristique et sur le plan morpho-structural et climatique (Quinif,1978).

✚ Contexte socio-économique du PND

Le territoire du parc est cerné par 68 villages avec une population riveraine avoisiant 80000 habitants (PND, 2014). Au parc national du Djurdjura, l'agriculture vivrière et l'élevage constituent les principales activités exercées par les populations locales. Ces deux activités produisent les aliments de base pour l'alimentation des communautés villageoises. Pour le pastoralisme qui se pratique presque à longueur d'année, le cheptel a été estimé à environ à 57 219 dont 35572 ovins, 12431 bovins et 9216 caprins, exerçant un impact négatif sur les écosystèmes fragiles du Parc. Par ailleurs, les populations locales exercent également d'autres activités subsidiaires comme le commerce de proximité et l'artisanat.



Carte 1: Situation géographique du Parc National du Djurdjura (PND) dans le contexte méditerranéen (Source : Wazen & Bruno, 2015). (NB) : le cercle jaune indique la position géographique du PND.



Carte 2: Limites géographiques du Parc National du Djurdjura (PND, 2014).

III.2. Description biophysique de la région d'étude

Le Parc National du Djurdjura est une aire protégée de haute montagne, comprise entre environ 800 à 1000 et 2308 m d'altitude. Sa délimitation suit le contour des zones les plus sensibles sur le plan écologique, à savoir les forêts d'altitude (cèdre et chêne vert), les espaces intermédiaires qui pourront leur servir d'extension et les crêtes asylvatiques qui dominent les deux premières zones.

III.2.1. Caractéristiques géomorphologiques et karstification

Le Djurdjura en tant que relief majeur de tout le tell algéro-tunisien, représente une incontestable entité orotopographique et écogéographique (Abdesselam, 1995). D'ossature générale calcaire, il est subdivisé sur le plan physiographique en trois grands massifs (Maire, 1916 ; Quézel, 1957, in Abdesselam, 1995) :

1. Le Djurdjura occidental représenté par le massif de Haïzer, s'étendant de Tizi Oudjaboub à Tizi Ougoulmim et culminant à 2164 m par un dôme dolomitique où les phénomènes karstiques atteignent une ampleur considérable ;
2. Le Djurdjura central représenté par le massif de l'Akouker, caractérisé par un relief singulièrement escarpé, et s'étendant de Tizi Ougoulmim à Tizi Boussouil. Il culmine à 2305 m au niveau de l'Akouker ;
3. Le Djurdjura oriental à l'est. Le point culminant de la chaîne du Djurdjura est Tamgout de Lalla Khedija avec 2308 m. La partie sommitale de ce massif est à base de calcaires en dalle du Lias supérieur. Elle se dresse en forme pyramidale quasi parfaite.

Par son altitude, le Djurdjura vient au second rang des massifs montagneux de l'Algérie du Nord (2308 m au Tamgout Khedidja contre 2328 m au Chélia dans les Aurès) (BET-incendie-PND, 2016).

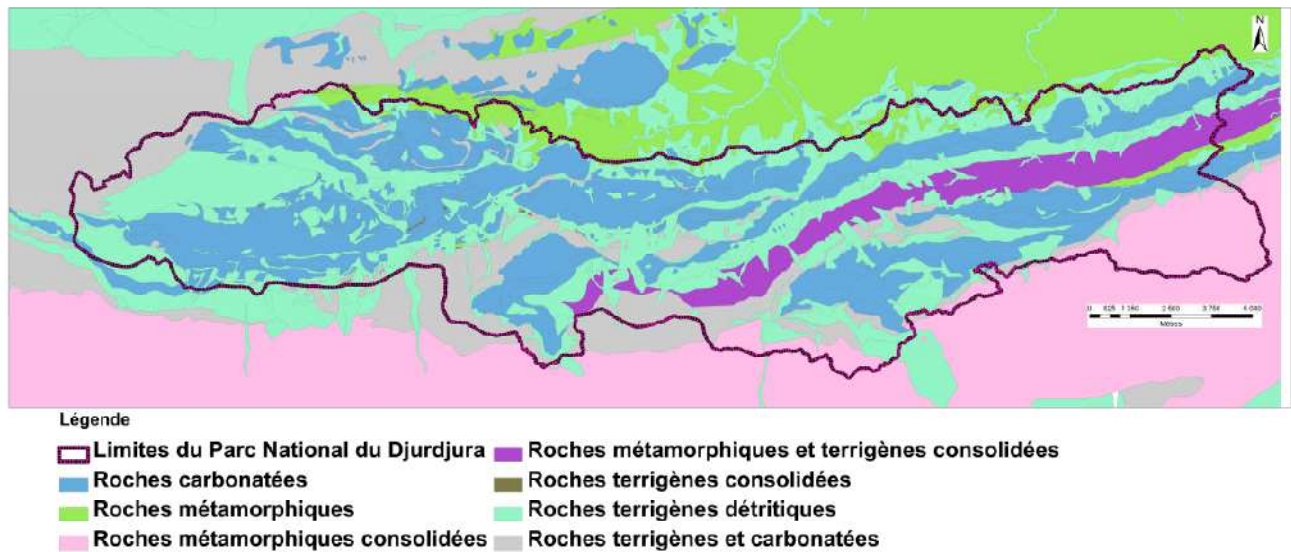
La morphologie du massif du Djurdjura est karstique en surface avec présence de dolines et surtout de lapiaz. Ce karst de surface est relayé en profondeur par un important réseau de gouffres et de cavités qui constitue le patrimoine spéléologique du Djurdjura, mondialement connu, en particulier, par ses gouffres les plus profonds d'Afrique comme l'Anou Iflis ou gouffre du léopard (1259m) et l'Anou Assouil (930m) ainsi que ses plateaux aux dolines à Haizer et Akouker-Timedouine. On y trouve des puits verticaux qui piègent la neige et forment des névrières.

III.2.2. Caractéristiques géologiques et hydrologiques

Le massif du Djurdjura appartient au Tell septentrional dont la structure géologique complexe prolonge l'Atlas tellien vers le nord et appartient aux zones internes des Maghrébides. La chaîne du Djurdjura est une zone de haute montagne à ossature calcaire. Les crêtes dolomitiques et les sédiments sont calcaires, gréseux et marneux. Cette chaîne djurdjuréenne constitue toute la couverture sédimentaire secondaire et tertiaire des massifs anciens. Une très grande partie du massif du Djurdjura a été formée pendant le secondaire (Jurassique et Trias), soit depuis environ 140 à 200 millions d'années.

Son squelette général est formé de calcaire du lias. Les séries sédimentaires se succèdent depuis le cristallophyllien jusqu'à l'oligocène. D'après Belaid (1986), le massif du

Djurdjura est géologiquement composé de sites sédimentaires fortement plissés et fracturés, d'âge et de nature très complexes.



Carte 3: Nature des roches du Parc National du Djurdjura (PND, 2014).

Sur le plan hydrologique, le Djurdjura est dénommé par de nombreux auteurs de "château d'eau troué". Ses massifs calcaires sont fortement karstifiés et constituent les principaux aquifères du massif (Abdesselam et *al.*, 1990). Il alimente un chevelu hydrographique dense, donnant naissance à 21 oueds dont 13 à écoulement permanent et un réseau de 332 sources dont les débits varient de 0,1 l/s à 425 l/s.

III.2.3. Caractéristiques édaphiques du Djurdjura

La diversité des caractéristiques morphologiques, géologiques et climatiques du massif du Djurdjura fait que, l'on y rencontre un large éventail de sols. La carte pédologique de l'Algérie, établie par Durand (1956) et dressée à l'échelle du 1/500000, confortées par des études ponctuelles plus récentes, a abouti à quatre principales classes de sol dont les sols insaturés et podzoliques qui sont les plus fréquents au niveau de l'aire du PND. Ces sols résultent de l'altération des flyschs, gneiss et grès.

D'après Lapie (1909), sous la futaie de cèdre à Tala Guilef, l'humus est abondant et sec, recouvert d'un feutrage serré d'aiguilles tombées. Dans la même station, Bellahcène & Bensaad (1989), ont décrit un sol brun acide sous cédraie à *Ilex aquifolium* et un ranker de pente sous cédraie à *Genista tricuspidata*. Elle est située sur des poudingues et des grès.

Au Nord-est du massif du Djurdjura (Ait Ouabane), Bourbia (1988) a décrit un sol brun fersialitique sous cédraie dense; un sol brun calcique sous cédraie composite et un sol peu évolué d'apports sous cédraie dégradée. Donc sous les cédraies fermées, les sols sont bruns

humifères. La cédraie d'Ait Ouabane évolue sur des marnes, grès et calcaires marneux à sol profond et où s'accumule une épaisse couche d'humus de type mull forestier.

Dans la région de Tikjda, les sols présentent une texture sablo-limoneuse à pH légèrement acide. Dans la forêt de Thigounatine, les sols développés appartiennent à la classe des sols calcimagnésiques (Ben Mouffok, 1994). Ce sont des rendzines autochtones riches en éléments grossiers. Les profils sont de type A/C, humifères sur toute l'épaisseur du profil. Les teneurs élevées en matière organique, peuvent s'expliquer par la nature de la roche mère, génératrice de calcaire actif qui immobilise les composés organiques, ainsi que la nature de la litière. Le même auteur rajoute que les sols de la zone de Tikjda, évoluant sur un substratum géologique gréseux, répondent aux caractéristiques de sols bruns forestiers, acides, de type A (B) C.

Sur le versant sud du Djurdjura, la cédraie se rencontre sur les marnes, grès et calcaires ; elle est surtout développée dans ces conditions au djebel Thaouyalt. La cédraie de Thigounathine est située sur des calcaires dolomitiques. Concernant la matière organique au niveau de Thigounathine, les sols présentent des teneurs faibles avec un humus de type Mor. Avec une teneur en azote assez élevée, ces sols sont moyennement calcaires et présentent un taux faible en phosphore assimilable (Zemihi, 2010). Quizel (1976) mentionne qu'en général, sous cédraies humides, le sol est épais et humifère.

L'exploitation de données morpho-pédologiques, a mis en relief le fractionnement de la roche mère sous l'effet de processus de thermoclastie sur le versant sud et de cryoclastie sur le versant nord (Ben Moufouk, 1994). Comme il a noté que les sols du Djurdjura sont légèrement évolués, généralement calcimagnésiques du côté nord, ou bruns acides du côté sud.

III.2.4. Caractéristiques climatiques

D'après Drapier (1985), le climat a une influence directe sur la fructification, la germination des graines et sur le développement des semis. Pour le cèdre de l'Atlas, son influence est sur le maintien et le développement des plantules pendant les deux premières années de vie, en particulier pendant la période estivale (Toth, 1980).

Le Djurdjura est soumis à un climat de type montagnard à nuances méditerranéennes, caractérisé par un hiver froid et humide avec des précipitations importantes à caractère torrentiel et une saison chaude et sèche de 2 à 3 mois entrecoupée par des orages localisés (Abdesselam, 1995 ; Yah, 2007). La saison froide coïncide avec la période pluvieuse et la

saison sèche coïncide avec la période chaude dont la durée moyenne est de deux mois (Abdesselam, 1995).

Abdesselam (1995) a décrit la zonation climatique au Djurdjura qui se présente globalement comme suit :

- au dessus de 1400/1500m d'altitude, il est franchement montagnard avec des précipitations importantes et plusieurs mois consécutifs d'enneigement durant l'hiver,
- autour de 1000/1400m d'altitude, le climat est tellien de moyenne montagne. Il est froid et humide avec de faibles amplitudes thermiques et des chutes de neige abondantes,
- Climat tellien de piémont au Nord : froid et humide en hiver et chaud et sec en été avec de forts écarts de température. Il est humide à subhumide,
- Climat tellien de piémont et de vallée au Sud : froid et sec en hiver et chaud et sec en été avec de forts écarts de température. Il est subhumide à semi-aride.

➤ **Quotient pluviothermique d'Emberger**

Afin de caractériser un climat, Emberger a mis au point un quotient pluviothermique, qui a été ensuite simplifié par Stewart (1969) in Meddour (2010) et dont l'expression est formulée comme suit :

$$Q_3 = \frac{3.43 P}{(M - m)}$$

avec

P: Précipitations moyennes annuelles en mm

M: Moyenne des maxima du mois le plus chaud

m: Moyenne des minima du mois le plus froid

L'objectif recherché à travers le calcul de ce quotient est de situer une zone d'étude donnée dans un étage bioclimatique.

➤ **Pluviométrie**

Les pluies qui tombent sont d'origine orographique et torrentielle. Elles varient selon l'altitude (Seltzer, 1946). La carte de Seltzer (1946) montre un total de 2000 mm/an en altitude. En se référant à la carte des pluies de l'Algérie du Nord établie par l'ANRH (1993), le total annuel moyen dans la région est compris entre 850 et 1500 mm/an. Sur les sommets, des valeurs supérieures à 2000 mm/an ont été relevées par Abdesselam (1995) au niveau de Tirourda, Haizer et Akouker.

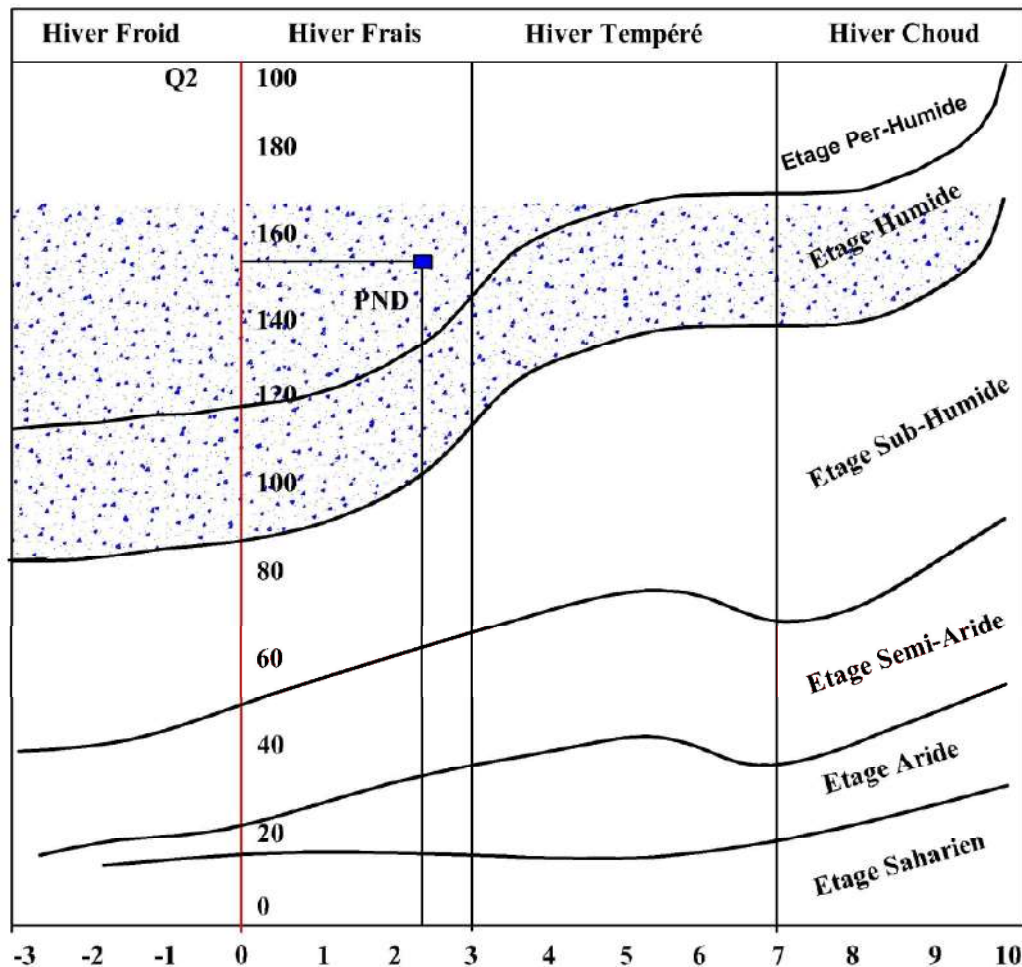


Figure 5: Situation du PND dans le climagramme d'Emberger pour la période (1990-2010).
Source (BET-Horizon Bleu-PND, 2014).

Au niveau de la région de Tala Guilef (1400 m d'altitude), une moyenne de 1000 mm/an de précipitations est enregistrée sous forme de pluie et de neige. Les maximums sont de plus de 1200 mm et les minimums sont proches de 900 mm/an. Dans la localité des Ait Ouabanes, sur 24 années d'observations à 1000m d'altitude, les précipitations moyennes annuelles sont supérieures à 1100mm et dépassent fréquemment les 1500mm (Abdesselam, 1995).

➤ **Régime mensuel et saisonnier des précipitations.**

L'étude climatique du BET-Incendie – PND (2016), notamment sur le régime mensuel des précipitations a fait ressortir l'existence de 4 saisons distinctes :

- Les mois les plus arrosés sont ceux de décembre pour l'hiver et d'avril pour le printemps ;
- Les étés sont secs,
- Les hivers concentrent plus de 60 % des pluies ;

· Le classement des mois en fonction de la pluviosité donne l'ordre : décembre, février, janvier, avril, mai, octobre.

Selon Abdesselam (1995), le régime saisonnier des précipitations de la région du Djurdjura durant la période (1990 - 2010) est de type H. P. A. E (Hiver, Printemps, Automne, Eté).

➤ Régime annuel des précipitations

Quant à la variation interannuelle des pluies, le BET-Incendie- PND (2016) a montré que cette variation est forte et la pluviosité commence, à l'échelle d'une grande chronique, à avoir une tendance à la baisse.

➤ Gradients ou profils pluviométriques

Le gradient pluviométrique, qui donne l'accroissement de la pluie avec l'altitude, est intéressant à connaître pour évaluer la quantité de pluie qui tombe dans une zone où il n'y a pas de mesures (Abdesselam, 1995). Le gradient pluviométrique est sous l'influence de l'altitude et de l'exposition des versants, notamment l'opposition entre les flancs nord arrosés (ubac) et les flancs sud secs (adret).

Au Djurdjura, vu que les versants sont contrastés, alors, la relation pluie/altitude est variable selon que l'on est au Nord ou au Sud :

- Sur le flanc nord l'accroissement du total annuel des précipitations est de 60 mm par tranche de 100 m d'élévation d'altitude.
- Au Sud, le gradient est plus fort avec 80 mm/100 m. L'effet d'altitude est plus important avec plus d'apports en altitude.

Le nombre de jours de pluies (NJP) s'accroît également en fonction de l'altitude avec 1,5 jours de chute en plus par tranche d'élévation de l'altitude de 100 m (Abdesselam, 1995).

➤ Températures

Selon Derridj (1990), la température moyenne annuelle est comprise entre 10 et 12 ° C. Les moyennes mensuelles interviennent dans le déroulement de tous les processus biologiques et physiologiques des végétaux.

Selon Abdesselam (1995), la température moyenne maximale la plus élevée pour la station des Ait Ouabane (1990 - 2010) est de 28,9 °C, enregistrée au mois de Juillet qui représente le mois le plus chaud. La température moyenne minimale la plus faible est de 3,9 °C au mois de Janvier, considéré comme le mois le plus froid de l'année.

➤ Gradient thermique

Selon Seltzer (1946), le gradient thermique est de $0,70^{\circ}\text{C}$ pour 100 m d'altitude pour la moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud et de $0,40^{\circ}\text{C}$ pour la moyenne des minima (m) du mois le plus froid.

Au Djurdjura, les gradients thermiques, par tranche de 100 m d'élévation d'altitude établis par Abdesselam (1995), sont :

- De $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ pour les moyennes annuelles,
- De $-0,4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ pour les minimums
- De $-0,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ pour maximums.

➤ Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année, Bagnouls et Gausсен (1953) définissent le mois sec comme suit : un mois est biologiquement sec lorsque le total des précipitations « P » exprimé en « mm » est inférieur ou égal au double de la température moyenne « T » exprimée en « degrés Celsius ».

Les températures sont comparées aux précipitations sur un graphique à deux axes des ordonnées. On porte les précipitations en échelle simple et les températures en échelle double. Les mois où les précipitations sont égales ou inférieures à la température (représentée en échelle double) sont considérés comme secs.

Tableau 4: Données corrigées des précipitations et températures moyennes annuelles (Abdesselam, 1995)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations (mm)												
Moyennes /mois	150	113	137	117,1	81,68	15,9	4,21	14,8	53,1	82,7	116	161
Températures $^{\circ}\text{C}$												
moyennes /mois	4,12	5,53	7,49	8,548	12,48	16,9	19,5	19,9	17,6	12,9	9,26	5,16

➤ Autres facteurs climatiques

1. Gradient altimétrique des chutes de neige

Le gradient altitudinal des chutes de neige est de 6,5 jours de plus par tranche de 100 m (Abdesselam, 1995) au Djurdjura. La neige persiste sur les sommets, depuis le mois de novembre jusqu' la fin du mois de mai.

La fonte des neiges est phénomène climatique des plus importants en raison des volumes d'eau que libère le manteau neigeux. Après sa fonte, l'eau libérée alimente les sols et sous sols des piémonts et des versants nord et sud (BET-Incendies- PND, 2016).

On constate sur le graphique que, le Parc National du Djurdjura se caractérise par une période de sécheresse qui débordé au-delà des trois mois connus comme les plus chauds (Juin, Juillet et Août). Le diagramme ombrothermique révèle qu'une partie du mois de mai et une partie du mois de septembre sont considérées comme sèches. Ces deux mois peuvent être considérés comme mois sub-secs.

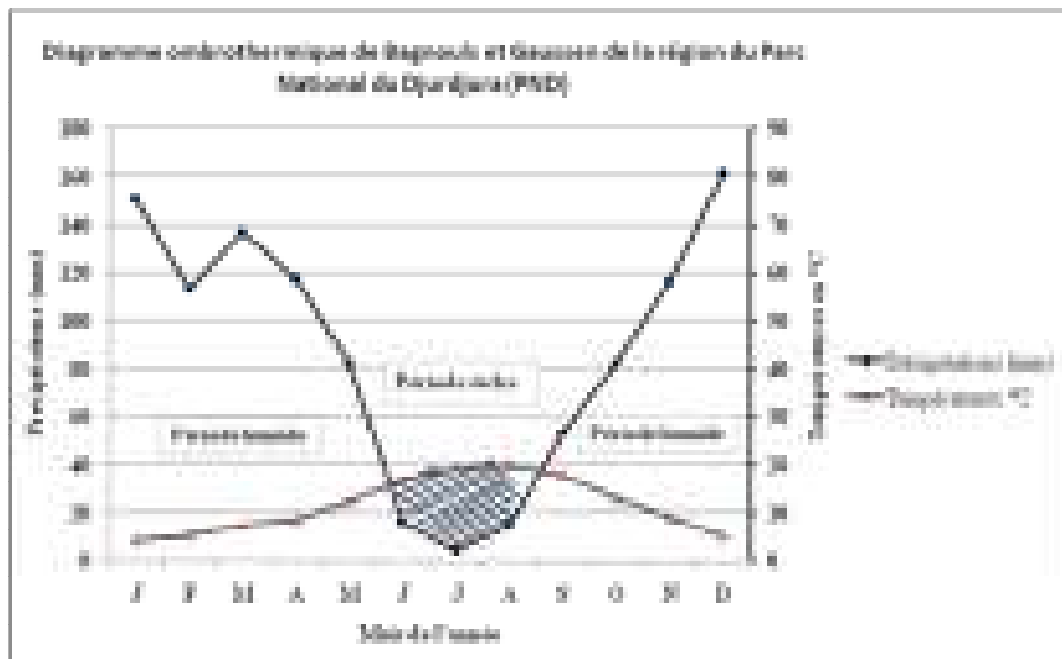


Figure 6: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson du PND.

2. Humidité

Le maximum d'humidité relative est observé en début de journée. La décroissance en cours de journée est quasiment la même pour l'ensemble des mois. L'humidité relative de l'atmosphère (en %) enregistrée sous abri à Tala Guilef, est en moyenne supérieur à 62% en dehors de la saison estivale. Entre juin et septembre elle dépasse les 50 % mais le mois d'août est plus sec avec 46 %. (BET-Incendie-PND, 2016).

3. Brouillard

Selon le BET-Incendie-PND (2016), le brouillard est certainement plus accentué en altitude. La seule caractéristique régionale possible à tirer de cette distribution dans l'année est celle de la manifestation du brouillard essentiellement en fin d'automne et en hiver.

4. Grêle

D'après Abdesselam (1995), la grêle est fréquente pendant la saison hivernale (décembre, Janvier, février).

5. Gelée

Selon Abdesselam (1995), la gelée est un phénomène engendré par les basses températures. Elle est fortement influencée par le relief, notamment l'altitude et l'humidité de l'air. Elle se manifeste principalement durant la période hivernale en décembre, janvier, février, voire même début mars.

6. Vents et sirroco

Pour Abdesselam (1995), le vent est un paramètre climatique important pour les plantes. Il a un effet négatif résultant de l'action mécanique qui peut provoquer la chute ou le déracinement. Néanmoins, il a une action positive en période de pollinisation pour les espèces phanérogames et joue aussi un rôle dans la dispersion des graines pour les espèces anémophiles. Les vents les plus fréquents sont à tendance directionnelle Nord (Nord-Est et Nord-Ouest) et Ouest.

Quant au siroco, c'est un vent chaud et sec provenant du Sud. Fréquent pendant la période estivale, le siroco favorise les incendies. Il souffle parfois du Sud-ouest (Abdesselam, 1995). Pour le BET-Horizon Bleu-PND (2016), le sirocco est fréquent dans la vallée au Sud du Parc National du Djurdjura avec 58 jours/an à Mchedelah et 30 jours à Bouira.

Aux Ait Ouabane (Nord), une moyenne de 14 jours de sirocco a été enregistrée avec un maximum de 27 jours/an entre juin et septembre (BET-Horizon Bleu-PND, 2016).

Synthèse climatique

Le Djurdjura est soumis à un climat de type méditerranéen, qualifié par Tihay (1972) par un climat «périglacière de montagne méditerranéenne". Il est caractérisé par une saison froide qui coïncide avec la période pluvieuse dont la tranche pluviométrique varie de 1000 à 1500 mm/an et une saison sèche qui coïncide avec la période chaude dont la durée moyenne est de deux mois. Les chutes de neiges constituent les véritables apports de précipitations qui alimentent la texture cavitaire de son Karst. La neige est abondante formant régulièrement des couches supérieures à 2 mètres.

III.2.5. Richesse patrimoniale du Parc National du Djurdjura

A. Richesse floristique

1. Biodiversité floristique du Parc National du Djurdjura

Le Parc National de Djurdjura présente des individualités sur les plans floristiques, faunistiques, paysagères et culturelles. Une recherche bibliographique sur des travaux anciens

réalisés au Djurdjura, a abouti à environ **1100 taxons** (espèces, sous-espèces et variétés) répertoriés. Ceci, reflète la grande diversité des habitats, des écosystèmes et de la situation biogéographique particulière que le Djurdjura occupe sur la façade méditerranéenne algérienne. La flore vasculaire du Djurdjura représente près de 35 % de la flore de l'Algérie du Nord et environ 50 % de la flore du sous-secteur phytogéographique de la Grande Kabylie [K1], sur seulement 3.15 % du territoire régional ! C'est donc un haut lieu de biodiversité végétale, avec de nombreuses espèces endémiques algériennes (17.8 % du nombre total) et emblématiques (PND, 2014). Ce centre d'endémisme est aussi une zone importante pour les plantes (ZIP) et une zone clef pour la biodiversité (ZCBD).

Il est à souligner que le PND fait partie du 11e « point chaud » (hotspot) régional de biodiversité, regroupant l'ensemble « Kabylie- Numidie- Kroumiri », et constitue une zone de haute priorité de conservation dans le bassin méditerranéen (Vela & Benhouhou, 2007).

Tableau N°5 : Principales formations végétales du Parc National du Djurdjura (PND, 2014)

Unités Ecologiques	Surface (en ha)	Taux (%)
Cédraies	2464	12,42
Pinède à Pin noir	2	0,01
Junipéraie à Sabine	1	0,01
Chênaie verte	2394	12,07
Maquis de Chêne vert	1698	8,56
Subéraie	33	0,17
Ripisylves	14	0,07
Pelouses et pâturages	6163	31,06
Falaises et escarpements rocheux	767	3,87
Reboisement de cèdre	39	0,20
Cultures	66	0,33
Erablière	9	0,05
Formation à Laurier noble	26	0,13
Surface nue	6164	31,07
Surface totale du PND	19840	100

2. Principales essences forestières du PND

2.1. Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl.) Carrière.

L'aire du cèdre commence à l'ouest du Djebel Haizer et se prolonge vers l'est jusqu'à l'Azrou N'Thor, entre 1400 et 2000 m sur environ 60 km de longueur. Les dernières traces de la forêt de cèdre se trouvent à 2 km à l'est de ce pic (Azrou N'Thor), en dehors des limites administratives du PND.

2.2. Chêne vert

Le chêne vert (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* L.) trouve partout au Djurdjura les conditions climatiques nécessaires à son existence, sauf en haute altitude.

2.3. Chêne liège

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) existe à Taassast (Tala Guilef), où il forme un peuplement jusqu'à l'altitude extrême de 1200 m et s'étend sur 82,5 ha. C'est une vieille futaie, claire et dégradée. On le trouve également à Tirkabine (Ait Ouabane) et apparaît avec quelques pieds éparpillés dans la chênaie verte sur le versant sud de Taouyalt (Tikjda).



Carte N°4: Répartition du cèdre de l'Atlas au Parc National du Djurdjura (PND, 2014).

2.4. Chêne zéen

Le chêne zéen (*Quercus canariensis*) est essentiellement présent aux Ait Ouabane, en mélange avec le cèdre ; il existe également à Tala Guilef et à Tikjda en individus isolés.

2.5. Pin noir

Le pin noir (*Pinus nigra* subsp. *Mauretanica* var. *clusiana*), sous-espèce endémique algéro-marocaine, forme un petit îlot à Thigounathine et des sujets épars à Taouyalt. Il a été introduit à Tala Rana (environ 40 individus adultes) et à Tala Guilef.

2.6. Pin d'Alep

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est peu abondant, mais il remonte par sujets isolés ou en petits bouquets à des altitudes élevées (1500 m), dans la phase climatique actuelle (au djebel Thigounathine et à Tala Rana).

Autres espèces

D'autres essences d'affinité européenne sont également rencontrées au Djurdjura, en individus isolés ou en bouquets localisés comme le houx (*Ilex aquifolium*), l'if (*Taxus baccata*), le merisier (*Prunus avium*), l'érable à feuilles obtuses (*Acer obtusatum*) et l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*).

3. Formations forestières du Parc National du Djurdjura

Le Djurdjura, malgré sa grande étendue, ne présente que de faibles superficies forestières morcelées. La superficie forestière totale du Djurdjura est de 5 672 ha, alors qu'elle était de 6 423,8 ha, soit un taux de boisement de 30 % (PND, 2014)

La superficie forestière du Djurdjura se répartit en cinq (05) massifs forestiers dispatchés. Ces massifs forestiers sont présentés comme suit :

- Massif forestier de Tala Guilef (1770 ha),
- Massif forestier d'Ait Ouabane (1400 ha),
- Forêt domaniale d'Azerou (Taouyalt et Thigounathine) (1650 ha),
- Forêt domaniale de l'Oued Sahel (Tala Rana et Thamgout Lalla Khedidja) (1500 ha),
- Forêt domaniale de Haïzer (communes de Haïzer et de Taghzout) dont la superficie n'est pas encore identifiée.

Les principales formations sylvatiques du parc national du Djurdjura sont des cédraies pures (40 %), des cédraies-chênaies (30 %) et des chênaies vertes (13 %).

Les formations végétales ligneuses à valeur patrimoniale exceptionnelle sont représentées par:

1. La formation résineuse à pin noir du Maghreb (*Pinus nigra* subsp. *mauritanica* var. *clusiana*), inféodée à la cédraie de Thigounathine ;
2. La fruticée à genévrier sabine (*Juniperus sabina*), genévrier rampant qui existe dans trois stations, à savoir, Akouker, à proximité du gouffre de Boussouil, Tizi Guessig près du Djebel Thiassassine et Terga nta Roumi ;

3. L'érablière de ravins à *Acer obtusatum*;
4. La formation laurifoliée sempervirente à laurier noble (*Laurus nobilis*), formation relictuelle, à Azerou Mendès près de Tala Guilef ;
5. La formation caducifoliée préforestière à ormeau (*Ulmus procera*) et érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*), à Djemâa Adarchi à Tala Guilef.

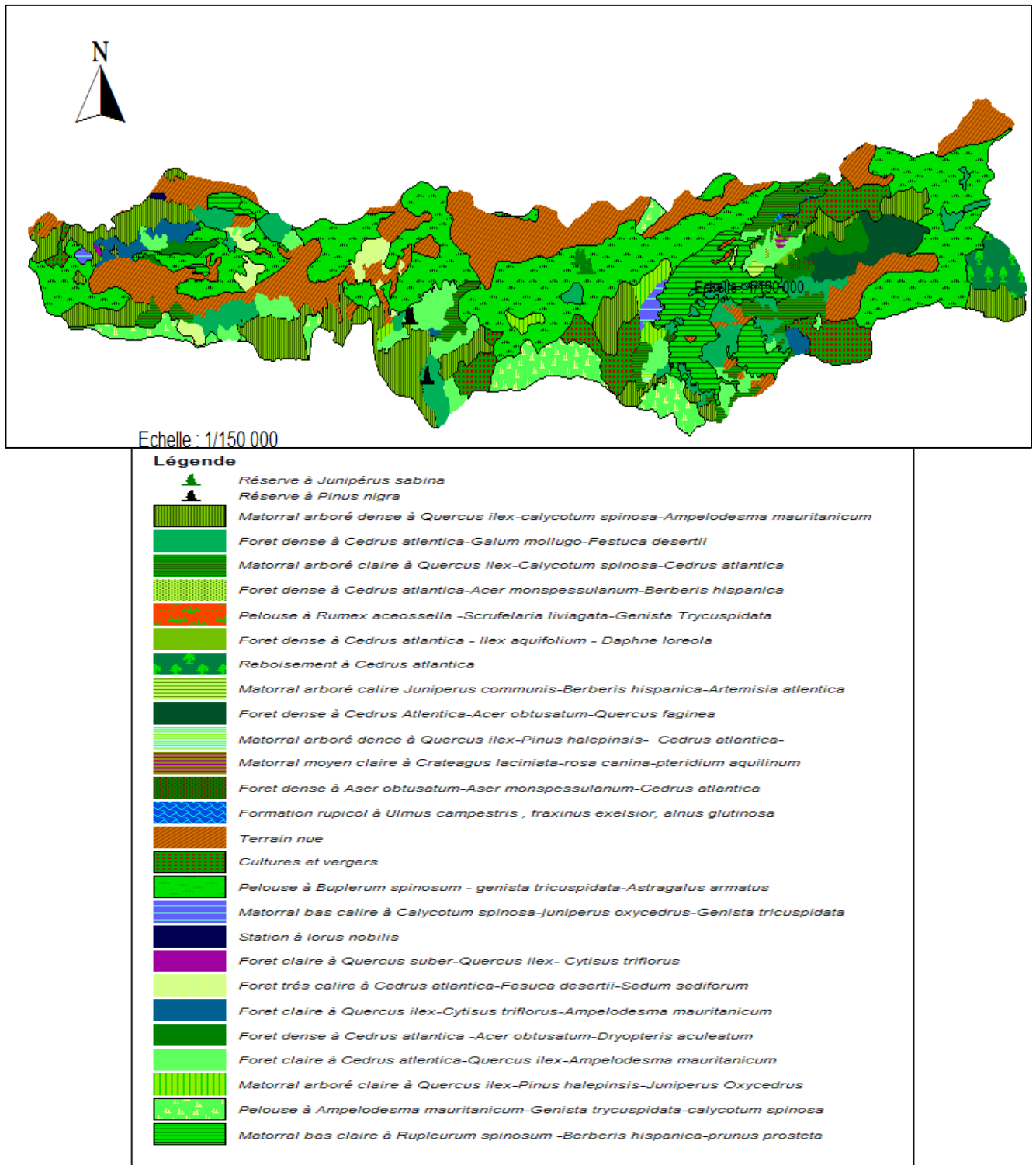


Figure 7: Carte phytosociologique du PND (source : PND, 2014).

4. Présentation des cédraies du Djurdjura

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti Ex.Carrière, forme au Djurdjura des cédraies pures ou en mélange avec d'autres essences comme le chêne vert, les érables et à un degré moindre avec quelques pieds de chên zéen et du sorbier au niveau de la grotte des singes au niveau du massif des Ait Ouabane. Le cèdre est considéré comme l'unique essence autochtone qui valorise l'étage bioclimatique oroméditerranéen.

La cédraie du Djurdjura se présente en peuplements disséminés, avec localement de belles futaies dites millénaires (Draa Inguel à Tala Guilef). Elle se répartit en plusieurs massifs plus ou moins étendus sur les deux versants de la chaîne. Le versant nord comporte deux importants massifs : La forêt d'Ait Ouabane, importante futaie traversée par la route nationale 33, et la forêt de Tala Guilef. Sur le versant sud, il compte le massif de Tala Rana-Lalla Khedidja (forêt domaniale de l'oued Sahel), les cantons de Thigounathine et Thaouyalt (forêt domaniale d'Azerou), et enfin la cédraie d'Agouni Soules sur les pentes sud du djebel Haïzer (forêt domaniale de Haïzer) (PND, 2014).

La limite inférieure de la forêt de cèdre se trouve à une altitude variable avec l'exposition et le relief. Sur le versant nord du Haïzer, elle coïncide avec la courbe de niveau 1400 m environ, quelquefois plus bas dans les ravins. Vers l'est, le cèdre forme des futaies déjà à 1200 m sur le revers nord d'Ait Ouabane (quelques individus descendent jusque vers 1000 m) ; mais ce résineux se mêle encore au chêne vert plus bas dans la vallée. Dans le ravin de Tirourda, il descend jusqu'à 1300 m. Sur le versant Sud, *Cedrus atlantica* descend jusqu'à 1500 m environ sur les escarpements pierreux que domine le pic de Haïzer, mais la limite se trouve à 1400 m dans le massif du Thaouyalt, où de nombreux cèdres se mêlent au chêne vert jusqu'à 1300 m.

La limite supérieure du cèdre ne coïncide pas forcément avec l'altitude 2000 m. D'ailleurs, le cèdre peut non seulement se présenter à l'état isolé jusqu'à 2164 m, mais il constitue encore à cette altitude des macrorestes, reliques d'anciennes forêts, comme celui qui recouvre le pic du Tachgagalt et un autre plus à l'est sur le sommet du Tizi n'Cennad à 2134 m. Sur le Thamgout de Lalla Khedidja, la forêt n'atteint plus 2000 m, mais il existe au-dessus de cette altitude des arbres isolés et de vieilles souches de cèdre.

B. Richesse faunistique

Le parc national du Djurdjura compte **344 espèces de faune**. Cette grande diversité s'explique par le nombre étonnant d'habitats que renferme le parc, en raison des écarts d'altitude, des variations climatiques et des variétés floristiques

1. Mammifères

Il est important de rappeler qu'au Djurdjura, quatre grandes espèces de macrofaune ont disparu. Il s'agit de **l'ours brun** (*Ursus arctos*) (Linnaeus, 1758), **lion de l'Atlas** (*Felis Leo*) (Linnaeus, 1758), **mouflon à manchettes** (*Ammotragus Larvia*) (Pallas, 1777 et **la panthère noire** (*Pardus Leo*) (Linnaeus, 1758).

Actuellement, il existe au Djurdjura **25 espèces de mammifères terrestres non volants** et 12 espèces de **chiroptères**, donnant une richesse spécifique totale de **37 espèces**. Parmi cette diversité, on compte des espèces à statut vulnérable ou menacé comme le serval (*Felis serval*), lynx caracal (*Caracal algirus*), hyène rayée (*Hyaena hyaena*) et le chat sauvage (*Felis silvestris*). Pour les chauves-souris, parmi les 25 espèces existant en Algérie, 12 espèces (soit 50 % des espèces d'Algérie), ont été recensées et identifiées avec exactitude par Allegrini (2006) de l'université de Lille (France), dont une n'est connue en Algérie, que dans le Parc National du Djurdjura (**Barbastelle d'Europe**). Selon la liste rouge de l'UICN, dix (10) espèces de chauve souris du PND sont classées comme espèces vulnérables à savoir : Rhinolophe petit fer à cheval, Grand rhinolophe, Serotine commune, Murin de natterer, Pipistrelle de Kuhl, Pipistrelle commune, Vespère de Savi, Oreillard gris, Murin du Maghreb, Barbastelle d'Europe.

2. Avifaune : L'avifaune compte 121 espèces (soit 32,71% de l'avifaune algérienne) dont 32 espèces sont protégées (18 rapaces et 14 passereaux). Le Djurdjura est l'un des massifs les plus riches en oiseaux du nord de l'Algérie et représente le lieu de prédilection des rapaces dont les plus importants : l'aigle royal, le vautour fauve, le gypaète barbu, le percnoptère d'Égypte, l'aigle de bonelli, le faucon crécerelle, la buse féroce, la chouette hulotte, le hibou grand duc.

3. Reptiles : 19 espèces de reptiles ont été recensées au Djurdjura (PND, 2014); il s'agit du lézard ocelle (*Lacerta pater*), le lézard des murailles (*Podarcis algirus*), la couleuvre fer à cheval (*Coluber hippocripis*), la vipère de Lataste (*Vipera latestei*), la tortue terrestre (*Testudo hermanni*), la tortue grecque (*Testudo graeca*), la vipère aspic (*Vipera aspis*), la couleuvre de Montpellier, la couleuvre à capuchon, etc.

4. Amphibiens : Quant aux amphibiens (batraciens), seulement sept espèces sont représentées : Le crapaud de Maurétanie (*Bufo mauritanicum*), le crapaud commun (*Bufo bufo*), la rainette verte (*Hyla arborea*), la grenouille verte (*Rana esculata*), grenouille discoglosse peint (*Discoglossus pictus*), et deux autres espèces qui sont la salamandre tachetée (*Salamandra salamandra algira*) et le triton nébuleux (*Pleurodeles nebulosus*), toutes deux actuellement inscrites comme vulnérables sur la liste rouge de l'IUCN.

5. Mollusques : 03 espèces ont été recensées, notamment, les genres Hélix, Bilimus, Pomatias et Amnicole donnant des formes en spirales à haute montagne. Les Hyalinia, sont très communs dans les fissures des rochers et Hyal, Isserca pénètrent dans les grottes. La Grande limace *Arion rufus* est présente aussi au Djurdjura.

6. Entomofaune et myriapodes : Sur les 218 espèces d'insectes recensés au Djurdjura, 13 sont protégées (soit 12,74 % de l'entomofaune algérienne). Le Djurdjura est la région la plus remarquable du point de vue entomofaune (Belin, 1947) en dépit d'un inventaire qui demeure non exhaustif à ce jour. Quant aux myriapodes, ils sont représentés seulement par 04 espèces.

Chapitre IV

Matériel et méthodes

Dans cette partie, l'objectif consiste à présenter la démarche méthodologique suivie pour réaliser notre protocole d'échantillonnage sur le terrain et à traiter les données recueillies (classement et traitement statistique).

Partie 1: Méthodologie d'échantillonnage

En vue d'analyser les facteurs déterminants dans l'établissement de la régénération du cèdre de l'Atlas au niveau du Parc National du Djurdjura, et en particulier, l'effet de l'éclairage lumineux, nous avons suivi la méthodologie suivante :

1. Choix de la méthode d'échantillonnage

De nombreux auteurs, en particulier, Godron (1971,1976) ; Godron & Daget (1982) ; Frontier (1983) ; Ezzahiri *et al.*, (1994) ont recommandé l'échantillonnage stratifié, jugé très efficace pour l'étude des milieux hétérogènes voire complexes comme c'est le cas du Parc National du Djurdjura.

1.1. Définition de la stratification

Selon Yvon (1971), la stratification forestière est la subdivision de la forêt en plusieurs parties appelées sous-populations nommées habituellement « strates » qui sont généralement plus homogènes que la forêt dans son ensemble. Plus la forêt à l'intérieur des strates est homogène, plus la stratification est efficace, en ce sens qu'elle permet de réduire le nombre de parcelles échantillons requises pour obtenir des estimés d'une précision donnée.

Yvon (1971) rappelle que l'échantillonnage stratifié consiste à définir les différents secteurs ou massifs forestiers (compartiments) en prenant soin de respecter les conditions stationnelles comme l'effet topographique ou orographique (versant nord et versant sud), l'organisation administrative sectorielle et l'intensité de dégradation ou de perturbation, principalement par les incendies et /ou le pâturage. Et comme le Parc National du Djurdjura présente un relief tourmenté, pour mener notre étude de recherche dans une région aussi hétérogène du point de vue écologique, nous avons donc opté pour un échantillonnage de type stratifié. Par ailleurs, le choix d'un tel type d'échantillonnage nous permet d'établir des comparaisons avec les résultats obtenus dans d'autres cédraies, notamment marocaines où cet échantillonnage stratifié a été adopté par Ezzahiri *et al.*, (1994) lors de l'étude de la cédraie du Moyen Atlas au Maroc.

Pour ce faire, les paramètres de stratification suivants ont été retenus :

- a. Effet topographique et orographique : Opposition versant nord/versant sud, variabilité altitudinale (basses, moyennes et hautes altitudes), et variabilité de la pente (faible, moyenne et forte)

- b. Organisations administrative sectorielle (05 secteurs de gestion)
- c. Variations structurelles du peuplement (degré d'ouverture et hétérogénéité du peuplement)
- d. Variations édaphiques (profondeur du sol et épaisseur de la litière)
- e. Intensité de dégradation ou de perturbation (principalement les incendies et le pâturage).

Pour mener à bien notre démarche d'échantillonnage, nous avons adopté à l'intérieur de chaque strate, un échantillonnage basé sur la variabilité altitudinale, topographique et pédologique du milieu, ainsi que la variabilité structurelle du peuplement ; et ceci, selon un transect (diagramme en profil) qui est une ligne virtuelle tracée en prenant en compte la variabilité spatiale de ces paramètres physiques et écologiques.

1.2-Avantages et inconvénients de la stratification

L'échantillonnage stratifié donne une meilleure section transversale de la population que la procédure d'échantillonnage aléatoire simple. La stratification permet, à effort de terrain constant, de gagner en précision d'estimation en faisant porter l'effort là où la variabilité est la plus forte (Beina, 2011).

Néanmoins, pour décider du nombre de strates à arrêter, la décision dépendra de considérations de commodité administrative, du coût de l'opération et de la variabilité de la caractéristique à l'étude dans la zone.

C'est ainsi que, notre zone d'étude a été répartie en cinq (05) stations : Tikjda, Tala Guilef, Tala Rana, Ait Ouabane et Tirourda. Elles correspondent aux cinq secteurs de gestion administrative du Parc National du Djurdjura.



Carte 5: Localisation des stations d'échantillonnage dans la zone d'étude.

A l'aide du logiciel Arc-Gis, la superficie des cédraies par station d'étude a pu être calculée (Tab.6)

Tableau 6: Superficie des cédraies/station d'étude

Cédraie de Tala Guilef	Cédraie des Ait Ouabanes	Cédraie d'Azrou (Tikjda)	Cédraie d'Oued Sahel (Tala Rana)	Cédraie de Tirourda
525.26 ha	846.99 ha	556.9 ha	491.72 ha	269.07 ha

Etant donné la difficulté d'accès à la cédraie de Haizer durant la période (2014), nous n'avons pas pu réaliser d'échantillonnage au niveau de cette cédraie.

1.3. Bases de la stratification

Connaissant les facteurs perturbateurs naturels (vent, neige, dépérissement ou mort naturelle, attaques parasitaires) et anthropiques (coupes, incendies, ouverture de peuplement par des pistes ou autres), il s'agit d'aborder la réponse de la régénération de l'essence à étudier sur une large gamme d'ouverture de la canopée, allant d'une ouverture complète à partielle de quelques m² et ceci, sur un large gradient édaphique et orotopographique dans les cédraies du Parc National du Djurdjura.

1.4. Définition de la trouée

La trouée est considérée dans la présente étude comme un des facteurs clés de l'installation des individus de régénération du cèdre de l'Atlas. Elle traduit au sens d'Oldeman (1990), l'hétérogénéité spatio-temporelle du couvert végétal induite par des perturbations anthropiques ou naturelles et leur corollaire, la variabilité du flux lumineux ou de l'éclairement arrivant au sol.

Pour notre étude, nous avons échantillonné dans les formes d'ouverture suivantes (Fig.7) :

- **Forme circulaire ou trouée :** Dans ce cas de figure, les arbres semenciers sont dispersés presque autour de la trouée présentant une forme plus ou moins circulaire.
- **Forme circulaire semi-fermée (Forme en C) ou semi-trouée :** Contrairement à la trouée de forme circulaire, nous avons dans ce cas, une pseudo-trouée qui n'est pas totalement fermée. Elle donne la forme d'un « C » ou fer à cheval qui a tendance à se fermer. De même, les arbres semenciers se répartissent selon cet arc de cercle.
- **Forme en lisière :** La forme en lisière uniforme constitue la limite de la forêt. On rencontre généralement cette forme à proximité de la route ou piste, à l'aval d'une cédraie en pente et au devant d'une cédraie faisant face à une zone incendiée. Nous avons constaté dans ce cas un front de régénération.

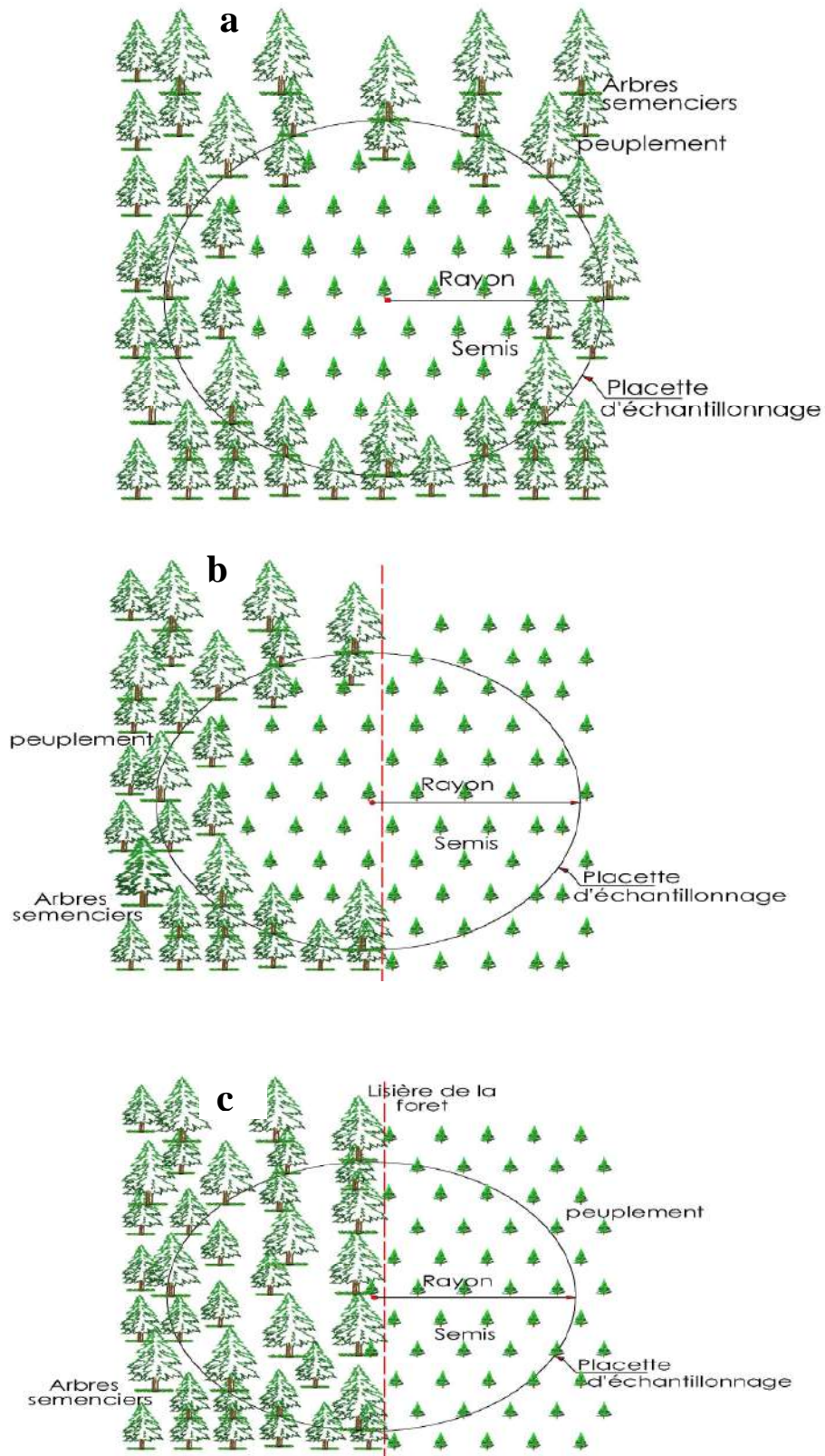


Figure 8: Forme des zones de régénération dans la zone d'étude. **a:** Trouée circulaire (O), **b:** semi-trouée (fer à cheval C), **c:** lisière uniforme (LU).

1.5. Démarche de sélection et de mise en œuvre de l'échantillonnage stratifié

À défaut d'informations sur les variances relatives à l'intérieur des strates et sur le coût des opérations à engager pour le faire, la partie de l'échantillon attribuée aux différentes strates peut être proportionnelle au nombre d'unités qu'elles contiennent ou à la surface totale de chaque strate. Cette méthode est habituellement appelée "répartition proportionnelle de l'échantillon". Selon Bickford (1961), l'efficacité de la stratification est augmentée lorsque les moyennes et les variances de la variable étudiée dans les strates peuvent être estimées avant l'échantillonnage et lorsqu'il existe des différences significatives ou grandes entre ces moyennes. La connaissance de ces valeurs, permet une meilleure distribution des placettes échantillons parmi les strates.

1.5.1. Choix des unités d'échantillonnage

Comme il est pratiquement impossible d'étudier la régénération naturelle en chaque point de la surface du Parc National du Djurdjura ; nous avons procédé par l'analyse d'un nombre limité de placettes.

Généralement, un plan d'échantillonnage est déterminé par la taille des unités d'échantillonnage, leur nombre, leur distribution sur la surface totale, le type et le mode de mesure dans les unités sélectionnées.

Au niveau de chaque strate, nous avons établi des placettes d'échantillonnage (PE) réparties selon une allocation proportionnelle arrêtée en fonction de la superficie de la cédraie, de l'intensité d'anthropisation et des contraintes d'accès liées à l'état accidenté du relief. Pour l'implantation des placettes, comme cité précédemment, nous avons procédé selon une large gamme d'ouverture de la canopée allant de l'ouverture en trouée totale (circulaire ou en O), à une ouverture partielle (trouée en fer à cheval (U) ou C, ou à une lisière de la forêt (Van Counwenberghe, 2011).

1.5.2. Etablissement du plan d'échantillonnage proprement dit

Selon Kohler (2017) les étapes à suivre pour sélectionner un échantillon et faire la collecte des données sont les suivantes :

A. Définition de la cible d'échantillonnage

C'est la population totale pour laquelle on a besoin de l'information. Il s'agit dans notre étude, de la cédraie du Parc National du Djurdjura.

B. Définition des unités qui composent la population

Comme la nature des données dont nous avons besoin portent sur la régénération du cèdre de l'Atlas, sous l'influence du facteur éclairément lumineux (lumière) comme facteur

principal ; nous avons étudié la régénération du cèdre dans les trouées, semi-trouées et lisière de peuplement à travers les cinq stations d'étude définies précédemment.

C. Taille de l'échantillon et nombre de placettes

Pour arrêter la taille de l'échantillon, il y a lieu de faire un compromis entre :

-Le degré de précision à atteindre, le budget, le temps disponible et l'accessibilité du relief.

La taille de l'échantillon repose aussi sur la variabilité des caractéristiques que l'on mesure et la taille de la population. Dans notre cas, le nombre de placettes à mettre en place est fonction avant tout de la précision que l'on souhaite avoir sur l'estimation de la régénération. Ce nombre dépend également des caractéristiques des placettes (surface et forme) et, de façon implicite, du mode de répartition spatiale de la régénération. Dans le cas d'un plan d'échantillonnage stratifié, il faut de plus résoudre le problème d'allocation des placettes entre strates, c'est-à-dire : comment répartir les n placettes entre les différentes strates ?

En adoptant le principe développé par Ponge (1994), dans chaque placette d'étendue limitée (S. moye. 324.16 m^2) représentant un type d'éco-unité (Oldeman, 1990), c'est-à-dire une surface ayant subi le même événement-zéro, en l'occurrence une trouée (issue d'un chablis, mort naturelle d'un ou plusieurs arbres ou d'un délit, ou bien mort par dépérissement ou attaque parasitaire, passage d'incendie), semi-trouée ou une lisière de forêt, nous avons opéré notre analyse de la régénération naturelle.

D. Visite préalable du terrain et établissement des fiches d'inventaire

Avant de commencer l'échantillonnage, nous avons, d'abord réalisé une prospection dans les différentes zones d'étude afin de repérer les sites où la régénération naturelle existe et nous avons rassemblé la documentation relative à l'état des cédraies du Djurdjura et préparé les fiches d'inventaire.

E. Allocation et sélection de l'échantillon à l'intérieur des strates

L'allocation des placettes d'échantillonnage à travers les cinq strates a été arrêtée de manière variable ou proportionnelle. Nous avons, prélevé de plus grands échantillons des strates qui ont des variances plus grandes, comme c'est le cas de la cédraie de Tala Guilef et de celle de Tikjda (connaissances acquises sur le terrain). Dans chaque strate, les relevés ont été repartis systématiquement selon une allocation proportionnelle comme suit : Tala Guilef (12), Tikjda (12), Ait Ouabane (06), Tala Rana (06) et Tirourda (03). Au final, un échantillon de n unités ($n=39$) a été retenu de la population.

Pour déterminer le nombre de placettes, on peut utiliser la formule suivante (PSDRF, 2012) :

$$er = \frac{t CV}{\sqrt{n}}$$

Elle permet de déterminer le nombre de placettes à installer en fonction de :

1. La précision souhaitée (er) : précision relative.
2. La constante statistique t . Pour un nombre de placettes > 30 , la statistique t a une valeur proche de 2
3. La variabilité intrinsèque des milieux étudiés pour la variable considéré (CV) : coefficient de variation

Dans le cas de notre travail, nous avons utilisé cette formule dans le but d'estimer la variabilité intrinsèque de notre zone d'étude. Avec un nombre de placettes échantillonnées $n=39$, une précision souhaitée à 10% et une valeur de la constante t de 1.9, on aura une valeur du coefficient de variation $CV= 35\%$.

F. Période de référence de l'échantillonnage

La phase d'échantillonnage s'est étalée sur deux périodes distinctes :

- 1) Période allant de **mai- juin 2014** pour les stations de Tikjda, Ait Ouabane, Tala Rana et Tirourda.
- 2) Période allant **d'octobre –novembre 2014** pour la station de Tala Guilef.

Le choix des placettes d'échantillonnage a été effectué dans les endroits où nous avons rencontré une régénération établie (Pho.2), notamment dans les endroits plus ou moins ouverts.

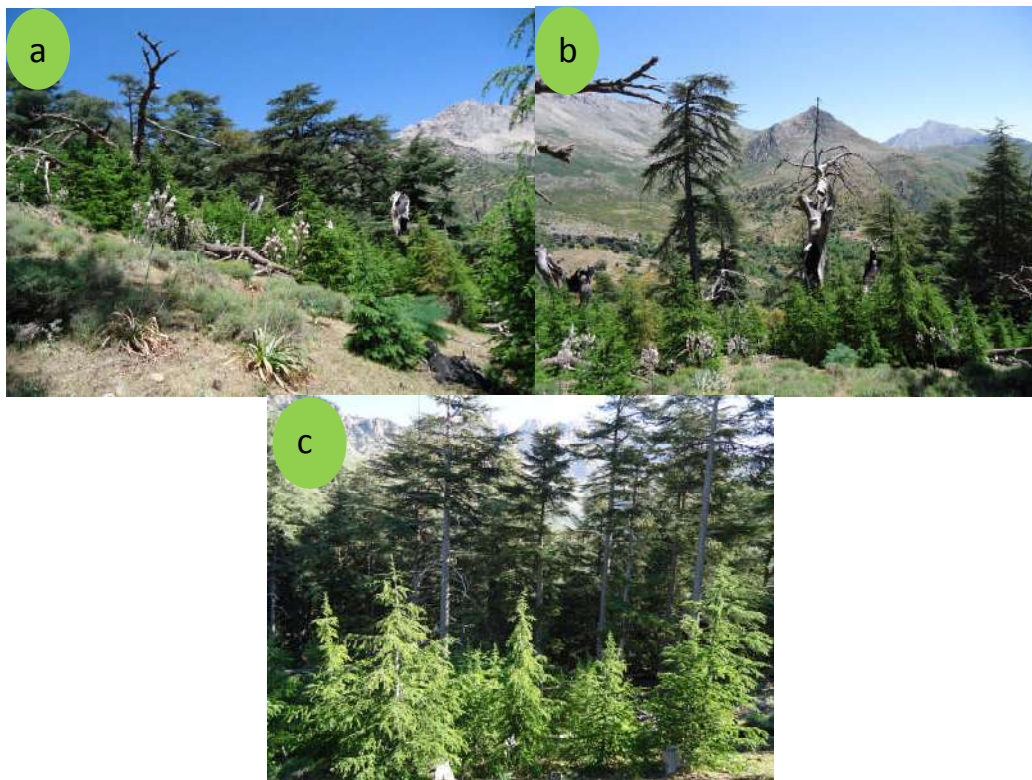


Photo 2: Forme des zones de régénération. **a** : Trouée circulaire (O), **b**: Semi-trouée (fer à cheval (C) et **c**: Lisière uniforme (LU) dans la station de Tikjda. Photo A. Alileche (2014).

G. Forme et taille des placettes

La détermination de la forme et de la taille des placettes a résulté d'un calcul d'optimisation.

1. Forme des placettes

Dans notre protocole, nous avons retenu la forme circulaire. À surface égale, la forme qui présente le plus petit périmètre, et donc le plus faible risque d'erreur de positionnement liée aux arbres de bordure, elles sont faciles à installer et ne présentent aucune direction préférentielle ; elles sont donc préférables dans les inventaires forestiers. Les placettes rectangulaires ont l'inconvénient d'avoir un périmètre plus élevé et donc présentent le risque de multiplier les erreurs potentielles de positionnement des arbres à l'intérieur ou à l'extérieur des placettes (Riba, 2019).

2. Taille des placettes

Pour la taille des placettes d'échantillonnage (PE), nous avons opté pour des placettes de taille fixe tel que recommandé par Picard (2006), avec un rayon de 10 m, variable selon le type de pente ; ce qui correspond à une superficie de :

$$S = \pi \times 10^2 = 314 \text{ m}^2, \text{ soit } 0.0314 \text{ ha.}$$

Chaque placette est centrée sur le point échantillon qui correspond au milieu de la placette.

L'optimisation de la taille des placettes consiste à rechercher la taille de placette qui minimise le temps et donc, l'effort d'inventaire pour une précision d'estimation à atteindre valable (Picard, 2006).

1.5.3. Implantation des placettes d'échantillonnage (PE) et déroulement sur le terrain

A. Formation des agents accompagnateurs

Lors de la phase d'inventaire, les agents qui nous ont accompagné sur le terrain ont été éclairés sur les procédures de mesure comme l'utilisation du compas forestier, mètre ruban, Blum-Leiss, GPS et remplissage des fiches).

B. Délimitation des placettes d'inventaire

Avant de procéder à l'implantation d'une placette d'échantillonnage (PE), il importe de modifier son rayon, pour qu'il soit de la bonne dimension, et ceci, en tenant compte de la pente du terrain (CEDFOB, 2009). Ainsi, plus la pente augmente, plus le rayon réel de la PE augmente.

Le rayon de la placette est corrigé selon la formule ci-dessous et les résultats sont consignés dans le tableau 7.

$$r = \frac{1}{\cos\beta} \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Où

r= Rayon de la placette

S= Surface m²

β= pente (degrés)

Π= 3.14

C. Détermination du rayon R et de la surface de la placette

A l'aide d'un logiciel « Slop 1.0 », nous avons converti les valeurs de pente exprimées en pourcentage (%) en degrés. Ensuite, en lisant sur la table établie par l'ONF (2014); on déduit directement la valeur du rayon R de la placette, laquelle valeur est déterminée à son tour en fonction de la surface désirée de la placette sur la table.

Nous avons pris la valeur minimale du rayon égale à 10 m pour toutes les placettes dont la valeur de pente est inférieure ou égale à 15 %.

$$R = \sqrt{S/\Pi \cos \alpha}$$

La valeur du rayon est lue directement sur la table.

Pour calculer l'aire A de la placette de forme circulaire qui ressemble à celle d'un disque, nous avons calculé le produit de π (nombre pi) par la longueur du rayon R du disque au carré :

$$S = \pi \times R^2$$

Avec π environ égal à 3,14 et R=10 m (au minimum) ; ce qui donne une surface minimale S= 314 m².

Les placettes sont délimitées à partir du point échantillon. Une fois le point repéré, chaque cercle est matérialisé par quatre jalons suivant les points cardinaux (N, E, S, O). Les rayons sont matérialisés en tenant à l'horizontal un ruban métrique (décamètre) tout en faisant attention aux arbres limites.

Cas des arbres litiges

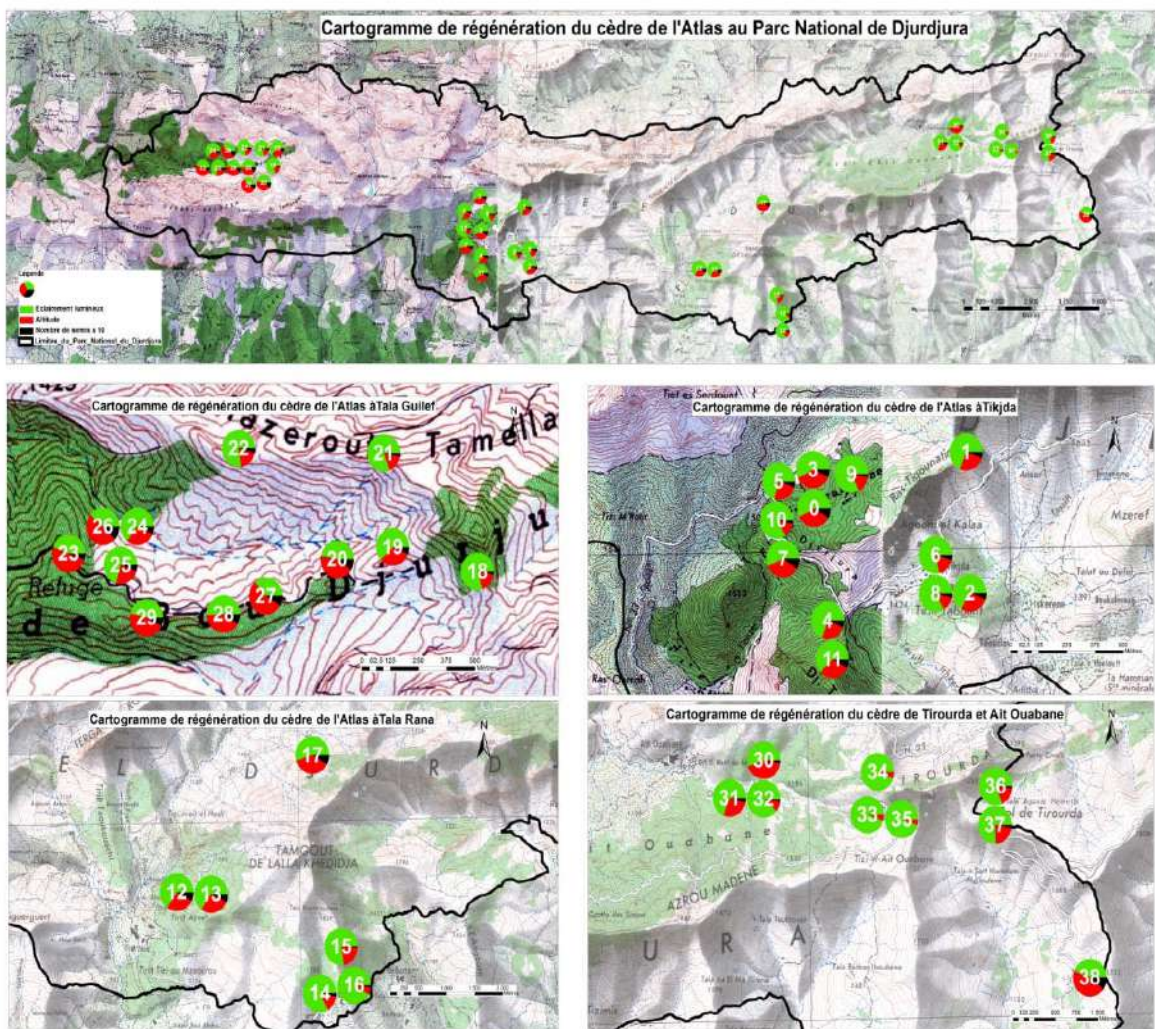
Dans le cas des arbres litiges, c'est-à-dire, les arbres situés sur la limite-circonférence des placettes, seuls les arbres dont le centre est situé à l'intérieur de la placette ou sur le périmètre de la placette (2/3 du diamètre doivent être inclus dans le rayon délimité), seront pris en compte et mesurés.

Tableau 7: Correction du rayon de la placette en fonction de la valeur de la pente et de la surface désirée (300 m²).

Station	Placette	Pente en %	Pente (degrés)	Surface de la placette désirée (m ²)	Rayon corrigé (m)	Surface de la placette (m ²)	Surface totale échantillonnée (m ²)/ Station d'étude
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	35%	19,29	300 m²	10,05	317,15	1961,38
	Thiradhlimine	35%	19,29		10,05	317,15	
	Zgamouz	20%	11,31		9,86	305,27	
	Chréa Teffah	65%	33,02		10,67	357,49	
	Assamar Teffah	50%	26,57		10,35	336,36	
	Thizi Ivaoualène	45%	24,23		10,22	327,97	
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	60%	30,96		10,55	349,49	1929,40
	Ainseur Guidawène 2	70%	10,8		9,86	305,27	
	Agouni Bouzid	70%	34,99		10,8	366,25	
	Thabourth Bouanssaf	15%	8,53		9,83	303,41	
	Agouni Vouthouvras	15%	8,53		9,83	303,41	
	Darna Thazougaghth	10%	5,71		9,8	301,57	
Tikjda	Amalou Voutlam	35%	19,29		10,05	317,15	3793,01
	G8 Clôture	15%	8,53		9,83	303,41	
	G8 Hôtel	10%	5,71	9,8	301,57		
	Thigounatine	45%	24,23	10,22	327,97		
	Thighzerth Réserve	15%	8,53	9,83	303,41		
	Thighzerth Chalet CAF	15%	8,53	9,83	303,41		
	Thighzerth Toumlilt	25%	14,04	9,92	309,00		
	Thaouyalt Erablière	45%	24,23	10,22	327,97		
	Tala Lahnak	40%	21,8	10,15	323,49		
	Thizi N'Rbet	25%	14,04	9,92	309,00		
	Thaouyalt Incendie	60%	30,96	10,55	349,49		
	Thighzerth Bas	35%	19,29	10,05	317,15		
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	65%	33,02	10,67	357,49	3927,89	
	Auberge Sud	60%	30,96	10,55	349,49		
	Auberge Nord	65%	33,02	10,67	357,49		
	Ighil Inguel 1	45%	24,23	10,22	327,97		
	Ighil Inguel 2	50%	26,57	10,35	336,36		
	Ighil Inguel 3	10%	5,71	9,8	301,57		

	Thazrout Tamellat 1	50%	26,57	10,35	336,36	
	Thazrout Tamellat 2	20%	26,57	10,35	336,36	
	Ainseur Oudhafal	20%	11,31	9,86	305,27	
	Ikharadhène 1	25%	14,04	9,86	305,27	
	Ikharadhène 2	25%	14,04	9,92	309,00	
	Ikharadhène 3	40%	21,8	9,86	305,27	
Tirourda	Azrou Amelal	45%	24,3	10,22	327,97	1030,58
	Thavrit Izayatènes	50%	26,57	10,35	336,36	
	Laazaive	70%	34,99	10,8	366,25	
Superficie moyenne de la placette (m²)					324.16	
Surface totale échantillonnée/zone d'étude (m²)						12642,28

La surface cumulée des 39 placettes de sondage réalisées dans toute la cédraie du Djurdjura est de 2689, 94 ha. Les placettes sont représentées dans le cartogramme (carte 6)



Carte 6: Localisation cartographique des placettes d'échantillonnage.

1.5.4. Relevé des données sur le terrain

Dialogue compteur pointeur

Le compteur annonce l'arbre ou l'individu de régénération pour prendre les mesures voulues (diamètre à hauteur de poitrine (DHP), circonférence à 1.30 m (C.1.30 m), hauteur totale (HT), etc.). Le pointeur répète chacune des annonces avant de porter la mesure sur la fiche.

Dans chaque placette, trois types de variables sont mesurés ou construits :

-Les données générales

Afin de garder la mémoire du dispositif établi et garantir ainsi la pérennité d'un suivi éventuel, les renseignements notés sur la fiche d'inventaire portent sur les éléments suivants :

Date d'échantillonnage

Nom de la station

Nom et N° de la placette

- Les données stationnelles

Les coordonnées géographiques du centre de chaque placette sont notées par GPS.

Selon M'Hirit (1994), dans chaque placette, trois types de descripteurs ou variables dendroécologiques sont relevés :

A. Les variables écologiques discriminantes : Altitude, pente, exposition, type de peuplement (homogène, hétérogène) et éclairage lumineux au sol.

L'éclairage lumineux au sol a été mesuré à l'aide d'un appareil qu'on appelle le luxmètre (Bastie, 2003). C'est un appareil qui comporte une tête photométrique recevant le rayonnement à mesurer, un transducteur qui convertit le signal reçu de la tête photométrique en indication exploitable et un afficheur qui indique la valeur de l'éclairage mesuré en lux.

Le lux est une unité de mesure de l'éclairage lumineux reçu (symbole : lx). Il caractérise le flux lumineux reçu par unité de surface, d'une manière uniformément répartie.

Formule :

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{cd sr}}{\text{m}^2}$$

Avec

lm : lumen (unité de mesure de flux lumineux) ;

sr : stéradian (unité de mesure d'angle solide) ;

cd : candela (unité de mesure d'intensité lumineuse).



Photo N°3 : Photographie d'ouverture dans la canopée de la cédraie (Ait Ouabane).

Photo A. Alileche (2014).

B. Les descripteurs édaphiques (Prélèvement d'échantillons pédologiques)

Afin d'avoir une idée sur les caractères physiques et chimiques du sol (texture et richesse) dans les placettes d'échantillonnage de notre zone d'étude, un prélèvement de sol a été réalisé sur les horizons de la partie réceptacle des graines réduite aux premiers centimètres du sol (Gaudio, 2010), soit 20 à 30 cm correspondant à la profondeur des horizons de surface (A et Ao) sur l'ensemble de nos placettes.

Le but de ces prélèvements d'échantillons de sol étant de fournir un petit volume à des fins d'analyse qui serait représentatif du volume entier du sol dans la zone d'étude.

Par ailleurs, nous avons mesuré la profondeur du sol et l'épaisseur de la litière comme suit :

1. Profondeur du Sol

En ce qui concerne la profondeur du sol, nous l'avons estimée au niveau de chaque placette à l'aide d'un couteau bien aiguisé.

2. Epaisseur de la litière

A défaut de mesurer l'épaisseur de la litière avec précision (0.5 cm) comme décrit dans Molofsky & Augspurger, 1992 in Rey et *al.*, 2002), elle a été estimée globalement pour

chaque placette de manière visuelle et avec la partie pointue d'un couteau. On a pris en considération la litière fraîche et celle dégradée (humus).



Photo 4: Prélèvement de sol dans la zone d'étude.

C. Les variables dendrométriques analytiques

Pour prendre les mesures dendrométriques, nous avons procédé selon la classification du peuplement définie par le CRPF (2011).

1. Peuplement précomptable.

Les arbres précomptables sont ceux dont on mesure habituellement le diamètre avec le compas forestier. Les variables dendrométriques mesurées sont les suivantes :

a. Diamètre à hauteur de poitrine (DHP)

Les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 7,5 cm sont mesurés à l'aide d'un compas forestier. Ce diamètre, dit de précomptage, est celui retenu par le protocole de suivi des Réserves naturelles fluviales (Dufour & Pont, 2006).

Un arbre de diamètre inférieur à 7.5 cm est considéré comme appartenant à la régénération.

b. Circonférence à hauteur d'homme (C.1.30 m)

La mesure de la circonférence C du tronc de l'arbre à 1,30 m de hauteur, est effectuée à l'aide d'un ruban mètre souple et gradué, entourant le tronc pour tous les sujets dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 7.5 cm.

Dans certaines situations, la mesure de la circonférence n'est pas possible, alors, nous avons procédé à sa détermination par la mesure du diamètre par déduction selon la formule suivante :

$$C = D \cdot \Pi \text{ (Bioforest, 2021)}$$

Avec D : Diamètre à hauteur de poitrine et Π : Une constante arrondie à 3.14.

c. Hauteur totale de l'arbre (HT)

Selon Massenet (2011), après la grosseur d'un arbre, la hauteur est la caractéristique la plus importante à mesurer ou à estimer en vue de déterminer les paramètres de forme. Elle joue aussi un rôle essentiel dans la caractérisation de la productivité des stations forestières. La hauteur totale est la distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre (bourgeon terminal).

On considère ici comme arbre, selon la définition de Cluzeau & Pont (1997), les espèces ligneuses atteignant fréquemment une hauteur minimale totale de 10 mètres et de diamètre à 1.30 m supérieur à 7,5 cm.

d. Diamètre du houppier (D.Houp)

Cette mesure a été prise sur le terrain dans deux directions perpendiculaires (Nord-Sud / Est-Ouest) à l'aide d'un décimètre. La valeur du diamètre du houppier sera déterminée sur la base de la moyenne de ces deux valeurs mesurées.

Par ailleurs, les coordonnées géographiques des arbres adultes (semenciers) ont été relevées par GPS.

Chaque arbre, une fois décrit, est repéré au moyen d'un coup de bombe de peinture à base de produits naturels non toxiques, biodégradables et lessivables par la pluie.

2. Peuplement non précomptable ou sous étage.

Il comprend toutes les tiges arborescentes (perches) dont le diamètre est compris entre 7,5 cm et 17,5 cm. La mesure du sous étage est importante en futaie irrégulière car son pouvoir ombrageant peut bloquer l'apparition de régénération.

3. Régénération établie.

Pour Gaudio (2010), la régénération correspond à des arbres de moins de 10 cm de diamètre. Un autre auteur, Hakizimana et al., (2011), a également utilisé un $d_{hp} < 10$ cm pour calculer l'indice d'équitabilité pour des classes de plantules.

Dans notre cas, le diamètre est inférieur à 7,5 cm à hauteur d'homme (plantules de l'année ou dont le diamètre $d \leq 2.5$ cm exclues de l'inventaire). La quantification de la régénération a été réalisée par recensement, c'est-à-dire, comptage de tous les semis établis présents sur la placette.

Cependant, la catégorie de la régénération établie comporte aussi bien les semis que les fourrés et les gaules. Pour les individus de régénération, outre le dénombrement total, nous avons mesuré, à l'aide d'un pied à coulisse, pour chaque semis appartenant au groupe de régénération établie, le diamètre à la base, diamètre à 1.30 m du sol (éventuellement) et la hauteur totale du sujet. Nous avons mesuré le diamètre à la base pour expliquer le fait que l'on a parfois des sujets âgés mais qui, en raison du surpâturage, sont restés rabougris et n'ont pas grandi en hauteur.

Le choix de la régénération installée est justifié par le fait que la prise en compte des semis de l'année est problématique dans la mesure où nombre d'entre eux disparaissent au cours de l'été ; ce qui traduit l'absence d'homogénéité entre la phase d'inventaire conduite au printemps où tous les semis sont présents, et celle menée à l'automne où tout ou partie des semis de l'année ont disparu. C'est ce qui a justifié la non-comptabilisation des semis de l'année.

Par ailleurs, beaucoup de travaux ont été concentrés sur les semis de l'année, alors, nous nous sommes penchés uniquement sur les semis acquis ou établis.

D. Autres observations

✓ Recouvrement de la végétation

Nous avons également, fait la description floristico-écologique des placettes, notamment, les espèces présentes, le degré de fermeture du couvert et le taux de recouvrement des strates dans chaque placette comme suit :

- Strate arborescente : plantes ligneuses de hauteur > 7 m
- Strate arbustive et buissonnante : plantes ligneuses de hauteur $50 \text{ cm} < h < 7 \text{ m}$
- Strate herbacée : plantes herbacées $< 50 \text{ cm}$

✓ Indices biologiques

Divers autres indices ont été relevés également au niveau de chaque placette d'échantillonnage. Il s'agit des discontinuités horizontales, composition spécifique du peuplement (peuplement mono ou hétérosécificique), identification des zones à potentiel de régénération insuffisant (zones sensibles où le relais de végétation n'existe pas) et les zones à cohortes de régénération (relais de végétation), sens de la régénération (diffuse, par trouée,

centrifuge, etc.), présence de bois mort, type de trouées (circulaire O, en fer à cheval U ou C, lisière uniforme LU).

✓ **Facteurs anthropozoïques**

Pour ce qui est des facteurs anthropozoïques, nous nous sommes intéressés au problème du pâturage très intense au niveau du Parc national du Djurdjura, les incendies et les coupes illicites. A cet effet, nous nous sommes basés sur des indices qui sont la présence ou non d'espèces végétales indicatrices de milieux surpâturés et la présence de bouse du cheptel bovin en particulier, la présence de semis rabougris dont le diamètre à la base est important mais dont la hauteur n'atteint pas les dimensions requises, les traces d'incendies et coupes de bois, etc.

-Matériel utilisé sur le terrain

Pour la réalisation de notre travail sur le terrain, nous avons utilisé le matériel de mesure suivant :

- Protocole d'inventaire comportant des fiches d'inventaire ;
- Décamètre : Pour déterminer le rayon de la placette (rayon R à partir de l'origine ou centre de la placette).
- Bombe de peinture : Pour numéroter les arbres et délimiter les placettes.
- GPS (Garmin III) : Pour le repérage des points échantillons sur le terrain ; il permet de localiser et repérer les placettes par des coordonnées géographiques ainsi que l'altitude au centre de la placette. Il permet aussi de relever les coordonnées des arbres fructifères ;
- Mètre-ruban de 2 m inextensible pour la mesure des circonférences ;
- Compas forestier pour la mesure des diamètres des sujets précomptables ;
- Pied à coulisse pour mesurer les diamètres des petits sujets de régénération ;
- Blum Leiss : Pour déterminer la valeur de la hauteur totale et la pente du terrain ;
- Luxmètre : Pour prendre les valeurs de l'éclairement lumineux au centre de la placette ;
- Appareil photo numérique pour prendre des photos au niveau des placettes d'échantillonnage ;
- Boussole pour relever l'exposition ;

Partie 2 : Traitement et organisation des données d'échantillonnage

La phase de traitement des données d'inventaire inclut tout le travail qui est fait à partir des fiches de terrain remplies. Elle comporte la saisie des données, leur mise en forme, et le calcul de certains paramètres au niveau de chaque placette.

1. Classification des données topo-climatiques

1.1. Altitude

Le travail a été réalisé dans trois tranches altitudinales réparties comme suit :

$$A_1 \leq 1600 \text{ m}$$

$$1600 < A_2 \leq 1800 \text{ m}$$

$$A_3 > 1800 \text{ m}$$

Ces tranches altitudinales ont été fixées arbitrairement selon l'étagement du cèdre de l'Atlas en basse altitude (1400-1600m), moyenne altitude (1600-1800) et haute altitude (> 1800 m)

1.2. Pente

Pour ce qui est du facteur pente, nous avons estimé en % la valeur moyenne de la pente en la fixant au niveau du centre de chaque placette et nous avons retenu les classes de pente définies par la FAO (1977).

Un terrain dont la pente est strictement inférieure à 5 % est considéré comme un terrain plat, de pente nulle. Les données de pente ont été ensuite classées en 5 classes :

Tableau 8: Classes de pente

Valeur de la pente	Classe	Nature de la pente
0-5 %	I	Très faible ou nulle (pente douce)
5-15 %	II	Faible
15-30 %	III	Moyenne
30-50 %	IV	Forte
> 50 %	V	Très forte

2. Analyse pédologique au laboratoire et classification des données

Pour faire l'analyse granulométrique et physico-chimique de nos échantillons, nous sommes rapprochés dans un 1^{er} temps du laboratoire de pédologie de la faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Après un travail préliminaire de préparation des échantillons qui a consisté en l'élimination des éléments grossiers par tamisage et de toutes les impuretés comme les racines, la terre et autres débris..., nous avons pris attache avec le laboratoire de pédologie de l'Institut National de Recherches Forestières (INRF) de Bainem à Alger. Au niveau de ce laboratoire, des analyses ont été faites par l'équipe de recherche et quatre paramètres ont été déterminés, il s'agit de :

2.1. Analyse granulométrique du sol : classification des éléments minéraux selon leur grosseur

L'analyse granulométrique par la méthode Robinson a pour objet de déterminer quantitativement et qualitativement la répartition des constituants minéraux, appelés également éléments mécaniques du sol. On distingue dans un premier temps les éléments grossiers de diamètre supérieur à 2mm et de la terre fine de diamètre inférieur à 2mm. C'est une opération de laboratoire qui implique la destruction complète des agrégats et leur classification par catégories de diamètre pour déterminer le pourcentage de chaque fraction.

Après suppression des carbonates, des substances organiques et éventuellement des oxydes de fer, la méthode Robinson est utilisée pour déterminer la fraction des particules plus petites que 38 micromètres. Dans cette méthode, un échantillon est pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension du prélèvement dans une éprouvette. La suspension pipetée est condensée et séchée et la pesée détermine le ratio de masse de la fraction pipetée.

La teneur de ces différents éléments minéraux s'exprime en pourcentage de matière sèche de l'échantillon de terre (Baize, 2000). Une échelle granulométrique a été établie par le même auteur comme suit :

Tableau 9: Classification granulométrique des éléments constitutifs d'un sol

Terre fine					Eléments grossiers	
<2 μ	2 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -200 μ	200 μ -2mm	2mm-2cm	>2cm
Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Graviers	Cailloux

Définition de la texture et classification texturale

La texture d'un sol est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol. Elle est définie par la grosseur des particules qui composent le sol. Sa teneur est exprimée en pourcentage (%) de sables grossiers et fins, de limons, d'argile, d'humus et de calcaire. La composition granulométrique permet ainsi de déterminer la texture globale d'un sol en se référant à un diagramme textural.

Graphiquement, elle est représentée par le triangle des textures défini par Baize (2000). Le triangle GEPPA se présente sous la forme d'un triangle isocèle dont les côtés représentent les teneurs en **argile**, **sables** et **limons** (base du triangle), chaque axe étant gradué de 0 à 100%.

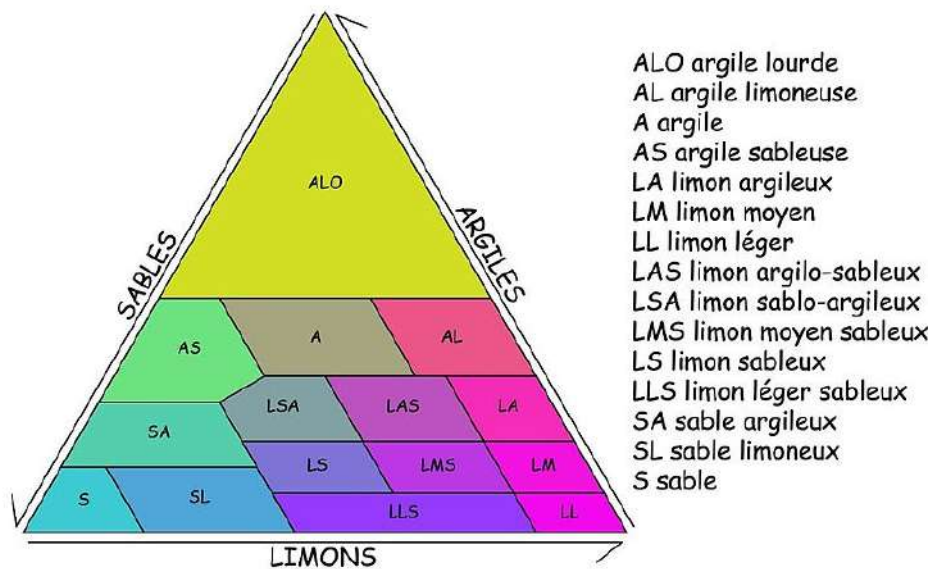


Figure 9 : Triangle des textures (Baize, 2000).

2.2. Mesure du pH du sol

Le pH est important dans l'alimentation des plantes ; il intervient dans la disponibilité des éléments nutritifs et leur absorption par les plantes. Il est lié à la teneur en calcaire. Les sols calcaires ont un pH neutre ou basique. Selon Ballot et *al.*, (2016), la valeur du pH nous renseigne sur la qualité du sol comme suit:

Tableau 10: qualité du pH du sol

pH < 5	5 ≤ pH < 6.5	6.5 ≤ pH < 7.5	7.5 ≤ pH ≤ 8	pH > 8
Sol très acide	sol acide	Sol neutre	Sol alcalin ou basique	Sol très basique

2.3. Mesure et classification de la matière organique (MO)

Sur la base des valeurs de la matière organique obtenues au niveau du laboratoire de pédologie de l'INRF, nous avons procédé au classement de nos 39 placettes échantillonnées

en quatre catégories tel que suggéré et interprété par l'équipe de recherche en fonction du pourcentage de MO obtenu dans l'échantillon:

MO < 10 % : sol pauvre (PVMO).

10 % ≤ MO < 15% : sol moyennement riche (MRMO)

15% ≤ MO ≤ 20% : sol riche (RIMO)

MO > 20% : sol très riche (TRMO)

2.4. Mesure et classification de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité et donne une idée sur la quantité de sels solubles dans le sol. A l'aide d'un conductiviomètre, on peut calculer la teneur en sels dissous exprimés en mmho/cm ou dS/ m (Baize, 2000). La salinité est mesurée à partir de la conductivité électrique de la manière suivante :

$$\text{Salinité totale (meq)} = \text{CE (mmho/cm)} / 5$$

L'échelle de Durand (1983) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols au niveau de notre zone d'étude.

Tableau 11: Classes de qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983)

Classe	CE en $\mu\text{S/cm}$ à 25°C	Qualités des sols
Classe I	0 à 500	Non salé
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé
Classe III	1000 à 2000	Salé
Classe IV	2000 à 4000	Très salé
Classe V	>4000	Extrêmement salé

Pour les solides, la conductivité peut être rapportée en mS/cm ou en salinité.

Pour la salinité, les unités sont des unités arbitraires. La conductivité d'une solution de KCl de 32,4356 g/l est considérée comme 35 unités. La limite de détection pour la salinité est de 2 et le domaine d'application de 2 à 42 unités.

Pour les solides, les résultats sont rapportés en mS/cm selon l'équation suivante :

$$S = A/1000$$

où

S : salinité de l'échantillon en mS/cm;

A : conductivité de l'échantillon en $\mu\text{S/cm}$;

1000 : facteur de correction entre mS/cm et $\mu\text{S/cm}$.

2.5. Classification des données de la profondeur du sol

Les sols des placettes échantillonnées ont été classés arbitrairement, en tenant en compte la profondeur du sol prospectable par les jeunes semis non ligneux, comme suit:

< 15 cm : sol superficiel

[15- 20 cm [: sol moyennement profond

[20 -25 cm] : sol profond

> 25 cm : sol très profond

2.6. Classification des données de l'épaisseur de l'humus

Concernant l'épaisseur de l'humus, y compris la litière non dégradée, nous avons défini arbitrairement trois classes :

Classe 1 : Epaisseur faible ($Ep.hum < 2$ cm),

Classe 2 : Epaisseur moyenne ($2 \leq Ep.hum \leq 4$ cm),

Classe 3 : Epaisseur importante ($Ep.hum > 4$ cm).

3. Classification des données dendrométriques

Les résultats obtenus des mesures dendrométriques de terrain (diamètre et hauteur) ont donné naissance à des classes centrées.

✓ Structure verticale

La structure verticale représente la distribution des individus par classes de hauteur (Rajoelison, 1997) et renseigne sur la stratification verticale du peuplement (Kamadjoumbakemi, 2011, in Habbi & Bouafene, 2018). Elle offre, entre autres, l'intérêt de pouvoir fournir un indicateur de richesse du site. Elle nous permet d'établir des relations allométriques avec le diamètre (Derouet, 1994 et Collinet, 1997, in Madelaine, 2009).

Tableau 12: Classes de hauteur du peuplement

Codage	Catégories de hauteurs (m)
1	[7.5-10 m [
2	[10-12 m [
3	[12-15 m]
4	>15 m

✓ Structure horizontale

La structure horizontale rend compte de la répartition des individus dans l'espace. Son étude est importante car cette répartition résulte des mécanismes de fonctionnement des espèces (mode de régénération, sensibilité aux facteurs du milieu, compétition, ...). La structure

horizontale traduit la répartition des individus selon leurs catégories de grosseur telle que définie dans le tableau 13, ci-dessous.

1. Catégorisation des classes de bois

La répartition des tiges dans selon différentes catégories de bois, détermine la structure du peuplement. Dans un peuplement forestier, nous distinguons trois catégories de bois (CRPF, 2011) :

1. Les arbres précomptables,
2. les non précomptables,
3. la régénération.

Pour la description des peuplements, notamment dans le cadre de l'utilisation de typologie, les arbres sont classés en petits bois (PB), bois moyens (BM), gros bois (GB) et très gros bois (TGB). Pour la typologie qui est utilisée sur le dispositif de Croigny, les limites sont les suivantes :

Les arbres précomptables sont regroupés dans 4 catégories de bois.

Petits Bois (PB) : Arbres qui participent déjà à la concurrence dans la canopée supérieure.

Bois Moyens (BM) : Arbres qui participent très fortement à la concurrence dans la canopée supérieure du fait de leur forte croissance et capacité de réaction aux éclaircies.

Gros Bois (GB) : Arbres qui participent à la concurrence dans la canopée supérieure mais qui sont différenciés ou en cours de différenciation.

Très Gros Bois (TGB) : Arbres dominants et dont le couvert est haut et moins ombrageant au sol. Ces arbres ont un effet bénéfique sur l'ambiance forestière au sol en créant des puits de lumière.

Les arbres non-précomptables (perches) : Le diamètre à 1,30m est compris entre 7.5 et 17.5 cm (Tab.13).

Tableau N°13: Classification des bois en catégorie en fonction du Ø à 1.30 m du sol

Dénomination	Code	Définition
Perches	Pe	7.5 cm < Ø à 1.30 m du sol ≤ 17.5 cm
Petis Bois	PB	17.5 cm < Ø à 1.30 m du sol ≤ 27.5 cm
Bois Moyens	BM	27.5 cm < Ø à 1.30 m du sol ≤ 42.5 cm
Gros Bois	GB	42.5 cm < Ø à 1.30 m du sol ≤ 62.5 cm
Très Gros Bois	TGB	Ø à 1.30 m du sol > 62.5 cm

2. Catégorisation des individus de régénération

Dans notre étude, pour décrire les stades de développement de la régénération dénombrée au sein de chaque placette, nous avons adopté la typologie suivante, qui est fonction de la hauteur relevée (Bertrand, 2011) du semis installé.

Tableau N°14 : Classification des semis selon la hauteur et le diamètre

Catégorie	Code	Dimension (Hauteur et diamètre)
Semis	S	$H \leq 50$ cm
Semis Installés	SI	$50 \text{ cm} \leq H < 1.50$ m
Fourré	F	$1.5 \text{ m} \leq H < 3$ m
Gaule	G	$3 \text{ m} \leq H$ et $\emptyset < 7.5$ cm

4. Description floristique des placettes

Nous avons fait une description simple du cortège floristique tout en mettant l'accent sur les espèces indicatrices (milieux dégradés par surpâturage, incendies, piétinement et espèces facilitatrices). Le tableau de description est reproté en annexe (Annexe 1).

5. Catégorisation des différents types de données

Les descripteurs collectés ont été ensuite classés en deux catégories : La variable expliquée et les variables explicatives.

5.1. Variable expliquée

Elle a trait à la description de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas qui est l'objet de notre étude. L'étude de la régénération fournit des indications intéressantes sur la dynamique du peuplement forestier, elle renseigne en tout état de cause sur les potentialités de structuration et d'évolution futures du peuplement.

5.2. Variables explicatives

- **Les variables topoclimatiques** : exposition, altitude et pente.
- **Les variables édaphiques** : profondeur du sol, texture, nature du pH et la richesse en matière organique.
- **Les variables dendrométriques** : diamètre à hauteur de poitrine (DHP), circonférence à 1.30 m du sol (C.1.30 m), diamètre du houppier (D.Houp), hauteur totale (HT) et facteur d'élanement du peuplement (H/D).
- **L'éclairage lumineux au sol**

PARTIE 3: Méthodes de traitement statistique des données et paramètres calculés

La description des données relevées sur le terrain et organisées dans des fiches de synthèse, constitue la 1^{ère} étape d'analyse. Elle permet de représenter les valeurs observées sur les différents individus de l'échantillon.

Les méthodes d'analyse des données se répartissent en deux catégories. Les méthodes factorielles et les méthodes de classification. Dans les méthodes factorielles, on distingue les statistiques descriptives déductives et les statistiques inductives ou inférentielles.

Selon Baccini (2010), la statistique descriptive ou déductive est synonyme de statistique exploratoire ou analyse des données. Elle permet de décrire les données étudiées, de dégager les caractéristiques essentielles du phénomène étudié et de suggérer des hypothèses pour une étude ultérieure plus poussée (Polisano, 2018).

La statistique descriptive des données se fait à travers leur présentation sous forme de tableaux synthétiques, de représentations graphiques, de pourcentages et par le calcul de résumés numériques ou caractéristiques numériques comme la moyenne, écart type, coefficient de variation, etc.

En revanche, la statistique inférentielle est utilisée pour généraliser la population à partir des échantillons. Les principales statistiques inférentielles sont basées sur des modèles statistiques tels que l'analyse de la variance, le test du khi-deux, la distribution t de l'élève, l'analyse de régression, etc.

Dans le cas de notre étude, seules les méthodes factorielles ont été utilisées. Les données relevées sur le terrain ou calculées ont été ordonnées dans une base de données EXCELL et récapitulées dans un tableau de synthèse. Les analyses statistiques de ces données ont été explorées en utilisant différents logiciels.

Afin d'analyser statistiquement nos données, nous avons procédé par une démarche qui consiste à aller progressivement de l'analyse unidimensionnelle à l'analyse bidimensionnelle puis à l'analyse multidimensionnelle.

I. Statistique descriptive unidimensionnelle (univariée)

L'analyse univariée examine une seule variable à la fois et repose sur la description (fréquences, tendance centrale, dispersion, distribution), la visualisation graphique des variables et, éventuellement, sur l'inférence, c'est-à-dire la comparaison à des valeurs de référence connues pour déterminer si un échantillon diffère significativement d'une population plus large.

1. Tableau

Dans le cas de notre travail, nous avons rassemblé les données de terrain dans un tableau de synthèse. Ce tableau statistique, synthétise et présente les données après leur arrangement et fait intervenir les notions assez élémentaires d'effectif, de fréquence (%), d'effectif cumulé et de fréquence cumulée. Il regroupe toutes les données relevées sur le terrain ou déduites par calcul. Nous avons réparti les données selon leur nature :

1.1. Tableau de données pédologiques

Dans ce tableau, nous avons reporté dans un tableau de synthèse les résultats des analyses pédologiques réalisées au laboratoire à l'INRF de Bainem (Annexe 2).

1.2. Tableau de données dendrométriques et stationnelles.

Dans ce tableau, nous avons présenté les données relatives aux variables principales suivantes :

- **Données stationnelles :** Pente, altitude, exposition et éclairement lumineux.
- **Données dendrométriques du peuplement précomptable et non précomptable :** Diamètre à hauteur de poitrine (DHP), hauteur totale moyenne (HTM), circonférence à 1.30 m du sol (C.1.30 m), coefficient d'élancement de l'arbre (H/D) et le diamètre moyen du houppier (DMH).

Nous avons également, présenté les fréquences absolues et les fréquences cumulatives des catégories de grosseur et de hauteur totale sous forme de tableau synthétique (Annexe 4 et 5).

- **Données sur la régénération :** Pour la régénération, nous avons retenu les effectifs ou fréquences absolues des semis établis par placette, les hauteurs totales et les diamètres à hauteur de poitrine des semis quant le sujet est assez grand.
- **Indice de dispersion de la régénération (*Id*)**

Définition de l'indice de dispersion (*Id*) de la régénération

L'indice de dispersion (*Id*) de Morisita (1962) est le rapport de la variance à la moyenne des comptages. Cet indice (*Id*) est exprimé par la formule suivante :

$$id = \frac{\sigma^2}{x}$$

Équation : Indice de dispersion

Avec

σ^2 : Variance et x : Moyenne des comptages

Il implique le type de répartition spatiale des individus comptés (Bariteau, 1992 & Rjoelison, 1997, in Guignabert, 2018), c'est-à-dire :

- Une dispersion **régulière** pour une valeur significativement inférieure à 1 ;
- Une dispersion **aléatoire** pour un indice égal ou proche de 1 ;
- Une dispersion **agrégative** dans les autres cas (> 1).

But du calcul de l'indice de dispersion

Nous avons voulu déterminer la dispersion de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas, car la distribution spatiale des taches de régénération est un critère beaucoup plus fin de connaissance que le simple taux de régénération (Hakizimana et *al.*, 2011). En matière de distribution horizontale des arbres, Büttler (2000) & Dale (2000) in Hakizimana et *al.*, (2011) distinguent trois modèles spatiaux horizontaux, à savoir, le modèle spatial horizontal aléatoire, le modèle spatial horizontal agrégé et le modèle spatial horizontal uniforme.

2. Représentations graphiques

L'utilisation des techniques graphiques est très utile dans l'analyse descriptive des variables et de la manière dont elles sont réparties. Elles permettent de visualiser le résumé statistique que nous donnent la distribution de fréquence, de fréquence relative et de fréquence relative cumulée.

2.1. Histogrammes et sectoriels

En statistique, un histogramme est un graphique permettant de représenter la répartition d'une variable continue. C'est un ensemble de rectangles juxtaposés dont chacune des bases est égale à l'intervalle de chaque classe, et dont la hauteur est telle que la surface soit proportionnelle à la fréquence de la classe correspondante.

Données pédologiques

- Type textural du sol
- Nature du pH du sol

Données dendrométriques (profils structuraux)

Un peuplement forestier est décrit par sa structure à un instant donné et par sa dynamique.

La structure est caractérisée par la diversité floristique, la densité, la distribution diamétrique et les répartitions verticale et horizontale des tiges. On distingue une structuration spatiale et une structuration verticale. La structure diamétrique désigne dans notre cas, la distribution des grosseurs des sujets ou de la population d'une seule espèce qui est le cèdre de l'Atlas (Structure spécifique). Généralement, la structure d'un peuplement, est représentée par l'histogramme du nombre de tiges par catégories de diamètres (Dagnelie, 1971 in Bouchon, 1979). Elles constituent une caractéristique fondamentale de la forêt qui donne une indication sur l'état équilibré d'un peuplement (Nshimba, 2008 ; Yalanga, 2012 in Ngutulu, 2013).

Dans le cas de notre étude, nous avons calculé les paramètres structuraux suivants :

1. Structure diamétrique et indice de richesse dimensionnelle

La structure diamétrique, ou répartition des tiges par classes de diamètre, est établie en prenant en compte tous les individus dont le diamètre est ≥ 7.5 cm à hauteur d'homme. Pour les tiges dont le diamètre à 1.30 cm est < 7.5 cm, elles sont classées comme régénération.

Pour représenter les classes de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et l'indice de richesse dimensionnelle tel que défini par Cordonnier et *al.*, (2012), nous avons considéré toutes les catégories de dimension présentes sur la placette échantillonnée (tel que défini dans le chapitre Matériel et méthode.), selon la classification suivante :

1. La régénération : Une seule classe a été définie : < 7.5 cm mais > 2.5 cm.

2. Peuplement non-pré comptable et pré comptable : cinq classes ont été définies. Il s'agit de : [7.5-17.5 cm (perches) [, [17.5-27.5 cm [, (petits bois), [27.5- 42.5 cm [(bois moyens), [42.5- 62.5 cm] (gros bois) et > 62.5 cm (très gros bois).

2. **Structure verticale (classes de hauteur totale) :** Pour analyser la stratification verticale des arbres au niveau de chaque placette, nous avons utilisé les classes de hauteur, représentées par des histogrammes de distribution. Le profil vertical du peuplement permet de nous renseigner sur la hauteur du peuplement et le degré de fermeture de la canopée pour dégager une idée sur l'impact du couvert sur la régénération du cèdre de l'Atlas au Djurdjura. Nous avons pris la hauteur minimale comme égale à 7.5m, soit la hauteur d'un arbre forestier et nous avons défini quatre classes de hauteur : [7.5-10m [, [10-12m [, [12-15 m] et $H > 15$ m.

3. Coefficient d'élancement du peuplement (H/D)

Le facteur d'élancement ou coefficient d'élancement (CE) est le rapport entre la hauteur totale et le diamètre qui reflète la stabilité d'un peuplement forestier ou un arbre isolé (Robisoa et *al.*, 2008, in Habbi & Bouafene, 2018).

$$CE = H/D$$

Le rapport (H/D) peut être utilisé à l'échelle d'un peuplement, on parle dans ce cas de « facteur de stabilité » ou à l'échelle d'un arbre individuel, et on parle dans ce cas de facteur d'élancement (Oswald, 1984, in Becker (1992)).

Objectifs du calcul du rapport (H/D)

Le rapport (H/D) ne constitue pas seulement un coefficient de forme, mais nous renseigne également sur la position sociale des arbres (Pardé & Bouchon, 1988). C'est un bon intégrateur des conditions moyennes de compétition auxquelles cet arbre a été soumis tout au long de sa vie ; lesquelles conditions de compétition englobent à la fois le statut social de l'arbre au sein du peuplement et la densité de ce dernier. Le facteur d'élancement (H/D) donne une idée sur la stabilité écologique des essences forestières. Selon Robisoa, 2008 in

Habbi & Bouafene (2018), un peuplement forestier est considéré comme stable lorsque le rapport $H/D < 100$ ou proche de 100.

Le souci de calculer le facteur d'élanement est motivé par l'établissement d'une relation entre ce paramètre et le flux lumineux (éclairage) qui est le moteur de la régénération. Il est évident qu'un faible élanement signifie un fort éclairage. Ces deux paramètres sont donc inversement proportionnels.

4. Régénération naturelle

Variabilité inter-placettes et inter-stations du nombre de semis (NS)

Afin d'étudier la variabilité inter-placettes par station et inter-placettes pour la zone d'étude de la régénération naturelle du cèdre, nous avons représenté graphiquement par des histogrammes de fréquences, la variabilité des effectifs de semis établis en fonction des placettes d'échantillonnage pour chacune des cinq (05) stations d'étude, une variabilité inter-stations et une variabilité comparative entre les différentes placettes pour l'ensemble de la zone d'étude.

Variabilité inter-placettes et pour la zone d'étude des niveaux de régénération.

Une représentation graphique par des histogrammes et des sectoriels du niveau de régénération comparatif inter-placettes sur l'ensemble de la zone d'étude a été faite, en considérant trois niveaux de régénération :

- 1) Niveau I : placettes à nombre de semis établis $N_s \leq 20$,
- 2) Niveau II : placettes à nombre de semis établis $20 < N_s < 30$,
- 3) Niveau III : placettes à nombre de semis établis $N_s > 30$.

L'objectif étant de voir quel niveau de régénération est plus dominant ou plus élevé.

Variabilité de l'indice social de régénération (ISR) : classement des semis établis par catégories de hauteur par placette, par station et pour la zone d'étude.

Dans l'optique d'analyser de manière comparative la gradation des différentes catégories de semis (semis, semis installés, fourrés et gaules), nous avons représenté graphiquement par sectoriels (proportions) les pourcentages de chaque stade d'évolution, tel que défini par le CRPF (2011) où quatre classes ont été définies selon la hauteur totale du sujet et de son diamètre à 1.30 m du sol.

L'objectif visé à travers le calcul d'un tel indice est de ressortir via la stratification verticale des semis, la dominance des stades de croissance de la régénération et donc, d'approximer l'âge des semis et la date d'ouverture du peuplement.

Variabilité de l'indice de statut social de régénération (ISSi) par station et pour la zone d'étude.

Comme la répartition des semis au sein d'une placette d'échantillonnage est très hétérogène et l'ensemble des semis ne bénéficie pas de la même quantité de lumière, un indice de statut social (ISSi) tel que défini par Sevan (2018), a été calculé afin de classer les différents semis en tant que dominants ou dominés (structure verticale des individus de régénération) par rapport aux autres semis mesurés dans la placette. Selon la hauteur du semis et la hauteur moyenne des semis mesurés à l'échelle de la placette, l'indice de statut social ISSi a été défini ainsi :

$$ISS_i = \frac{H_i - H_{moy}}{H_{moy}} \quad \text{Avec :}$$

ISSi, l'indice de statut social pour le semis i,

Hi, la hauteur du semis i

Hmoy la hauteur moyenne des semis à l'échelle de la placette.

Une fois l'indice calculé pour chaque semis, le statut de dominant ou dominé est donné ainsi:

ISSi < 0, le semis est considéré comme dominé ;

ISSi > 0, le semis est considéré comme dominant.

But du calcul de l'ISSi

Le but recherché à travers le calcul de cet indice est de voir si les cohortes de régénération sont d'une même structure verticale (répartition homogène) ou il y a une stratification entre les différents individus pour avoir une idée sur les chances de survie des individus de régénération n'accédant pas à la lumière. Il permet aussi d'émettre des hypothèses sur l'installation déphasée de la régénération et l'effet de concurrence.

Les données de calcul de l'ISSi sont consignées dans un tableau et illustrées graphiquement par des sectoriels.

Variabilité interplacettes et inter-stations du taux de régénération du peuplement TRP)

Le taux de régénération d'un peuplement (TRP) est donné par le rapport en pourcentage entre l'effectif total des jeunes plants (circonférence < 10cm) et l'effectif total du peuplement (Poupon, 1980, in Ngom et *al.*, 2013).

Détermination du taux de régénération dans la zone d'étude

Pour le cas de la présente étude, afin d'étudier le taux de régénération potentielle (TRP) des peuplements de cèdre dans les différentes placettes réparties sur les cinq (05) stations échantillonnées et pour l'ensemble de la zone d'étude, nous avons considéré tous les sujets

dont le diamètre est inférieur à 7.5 cm comme appartenant à la régénération (Akpo & Grouzis, 1996).

$$TRP = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants}}{\text{Effectif total du peuplement}}$$

L'effectif total du peuplement regroupe aussi bien les jeunes plants que les sujets adultes.

Afin de mettre en relief les différences des taux de régénération par placette, nous avons établi arbitrairement le classement suivant :

- ✓ Taux faible : $TRP < 30 \%$,
- ✓ Taux moyen : $30 \% \leq TRP < 50 \%$,
- ✓ Taux élevé : $50 \% \leq TRP \leq 70 \%$
- ✓ Taux très élevé : $TRP > 70\%$

Les valeurs du TRP ont été synthétisées dans un tableau et représentées graphiquement par station d'étude sous forme de camemberts ou secteurs.

Variabilité interplacettes et pour la zone d'étude de l'indice de régénération naturelle (IRn)

Vande Weghe, 2004 in Hakizimana et *al.*, (2011) indique que la structure spatiale et la régénération naturelle des arbres sont intimement liées et jouent un rôle important dans la dynamique de la forêt.

Pour caractériser la régénération naturelle d'un peuplement donné, Vande Weghe (2004 in Hakizimana et *al.*, (2011) a défini un indice de régénération naturelle (IRn) calculé selon la formule suivante :

$$IRN = \frac{\% \text{ plantules } (dhp < 10 \text{ cm})}{\% \text{ des individus d arbres } (dhp > 10 \text{ cm})}$$

Dans notre cas,

$$IRN = \frac{\% \text{ plantules } (dhp < 7.5 \text{ cm})}{\% \text{ des individus d arbres } (dhp > 7.5 \text{ cm})}$$

Un autre auteur (Havirimana, 2009) a défini un indice de régénération par le rapport entre le nombre d'individus dont le *dhp* est compris entre 0 et 5 cm et le nombre d'individus dont le

dhp est supérieur ou égal à 5 cm. Pour cet auteur, une espèce est considérée comme ayant une bonne régénération lorsque son indice de régénération est supérieur ou égal à 1. Ce seuil de 1 a été considéré car, en situation de régénération normale d'une population, le nombre d'individus jeunes est supposé au moins égal au nombre d'individus adultes (Fargeot *et al.*, 2004).

Selon cet auteur, deux situations sont à distinguer :

- **Situation 1** : La valeur de $IR_n < 1$: La population est déficitaire
- **Situation 2** ; La valeur de $IR_n > 1$: La population est équilibrée, c'est-à-dire qu'au niveau de la répartition des individus d'arbres en classes de diamètre, les effectifs ne cessent de diminuer au fur et à mesure que l'on passe de la classe de diamètre inférieur aux classes de diamètre supérieur.

Dans notre étude, nous avons retenu un **$dhp < 7.5$ cm**, mais sans prendre en compte les plantules dont le *dhp* est < 2.5 cm.

Un tableau de synthèse a été réalisé et des représentations graphiques par histogrammes et par secteurs ont illustré les données de calcul de cet indice.

Densité du peuplement par hectare

Selon Pascal (2003), « La densité correspond au nombre d'individus pour une surface donnée. Sa mesure ne présente donc pas de difficulté particulière. Il faut, cependant, se fixer un diamètre minimal de précomptage (généralement de 10 cm pour les études écologiques sur les parcelles ». Autrement dit, la densité *N* est définie comme le nombre total de tiges par unité de surface. On l'estime à partir du nombre moyen de tiges trouvées sur des placettes de surface déterminée et en rapportant ce nombre à l'hectare (Pardé & Bouchon, 1988).

Variabilité interplacettes et pour la zone d'étude de la densité du peuplement adulte par/ha

La densité est un descripteur de base de l'état de la placette et un indice simple de la compétition moyenne dans le peuplement. Elle est définie comme le nombre de tiges à l'hectare (Gaudin, 1996).

Dans notre travail, le but de l'étude de la densité totale du peuplement (régénération, peuplement non-précomptable et peuplement précomptable) dans les placettes échantillonnées est de caractériser la concurrence aérienne pour l'accès à la lumière et donc, évaluer le degré d'ouverture du peuplement et son influence sur la régénération au sol.

Pour ce faire, nous avons pris en considération toutes les catégories de bois (régénération, perches et peuplement précomptable) et nous avons établi arbitrairement trois niveaux de densité.

- ❖ Niveau 1 : $N < 1300$ tiges /ha : densité faible (Df),
- ❖ Niveau 2 : $1300 \leq N \leq 1700$ tiges /ha : densité moyenne (DM),
- ❖ Niveau 3 : $N > 1700$ tiges/ha : densité forte (DF).

Variabilité interplacettes et pour la zone d'étude de la densité de la régénération établie/ha

De même, pour déterminer la densité de la régénération établie / ha au niveau de nos stations d'étude, nous avons pris en considération les quatre catégories de semis établis (semis, semis installés, fourrés et gaules) et nous avons établi trois niveaux de densité.

- ✓ Niveau 1 : $N \leq 600$ semis établis/ha : densité faible (Df),
- ✓ Niveau 2 : $600 < N \leq 900$ semis établis/ha : densité moyenne (DM),
- ✓ Niveau 3 : $N > 900$ semis établis/ ha : densité forte (DF).

Les résultats du calcul de la densité du peuplement et de celle de la régénération ont été représentés dans un tableau et illustrés sous forme d'histogrammes et de secteurs.

2.2. Box-plots

Un box-plot ou boîte à moustaches permet de visualiser de manière graphique plusieurs paramètres descriptifs de la distribution d'une variable : la médiane, l'intervalle interquartile et les valeurs maximale et minimale de la distribution. Il permet aussi de visualiser la symétrie et les queues de distribution. Pour voir la variabilité spatiale de la régénération en fonction des paramètres stationnels, nous avons réalisé les deux box-plots (boîtes à moustaches) suivants :

- Variabilité du nombre de semis (NS) en fonction de l'exposition
- Variabilité du nombre de semis (NS) en fonction des stations

3. Indicateurs numériques ou paramètres statistiques

Les caractéristiques numériques permettant de résumer une variable quantitative discrète sont soit de tendance centrale (médiane et moyenne), soit de dispersion (variance et écart-type).

3.1. Les indicateurs de tendance centrale : moyenne et médiane.

On appelle mesures de tendance centrale, des valeurs de la variable susceptibles de nous donner une idée sur la donnée qui occupe le centre d'une série statistique. Nous avons utilisé deux importantes mesures de tendance centrale que sont **la moyenne et la médiane**.

3.2. Indicateurs de dispersion

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{(n)} = \frac{1 \sum X_j}{n}$$

Pour une variable mesurable, se baser seulement sur des mesures de tendance centrale, on risque de nous tromper sur la variabilité des données autour de ces mesures centrales. Le jumelage des mesures de dispersion aux mesures de tendance centrale, va nous donner une idée plus exacte sur l'ensemble de ce qu'on a observé dans une série échantillonnale. Dans notre étude, on va utiliser la variance, l'écart-type et le coefficient de variation comme mesures de dispersion.

Variance

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}$$

Ecart-type

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

Coefficient de variation :

$$CV_x = \frac{S_x}{\bar{x}} 100\%$$

Au niveau de chaque placette, station et pour l'ensemble de la zone d'étude, nous avons déterminé statistiquement : La valeur moyenne, le coefficient de variation et l'écart-type de chacun des paramètres structuraux suivants :

- **Diamètre à hauteur de poitrine (DHP) moyen**

$$\bar{d} = \frac{\sum di}{N}$$

\bar{d} = diamètre moyen arithmétique en cm

N= nombre de tiges

di = les différents diamètres des arbre du peuplement en cm

- **Circonférence à 1.30 m moyenne:**

$$\bar{C}_{1.30} = \frac{\sum C_i}{N}$$

- **Surface terrière**

Selon Massenet (2010), la surface terrière de l'arbre (basal area) est, par définition, « la surface de la section du tronc de l'arbre à 1,30 m de hauteur (écorce comprise). Elle est estimée à partir de la circonférence ou le diamètre à hauteur de poitrine ».

La surface terrière individuelle est notée g (Picard, 2006). Si l'on considère les arbres comme cylindriques et si l'on note C leur circonférence, on a :

$$g = \frac{C^2}{4\pi}$$

Le symbole π correspond à une valeur d'environ 3.14. Il s'agit d'un nombre irrationnel qui correspond au rapport entre la circonférence d'un cercle et son diamètre :

$$\pi = C/d$$

A l'échelle d'un peuplement, la surface terrière totale "G" (Grundfläche) correspond à la somme des sections horizontales des troncs (surfaces terrières individuelles par unité de surface), prises par convention à 1,30 m du sol. Elle s'exprime en mètres carrés (m^2) et on l'utilise souvent comme critère pour déterminer l'intensité d'une éclaircie.

$$G = \sum_{i=1}^N g_i$$

La surface terrière donne des informations intéressantes sur la structure du peuplement.

La somme des surfaces terrières des différents individus permettra de calculer la surface terrière de l'espèce au sein de la placette et de la station forestière, qu'il faudra rapporter à une unité de surface, par convention l'hectare (donnée de type m^2/ha).

- **Hauteur totale moyenne (HT)**

$$\bar{H}_t = \frac{\sum T_i}{N}$$

Afin de comparer l'homogénéité des deux variables continues, en l'occurrence, le diamètre à hauteur de poitrine DHP et la hauteur totale (HT), nous avons confronté les valeurs de leurs coefficients de variation (CV%).

- **Diamètre moyen du houppier (DMH)**

D_{moy} du houppier = moyenne de la longueur et de la largeur du houppier mesurées sur le terrain pour chaque arbre. La forme du houppier étant assimilée à une ellipse, nous avons calculé le diamètre moyen du houppier (D_{Houp}) par la formule suivante :

$$D_{\text{Houp}} = (L1+L2)/2$$

Avec $L1$ et $L2$ étant les diamètres du houppier respectifs des deux directions perpendiculaires du houppier.

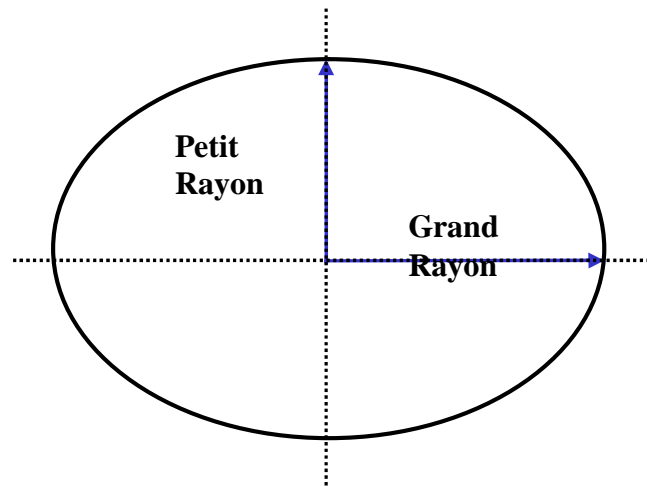


Figure 10: Diamètre d'une ellipse.

- **Coefficient du couvert du houppier (C.C.Houp) :** Pour le calcul du coefficient du couvert du houppier, nous avons adopté la méthode utilisée par Bertrand (2011). Cette méthode définit le coefficient de couvert du houppier (**C.C.Houp**) pour chaque arbre par la relation : **C.C.Houp** = (surface projetée du houppier) / (surface terrière de l'arbre). Il peut ainsi s'écrire ainsi:

$$C.C.Houp = D^2_{\text{houppier}} / D^2_{1.30m}$$

L'objectif est de déterminer la densité du couvert et son influence sur la transmittance de la lumière au sol.

- **Eclairement relatif du couvert (Er.Couv.) :** Déterminer l'éclairement relatif (Roussel, 1953), c'est-à-dire le rapport entre l'éclairement reçu en un point de situation donnée (trouée - sous-bois, etc..) et le plein découvert.

Dans le cas particulier de la trouée circulaire, l'éclairement relatif au centre est donné par la formule :

$$Er = \frac{R^2}{R^2 + H^2}$$

Dans laquelle :

R est le rayon de la trouée et H la hauteur des arbres voisins.

Cette formule indique que :

- si le rayon est égal à la demi-hauteur ($R=1/2 H$), un éclairage relatif (ER) de 20 %,
- si le rayon est égal à la hauteur ($R=H$), un éclairage relatif (ER) de 50 %,
- si le rayon est égal à deux fois la hauteur ($R=2 H$), un éclairage relatif (ER) de 80 %.

Ce paramètre vise également à estimer le % d'éclairage arrivant au sol en fonction de la hauteur des arbres semenciers de la canopée adulte bordant la trouée, et son influence sur la régénération.

II. Statistiques descriptives bidimensionnelles (bivariées)

C'est l'étude simultanée de deux variables, notées X et Y, observées sur le même échantillon (le même ensemble d'individus). L'objectif essentiel des méthodes présentées dans ce chapitre est de mettre en évidence une éventuelle variation simultanée des deux variables, que nous appellerons alors liaison.

1. Cas de deux variables dont l'une est quantitative et l'autre qualitative

1.1. Test d'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA)

Dans ce cas, nous utiliserons les diagrammes en boîtes parallèles et nous introduirons le rapport de corrélation. Nous avons fait une analyse de variance à un seul facteur (one way analysis of variance ANOVA).

Lorsque l'on veut comparer simultanément les moyennes de plus de deux populations, les analyses de variance (abrégé Anovas) peuvent être utilisées. Elles permettent de tester les différences entre une ou plusieurs variables quantitatives pour au moins trois populations. L'ANOVA teste en fait les différences entre les moyennes des différentes populations.

Dans le cas de notre étude, une ANOVA a été réalisée dans le but de déterminer l'effet du facteur spatial (placette) sur la variabilité des paramètres en question, c'est-à-dire, comparer la variance de la régénération des cinq groupes de stations échantillonnées à travers la zone d'étude dont le total des placettes est de 39. Autrement dit, à travers cette analyse, nous avons comparé les moyennes de ces cinq (05) groupes de stations (Variable X) afin d'inférer une relation entre X (placette) et Y (le nombre de semis).

La signification de la différence des moyennes est déterminée en comparant la probabilité p associée à la statistique du test de Fisher-Snedecor au seuil théorique de $\alpha = 0.05$. Un test Post-

ANOVA, dit test SNK correspondant à la classification de Newman et Keuls s'en est suivi afin de mettre en évidence les groupes homogènes pour les variables considérées avec un seuil de signification $\alpha=0.05$.

Avant de procéder à une analyse de variance (Analysis Of Variance), nous avons formulé deux hypothèses statistiques (H_0 et H_1).

H_0 : l'hypothèse nulle ou H_0 qui est une hypothèse postulant qu'il n'y a pas de différence entre les moyennes des cinq groupes de stations.

H_1 : La seconde hypothèse - l'hypothèse alternative ou H_1 - correspond à notre hypothèse de recherche. Contrairement à l'hypothèse nulle, cette hypothèse postule qu'il existe une différence entre les moyennes des cinq groupes de stations.

La question posée est la suivante : La station d'échantillonnage exerce-t-elle une influence sur la régénération du cèdre de l'Atlas ?

1.2. Test de Kruskal-Wallis : Nombre de semis (NS)-station d'échantillonnage

Ce test permet de mesurer l'intensité de la liaison entre une variable quantitative (effectifs de régénération) et une variable qualitative (station d'échantillonnage). Nous avons émis deux hypothèses, l'une H_0 stipulant que la variable dépendante « effectifs de semis » et la variable « station d'échantillonnage » ne sont pas liées et l'hypothèse alternative H_1 stipulant au contraire, l'existence d'une relation de dépendance entre les deux variables.

1.3. Test de Khi-deux

Afin de tester la variabilité éventuelle de la régénération en fonction de paramètres stationnels, nous avons réalisé les deux tests de Khi-deux suivants :

Test de Khi-deux : Nombre de semis (NS)-Topographie (exposition)

Test de Khi-deux : Nombre de semis (NS)-type textural (granulométrie)

2. Cas de deux variables quantitatives : Régression linéaire simple

Dans le cas de l'étude simultanée de deux variables quantitatives (discrètes), nous allons ainsi introduire le graphique appelé nuage de points et les notions de covariance, de coefficient de corrélation linéaire et de régression linéaire simple (RLS).

La régression linéaire simple est utilisée lorsque l'on suppose que l'une des variables varie en fonction de l'autre ; alors, il est intéressant de chercher à savoir s'il existe une liaison entre elles. Les régressions linéaires permettent alors de mesurer et de tester l'intensité d'une relation linéaire entre les deux variables. Le principe est d'ajuster une droite entre la variable dépendante (à expliquer) en fonction des valeurs de la variable indépendante (explicative).

2.1. Coefficient de corrélation sur les rangs ("Rho" de Spearman) :

Nous avons utilisé le coefficient de corrélation des rangs de Spearman Rho qui va nous permettre de détecter une éventuelle corrélation entre les séries de données des variables suivantes : Niveau de la régénération et densité des arbres adultes. Pour ce faire, nous avons émis deux hypothèses.

L'une H_0 : la variable X (nombre de semis) et Y (éclairage lumineux) sont mutuellement indépendantes, alors pas de corrélation, et l'autre alternative H_1 : Les variables X et Y sont dépendantes et donc corrélées.

2.2. Test de Khi-deux : corrélations bivariées

- Nombre de semis (NS)- Epaisseur de la matière organique (litière et humus)
- Nombre de semis (NS)-pH du sol
- Nombre de semis (NS)- profondeur du sol
- Nombre de semis (NS)- Diamètre du houppier (D.Houp)
- Nombre de semis (NS)-Facteur d'élancement (H/D)
- Nombre de semis (NS)-Coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp)
- Nombre de semis (NS)- Nombre de tiges adultes (NT)
- Nombre de semis (NS)-Eclairage lumineux (Ecl.Lum)
- Eclairage relatif (ECr)- Facteur d'élancement du peuplement (H/D)

2.3. Test de Khi-deux : NS= fct (Ep.humus, Ph du sol)

De même, un test de Khi-deux avec des diagrammes en barre a été calculé pour montrer la variabilité de la régénération en fonction des paramètres pédologiques suivants : Epaisseur de l'humus, pH-mètre du sol.

III. Statistiques multidimensionnelles (multivariées)

On désigne par statistique descriptive multidimensionnelle l'ensemble des méthodes de la statistique descriptive (ou exploratoire) permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables (il s'agit d'aller au-delà de l'étude d'une seule ou de deux variables) (Baccini, 2010). Les méthodes les plus classiques de la statistique descriptive sont les méthodes factorielles.

1. Régression linéaire multiple (RLM).

Le modèle de régression linéaire multiple est l'outil statistique le plus habituellement mis en œuvre pour l'étude de données multidimensionnelles. En général, les modèles de régression sont construits dans le but d'expliquer (ou prédire, selon la perspective de l'analyse) la variance d'un phénomène (variable dépendante) à l'aide d'une combinaison de facteurs explicatifs (variables indépendantes). Dans le cas de la régression linéaire multiple, la variable dépendante est toujours une variable continue tandis que les variables indépendantes

peuvent être continues ou catégorielles. La régression linéaire est appelée multiple lorsque le modèle est composé d'au moins deux variables indépendantes.

Une variable quantitative Y dite à expliquer (ou encore, réponse, exogène, dépendante) est mise en relation avec p variables quantitatives X_1, \dots, X_p dites explicatives (ou encore de contrôle, endogènes, indépendantes, régresseurs)

Un modèle de régression linéaire multiple est de la forme suivante :

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^P \beta_j x_j + \varepsilon$$

où :

- y est la **variable à expliquer** (à valeurs dans \mathbb{R}) ;
- $x_1; \dots; x_p$ sont les **variables explicatives** (à valeurs dans \mathbb{R}) ;
- ε est le terme d'erreur aléatoire du modèle ;
- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ sont les paramètres à estimer

Objectifs : Dans notre étude, la RLM a pour objectif de trouver un modèle mathématique permettant d'expliquer la variable dépendante nombre de semis (NS) en fonction de variables indépendantes (voir tableau matrice, chapitre résultats et analyse).

2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ou ACP) est une méthode fondamentale en statistique descriptive multidimensionnelle. Cette méthode permet de traiter simultanément un nombre quelconque de variables, toutes quantitatives (Baccini, 2010). Elle fait partie des analyses descriptives Multivariées (Le Moal, 2002).

L'ACP consiste alors à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux, ces facteurs rendant compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données.

But de l'analyse en composantes principales : Le but de cette analyse est de condenser l'information contenue à l'intérieur d'un grand nombre de variables en un ensemble restreint de nouvelles dimensions composites tout en assurant une perte minimale d'informations (Hair et al., 1998).

Combien de facteurs retenir ? Trois règles sont applicables :

1^{ère} règle : la règle de Kaiser qui veut qu'on ne retienne que les facteurs aux valeurs propres supérieures à 1.

2^{ème} règle : on choisit le nombre d'axe en fonction de la restitution minimale d'information que l'on souhaite. Par exemple, on veut que le modèle restitue au moins 80% de l'information.

Pour ces deux premières règles, on examine le tableau « Total Variance Explained ».

3^{ème} règle : le « Scree-test » ou critère du coude. Sur l'éboulis des valeurs propres, on observe un décrochement (coude) suivi d'une décroissance régulière. On sélectionne les axes avant le décrochement.

Dans la pratique, on retient en fait les q axes que l'on sait interpréter. L'examen des plans factoriels permettra de visualiser les corrélations entre les variables, et identifier les groupes d'individus ayant pris des valeurs proches sur certaines variables.

Procédé d'analyse : Pour cette analyse, nous travaillons directement sur les données de la matrice. Les variables sont au nombre de 11 (Altitude, Pente, Éclairement lumineux, Nombre de semis, Circonférence à 1.30m, Diamètre du houppier, Nombre de tiges, Épaisseur de l'humus, Profondeur du sol, Facteur d'élancement, Hauteur totale) et les individus sont représentés par les 39 placettes échantillonnées (**P₁-P₃₉**).

L'ACP que nous avons réalisé sert à montrer l'effet combiné de plusieurs facteurs sur la régénération du cèdre de l'Atlas. Elle a porté sur les paramètres dendrométriques et structuraux ainsi que sur les conditions du site, notamment les paramètres stationnels (altitude, exposition et conditions édaphiques).

Logiciels utilisés : Les logiciels Excel, SPSS et le logiciel R (version 3.4.3) ont été utilisés pour calculer les statistiques descriptives et multivariées.

Chapitre V

Résultats, Analyse et
Discussion

CHAPITRE V : RÉSULTATS, ANALYSE ET DISCUSSION

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats de l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas en fonction des paramètres étudiés (stationnels, dendrométriques et structurels du peuplement, pédologiques et physiques). Une analyse des résultats et leur discussion nous permettront de tirer les conclusions adéquates à même de nous apporter une réponse à la problématique de la régénération du cèdre de l'Atlas dans le Parc National du Djurdjura.

I. Constat établi sur le terrain : Description globale de la régénération du cèdre de l'Atlas au Parc National du Djurdjura.

L'analyse du tableau 15 permet de déduire ou de relver certaines informations sur la régénération en fonction de certains paramètres stationnels.

1. Forme des zones de régénération

Les zones de régénération échantillonnées présentent des formes géographiques différentes. Sur les 39 placettes échantillonnées, 23 placettes étaient installées dans des trouées de forme circulaire (O), 10 placettes installées dans des trouées présentant une forme en fer à cheval (C) et seulement 6 placettes étaient installées à la lisière forestière. Les trouées circulaires (en O) et les semi-trouées (C) ont été rencontrées dans les endroits incendiés (G8-Clôture, Thaouyalt Erablière, Thaouyalt Incendié, Amalou Voutlam, Ainseur Guidawènes 1 et 2, Thabourth Bouanssaf, etc.), les vieilles cédraies et les peuplements situés sur des sites ventés.

2. Sens et orientation de la régénération

Concernant le sens ou l'orientation de la régénération, on peut dire, sur la base de nos constatations sur le terrain, qu'il suit généralement la forme ou la configuration géométrique de la trouée. Elle prend plusieurs directions :

- 2.1. Diffuse et sans direction privilégiée dans les zones où l'ouverture du peuplement est grande.
- 2.2. Centripète dans les trouées circulaires où la plupart des individus de régénération se dirigent vers le centre où il y a un maximum d'éclairement.
- 2.3. Centrifuge en suivant une direction donnée, généralement, c'est le cas des pseudo-trouées (semi-trouées) où la régénération va dans le sens de l'ouverture du « C ».
- 2.4. Front de régénération linéaire, cas rencontré généralement dans la régénération en lisière de peuplement.

L'observation et l'analyse minutieuse des placettes d'échantillonnage, montrent que la régénération se produit dans ces endroits recevant de l'éclairage lumineux et se montre très réduite dans les cédraies à couvert fermé.

Tableau 15 : Synthèse sur le sens de régénération du cèdre de l'Atlas dans la zone d'étude

	Régénération par trouée	Sens de la régénération
Ait Ouabanes	Thiradhlimines	diffuse
	Assamar Teffah	sens de la pente- diffuse
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	Centripète
	Ainseur Guidawène 2	Centripète
	Thabourth Bouanssaf	diffuse est-ouest
	Agouni Vouthouvas	diffuse est-ouest
	Darna Thazougaghth	Diffuse
Tikjda	Amalou Voutlam	Centripète
	Thigounathines	Centripète
	Thighzerth CAF	Centripète
	Thighzerth Toumlilt	diffuse mais concentrée au centre
	Taouyalt Erablière	diffuse mais concentrée au centre
	Bas route de Thighzerth	Centripète
Tala Guilef	Auberge Nord	centrifuge vers le nord-sens de la pente
	Ighil Inguel 1	centrifuge vers l'ouest
	Ighil Inguel 2	Centripète
	Ighil Inguel 3	régénération en plage (centripète)
	Ainseur Oudhafal	plage plus ou moins diffuse
	Ikharadhènes 1	diffuse vers le sens de la pente
	Ikharadhènes 2	Centripète
	Ikharadhènes 3	centrifuge vers le sud (ouverture)
Tirourda	Laazaiv	diffuse sens de la pente

	Régénération par semi-trouées (C serré ou fer à cheval)	Sens de la régénération
Ait Ouabanes	Chrèa Teffah	Centrifuge est-ouest
Tala Rana	Agouni Bouzid	diffuse-sens de la pente

Tikjda	G8-Hôtel	plage (centrifuge vers le sud)
	Thighzerth Réserve	Diffuse
	Tala Lahnak	centrifuge vers l'est
	Thizi N'Rbet	centrifuge est-ouest
	Thaouyalt Incendié	diffuse est-ouest
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	diffuse vers le nord-est.
	Auberge Sud	centrifuge vers l'écran de <i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>)
Tirourda	Thavrit Izayatènes	diffuse-sens de la pente

	Régénération en lisière	Sens de la régénération
Ait Ouabanes	Amalou Khelifa	Sens de la pente- diffuse
	Zgamouz	front de régénération mais diffuse
	Thizi Ivaoualènes	diffuse sens de la pente
Tala Rana	Néant	Néant
Tikjda	G8- Clôture	front de régénération vers le sud
Tala Guilef	Tazrout Tamelalt 1	Régénération couloir-sens pente vers l'ouest
	Tazrout Tamelalt 2	direction est-ouest
Tirourda	Azrou Amelal	diffuse-sens de la pente

3. Densité de régénération et lumière

Quand à l'abondance de la régénération, on peut dire qu'elle varie d'une station à une autre et à l'intérieur même de la station. Une observation comparative des cinq stations

d'échantillonnage, nous a permis de ressortir la zone de Tikjda comme étant la station où la régénération apparaît plus dynamique en formant des plages d'une densité de régénération très élevée, particulièrement du côté du G8 ayant fait l'objet d'incendie en 2003 et du côté de Djebel Thaouyalt également incendié en 2007.

Par contre dans les stations de Tala Guilef (vieille cédraie d'Ighil Inguel), et Ait Ouabane (Amalou Khelifa et Thiradhlimines), la régénération existe dans les petites ouvertures opérées dans le peuplement ou en lisière de forêt. Elle ne forme généralement pas de plages bien venantes comme c'est le cas à Tikjda.

4. Régénération et sol

Notre constat sur le terrain a porté également sur la régénération abondante relevée sur les sols meubles, contrairement aux placettes où le sol est tassé, superficiel avec un affleurement rocheux apparent, cas de la station de Tirourda.



Photo 5 : Régénération sur substrat meuble (Tala Guilef). Photo A. Alileche (2014).

5. Régénération et pente

Notons que, dans les placettes à forte pente, il nous a été donné de constater que, la régénération se fait selon le sens de la pente (Agouni Bouzid, Tazrout Tamelalt1).

6. Régénération et végétation accompagnatrice

Sur la base de nos observations sur le terrain, nous avons constaté que, lorsque les trouées sont petites, il n'y a généralement pas d'espèces héliophiles, particulièrement sur les expositions nord. Au contraire, lorsque les trouées sont plus importantes (plusieurs m²) ou à la lisière des peuplements, des espèces héliophiles sont présentes.

L'installation et l'évolution de la végétation accompagnatrice a attiré notre attention sur l'établissement des semis de cèdre. Nous avons remarqué que des semis de cèdre poussent dans les plages formées par *Juniperus communis sbsp hemispherica* au niveau de certaines

placettes. C'est le cas de l'Auberge Sud à Tala Guilef, Tizi N'Rbet et Thighzerth Toumlilt à Tikjda. Au contraire, dans les placettes d'Amalou Khelifa et Thiradhlimes (Station Ait Ouabane), où l'on a relevé la présence abondante de la fougère aigle, la régénération est très faible.



Photo 6: Installation par facilitation des plants de cèdre dans une plage de *Juniperus communis sbsp hemispherica* (Thizi N'Rbet-Tikjda). Photo A. Alileche (2014).

7. Dimension des trouées de régénération

Les dimensions des trouées sont variables d'une placette à une autre. Au Parc National du Djurdjura, généralement, les trouées sont petites à moyennes (au sens d'Oldeman, 1990), c'est-à-dire que, leur superficie oscille entre 200 m² et 600 m².

8. Dispersion des graines et répartition spatiale de la régénération

La répartition des individus de régénération dans notre zone d'étude montre globalement, une tendance à l'agrégation. Dans certaines placettes (Thizi Toumlilt, Zgamouz, G8-Hôtel, Tala Lahnak, etc), nous avons observé plusieurs cohortes de régénération de *Cedrus atlantica* traduisant une dispersion groupée des graines (Pho.7). Ces cohortes sont différenciables sur le terrain, par l'intermédiaire de l'âge ou dimensions des semis de cèdre. Parfois, elle est proche d'une répartition au hasard.



Photo 7: Répartition agrégée des semis de cèdre. **Photo 8:** dispersion des plants de cèdre autour de l'arbre-mère (Tala Guilef). Photo A. Alileche (2014).

9. Gradient de colonisation en fonction de la topographie du relief

Une observation remarquable est à souligner dans le cas de la cédraie longeant le canyon de Thabourth Al Ainseur. La colonisation du cèdre de l'Atlas dans cet endroit s'est faite dans une direction privilégiée, allant du Nord-Est vers une exposition Sud-Ouest.

10. Régénération et distance au peuplement adulte (zone d'influence de l'arbre)

Nous avons constaté que la densité de régénération diminue avec l'éloignement du peuplement (Pho.8).

11. Régénération naturelle du cèdre dans les sites incendiés

Dans la cédraie du Parc National du Djurdjura, notamment les endroits incendiés comme la zone du Grand Huit et du Djebel Thaouyalt, Ainseur Guidawène 1 et 2, le cèdre a montré des aptitudes de régénération naturelle impressionnantes. La régénération du cèdre s'est bien établie à la suite du passage de feu qui a ravagé divers peuplements de la cédraie, notamment celle de Tikjda et de Tala Rana.

12. Régénération naturelle et densité du couvert du peuplement

Dans les cédraies très denses, la production grainière est faible; par conséquent, pas de régénération (cas de la cédraie d'Ighil Inguel et de l'Ainseur Oudhafal). En revanche, une fructification abondante s'observe surtout dans les peuplements clairs et sur les arbres dont la cime est bien dégagée (Harfouche & Nedjahi, 2003), comme c'est le cas à Amalou Voutlam, G8-Clôture et Tala Lahnak à Tikjda.

Conclusion

Dans les cédraies du Parc National du Djurdjura, sur la base du constat établi, nous pouvons dire qu'il y a un gradient de colonisation du cèdre de l'Atlas variable d'une placette à une autre en fonction des paramètres physiques (sol meuble, éclairage lumineux, sens de la pente, topographie), paramètres du peuplement (disposition des arbres semenciers, densité du peuplement et discontinuité du couvert) et de paramètres de perturbation du milieu (chablis, incendies, etc.).

Notons que lors de notre protocole expérimental, nous n'avons pas identifié l'origine de la formation des trouées. Pour certaines placettes, des sujets morts sont toujours par terre, et parfois, on y trouve des signes de passage de feu, mais rarement des signes de coupes illicites. Par conséquent, l'absence de données fiables sur la cyclicité des passages de feu et les attaques parasitaires, ne facilite pas l'identification de l'origine des trouées. C'est pourquoi, nous pensons qu'entre les chablis, la mort d'arbres sur pied par sénescence, les attaques parasitaires, les incendies et les coupes anthropozoïques, il faut bien faire la part de chaque facteur.

Au final, nous pouvons résumer nos principaux résultats établis sur la base de notre sens d'observation comme suit :

Les placettes d'échantillonnage (PE) à faible densité de régénération sont soit (pour la majorité) des cédraies denses où le recouvrement est très important, soit des cédraies dans lesquelles se trouve peu de semenciers et une végétation bloquante.

Pour démontrer ces observations et les valider de manière fiable, nous avons procédé par des analyses statistiques descriptives et analytiques réalisées dans ce sens.

II. Résultats et analyse des données pédologiques

Les résultats obtenus à l'issue des analyses pédologiques effectuées au niveau du laboratoire de l'Institut National des Recherches Forestières (INRF) de Bainem, ont été synthétisés et regroupés dans le tableau 16 et représentés graphiquement par des secteurs (camemberts), afin de mieux illustrer la variation des paramètres pédologiques choisis entre les différentes unités d'échantillonnage.

Tableau 16: Synthèse des résultats pédologiques

Stations	Placettes.	PS	E.Hu (cm)	pH	N.pH	TXT.	Mo (%)	R.MO	C.E	C. S.
^a ^b	Amalou.Khelifa.	30	2	7,5	AI	LS	9,48	TRM	0,1	N.S

	Thiradhlimes.	<u>25</u>	<u>2</u>	7,3	N	LS	4,73	RIM	0,4	N.S
	Zgamouz	<u>20</u>	1,5	7,9	AI	LS	20	TRM	0,1	N.S
	Chr�ea.Teffah	27	1,5	7,1	N	LS	16,84	TRM	0,1	N.S
	Assamar.Teffah	<u>22</u>	1,3	7,6	AI	LS	18,95	TRM	0,1	N.S
	Thizi.Ivaoualène.	<u>20</u>	1,3	7,8	AI	S	8,43	RIM	0,4	N.S
Tala Rana	Ainseur.Guidaw�n1	<u>25</u>	<u>3</u>	7,8	AI	LS	21,59	TRM	0,1	N.S
	Ainseur.Guidaw�n 2	<u>22</u>	<u>2</u>	7,4	AI	LS	17,89	TRM	0,1	N.S
	Agouni.Bouزيد.	<u>25</u>	<u>3</u>	7,3	N	LS	17,37	TRM	0,1	N.S
	Thabourth.Bounssaf	8	<u>2</u>	6,9	N	LS	23,15	TRM	0,1	N.S
	Agouni Vouthouvra.	12	1,5	7,4	N	LS	12,62	TRM	0,05	N.S
	Darna Thazougaght.	13	<u>2</u>	6,7	N	LS	24,73	TRM	0,1	N.S
Tikjda	Amalou Voutlam	15	1,5	6,5	N	LS	15,26	TRM	0,1	N.S
	G8-Cl�ture	<u>25</u>	<u>2,5</u>	6,9	N	LS	4,73	RIM	0,1	N.S
	G8-H�tel	<u>20</u>	1,3	7,1	N	L	18,42	TRM	0,5	N.S
	Thigounathines	15	1,1	6,3	N	LS	20,52	TRM	0,5	N.S
	Thighzerth Réserve	<u>20</u>	1,3	6,6	N	LS	7,37	RIM	0,1	N.S
	Thighzerth CAF	<u>23</u>	1,6	7,7	AL	LS	14,21	TRM	0,6	L.S
	Thighzerth Toumlilt	<u>21</u>	1,3	7,4	N	LS	1,58	PVM	0,1	N.S
	Thaouyalt Erablière	<u>25</u>	5	6,2	N	LS	21,05	TRM	0,3	N.S
	Tala Lahnak	<u>20</u>	1,8	6,6	N	LS	13,16	TRM	0,2	N.S
	Thizi N'Rbet	<u>22</u>	1,3	6,4	N	LSA	6,84	RIM	0,7	N.S
	Thaouyalt Incendi�	<u>20</u>	1,5	6,4	N	LS	20,53	TRM	1,4	L.S
	Thighzerth Bas	16	1,1	7	N	LS	7,37	RIM	0,4	N.S
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	<u>20</u>	<u>2</u>	6,5	N	LSA	7,89	RIM	0,2	N.S
	Auberge Sud	18	1,3	7,6	AI	LS	7,36	RIM	0,06	N.S
	Auberge Nord	10	1,3	6,8	N	L	9,48	TRM	0,2	N.S
	Ighil Inguel 1	15	1,4	6,5	N	SL	2,63	MRM	0,2	N.S
	Ighil Inguel 2	12	1	6,8	N	LS	18,95	TRM	0,6	N.S
	Ighil Inguel 3	10	<u>3,5</u>	6,5	N	LSA	7,89	RIM	0,07	N.S
	Tazrout Tamelalt 1	<u>23</u>	5,3	7,1	N	L.S	24,22	TRM	0,2	N.S
	Tazrout Tamelalt 2	<u>25</u>	1,3	7,4	N	LS	9,99	TRM	0,1	N.S
	Ainseur Oudhafal	<u>25</u>	5	7	N	LSA	3,16	MRM	0,08	N.S

	Ikharadhenes 1	<u>20</u>	1,1	6,7	N	LS	11,58	TRM	0,2	N.S
	Ikharadhenes 2	<u>20</u>	1,6	6,8	N	SL	4,21	RIM	0,7	N.S
	Ikharadhenes 3	<u>20</u>	7	7,59	Al	LSA	7,89	RIM	0,4	N.S
Tirourda	Azrou Amelal	15	<u>2</u>	7,48	Al	LS	12,9	TRM	0,1	N.S.
	Tavrit Izayatènes	18	<u>3</u>	7,45	Al	LSA	15	TRM	0,09	N.S
	Laazaives	10	<u>3</u>	7,45	Al	LS	21,22	TRM	0,2	N.S
Moyenne		19,28	2,16	7,06	N		13,1		0,26	NS

Epaisseur de l'humus (E.Hu): TP : très profond, P : profond, M : moyen, S : superficiel.

Profondeur du sol (PS) : TRP : très profond, P: profond, MP : moyennement profond et SP : superficiel.

Nature du pH (N.pH) : N : neutre, AL : alcalin

Texture du sol (TXT): LS : limono-sableuse, S : sableuse, L : limoneuse, LSA : limono-sablo-argileuse et SL : sablo-limoneuse.

Richesse en matière organique (R.MO) : PVM : pauvre, MRM : moyennement riche, RIM : riche et TRM : très riche en matière organique.

Conductivité électrique : CE.

Caractéristiques du sol (CS) : non salé (NS)

1. Texture du sol

L'analyse du tableau 16 et des sectoriels (Fig.10) au niveau des différentes placettes d'échantillonnage, a permis de faire le constat suivant :

-Station Ait Ouabanes

Toutes les placettes sont de type limono-sableuse, à l'exception de celle de Tizi Ivaoualène qui est à texture sableuse.

-Station Tala Rana

Au niveau de cette station, la texture obtenue est également limono-sableuse pour l'ensemble des placettes.

-Station Tikjda

Contrairement aux stations précédentes, celle de Tikjda, présente une diversité granulométrique avec quatre types de texture ; quoiqu'avec une nette dominance de la texture limono-sableuse soit 9/12 des placettes.

Les trois autres placettes sont de textures différentes. Elle est limoneuse pour la placette G8-Hôtel, sablo-limoneuse pour Thighzerth Toumlilt et limono-sablo argileuse pour Thizi N'Rbet.

- Station Tala Guilef

A l'instar de la station de Tikjda, celle de Talla Guilef se distingue également par une diversité texturale. L'analyse du tableau de synthèse et des graphiques sectoriels montre que, 5 placettes (soit 41.67%) sont de type limono-sableuse. Elles sont représentées par les placettes suivantes : Auberge sud, Ighil Inguel 2, Tazrout Tamelalt 1 et 2 et Ikharadhène 1.

Les placettes Thizi Toumlilt, Ighil Inguel3, Ainseur Oudhafal et Ikharadhène 3 sont à texture limono-sablo-argileuse. Enfin, la texture sablo-limoneuse n'est présentée que par deux placettes (Ighil Inguel 1 et Ikharadhène 2) et la texture limoneuse est rencontrée dans une seule placette, à savoir Auberge Nord.

- Station Tirourda

A Tirourda, nous avons enregistré deux types de texture. Limono-sableuse à Azrou Amelal et Laazaiv et limono-sablo-argileuse à Tavrit Izayatènes.

-Synthèse sur la texture du sol à l'échelle de la zone d'étude

L'analyse du tableau 16 et des graphiques en sectoriels (Fig.10 et Fig.11) conformément au triangle de texture (FAO, 1971), a permis de déterminer la classe texturale des sols pour l'ensemble de la zone d'étude. Celle-ci, présente des sols essentiellement limono-sableux (27 placettes, soit **69.23 %**), suivis par d'autres textures partagées entre sablo-limoneuses (03 placettes), limono-sablo-argileuses (06 placettes), limoneuses (02 placettes) et sableuse (01 placette). Les deux placettes à texture limono-sablo-argileuse, sont Thizi N'Rbet et Thavrit Izayatènes. Leurs taux d'argile sont compris dans la fourchette [15-25 %] avec des taux respectifs de 23.4% pour la placette Thizi N'Rbet et 34 % pour la placette Thavrit Izayatènes.

2. Profondeur du sol

L'analyse du tableau N° 16 révèle que sur les 39 placettes échantillonnées, nous avons 23 placettes (58.97 %) qui sont caractérisées par un sol profond, c'est-à dire dont la profondeur est comprise entre 20 et 25 cm. Pour les placettes à sol moyennement profond et superficiel, nous avons 07 placettes pour chaque catégorie. Les placettes à sol superficiel sont représentées par Thabourth Bouanssaf (8 cm), Agouni Vouthouvas (12 cm) et Darna Thazougaghth (13 cm) dans la station de Tala Rana, Auberge Nord (10 cm), Ighil Inguel 2 (12 cm) et Ighil Inguel 3 (10 cm) au niveau de Tala Guilef, et enfin la placette Laazaiv (10 cm) dans la station de Tirourda.

Concernant la catégorie de placettes à sol très profonds ($E > 25$ cm), nous avons enregistré seulement deux placettes (5.13 %) qui sont Amalou Khelifa (30 cm) et Chr ea Teffah (27 cm) dans la station Ait Ouabanes.

L'épaisseur de sol la plus faible est relevée au niveau de la placette Thabouth Bouanssaf (9 cm) et la valeur la plus élevée (30 cm) est enregistrée au niveau de la placette Amalou Khelifa. En moyenne, l'épaisseur du sol dans les placettes échantillonnées est de 19.28 cm.

3. Epaisseur de l'humus

Concernant l'épaisseur de l'humus estimée au niveau de chacune des placettes échantillonnées, l'analyse du tableau 16 montre que 22 placettes (56 %) présentent un humus de faible épaisseur (**Ep.hum** < **2cm**). La plupart des placettes sont situées à Tikjda (10 placettes), suivie de Tala Guilef (07 placettes). La valeur la plus faible (1 cm) est enregistrée au niveau de la placette Ighil Inguel 2 et la valeur la plus élevée (07 cm) est enregistrée au niveau de la placette Ikharadh enes3 (Tala Guilef). Quant aux placettes à épaisseur d'humus moyenne ($2 \leq \text{Ep.hum} \leq 4$), nous avons enregistré 13 placettes (33 %). Elles sont réparties entre les différentes stations, avec une dominance pour la station de Tala Rana (05 placettes) suivie de Tirourda (03 Placettes). Enfin, pour les placettes présentant une couche d'humus importante (**Ep.hum** > **4 cm**), seules 04 placettes (10 %) ont été enregistrées. Il s'agit de la placette Ikharadhenes 3 (7 cm), Ainseur Oudhafal (5 cm) et Tazrout Tamelalt1 (5.3cm)   Tala Guilef, et Taouyalt Erablière (5 cm)   Tikjda. L'épaisseur moyenne à travers la zone d'étude est de 2.16 cm.

4. pH ou réaction du sol

- Station Ait Ouabanes

L'analyse du tableau 16 et de la représentation graphique par secteurs de la nature du pH du sol (Fig.11) au niveau de la station des Ait Ouabanes, montre que **67%** des placettes (4/6) sont à pH alcalin et **33 %** (2/6) sont de type neutre. Les placettes dont le sol est à pH alcalin sont Amalou Khelifa, Zgamouz, Assamar Teffah et Tizi Ivaoualène et celles à pH acide sont Thiradhlimines et Chr ea Teffah.

- Station Tala Rana

Au niveau de la station de Tala Rana, **67%** des placettes (4/6) sont à pH neutre et **33 %** (2/6) sont de type alcalin. Les placettes dont le sol est à pH neutre sont Agouni Bouzid, Thabourth Bouanssaf, Agouni Vouthouvras et Darna Thazougaghth. Les placettes Ainseur Guidawènes 1 et 2 sont à pH alcalin.

- Station Tikjda

La majorité des placettes (**92%**) sont à pH neutre. Une seule placette (Thighzerth CAF), se distingue par un sol à pH alcalin.

- Station Tala Guilef

Dans la station de Tala Guilef, on constate que seulement deux placettes (17%) présentent un sol à pH alcalin. Il s'agit des placettes Auberge sud et Ikharadhènes 3. Le reste des placettes (10/12), soit 83% sont à pH neutre.

Pour la zone d'étude, il ressort de l'analyse du tableau 17 et de la figure 11 que, **69%** des placettes échantillonnées (27 placettes) présentent un sol à pH neutre et 31 % (12 placettes) à pH alcalin. On déduit de cette analyse que les sols de la zone d'étude ne présentent aucune acidité.

- Station Tirourda

Toutes les placettes présentent un pH alcalin.

Globalement pour notre zone d'étude, l'analyse conjointe du tableau de synthèse des analyses pédologiques et de leurs représentations graphiques, nous révèle que la majorité des placettes échantillonnées (28 placettes, soit **71.79 %**) sont à pH neutre. Le reste des placettes est partagé entre des placettes à pH alcalin (7 placettes, 18 %), placettes à pH acide (3 placettes, 8%) et une placette (3%) à pH peu acide. Au total donc, nous avons 35 placettes à sol non acide, soit un taux de **90%**.

5. Matière organique du sol (%)

Pour la richesse en matière organique (MO %) des placettes échantillonnées, nous avons recensé 08 placettes (20.51 %) qui sont très riches (TRMO), 09 placettes (23.08 %) riches (RIMO), 05 placettes (12.82 %) moyennement riches (MRMO) et 17 placettes (43.59 %) pauvres (PVMO). On relève du tableau que sur les 17 placettes PVMO, nous avons 09 placettes (52.94%) qui appartiennent à la station de Tala Guilef, suivi de Tikjda avec 05 placettes (29.41%) et de la station d'Ait Ouabane avec 03 placettes seulement. Quant aux placettes dont le taux de MO est riche à très riche, on compte 10 placettes sur 17 (58.82 %) qui sont situées sur le versant sud du Djurdjura (Tala Rana et Tikjda).

La placette ayant enregistré le taux de MO le plus élevé (24.73%) étant la placette Darna Thazougaghth (Tala Rana), suivie de Tazrout Tamelalt1 (24.22%) à Tala Guilef et le taux le plus faible (1.58 %) a été enregistré au niveau de la placette Thighzerth Toumlilt (Tikjda), suivie de la placette Ainseur Oudhafal (3.16 %) à Tala Guilef. Le taux de MO moyen dans la zone d'étude est de 13.1%, soit un taux moyen de MO.

6. Conductivité électrique et caractère du sol

Les valeurs de la conductivité électrique mesurées au laboratoire de l'INRF (Tab.16) nous ont permis de déduire que les échantillons de sol analysés pour la cédraie du Parc National du Djurdjura ont révélé des valeurs toutes inférieures à la limite de détection pour la salinité arrêtée par Durand (1983) qui est de 500 us/cm.

L'analyse du tableau 16 montre que les valeurs de conductivité électriques les plus faibles (≤ 0.08), ont été enregistrées au niveau de cinq placettes (Auberge Sud, Ighil Inguel3 et Ainseur Oudhafal (Tala Guilef), Agouni Vouthoufras (Tala Rana) et Thavrit Izayatènes (Tirourda).

Les valeurs de conductivité électrique les plus élevées (> 0.5) ont été enregistrées au niveau des placettes suivantes : Ighil Inguel2 et Ikharadhène (Tala Guilef), G8-Hôtel, Thigounathines, Chalet du CAF, Thizi N'Rbet et Thaouyalt Incendiée (Tikjda). Toutefois, ces valeurs restent de loin très inférieures à la limite de détection de la salinité.

Dans le reste des placettes, les valeurs sont intermédiaires et restent de loin inférieures à la limite de détection de la salinité.

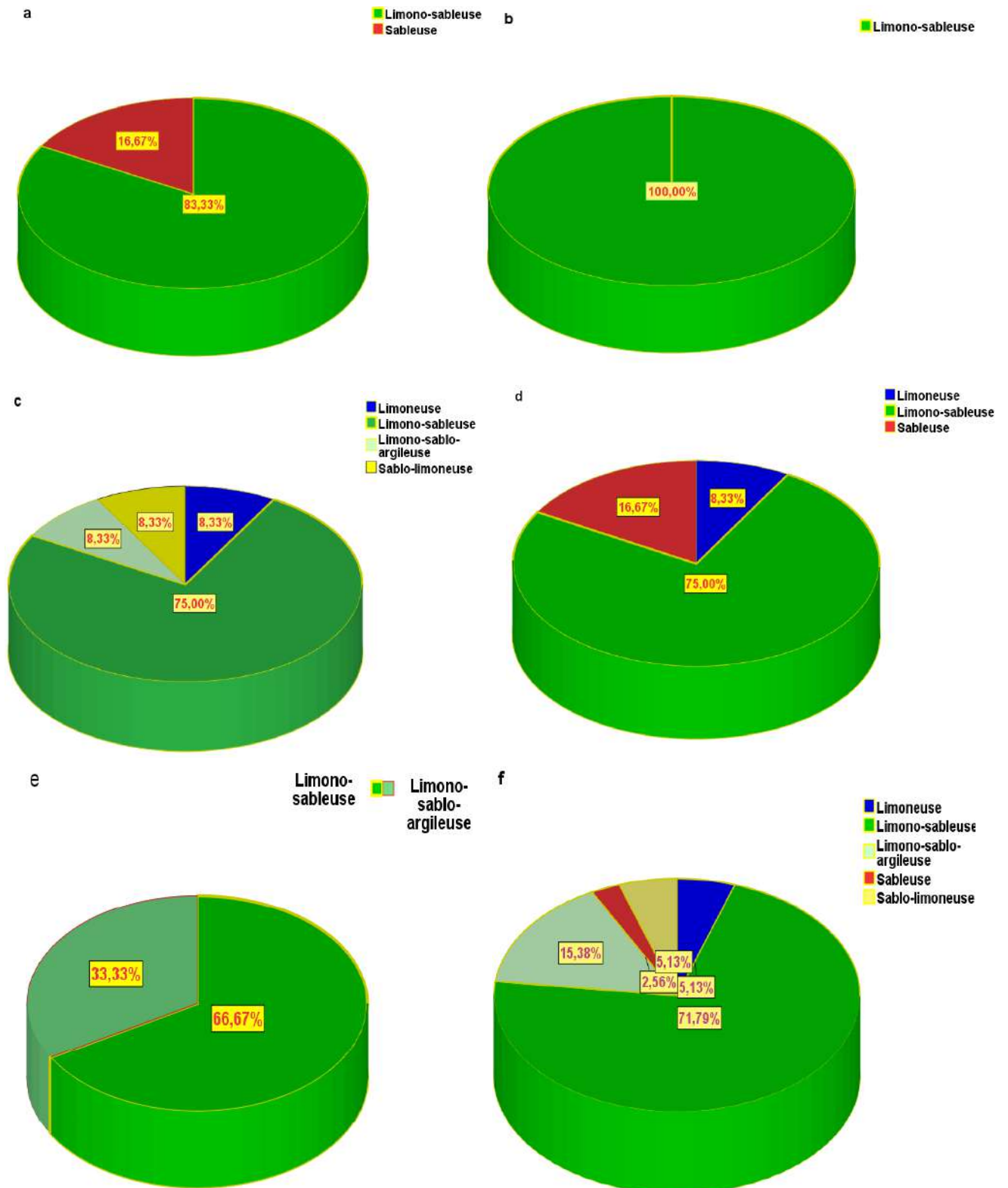


Figure 11 : Texture du sol par station d'échantillonnage et pour la zZone d'étude. a: Ait Ouabane, b : Tala Rana, c : Tikjda, d : Tala Guilef, e : Tirourda, f : Zone d'étude.

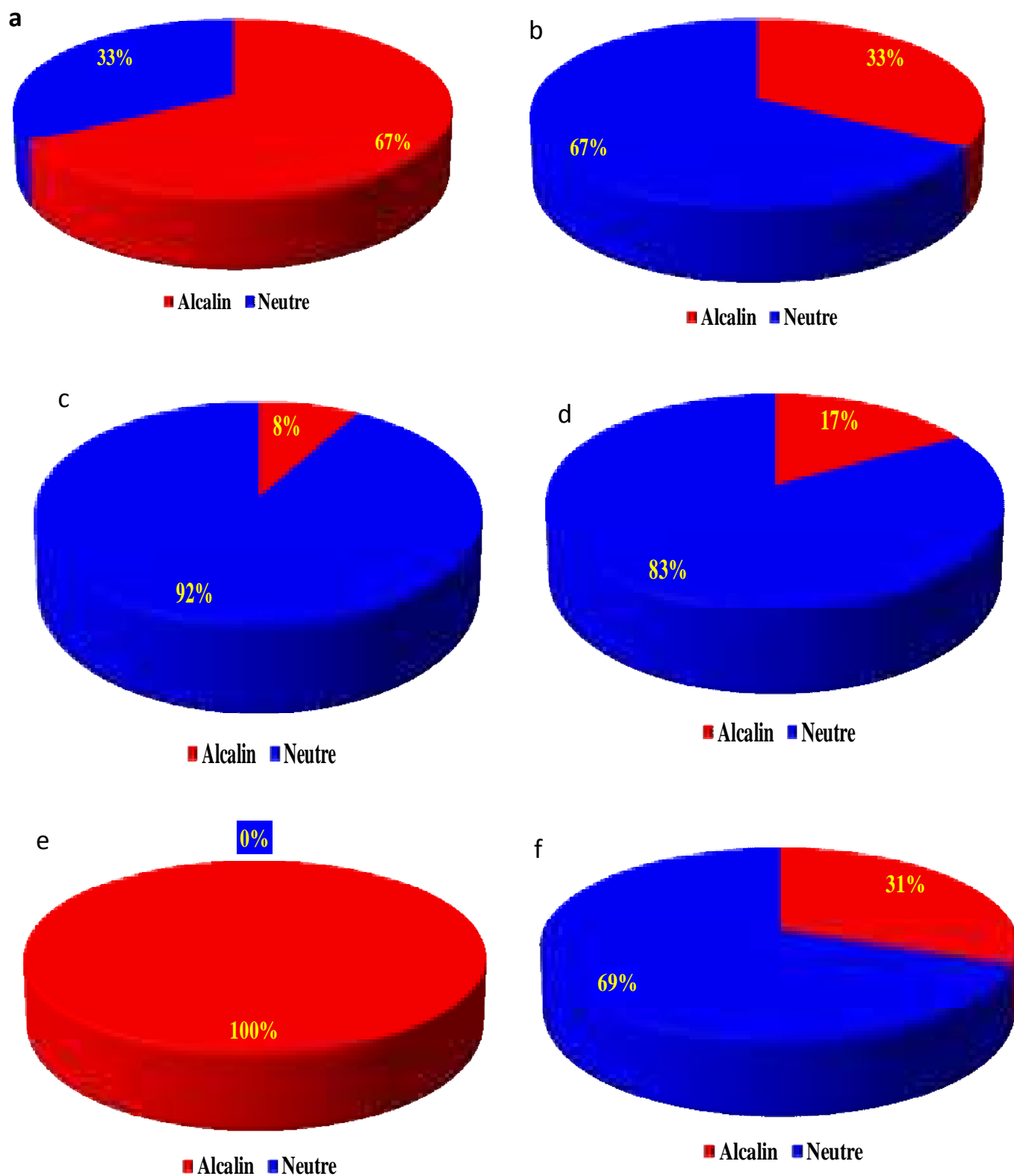


Figure 10 : Nature chimique du sol par station d'échantillonnage et pour la zone d'étude. a : Ait Ouabane, b : Tala Rana, c : Tikjda, d : Tala Guilef, e : Tirourda, f : Zone d'étude.

Profil structural du peuplement

1. Structure horizontale ou distribution des catégories de diamètre (DHP)

Tableau 17: Richesse dimensionnelle du peuplement

Peuplement en déséquilibre : -Absence de catégories de bois -Disproportion entre les catégories de bois.	Peuplement en déséquilibre : -Présence de toutes les catégories de bois -Disproportion entre les catégories de bois.	Peuplement en équilibre : - Présence de toutes les catégories de bois - Répartition relativement équilibrée des catégories de bois.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aamlou Khelifa : PB 2. Assamar Teffah : GB-TGB. 3. Ainseur Guidawene 1 : PB 4. Ainseur Guidawene 2 : P-PB-TGB 5. Thabourth Bouanssef : PB-BM-GB 6. Agouni Vouthouvres : PB 7. Darna Thazougaghth : PB 8. Amalou Voutlam : PB 9. G8-Hôtel : TGB 10. Thighzerth Réserve : PB 11. Thizi N'Rbet : GB 12. Thaouyalt Incendiée : BM 13. Taouylat Incendiée : BM 14. Thighzerth Bas : GB 15. Tizi Toumlilt : GB 16. Auberge Sud : TGB 17. Auberge Nord : BM-TGB. 18. Ighil Inguel2 : PB 19. Ighil Inguel3 : PB 20. Tazrout Tamelalt1 : BM 21. Tazrout Tamelalt 2 : BM 22. Ikharadhène 1 : P-TGB 23. Ikharadhene 3 : PB 24. Azrou Amelal : BM 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Thiradhlimes 2. Zgamouz 3. Chréa Teffah 4. Tizi Ivaoualenes 5. Agouni Bouzid 6. Thighzerth CAF 7. Thighzerth 8. Taouyalt 9. Ighil Inguel 1 10. Ainseur Oudhafal 11. Laazaiv 	<ol style="list-style-type: none"> 1. G8-Clôture 2. Thaouyalt 3. Erablière 4. Tala Lahnak 5. Ikharadhènes 2 6. Tavrit Iayatenes
<p>PB : 11 placettes BM : 07 placettes TGB : 06 placettes GB : 05 placettes P : 02 placettes</p>		

Station Ait Ouabane**1) Amalou Khelifa**

La distribution des catégories de diamètre est irrégulière avec une absence en petits bois. Il y a un nombre réduit de semis avec assez de gros bois (arbres semenciers). C'est un peuplement en déséquilibre.

2) Thiradhlimines

On relève une présence de toutes les catégories de bois avec une distribution presque en S couché. Comme on note beaucoup de semis avec un déficit en gros bois.

3) Zgamouz

La distribution présente une allure irrégulière avec une présence de toutes les catégories de bois. Cependant, on constate un déficit en perches et petits bois ; ce qui laisse penser à une régénération récente.

4) Chréa Teffah

La distribution est irrégulière avec une présence de toutes les catégories de bois. Néanmoins, on relève un effectif élevé de semis et moins de perches et petits bois ; ce qui laisse supposer que la régénération est récente.

5) Assamar Teffah

On relève l'absence des catégories de gros et très gros bois. La distribution est de type, exponentielle décroissante (J inversé), c'est-à-dire une diminution régulière des effectifs avec les classes de diamètre. Le manque de semis comparativement aux autres placettes s'explique probablement par le manque d'arbres fructifères (Gros bois).

6) Tizi Ivaoualènes

Nous relevons la présence de toutes les catégories de bois avec une distribution presque exponentielle décroissante. Elle est presque en « J » inversé. On note un déficit important dans les classes 5 et 6 correspondant aux gros et très gros bois. La cloche est centrée sur la classe des perches, et le rapport jeunes /adultes est élevé ; ce qui permet de dire que le peuplement est jeune. Cette distribution diamétrique est équilibrée, dès lors que, le nombre de jeunes tiges est suffisamment élevé pour assurer le renouvellement de la cédraie.

Station Tala Rana**1) Ainseur Guidawènes 1**

La distribution est irrégulière avec beaucoup de semis en phase de régénération récente. Le peuplement est une vieille cédraie puisqu'il y a des gros bois et surtout des très gros bois mais avec un potentiel de régénération suffisant.

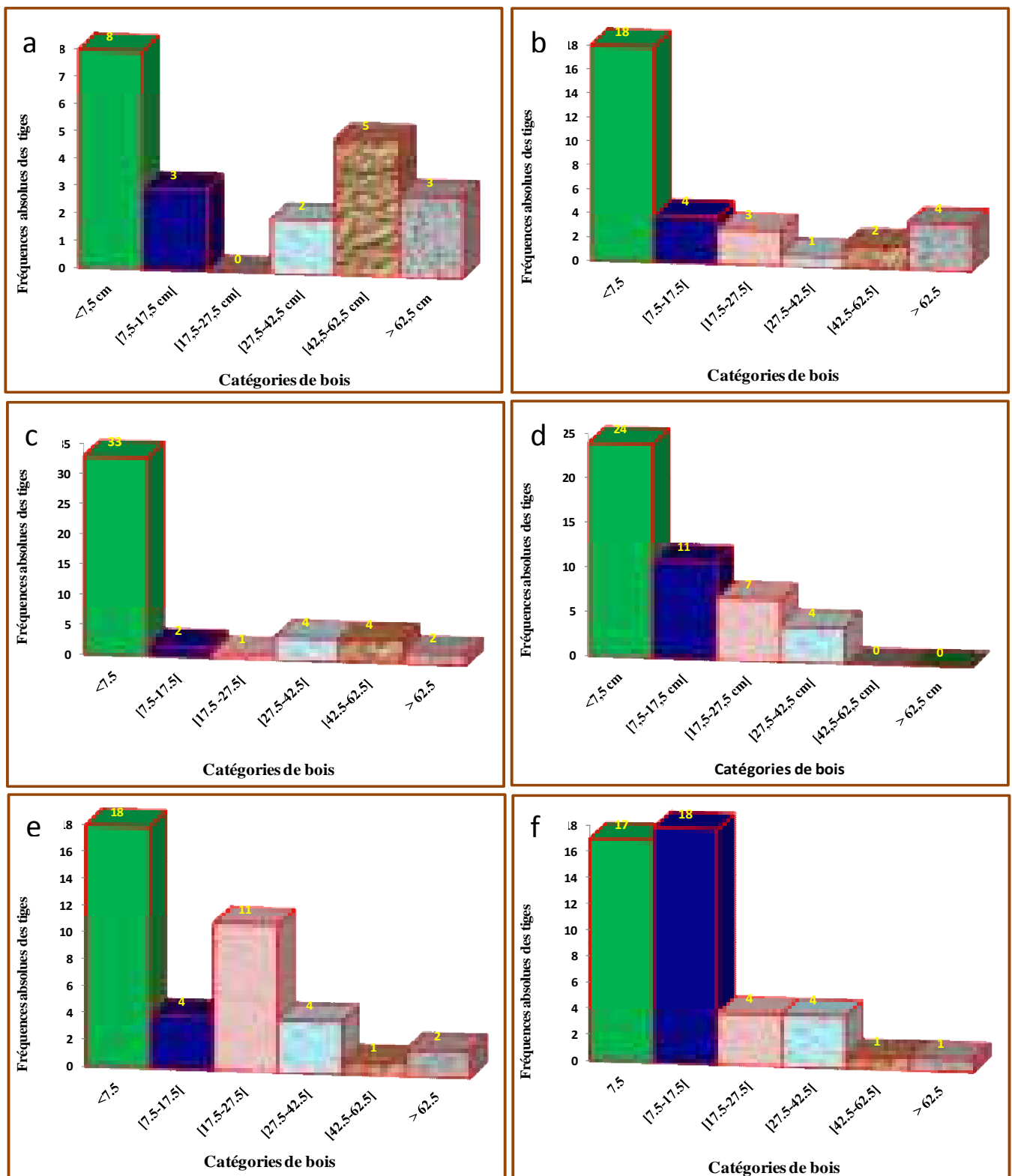


Figure 12 : Catégories de bois par placette dans la station Ait Ouabane. a: Amalou Khelifa, b: Thiradhlimes, c: Zgamouz, d: Assamar Teffah, e: Chréa Teffah, f: Thizi Ivaoualène.

2) Ainseur Guidawènes 2

La distribution est irrégulière. Il y a principalement deux catégories de bois (Semis et GB). Les catégories de perches, petits bois et très gros bois sont absentes. Nous avons les arbres fructifères-semis ; ce qui témoigne d'une régénération récente.

3) Agouni Bouzid

La distribution est régulièrement décroissante (L) avec un déficit dans la catégorie des gros bois et très gros bois. Nous avons un pic de semis suivi de quelques sujets du stade perchis et de petits bois ; ce qui permet de dire que la régénération est récente et le peuplement est très jeune.

4) Thabourth Bouanssaf

La distribution est irrégulière avec une absence totale des catégories de petits bois, bois moyens et gros bois. Nous avons un bon nombre de semis et un potentiel d'arbre semenciers suffisant (TGB). Dans cette vieille cédraie en régénération récente, on relève des traces d'incendie ; ce qui laisse supposer que l'ouverture de la trouée est également récente.

5) Agouni Vouthouvras

Absence de la classe des petits bois, et déficit dans les autres classes intermédiaires (P et BM). La bipolarité TGB-Semis reflète l'état récent de l'ouverture du peuplement et donc, une régénération récente.

6) Darna Thazougaght

Nous relevons l'absence de petits bois, un déficit dans la catégorie des semis et un pic (cloche) sous le stade perchis avec une régression en exponentielle à partir des bois moyens aux très gros bois. Probablement, il y a un blocage de recrutement du stade perchis au stade petits bois. Donc, nous avons un potentiel semencier et des recrues d'avenir (semis et perches) assez suffisants pour assurer le renouvellement de cette vieille cédraie d'altitude.

Station Tikjda

1) Amalou Voutlam

L'analyse de l'histogramme de distribution des catégories de diamètre montre que l'on a toutes les classes de bois, du semis jusqu'aux très gros bois. La structure est en « J » inversé avec une régression des effectifs selon l'évolution du diamètre, sauf que pour les arbres fructifères, la courbe de distribution remonte. C'est un arc de cercle caractérisant les futaies jardinées avec une bipolarité TGB-Semis.

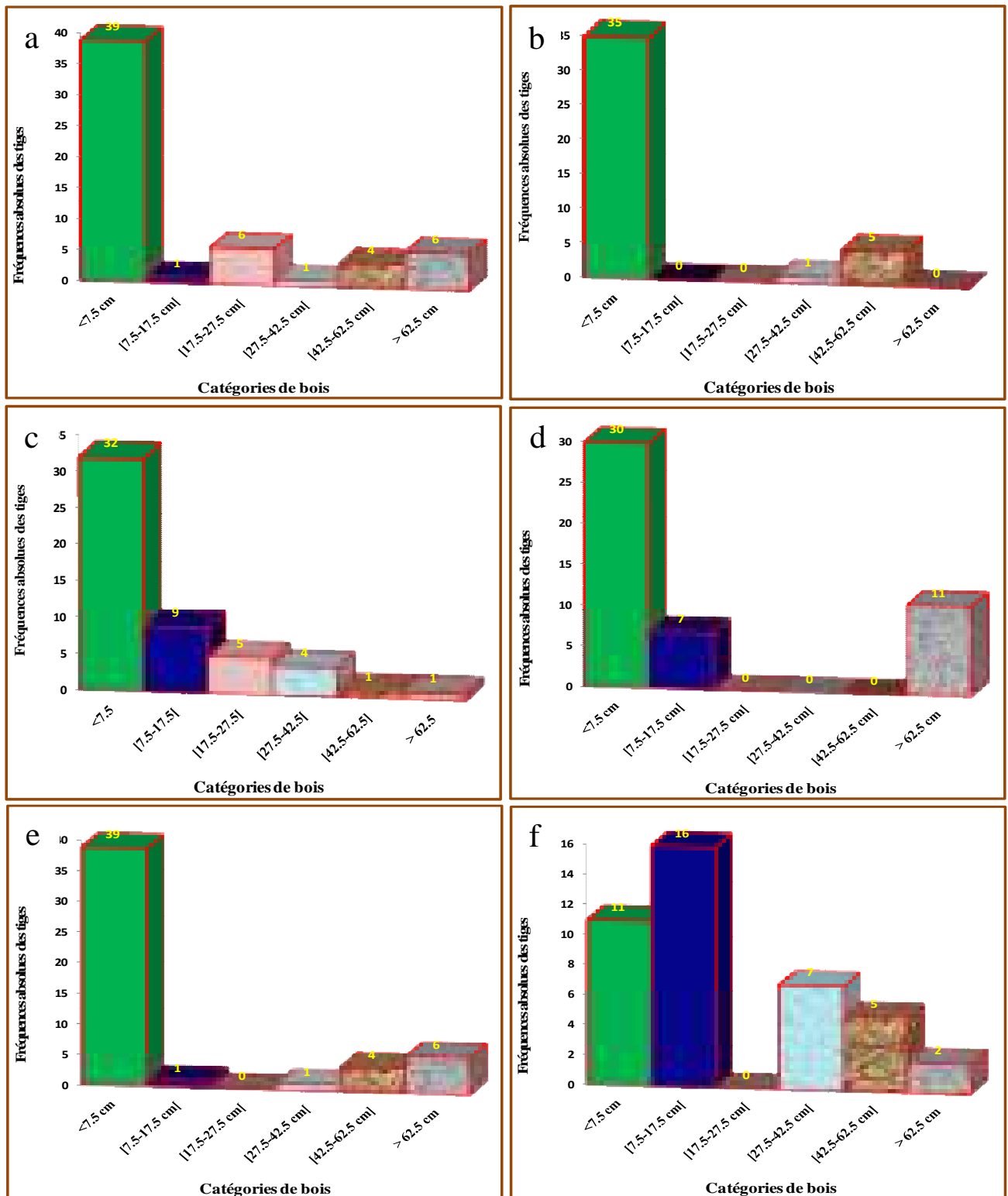


Figure 13: Catégorie de bois par placette dans la station de Tala Rana. a: Ainseur Guidawènes 1, b:Ainseur Guidawènes 2, c:Agouni Bouzid, d: Thabourth Bouanssef, e: Agouni Vouthouvras, f:Darna Thazougaghth.

2) G8-Clôture

L'allure de la courbe de distribution est en forme exponentielle régressive qui remonte au niveau des gros bois et très gros bois. Toutes les catégories de bois sont présentes, mais avec des effectifs déficitaires pour les classes allant du stade perchis au stade très gros bois (TGB). On constate une dominance des sujets appartenant à la régénération et un effectif réduit des arbres adultes fructifères qui assureront l'ensemencement du peuplement.

3) G8-Hôtel

On relève l'absence de la catégorie de grosseur TGB, ce qui témoigne de l'état non sénescent du peuplement. On remarque que, la courbe est proche du type « J » inversé avec un déficit prononcé en perches, bois moyen et gros bois. Le pic d'effectif est enregistré au niveau des semis avec un déficit des arbres adultes producteurs de semences. C'est une cédraie très jeune en pleine régénération.

4) Thigounathines

On remarque une distribution à tendance exponentielle régressive (L) avec une légère irrégularité des petits bois. C'est une cédraie située dans un petit ravin avec très peu de semenciers. La régénération est fort probablement assurée par un apport de graines des sujets voisins.

5) Thighzerth Réserve

La courbe est caractéristique d'une futaie irrégulière où l'on remarque l'absence de la classe des petits bois (PB) probablement due à une discontinuité temporelle de régénération et une insuffisance manifeste dans la classe des semenciers (BM, GB et TGB). Le peuplement est très jeune avec un potentiel des semis important, ce qui pourrait compenser le déficit relevé dans les classes intermédiaires.

6) Thighzerth CAF

Présence de toutes les catégories de bois avec une dégradation régulière des effectifs en fonction des catégories de diamètre. La tendance de la courbe est de type exponentielle régressive (J inversé). On relève un déficit prononcé dans les classes gros bois (GB) et très gros bois (TGB). L'effectif de semis est suffisant pour assurer la pérennité du peuplement malgré l'insuffisance avérée d'arbres semenciers (peuplement jeune).

7) Thighzerth Toumlilt

On enregistre toutes les catégories de bois avec un effectif très réduit dans les bois moyens (BM), les gros bois (GB) et les très gros bois (TGB). La courbe suit une tendance presque en S couché. C'est une cédraie très jeune avec un potentiel de régénération très important.

8) Thaouyalt Erablière

Toutes les catégories de bois sont présentes. Cependant, la dégradation des catégories de diamètres est irrégulière, notamment au niveau de la classe des gros bois (GB). L'allure est presque en L. Dans cette placette, il ya un déficit dans la catégorie des petits bois et très gros bois. Les classes des semis et tiges d'avenir (perches) présentent des effectifs importants mais la classe des semenciers (GB et TGB) présente un déficit dans ses effectifs; ce qui traduit l'état d'un vieux peuplement en rajeunissement.

9) Tala Lahnak

On constate une présence de toutes les catégories de diamètre. L'allure de la courbe de distribution est exponentielle (L), un peu étriquée au niveau de la classe des gros bois (GB). Nonobstant le faible effectif des arbres reproducteurs (GB), le peuplement est relativement en équilibre avec beaucoup de sujets en attente, à savoir les semis et à un degré moindre les perches qui constituent des sujets d'avenir.

10) Thizi N'Rbet

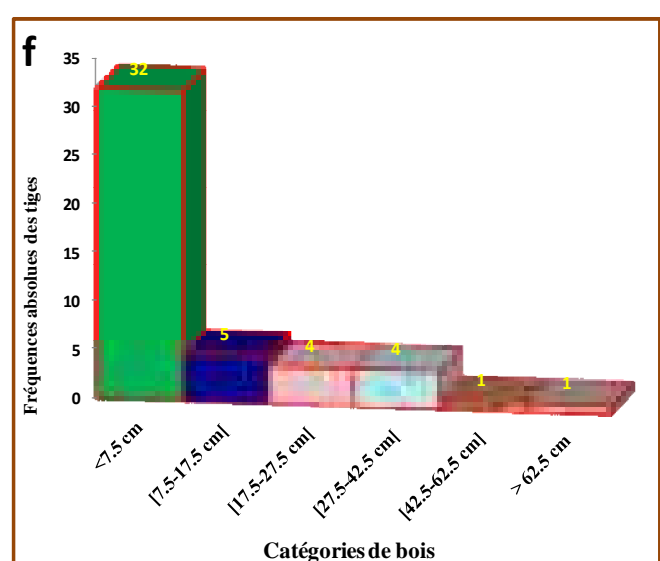
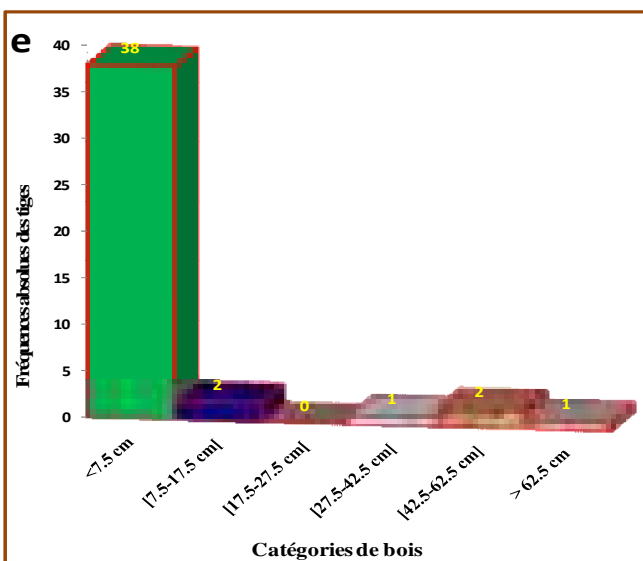
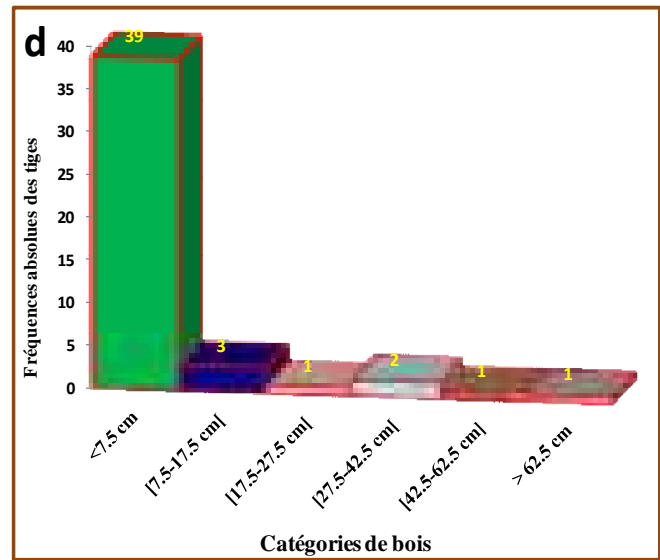
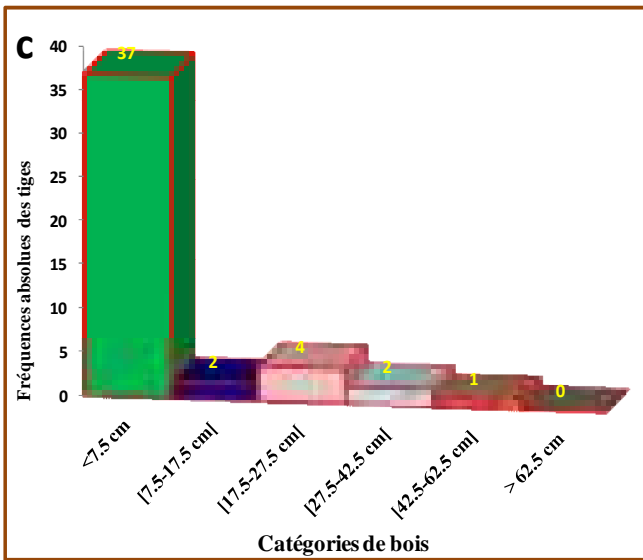
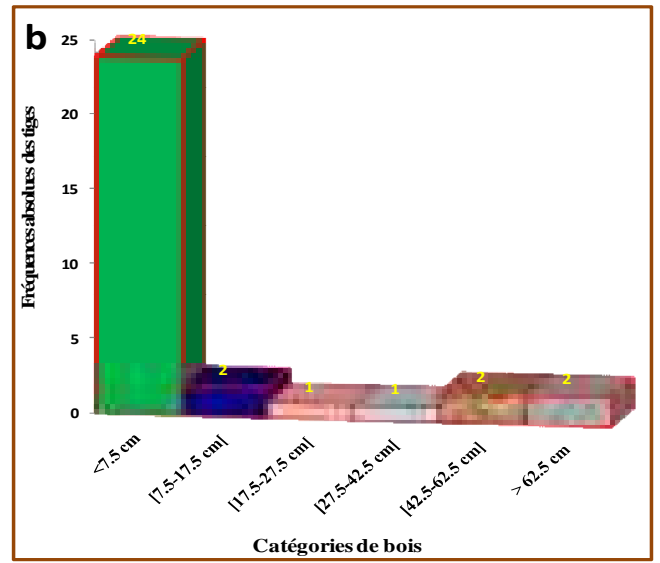
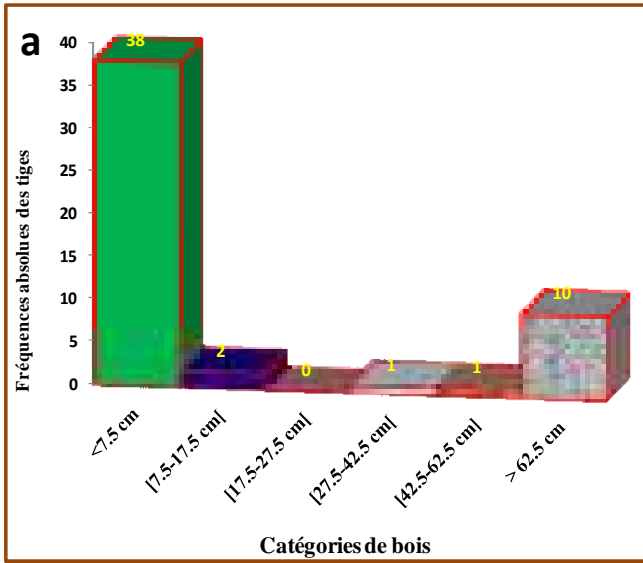
L'allure de la courbe est globalement irrégulière, reflétant l'état jardiné du peuplement. Toutes les catégories de diamètres sont présentes, mais on relève l'insuffisance des classes intermédiaires (P, PB, BM) et des très gros bois. Par contre, le nombre de semis est très élevé avec un nombre de semenciers assez acceptable pour assurer le renouvellement du peuplement. C'est une jeune futaie en lisière où les semis sont en touffe et protégés par le genévrier commun.

11) Thaouyalt Incendié

L'allure de la courbe est en "J" inversé avec une absence de la classe de diamètre bois moyen (BM). Il y a une forte dominance des semis et un déficit marqué en arbre reproducteurs (GB) et (TGB). C'est un peuplement incendié situé en forte pente ; et donc, la régénération est assurée par un potentiel séminal de proximité.

12) Route Thighzerth Bas

On constate une présence de toutes les catégories de bois mais avec une répartition irrégulière des classes de diamètre. L'allure prend une forme proche d'une exponentielle régressive (L). Le peuplement est assez équilibré avec suffisamment de semis et d'arbres reproducteurs.



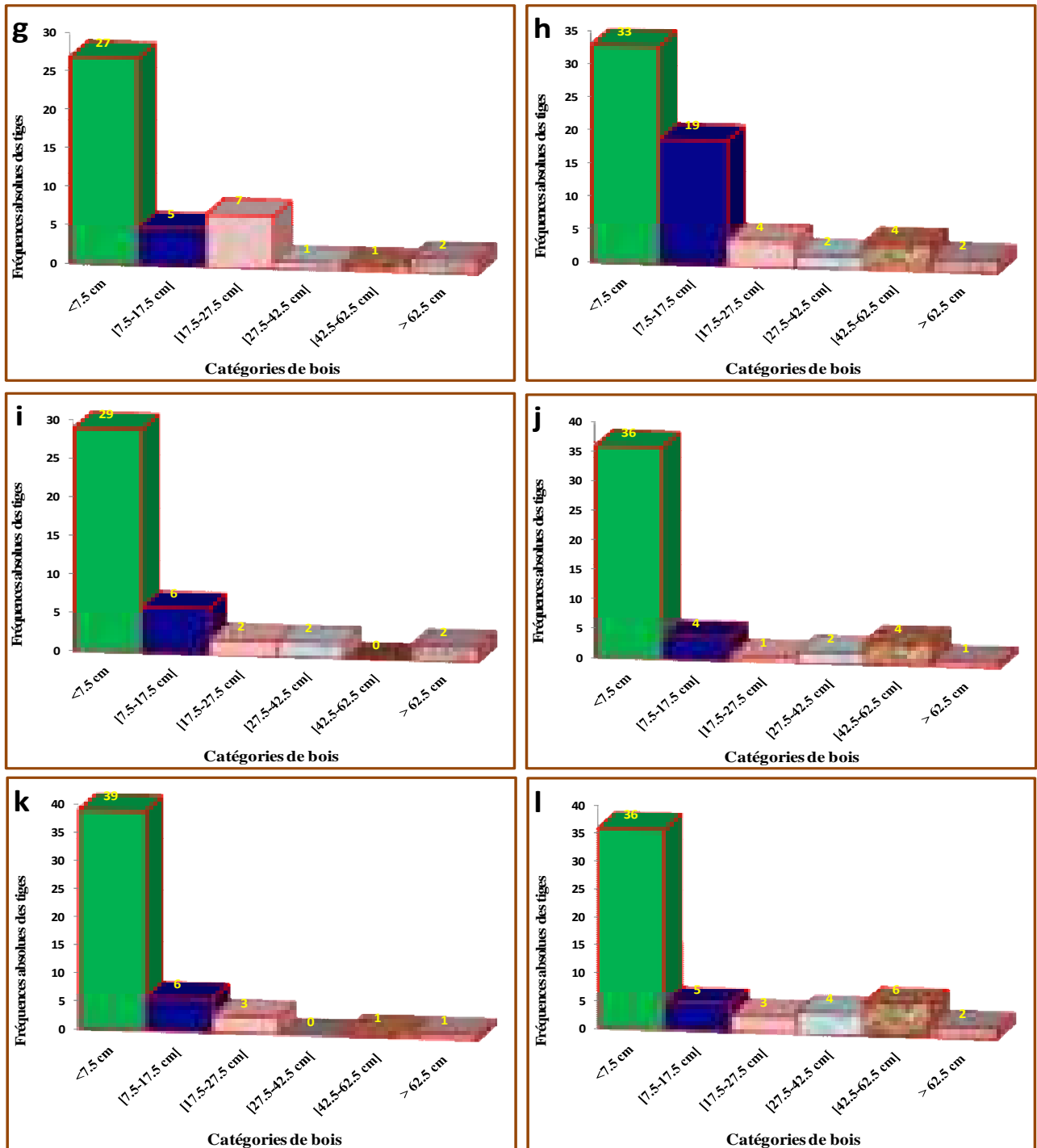


Figure 14 : Catégories de bois par placette dans la station de Tikjda. a: Amalou Voutlam, b: G8-Clôture , c:G8-Hôtel , d: Thigounathine, e:Thighzerth Réserve, f:Thighzerth CAF, g:Thighzerth Toumlilt, h:Thaouyalt Erablière, i:Tala Lahnak, j:Thizi N’Rbet, k:Thaouyalt Incendié, l:Thighert Bas.

Station Tala Guilef**1) Tizi Toumlilt**

Distribution irrégulière avec absence de gros bois. La régénération est récente : Beaucoup de semis et de perches. La placette est en équilibre parce qu'il y a suffisamment de jeunes pour assurer la pérennité du peuplement. Le rapport jeunes/adultes est élevé. Peu d'arbres semenciers et l'éclaircissement est important.

2) Auberge Sud

Distribution presque en exponentielle négative avec déficit dans la classe des très gros bois. Le potentiel de régénération et de recrutement important. La cédraie est jeune et l'ouverture de la canopée est récente.

3) Auberge Nord

Distribution irrégulière avec déficit pour les classes de bois moyens et très gros bois. Le potentiel de régénération est grand même si le nombre de perches est réduit.

Hypothèse : Blocage au stade de croissance au niveau des semis et probablement, il y a une forte mortalité des stades post-semis.

4) Ighil Inguel 1

Présence de tous les stades de croissance. L'allure est en diminution exponentielle régressive du stade semis jusqu'au bois moyen. Il y a suffisamment de semenciers (gros bois) pour assurer la régénération. Il y a peu de semis par rapport aux autres placettes : C'est une vieille cédraie et donc pas assez d'éclaircissement au sol pour permettre la régénération et le maintien des semis.

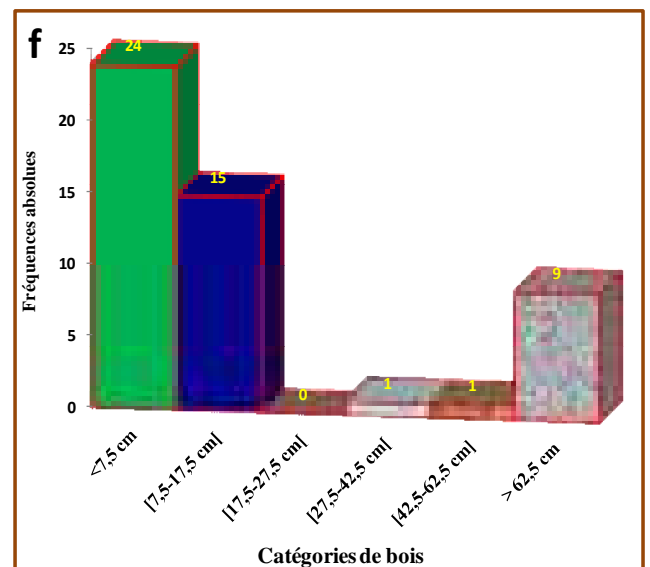
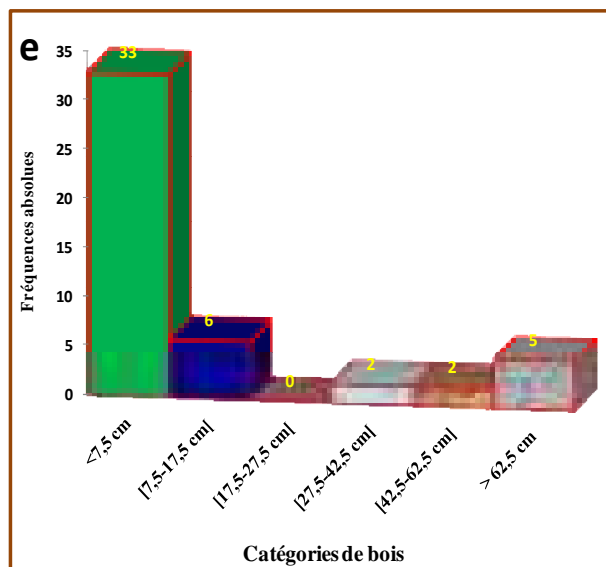
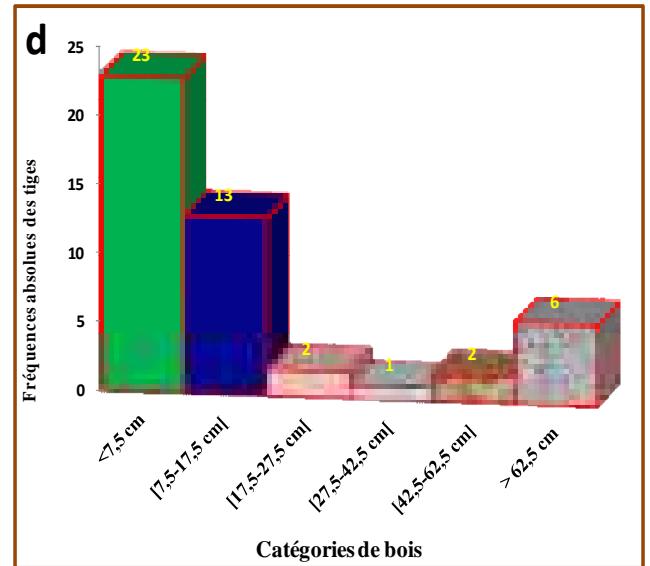
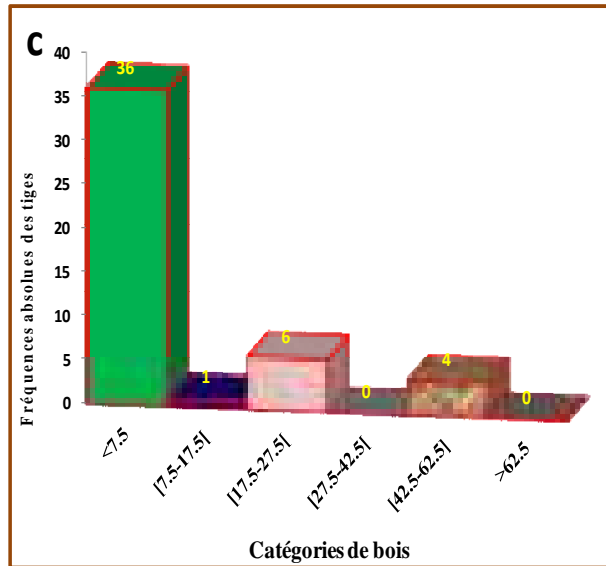
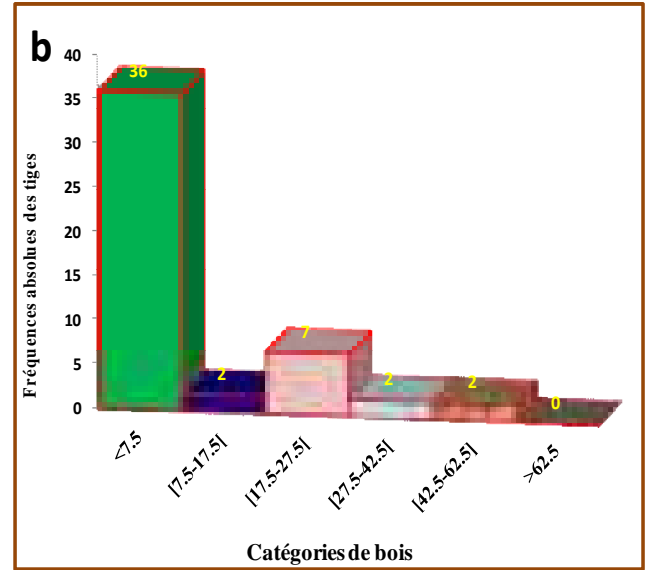
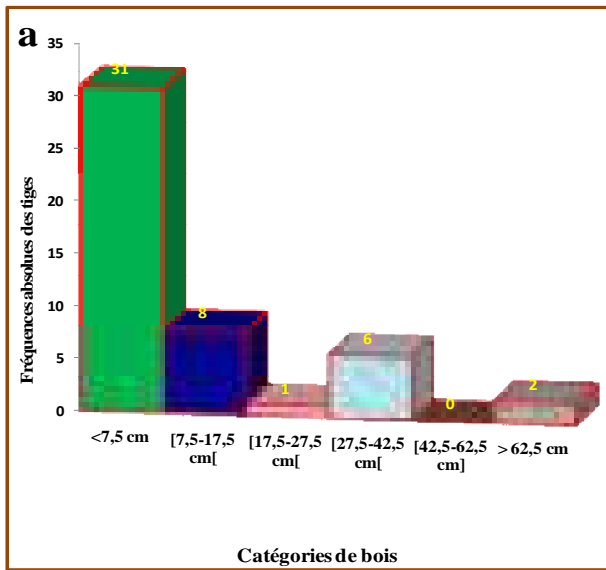
5) Ighil Inguel 2

Distribution irrégulière avec un potentiel de régénération important (33 jeunes semis). Il y a un déficit en petits bois, et peu de sujets dans les bois moyens et gros bois. Mais il y a suffisamment de très gros bois pour assurer la régénération.

6) Ighil Inguel 3

Déficit dans les catégories petits bois, bois moyens et gros bois, par contre, le nombre de très gros bois est élevé avec 9 sujets semenciers (vieille cédraie).

La régénération est récente, probablement un blocage de croissance et donc déficit dans les classes suivantes.



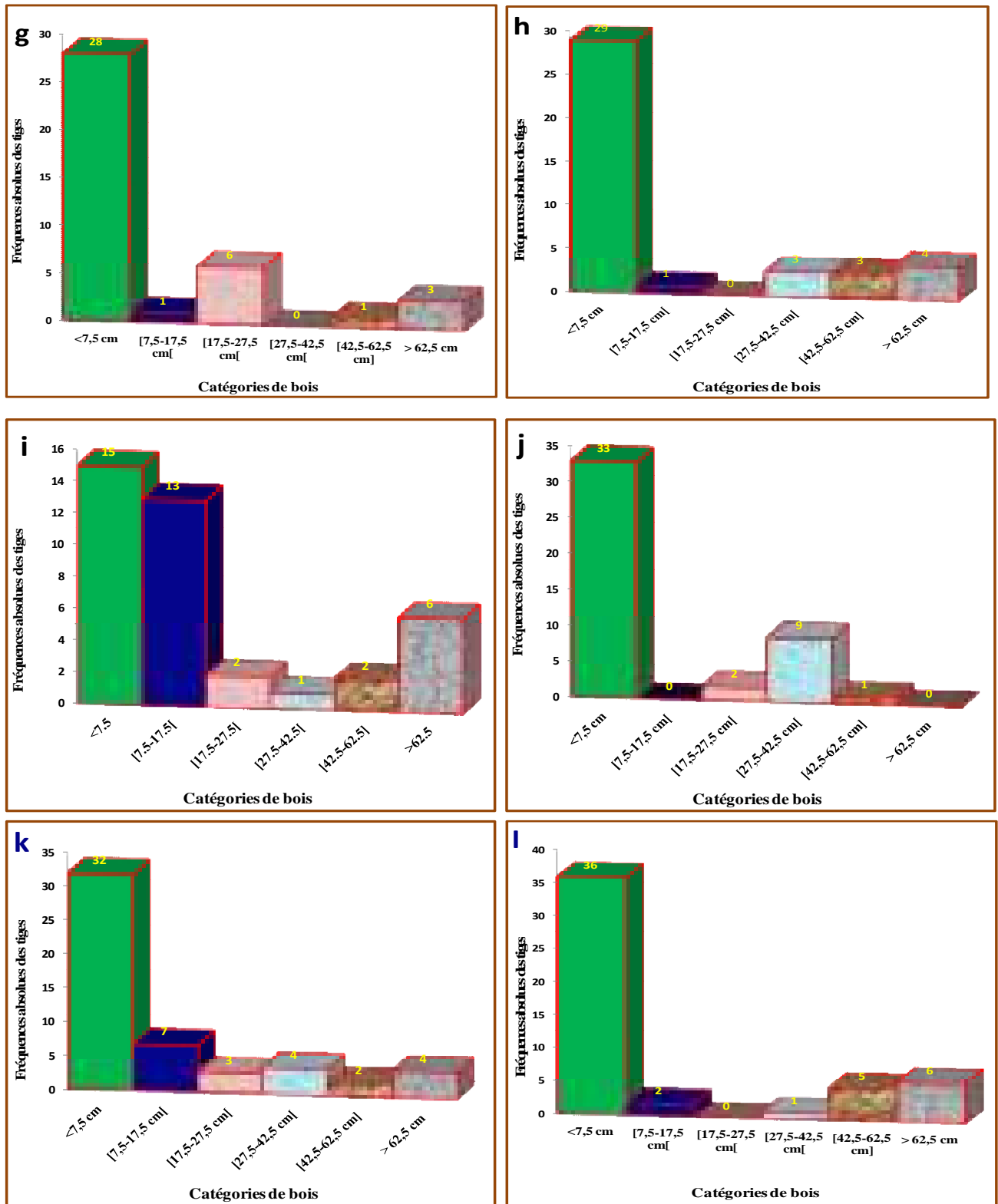


Figure 15: Catégorie de bois par placette dans la station de Tala Guilef. **a:** Thizi Toumlilt, **b:** Auberge Sud , **c:** Auberge Nord , **d:** Ighil Inguel1, **e:** Ighil Inguel2, **f :** Ighil Inguel3 **g:** Tazrout Tamelalt1, **h :** Tazrout Tamelalt2, **i :** Ainseur Oudhafal, **j :** Ikharadhènes1, **k :** Ikharadhènes2, **l :** Ikharadhènes3.

7) Tazrout Tamelalt 1

Distribution irrégulière avec déficit en perches, PB, BM et GB. La régénération est récente.

8) Tazrout Tamelalt 2

Distribution irrégulière sans tendance générale avec un déficit en perches, petits bois, bois moyens et gros bois. Le rapport jeunes/adultes étant très élevé.

9) Ainseur Oudhafal

Présence de tous les stades de croissance avec un déficit des catégories PB, BM et GB.

La régénération est faible (15 semis), les sujets non précomptables sont nombreux et les sujets précomptables sont peu nombreux sauf pour les TGB. Le nombre de semis est faible en comparaison avec les effectifs enregistrés dans d'autres placettes. Le nombre de TGB est de 9, ce qui indique l'état vieillissant du peuplement avec un couvert dense ; dénotant le déficit en potentiel de régénération.

10) Ikharadhènes 1

La distribution est irrégulière avec déficit en perches, petits bois et gros bois et une absence de perches et de très gros bois (TGB). C'est une jeune cédraie où la régénération est fort probablement assurée par l'apport de graines des semenciers voisins.

11) Ikharadhènes 2

On relève la présence de tous les stades de croissance avec une distribution irrégulière à tendance générale en « J » inversé. Beaucoup de sujets de régénération (32). Le rapport jeunes/adultes est important. La catégorie de bois précomptables est faible avec une régénération échelonnée dans le temps.

12) Ikharadhènes 3

La distribution est irrégulière avec une régénération importante et un déficit dans les autres stades de développement : perches, petits bois et bois moyens. La régénération est jeune (ouverture récente). L'effectif important de GB et TGB indique un état de vieillissement de la cédraie.

Station Tirourda**1) Azrou Amelal**

La distribution est irrégulière et proche d'une exponentielle régressive en « J » inversé avec un déficit en bois moyens. La densité de sujets est faible, notamment pour les catégories de gros et très gros bois. Les semis sont en nombre faible (20) en raison du peu d'arbres semenciers existants. C'est un peuplement d'altitude, sur une exposition sud et peu de semenciers donc une forte insolation. La formation de la trouée semble non récente.

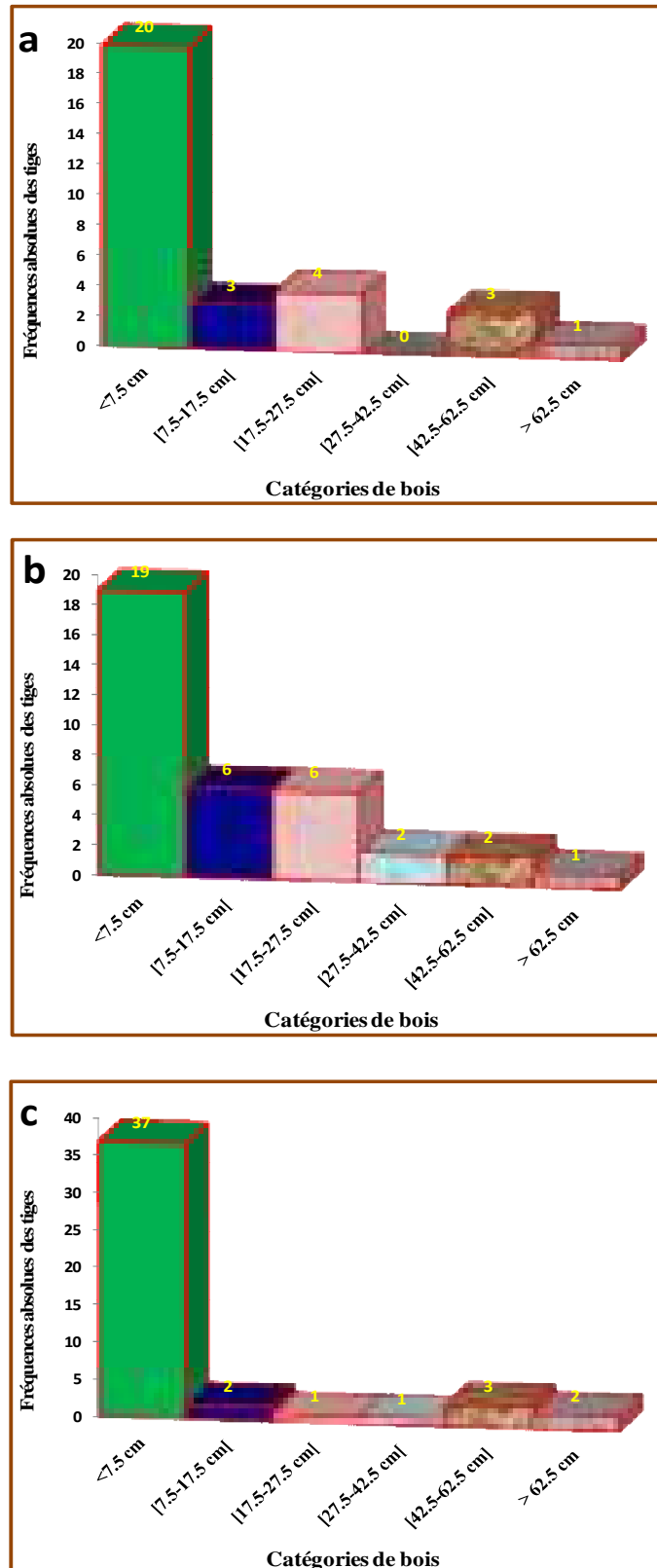


Figure 16 : Catégories de bois par placette dans la station de Tirourda. a:Azrou Amelal, b:Thavrit Izayatènes, c:Laazaiives.

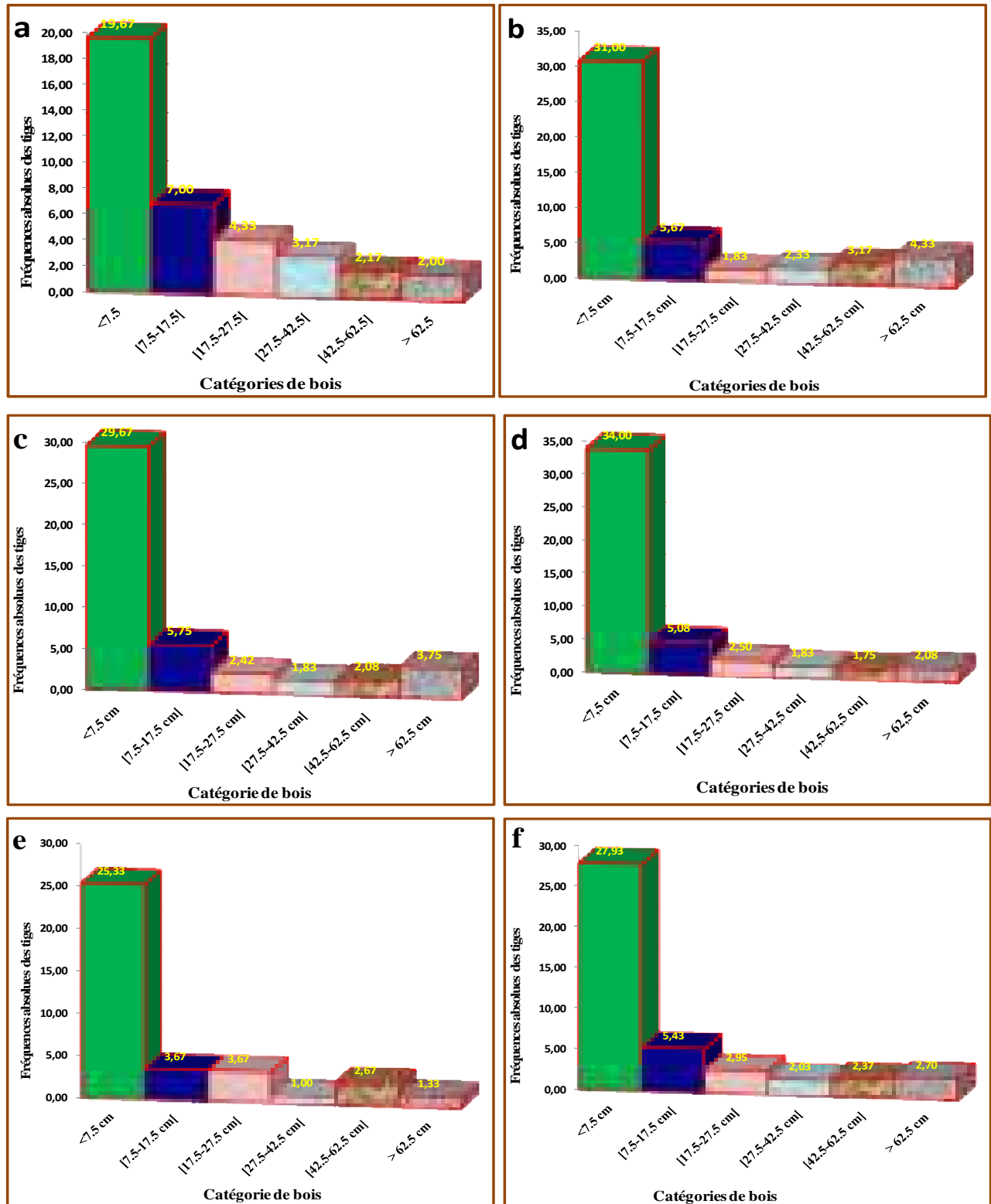


Figure 16: Catégories de bois par station et dans la zone d'étude. **a:** Station Ait Ouabane, **b:** Station Tala Rana, **c:** Station Tala Guilef, **d:** Station Tikjda, **e:** Station Tirourda, **f:** Zone d'étude.

2) Tavrit Izayatènes

La distribution est proche du « J » inversé avec présence de toutes les catégories de bois. Cependant, on remarque un déficit dans toutes les classes sauf pour les semis. La régénération est récente (Pic de semis) avec un rapport jeunes/adultes très élevé. La densité du peuplement est faible ; ce qui laisse passer beaucoup d'éclaircissement et faciliter la régénération surtout qu'il s'agit d'une placette d'altitude. On peut émettre l'hypothèse d'un blocage de croissance et de recrutement.

3) Laazaiv

Présence de toutes les catégories de bois avec, cependant un pic de régénération et un déficit pour tout le reste des classes.

Au total, nous avons 19 placettes à structure en « J » inversé et 20 placettes à structure irrégulière. Nous n'avons pas enregistré de structure en « J » normal et de structure en cloche (unimodale). L'analyse des histogrammes de classes de diamètre par station montre que les stations du versant Nord (Tala Guilef et Ait Ouabane) montrent une structure parfaitement en « J » inversé, alors que, pour le reste des stations ainsi que pour la zone d'étude, la structure se rapproche globalement de l'allure en « J » inversé.

II. Structure verticale ou distribution des classes de hauteur totale (HT)

Station Ait Ouabane

L'analyse des histogrammes représentant la répartition des catégories de hauteur du peuplement dans les différentes placettes de la station des Ait Ouabane montre que l'on peut scinder les 06 placettes en deux groupes plus ou moins distincts.

Groupe 1 : (Amalou Khelifa- Zgamouz)

Les placettes composant ce groupe se distinguent par la dominance de tiges dont la hauteur est élevée (12-15m et > 15 m) et une faible représentativité des tiges à hauteur <12m.

La dominance des grands sujets avec une densité de couvert importante empêche l'éclaircissement lumineux de parvenir au sol ; ce qui bloque le développement des jeunes tiges ; et par conséquent, on obtient une structure verticale non équilibrée. Cette discontinuité dans l'étagement vertical des sujets fait que l'on passe directement des semis qui sont réduits au peuplement adulte. La structure des peuplements de ces deux placettes est de type « J » normal.

Groupe2 : (Thiradhlimes, Assamar Teffah, Chréa Teffah et Thizi Ivaoualène.

Quant aux placettes composant ce second groupe, elles se caractérisent par une dominance des jeunes tiges et un déficit dans la catégorie des hauts sujets, notamment ceux dont $h > 15m$. Une telle structure traduit le jeune âge des peuplements avec un déficit en arbres semenciers

mais avec un éclairage important au sol qui permet l'installation de la régénération sauf que pour Thiradhlimines, la densité du couvert est importante. D'ailleurs, l'allure de la répartition des catégories de hauteur suit une tendance en cloche alors que pour le reste des placettes, l'allure est en « J » inversé.

Station Tala Rana

La représentation graphique par histogrammes des catégories de hauteur au niveau de la station de Tala Rana révèle que, l'on peut également répartir les six placettes d'échantillonnage en deux groupes :

Groupe1 : (Ainsseur Guidawènes 1, Ainsseur Guidawènes) Agouni Bouzid et Agouni Vouthouvras)

Ce groupe rassemble des placettes composées de peuplements à répartition des catégories de hauteur plus ou moins équilibrée. Il y a présence de toutes les classes de hauteur dans la placette Ainsseur Guidawènes1 et absence de la classe à $h > 15$ dans la placette Ainsseur Guidawènes2 mais la tendance de répartition est de type en cloche (Unimodale) ; donc, c'est une structure relativement régulière.

Groupe 2 : Il est composé des placettes Agouni Bouzid et Darna Thazougaghth. Certes, la placette d'Agouni Bouzid est un jeune peuplement et celle de Darna Thazougaghth est un vieux peuplement en régénération, il n'en demeure pas moins que, la structure présentée par les deux placettes suit globalement l'allure d'un « J » inversé. D'ailleurs, les deux placettes montrent une dominance des tiges de la cohorte structurale inférieure et quasi absence de celles de l'étage supérieur. Il y a une discontinuité dans la stratification verticale des tiges.

Groupe3 : (Thabourth Bouanssaf et Agouni Vouthouvras)

Au niveau de la placette Thabourth Bouanssaf, le profil vertical du peuplement est discontinu puisqu'on constate l'absence de la classe de hauteur [10-12m] avec une répartition équilibrée des autres classes de hauteur. Cependant, on relève une légère dominance des tiges dont la hauteur est > 12 m (7 sujets/11, 63%) par rapport aux tiges relevant de la strate inférieure; ce qui témoigne de l'état âgé de la cédraie. La placette Agouni vouthouvras présente une répartition verticale de tiges bimodale avec une quasi absence des tiges de l'étage dominant ($H > 15$ m). L'allure de la stratification verticale des tiges traduit une structure de type irrégulière.

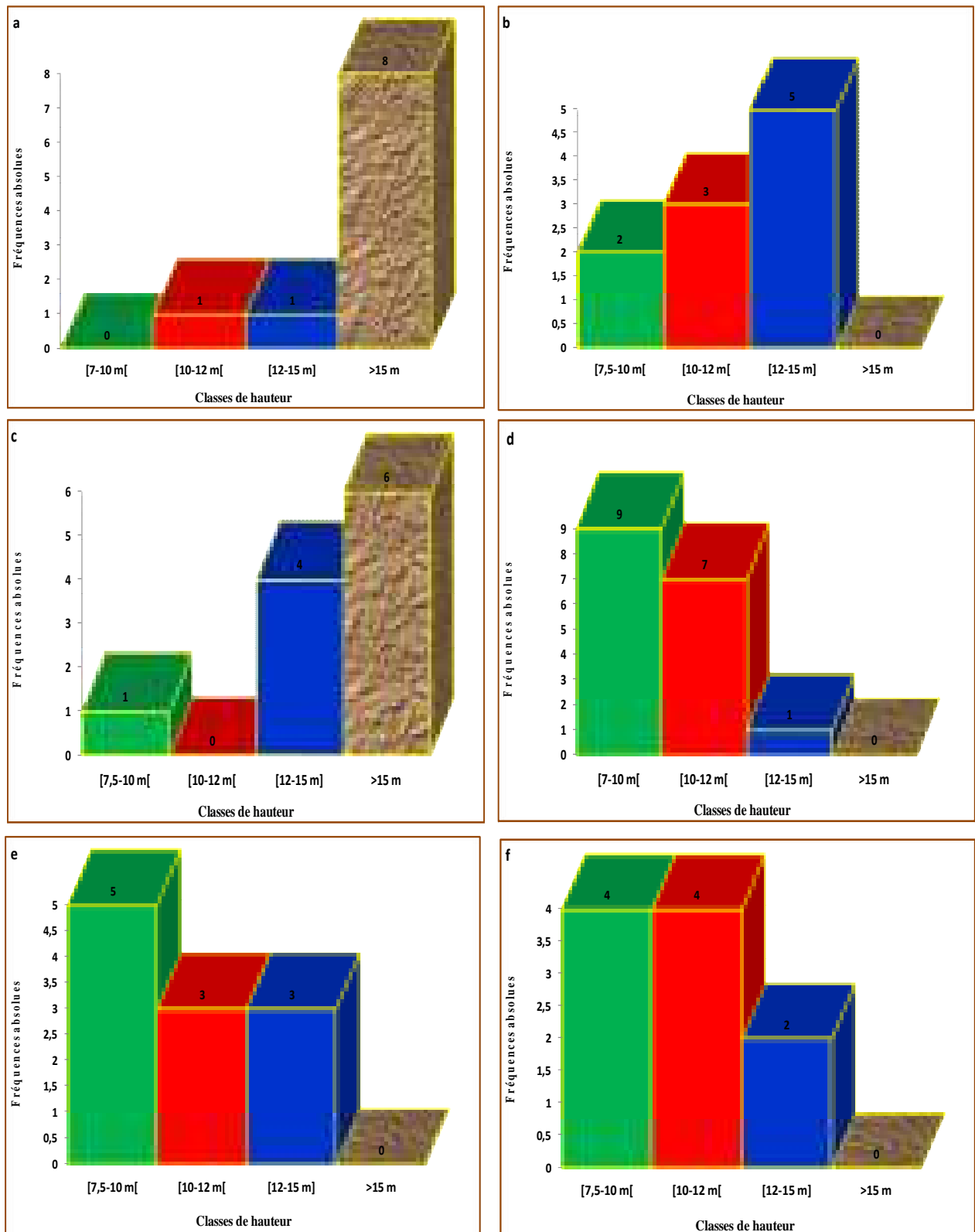


Figure 17: Répartition des classes de hauteur par placette dans la station Ait Ouabane
a: Amalou Khelifa, **b:** Thiradhlimes, **c :** Zgamouz, **d:**Chréa Teffah, **e:**Assamar Teffah,
e:Thizi Ivaoulene.

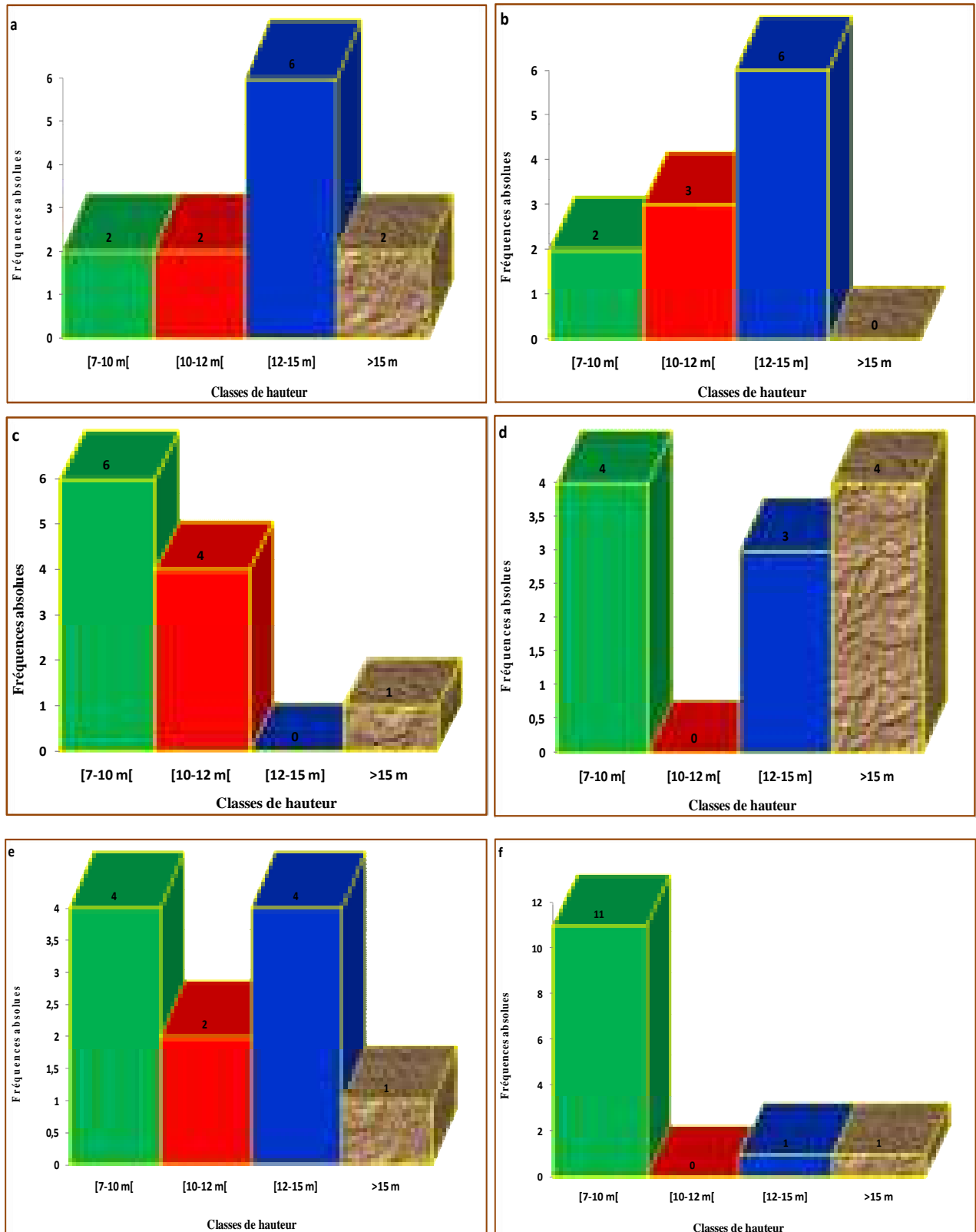


Figure 18: Répartition des classes de hauteur par placette dans la station de Tala Rana
a: Aigneur Guidawènes 1, **b:** Aigneur Guidawènes 2, **c:** Agouni Bouzid, **d:** Thabourth Bouanssaf, **e:** Agouni Vouthouvres, **f:** Darna Thaougagth.

Station Tikjda

L'analyse de la distribution des tiges par catégories de hauteur au niveau de la station de Tikjda, montre que l'on peut regrouper nos placettes en quatre groupes plus ou moins distincts.

Groupe1 : Il est constitué par les placettes G8-Clôture, Thighzerth Réserve, Thizi N'Rbet et Thaouyalt Incendié. Ces placettes abritent des peuplements jeunes avec un potentiel d'avenir. L'allure de la répartition verticale des tiges dans ces quatre placettes donne une cloche traduisant une structure plus ou moins régulière.

Dans la placette G8-Clôture, on relève une très faible représentation de la classe [7-10 m [, un déficit dans la classe [12- 15m], une absence totale de la classe $H > 15$ m, et une légère dominance de la classe [10-12m [. C'est un peuplement très jeune avec une discontinuité verticale du peuplement situé en lisière de forêt incendiée.

Pour la placette Thighzerth Réserve, il y a une répartition disproportionnée des hauteurs puisque l'on relève une absence totale des classes [7-10m [et $h > 15$ m. Seules les classes [10-12 m [et [12-15m] sont présentes avec un effectif déficitaire (02 sujets/classe). C'est un peuplement jeune en régénération.

Au niveau de la placette Thizi N'Rbet, le peuplement ne présente pas de sujets relevant des classes de hauteur [12-15m] et > 15 m ; ce qui dénote la discontinuité du profil vertical du peuplement.

Enfin, pour la placette Thaouyalt Incendié, il ya une absence totale des sujets de la strate inférieure (haut et bas perchis) et aussi de la strate dominante ($H > 15$ m). C'est un peuplement sans tiges d'avenir et sans arbres-mères. La placette a été incendiée en 2012.

Groupe 2 : composé des placettes Amalou Voutlam et Thigounathines.

La représentation graphique montre une allure en « J » normal, c'est-à-dire, une absence ou un déficit criant dans les strates inférieure et intermédiaire, alors que, la strate supérieure ($H > 15$ m) présente l'effectif le plus élevé. Cette structure correspond aux peuplements vieux.

Groupe3 : Il est composé des placettes G8-Hôtel et Thighzerth Toumlilt.

Au niveau de la placette G8-Hôtel, on constate une dominance des classes [7-10 m [et [10-12 m [avec une quasi absence des autres classes, notamment la classe $H > 15$ m. Le peuplement se situe dans une zone incendiée et montrant une régénération abondante.

De même, dans la placette Thighzerth Toumlilt, il y a une dominance des classes de hauteur < 12 m et une absence quasi-totale des sujets à hauteur < 12 m. C'est un peuplement jeune à stratification verticale irrégulière. Les deux placettes présentent une structure en « J » inversé traduisant l'état jeune du peuplement.

Groupe 4 : Il comprend les placettes Thighzerth CAF, Thaouyalt Erablière, Tala Lahnak et Thighzerth Bas. L'allure de distribution des catégories de hauteur montre une structure irrégulière du peuplement. La placette Thighzerth CAF montre une dominance des tiges dont $H > 15$ (8 sujets), une absence totale des tiges des strates intermédiaires ([10-12m [et [12-15m] et un déficit dans la strate inférieure (03 sujets). Cette placette se caractérise par une stratification verticale discontinue. De même, on constate une discontinuité dans la stratification verticale des tiges pour la placette Thaouyalt Erablière, qui présente une allure bimodale avec une absence totale des tiges relevant des classes [10-12 m [et $H > 15$ m et un déficit prononcé dans la catégorie des tiges d'avenir (02 sujets). En revanche, certes, la placette Tala Lahnak présente une répartition verticale des tiges de type irrégulière et bimodale, mais elle s'en distingue par l'absence uniquement des tiges de la strate supérieure ($H > 15$ m) et la présence des strates inférieures et intermédiaires. Ce peuplement est relativement plus jeune que celui de Thaouyalt Erablière.

Enfin dans la placette Thighzerth Bas, il y a une dominance apparente des tiges appartenant à la catégorie de hauteur [7-10m [, un déficit remarquable des autres catégories de hauteur et une absence totale des tiges relevant de la catégorie $H > 15$ m. C'est un peuplement très jeune en régénération.

L'absence des classes inférieures [7-10 m [et [10-12 m [pourrait être dû au blocage de ces étages intermédiaires, puisque l'on passe directement de la régénération aux arbres semenciers.

Station Tala Guilef

Pour la station de Tala Guilef, nous avons réparti les placettes en fonction de la structure des catégories de hauteurs en trois groupes distincts.

Groupe1 : Il comprend 03 placettes (Thizi Toumlilt, Ainseur Oudhafal et Ikharradhène 3) composées globalement de peuplements âgés et mûrs. La stratification des tiges dans ce groupe de placettes est de type « J » normal.

L'analyse de la stratification des tiges au niveau de la placette Thizi Toumlilt montre une discontinuité avec une absence totale des classes [10-12m [et [12-15m], un déficit dans la classe [7-10m [et une dominance de la classe de tiges dont $H > 15$ m (07 sujets). C'est une cédraie plus ou moins âgée où l'on passe directement du stade haut et bas perchis aux arbres âgés.

De même, on relève une discontinuité dans la répartition verticale des tiges dans la placette Ainseur Oudhafal, où l'on constate une absence totale des classes [10-12m [et [12-15m], un

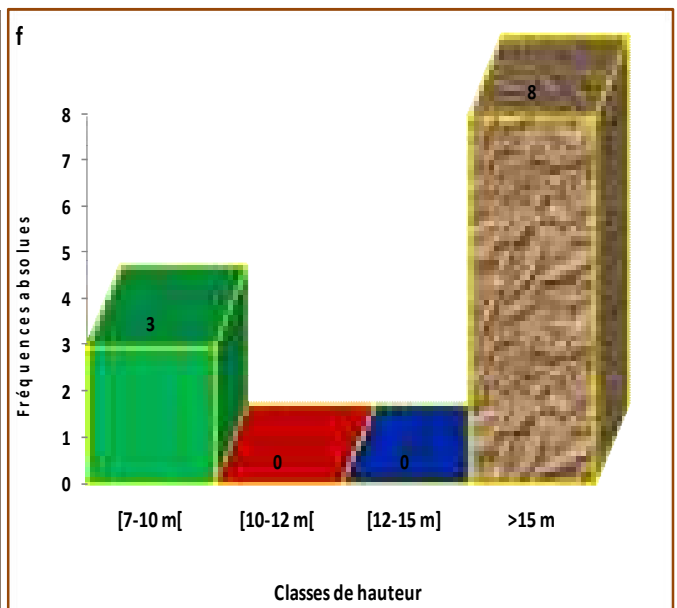
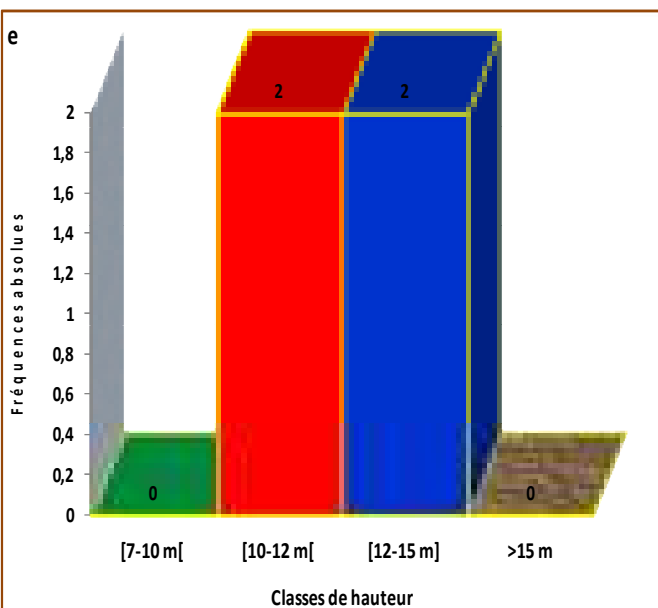
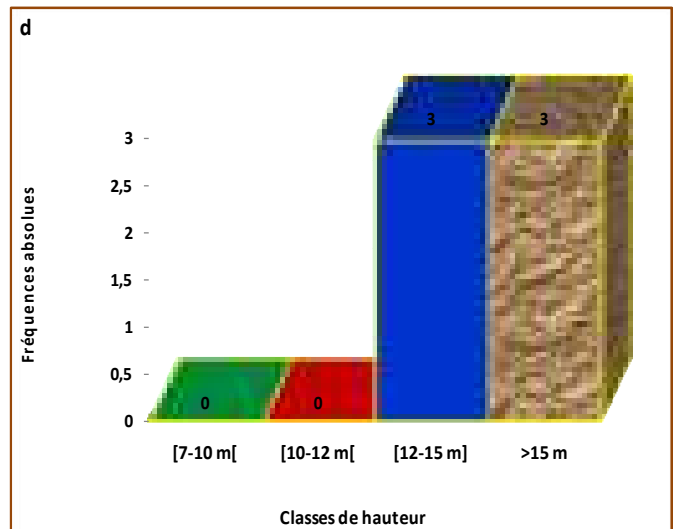
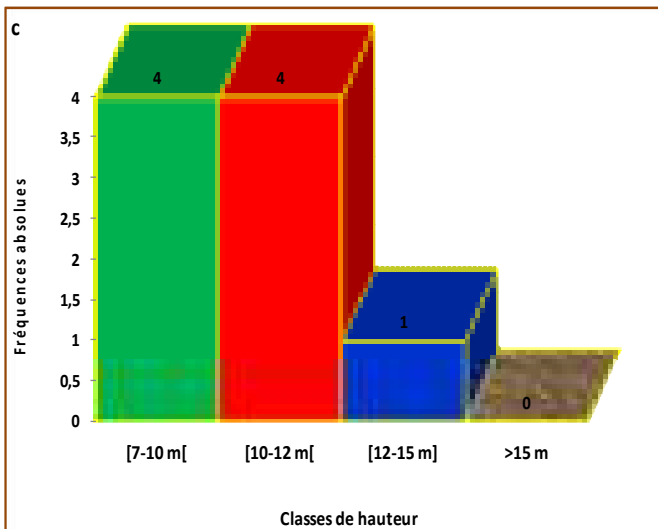
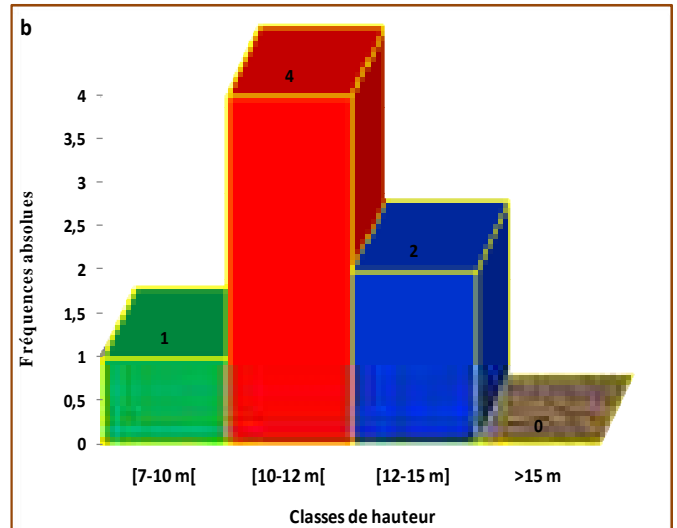
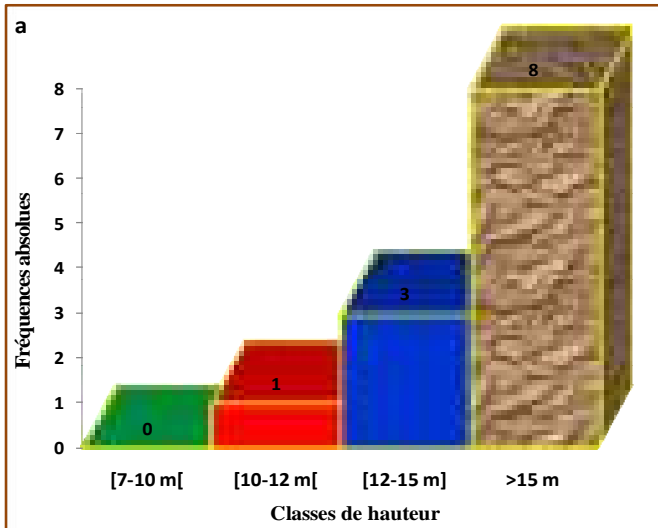
déficit aigu dans la classe [7-10m [avec une seule tige, et une dominance absolue (09 sujets) de la classe H >15m. C'est un peuplement monostrate.

Enfin, pour la placette Ikharadhène3, l'analyse de la stratification des hauteurs montre une gradation dans la répartition des tiges avec une absence totale des tiges de la classe [7-10m [, un déficit dans les classes [10-12m [et [12-15m] et une dominance totale de la classe des tiges relevant de la canopée supérieure (>15m) avec 07 sujets /12.

Groupe 2 : Il se compose des placettes Auberge Sud et Ighil Inguel 2 dont la stratification verticale des tiges suit une allure en « J » inversé. Pour les deux placettes, le profil vertical est plus ou moins continu avec une légère dominance de la classe de hauteur [7-10m [pour la 1^{ère} et une absence de tiges appartenant à la catégorie H >15m pour les deux placettes.

Groupe 3 : Il regroupe 07 placettes (58 %), à savoir, Auberge Nord, Ighil Inguel 1, Ighil Inguel 3, Thazrtout Tamelalt 1, Thazrout Tamelalt 2, Ikharadhène 1 et Ikhdaradhène2. Ces placettes présentent des peuplements à structure plus ou moins régulière (cloche). La répartition verticale des tiges est toutefois disproportionnelle entre les catégories de hauteur. On relève l'absence des tiges d'avenir (strate haut et bas perchis) non précomptables dans les placettes Thazrout Tamelalt 1, Thazrout Tamelalt 2 et Ikharadhènes 1 et une stratification plus ou moins équilibrée dans les strates intermédiaires [10-12m [, [12-15m].

Pour la placette Auberge Nord, on constate une répartition verticale des tiges disproportionnelle avec une seule tige relevant de la classe des perches ([7-10m [), aucune tige de la catégorie H >15m et une dominance relative de la classe intermédiaire [7-12m [avec 06 tiges/10.



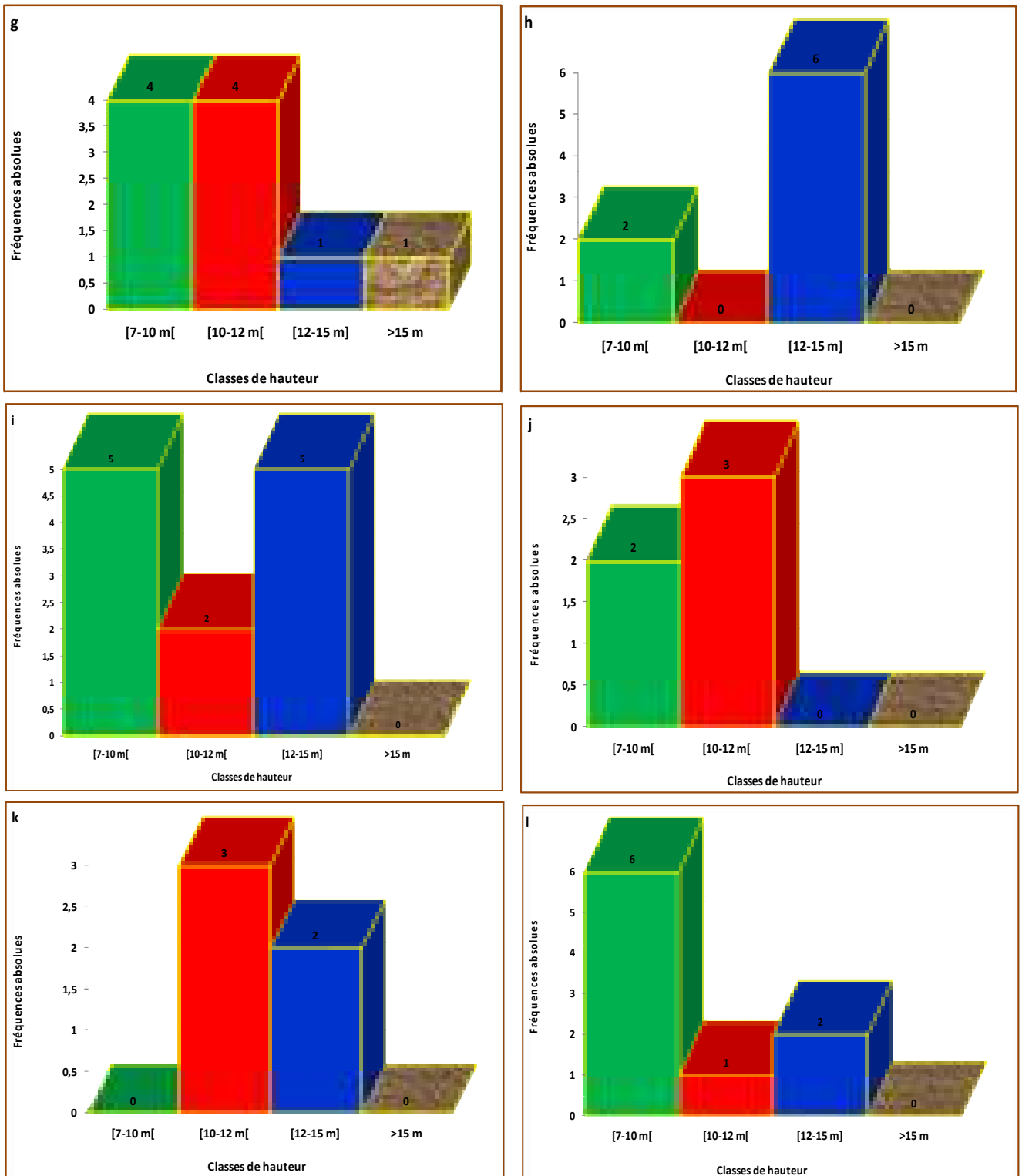


Figure 19: Répartition des classes de hauteur par placette dans la station de Tikjda
a: Amalou Voutlam, **b:** G8-Clôture, **c:** G8-Hôtel, **d:** Thigounathine, **e:** Thighzerth Réserve,
f: Thighzerth CAF, **g:** Thighzerth Toumlilt, **h:** Thaouyalt Erablière, **i:** Tala Lahnak, **j:** Thizi
 N'Rbet, **k :** Thaouyalt Incendié, **l:** Thigherth Bas.

Station Tirourda

Concernant la station de Tirourda, l'analyse du profil vertical des peuplements permet de constater une structure de type « J » inversé. Il y a absence des classes [12-15m] et $H > 15$ m, et une abondance relative des tiges d'avenir. Globalement, les peuplements constituent une cédraie d'altitude où les arbres composant la strate arborescente supérieure sont absents.

Catégorie de hauteur/Stations d'étude et /Zone d'étude

L'analyse de la répartition des tiges par classes de hauteur en fonction des stations, montre une variabilité interstationnelle.

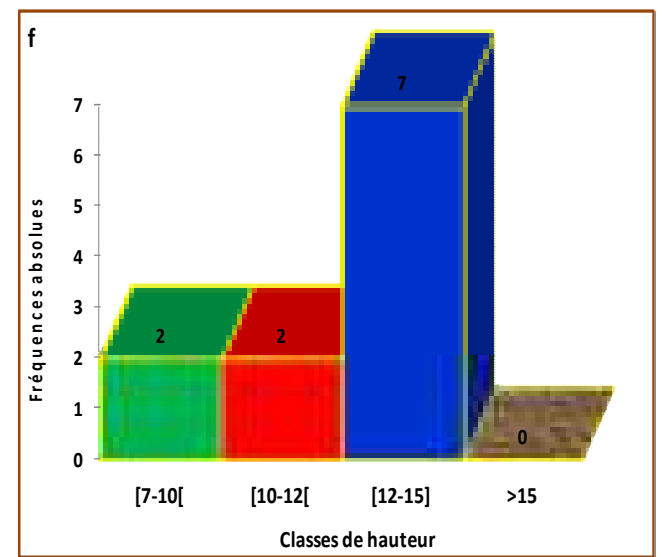
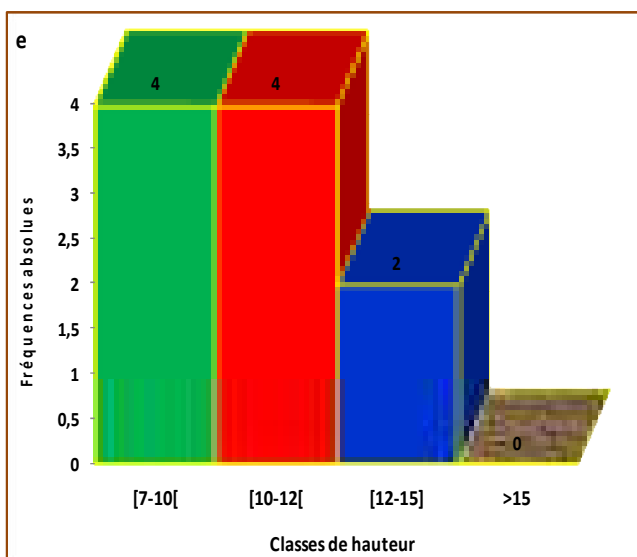
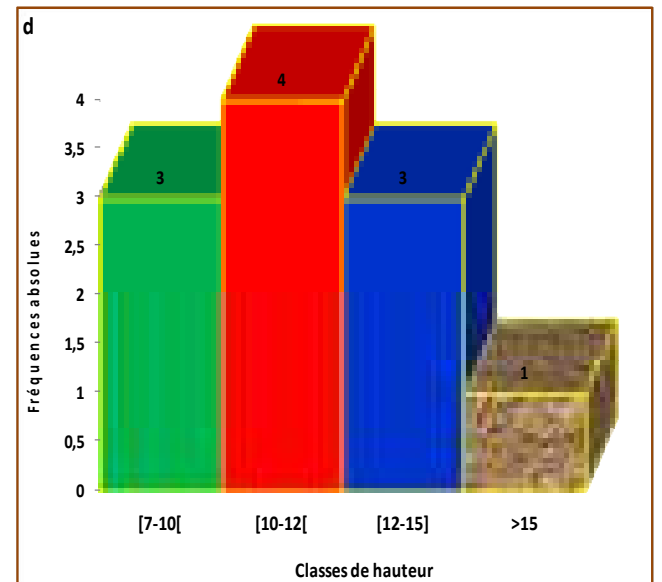
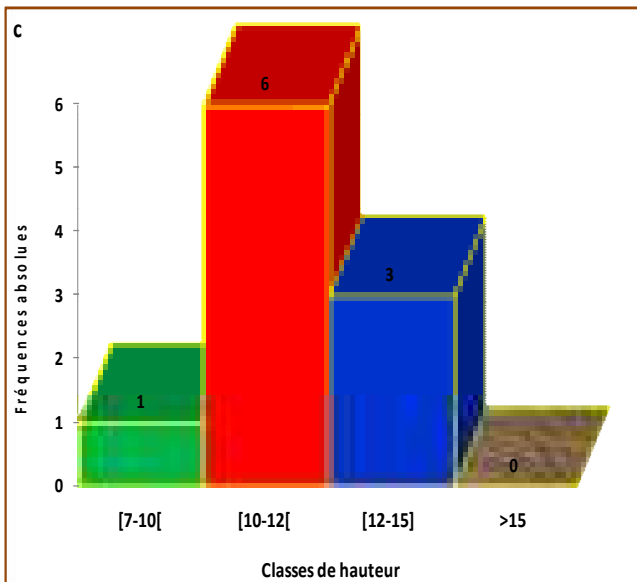
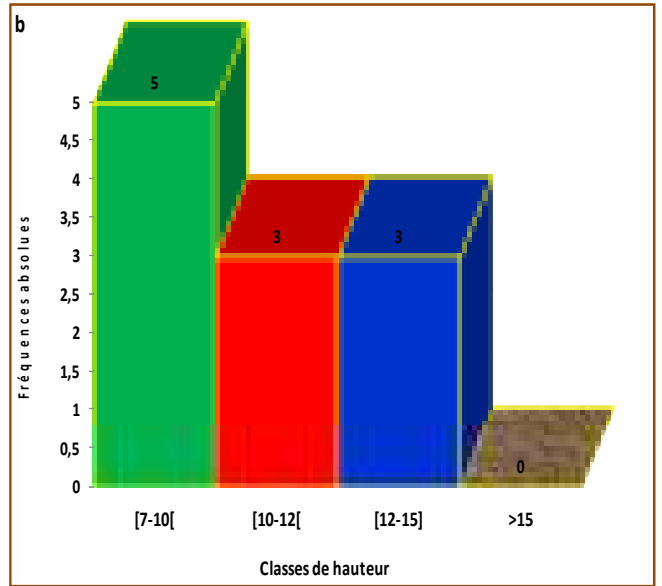
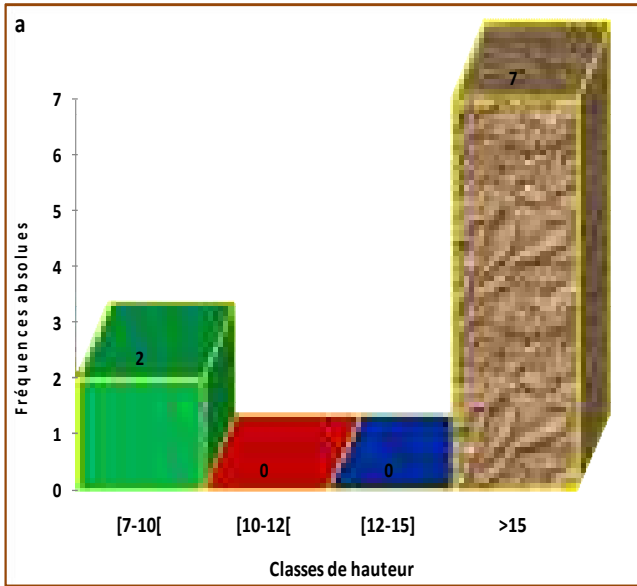
Pour la station d'Ait Ouabane, il y a une diminution des tiges en fonction des strates (proche du « J » inversé) avec une stratification très rapprochée dans l'espace ; ce qui dénote le caractère plus ou moins fermé du peuplement.

Au niveau des stations de Tala Rana et Tikjda, on constate une irrégularité de la stratification verticale des classes de hauteur (allure bimodale). La stratification est plus ou moins graduée au niveau de Tal Rana (couvert lâche) et plus ou moins rapprochée à Tikjda (couvert peu ouvert).

Dans la station de Tala Guilef, la distribution des tiges/classe de hauteur suit une allure presque en cloche avec une tendance à l'aplatissement du côté des perches relevant de la classe [7-10m [et une légère dominance de la classe [12-15m] ; la stratification des classes est rapprochée ; ce qui témoigne de l'état plus ou moins fermé du couvert.

Enfin, la station de Tirourda présente une décroissance régulière de la répartition des tiges selon les catégories de hauteur (« J » inversé), avec une absence totale des classes de tiges supérieures, à savoir, [12-15m] et > 15 m. C'est un peuplement lâche et irrégulier.

S'agissant de la zone d'étude, l'analyse du graphique révèle, globalement, une décroissance régulière de la distribution des tiges/classe de hauteur avec une dominance des tiges d'avenir [7-10m [; ce qui dénote la tendance au renouvellement de la cédraie dans ces placettes échantillonnées.



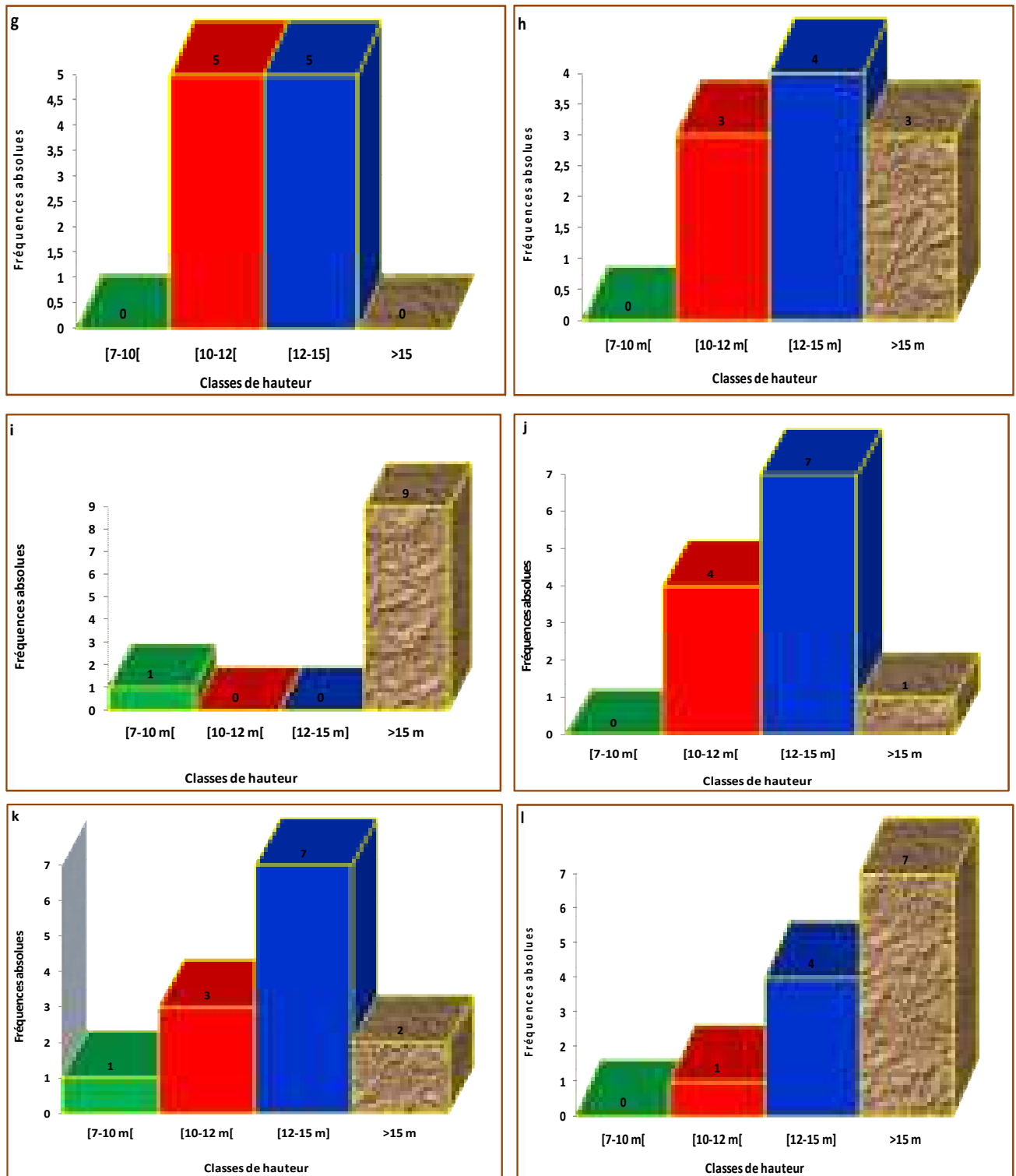


Figure 20: Répartition des classes de hauteur par placette d'échantillonnage Tala Guiléf.
a:Thizi Toumlilt, **b:**Auberge Sud, **c:**Auberge Nord, **d:** Ighil Inguel1, **e:** Ighil Inguel2, **f:**Ighil Inguel3, **g:**Thazrout Tamelalt1, **h:**Thazrout Tamelalt2, **i:** Ainseur Oudhafal, **j:** Ikharadhènes1, **k:**Ikharadhènes2, **l:**Ikharadhènes3.

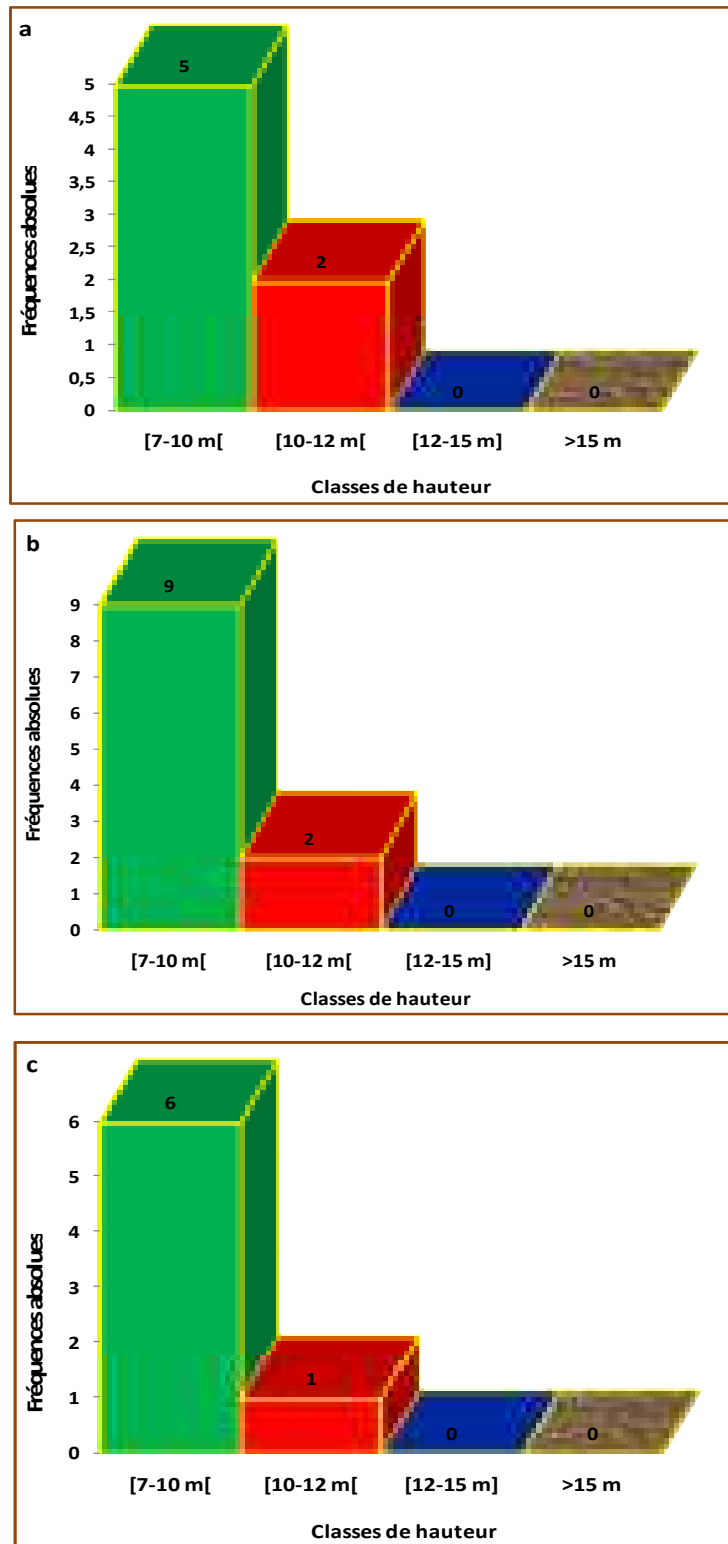


Figure 21: Répartition des classes de hauteur par placette dans la station de Tirourda
a: Azrou Amelal, **b:** Thavrit Izayatenes, **c:**Laazaives.

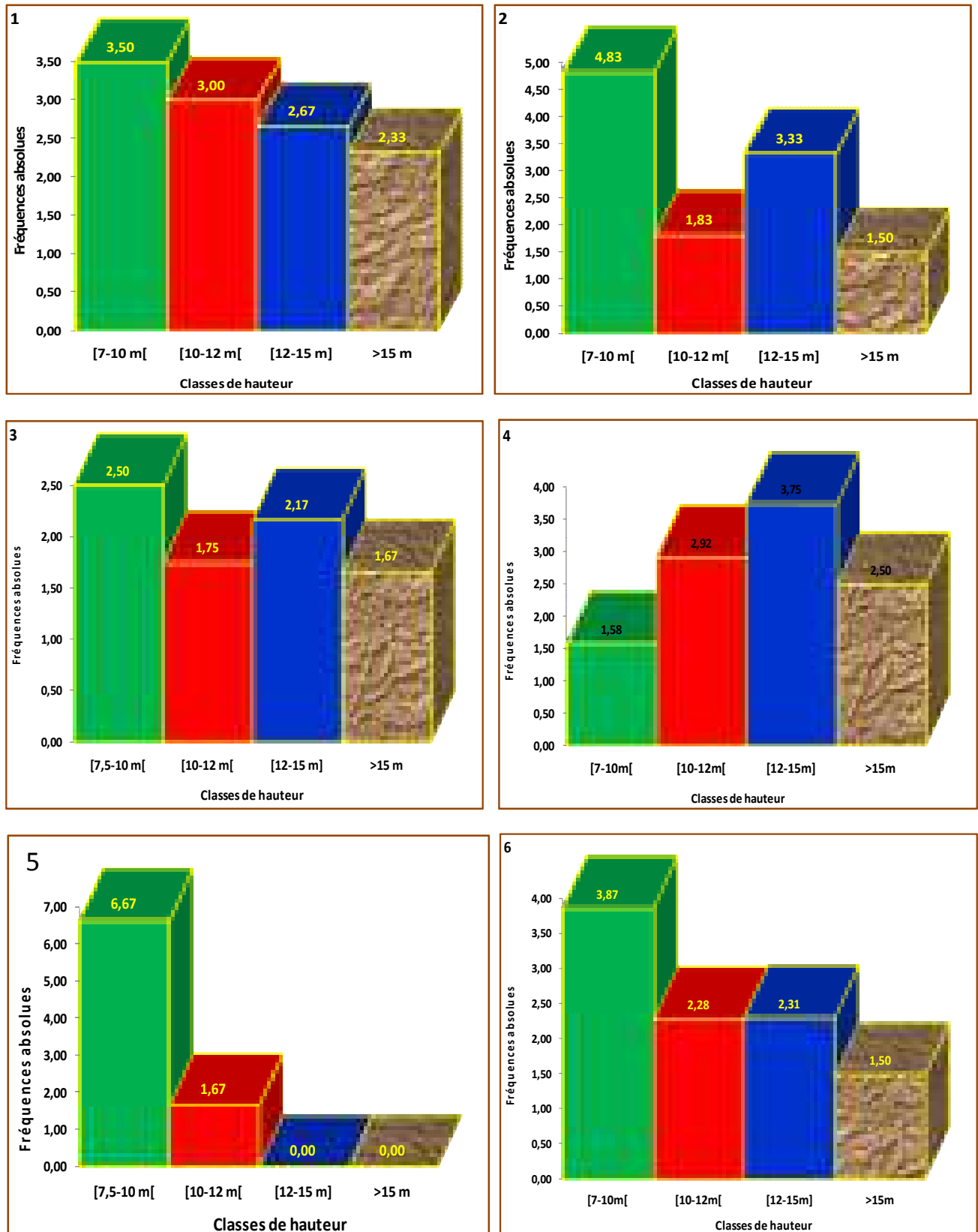


Figure 22: Répartition des classes de hauteur par station et /Zone d'étude.

a: Ait Ouabane, b: Tala Rana, c: Tikjda, d: Tala Guilef, e: Tirourda, f: Zone d'étude.

3. Coefficient de variation (CV%)

3.1. Coefficient de variation DHP

3.1.1. Coefficient de variation intra-station

Tableau 18: Paramètres statistiques des données dendrométriques (CV%, Moyenne (X) et écart-type $\sigma(X)$ /Placette/Station/Zone d'étude (DHP)

	Placette	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$ - CV(%)
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	10	0,5 + ou - 0,11 (23%)
	Thiradhlimes	10	0,49 + ou - 0,19(38%)
	Zgamouz	11	0,46 + ou - 0,15(31%)
	Chr�a Teffah	18	0,32 + ou - 0,15(47%)
	Assamar Teffah	11	0,29 + ou - 0,05(18%)
	Thizi Ivaoualène	10	0,36 + ou - 0,11(32%)
	Moyenne/station	11,67	0,4 + ou - 0,13(32%)

	Placette	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$ - CV (%)
Tala Rana	Ainseur Guidaw�ne1	12	0,93 + ou - 0,42(46%)
	Ainseur Guidaw�ne2	11	0,72 + ou - 0,34(48%)
	Agouni Bouzid	11	0,4 + ou - 0,34(85%)
	Thabourth Bouanssaf	11	1,13 + ou - 0,24(21%)
	Agouni Vouthouvras	11	0,56 + ou - 0,28(49%)
	Darna Thazougaghth	13	0,43 + ou - 0,16(22%)
	Moyenne/station	11,50	0,16 + ou - 0,30(45%)
	Tikjda	Placette	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$- CV (%)
Amalou Voutlma		12	0,7 + ou - 0,13(18%)
G8-Clôture		7	0,51 + ou - 0,18(36%)
G8-Hôtel		9	0,27 + ou - 0,13(46%)
Thigounathine		6	0,63 + ou - 0,43(68%)
Thighzerth Réserve		4	0,51 + ou - 0,11(22%)
Thighzerth CAF		11	0,37 + ou - 0,25(67%)
Thighzerth Toumlilt		10	0,36 + ou - 0,16(45%)
Thaouyalt Erablière		8	0,48 + ou - 0,13(27%)
Tala Lahnak		14	0,39 + ou - 0,18(47%)
Thizi N'Rbet		5	0,37 + ou - 0,16(42%)
Thaouyalt Incendié		5	0,34 + ou - 0,17(49%)
Thigherth Bas		9	0,41 + ou - 0,19(47%)
Moyenne/station		8,33	0,45 + ou - 0,19(43%)

	Placette	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$ - CV (%)
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	10	0,53 + ou - 0,32(72%)
	Auberge Sud	11	0,3 + ou - 0,1(33%)
	Auberge Nord	10	0,35 + ou - 0,14(41%)
	Ighil Inguel1	11	0,94 + ou - 0,65(70%)
	Ighil Inguel2	10	0,71 + ou - 0,39(55%)
	Ighil Inguel3	11	1,14 + ou - 0,41(36%)
	Thazrout Tamelalt1	10	0,44 + ou - 0,26(59%)
	Thazrout Tamelalt2	10	0,58 + ou - 0,22(38%)
	Ainseur Oudhafal	10	0,47 + ou - 0,16(34%)
	Ikharadhène1	12	0,36 + ou - 0,08(23%)
	Ikharadhène2	13	0,53 + ou - 0,47(88%)
	Ikharadhène3	12	0,8 + ou - 0,42(53%)
	Moyenne/station	10,83	0,80 + ou - 0,32(52%)

	Placette	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$ - CV(%)
Tirourda	Azrou Amelal	7	0,4 + ou - 0,17(43%)
	Thavrit Izayatènes	11	0,36 + ou - 0,17(46%)
	Lazzaive	7	0,48 + ou - 0,15(31%)
	Moyenne/station	8,33	0,48 + ou - 0,16(40%)

3.1.2. Coefficient de variation inter-stationnel

Station	Nombre de sujets	Moyenne DHP + ou - $\sigma(X)$	(CV %)
Ait Ouabane	11,67	0,4 + ou - 0,13	32%
Tala Rana	11,5	0,16 + ou - 0,30	45%
Tikjda	8,33	0,45 + ou - 0,19	43%
Tala Guilef	10,83	0,59+ ou - 0,26	44%
Tirourda	8,33	0,48 + ou - 0,16	40%
Zone d'étude	10,13	0,42 + ou - 0,22()	41%

Analyse du coefficient de variation du diamètre à hauteur de poitrine (DHP)**Station Ait Ouabane**

Il ressort de l'analyse du tableau 18 que, le coefficient de variation intra-placette et interplacettes au sein de cette station ne présente pas de variabilité importante. Seule la placette Chréa Teffah présente un CV moyennement élevé (0.47), confirmant par ainsi la variabilité des diamètres au sein de ladite placette. Elle est suivie par Thiradhlimine dont le CV est relativement élevé (38%). A l'échelle de la station, la valeur du CV est de 32% ; ce qui dénote une faible dispersion des diamètres autour de la moyenne, et donc un rapprochement des valeurs de la série.

Station Tala Rana

Contrairement à la station précédente, celle-ci, présente un coefficient de variation moyen relativement élevé (45%). L'analyse du tableau montre une dispersion des valeurs du diamètre dans la placette Agouni Bouzid où l'on enregistre la valeur la plus élevée (85%), suivie par les placettes d'Agouni Vouthouvas et Ainseur Guidawènes 1 et 2 dont les valeurs dépassent le seuil de 45 %. On peut dire que la moyenne n'est pas très représentative de la distribution des valeurs du DHP.

Station Tikjda

L'analyse du tableau montre que le le CV est assez fort (43%) avec une valeur maximale enregistrée au niveau de la placette Thigounathine (68%), suivie de près par Thighzerth CAF (67%) et Thaouyalt Incénié avec 53 %. Cinq (05) placettes, en l'occurrence Thighzerth Bas, Tizi N'Rbet, Tala Lahnak, Thighzerth Toumlilt et G8-Hôtel présentent un CV oscillant entre 45 et 47 %. Les valeurs élevées du CV au niveau de ces placettes relèvent de la dispersion des valeurs autour de la moyenne, et donc, une hétérogénéité dans la dispersion des diamètres.

Station Tala Guilef

L'analyse du CV de la variable DHP au niveau des placettes de Tala Guilef montre que cette station présente un CV moyen relativement proche de celui de Tikjda (44%). Les placettes, Tizi Toumlilt se distingue par le CV le plus élevé (72%), suivie par Ighil Inguel1 (70%). D'autres placettes présentent également des CV élevés comme Ighil Inguel2, Thazrout Tamelalt1 et Ikharadhènes 2 et 3. Ces placettes sont constituées de sujets de différents diamètres ; ce qui fait que la dispersion autour de la moyenne est très importante.

Quant à Ikharadhène 1, elle est la placette dont le CV est le plus faible (23%) ; ce qui signifie une distribution équilibrée des diamètres.

Au regard de ce qui a été constaté, on peut dire qu'à Tala Guilef la dispersion des valeurs des douze (12) séries statistiques est remarquable ; ce qui dénote l'hétérogénéité de la structure diamétrique des placettes échantillonnées dans cette station.

Station Tirourda

Dans cette station, le CV moyen est de 40%, ce qui est assez élevé, avec une valeur maximale de 46% enregistrée au niveau de la placette Thavrit Izayatènes. On déduit donc, une hétérogénéité de dispersion des diamètres au niveau de cette station.

Analyse du coefficient de variation comparatif inter-stations du DHP

L'analyse du tableau de synthèse interstationnel montre que la station d'Ait Ouabane présente le le CV le plus faible (32%). Les autres stations (Tikjda, Tala Rana, Tala Guilef et Tirourda) présentent toutes un CV relativement élevé, oscillant entre 40 et 45%. Pour la zone d'étude, le CV moyen est de 42% ; ce qui indique une variabilité dans les catégories de diamètre des tiges et une dispersion des valeurs autour du diamètre DHP moyen. Autrement dit, la moyenne n'est pas représentative de la distribution ; et par conséquent, la moyenne ne peut être utilisée qu'avec prudence.

3.2. Coefficient de variation HT

Tableau 19: Paramètres statistiques des données dendrométriques (CV%, Moyenne (X) et écart-type $\sigma(X)$ / Placette/Station/zone d'étude (HT)

Station	Placette	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$ - CV (%)
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	10	16,79 + ou - 2,81(17%)
	Thiradhlimes	10	11,63 + ou - 2,52 (22%)
	Zgamouz	11	15,25 + ou - 2,69 (18%)
	Chr�a Teffah	18	9,35 + ou - 1,87 (21%)
	Assamar Teffah	11	10,92 + ou - 1,47 (13%)
	Thizi Ivaoualène	10	10,20 + ou - 1,8 (18%)
	Moyenne/station	11,67	12,36 + ou - 2,19 (18%)

Station	Placette	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$ - CV (%)
Tala Rana	Ainseur Guidaw�ne1	12	12,87 + ou - 2,65 (21%)
	Ainseur Guidaw�ne2	11	11,80 + ou - 2,07 (18%)
	Agouni Bouzid	11	9,91 + ou - 1,94 (20%)
	Thabourth Bouanssaf	11	12,38 + ou - 3,19 (26%)
	Agouni Vouthouvras	11	11,48 + ou - 1,97 (17%)
	Darna Thazougaghth	13	9,17 + ou - 2,55 (28%)

	Moyenne/station	11,50	11,27 + ou - 2,4 (22%)
Station	Placette	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$
Tikjda	Amalou Voutlma	12	15,51 + ou - 1,39 (9%)
	G8-Clôture	7	10,95 + ou - 2,12 (19%)
	G8-Hôtel	9	9,16 + ou - 2,61 (29%)
	Thigounathine	6	15,70 + ou - 2,26 (14%)
	Thighzerth Réserve	4	11,99 + ou - 0,48 (4%)
	Thighzerth CAF	11	15,70 + ou - 5,98 (36%)
	Thighzerth Toumlilt	10	10,28 + ou - 2,44 (24%)
	Thaouyalt Erablière	8	12,26 + ou - 1,88 (15%)
	Tala Lahnak	14	10,21 + ou - 2,75 (27%)
	Thizi N'Rbet	5	9,68 + ou - 2,94 (30%)
	Thaouyalt Incendié	5	11,86 + ou - 0,97 (8%)
	Thigherth Bas	9	8,84 + ou - 2,77 (31%)
	Moyenne/station	8,33	11,84 + ou - 2,38 (21%)

Station	Placette	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$ - CV%
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	10	15,8 + ou - 4,11 (26%)
	Auberge Sud	11	10,41 + ou - 1,67 (16%)
	Auberge Nord	10	11,41 + ou - 1,06 (9%)
	Ighil Inguel1	11	11,60 + ou - 2,14 (18%)
	Ighil Inguel2	10	10,21 + ou - 2,25 (22%)
	Ighil Inguel3	11	11,89 + ou - 2,37 (20%)
	Thazrout Tamelalt1	10	12,23 + ou - 1,55 (13%)
	Thazrout Tamelalt2	10	13,75 + ou - 2,23 (16%)
	Ainseur Oudhafal	10	16,10 + ou - 3,02 (19%)
	Ikharadhène1	12	13,24 + ou - 3,57 (27%)
	Ikharadhène2	13	12,66 + ou - 1,64 (13%)
	Ikharadhène3	12	16,08 + ou - 2,83 (18%)
	Moyenne/station	10,83	12,95 + ou - 2,37 (18%)

Station	Placette	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$ - CV%
Tirourda	Azrou Amelal	7	8,16 + ou - 1,55 (19%)
	Thavrit Izayatènes	11	7,78 + ou - 1,26 (16%)
	Lazzaive	7	8,04 + ou - 0,96 (12%)
	Moyenne/station	8,33	7,99 + ou - 1,26 (16%)

Station	Nombre de sujets	Moyenne HT + ou - $\sigma(X)$	(CV %)
Ait Ouabane	11,67	12,36 + ou - 2,19	18%
Tala Rana	11,5	11,27 + ou - 2,4	22%
Tikjda	8,33	11,84 + ou - 2,38	21%
Tala Guilef	10,83	12,95 + ou - 2,37	18%
Tirourda	8,33	7,79 + ou - 1,26	16%
Zone d'étude	10,13	11,24 + ou - 2,12	19%

Analyse du coefficient de variation de la hauteur totale (HT)

Station Ait Ouabane

L'analyse du tableau 19 relatif à la variation comparative du CV de la hauteur totale des tiges, au niveau de la station d'Ait Ouabane, montre que le CV moyen pour cette station est de 18%, avec des valeurs/placettes ne frôlant pas le seuil de 25%. Ceci, témoigne de la faible dispersion des valeurs de hauteurs autour de la moyenne. Autrement dit, il y a une concentration des valeurs autour de la moyenne.

Station Tala Rana

Au niveau de cette station, les variations du CV de la hauteur totale des arbres sont relativement assez semblables à celles constatées dans la station précédente. La placette Darna Thazougaghth présente le CV le plus fort (28%) suivie par Thabourth Bouanssaf (26%), Ainseur Guidawène (21%) et Agouni Bouzid (20%). On remarque que les valeurs du CV se situent dans l'intervalle ($15\% < cv < 30\%$); ce qui nous laisse dire que la dispersion des valeurs autour de la moyenne n'est pas vraiment éparpillée. La structure verticale des peuplements de cette station dont le CV moyen est de 22% est plus ou moins équilibrée avec une moyenne représentative de la distribution.

Station Tala Guilef

Les placettes enregistrant les CV les plus élevés sont Ikharradhène 1 (27 %) et Thizi Toumlilt 26 (%), suivies par Ighil Inguel 3 et 2, avec respectivement (22% et 20 %). D'autres placettes présentent des CV très rapprochés de la valeur seuil de 15 %, et c'est la placette Auberge Nord qui enregistre le CV le plus faible (9%).

Cette analyse nous permet de conclure que pour la station de Tala Guilef, la dispersion des valeurs de HT autour de la moyenne est assez faible (CV moyen de 18%); ce qui permet d'utiliser la moyenne comme paramètre de distribution).

Station Tikjda

Seules trois placettes se distinguent par un coefficient de variation important. Il s'agit de Thighzerth CAF avec un CV maximal de 36 %, Thighzerth Bas (31 %) et Thizi N'Rbet (30 %). Cinq autres placettes présentent un CV compris entre 15 et 30 % et le reste des placettes (04) ont un CV < 15 % (Amalou Voutlam, Thighzerth Réserve (4%), taouylat incendiée (8%) et Thigounathine (14%).

Le CV moyen est de 21%. L'analyse globale nous permet de conclure que, pour la station de Tikjda, il y a une hétérogénéité inter-placettes et au sein de la placette même pour certaines d'entre elles.

Il ressort de cette analyse que les placettes Thighzerth CAF, Thizi N'Rbet, G8-Hôtel et Thighzerth Bas sont les plus hétérogènes et où donc la moyenne ne peut servir vraiment comme indicatrice de position. Il faudra recourir à la médiane pour une meilleure représentation.

Station Tirourda

Enfin, pour la station de Tirourda, on relève une très faible dispersion des valeurs de Ht autour de la moyenne. La placette Azrou Amelal présente également le CV le plus élevé (19%), suivie toujours par Thavrit Izayatène (16%), et la valeur la plus basse est enregistrée dans la placette Laazaives (12%). Ces valeurs sont légèrement > 15% (valeur seuil) ; donc on déduit une faible dispersion des valeurs autour de la moyenne. Au niveau stationnel, le CV moyen est de 15% ; signifiant alors, une concentration des valeurs autour de la moyenne et permettant par conséquent, la possibilité d'utiliser ce paramètre pour représenter les observations.

Analyse du coefficient de variation comparatif inter-stations de la hauteur totale (HT)

A l'échelle de la zone d'étude, on constate que seules les stations de Tala Rana et Tikjda avec des CV moyens respectifs de 22% et 21% présentent une dispersion assez légère des valeurs autour de la moyenne. Globalement, la dispersion des valeurs de la hauteur totale autour de la moyenne est faible avec un CV moyen de 19% ; par conséquent, on peut dire que l'utilisation de la moyenne comme paramètre de tendance centrale est adéquat.

3.3. Coefficient de variation comparatif DHP- HT

Tableau 20: Coefficient de variation (CV%) comparatif entre le DHP et la HT.

Station	Placette	DHPmoy	HTMoy
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	0,5	16,79
	Thiradhlime	0,49	11,63
	Zgamouz	0,46	15,25

	Chr�a Teffah	0,32	9,35
	Assamar Teffah	0,29	10,92
	Tizi Ivaoualène	0,36	10,2
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	0,93	12,87
	Ainseur Guidawène 2	0,72	11,8
	Agouni Bouzid	0,4	9,91
	Thabouth Bouancef	1,13	12,38
	Agouni Vouthouvras	0,56	11,48
	Darna Thazougaghth	0,43	9,17
Tikjda	Amalou Voutlam	0,7	15,51
	G 8 Clôture	0,51	10,95
	G 8 Hôtel	0,27	9,16
	Thigounatine	0,63	15,7
	Thighzerth Réserve	0,51	11,99
	Thighzerth Chalet CAF	0,37	15,7
	Thighzerth Toumlilt	0,36	10,28
	Taouyalt �rabli�re	0,48	12,26
	Tala Lhanak	0,39	10,21
	Thizi N'Rbet	0,37	9,68
	Taouyalt incendié	0,34	11,86
	Thighzerth Bas	0,41	8,84
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	0,53	15,8
	Auberge Sud	0,3	10,41
	Auberge Nord	0,35	11,41
	Ighil Inguel 1	0,94	11,6
	Ighil Inguel 2	0,71	10,21
	Ighil Inguel 3	1,14	11,89
	Tazrout Tamellat 1	0,44	12,23
	Tazrout Tamellat 2	0,58	13,75
	Ainseur Oudhafal	0,47	16,1
	Ikharadhène 1	0,36	13,24
	Ikharadhène 2	0,53	12,66
	Ikharadhène 3	0,8	16,08
Tirourda	Azrou Amelal	0,4	8,16
	Tavrit Izayatènes	0,36	7,78
	Laazaive	0,48	8,04
Paramètres de position et de dispersion	Moyenne /zone d'étude	0,52	11,88
	Ecart-type ($\sigma(X)$)	0,22	2,49
	CV (%)	42%	21%

3.3. Analyse du Coefficient de variation comparatif inter stations (DHP) et (HT)

L'analyse du tableau 20 qui compare les coefficients de variation des deux paramètres DHP et HT, montre que pour les deux variables considérées, la valeur du coefficient de variation est de 42% pour le DHP et de 21% pour la HT. On constate donc que, c'est le DHP qui présente des valeurs plus dispersées autour de la moyenne. Cela revient à dire que, la structure horizontale est très hétérogène en comparaison avec la structure verticale plus ou moins homogène.

4. Facteur d'élanement du peuplement (H/D)

Tableau 21: Variation interplacettes du coefficient d'élanement (H/D)

Station	Placette	Coefficient d'élanement (H/D)	Moy/Station
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	31,69	30,55
	Thiradhlime	23,88	
	Zgamouz	32,45	
	Chr�a Teffah	30,4	
	Assamar Teffah	35,83	
	Tizi Ivaoualène	29,04	
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	13,72	17,89
	Ainseur Guidawène 2	15,64	
	Agouni Bouzid	27,19	
	Thabourth Bouancef	10,81	
	Agouni Vouthouvras	21,16	
	Darna Thazougaghth	18,82	
Tikjda	Amalou Voutlam	21,11	31,58
	G 8 Clôture	21,85	
	G 8 Hôtel	34,92	
	Thigounathine	36,61	
	Thigounathine Réserve	22,38	
	Thighzerth Chalet CAF	51,37	
	Thighzerth Toumlilt	37,57	

	Thaouyalt Erablière	35,89	
	Tala Lahnak	30,77	
	Thizi N'Rbet	27	
	Thaouyalt Incendié	35,86	
	Thighzerth Bas	23,63	
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	41,8	28,0941667
	Auberge Sud	34,34	
	Auberge Nord	35,86	
	Ighil Inguel 1	17,11	
	Ighil Inguel 2	13,26	
	Ighil Inguel 3	11,25	
	Thazrout Tamellat 1	34,28	
	Thazrout Tamellat 2	23,97	
	Ainseur Oudhafal	31,91	
	Ikharadhène 1	34,06	
	Ikharadhène 2	37,12	
	Ikharadhène 3	22,17	
Tirourda	Azrou Amelal	21,49	20,72
	Thavrit Izayatènes	24,73	
	Laazaive	15,95	
Moy/Zone d'étude	27,41		

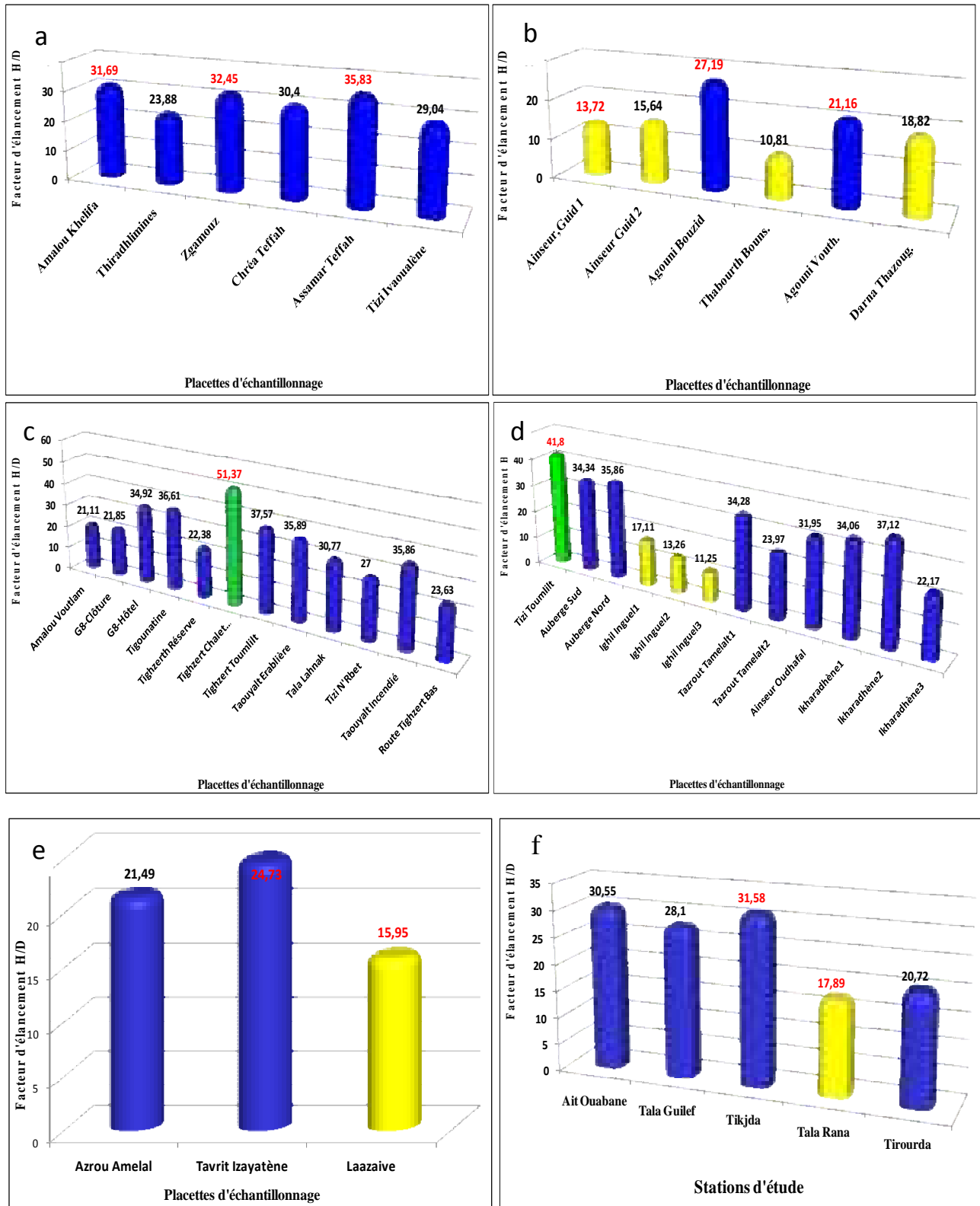


Figure 23: Variabilité inter-placettes par station et inter-stations du facteur d'élanement **a:** Station Ait Ouabane, **b:** Station Tala Rana, **c:** Station Tikjda, **d:** Station Tala Guilef, **e:** Station Tirourda, **f:** Zone d'étude.

On constate sur la base de l'analyse du tableau N°21 et des histogrammes (Fig.23) que sur l'ensemble des placettes échantillonnées, aucune placette ne présente un facteur d'élancement > 100 . En effet, tous les facteurs calculés ont des valeurs $< 70-80$, valeur seuil indiquant la vulnérabilité d'un peuplement à la force du vent.

La comparaison inter-stations montre que la valeur du coefficient d'élancement (H/D) la plus faible a été enregistrée dans la placette Thabourth Bouanssaf au niveau de la station de Tala Rana (10,81), et la valeur maximale (51.37) a été relevée dans la placette Thighzerth CAF (Tikjda). La valeur moyenne de H/D pour la zone d'étude est de 27.19 avec 19 placettes (49%) à H/D supérieur à H/D moyen et 20 placettes (51%) à H/D inférieur à H/D moyen. Les stations de Tirourda et Tala Rana présentent les valeurs les plus faibles. En revanche, les trois autres stations (Tikjda, Tala Guilef et Ait Ouabane) qui présentent des valeurs relativement proches ont enregistré des valeurs plus ou moins élevées.

En comparaison avec les résultats de Larbi (2015) au niveau de la station de Tikjda où la valeur du facteur d'élancement varie de 17.88 à 60.26 avec une moyenne de 36.43, nous constatons que dans nos résultats, la valeur minimale enregistrée (11.01) est relativement faible et la valeur maximale (60.99) est presque identique à celle enregistrée par Larbi (2015).

5. Coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp)

Tableau 22: Coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp)

Station	Placette	DHP.Moy	(DHP.Moy) ²	DH.Moy	(DH.Moy) ²	C.C.Houp
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	0,5	0,25	2,49	6,20	24,80
	Thiradhlime	0,49	0,24	2,07	4,28	17,85
	Zgamouz	0,46	0,21	2,17	4,71	22,25
	Chr�a Teffah	0,29	0,08	1,45	2,10	25,00
	Assamar Teffah	0,32	0,10	2,32	5,38	52,56
	Tizi Ivaoualène	0,36	0,13	2,35	5,52	42,61
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	0,93	0,86	4,06	16,48	19,06
	Ainseur Guidawène 2	0,72	0,52	2,52	6,35	12,25
	Agouni Bouzid	0,4	0,16	1,7	2,89	18,06
	Thabourth Bouancef	1,13	1,28	2,97	8,82	6,91
	Agouni Vouthouvas	0,56	0,31	1,92	3,69	11,76
	Darna Thazougaghth	0,62	0,38	1,98	3,92	10,20
Tikjda	Amalou Voutlam	0,69	0,48	2,41	5,81	12,20
	G 8 Clôture	0,51	0,26	3,9	15,21	58,48
	G 8 Hôtel	0,27	0,07	2,22	4,93	67,60
	Thigounathine	0,63	0,40	5,16	26,63	67,08
	Thigounathine Réserve	0,51	0,26	4,43	19,62	75,45

	Thighzerth CAF	0,37	0,14	2,5	6,25	45,65
	Thighzerth Toumlilt	0,36	0,13	2,39	5,71	44,07
	Thaouyalt Erablière	0,48	0,23	2,83	8,01	34,76
	Tala Lahnak	0,39	0,15	2,7	7,29	47,93
	Thizi N'Rbet	0,37	0,14	2,76	7,62	55,64
	Thaouyalt Incendié	0,34	0,12	3,11	9,67	83,67
	Thighzerth Bas	0,41	0,17	1,87	3,50	20,80
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	0,53	0,28	2,38	5,66	20,17
	Auberge Sud	0,3	0,09	2,97	8,82	98,01
	Auberge Nord	0,35	0,12	4,76	22,66	184,96
	Ighil Inguel 1	0,94	0,88	4,05	16,40	18,56
	Ighil Inguel 2	0,71	0,50	6	36,00	71,41
	Ighil Inguel 3	1,14	1,30	2,49	6,20	4,77
	Thazrout Tamellat 1	0,44	0,19	3,13	9,80	50,60
	Thazrout Tamellat 2	0,58	0,34	3,01	9,06	26,93
	Ainseur Oudhafal	0,47	0,22	3,85	14,82	67,10
	Ikharadhène 1	0,36	0,13	3,13	9,80	75,59
	Ikharadhène 2	0,53	0,28	6,62	43,82	156,01
	Ikharadhène 3	0,8	0,64	3,02	9,12	14,25
Tirourda	Azrou Amelal	0,4	0,16	3,02	9,13	57,06
	Thavrit Izayatènes	0,36	0,13	2,25	5,05	38,98
	Laazaive	0,48	0,23	4,08	16,61	72,07
Moyenne / Zone d'étude		0,53	0,32	3,05	10,60	47,00

L'analyse du tableau 22 montre que 15 placettes sur 39 (38%) présentent un coefficient de couvert du houppier faible (< 25). Il s'agit des placettes Amalou Khelifa, Thiradhlimes et Zgamouz (Ait Ouabane), de l'ensemble des placettes de la station de Tala Rana, Amalou Voutlam et Thighzerth Bas (Tikjda), Thizi Toumlilt, Ighil Inguel1, Ighil Inguel3 et Ikharadhènes3 (TalaGuilef). Les placettes à coefficients de couvert du houppier les plus élevés (> 75) sont au nombre de 6 (15%) représentées par Thigounathines Réserve, Thaouyalt Incendié (Tikjda) et Auberge Sud, Auberge Nord, Ikhardhènes1 et Ikhardhènes2 (Tala Guilef). On constate que les placettes à coefficient de couvert fort ($< C.C.Houp \leq 75$) représentent 26% du total des placettes échantillonnées. La valeur la plus faible a été enregistrée à Ikharadhnènes 3 (4.77), la plus élevée à Auberge Nord (148.96) et la valeur moyenne pour la zone d'étude est de 47. Au total, nous avons 23 placettes (**59%**) dont le C.C.Houppier est $<$ à la moyenne et 16 placettes (**21%**) dont le C.C.Houppier est $>$ à la moyenne.

6. Eclairage relatif du couvert (Er.Couv.)

Tableau 23: Eclairage relatif du couvert arboré

Placette	Rayon de la placette	Hauteur totale Moyenne	R ²	H ²	Eclairage relatif Er= R ² /R ² +H ²
Amalou Khelifa	10,05	16,79	101	281,9	0,26
Thiradhlime	10,05	11,63	101	135,26	0,43
Zgamouz	9,86	15,25	97,22	232,56	0,29
Chr�a Teffah	10,67	9,35	113,85	87,42	0,57
Assamar Teffah	10,35	10,92	107,12	119,25	0,47
Thizi Ivaoualène	10,22	10,2	104,45	104,04	0,5
Ainseur Guidawène 1	10,55	12,87	111,3	165,64	0,4
Ainseur Guidawène 2	9,86	11,8	97,22	139,24	0,41
Agouni Bouzid	10,8	9,91	116,64	98,21	0,54
Thabourth Bouancef	9,83	12,38	96,63	153,26	0,39
Agouni Vouthouvas	9,83	11,48	96,63	131,79	0,42
Darna Thazougaghth	9,8	9,17	96,04	84,09	0,53
Amalou Voutlam	10,05	15,47	101	239,32	0,3
G 8 Clôture	9,83	10,95	96,63	119,9	0,45
G 8 Hôtel	9,8	9,16	96,04	83,91	0,53
Thigounatine	10,22	15,7	104,45	246,49	0,3
Thighzerth Réserve	9,83	11,99	96,63	143,76	0,4
Thighzerth CAF	9,83	16,7	96,63	278,89	0,26
Thighzerth Toumlilt	9,92	10,28	98,41	105,68	0,48
Thaouyalt Erablière	10,22	12,26	104,45	150,31	0,41
Tala Lahnak	10,15	10,21	103,02	104,24	0,5
Thizi N'Rbet	9,92	9,68	98,41	93,7	0,51
Thaouyalt Incendié	10,55	11,86	111,3	140,66	0,44
Thighzerth Bas	10,05	8,84	101	78,15	0,56
Thizi Toumlilt	10,67	15,8	113,85	249,64	0,31
Auberge Sud	10,55	10,41	111,3	108,37	0,51
Auberge Nord	10,67	11,41	113,85	130,19	0,47
Ighil Inguel 1	10,92	11,6	119,25	134,56	0,47
Ighil Inguel 2	10,35	10,21	107,12	104,24	0,51
Ighil Inguel 3	9,8	11,89	96,04	141,37	0,4
Thazrout Tamellat 1	10,35	12,23	107,12	149,57	0,42
Thazrout Tamellat 2	10,35	13,75	107,12	189,06	0,36
Ainseur Oudhafal	9,86	16,1	97,22	259,21	0,27
Ikharadhène 1	9,92	13,24	98,41	175,3	0,36

Ikharadhène 2	9,86	12,66	97,22	160,28	0,38
Ikharadhene 3	10,22	16,08	104,45	258,57	0,29
Azrou Amelal	10,35	8,16	107,12	66,59	0,62
Tavrit Izayatènes	10,8	7,78	116,64	60,53	0,66
Laazaive	10,8	8,04	116,64	64,64	0,64
Er Moyen					0,44

L'analyse du tableau 23 révèle que la valeur de l'éclairage relatif du couvert la plus élevée (0,64) a été enregistrée au niveau de la placette Laazaive (Tirourda), la plus faible (0,26) au niveau des placettes Amalou Khelifa (Ait Ouabane) et Thighzerth CAF et l'éclairage relatif moyen pour l'ensemble des placettes échantillonnées est de 0.44. On remarque que seules 5 placettes/39 (12.82%) présentent un Er.couv < 30%. Le reste des placettes est scindé en deux groupes. Les placettes dont l'Er.couv est relativement moyen avec des valeurs qui oscillent entre 30 et 50 % (23 placettes, soit 58.97%) et les placettes dont l'Er.couv est relativement fort avec des valeurs qui dépassent le seuil de 50 % (11 placettes, soit 28.21 %). Les placettes dont l'Er.couv est > 50% sont représentées par Tavrit Izayatène, Laazaive et Azrou Amelal (Tirourda), Chréa Teffah, Darna Thazougaghth, G8-Hôtel, Thighzerth Bas, etc.

7. Relation Facteur d'élanement (H/D)- Eclairage relatif du couvert (Er.Couv.)

Tableau 24: Corrélation Eclairage relatif du couvert (Er. Couv.) et le facteur d'élanement (H/D)

Corrélation		
	Facteur d'élanement	
	Corrélation de Pearson	-0.28
Eclairage relatif	Sig. (bilatérale)	0.083
	N	39

L'analyse du tableau 24 montrant la corrélation entre l'éclairage relatif (Er) et le facteur d'élanement (H/D) montre un coefficient de corrélation de Pearson de - 0.28 qui signifie que la corrélation entre les deux paramètres, est juste moyennement négative. Ceci est confirmé par le graphique (Fig.24) où l'on remarque que, la courbe de l'évolution du facteur éclairage lumineux en fonction du facteur d'élanement est régressive, quoique, beaucoup de valeurs sont dispersées autour la courbe.

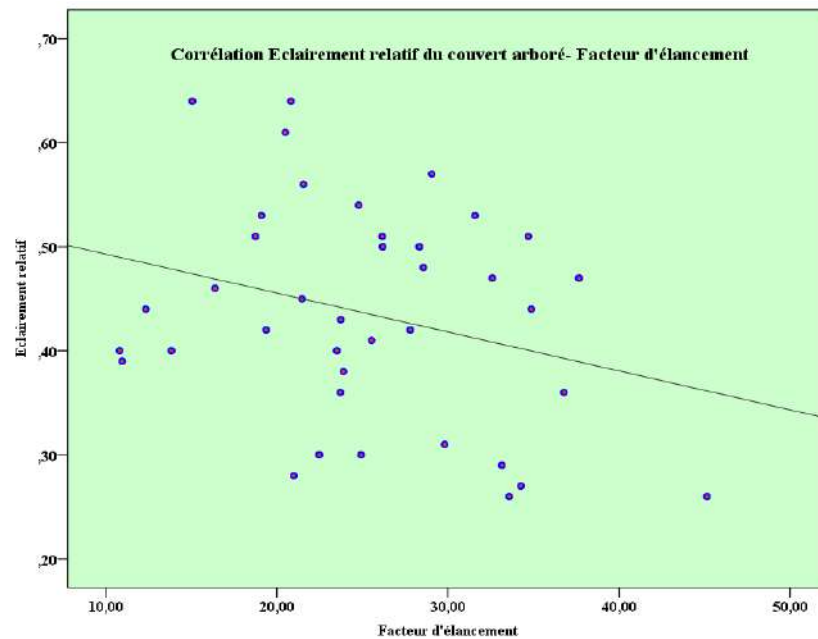


Figure 24: Variation de l'éclairage relatif du couvert en fonction du facteur d'élanement.

8. Régénération naturelle établie

Station Ait Ouabanes

L'analyse du graphique 25 en histogrammes montrant la répartition du nombre de semis par placette, montre que, le pic de semis est enregistré au niveau de la placette Zgamouz (33 semis), suivie par Assamar Teffah avec un peu moins de semis (24). Les placettes Thiradhlimines, Chréa Teffah et Tizi Ivaoulènes présentant une moyenne de semis située autour de 17 semis/placette. Enfin, c'est à la placette Amalou Khelifa qu'on enregistre le minimum de semis avec seulement 8 sujets.

Station Tala Rana

Au niveau de cette station, à travers l'analyse du graphique, on constate que, les pics de semis sont enregistrés dans deux placettes : Ainseur Guidawènes 1 et Agouni Vouthouvas avec un effectif de 39 sujets chacune. Elles sont suivies de près par les placettes Ainseur Guidawè2 (35), Agouni Bouzid (32) et Thabourth Bouanssaf (30). Quant au minimum de régénération, il est enregistré à la station Darna Thazougaghth avec 11 semis.

On peut dire, donc que, dans l'ensemble, la régénération est bonne à très bonne comparativement à la station précédente.

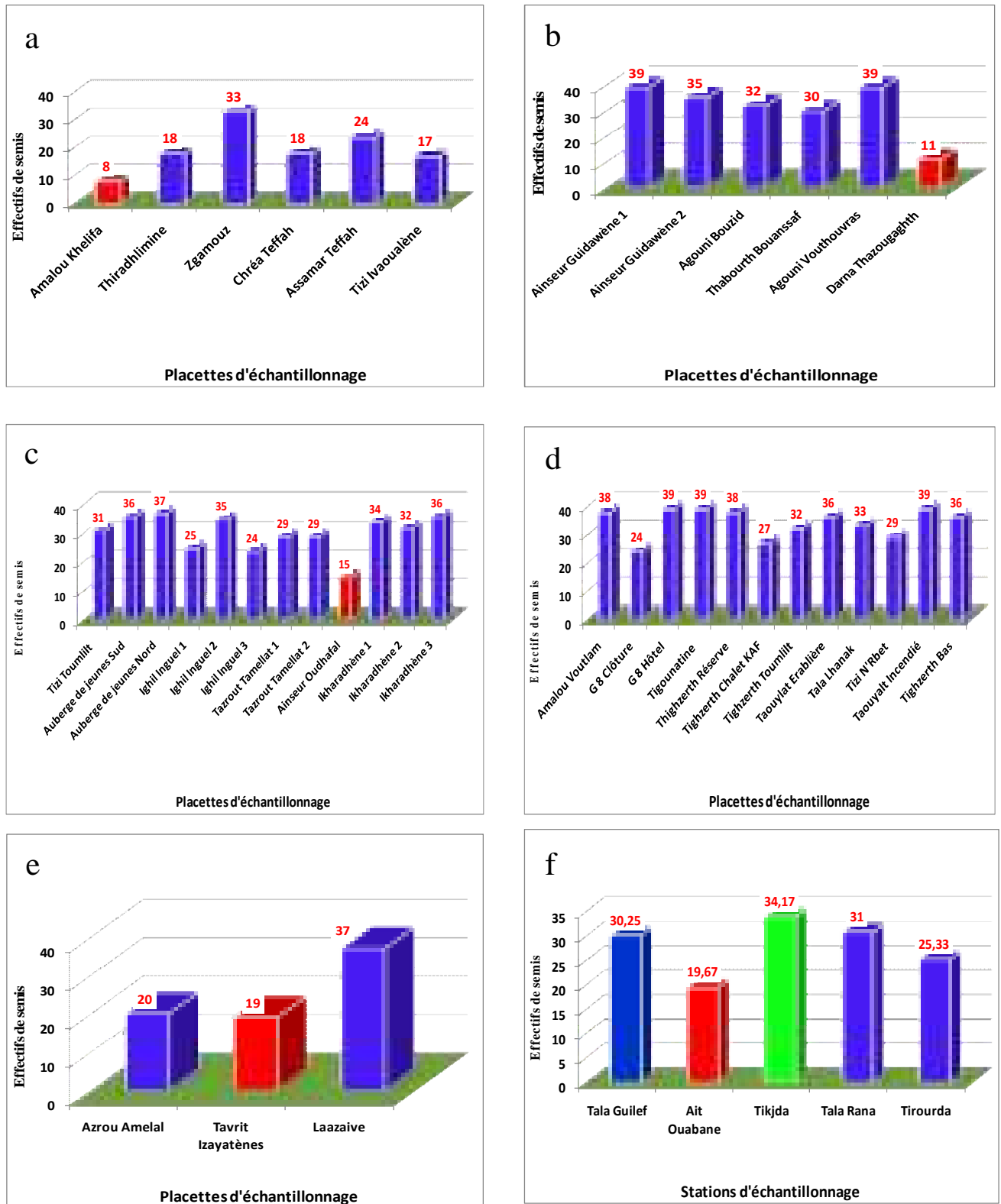


Figure 25: Variation inter-placettes et inter-stations du nombre de semis installés. **a:**Ait Ouabane, **b:** Tala Rana, **c:**Tala Guilef, **d:** Tikjda, **e:**Tirourda, **f:** Zone d'étude.

Station Tikjda

L'analyse des histogrammes de distribution du niveau de régénération par placette, montre plusieurs pics de semis (39sujets). Ils sont indiqués au niveau des placettes G8-Hôtel, Thigounathine et Taouyalt Incendié. Elles sont suivies de plus près par quatre autres placettes, à savoir Amalou Voutlam (38 semis), Thighzerth Réserve (38), Thaouyalt Erablière (36) et Thighzerth Bas (36). A leur tour, ces placettes sont talonnées par deux autres placettes dont le niveau de régénération est bon. Il s'agit de Thighzerth Toumlilt et Tala Lahnak avec des effectifs respectifs de 32 et 33 individus de régénération.

Enfin, les quatre placettes restantes, enregistrent toutes des effectifs de semis < 30 sujets. Nous avons Thighzerth CAF (27 semis), Thizi N'Rbet (29 semis), et le minimum est indiqué au niveau de la placette G8-CIôtûre avec 24 semis.

Station Tala Guilef

Le pic de semis a été enregistré au niveau d'une seule placette : Auberge de jeunes Nord (37 sujets). Elle est suivie de près par deux autres placettes : Auberges Nord et Ikharadhènes3 avec 36 individus de régénération chacune. D'autres placettes présentent aussi un effectif de semis > 30. Nous avons Thizi Toumlilt (31 sujets), Ighil Inguel 2(35 sujets), Ikharadhènes 1 (34 sujets) et Ikharadhènes 2 (32 sujets).

Le reste des placettes est caractérisé par des effectifs de semis < 30. Il s'agit de Tazrout Tamelalt 1 et 2 avec 29 sujets chacune, Ighil Inguel 1 (25 semis), Ighil Inguel 3 (20 semis) et enfin, Ainseur Oudhafal où l'on enregistre le minimum du niveau de régénération avec seulement 25 semis.

Station Tirourda

Dans cette station à taux d'échantillonnage faible, le pic de régénération a été relevé dans la placette Laazaive (37 sujets). Les deux autres placettes, Azrou Amelal et Tavrit Izayatènes, n'ont montré que, 20 et 19 individus de régénération respectivement.

L'analyse de la figure 26 montre que le nombre de semis (NS) par placette varie de 8 (placette Amalou Khelifa) à 39 semis (placettes: G8-Hôtel, Thaouyalt incendié, AgouniVouthouvas, Thigounatine et Ainseur Oudhafal) (figure 26). Le nombre total de semis est de 1153 avec une densité de régénération moyenne de 29.56 semis.

Analyse comparative interstationnelle

Afin de comparer les niveaux de régénération entre les différentes stations, à savoir, les cédraies du versant et nord et celles du versant sud, nous avons calculé une moyenne de

régénération par station d'étude et représenté à l'aide d'histogrammes (Fig.25) la variabilité entre elles.

L'analyse de l'histogramme de la variabilité interstationnelle du nombre de semis, montre que, la station de Tikjda enregistre la moyenne de semis la plus élevée (34.27semis), suivie par Tala Rana avec un peu moins d'individus (31 sujets), et enfin, Tala Guilef dont la moyenne de régénération est de 30.25 semis. Pour les deux autres stations à nombre de régénération < 30, en l'occurrence Tirourda et Ait Ouabanes, la moyenne de régénération est de 25.33 individus pour la 1^{ère} et de 18.83 sujets pour la seconde qui se distingue donc par le niveau le plus faible.

9. Test d'Analyse de Variance à un seul Facteur (ANOVA)

Tableau 25: Moyennes des paramètres dendrométriques des placettes étudiées. F (Constante de Fisher Scenodor) et P (probabilité) paramètres de l'ANOVA.*** correspondant au niveau de signification de l'ANOVA. Les lettres de la colonne SNK (Student, Newmann et Keuls) correspondent aux groupes homogènes ANOVA au seuil de signification (α 0,05). Les lettres majuscules A, B, C et D sont utilisées pour montrer des groupes homogènes déterminés à partir du test post-hoc SNK.

Station	Placette	NS	C1.30***		HT***		FE***		DH***	
			F=7.41 p<0.001		F=8.56 p<0.001		F=12.031 p<0.001		F=7.761 p<0.001	
			Mean	SNK	Mean	SNK	Mean	SNK	Mean	SNK
Tala Guilef	Thizi Tou.	31	1.66	BC	15.80	AB	41.80	AB	3.41	A
	Aub.Sud	36	1.00	D	10.41	BC	34.34	AB	2.38	BC
	Aub.Nord	37	1.08	D	11.41	B	35.86	AB	2.97	AB
	Ighil.Ing 1	25	3.33	AB	11.60	B	17.11	C	4.76	A
	Ighil.Ing 2	35	2.65	AB	10.21	BC	13.26	C	4.05	A
	Ighil.Ing 3	24	3.53	AB	11.89	B	11.25	C	6.00	A
	Tazr.Ta.1	29	1.58	BC	12.23	B	34.28	AB	2.49	B
	Tazr.Ta.2	29	1.92	AB	13.75	AB	23.97	B	3.13	AB
	Ains.Oudh	15	1.68	BC	16.10	AB	31.95	AB	3.01	AB
	Ikharadh.1	34	1.23	C	13.24	AB	34.06	AB	3.85	A
	Ikharadh.2	32	1.62	BC	12.66	AB	37.12	AB	3.13	A
Ikharadh.3	36	2.54	AB	16.08	AB	22.17	B	6.62	A	
Ait Ouabane	Amal.Khe.	8	1.69	BC	16.79	A	31.69	AB	2.49	B
	Thiradh1.	18	1.65	BC	11.63	B	23.88	B	2.07	C
	Zgamouz	33	1.55	BC	15.25	AB	32.45	AB	2.17	C
	Chr�a.Teff	18	1.06	D	9.35	BC	30.40	B	1.45	D
	Assa.Teff	24	0.97	D	10.92	B	35.83	AB	2.32	BC
	Thizi.Iva.	17	1.13	CD	10.20	BC	29.04	B	2.35	BC

Table 25: (suite)

Station	Placette	N S	C1.30***		HT***		FE (H/D)***		DH***	
			F=7.41 p<0.001		F=8.56 p<0.001		F=12.031 p<0.001		F=7.761 p<0.001	
			Mean	SNK	Mean	SNK	Mean	SNK	Mean	SNK
Tikjda	Amal.Tlam.	38	2.36	AB	15.47	AB	21.11	B	2.41	B
	G8-Clôtut.	24	1.74	BC	10.95	B	21.85	B	3.90	A
	G8-Hôtel	39	0.88	D	9.16	BC	34.92	AB	2.22	C
	Thigounath.	39	1.99	AB	15.70	AB	36.61	AB	5.16	A
	Thig.Réser.	38	1.85	AB	11.99	B	22.38	B	4.43	A
	Thigh.CAF	27	1.20	CD	16.70	A	51.37	A	2.50	B
	Thigh.Tou.	32	0.94	D	10.28	BC	37.57	AB	2.39	BC
	Taoy.Erabl.	36	1.36	C	12.26	B	35.89	AB	2.83	AB
	Tala.Lahna.	33	1.12	D	10.21	BC	30.77	B	2.27	C
	Thizi.Rbet.	29	1.18	CD	9.68	BC	27.00	B	2.76	B
	Taoy.Incen.	39	1.24	C	11.86	B	35.86	AB	3.11	AB
Tala Rana	Thighz.Bas	36	1.31	C	8.84	BC	23.63	B	1.87	CD
	Ains.Guid1	39	3.17	AB	12.87	AB	13.72	C	4.06	A
	Ains.Guid 2	35	2.57	AB	11.80	B	15.64	C	2.52	B
	Agou.Bouz.	32	1.48	C	9.91	BC	27.19	B	1.70	CD
	Thab.Boun.	30	3.57	A	12.38	B	10.81	D	2.97	AB
	Agou.Vout.	39	1.74	BC	11.48	B	21.16	B	1.92	CD
Tirour	Darna.Thaz.	11	1.60	BC	9.17	BC	18.82	C	1.98	CD
	Azr.Amel.	20	1.49	C	8.16	BC	21.49	B	3.02	AB
	Tavr.Izaya	19	1.13	D	7.78	C	24.73	B	2.25	C
	Laazaives	37	1.84	B	8.04	BC	15.95	C	4.08	A

Le graphe A (Fig.25) montre la variation du nombre de semis/placette d'échantillonnage. Le nombre total de semis inventorié est de 1153 semis établis avec une densité de régénération moyenne de 29.56 semis. Le nombre de semis (NS) par placette varie de 8 (placette Amalou Khelifa) à 39 semis (placettes: G8-Hôtel, Taouyalt incendié, AgouniVouthouvras, Tigounatine et Ainseur Oudhafal).

Le graphe B (Fig.25) représentant la variation par placette de la circonférence C1.30 m, montre que la circonférence minimale a été enregistrée au niveau de la placette G8-Hôtel (0.88m), alors que la circonférence maximale (3.57 m) a été enregistrée dans la placette Ighil Inguel3. La circonférence moyenne (C1.30m) est de 1.73 m. 25 placettes (64%) présentent des circonférences inférieures à la moyenne et 14 placettes (36%) dont la C1.30 m est supérieur à la moyenne. La circonférence moyenne à hauteur de poitrine (C1.30 m) atteint 1,73 m. Seules 14 placettes (36%) ont enregistré une C1.30 supérieure à cette moyenne. La valeur de C1.30 la plus faible (0.88m) a été enregistrée à Tikjda (P21), tandis que la plus élevée (3,57 m) a été enregistrée à Tala Guilef (P6).

Le graphe C (Fig.26) montrant la variation de la hauteur totale (HT) du peuplement indique que la hauteur totale minimale (7.18 m) a été enregistrée au niveau de la placette Tavrit Izayatène à Tirourda et la valeur maximale (16.79 m) a été obtenue dans la placette Amalou Khelifa (Tikjda). La hauteur totale (HT) moyenne est de 11.91m. Nous avons 16 placettes (41%) dont les valeurs de HT sont supérieures à la moyenne et 23 placettes (59%) dont HT est inférieure à la moyenne.

Le graphe D (Fig. 26) relatif à la variation interplacette du diamètre du houppier (DH) montre que, la valeur minimale du diamètre du houppier (1.45m) a été enregistrée dans la placette Chréa Teffah (Ait Ouabane) et le diamètre de houppier maximum (6.26m) a été enregistré à Ikharadhène3 (Tala Guilef), avec un DH moyen de 3.05 m pour toute la zone d'étude. Nous avons 14 placettes (36%) à DH supérieur au DH moyen et 25 placettes (64%) à DH inférieur au DH moyen. Le diamètre moyen du houppier (DH) est de 3,05 m.

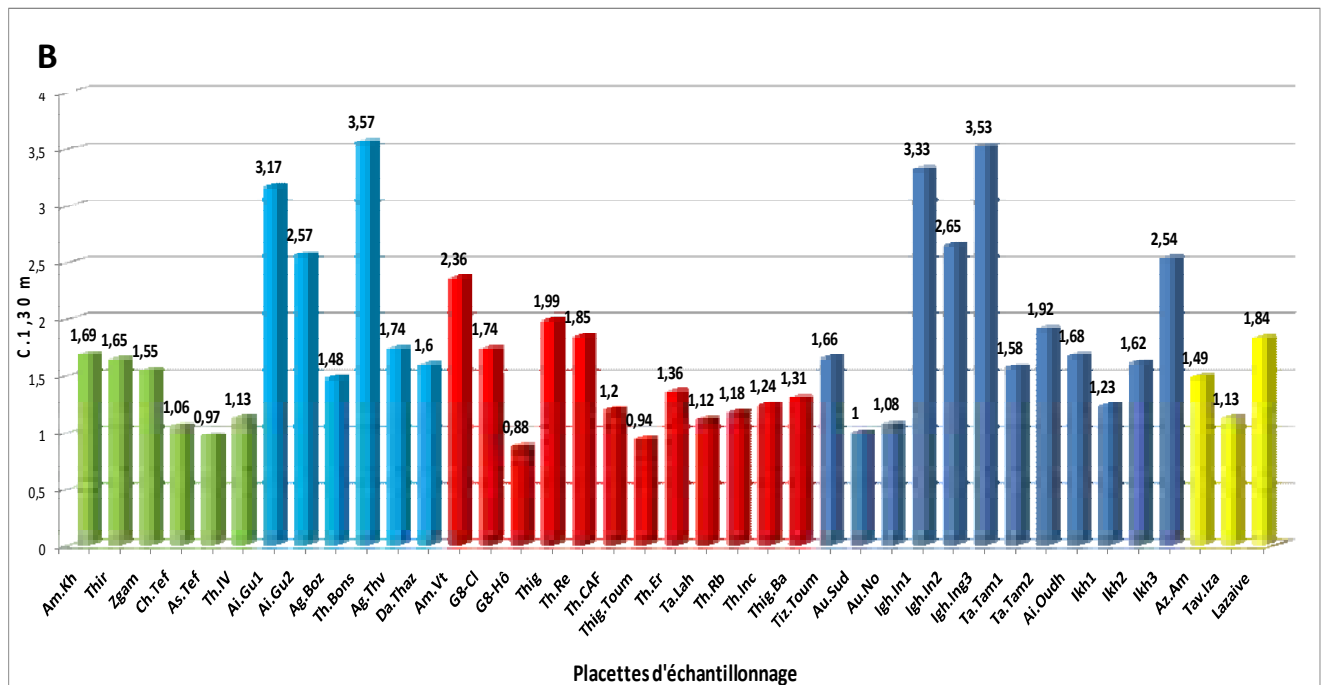
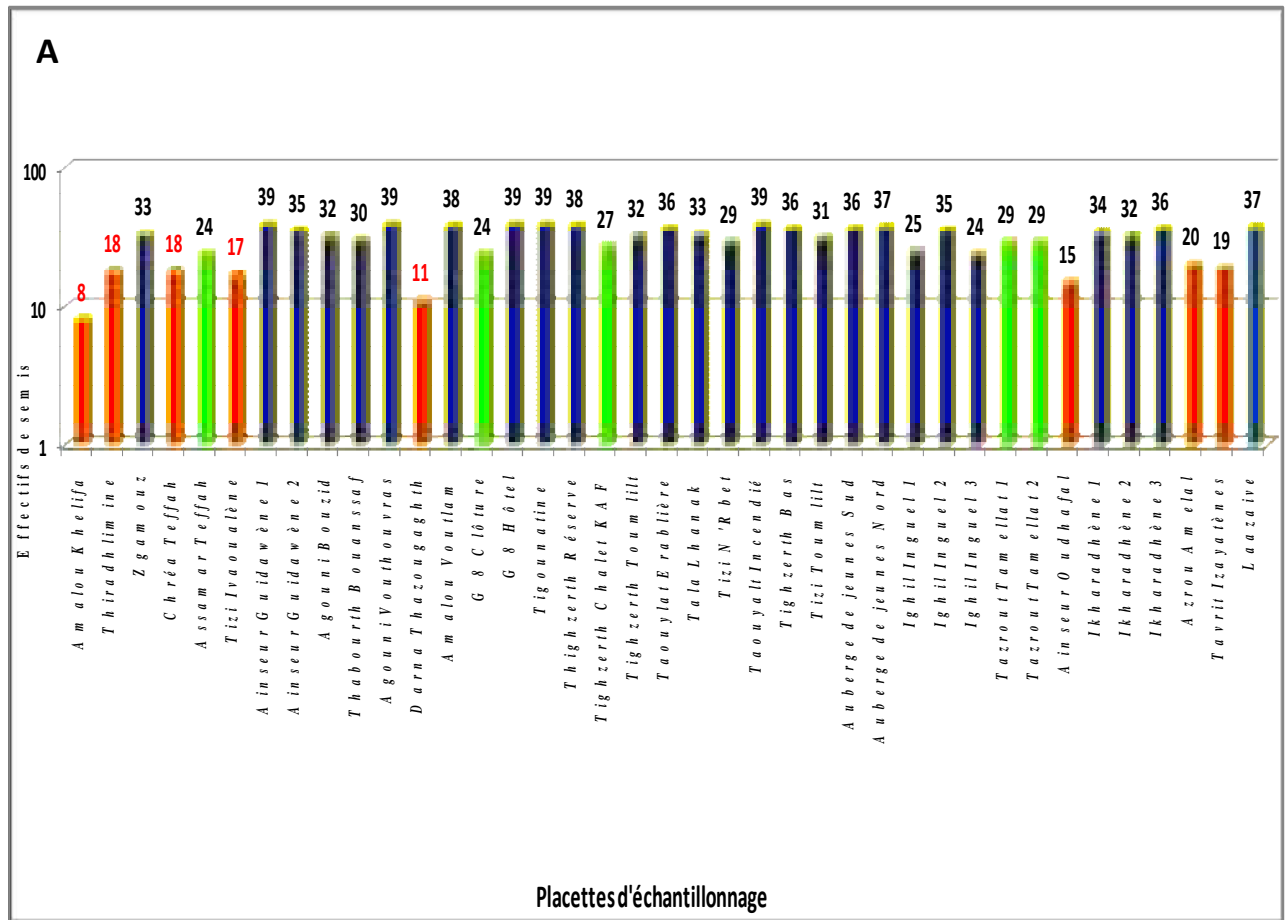


Figure 26: Variabilité interplacettes des paramètres. A : Nombre de semis (NS), B : C.1.30 m.

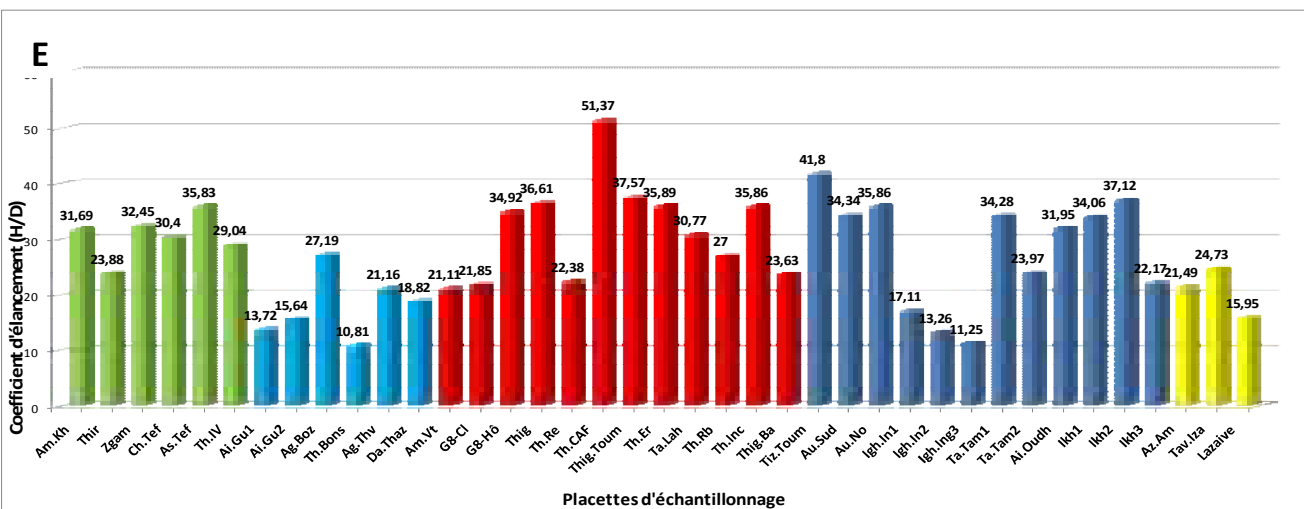
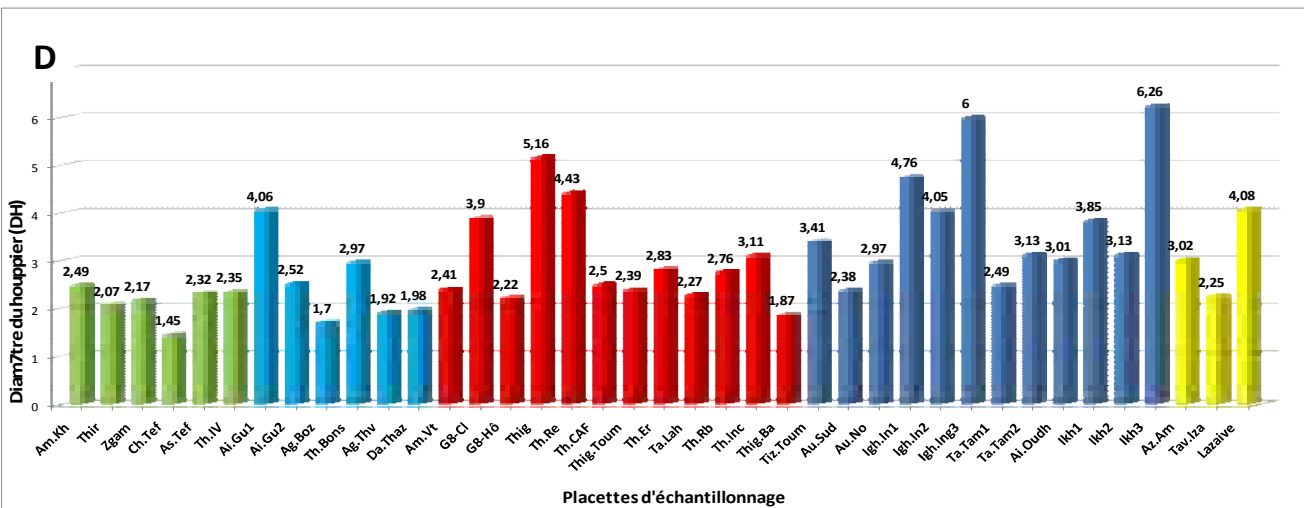
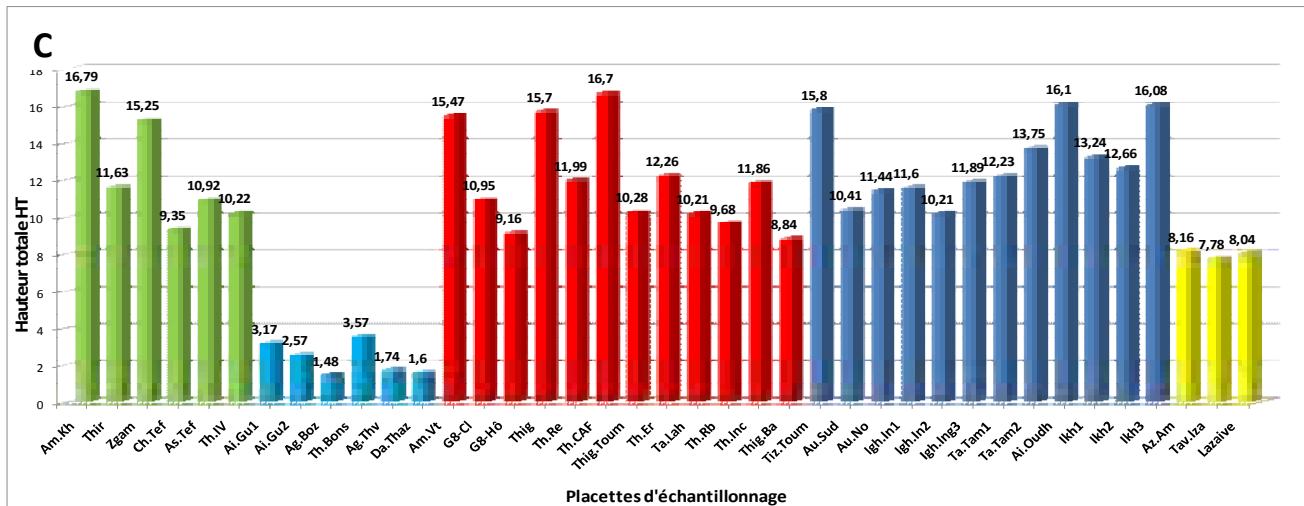


Figure 27: Variabilité inter-placettes des paramètres: **C**:Hauteur Totale (HT), **D** : Diamètre du houpier (DH) et **E** : Coefficient d'élongement (CE : H/D) par placette.

Cette moyenne a été dépassée dans 14 parcelles (36 %). Le DH minimum (1,45 m) a été enregistré à Ait Ouabane (P16) et le maximum (6,26 m) a été atteint à Tala Guilef (P12).

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur (placette) résumés dans le tableau 25, présentent des différences significatives pour les quatre variables analysées (C1.30m, HT, DH et H/D). La différence des moyennes est hautement significative. Les constantes F Fisher Snedecor calculées sont supérieures aux F théoriques et les probabilités p sont inférieures à 0,001 (risque d'erreur $\alpha < 0.05$).

Les analyses descriptives ont mis en évidence une hétérogénéité de l'ensemble des variables mesurées (NS, DH, C.1.30 m, H/D et HT) au niveau de chaque placette. Les analyses post-ANOVA par le test SNK (classification de Newman et Keuls) ont mis en évidence quatre principaux groupes homogènes et trois autres intermédiaires pour les variables considérées.

Pour les variables C.1.30 m et DH, quatre groupes principaux homogènes et trois groupes intermédiaires ont été déterminés.

Concernant la variable hauteur totale (HT), la différence des moyennes des placettes est également hautement significative, et d'après le test SNK, on note la présence de trois principaux groupes homogènes et deux intermédiaires.

De même, le coefficient d'élanement (H/D) présente des différences de moyennes hautement significatives ; ce qui fait ressortir trois groupes homogènes et un groupe intermédiaire (test SNK). Enfin, on relève du tableau ANOVA (test SNK), que la différence entre les moyennes est hautement significative pour le diamètre du houppier (DH).

10. Niveaux de régénération

L'analyse du tableau N°26 et de la représentation graphique par des histogrammes (fig.28) de la variation du niveau de régénération selon les trois niveaux fixés, montre que, nous avons 8 placettes sur 39 (20.51%) à niveau de régénération $N \leq 20$ semis, 09 placettes /39 (23.08%) à niveau de régénération compris entre 20 et 30 semis et le reste, soit 22 placettes sur 39 (59%) à niveau de régénération > 30 semis.

On constate donc, que la majorité des placettes appartiennent au 3^{ème} niveau de régénération, c'est-à-dire à nombre de semis très important pour une superficie moyenne de 324.16 m². Pour les placettes à $N < 20$ semis, elles sont représentées par Amalou Khelifa, Ainseur

Oudhafal, Thiradhlimes, Chr ea Teffah et Tizi Ivaoula enes (Ait Ouabane), Azrou Amelal et Tavrit Izayat enes (Tirourda).

Les niveaux de régénération les plus élevés (38 à 39 semis) ont été enregistrés au niveau des placettes G8-Hôtel, Thigounathine, Taouyalt Incendié, Thighzerth Réserve et Amalou Voutlam (Tikjda), Ainseur Guidawènes 1 et Agouni Vouthouvras (Tal Rana), suivies par les placettes Auberge Nord, Auberge sud, Ikharadh ne3 (Tala Guilef) et Thaouyalt Erablière (Tikjda) avec un nombre de semis de 36 à 37/ placette.

Tableau 26: Variabilité spatiale du niveau de régénération du cèdre de l'Atlas

Nombre de semis	Placette	Nombre de semis
NS ≤ 20 semis	Amalou Khelifa	8
	Ainseur Oudhafal	15
	Thiradhlimes	18
	Chr�ea Teffah	18
	Thizi Ivaoualène	17
	Darna Thazougaghth	11
	Azrou Amelal	20
	Thavrit Izayatène	19
20 < NS ≤ 30 semis	Ighil Inguel1	25
	Ighil Inguel3	24
	Thazrout Tamelalt1	29
	Thazrout Tamelalt2	29
	Assamar Teffah	24
	G8-Clôture	24
	Thighzert Chalet CAF	27
	Thizi N'Rbet	29
	Thabourth Bouanssaf	30
NS > 30 semis	Thizi Toumlilt	31
	Auberge Sud	36
	Auberge Nord	37
	Ighil Inguel2	35
	Ikharadhène 1	34
	Ikharadh�ne2	32
	Ikharadh�ne3	36
	Zgamouz	33
	Amalou Voutlam	38

G8-Hôtel	39
Thigounatine	39
Thighzerth Réserve	38
Thighzert Toumlilt	32
Thaouyalt Erablière	36
Tala Lahnak	33
Thaouyalt Incendié	39
Route Tighzert Bas	36
Ainseur Guidawène1	39
Ainseur Guidawène 2	35
Agouni Bouzid	32
Agouni Vouthouvas	39
Laazaives	37

Si on prend une densité moyenne de 35 individus de régénération par placette de superficie 3 ares (324.16 m²), on aura une densité moyenne de 1079 sujets de régénération à l'hectare. Cette densité est à ramener à 700/600 tiges à l'hectare à l'état adulte (**IDF, 2012**).

La représentation par secteurs du niveau de régénération pour l'ensemble de la zone d'étude, montre que les 1153 individus de régénération comptabilisés se répartissent ainsi : 786 individus (68.17%) de régénération pour le niveau de régénération à $N > 30$ semis, 241 individus (20.90 %) pour le niveau à N oscillant entre 20 et 30 semis et 126 sujets (10.93 %) pour le niveau à $N \leq 20$ semis. On constate que plus de la moitié des placettes échantillonnées présentent un niveau de régénération $N > 30$.

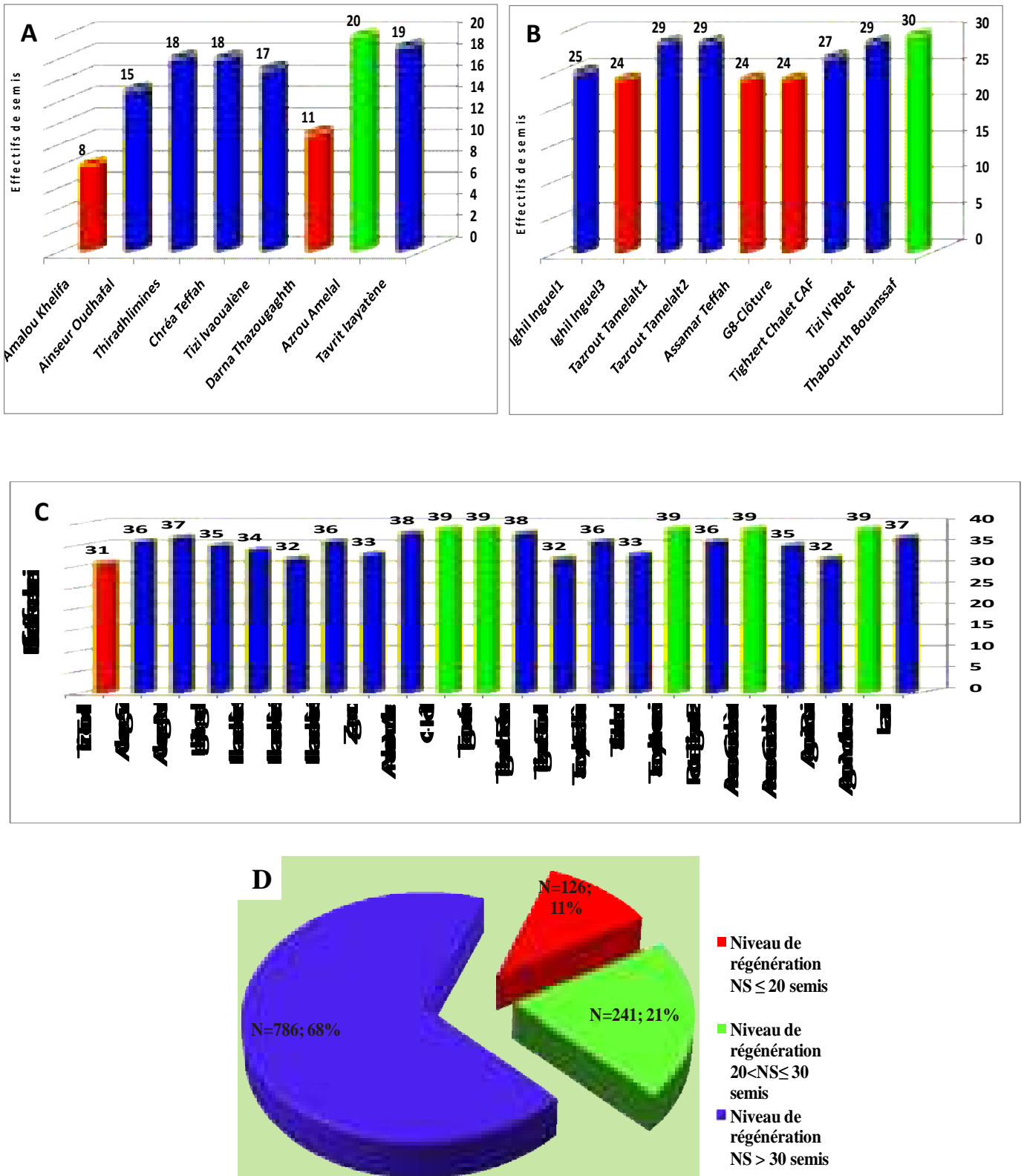


Figure 28: Variabilité des niveaux de régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans la zone d'étude. A : $N \leq 20$ semis, B : $20 < N \leq 30$ semis, C : $N > 30$ semis et D : Proportions par niveau de régénération dans la zone d'étude.

11. Classement des semis établis par catégorie de hauteur /placette/station/zone d'étude

L'analyse de la représentation graphique en secteurs de la régénération du cèdre de l'Atlas dans notre zone d'étude nous permet de répartir les 39 placettes d'échantillonnage en quatre (04) types selon la catégorie de régénération absente. Ainsi, on a dégagé le tableau N°27.

Station des Ait Ouabanes

Dans cette station d'étude, les placettes Amalou Khelifa et Thiradhlimines ne montrent pas tous les stades. Le stade semis-juvénile est absent, et seuls les semis installés sont présents avec des proportions très réduites respectives de 20% et 11%. De même, au niveau de la placette Chréa Teffah et Assamar Teffah, il y a absence de semis juvéniles, mais avec une présence acceptable de semis installés. Les proportions sont de 22% pour Chréa Teffah et 42% pour Assamar Teffah. En revanche, c'est dans la placette Zgamouz seulement que sont présents les quatre stades d'évolution.

Les placettes Thiradhlimines, Chréa Teffah, Assamar Teffah et Tizi Ivaoualènes présentent seulement trois stades, à savoir les semis installés, les fourrés et les gaules. On constate que, pour ces quatre placettes, le stade semis n'existe pas.

Quant à la placette Amalou Khelifa, on n'enregistre que deux stades qui sont le fourré et le gaulis. On voit bien que, trois quarts (75%) des sujets sont des fourrés, ce qui laisse penser que la trouée s'est produite depuis bien longtemps ; et donc, s'est presque refermée, ne laissant pousser ou croître aucune jeune plantule.

Comme on constate aussi que, dans la plupart des stations, c'est le stade gaule qui est le plus représenté. La présence des stades semis installés, mais surtout les fourrés et les gaules, qui constituent un potentiel de régénération, laisse présager la reconstitution de la trouée par le cèdre de l'Atlas.

Station de Tala Rana

Dans cette deuxième station, sur les six (06) placettes échantillonnées, nous relevons quatre (04) placettes qui se caractérisent par la présence des quatre stades d'évolution des semis. Il s'agit de l'Ainseur Guidawènes², Agouni Bouzid, Thabourth Bouanssaf et Agouni Vouthouvas. La gradation des différents stades est un gage du futur repeuplement des trouées ou de la colonisation de cet espace ouvert par le cèdre.

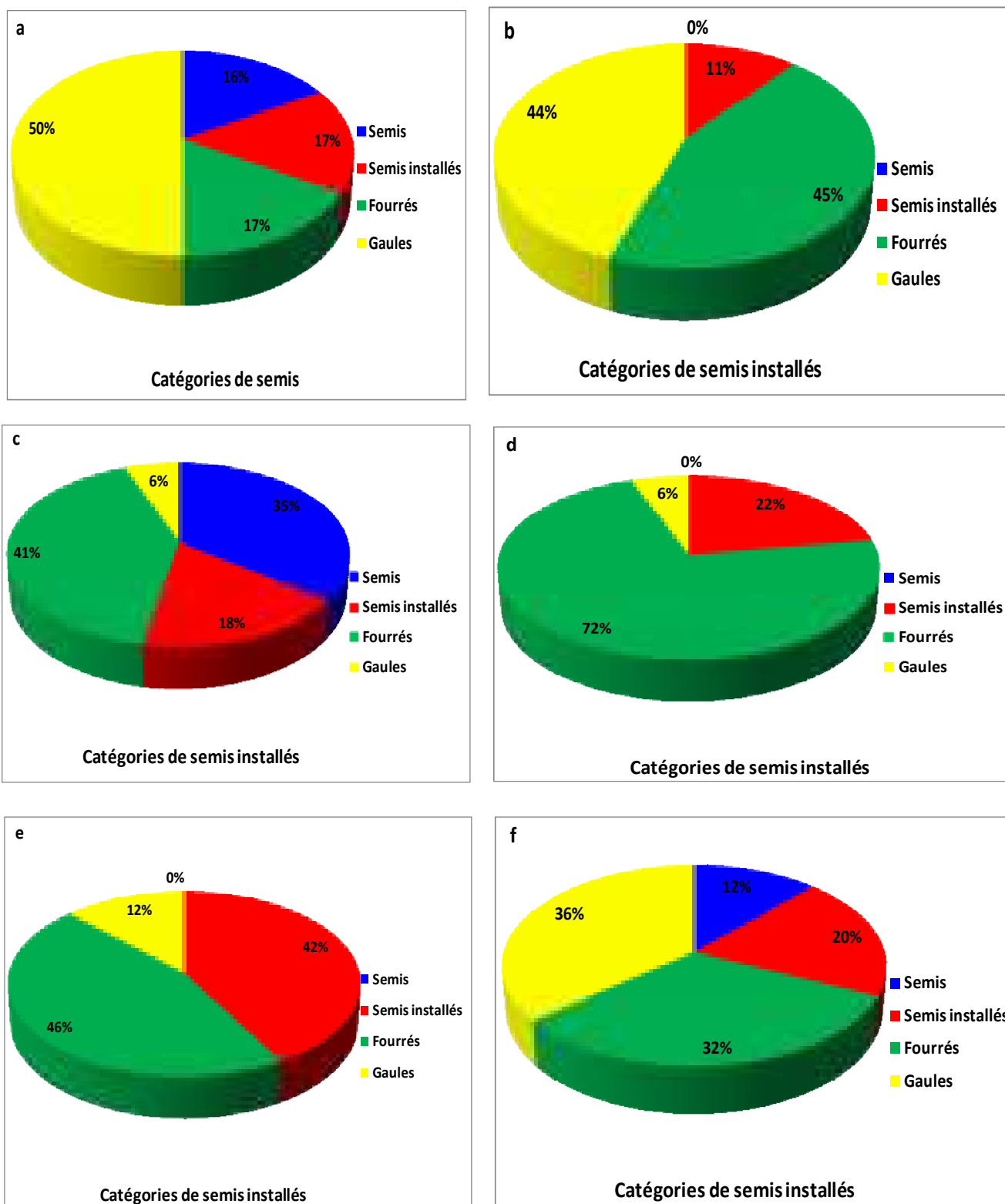


Figure 29: Sectoriels des catégories de semis par placette selon la hauteur des semis (Ait Ouabane). a : Amalou Khelifa, b:Thiradhlimes, c : Zgamouz, d : Chréa Teffah, e : Assamar Teffah, f : Tizi Ivaoualènes.

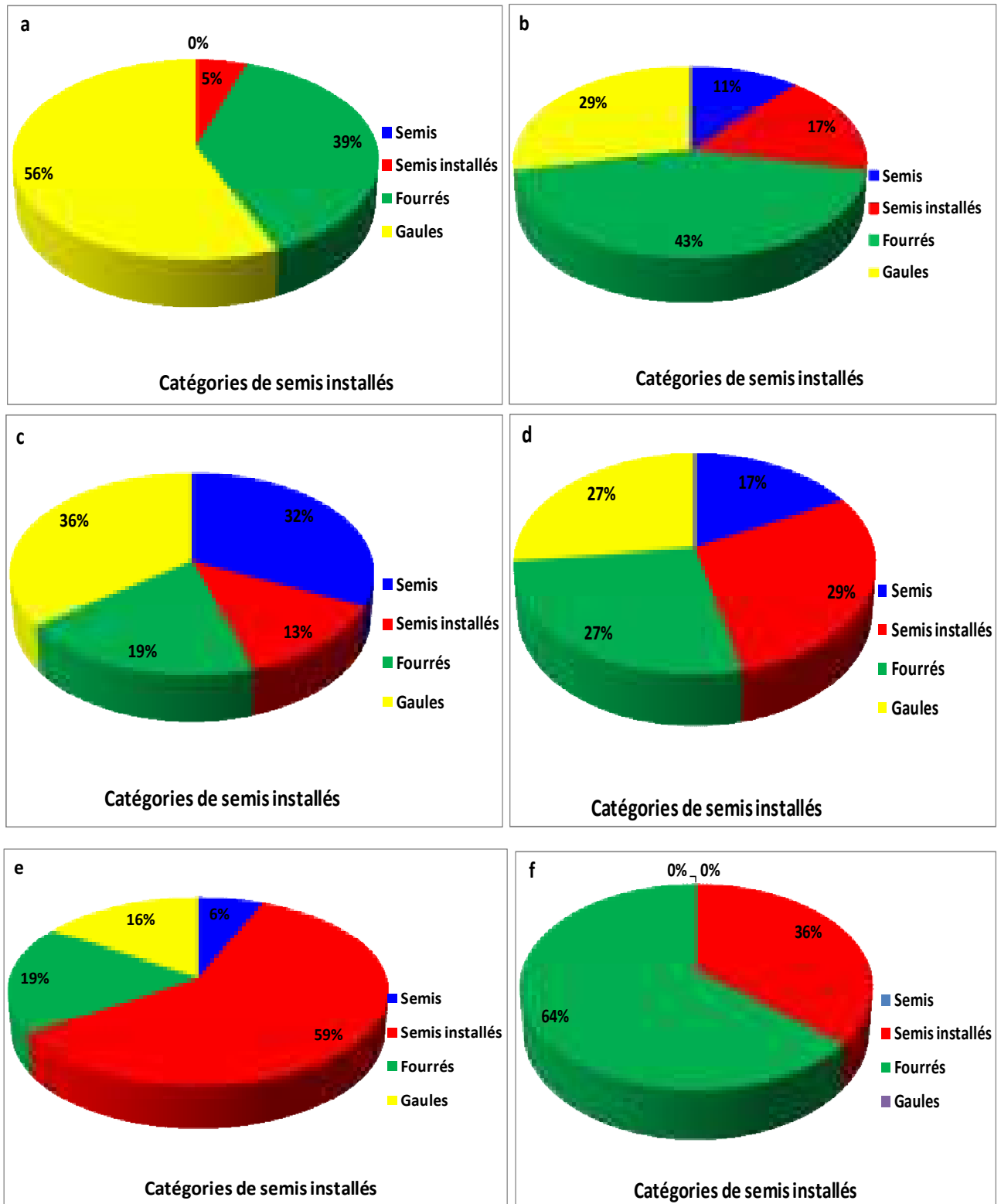


Figure 30: Sectoriels des catégories de semis par placette selon la hauteur du semis (Tala Rana). a : Ainseur Guidawènes1, b : Ainseur Guidawènes 2, c : Agouni Bouzid, d : Thabourth Bouanssaf, e : Agouni Vouthouvras, f : Darna Thazougaghth.

Au niveau de l'Ainseur Guidawènes¹, on constate l'absence de semis et la dominance des gaules (59%) et des fourrés (39%). Alors que, pour Darna Thazougagth, nous n'avons que deux stades : Les semis installés et les fourrés avec un effectif très réduit (11 sujets). Dans cette placette d'altitude et fortement dégradée, il y a une absence de gaules et de semis ; ce qui laisse prédire la difficulté de la reconstitution de la trouée par de nouvelles recrues. On peut émettre l'hypothèse d'un blocage de ces stades d'évolution des semis ou tout simplement une évolution tronquée.

Station de Tikjda

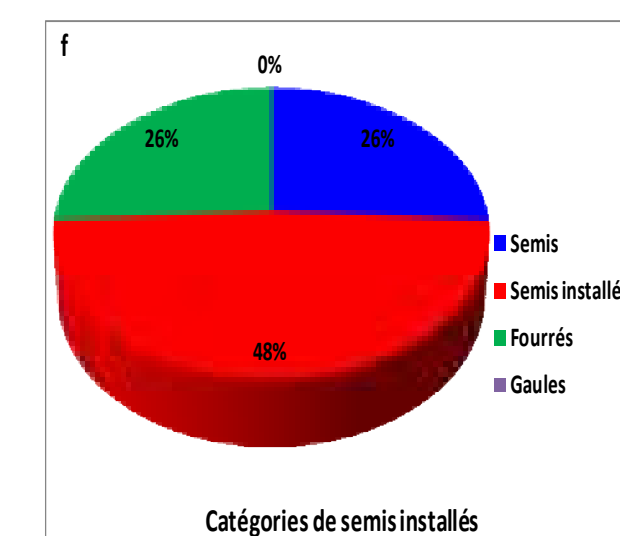
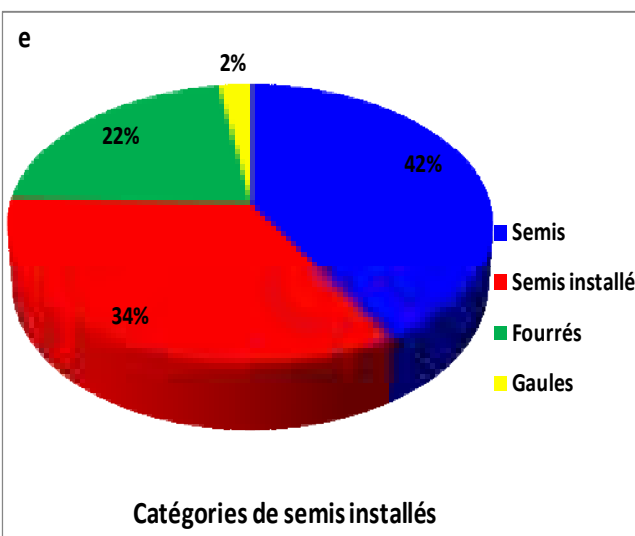
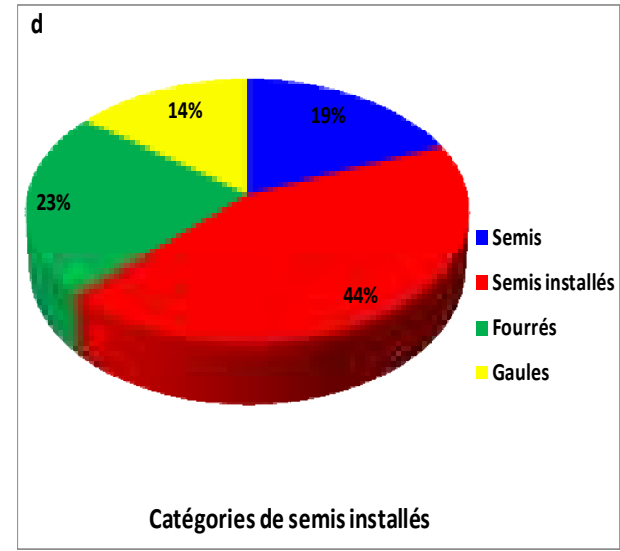
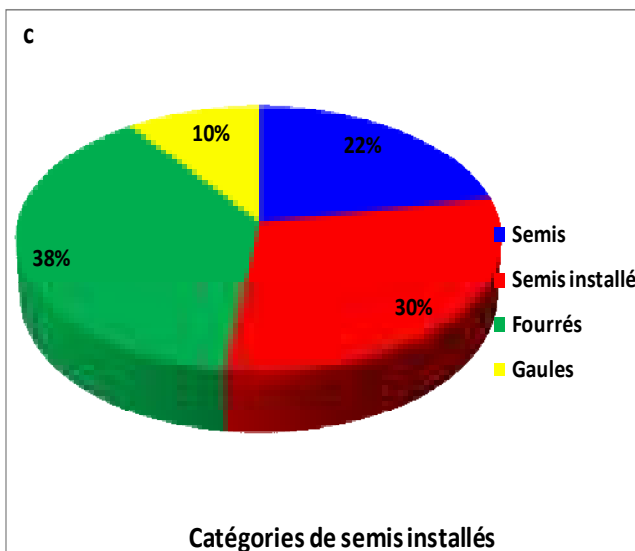
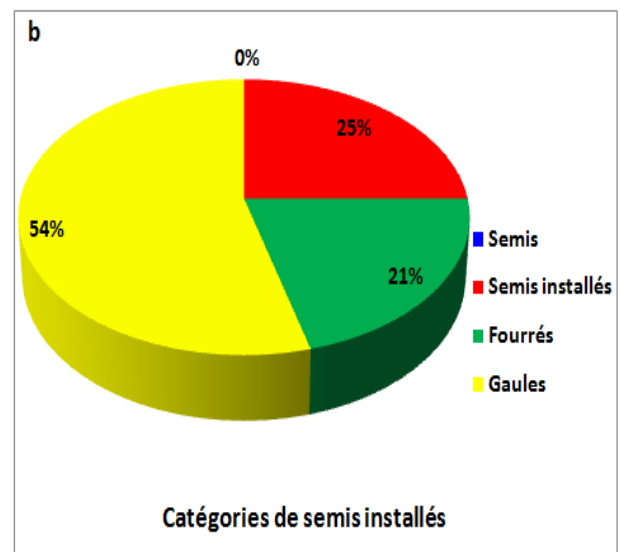
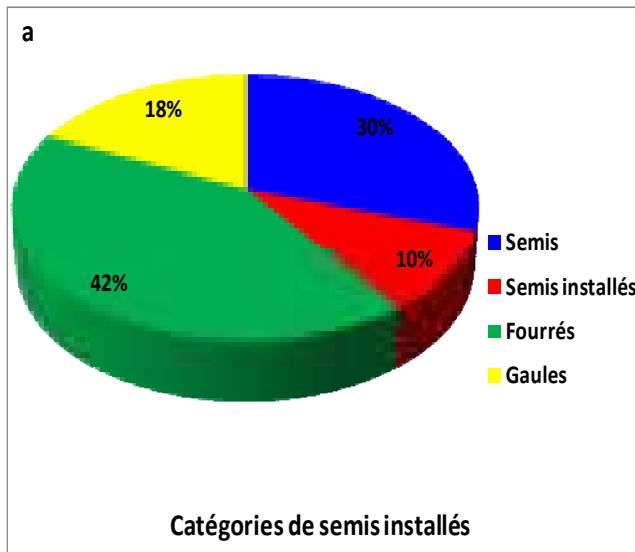
Au niveau de la station de Tikjda, nous avons enregistré sept (07) placettes sur douze (12) qui présentent une gradation des quatre stades d'évolution. Il s'agit du G8-Hôtel, Thighzerth Réserve, Thighzerth Toumlilt, Thaouyalt Erablière, Tizi N'Rbet, Thaouyalt Incendié et de Thighzerth Bas. Dans ces placettes, le stade fourré domine, avec en moyenne 40 % des effectifs. Il est talonné de près par celui de semis installés.

Notons que, pour la placette Thighzerth Réserve, le stade semis est le mieux représenté (42%), suivi par celui des semis installés (34%) et par celui des fourrés avec seulement 22%. Ceci, nous permet de dire que, probablement la trouée s'est nouvellement formée.

Les cinq autres placettes (Amalou Voutlam, Thigounathines, Thighzerth Chalet du CAF, Tala Lahnak et G8-Clôture), ne présentent que trois stades d'évolution : Le semis installé, le fourré et le gaulis. Le stade semis-juvénile est absent.

Au niveau de la placette Thighzerth CAF, la déficience en gaules et la dominance des semis installés avec presque 50% de l'effectif total, suivi par des semis et des fourrés (26%), laisse supposer que la trouée est récente.

Enfin, pour la placette G8-Clôture, il n'y a pas de semis. Le stade gaule domine avec un taux de 50% des effectifs, suivi par les stades de semis installés et gaulis avec respectivement 25 % et 21%.



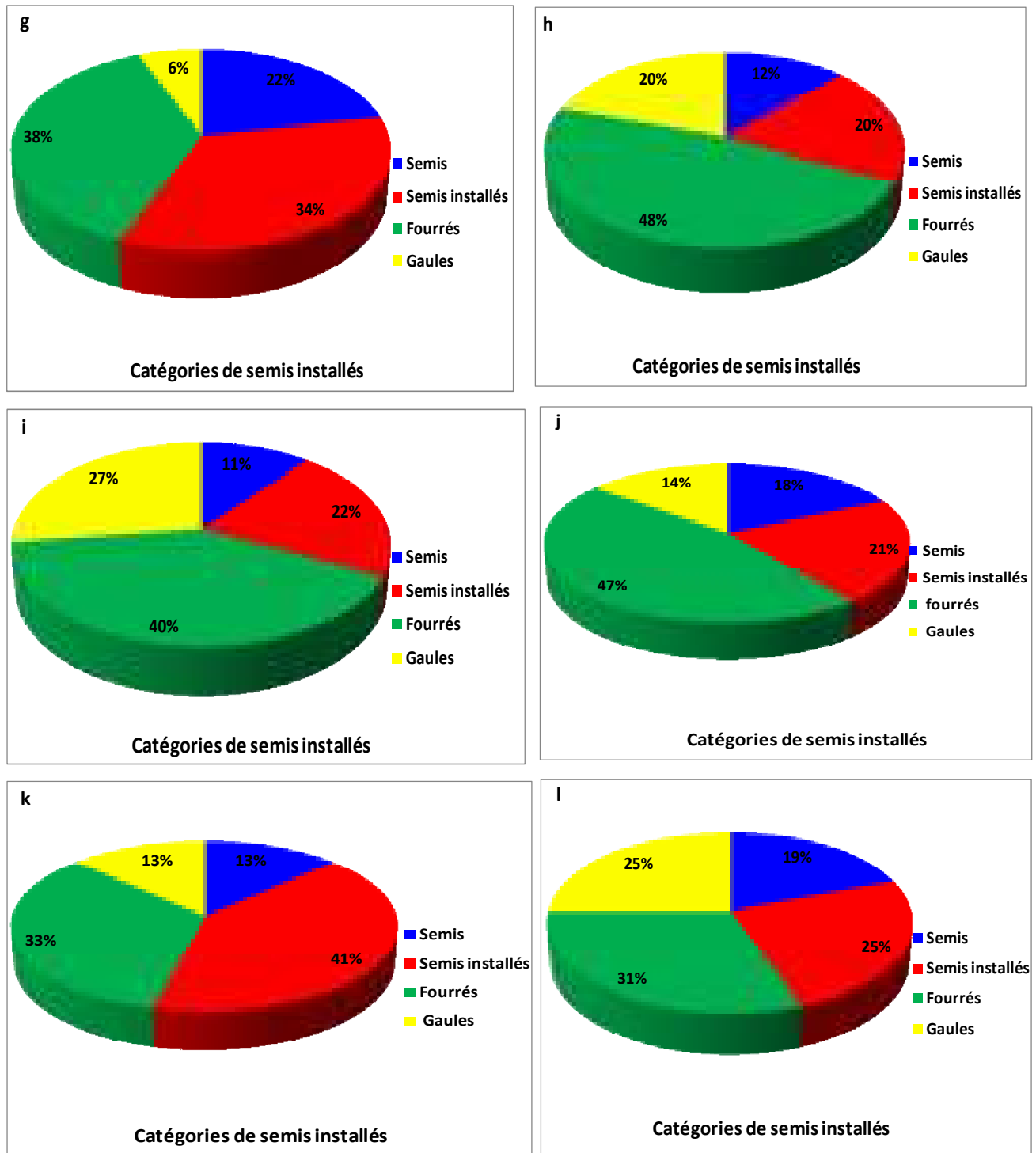


Figure 31: Sectoriels des catégories de semis par placette selon la hauteur du semis (Tikjda)
 a : Amalou Voutlam, b:G8-Clôture, c : G8-Hôtel, d : Thigounathines, e : Thighzerth Réserve,
 f : Thighzerth CAF, g : Thighzerth Toumlilt, h : Thaouyalt Erablière, i : Tala Lahnak,
 j : Thizi N'Rbet, k: Thaouyalt Incendié, l: Thighzerth Bas.

Station de Tala Guilef

L'analyse des graphiques en secteurs des stades d'évolution au niveau de la quatrième station qui est Tala Guilef, montre que sur douze placettes, nous avons une gradation des stades sur dix (10) placettes.

Seules deux placettes se distinguent du lot. Il s'agit de Tazrout Tamelalt1 qui ne présente que trois stades (Semis installés, fourrés et gaules) et dont les semis sont absents, et l'Ainseur Oudhafal dont le graphique ne montre que deux stades : Fourré (47%) et gaulis (53%). Pour cette dernière placette, la description sur le terrain a mentionné un couvert très dense, des indices clairs de surpâturage et un empiétement visible de l'homme. L'absence de fourrés et gaules laisse supposer un blocage de croissance ou du passage d'un stade à son suivant.

L'analyse globale de l'ensemble des placettes montre que, le stade gaule domine dans les placettes constituées de vieux sujets, à l'instar d'Ighil Inguel 1 et 2, Tazrout Tamelalt 1, Ainseur Oudhafal et Ikharadhènes 3. Ceci, nous laisse dire que la formation de la trouée est ancienne à moins que si, le potentiel advectif existant.

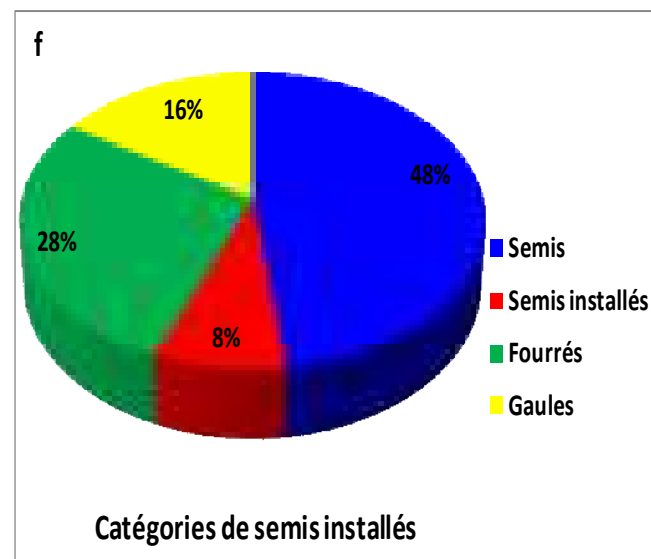
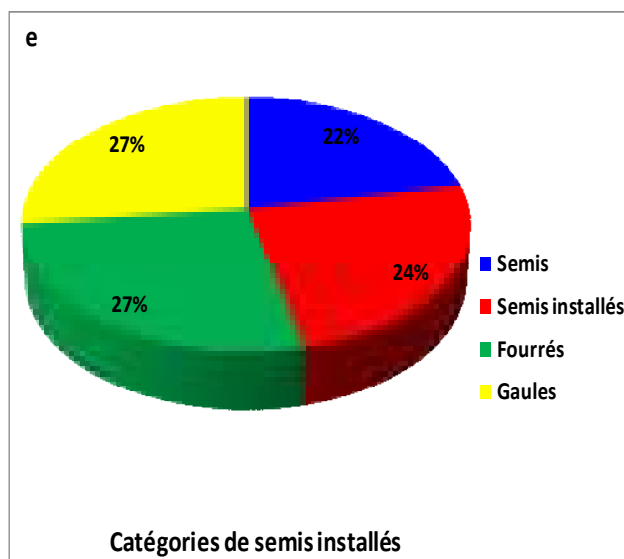
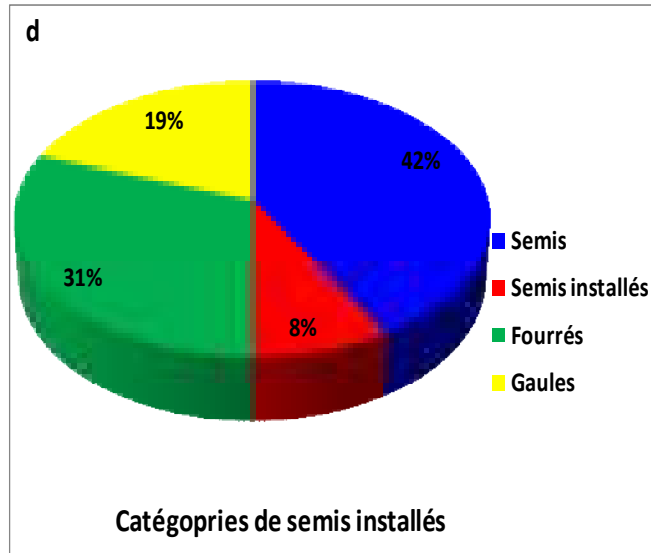
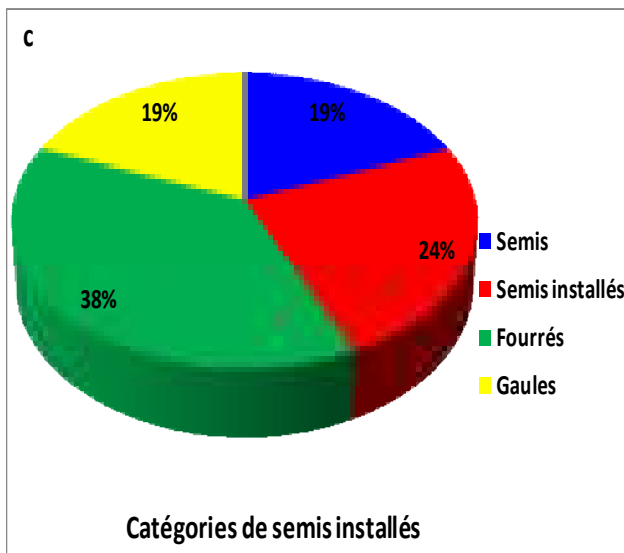
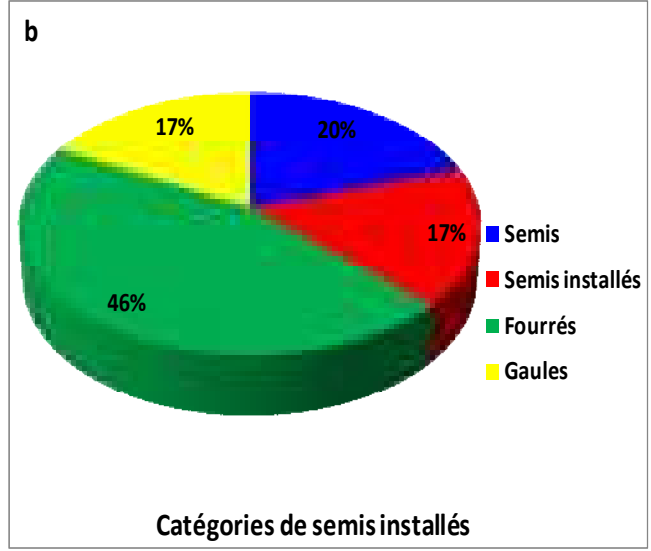
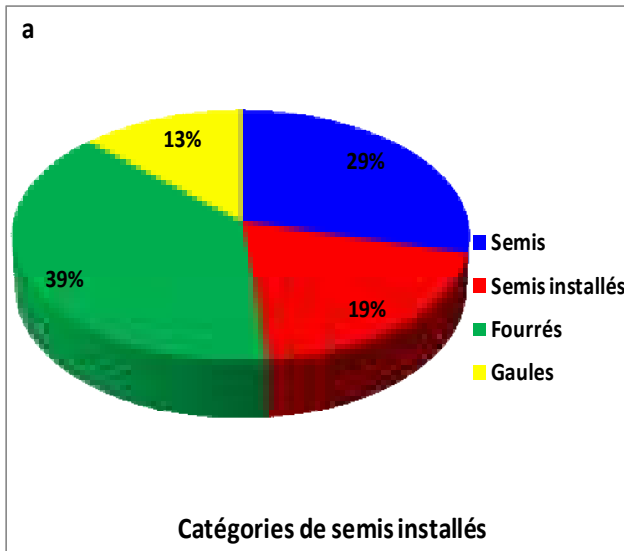
Station de Tirourda

Enfin, dans la cinquième station qui est Tirourda, il y a lieu de constater qu'aucune placette ne présente la gradation des quatre stades d'évolution du semis. Les placettes Azrou Amelal et Laazaiv sont déficitaires en gaules.

La placette Azrou Amelal présente les trois 1ers stades : Semis (5%), semis installés (45%) et fourrés (50%). Ceci, laisse supposer une trouée de formation récente.

La placette Tavrit Izayatènes est déficitaire, plutôt en semis, mais les stades suivants sont bien représentés, notamment le semis installé et le fourré ; ce qui laisse supposer une formation de trouée plus ou moins ancienne contrairement à Azrou Amelal.

Enfin, pour Laazaiv, les 1ers stades sont dominants avec 68% pour le stade semis et 24 % pour le stade semis installé. Les fourrés sont faibles et les gaules absentes.



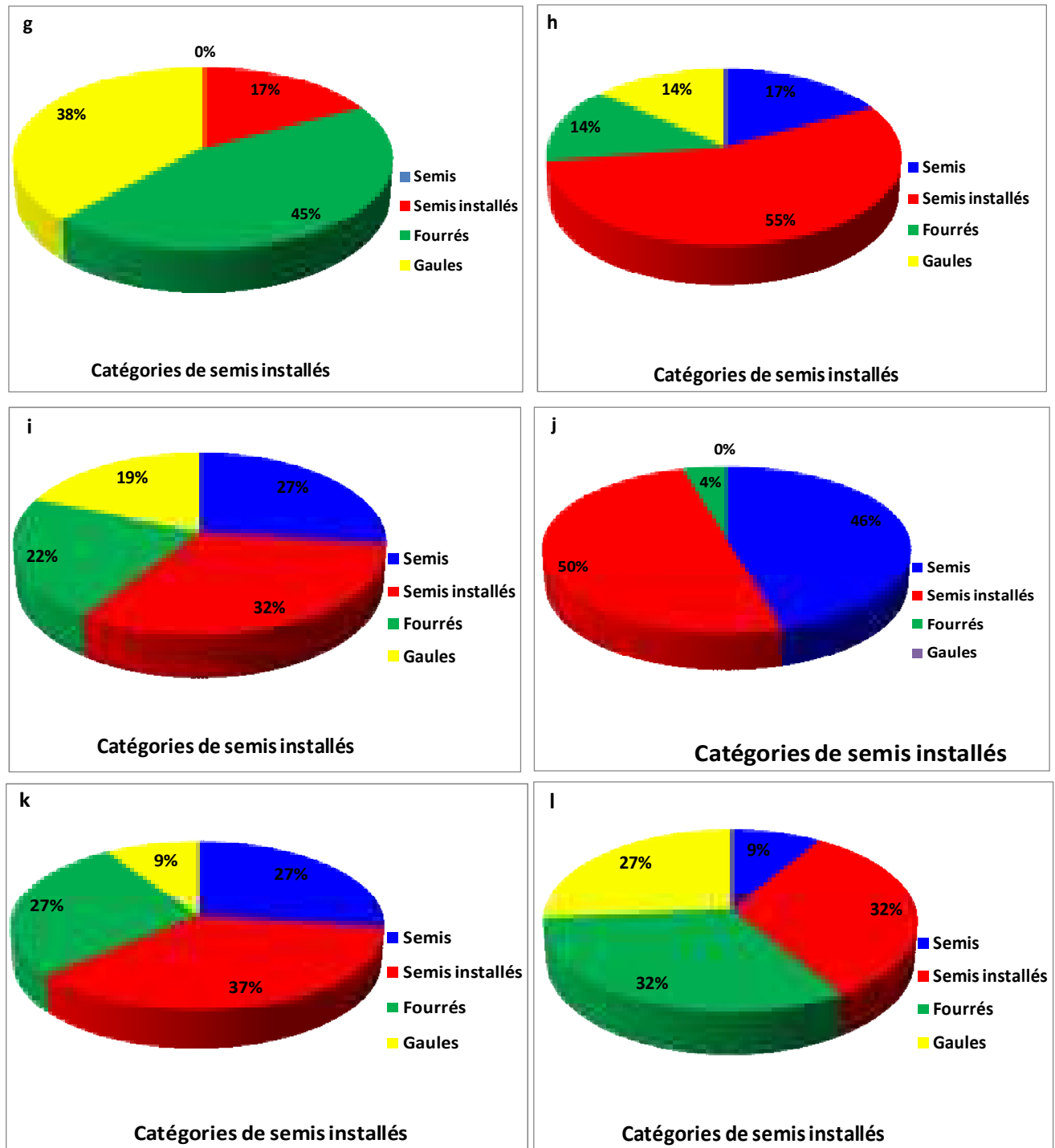


Figure 32: Sectoriels des catégories de semis par placette selon la hauteur du semis (Tala Guilef). a :Thizi Toumlilt, b: Auberge Sud, c :Auberge Nord, d :Ighil Inguel1, e :Ighil Inguel2, f :Ighil Inguel3, g :Tazrout Tamelalt1, h :Tazrout Tamelalt2, i :Ainseur Oudhafal, j : Ikharadhènes1, k:Ikharadhènes2, l: Ikharadhènes3.

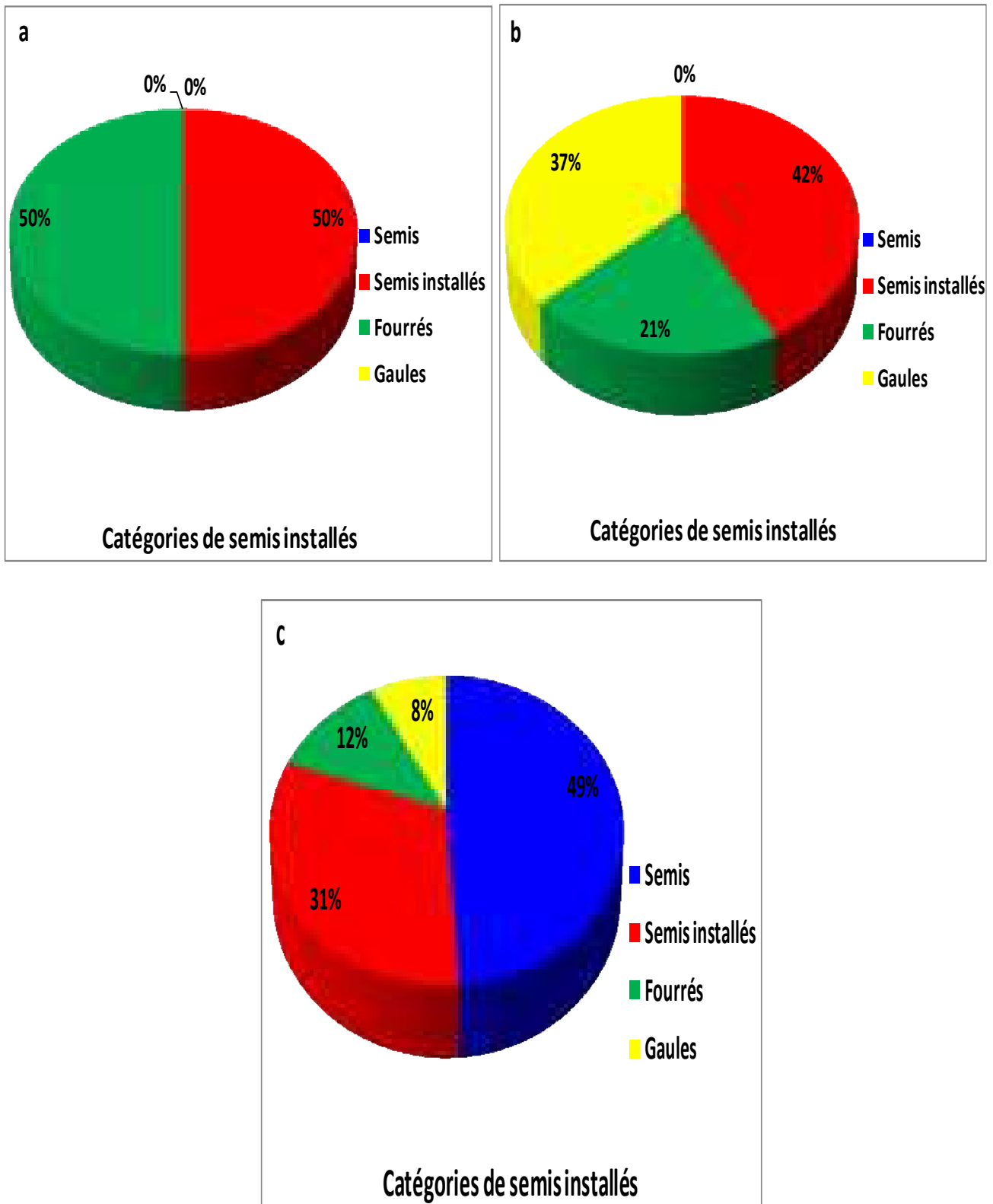


Figure 33: Sectoriels des catégories de semis par placette selon la hauteur du semis (Tirourda). a : Azrou Amelal, b: Tavrit Izayatènes, c: Laazaiv

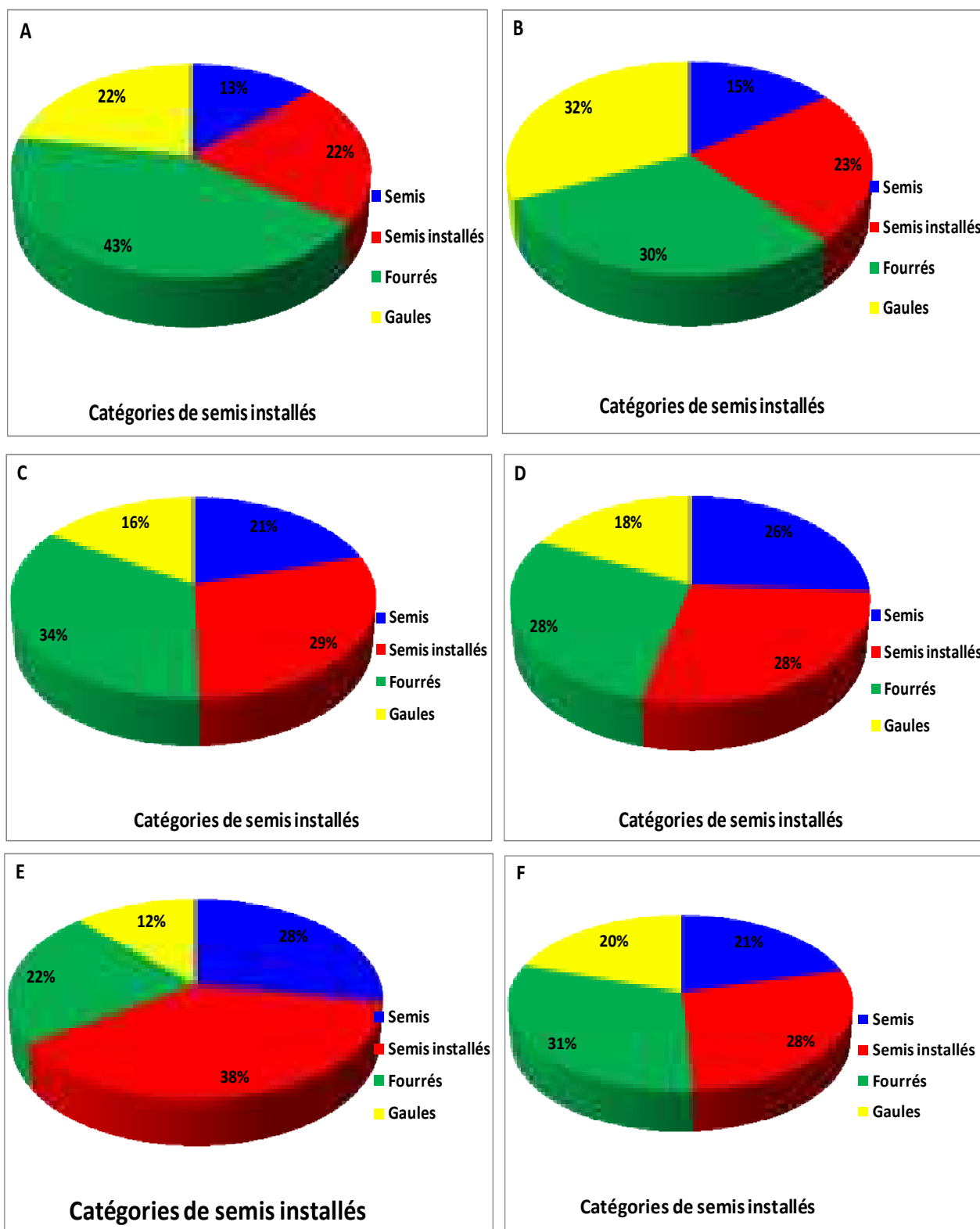


Figure 34: Sectoriels des catégories de semis selon la hauteur du semis /station et /Zone d'étude. **A :** station Ait Ouabane, **B :** station Tala Rana, **C :** station Tikjda, **D :** station Tala Guilef, **E :** station Tirourda, **F :** zone d'étude.

Tableau 27: Richesse dimensionnelle des semis selon leur hauteur

Présence de toutes les catégories de semis	Absence de semis et de semis installés	Absence de semis	Absence de gaules
Zgamouz	Azrou Amelal	Thiradhlimines	Azrou Amelal
Ainseur Guidawènes 2	Ainseur Oudhafal	Chrèa Teffah	Lazaiv
Agouni Vouthouvras	Darna Thazougaghth	Assamar Teffah	Thighzerth CAF
Agouni Bouzid	Amalou Khelifa	Tizi Ivaoualènes	Darna Thazougaghth
G8-Hôtel		Ainseur Guidawènes 1	
Thighzerth Réserve		Tavrit Izayatènes	
Thighzerth Toumlilt		Amalou Voutlam	
Thaouyalt Erablière		G8-Clôture	
Tizi N'Rbet		Thigounathines	
Thaouyalt Incendié		Tala Lahnak	
Thighzert Bas		Tazrout Tamelalt 1	
Thizi Toumlilt			
Auberge Sud			
Auberge Nord			
Ighil Inguel 1			
Ighil Inguel 2			
Ighil Inguel 3			
Tazrout Tamelalt 2			
Ikharadhènes 1			
Ikharadhènes 2			
Ikharadhènes 3			

On distingue deux cas de figures:

1^{er} cas

Présence de tous les stades de régénération : on peut dire qu'il y a une germination graduelle des graines avec installation de plantules ; ce qui confirme le caractère discontinu du processus de régénération.

2^{ème} cas

Dans les placettes où l'on a relevé l'absence des stades inférieurs de la régénération (semis-juvéniles et semis installés), et de surcroît, il y a une abondance des fourrés et gaules, il est

permis d'émettre l'hypothèse d'un blocage des semis et semis installés par un couvert dense se dressant comme un écran à la transmittance de lumière.

12. Densité du peuplement (N/Ha) et densité de la régénération établie

Il ressort de l'analyse du tableau 28 que trois niveaux de densité du peuplement (tri personnalisé sur Excel) sont à dégager.

1. Placettes à faible densité (FD) : Nous avons enregistré neuf placettes, soit 23% des placettes échantillonnées dont le nombre total de sujets varie de 756.74 à 1230.80 tiges à l'hectare.

On remarque que, presque la moitié de ces placettes (4/9) sont situées dans la station des Ait Ouabanes, dans le versant Nord du Djurdjura avec un nombre de semis établis réduit.

2. Placettes à densité moyenne (DM) : Les résultats du tableau montrent que 21 placettes sur 39 (54%) sont à densité moyenne, c'est –à-dire dont le nombre de tiges oscille entre 1294.5 et 1746.81 tiges/ ha, toutes catégories confondues.

Tableau 28: Densité du peuplement (N/Ha)

Station	Placette	Nombre d'arbres	Semis Perches	Total /Placette	Superficie Placette (m ²)	Densité/Ha
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	13	11	24	317,15	756,74
	Thiradhlimine	14	22	36	317,15	1135,11
	Zgamouz	13	21	34	305,27	1113,77
	Chrèa Teffah	22	22	44	357,49	1230,80
	Assamar Teffah	22	34	56	336,36	1664,88
	Thizi Ivaoualène	28	31	59	327,90	1799,33
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	13	40	53	327,97	1616,00
	Ainseur Guidawène 2	11	35	46	349,49	1316,20
	Agouni Bouzid	20	40	60	305,27	1965,47
	Thabouth Bouancef	18	38	56	366,25	1529,01
	Agouni Vouthouvas	21	32	53	303,41	1746,81
	Darna Thazougaghth	29	27	56	303,41	1845,69
Tikjda	Amalou Voutlam	14	40	54	301,57	1790,63
	G 8 Clôture	9	25	34	317,15	1072,05
	G 8 Hôtel	9	40	49	303,41	1614,98
	Thigounathine	9	40	49	301,57	1624,83
	Tigounatine Réserve	6	40	46	303,41	1516,10
	Tighzerth CAF	17	27	44	303,41	1450,18
	Tighzerth Toumlilt	15	32	47	309,00	1521,04
	Thaouyalt Erablière	12	40	52	327,97	1585,51
Tala Lhanak	33	40	73	323,49	2256,64	

	Thizi N'Rbet	10	30	40	309,00	1294,50
	Thaouyalt Incendié	11	40	51	349,49	1459,27
	Thighzerth Bas	14	40	54	317,15	1702,66
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	19	38	57	357,49	1594,45
	Auberge Sud	13	38	51	349,49	1459,27
	Auberge Nord	11	38	49	357,49	1370,67
	Ighil Inguel 1	24	37	61	327,97	1859,93
	Ighil Inguel 2	15	40	55	336,36	1635,15
	Ighil Inguel 3	26	39	65	301,57	2155,39
	Tazrout Tamellat 1	11	30	41	336,36	1218,93
	Tazrout Tamellat 2	11	28	39	336,36	1159,47
	Ainseur Oudhafal	25	30	55	305,27	1801,68
	Ikharadhène 1	12	34	46	305,27	1506,86
	Ikharadhène 2	19	38	57	309,00	1844,66
	Ikharadhène 3	14	38	52	327,97	1585,51
	Tirour da	Azrou Amelal	9	21	30	327,97	914,72
Thavrit Izayatènes		12	25	37	336,36	1100,01
Laazaive		9	40	49	366,25	1337,88
Moyenne /placette						1516,74

Tableau 29: Densité de la régénération établie (NS/ Ha)

Station	Placette	Nombre de semis établis	Superficie Placette (m ²)	Densité de semis installés /ha
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	8	317,15	252,25
	Thiradhlimine	18	317,15	567,55
	Zgamouz	33	305,27	1081,01
	Chrèa Teffah	18	357,49	503,51
	Assamar Teffah	24	336,36	713,52
	Tizi Ivaoualène	17	327,90	518,45
Tala Rana	Ainseur Guidawène 1	39	327,97	1189,13
	Ainseur Guidawène 2	35	349,49	1001,46
	Agouni Bouzid	32	305,27	1048,25
	Thabouth Bouancef	30	366,25	819,11
	Agouni Vouthouvas	39	303,41	1285,39
	Darna Thazougaghth	11	303,41	362,55
Tikjda	Amalou Voutlam	38	301,57	1260,07
	G 8 Clôture	24	317,15	756,74
	G 8 Hôtel	39	303,41	1285,39

	Thigounathine	39	301,57	1293,23
	Thighzerth Réserve	38	303,41	1252,43
	Tighzerth Chalet CAF	27	303,41	889,88
	Thighzerth Toumlilt	32	309,00	1035,60
	Taouyalt Erablière	36	327,97	1097,66
	Tala Lhnak		323,49	1020,12
	Thizi N'Rbet	29	309,00	938,51
	Taouyalt Incendié	39	349,49	1115,91
	Thighzerth Bas	36	317,15	1135,11
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	31	357,49	867,16
	Auberge Sud	36	349,49	1030,07
	Auberge Nord	37	357,49	1034,99
	Ighil Inguel 1	25	327,97	762,26
	Ighil Inguel 2	35	336,36	1040,55
	Ighil Inguel 3	24	301,57	795,84
	Tazrout Tamellat 1	29	336,36	862,17
	Tazrout Tamellat 2	29	336,36	862,17
	Ainseur Oudhafal	15	305,27	491,37
	Ikharadhène 1	34	305,27	1113,77
	Ikharadhène 2	32	309,00	1035,60
Ikharadhène 3	36	327,97	1097,66	
Tirour da	Azrou Amelal	20	327,97	609,81
	Tavrit Izayatènes	19	336,36	564,87
	Laazaive	37	366,25	1010,24
Moyenne /placette		29,56	324,74	912,86

3. Placettes à densité forte (DF) : Ces placettes sont au nombre de neuf (23%) et dont presque la moitié sont situées à Tala Guilef, et le reste des placettes est partagé entre Tala Rana (02), Tikjda (02) et une placette (Tizi Ivaoualenes) aux Ait Ouabanes.

La densité la plus faible (756.74 tiges /ha) a été enregistrée au niveau de la placette Amalou Khelifa (Ait Ouabanes) et la densité la plus élevée (2256.64 tiges/ ha) a été enregistrée au niveau de la placette Tala Lahnak (Tikjda), sachant que la densité moyenne du peuplement pour l'ensemble des placettes échantillonnées est de 1516.74 tiges /ha.

Analyse du tableau : Densité /ha du peuplement/Zone d'étude

Il ressort de l'analyse du tableau 28 que trois niveaux de densité du peuplement (tri personnalisé sur Excel) sont à dégager.

1. Placettes à faible densité (FD) : Nous avons enregistré neuf placettes, soit 23% des placettes échantillonnées dont le nombre total de sujets varie de 756.74 à 1230.80 tiges à

l'hectare. On remarque que, presque la moitié de ces placettes (4/9) sont situées dans la station des Ait Ouabanes, dans le versant Nord du Djurdjura avec un nombre de semis établis réduit.

2. Placettes à densité moyenne (DM) : Les résultats du tableau montrent que 21 placettes sur 39 (54%) sont à densité moyenne, c'est -à-dire dont le nombre de tiges oscille entre 1294.5 et 1746.81 tiges/ ha, toutes catégories confondues.

3. Placettes à densité forte (DF) : Ces placettes sont au nombre de neuf (23%) et dont presque la moitié sont situées à Tala Guilef, et le reste des placettes est partagé entre Tala Rana (02), Tikjda (02) et une placette (Tizi Ivaoualenes) aux Ait Ouabanes.

La densité la plus faible (756.74 tiges /ha) a été enregistrée au niveau de la placette Amalou Khelifa (Ait Ouabanes) et la densité la plus élevée (2256.64 tiges/ ha) a été enregistrée au niveau de la placette Tala Lahnak (Tikjda), sachant que la densité moyenne du peuplement pour l'ensemble des placettes échantillonnées est de 1516.74 tiges /ha.

L'analyse du graphique en secteurs montre qu'à l'échelle de la zone d'étude, plus de la moitié des placettes (56 %) présentent une densité de peuplement moyenne. Le reste des placettes est partagé équitablement entre faible et forte densité (46%).

Analyse du tableau : Densité /ha de la régénération établie/Zone d'étude

L'analyse du tableau N° 28 révèle que 21 placettes sur 39 (53.85%) présentent une densité de régénération établie forte (DF), 11 placettes (28.21%) sont à densité moyenne (DM) et seulement 7 placettes (18%) à densité faible (Df). Pour les placettes à Df, elles sont représentées par Amalou Khelifa, Thiradhlimes, Chrea Teffah et Tizi Ivaoualenes (Ait Ouabane), Darna Thazougaghth (Tal Rana), Ainseur oudhafal (Tala Guilef) et Tavrit Izayatenes (Tirourda).

Il ressort de l'analyse du tableau que les placettes à forte densité de régénération sont concentrées principalement sur le versant sud où l'on compte le maximum de placettes à Tikjda (9/12 placettes) et Tala Rana (4/6 placettes), suivies de Tala Guilef (6/12 placettes) sur le versant Nord.

Pour la zone d'étude, le secteur en camembert montre que plus de la moitié des placettes (56%) sont à densité forte, suivie par la densité moyenne avec 26% des placettes et la faible densité de régénération n'est représentée que par 18% de placettes.

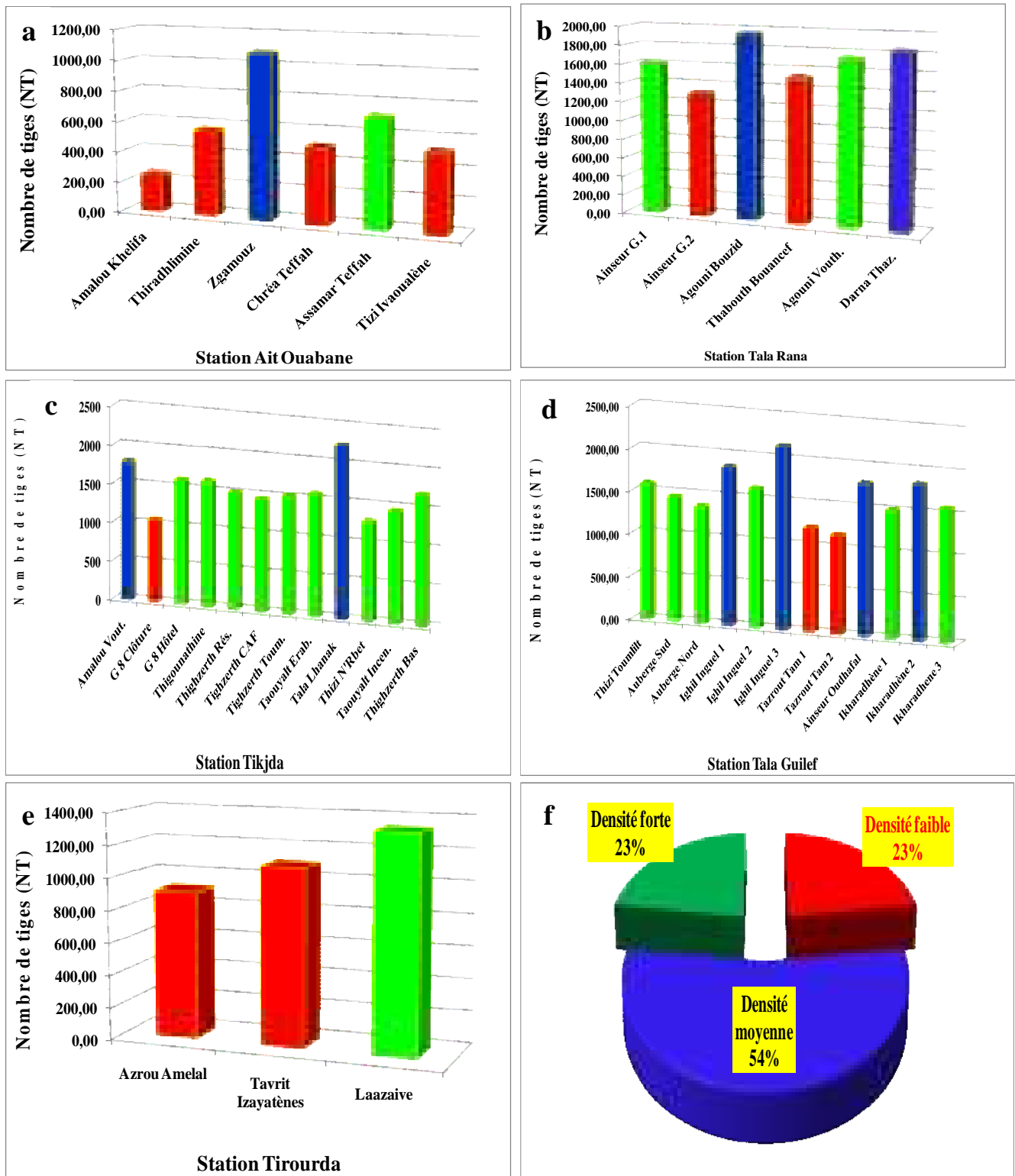


Figure 35: Histogrammes de variation de la densité du peuplement par placette et sectoriels de la densité du peuplement pour la zone d'étude. **a:** Ait Ouabane, **b:**Tala Rana, **c:** Tikjda, **d:** Tala Guilef, **e:** Tirourda, **f:** Zone d'étude.

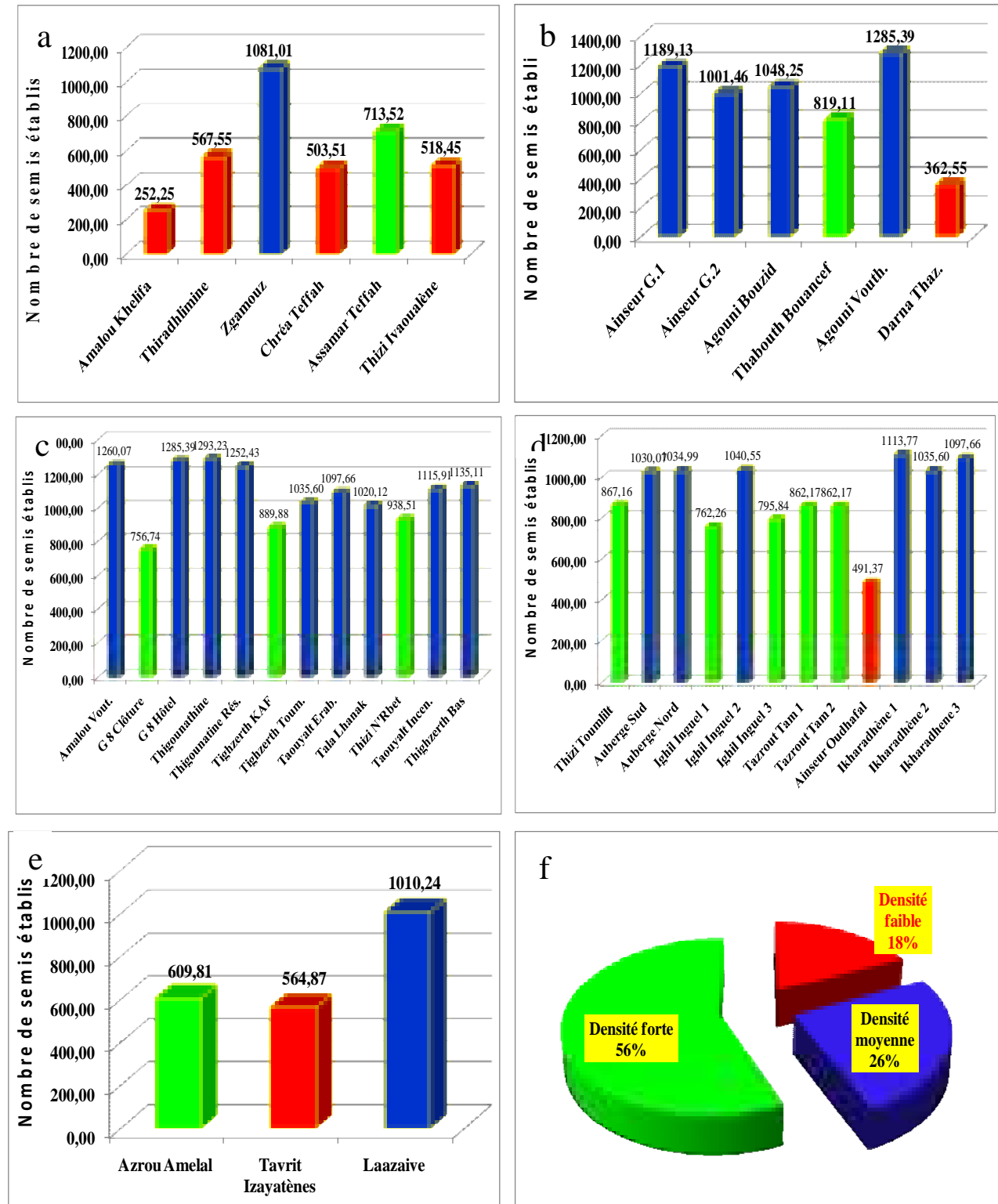


Figure 36: Histogrammes de variation de la densité de régénération établie par placette et sectoriels de la densité de régénération pour la zone d'étude
a: Ait Ouabane, **b:** Tala Rana, **c:** Tikjda, **d:** Tala Guilef, **e:** Tirourda, **f:** Zone d'étude.

La densité de régénération la plus faible est enregistrée dans la placette Amalou Khelifa (252.25 semis/ha) dans la station d'Ait Ouabane et la plus forte est enregistrée à Thigounathine (1293.23/ha) au niveau de Tikjda. En moyenne, la densité de régénération est de 912.86 semis/ha. On constate que 16 placettes /39 (41.03%) présentent une densité de semis < à la moyenne.

13. Taux de régénération du peuplement (TRP) dans la la zone d'étude

L'analyse du tableau N°30 et des représentations graphiques en secteurs (Fig.37) montre que le taux de régénération varie fortement d'une placette à une autre et d'une station à une autre. Il ressort de cette analyse que, **21** placettes/39, soit plus de la moitié (54%) sont caractérisées par des taux de régénération dépassant **70%**.

Les 21 placettes à très fort taux de régénération, sont représentées en majorité par les stations de Tikjda et Tala Guilef, suivies par Tala Rana. En effet, il ressort de la lecture du tableau N°30 et des différents graphiques que le taux de régénération/placette, classe la station de Tikjda en première position avec 09 placettes, soit 43.%, suivie par Tala Guilef avec 7 placettes, soit un taux de 33.%. Ensuite, vient Tala Rana avec seulement 3 placettes, ce qui correspond à un taux de 14.%. Nous constatons que, les stations des Ait Ouabanes et de Tirourda présentent les plus faibles taux (5%), avec une seule placette chacune.

Toutefois, nous rappelons que, dans la station de Tirourda, le taux d'échantillonnage est très faible ; ce qui ne reflète pas les résultats obtenus au niveau de cette station.

Tableau 30: Taux de régénération du peuplement (TRP) dans la zone d'étude

Placettes	Nombre de semis	Effectif total	Taux de régénération	Taux de régénération/ Station (%)	Taux de régénération du peuplement (%)
Amalou Khelifa	8	21	38,10	51,15	63,63
Thiradhlime	18	32	56,25		
Zgamouz	33	46	71,74		
Chr�a Teffah	18	40	45,00		
Assamar Teffah	24	45	53,33		
Tizi Ivaoualène	17	40	42,50		
Ainseur Guidawène 1	39	51	76,47	63,43	
Ainseur Guidawène 2	35	46	76,09		
Agouni Bouzid	32	52	61,54		
Thabouth Bouanssaf	30	48	62,50		
Agouni Vouthouvras	39	51	76,47		

Darna Thazougaghth	11	40	27,50	
Amalou Voutlam	38	52	73,08	
G 8 Clôture	24	32	75,00	
G 8 Hôtel	39	48	81,25	
Tigounatine	39	47	82,98	
Thighzerth Réserve	38	44	86,36	
Tighzerth CAF	27	43	62,79	73,07
Tighzerth Toumlilt	32	47	68,09	
Taouyalt Erablière	36	48	75,00	
Tala Lahnak	33	64	51,56	
Tizi N'Rbet	29	41	70,73	
Taouyalt Incendie	39	50	78,00	
Tighzerth Bas	36	50	72,00	
Tizi Toumlilt	31	48	64,58	
Auberge Sud	36	49	73,47	
Auberge Nord	37	48	77,08	
Ighil Inguel 1	25	49	51,02	64,61
Ighil Inguel 2	35	50	70,00	
Ighil Inguel 3	24	50	48,00	
Tazrout Tamellat 1	29	40	72,50	
Tazrout Tamellat 2	29	40	72,50	
Ainseur Oudhafal	15	40	37,50	
Ikharadhène 1	34	46	73,91	
Ikharadhène 2	32	51	62,75	
Ikharadhène 3	36	50	72,00	
Azrou Amelal	20	31	64,52	
Tavrit Izayatènes	19	36	52,78	65,91
Laazaive	37	46	80,43	

Nous remarquons également que, les taux les plus élevés de régénération (> 80%) sont enregistrés dans la station de Tikjda, à savoir les placettes G8-Hôtel, Thigounathines et Thighzerth Réserve. La comparaison interstationnelle révèle que, le taux le plus élevé est enregistré dans la station de Tikjda (73 %), suivie par les stations de Tirourda (65.91%), Tala Guilef (64.61%), Tala Rana (63.43%) qui sont plus ou moins proches, et enfin, Ait Ouabane où l'on enregistre le taux le plus faible (51.15%). Pour la zone d'étude, le taux de régénération du peuplement est de **63.63%**.

L'analyse du graphique en secteurs montre qu'à l'échelle de la zone d'étude, plus de la moitié des placettes (56 %) présentent une densité de peuplement moyenne. Le reste des placettes est partagé équitablement entre faible et forte densité (46%).

14. Indice de régénération naturelle (IRn)

L'analyse du tableau 31 relatif à l'indice de régénération naturelle (IRn) au niveau de la zone d'étude montre une variabilité interplacettes par station et une variabilité inter-stations de cet indice.

Au niveau de la station de Tala Guilef (versant Nord du Djurdjura), nous relevons trois (03) placettes déficitaires, c'est-à-dire dont l'IRn est < 1 . Il s'agit des placettes Ighil Inguel 1, (IRn= 0.96) Ighil Inguel 3 (IRn=0.78) et Ainseur Oudhafal (IRn=0.75). La station d'Ait Ouabane située également dans le versant Nord du Djurdjura, présente 50% de placettes déficitaires. En effet, trois placettes sur six, présentent un IRn < 1 . Il s'agit des placettes Amalou Khelifa (IRn=0.77), Zgamouz (IRN=0.70) et de Chréa Teffah (IRN=0.78).

Dans la station de Tikjda située sur le versant Sud du Djurdjura, une seule placette accuse un indice de régénération naturelle déficitaire. Il s'agit de la placette Thizi N'Rbet (IRn=0.85).

Quant à la deuxième station du versant Sud du Djurdjura, en l'occurrence la station de Tala Rana, nous relevons deux placettes à indice de régénération naturelle déficitaire (IRN <1). Il s'agit des placettes Agouni Vouthouvas (IRN=0.61) et Darna Thazougaghth (IRN=0.22). Enfin, pour la station de Tirourda, une seule placette (Tavrit Izayatènes) est déficitaire.

L'indice de régénération naturelle (IRN) le plus faible (IRN=0.22) a été enregistré au niveau de la placette Darna Thazougaghth (station Tala Rana) et l'indice de régénération le plus élevé (IRN= 4.75) a été enregistré dans la placette Thighzerth réserve (station Tikjda). Au total, sur l'ensemble de la zone d'étude, nous avons 29 placettes à IRn équilibré et seulement 10 placettes à IRn déséquilibré, avec un indice de régénération IRN moyen de 1.92.

Pour la comparaison interstationnelle, il ressort de l'analyse de l'histogramme (Fig. 34) que, la station qui présente l'indice de régénération naturelle le plus équilibré est celle de Tikjda (IRN=2.72), suivie de près par les stations de Tirourda (IRN=2.12), Tala Guilef (IRN=1.73) et Tala Rana (IRN=1.52), et enfin, vient en dernier, la station des Ait Ouabanes avec un indice de régénération naturelle le plus faible (IRN=1.11).

Certes, globalement, toutes les stations sont considérées comme équilibrées et non déficitaires, puisque l'IRN est > 1 . Néanmoins, 25% des placettes sont déficitaires, soit le quart de l'ensemble des placettes.

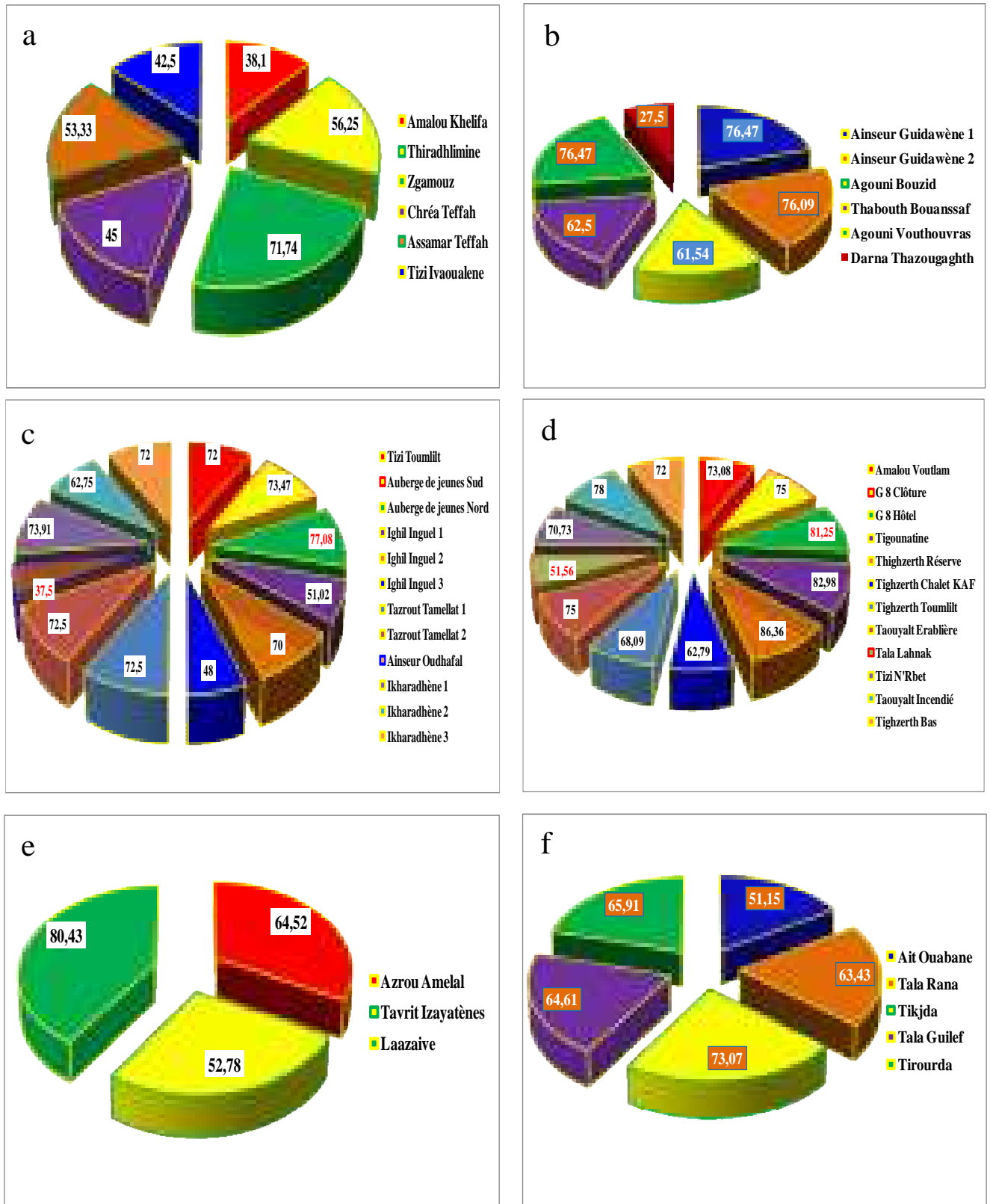


Figure 37: Variation inter-placettes et inter-stations du taux de régénération. **a:** Ait Ouabane, **b:** Tala Rana, **c:** Tala Guilef, **d:** Tikjda, **e:** Tirourda, **f:** Inter-stations.

Tableau 31: Variation de l'indice de régénération du cèdre de l'Atlas dans les stations d'étude.

St.	Placette	Np (dhp<7,5m)	Na (DHP>7,5cm)	IRn/Placette (Np/Na)	Etat de la population	IRn/ Station
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	36	26	1,38	Equilibrée	1,73
	Auberge Sud	28	15	1,87	Equilibrée	
	Auberge Nord	26	12	2,17	Equilibrée	
	Ighil Inguel 1	24	25	0,96	Déficitaire	
	Ighil Inguel 2	36	20	1,8	Equilibrée	
	Ighil Inguel 3	31	40	0,78	Déficitaire	
	Tazrout Tamelalt 1	29	12	2,42	Equilibrée	
	Tazrout Tamelalt 2	28	12	2,33	Equilibrée	
	Ainseur Oudhafal	30	40	0,75	Déficitaire	
	Ikharadhenes 1	34	12	2,83	Equilibrée	
	Ikharadhenes 2	33	25	1,32	Equilibrée	
	Ikharadhnes 3	34	16	2,13	Equilibrée	
Tikjda	Amalou Voutlam	38	16	2,38	Equilibrée	2,72
	G8-Clôture	23	10	2,3	Equilibrée	
	G8-Hôtel	40	9	4,44	Equilibrée	
	Thigounathines	39	10	3,9	Equilibrée	
	Thighzerth Réserve	38	8	4,75	Equilibrée	
	Chalet CAF	26	17	1,53	Equilibrée	
	Thighzerth Toumlilt	32	12	2,67	Equilibrée	
	Thaouyalt Erablière	33	16	2,06	Equilibrée	
	Thizi N'Rbet	34	40	0,85	Déficitaire	
	Tala Lahnak	28	11	2,55	Equilibrée	
	Thaouyalt Incendié	39	12	3,25	Equilibrée	
	Thigherth Bas	36	18	2	Equilibrée	
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	10	13	0,77	Déficitaire	1,00
	Thiradhlimes	20	15	1,33	Equilibrée	
	Zgamouz	19	27	0,7	Déficitaire	
	Chrèa Teffah	18	23	0,78	Déficitaire	
	Assamar Teffah	32	24	1,33	Equilibrée	
	Tizi Ivaoualenes	31	28	1,11	Equilibrée	
Tala Rana	Ainseur Guidawenes 1	37	14	2,64	Equilibrée	1,52
	Ainseur Guidawenes 2	35	11	3,18	Equilibrée	
	T.G Agouni Bouzid	33	27	1,22	Equilibrée	
	Thabourth Bouanssaf	31	25	1,24	Equilibrée	
	Agouni Vouthouvras	19	31	0,61	Déficitaire	
	Darna Thazougaghth	10	45	0,22	Déficitaire	

Tirour da	Azrou Amelal	20	10	2	Equilibrée	2,12
	Tavrit Izayatenes	20	22	0,91	Déficitaire	
	Laazaives	38	11	3,45	Equilibrée	
IRN Moyen				1,92	Equilibré	

Avec : N_p : nombre de plantules ($d_{hp} < 7.5$ cm) ; N_a : nombre d'arbres adultes ($DHP \geq 7.5$ cm); IRn : indice de régénération naturelle.

15. Indice de statut social de régénération (ISR)

L'analyse des représentations graphiques en sectoriels (fig.39) de l'indice social de régénération ($ISSi$) du cèdre de l'Atlas dans notre zone d'étude et sur la base du tableau de calcul (non inséré), montre que la majorité des placettes d'échantillonnage (PE) présentent un indice social $ISSi < 0$, c'est-à-dire que le nombre d'individus de régénération établie dominés est largement supérieur à celui des dominants. Nous avons comptabilisé 23 placettes sur 39 (58.97%) dont $ISSi < 1$.

Pour les placettes à $ISSi > 0$, c'est-à-dire où le nombre d'individus de régénération établie sont dominants par rapport aux dominés, nous avons 9/39 placettes (23.08%), et le reste des placettes (7/39, soit 17.95%) où le rapport est équilibré avec un indice $ISSi=0$.

Pour l'indice social $ISSi$ de synthèse établie pour chaque station d'étude, l'analyse des graphiques en sectoriels révèle que toutes les stations ont un $ISSi < 0$.

L'écart entre les individus de régénération établie dominés et celui des dominants est plus ou moins prononcé selon le type de station. Cet écart est prononcé pour la station de Tirourda (18%), suivi de Tala Rana et Ait Ouabane avec 16% pour chacune et enfin, Tikjda (10%) et Tala Guilef (08%).

Dans la zone d'étude, l' $ISSi$ de synthèse révèle un état déséquilibré entre les individus de régénération avec un écart de 10 % au profit des semis dominés.

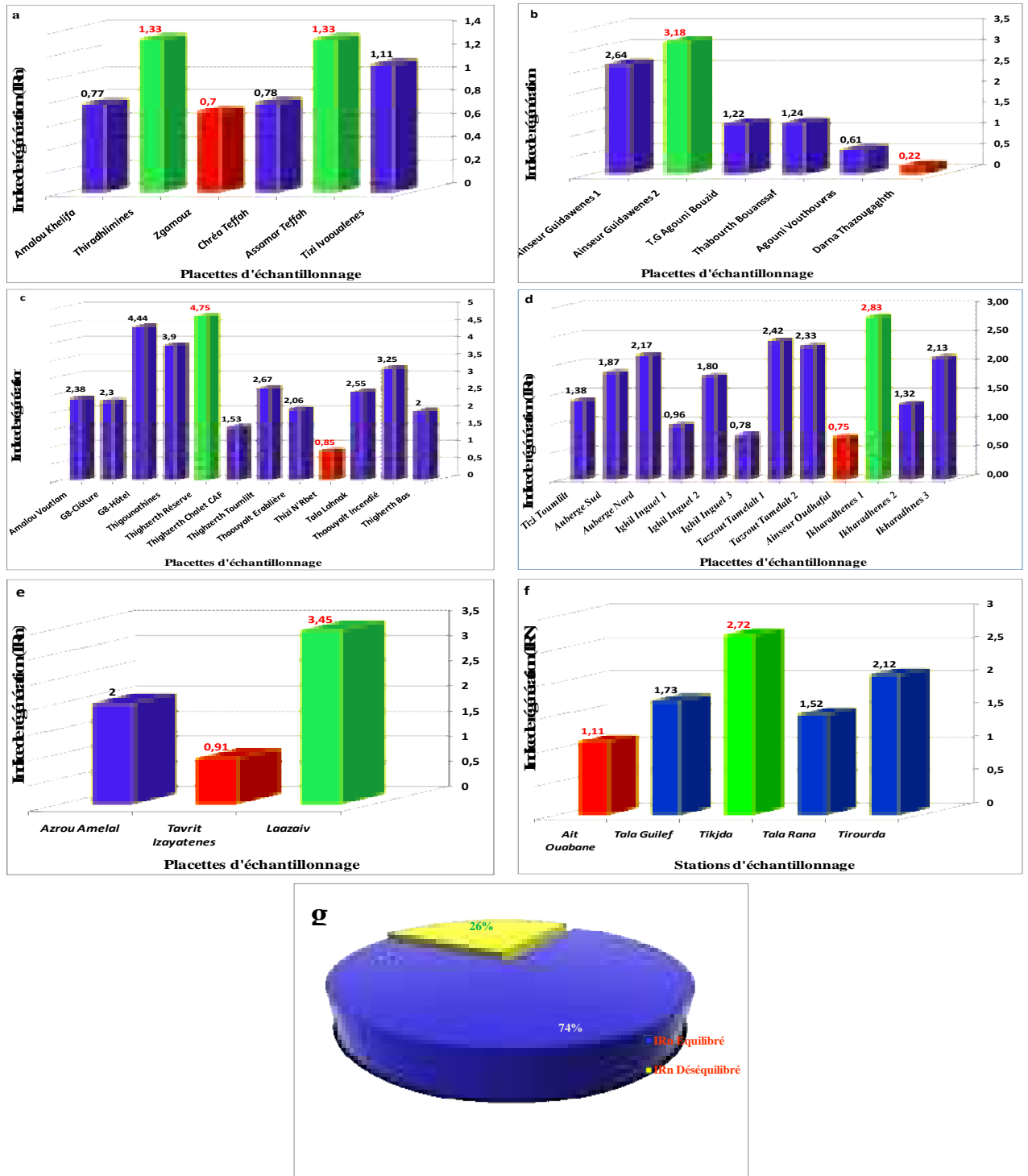


Figure 38: Histogrammes de la variation interplacettes et inter-stations de l'indice de régénération naturelle (IRn) et sectoriel de variation de l'IRn pour la zone d'étude. **a:** Station Ait Ouabane, **b:** Station Tala Rana, **c:** Station Tikjda, **d:** Station Tala Guilef, **e:** Station Tirourda, **f:** Zone d'étude.

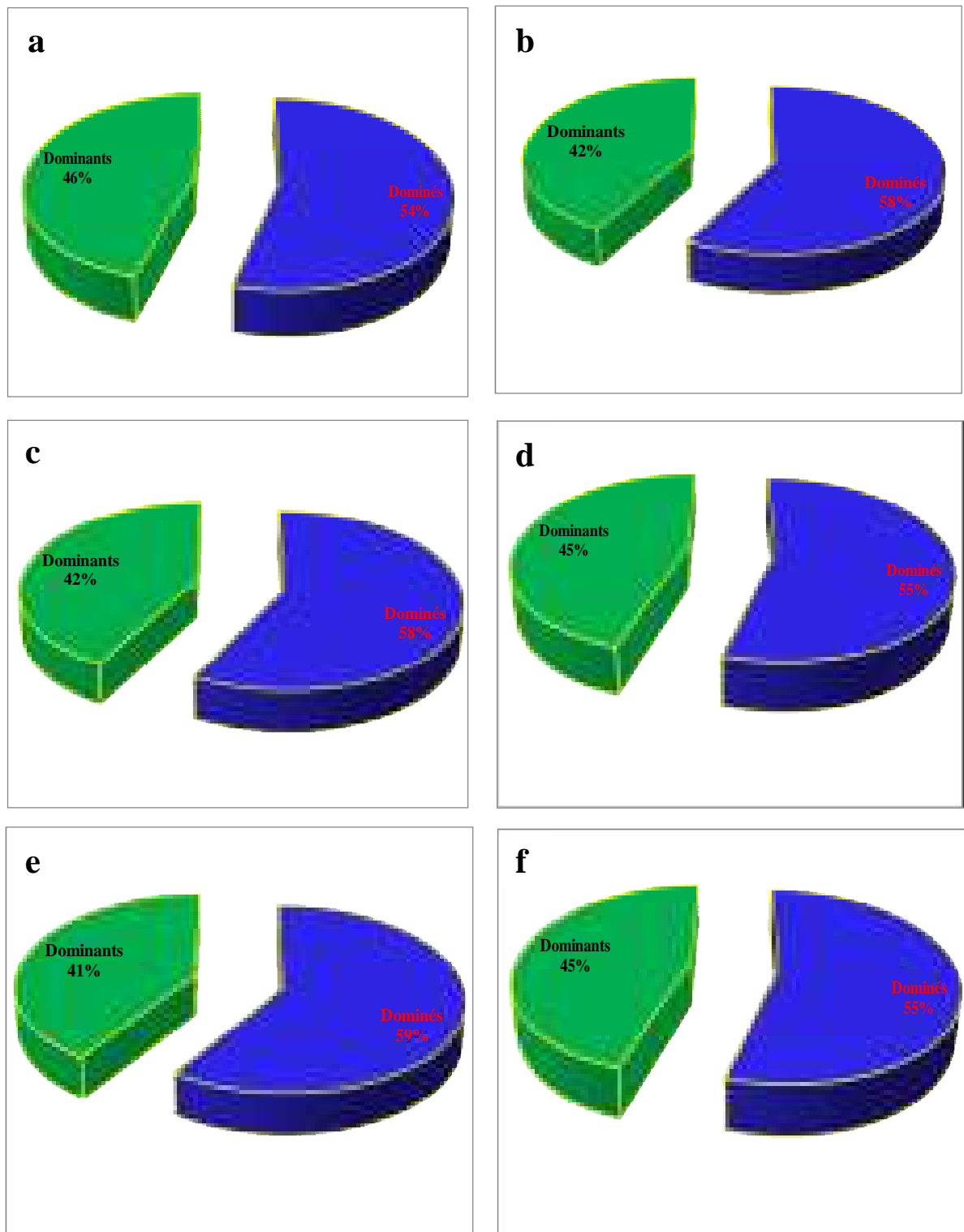


Figure 39 : Variation de l'indice social de régénération par station et pour la zone d'étude. **a:** Tala Guilef, **b:** Ait Ouabane, **c:** Tala Rana, **d:** Tirourda, **e:** Tirourda, **f:** Zone d'étude.

15. Indice de dispersion (*Id*) de la régénération

L'analyse du tableau N° 32 montre que, les stations de Tala Guilef, Ait Ouabane, Tala Rana et Tirourda présentent des indices de dispersion respectifs de 1.37, 3.51, 3.52, et 4.04 qui sont tous > 1 ; ce qui traduit un modèle de distribution spatiale horizontale agrégée. Seule la station de Tikjda affiche un $id=0.78$ et donc < 1 ; traduisant un modèle de distribution spatiale horizontale de type uniforme. Néanmoins, on peut dire que l'*id* de la station de Tikjda est plus ou moins proche de 1, donc d'une distribution aléatoire des individus de régénération.

La station de Tikjda présente l'*id* le plus faible (0.78) et Tirourda l'*id* le plus élevé (4.04). L'*id* moyen pour l'ensemble de la zone d'étude est de 2.64 ; ce qui signifie que globalement, le modèle de distribution spatiale horizontale des individus de régénération dans notre zone d'étude est de type agrégé.

Tableau 32: Indice de dispersion (*Id*) de la régénération

Station	Placette	Nombre de semis	σ^2	X	ID
Tala Guilef	Tizi Toumlilt	31	41,3	30,25	1,37
	Auberge Sud	36			
	Auberge Nord	37			
	Ighil Inguel1	25			
	Ighil Inguel2	35			
	Ighil Inguel3	24			
	Tazrout Tamelalt1	29			
	Tazrout Tamelalt2	29			
	Ainseur Oudhafal	15			
	Ikharadhène1	34			
	Ikharadhène2	32			
Ait Ouabane	Ikharadhène3	36	69,07	19,67	3,51
Tala Rana	Amalou Khelifa	8	26,7	34,17	0,78
	Thiradhlimines	18			
	Zgamouz	33			
	Chrèa Teffah	18			
	Assamar Teffah	24			
	Tizi Ivaoualène	17			
Tirourda	Amalou Voutlam	38	26,7	34,17	0,78
	G8-Clôture	24			
	G8-Hôtel	39			
	Tigounatine	39			

	Tighzerth Réserve	38			
	Tighzert Chalet CAF	27			
	Tighzert Toumlilt	32			
	Taouyalt Erablière	36			
	Tala Lahnak	33			
	Tizi N'Rbet	29			
	Taouyalt Incendié	39			
	Route Tighzert Bas	36			
Tala Rana	Ainseur Guidawène1	39	109,2	31	<u>3,52</u>
	Ainseur Guidawène 2	35			
	Agouni Bouzid	32			
	Thabourth Bouanssaf	30			
	Agouni Vouthouvas	39			
	Darna Thazougaghth	11			
Tirourda	Azrou Amelal	20	102,33	25,33	4,04
	Tavrit Izayatène	19			
	Laazaive	37			
Id Moyen					<u>2,64</u>

16. Variation de la régénération en fonction du paramètre exposition

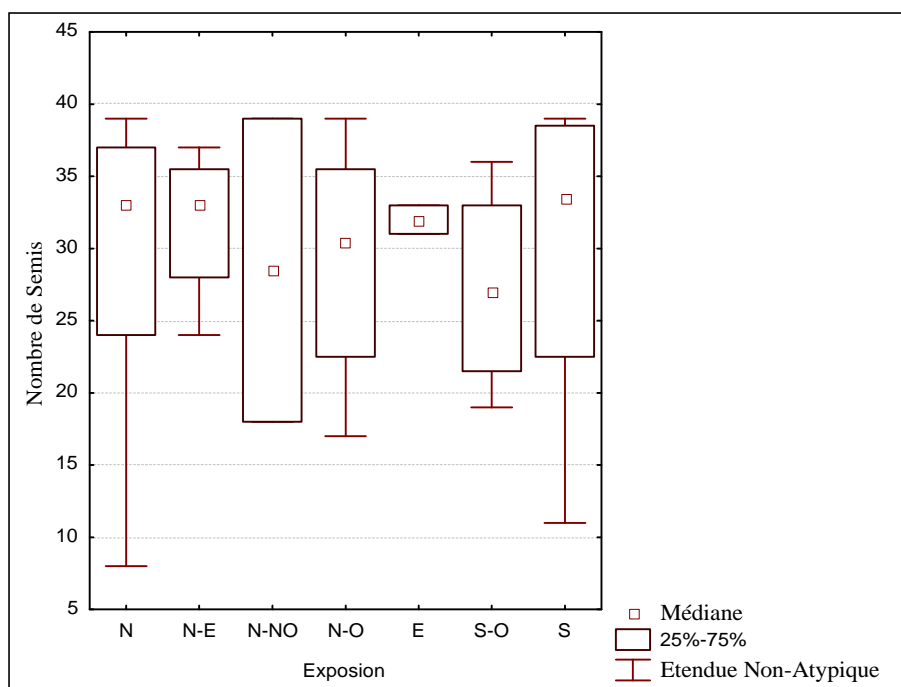


Figure 40: Boxplot de la variation du nombre de semis (NS) en fonction de l'exposition.

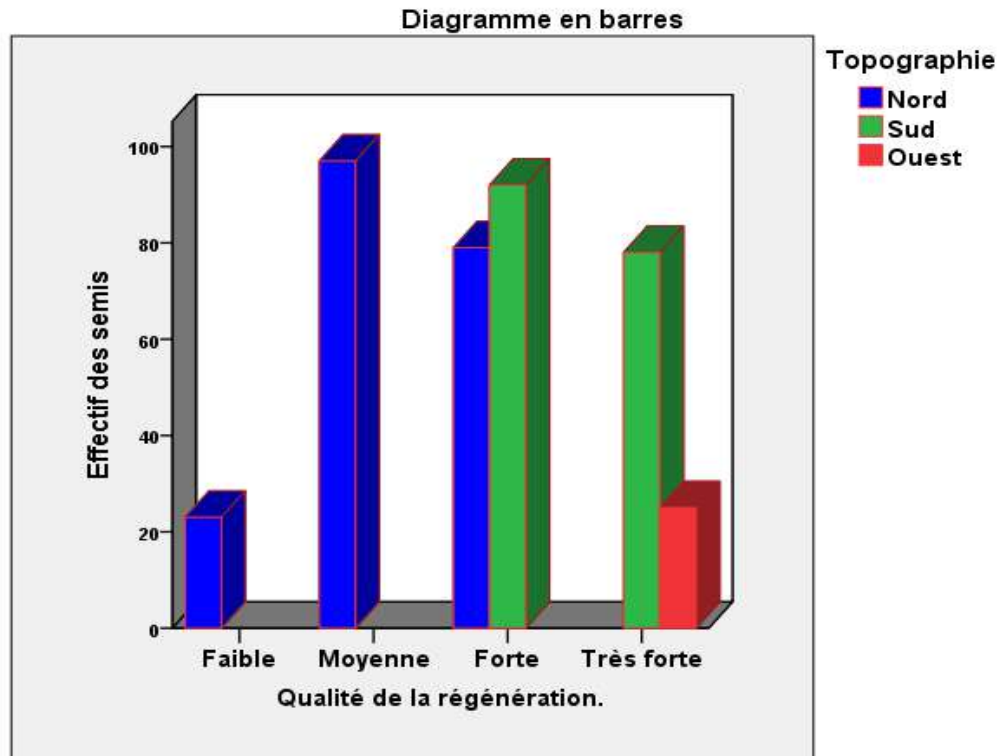


Figure 41 : Variation du niveau de régénération en fonction de l'exposition.

Analyse de la variation du nombre de plantules (NS) en fonction de l'exposition

Le box-plot (Fig.40) et le diagramme en barres (Fig.41) révèlent une forte variabilité du nombre de semis selon les différentes expositions. La valeur médiane maximale a été enregistrée dans les parcelles exposées au sud, qui présentent une asymétrie positive. Cependant, en considérant toutes les placettes, le NS le plus élevé a été noté à la fois au nord-ouest et au sud, dans les placettes échantillonnées de Tikjda et Tala Rana, qui sont situées dans le versant sud du massif du Djurdjura, tandis que le plus bas a été enregistré à Ait Ouabane, qui est situé dans la partie nord du Djurdjura. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés à Tala Guilef par Madjour (2015), qui a noté un NS moyen plus élevé dans les versants exposés au sud.

17. Régénération en fonction du coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp)

Tableau 33: Tableau croisé Niveau de régénération * Coefficient du couvert du houppier Effectif

		Niveau de régénération				Total
		< 20 Faible	[20-25[Moyen	[25-30] Fort	> 30 Très Fort	
Couvert Houppier	<15 F.Ouvert	0	3	2	0	5
	[15-30[Ouvert	5	1	1	2	9
	[30-45[M.Ouvert	0	0	0	5	5
	[45-60[L.Ouvert	1	0	0	4	5
	[60-90] Fermé	1	0	2	6	9
	> 90 Très Fermé	0	0	0	6	6
Total		7	4	5	23	39

L'analyse du tableau 33 et de la figure 42, montre que le niveau de régénération très élevé est enregistré dans les placettes à coefficient de couvert du houppier élevé. Nous avons 23 placettes / 39 (58 %) dont le niveau de régénération est très fort (NS > 30 semis/placette) correspondant à un coefficient de couvert du houppier allant de moyennement ouvert (30-45 %) à très fermé (> 90%), c'est-à-dire où les peuplements présentent un rapport $D^2_{\text{houppier}} / D^2_{1.30\text{ m}}$ important. Cependant, il ressort du tableau que le niveau de régénération ne varie pas de façon automatique avec le degré de fermeture du houppier.

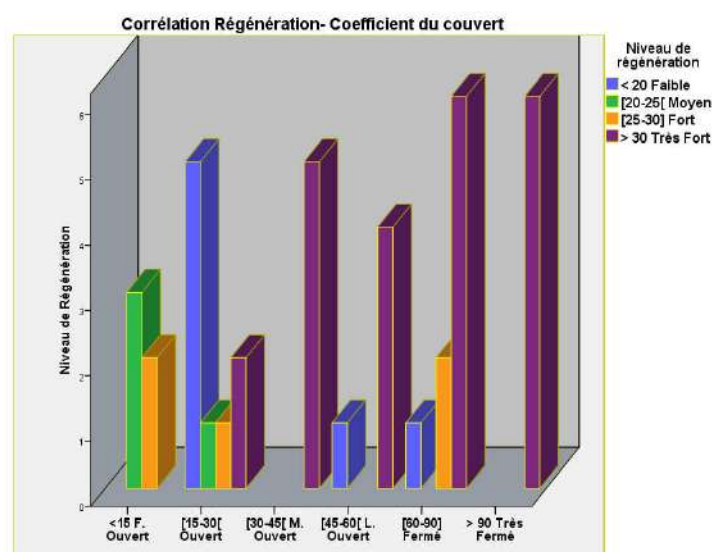


Figure 42: Variation du niveau de régénération naturelle en fonction du coefficient de couvert du houppier.

18. Variation de la régénération en fonction du paramètre stationnel (Test de Kruskal Wallis)

L'analyse du box-plot (fig.43) montre que les stations de Tikjda et Tala Rana, suivies par Tala Guilef présentent les effectifs de semis (NS) les plus élevés. D'ailleurs, ces stations présentent la répartition de semis les plus ou moins homogènes. Par contre, les stations de Tirourda et Ait Ouabane, présentent les effectifs de semis (NS) les plus faibles.

La largeur des boîtes à moustaches les plus proches sont celles de Tikjda, Tala Rana et Tala Guilef ; ce qui traduit les similitudes entre ces trois stations. Elles présentent une médiane dont la valeur est > 30 semis en moyenne, particulièrement à Tikjda où elle dépasse 35 semis. En revanche, dans les stations de Tirourda et particulièrement aux Ait Ouabane, la valeur de la médiane est < 20 semis ; autrement dit, 50 % des placettes ont un nombre de semis $NS < 20$.

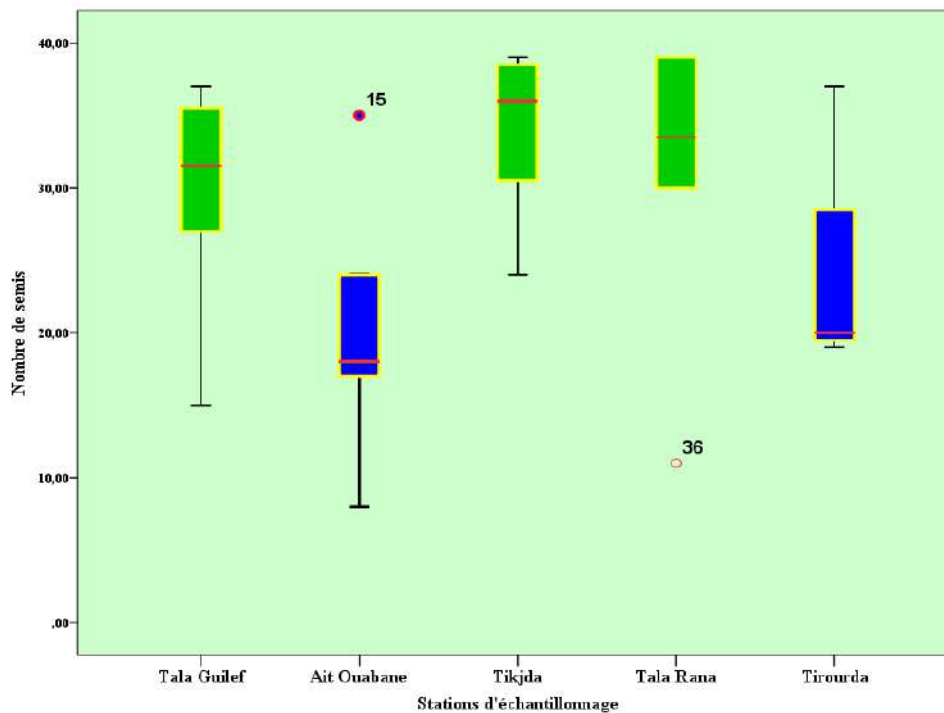


Figure 43: Box-plot de la variation du nombre de semis en fonction de la station d'étude.

Tableau 34 : Matrice de corrélation entre les variables quantitatives mesurées et/ou calculées dans les 39 placettes échantillonnées.

	NT	NS	C.1.30	HT	CE	DH	Pente	P.SOL	Ep. Hum	Alt	ECL
NT	1,00										
NS	-0,26	1,00									
C1,30	0,07	0,09	1,00								
HT	0,04	0,04	0,26	1,00							
CE	-0,05	0,02	-0,73	0,32	1,00						
DH	-0,26	0,23	0,61	0,31	-0,31	1,00					
Pente	0,08	0,18	-0,08	-0,20	0,06	-0,07	1,00				
P.SOL	0,08	-0,29	-0,36	0,27	0,42	-0,28	0,07	1,00			
Ep. Hum	0,06	-0,09	0,22	0,22	-0,10	0,35	0,08	0,19	1,00		
Alt	0,05	-0,06	-0,29	-0,48	0,12	-0,06	0,34	-0,35	-0,17	1,00	
ECL	0,25	-0,22	-0,31	-0,22	0,12	-0,39	0,03	0,10	-0,26	0,34	1,00

La matrice de corrélation (Tableau 34) a mis en évidence les relations entre les différentes variables dont la majorité sont non significatives. Les relations significatives présentent des coefficients de corrélation R supérieur à 0,30 (R critique, $\alpha=0,05$). La C1.30m présente une corrélation inversement proportionnelle avec les variables CE, PS et ECL, et proportionnelle avec DH. La variable DH présente une corrélation proportionnelle avec Ep. Hum et inversement proportionnelle avec ECL. La variable HT est corrélée proportionnellement avec CE et DH, mais inversement corrélée avec Alt. Cette dernière présente une corrélation positive avec les variables pente et ECL, et une corrélation négative avec PS.

Dans la figure 34, on constate que, la variable NS ne présente aucune corrélation linéaire significative avec les autres paramètres; bien que, quelques-uns présentent des valeurs proches du seuil de corrélation significative. La variable NS est inversement proportionnelle à la variable NT avec un coefficient de corrélation R relativement faible (-0,26); du à la présence de beaucoup de valeurs exceptionnelles (Fig.34). Pour les trois autres paramètres, leurs coefficients de corrélation sont également faibles (non significatifs); il est de 0,23 pour la corrélation $NS=f(DH)$, -0,26 pour $NS=f(ECL)$ et -0,28 pour la relation $NS=f(Pr.Sol)$. Tandis que les corrélations non linéaires présentent des coefficients de corrélation meilleurs. Les corrélations bivariées entre NS et l'ensemble des variables composées par NT, DH, Ecl et PS étant faibles, et compte tenu de la dispersion des points le long de la ligne ajustée, les

relations sont mieux évaluées avec la tendance non linéaire (polynomiale, logarithmique, puissance, etc.), qui génère peu de résidus.

19. Régression linéaire multiple (RLM)

Les résultats de l'analyse de la régression linéaire multiple du modèle présentent une valeur de F de 1.65 et la probabilité ($p < 0.005$). Donc, nous avons moins de 5% de chance de nous tromper en affirmant que le modèle contribue à prédire la variable dépendante NS.

La régression linéaire multiple, réalisée entre la variable dépendante NS et la combinaison des variables indépendantes PS, NT, ECL et DH a généré un coefficient de corrélation significatif ($r = 0,40$). Le modèle d'équation nous permet de construire la droite de régression à l'aide des coefficients de régression non standardisés, lesquels coefficients nous permettent de reconstituer le modèle d'équation suivante :

$$NS = 0,06 DH - 0,24 PS - 0,19 NT - 0,12 ECL + 0,42$$

20. Analyse des Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur des données englobant les paramètres dendrométriques et structurels du peuplement associés aux paramètres stationnels. D'après l'analyse du tableau des valeurs propres, on constate que le premier axe recèle **25 %** de la variance totale, le deuxième axe recèle **18.78%** et les autres axes sont décroissants avec (13.58%) pour l'axe 3, 11.19% pour l'axe 4 et enfin, 8.11% pour l'axe 5. L'inertie totale cumulée au niveau de ce dernier axe dépasse les 77%.

Tableau 35: L'inertie totale expliquée par les axes de l'ACP.

Axes	1	2	3	4	5
Valeurs propre (%)	2,82	4,88	6,38	7,61	8,5
Valeurs propres cumulées (%)	25,63	44,41	57,99	69,18	77,29

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) représentés graphiquement (Fig.45) constituent de bons plans de projection malgré que, l'explication fournie par les deux premiers axes ne soit pas forte (44.41%). Donc, il n'y a pas d'explication nette de la discrimination des placettes par les variables qui contribuent à la formation de ces deux axes. Cette discrimination n'est expliquée qu'au niveau du cinquième axe avec un cumul de valeurs

propres évalué à 77.29% considéré comme fortes ; ce qui explique l'importance de la contribution de plusieurs variables.

L'étude de la contribution absolue de chaque variable permet de hiérarchiser celles qui contribuent à la formation de chaque axe. Nous distinguons plusieurs gradients, capables d'expliquer la contribution de ces variables.

L'axe 1 est défini par trois variables : les variables C.1.30 m et DH corrélées positivement à l'abscisse avec des contributions respectives de 0.26 et 0.22 et la variable ECL corrélée négativement à l'abscisse de l'axe avec une contribution de -0.14. Cet axe définit un gradient d'éclairement (Ecl).

L'axe 2 est défini par trois variables : les variables HT et Pr.Sol corrélées négativement à l'abscisse avec des contributions respectives de - 0.25 et -0.28 et la variable Alt corrélée positivement à l'abscisse de l'axe avec une contribution de 0.20. Cet axe traduit un gradient altitudinal (Alt).

L'axe 3 est défini par deux variables : la variable NT est positivement corrélée à l'abscisse avec une contribution de 0.31 et la variable NS est négativement corrélée à l'abscisse avec une contribution de - 0.31. Cet axe forme un gradient de densité du peuplement où la relation est inversement proportionnelle entre la densité du peuplement et le taux de régénération.

L'axe 4 est défini à son tour par deux variables : la variable Pente corrélée à l'abscisse positive avec une contribution de 0.5 et la variable Ep.Humus corrélée à l'abscisse négative avec une contribution de - 0.3. Cet axe forme un gradient topographique. Il reflète la diminution de l'épaisseur de l'humus (Ep.Humus) avec le facteur pente (P).

Enfin, l'axe 5, qui ne présente que 8,10 % des valeurs propres, n'est formé que par la contribution négative du coefficient d'élanement (CE). Le CE est corrélé positivement avec le nombre de tiges NT et s'oppose au nombre de semis NS et sa contribution n'est pas marquée dans la formation des quatre premiers axes. En effet, la contribution de ce paramètre dans la discrimination des placettes est faible. Cela correspond à un gradient dendrométrique.

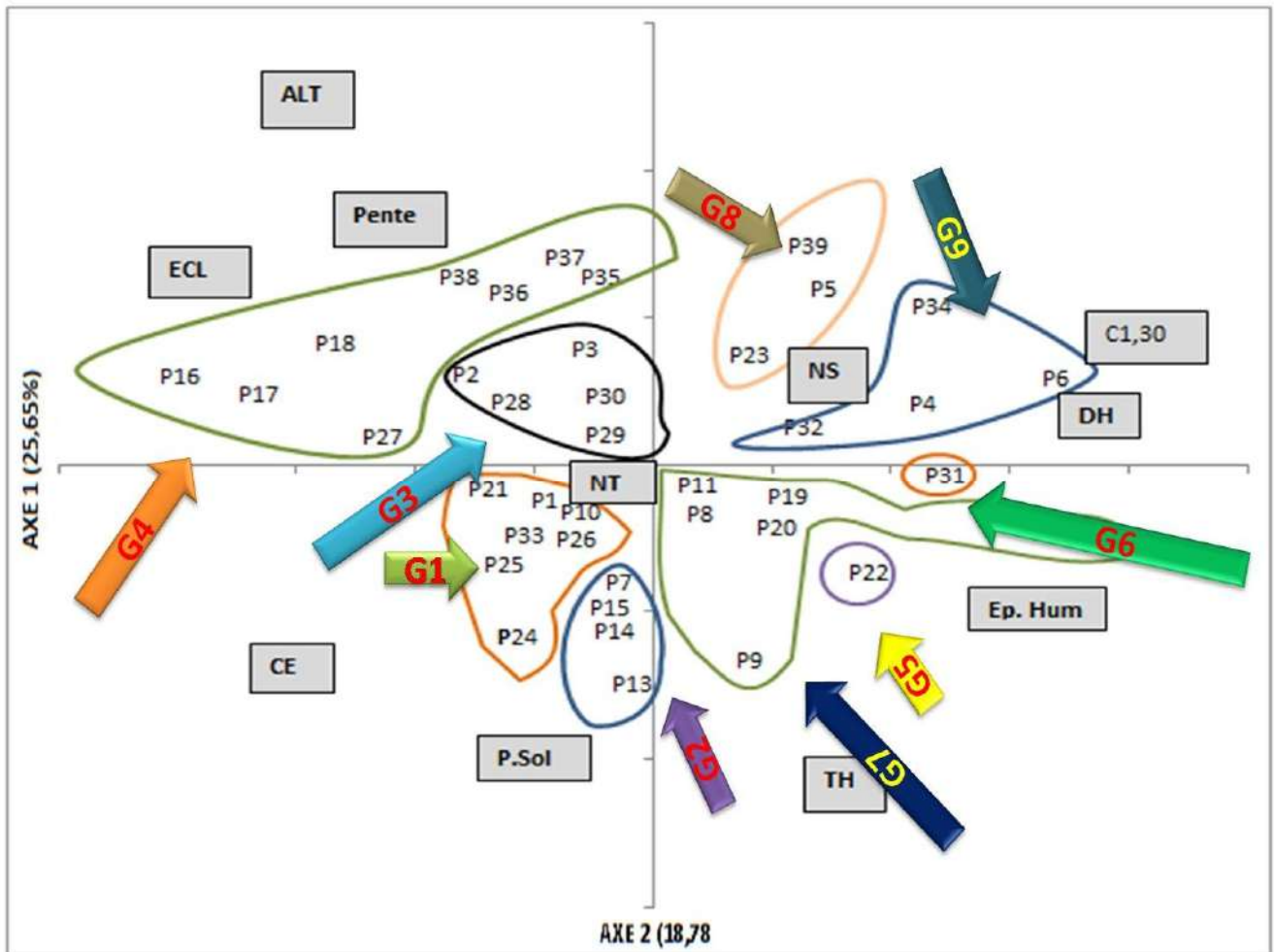


Fig.44 : Résultats de l'analyse en composantes principales des placettes (P) et distribution des paramètres considérés pour les axes 1-2. Les placettes de la même couleur appartiennent au même groupe. Alt est l'altitude, P la pente, Ecl l'éclaircissement, NS le nombre de semis, C1.30 la circonférence à hauteur de poitrine, DH le diamètre du houppier, NT le nombre de tiges, EpH l'épaisseur de la couche d'humus, CE le coefficient d'élanement de l'arbre, PS la profondeur du sol et HT la hauteur totale.

Tableau 36 : Contribution des variables aux axes factoriels.

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4
C1.30	0,26	0,02	0,08	0
DH	0,22	0	0,02	0,02
ECL	0,14	0,02	0,07	0,01
HT	0,05	0,25	0	0
PS	0,04	0,28	0,01	0,03
Alt	0,07	0,2	0,01	0,08
NT	0,02	0	0,31	0,05
NS	0,03	0,02	0,31	0
Pente	0,01	0,03	0,03	0,5
Ep.hum	0,06	0,05	0,02	0,3
CE	0,12	0,13	0,15	0

La répartition des placettes étudiées en fonction des paramètres observés et mesurés (C.130, DH, ECL, Alt, Pente, HT, Ep. Humus, NS, NT, Pr.Sol et CE) permet de distinguer 09 groupes de placettes (G₁, G₂, G₃, G₄, G₅, G₆, G₇, G₈ et G₉) selon des affinités dendrométriques et structurelles du peuplement, des affinités pédologiques et stationnelles avec une hétérogénéité moyenne à forte (Fig.45).

La répartition des individus (placettes), selon leurs coordonnées sur les cinq premiers axes, permet de caractériser chaque groupe sur la base de la contribution des paramètres impliqués à la formation de ces axes. Pour notre cas, on ne représente que, les axes 1 et 2 sur le diagramme d'ordination (Fig.45).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de regrouper les placettes échantillonnées en fonction de leurs ressemblances du point de vue variables dendrométriques et structurelles du peuplement, ainsi que par rapport à leurs caractéristiques stationnelles.

L'axe 1 oppose le groupe G₄, qui est composé des placettes p16, p17, p18, p38, p27, p35, p36 et p37, regroupées sur la partie négative de l'axe, et caractérisées par des valeurs d'éclairement lumineux très élevées, au groupe G₉, constitué par les placettes p32, p6, p4 et p34, concentrées sur la partie positive de cet axe et qui se caractérisent par des arbres à

dimensions dendrométriques (C1.30 m et DH) les plus élevées, correspondant à des peuplements adultes bien développés.

L'axe 2 permet quant à lui, d'opposer les placettes du groupe G₃ (p28, p2, p3, p29 et p30) rassemblées sur la partie positive de l'axe et caractérisées par une altitude élevée aux groupes G2 (p15, p13, p7 et p14) et G7 (p12, p11, p8, p9, p20 et p19) concentrés sur la partie négative de l'axe et composés de placettes dont les sujets sont à hauteur élevée et situés sur sol profonds.

L'axe 3 oppose les placettes du G1 (p21, p25, p24, p1, p33, p26 et p10) localisées sur la partie négative de l'axe et caractérisées par une densité de peuplement adulte importante au groupe G8 (p23, p39 et p5) situé sur la partie positive de l'axe et composé de placettes dont le nombre de semis NS est très élevé.

L'axe 4 oppose G5, représenté uniquement par la placette p22, localisée sur la partie négative de l'axe et caractérisé par un sol à couche d'humus épaisse, aux placettes à forte pente et à couche d'humus plutôt mince, qui sont présentées sur le côté positif de cet axe.

Enfin, l'axe 5 met en évidence le groupe G6, qui n'est composé que d'une seule placette (p31), marquée par un faible coefficient d'élancement des arbres. Cette placette se distingue par un peuplement composé d'arbres de hauteur modérée poussant sur des sols peu profonds.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

I. Constat établi sur le terrain

1. Formation des trouées

Les trouées créées au sein de la forêt étudiée sont générées par suite de la disparition d'arbres isolés ou groupés (selon la taille des trouées) en raison d'une cause endogène (sénescence) ou exogène (chablis, invasions d'insectes, compétition induisant une dissymétrie du houppier, sol superficiel limitant l'ancrage des racines et passage d'incendies) (Flores, 2003). Une attention particulière doit être accordée à l'origine de ces ouvertures de la canopée adulte pour comprendre le régime de perturbation de la cédraie. Ces types de facteurs qui sont à l'origine des perturbations, sont classés en facteurs allogéniques comme le feu ou le chablis et en facteurs autogéniques comme la mort par sénescence dite normale de fond (Olivier et Larson, 1996).

2. Sens et orientation de la régénération

L'observation et l'analyse minutieuse des placettes d'échantillonnage, montrent que la régénération se produit dans ces endroits recevant de l'éclairement lumineux et se montre très réduite dans les cédraies à couvert fermé.

La dépendance de la régénération vis-à-vis de la lumière, traduit un gradient lumineux spatial qui découle de la variabilité structurale du couvert végétal induit par les différentes formes de perturbation (Flores, 2003). La relation explique la dépendance des végétaux photosynthétiques vis-à-vis de la lumière qui est parfois la ressource la plus limitante (Whitmore, 1996 in Florès, 2003), particulièrement pour la croissance des jeunes tiges (Welden et *al.*, 1991 in Florès, 2003).

3. Densité de régénération et lumière

La régénération dépend conc étroitement de la lumière ponctuelle (taches de lumière ou sunflecks) qu'elle reçoit. Ceci, confirme la distribution spatiale hétérogène de la lumière en forêt, Beber et *al.*, 2002 in Florès, 2003), et donc, la variabilité spatiale de la régénération. Dans les cédraies qui enregistrent de faibles niveaux d'énergie, la lumière devient un facteur limitant pour la régénération (Svenning, 2000; Montgomery et Chazdon, 2002, in Florès, 2003).

4. Régénération et sol

Une régénération abondante (fourrés vigoureux) a été constatée sur des sols meubles en raison du remaniement des horizons du sol par suite d'actions diverses comme le glissement de terrain en aval des talus de pente, passage de piste, incendie suivi de crochitage du sol aussi

bien lors des opérations de nettoyage que par des sangliers. Cet état du sol favorise la pénétration des racines pour atteindre les horizons profonds plus humides et s'échapper aux conséquences de la sécheresse estivale (Harfouche & Nedjahi, 2003).

5. Régénération et sens de la pente

L'orientation de la régénération selon le sens de la pente s'explique par la dissémination de type barochorique où la graine est transportée de l'arbre semencier situé en amont vers la partie aval et / ou par les eaux de ruissellement qui emportent la graine par hydrochorie et la déposent de part et d'autre du ravin ou sur les replats et les bas fonds.

6. Régénération et végétation accompagnatrice

Sur la base de l'analyse floristique synthétique de nos placettes d'échantillonnage, on peut scinder ces placettes en trois catégories :

Cédraie thermophile en association avec le chêne vert

Parmi les espèces témoignant de la thermophilie du milieu, on peut citer à juste titre *Ampelodesmos mauritanicus*, *Astragalus armatus* ssp. *numidicus*, *Ruscus aculeatus*, *Artemisia absinthium*, *Bupleurum montanum*, *Festuca atlantica* ssp. *atlantica*, *Ilex aquifolium*, *Berberis hispanica*, *Ptilostemon riphaeus*, *Cynoserus elegans*.

Dans la plupart des placettes à peuplements mixtes *Cedrus atlantica-Quercus ilex*, on y rencontre des espèces pyrophytes telles que: *Ampelodesmos mauritanicus*, *Genista tricuspidata* et *Calycotome spinosa* indiquant des structures incendiées à chêne vert-cèdre. La présence d'autres espèces comme *Juniperus oxycedrus*, indique aussi l'état perturbé du milieu. Dans les placettes (Ainseur Guidawènes 1 et 2, Thaouyalt Incendié, Thaouyal Erablière G8-Hôtel), on y trouve *Ampelodesmos mauritanicus* qui est une espèce indicatrice de passage d'incendie comme indiqué par Debazac (1959).

Dans les placettes Thighzert bas, Ainseur Guidawènes 1 et 2, Agouni Vouthouvras, Ighil Inguel 1, 2 et 3, situées sur des expositions d'adret, on y rencontre des sujets de chêne vert indiquant le caractère thermophile de la cédraie et aussi, des xérophytes épineuses et des chaméphytes.

Cédraie préforestière à *Juniperus communis* subsp *hemisphaerica*

Selon Medour (2010), *Juniperus communis* subsp *hemisphaerica* est un élément initiateur et édificateur. De même, pour Médiouni et Yahi (1994), *Juniperus communis* subsp *hemisphaerica* est une espèce transitoire qui concurrence les espèces pionnières qu'il élimine et favorise l'arrivée des espèces forestières accompagnant le cèdre de l'Atlas comme : *Daphne laureola*, *Lonicera etrusca*, *Doronicum atlantica*, *Viola odorata*, *Potentilla micrantha*, *Luzula nodulosa*. Cependant, il est important de souligner que la présence de

Juniperus communis subsp *hemisphaerica* indique un état préforestier d'une cédraie à couvert plus ou moins dense (Quézel et Médail, 2003), cas des placettes (Thighzert CAF, Thighzerth Toumlilt et Thizi N'Rbet)

Dans les placettes Thizi N'Rbet, Thighzert Toumlilt, Azrou Amelal, Thavrit Izayatènes, G8-Clôture, Thabourth Bouanssaf, l'état de dégradation aussi bien par le surpâturage que par la surfréquentation, est indiqué par la présence de certaines espèces comme *Eryngium tricuspdatum* et *Daphne gnidium* (Debazac, 1959 ; Aime, 1986). A noter aussi la présence de certains chaméphytes, tels que : *Astragalus armatus* subsp. *numidicus*, *Rosa sicula*, *Prunus prostrata*, qui sont généralement des espèces indicatrices de l'éta dégradé du milieu suite au surpâturage, au moins localement. La présence en abondance de certaines espèces, particulièrement *Asphodelus ramosus*, *Ferula communis*, *Festuca atlantica*, et surtout des thérophytes plus ou moins nitrophiles comme *Artemisia absinthium* (Meddour *et al.*, 2013), cas des placettes (Ikharadhènes 2 et 3) indique cet état de surpâturage.

La présence de certaines espèces telles que, *Berberis hispanica*, *cotoneaster racemiflora*, *Crataegus laciniata*, *Daphne laureola* joue un rôle important dans les stades pionniers et intermédiaires de remontée biologique des cédraies, (Yahi, 2007).

Cédraie mésophile

Les placettes Thaouyalt Incendié et Thaouyalt Erablière (Cédraie de Thaouyalt, Tikjda) et Thizi Toumlilt (Tala Guilef) constituent une cédraie mésophile où l'on rencontre des espèces mésophanérophytes indicatrices de milieux humides et frais comme *Taxus baccata*, *Quercus faginea* et *Acer obtusatum* (Yahi, 2007).

Rapport Perturbation- végétation subséquente

Selon la dimension de la trouée apparue dans la canopée, il y a modification des conditions locales, notamment l'arrivée de l'ensoleillement (augmentation de l'énergie lumineuse disponible). Alors, un cortège floristique à base d'espèces héliophiles de type pionnières ayant besoin d'une intensité lumineuse élevée pour leur germination et l'établissement de leurs plantules s'installe (Swaine et Whitmore, 1988, in Florès, 2003 et Oldeman (1990). L'importance de ces espèces colonisatrices dépend de la surface d'ouverture (Rabazanahary, 2011, in Ramananjatovo, 2013). Par conséquent, une concurrence s'installe entre ces espèces et la régénération forestière. En effet, certaines espèces concurrentielles sont considérées comme végétation de blocage pour la régénération. C'est le cas de la ronce *Rubus ulmifolius* et de la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) qui est une espèce grégaire et compétitive que l'on a recensé au niveau de la cédraie dense des Ait Ouabane (placettes Amalou Khelifa et Thiradhlimines). En revanche, certaines espèces dites facilitatrices comme *Juniperus*

communis sbsp hemispherica, favorisent l'installation de la régénération du cèdre en assurant aux jeunes plantules la protection contre l'herbévorie et le piétinement.

Ces résultats étayent l'hypothèse qu'il existe pour chaque milieu des espèces indicatrices de la forte densité de semis ou de situations de blocage. La réalisation d'un catalogue basé sur cette végétation bio-indicatrice est à envisager pour optimiser les travaux de régénération naturelle.

7. Dimensions des trouées de régénération

Le cèdre étant une espèce qui ne se régénère pas de manière végétative, le comblement de la trouée se fait alors soit par la banque de graines au sol (potentiel séminal édaphique) ou par apport de graines des semenciers voisins (potentiel advectif), sachant que la morphologie de la graine du cèdre (aillée) lui assure une bonne portance dans l'air, surtout si l'arbre est haut et le relief accidenté ; ce qui facilite l'anémochorie (Greene et Johnson, 1994; Nathan et *al.*, 1999, in Florès, 2003). Cependant, dans les peuplements fermés (Ikhardhanes 3, Amalou Khelifa, Thiradhlimes, Thighzerth CAF), l'apport ou la dispersion de la graine par le vent est inefficace. Le caractère taille des ailes de la graine du cèdre intervient dans la capacité de dispersion de celle-ci (Krouchi, 2010).

8. Dispersion des graines et répartition spatiale de la régénération

L'agrégation des semis établis constatée, peut s'expliquer écologiquement, soit par la variation ou l'hétérogénéité des caractéristiques du milieu, soit par les caractères génétiques et le comportement des êtres vivants de même espèce qui ont souvent tendance à se regrouper (Büttler, 2000 ; Dajoz, 2006). Cette disposition groupée peut s'expliquer aussi par l'ouverture du cône dans un endroit donnée ou dépôt par des animaux (zoochorie). Le cèdre étant considéré comme une espèce anémochore ; et donc, à dispersion assistée, mais cette dispersion primaire peut se faire aussi en plusieurs étapes par d'autres agents dispersseurs (dispersion secondaire), notamment par les rongeurs (Rodhontochorie) ou par les singes (zoochorie).

9. Gradient de colonisation selon la topographie du relief

La colonisation du cèdre de l'Atlas du lieu-dit Ahnay Vouamane, s'est faite dans une direction privilégiée, allant du Nord-Est vers le Sud-Ouest, qui semble être le résultat de l'opposition de versants rapprochée dont la pente est très abrupte et une direction de vent aidant soufflant de Thizi Bouadhou (Nord-est) vers le versant sud faisant face au versant nord où l'on trouve la cédraie de Thala Oumadgh. C'est une dispersion orientée ou dirigée (directed dispersal) vers un autre habitat à même d'augmenter les chances de survie des graines. En effet, cette dispersion à distance des parents a permis la colonisation d'un nouveau

site selon la théorie de l'hypothèse de colonisation ou colonisation hypothesis (Howe & Smallwood, 1992 in Florès, 2003). D'après le même auteur, cette dispersion à distance permet aussi générations futures d'éviter la compétition intra-spécifique avec les adultes de l'espèce ou l'action de prédateurs et pathogènes actifs dans leur voisinage (escape hypothesis)

10. Régénération et distance au peuplement adulte

La proximité de la régénération du peuplement adulte, s'explique par le fait que les graines tombent sous et en bordure immédiate de la couronne de l'arbre parent et rarement au-delà de 30 m. Les zones de régénération de *Cedrus atlantica* se trouvent donc confinées au voisinage immédiat des adultes reproducteurs.

La densité des graines dispersées diminue avec la distance aux arbres parents (Janzen, 1970 ; Connell, 1971). Mais la survie des graines et leur recrutement augmente avec la distance aux parents (Hubell, 1980). Toutefois, après leur dispersion, les graines puis les plantules sont soumises à des filtres de mortalité biotiques (compétition, pathogénie, et prédation) et abiotiques (lumière, eau, sol). Les interactions juvéniles –adultes sont modulées par la mortalité distance ou densité-dépendante (parasitisme et prédation) (Janzen, 1970).

11. Régénération naturelle du cèdre dans les sites incendiés

L'installation de la régénération après feu s'est faite probablement grâce à la banque aérienne de graines des arbres semenciers voisins, non touchés par l'incendie, mais également par la banque de graines au sol. Eventuellement, l'apport de diaspores des arbres voisins, notamment dans la zone de Djbel Thaouyalt où la topographie est caractérisée par une pente élevée, permet la dissémination des graines et l'installation de la régénération. Selon Toth (1987), la destruction de la litière par le feu peut permettre une implantation, plus aisée que dans les conditions ordinaires, à conditions que, les précipitations soient assurées pendant la période active de la croissance du cèdre (Toth, 1987). Toutefois, les caractéristiques du lit de germination immédiatement après feu, peuvent s'avérer peu favorables à l'installation de la régénération (Ahlgren, 1959), vu que, le milieu est bien souvent trop riche en sels minéraux toxiques issus du brûlage du sol. En outre, le sol brûlé recouvert de cendres noires pourrait également dégager, lors des périodes d'ensoleillement, une chaleur telle qu'elle inhiberait la germination des graines (Keays, 1987 in Sirois, 1993). En revanche, au Djurdjura où le relief est accidenté, un lessivage partiel des sels toxiques favoriserait la germination et diminuerait la mortalité des jeunes semis (Armson, 1979 in

Sirois, 1993). L'essentiel du recrutement s'effectue dans un délai de 3 à 6 ans à la suite d'un feu (Johnstone, 1990).

12. Régénération naturelle et densité du couvert du peuplement

Dans les cédraies denses et généralement âgées, il y a accumulation de matière organique dont l'épaisseur peut atteindre 3 à 5 cm; ce qui peut empêcher l'établissement des semis de cèdre. D'ailleurs, Lepoutre (1964) préconise un décapage des horizons humifères de surface pour favoriser l'installation et surtout le maintien des plantules, quoique, Toth (1978) défend l'action positive d'une litière peu épaisse sur la réussite des semis de cèdre grâce à l'effet des mycorhizes et de l'acide oxalique.

II. Résultats pédologiques

1. Profondeur du sol

Concernant le paramètre pédologique profondeur du sol, les mesures relevées sur le terrain montrent que les placettes à sol superficiel sont celles situées en altitude, sur une forte pente et de surcroît incendiées, laissant apparaître un sol nu et parfois avec des affleurements rocheux bien manifestes. En revanche, les placettes échantillonnées en basse et moyenne altitude, en pente relativement faible et peuplements à couvert dense, présentent un sol profond.

2. Epaisseur de l'humus

On constate que, les placettes à humus faible sont celles dont les peuplements sont à couvert lâche, ou celles situées en majorité sur le versant sud du Djurdjura (Tikjda) ou sur des expositions fortement éclairées (sud à sud-ouest), récemment incendiées (Amalou Voutlam, G8-Hôtel et Thaouyalt Incendié (Tikjda), sur-fréquentées par les visiteurs du parc (Thizi N'Rbet et Thighzerth Réserve (Tikjda), constituées par de jeunes peuplements (Thighzerth Toumlilt, Auberge sud, Ikharadhènes¹) ou situées sur de pentes fortes (Thighzerth Bas, Chréa Teffah, Assamar Teffah et Tizi Ivaoualène). Pour les placettes ayant enregistré des épaisseurs d'humus moyennes, elles sont caractérisées par un couvert plus ou moins dense, exposition à dominance nord, peuplement mixte ou de haute altitude où la dégradation de la MO est faible (Tirourda). Enfin, dans les placettes où l'humus est important, on constate que celles-ci, sont constituées de peuplement à couvert très fermé et mixtes ou situées sur des expositions fraîches (Nord).

3. Richesse en matière organique du sol

Les placettes riches à très riches en matière organique (TRMO) sont celles composées de peuplements mixtes, à couvert relativement lâche, sur le versant sud du Djurdjura, avec

une présence de végétation accompagnatrice. Dans les peuplements mélangés, le Rapport C/N est plus faible que dans les peuplements purs : les microorganismes du sol étant favorisés par une nourriture variée (Duchauffour, 1965).

Dans ces placettes, l'exposition et l'éclairement lumineux favorisent la dégradation de la litière ; ce qui donne un rapport C/N faible. De même, l'humification sera rapide (mull), et on aura peu de débris organiques en surface (Duchauffour, 1965). Selon le même auteur, dans les sols forestiers, une minéralisation trop rapide de l'humus se produit par dénudation brutale du sol, lors de l'ouverture de la canopée, parce que, l'humus est exposé à la lumière.

Pour les placettes pauvres en matière organique, elles sont représentées par des peuplements purs de cèdre (litière à base d'aiguilles acides ne se dégradant que lentement) et sur des expositions fraîches où l'éclairement lumineux est faible ; ce qui ne favorise pas la dégradation de cette litière ; par conséquent, le rapport C/N est fort. Dans ces placettes, la MO est à décomposition lente (humification lente), et par conséquent, il se forme en surface une litière noire de débris présentant encore une structure organisée en formant avec le substratum minéral une séparation très nette.

4. Conductivité électrique et caractéristiques du sol

La faible conductivité électrique enregistrée au niveau des placettes d'échantillonnage s'explique par la texture du sol qui est globalement sableuse à limono-sableuse, la richesse en matière organique (faible conducteur) et l'exposition chaude (sud à sud-ouest) couplée à une pente élevée ; ce qui induit une élévation de température. Ces paramètres concourent à réduire la quantité d'eau et son corollaire la conductivité électrique ; et par conséquent la non-salinité des sols.

On constate que les placettes où la conductivité électrique est relativement plus ou moins élevée, sont situées sur des sols à pente faible, sur sol relativement profond avec un éclairement lumineux faible traduisant un couvert forestier plus ou moins dense ; ce qui assure un certain degré d'humidité du sol.

En conclusion, il ressort de l'analyse de ce facteur d'ordre physico-chimique qui est la conductivité électrique du sol, que les sols de la cédraie du Djurdjura ne sont pas salés et donc, n'exerce aucune contrainte sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas.

Synthèse sur les résultats des analyses pédologiques

A l'issue de l'analyse du tableau synthétique des résultats pédologiques et des graphiques illustratifs de la texture du sol et de la nature du pH au niveau de notre zone

d'étude, nous pouvons tirer quelques conclusions en rapport avec la réussite de la régénération du cèdre.

En commençant par la granulométrie du sol, on relève que la régénération établie avec un nombre de semis ≥ 25 est rencontrée globalement dans la texture limono-sableuse. Pour la profondeur du sol, celle-ci, agit sur la pérennité des plantules mais dans les placettes où l'éclairement lumineux est suffisant ; ce qui traduit l'indispensabilité de la lumière pour ce processus.

De même, l'influence de la richesse du sol en matière organique sur le taux de régénération, est visible sauf dans les placettes à couvert de peuplement dense.

En somme, les résultats sur la conductivité électrique montrent que les sols de la zone d'étude ne sont pas salés et donc, ce paramètre n'exerce pas d'effet néfaste sur la régénération de la cédraie du Djurdjura.

III. Discussion des paramètres dendrométriques et traitements statistiques

1. Catégorie de bois (DHP)

Sur la base des résultats obtenus dans la classification des catégories de diamètre, nous avons constaté que les structures en «J» inversé et irrégulière traduisent l'état de peuplements ayant subi des perturbations plus ou moins récentes et qui sont en pleine reconstitution (Konan *et al.*, 2005). En revanche, les structures irrégulières ou multimodales correspondent aux peuplements plus ou moins âgés. Selon Boucher *et al.*, (2003), ces types de structures nous renseignent sur la dynamique forestière du peuplement.

2. Catégories de hauteur (HT)

L'analyse de la structure verticale des peuplements de cèdre nous a permis de voir l'occupation de l'espace aérien par les différentes strates du cèdre à différents stades de croissance (Hasnaoui, 1992). La densité du couvert du peuplement explique pro parte le profil vertical des différentes strates. Plus le couvert est dense, moins est la stratification et vice-versa. C'est dans les milieux perturbés (discontinuité de la canopée) que la stratification est marquée.

3. Facteur d'élancement (H/D)

La faible densité et l'état de vieillesse du peuplement au niveau de la station de Tala Rana (Thabourth Bouanssaf et Darna Thazougaghth) et l'effet de l'altitude au niveau de la station de Tirourda sont les facteurs qui expliquent les valeurs faibles du coefficient d'élancement (H/D) du peuplement enregistrées dans ces deux stations. De même, la station de Tala Guilef qui enregistre une valeur relativement faible contrairement aux Ait Ouabane et

Tikjda, présente de vieux peuplements au niveau des placettes Ighil Inguell, 2 et 3 et au niveau d'Ikjharadhène 3 ; ce qui traduit l'achèvement de la croissance en hauteur de l'arbre et l'investissement dans la croissance en diamètre. En revanche, les valeurs du coefficient d'élancement (H/D) les plus élevées ont été enregistrées dans les placettes composées de jeunes peuplements (Thighzerth CAF, Thaouyalt incendiées, Thizi Toumlilt, Chréa Teffah, G8-Hôtel, etc.). Donc, on peut conclure que dans notre zone d'étude, la formation de trouées et la libération de l'espace dans le dôme forestier ne peut être que la conséquence de facteurs initiateurs d'une dynamique de régénération, à savoir les incendies de forêts ou le remplacement pied par pied suite à une mort naturelle (sénescence) conduisant à la chute d'arbres adultes, attaque parasitaire, déracinement par avalanche (mauvais enracinement), orage, poids de la neige. Autrement dit, les peuplements étudiés sont résistants aux chablis et donc pas de possibilité de formation de trouées liée principalement à ce phénomène physique (Brunig, 1973 ; Sheehan *et al.*, 1982 ; Mayer, 1985 ; Becquey et Riou-Nivert, 1987, in Assane, 2010). La mort d'un ou de plusieurs arbres crée une trouée dans la voûte de la forêt, amenant de brusques variations microclimatiques : apport de lumière au sol élévation de la température moyenne avec des variations journalières, diminution de l'humidité que sous un couvert fermé. Autrement dit, la mortalité des arbres joue ainsi un rôle fondamental dans la sylvigénèse en tant qu'initiatrice de trouées.

5. Coefficient de couvert du houppier (C.C.Houp)

Il ressort de l'analyse des résultats relatifs au coefficient de couvert du houppier que, les placettes composées de vieux peuplements présentant une croissance diamétrique importante ou à forte densité où les cimes sont imbriquées (pas d'espace), le C.C. Houp est faible à moyen. En revanche, les placettes composées de jeunes peuplements donc à croissance verticale favorisée (fût élancé), présentent un C.C. Houp important.

Krajicek *et al.*, (1961) a constaté une bonne relation entre le DHP et le diamètre du houppier (DH) quand l'arbre croît à l'état isolé avec des branches rayonnantes sub-horizontales. De Même Dawkins (1958) a affirmé un coefficient de proportionnalité entre le DHP et le DH mais qui varie d'une espèce à une autre. L'auteur suggère que la proportionnalité peut être considérée comme linéaire dans la phase de maturité de l'arbre ; pendant la jeunesse, le DH augmenterait plus vite que DHP et moins vite dans la phase de sénescence. Autrement dit, le rapport DH/DHP varie au cours de la vie de l'arbre.

6. Eclairage Relatif du couvert (Er.couv)

Il ressort de l'analyse du tableau de l'Er que les placettes présentant des valeurs élevées sont celles situées sur des expositions chaudes (Sud et sud-est), une pente forte et présentant des sujets dont la hauteur est faible. Autrement dit, la lumière est distribuée spatialement de manière hétérogène (Bebber et *al.*, 2002 in Florès, 2003). Sa disponibilité dépend des propriétés de la trouée (étendue) et de la canopée (fermeture du couvert et élancement des arbres) (Kabakoff & Chazda, 1996 in Florès, 2003).

Les paramètres Eclairage relatif du couvert (Er.Couv.) et facteur d'élancement (H/D) qui sont inversement proportionnels traduisent l'influence négative de l'élancement du peuplement sur l'éclairage lumineux arrivant aussi ; et donc, sur l'établissement de la régénération du cèdre.

7. Niveaux de régénération

Les placettes à niveau régénération faible (≤ 20 semis) sont celles situées sur des expositions nord et à forte densité de couvert végétal ; ce qui empêche la transmittance de l'éclairage lumineux au sol, et donc, ne favorise pas la germination des graines. De même, les placettes situées en haute altitude (Station de Tirourda) et sur un sol superficiel, présentent des niveaux de régénération faibles.

En revanche, les placettes situées sur des expositions éclairées (sud, ouest et sud-ouest), sur sol profond, incendiées et où le couvert forestier est lâche, le niveau de régénération est élevé (NS > 30 semis). Le reste des placettes est dans une position intermédiaire en raison de l'effet concomitant de plusieurs paramètres.

8. Taux de régénération du peuplement (TRP)

La variabilité aussi bien intra-station ou inter-stations du taux de régénération est fonction des paramètres structurels du peuplement (élancement du peuplement et densité du couvert arboré et leur corollaire le niveau d'éclairage au sol), paramètres orographiques (altitude, pente et exposition) et la perturbation du sol par les incendies (arrivée du rayonnement solaire et bon lit de germination). C'est ce qui explique le fort taux de régénération à Tikjda et le faible taux aux Ait Ouabanes. Le taux de régénération (TRP) nous permet donc, d'évaluer le potentiel de régénération des peuplements de cèdre dans chaque placette et dans chaque station (Konan et *al.*, 2015).

9. Indice de régénération naturelle (IRN)

Dans les placettes déficitaires, cet état disproportionné du rapport Nombre de plantules/ Nombre de sujets adultes, s'explique par le manque de régénération installée en

raison de plusieurs facteurs à effets concomitant, notamment l'état vieilli de certains peuplements (Darna Thazougagth, Ighil Inguel 1 et 3), piétinement du sol par surfréquentation et surpâturage (Agouni Vouthouvas), continuité horizontale de la canopée forestière, particulièrement dans les expositions nord (Amalou Khelifa et Ainseur Oudhafal), sol léger sur pente forte avec affleurement rocheux, etc.

Dans les placettes et les stations où l'IRN est équilibré, le problème de la régénération ne se pose pas ; ce qui n'est pas le cas des placettes où le rapport est disproportionné entre les recrues et les sujets mûres.

10. Indice de statut social de régénération (ISSI)

Les cohortes de régénération n'ont pas la même structure verticale et il y a une stratification entre les différents individus. Ceci, peut être expliqué pro parte par la gradation temporelle de la régénération (germination asynchrone des graines) et le développement des plantules ; ce qui correspond à une installation déphasée de la régénération (Florès, 2003). De même, une concurrence aérienne accrue entre les semis établis fait que certains d'entre eux prennent le dessus par rapport à d'autres pour l'accès à la lumière. Selon le même auteur, ce gradient de lumière vertical lié à la structure du couvert végétal conditionne le niveau d'énergie auquel un semis a accès en fonction de sa hauteur dans le profil de végétation. Cette énergie lumineuse diminue le long du profil ; ce qui induit automatiquement une compétition asymétrique entre les semis. Les semis dominants déploient leurs cimes là où l'énergie lumineuse n'est pas limitée et surciment du coup les semis dominés. Un autre gradient spatial de la lumière explique aussi la variabilité de la hauteur des sujets de régénération. La position spatiale des individus de régénération favorise ceux situés au centre des trouées ou semi-trouées qui sont moins nombreux mais plus élevés que ceux situés à la périphérie. Egalement, les semis établis juste à proximité des lisières de peuplements présentent une hauteur moins élevée que celle des semis éloignés de la lisière. La lumière est le facteur mésologique qui explique cette variabilité entre le centre de la trouée ou le bord de la lisière et la périphérie (Alexander D.Y, 1982 in Baraloto, 2003).

11. Indice de dispersion de la régénération (*id*)

La distribution spatiale horizontale des individus de régénération du cèdre de l'Atlas au niveau de notre zone d'étude est de type agrégé ; ce qui reflète l'apparition de cohortes de régénération. La même tendance à l'agrégation du cèdre a été signalée par Addar (2016). Cette agrégation est sous l'effet de plusieurs facteurs. L'installation des taches de semis coïncide avec les taches de lumière (synflexes), traduisant par conséquent, l'effet de

l'éclairement lumineux sur la germination des graines et le développement des plantules. La création de trouées augmente l'agrégation et à fortiori lorsque leur dimension est réduite (Ligot *et al.*, 2015). Le mode de dispersion et l'autoécologie du cèdre de l'Atlas pourraient éventuellement expliquer cette tendance à l'agrégation.

12. Variation du nombre de semis en fonction de l'exposition

Avec la pente et l'altitude, l'exposition exerce une influence majeure sur la quantité de lumière reçue au niveau du couvert végétal (Spittlehouse et Stathers, 1989 et Stathers *et al.*, 1990 ; in Lamhamedi et Chbouki, 1994). Dans les expositions chaudes (sud et sud-ouest), la température assure la germination précoce des graines du cèdre et permet une croissance des racines des plantules de telle sorte qu'elles atteignent les profondeurs du sol prospectable avant l'arrivée de la sécheresse d'été. Selon (Van Leberghe, 2007), le succès de la régénération est tributaire de la précocité de la germination des graines et de l'installation des semis. La survie des semis est conditionnée par la sécheresse estivale (Aussenac, 1984).

13. Niveau de régénération et coefficient de couvert du houppier

Le niveau de régénération est très élevé dans les peuplements présentant un houppier bien développé ; ce qui correspond à des arbres vigoureux et bien portant. En revanche, dans les peuplements à cimes étriquées et dissymétriques, le niveau de régénération est faible. Diverses études ont mis en évidence des liens étroits entre la croissance du houppier et la largeur de cernes pour différentes essences (Spiecker, 1991, in Bastien & Wilhelm, 2000), d'une part, et entre surface terrière individuelle et surface de projection du houppier (Le Goff, 1998), d'autre part. L'architecture du houppier (diffusion, longueur et largeur) joue un rôle important dans la pénétration de la lumière arrivant au sol. La relation non linéaire entre le niveau de régénération et la densité de couvert du houppier signifie que, d'autres facteurs interviennent dans l'installation des individus de régénération. D'ailleurs, M'Hirit & Benzyane (2006) indiquent que l'action du couvert végétal sur l'évolution de la régénération est complexe et doit être analysée selon les stations.

13. Variabilité du nombre de semis en fonction des stations d'étude.

L'interprétation des résultats obtenus sur la variation comparative du nombre de semis en fonction des stations, a trait à la densité du couvert du peuplement qui est plus ou moins ouvert au niveau des stations de Tikjda et Tala Rana, notamment par le passage de feux (Effet favorable), et plus fermé dans certaines placettes à Tala Guilef (Ighil Inguel et Ikharradhanes 3 et aux Ait Ouabanes (effet défavorable), et à l'altitude, notamment sur sol superficiel(effet défavorable) à Tirourda. Selon Nezar Kebaili (2009), les semis âgés (4-20ans), comme c'est

le cas de notre étude, ont tendance à se maintenir mieux sous la strate arborée exposée au Sud. Sur l'orientation Nord, cette même strate ne favorise pas l'installation des semis. Elle est même dépressive

Ezzahiri et Belghazi (2000), Aussenac (1984) et Pujos (1964) estiment que l'influence négative des hautes altitudes sur la régénération vient du froid intense et de la neige plus persistante qui retardent la germination des graines et réduisent par la suite la chance de survie des plants qui seront exposés au stress hydrique de l'été.

Quant à l'effet de la profondeur du sol, celle-ci, influe sur l'installation de la régénération par le biais du volume de terre disponible et la quantité d'eau emmagasinée. Ces deux variables, quand elles sont favorables (sol profond et eau de rétention suffisante), elles favorisent la germination des graines et permettent le développement du système racinaire des semis (Toth, 1978 ; Van Lerberghe, 2007 ; Ezzahiri et *al.*, 1994).

14. Test ANOVA et graphiques

Les résultats issus de la représentation graphique, du tableau de synthèse et de l'analyse de variance, signifient que, l'exposition nord, le couvert dense (éclairage faible) et les conditions stationnelles défavorables (sol superficiel, pente élevée et nombre de semenciers réduit) induisent une régénération faible, en empêchant la germination des graines et l'établissement des semis de cèdre, ce qui est en concordance avec les résultats de Lepoutre (1964), Derridj (1990) et Ezzahiri & Belghazi(2000). En revanche, la régénération est forte dans les placettes incendiées, à sol profond quand l'éclairage est disponible, et exposées au sud et à l'ouest. Le passage d'incendies favorise la germination et l'abondance de la régénération naturelle du cèdre (Toth, 1987) et les tâches de lumière sont favorables à l'installation des semis (Derridj, 1990 ; Lamhamedi & Chbouki, 1994) et au renouvellement du peuplement (Bischoff, 1987 in Ponge et *al.*, 1994). Ce qui nous permet de dire que, la régénération est sous la dépendance conjuguée de plusieurs facteurs, notamment le degré d'ouverture du peuplement, l'exposition et la présence d'arbres semenciers.

Pour la variable circonférence à hauteur d'homme (C.1.30 m), elle est élevée dans les placettes composées de vieux peuplements, notamment la vieille cédraie dite millénaire de Tala Guilef et celle de Tala Rana où les sujets ont achevé leur croissance en hauteur, et investissent alors plus dans la croissance diamétrique. Vila et *al.*, (2001) in Guit et *al.*, (2015) constatent que les arbres isolés ont une croissance radiale beaucoup plus importante que les arbres poussant en peuplements denses. La circonférence est en revanche faible dans les peuplements très jeunes dominés par des arbres de la catégorie de bois moyens ou petits bois,

mais aussi dans les peuplements à forte densité, car celle-ci, affecte la croissance en diamètre des arbres (Mason, 2004 in Chourou, 2014).

Concernant la hauteur totale, elle atteint des valeurs élevées dans les cédraies exposées au nord avec une densité de peuplement élevée (concurrence pour la lumière) ou dans les peuplements murs ayant atteint leur limite de croissance verticale. Elle est faible dans les peuplements jeunes n'ayant pas encore achevé leur croissance verticale ou situées dans les cédraies dégradées d'altitude. La variable hauteur est influencée par les facteurs environnementaux comme l'altitude, la pente, la luminosité (Givnish, 1999 ; Lovett *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 2010; Biresaw and Pavliš, 2010 in Imani Mugisho, 2016).

Quant au coefficient d'élanement (H/D), qui dépend de la grosseur et de la hauteur de l'arbre, il est faible dans les placettes constituées de vieux sujets à gros diamètre et élevé dans les peuplements plutôt jeunes à grosseur faible, ou situés sur des expositions nord (concurrence aérienne pour la lumière). Calama & Montero (2004) considèrent que la relation existant entre le diamètre 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 (Sharma & Zhang, 2004 in Chourou, 2014).

Le diamètre du houppier (DH) est faible dans les jeunes peuplements où la luminosité limitée est couplée à une concurrence latérale intense. Ceci, stimule la croissance en hauteur des jeunes arbres et désavantage la croissance en diamètre et réduit le nombre et la dimension des branches ; ce qui rejoint les conclusions de Rasse (2012), contrairement aux vieux peuplements desserrés disposant d'assez d'espace pour étaler latéralement leurs branches, et nous pensons comme Derridj (1990) que cette architecture est aussi liée au caractère biogène du cèdre de l'Atlas, d'avoir une cime longiligne, dans sa jeunesse, et d'évoluer vers la forme tabulaire quand il devient âgé.

15. Corrélations bivariées nombre de semis (NS) et Paramètres NT, DH, ECL et Pr.Sol

1. Relation Nombre de semis (NS)-Nombre de tiges adultes (NT)

La corrélation inversement proportionnelle entre le nombre de semis et le nombre de tiges adultes traduit l'influence négative de la densité sur la régénération. La variation de l'abondance et de la croissance des semis est liée aux effets combinés de la compétition racinaire et des conditions de lumière (Karschon, 1973, in Addar, 2016) qui déterminent

l'installation et le développement de la régénération naturelle (Baraloto, 2003 ; La Mela Veca *et al.*, 2013, in Addar,2016)

2. Relation Nombre de semis (NS)-Diamètre du houppier (DH)

La corrélation positive relevée entre le nombre de semis (NS) et le diamètre du houppier (DH) peut être interprétée ainsi : le diamètre de la couronne de l'arbre joue le rôle d'écran de protection pour les jeunes recrues qui ont besoin d'un abri pour leur croissance contre les fortes insulations. Par ailleurs, les sujets à houppier bien développé sont des arbres bien vigoureux qui produisent des semences viables et en quantité suffisante. Toutefois, si les houppiers des sujets sont imbriqués, c'est l'effet inverse qui se produit.

3. Relation Nombre de semis (NS)-Eclairement lumineux (ECL)

La mise en lumière d'un sol permet l'installation et la croissance de la régénération des jeunes semis (Courbet *et al.*, 2007). Cependant, l'effet positif de cet éclairage lumineux est valable tant qu'il ne dépasse pas un seuil critique par excès d'intensité lumineuse qui dessèche les jeunes plantules, notamment lorsque les conditions pluviométriques ne sont pas favorables. Lorsque le couvert est clair, des radiations nocives (ratio rouge clair/rouge sombre) peuvent atteindre le sol et altérer la croissance des semis (Lamhamedi & Chbouki, 1994 ; Gómez-Aparicio *et al.*, 2006 in Addar,2016) et le développement d'une végétation interférente (Gaudio *et al.*, 2011 in Gauthier *et al.*, 2015). Par contre, un couvert moyen assure un microclimat propice en réduisant l'évapotranspiration et en maintenant une humidité atmosphérique favorable à la survie et au développement des semis (Rasse, 2012).

4. Relation Nombre de semis (NS)- Profondeur du sol

La relation inversement proportionnelle entre le nombre de semis et la profondeur du sol semble contradictoire avec les résultats obtenus par de nombreux auteurs dont les travaux confirment que les sols profonds favorisent, au contraire, la régénération par le biais du volume de terre disponible et la quantité d'eau emmagasinée ; ce qui favorise la germination des graines et surtout le développement du système racinaire des semis (Toth, 1978 ; Van Lerberghe, 2007 ; Ezzahiri *et al.*, 1994). Au niveau de nos placettes d'échantillonnage, on relève que, les sols profonds sont situés dans des placettes caractérisées par un couvert dense, une exposition fraîche et une densité de tiges importante (Amalou Khelifa, Thradhlimines, Chréa Teffah, Thighezhth CAF, Ainseur Oudhafal et Tazrout Tamelalt 1 et 2). Au niveau de ces placettes dont la profondeur du sol est supérieure à 20 cm, le sol n'est pas remué pour

permettre l'enracinement des plantules de cèdre et l'éclairement lumineux est insuffisant pour assurer la germination et la croissance de ces jeunes semis. Par ailleurs, de telles conditions favorisent la formation d'une couche de litière importante avec une richesse en matière organique très élevée ; empêchant par conséquent la réussite de la régénération (Lepoutre & Pujos, 1964). On conclut que, dans ces placettes, l'éclairement lumineux joue le rôle de facteur limitant puisque sa carence empêche ou entrave un processus biologique qui est la régénération (Gaudio, 2010). In fine, on peut dire qu'il y a une gamme de densité, de degré de couverture et d'éclairement lumineux qui favorise la régénération naturelle du cèdre ; au-delà de laquelle ces paramètres deviennent des facteurs limitants.

Les corrélations bivariées entre le nombre de semis NS et les variables nombre de tiges (NT), diamètre du houppier (DH), éclairement lumineux (ECL) et profondeur du sol (PS), étant faibles et vu la dispersion des points autour de la courbe d'ajustement, la tendance de type non-linéaire ou polynomial serait plus estimative et présente des résidus faibles.

Synthèse sur les corrélations bivariées

Il ressort de cette analyse bivariée entre la régénération (NS) et les quatre variables (DH, NT, C.1.30 m et P.Sol) que la régénération du cèdre de l'Atlas craint aussi bien un éclairement lumineux fort qu'un couvert dense du peuplement, généré par des arbres à circonférence (C.1.30 m) et à diamètre de houppier (DH) élevés. Lorsque l'éclairement est fort, on assiste à une forte évapotranspiration et un développement important d'une végétation interférente, notamment héliophile. Par contre, sous un couvert moyen, un microclimat favorable s'y installe ; ce qui diminue l'évapotranspiration et maintient une humidité atmosphérique favorable à la survie et au développement des jeunes semis.

16. Relation Eclairement relatif du couvert (Er.Couvert)- Facteur d'élancement (H/D)

La corrélation inversement proportionnelle entre l'éclairement relatif (Er) et le facteur d'élancement du peuplement (H/D), traduit l'effet négatif de l'élancement du peuplement (Hauteur élevée) sur la quantité d'éclairement lumineux arrivant au sol. Ceci, se répercute sur la régénération du peuplement à travers les différentes phases : germination de la graine, installation et développement de la plantule.

17. Régression linéaire multiple (RLM)

Ce modèle n'a révélé aucun résultat statistiquement significatif, ce qui confirme la complexité d'estimer NS directement à partir d'un petit nombre de paramètres. Quoiqu'il en soit, de nombreux auteurs qui ont tenté de modéliser la régénération des forêts ont signalé que les

modèles sont difficiles à établir en raison du manque à la fois de données disponibles (Hasenauer, 2006 in Gaudio, 2010) et de connaissances permettant d'intégrer tous les processus impliqués dans la régénération des forêts, du moins les plus importants (Gaudio, 2010).

18. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les résultats issus de l'ACP selon les gradients présentés par les différents axes factoriels peuvent expliquer l'influence de chaque paramètre sur la régénération de la cédraie. Le gradient d'éclairement lumineux traduit par l'axe 1, signifie que, l'éclairement lumineux (ECL) arrivant au sol dépend étroitement des dimensions de l'arbre, à savoir la circonférence (C.1.30m) et le diamètre du houppier (DH), ainsi que de l'altitude (Alt) et éventuellement d'autres paramètres comme la forme et la dimension des trouées et la topographie du site (Prevost & Raymond, 2012). La corrélation négative entre l'éclairement lumineux (ECL) et les deux variables circonférences (C.1.30 m) et diamètre du houppier (DH), traduit l'effet négatif de ces deux variables dendrométriques sur la transmittance de la lumière au sol (Balandier et *al.*, 2010).

La corrélation positive constatée entre le diamètre du houppier (DH) et la circonférence de l'arbre (C1.30 m) signifie qu'aux gros arbres correspondent de grandes couronnes (Balandier et *al.*, 2010) et la relation est pratiquement linéaire entre ces deux variables (Becker et *al.*, 1990).

Le gradient d'altitude présenté par l'axe 2, signifie que les variables hauteur du peuplement (HT) et profondeur du sol (P.Sol) diminuent selon le paramètre altitudinal. Les arbres de nombreux conifères présentent généralement une croissance plus faible à haute altitude tel que noté par Nardin (2013). De même, selon le même gradient, la profondeur du sol diminue (Guit, 2015 & Akay et *al.*, 2019).

Le gradient de densité du peuplement (Axe 3.) montre quant à lui, que la densité du peuplement (NT) a un impact négatif sur le taux de régénération NS (relation inversement proportionnelle). Il indique que dans les peuplements denses, la régénération est faible en raison d'une faible production grainière et d'une faible disponibilité lumineuse ; ce qui limite la croissance et diminue les chances de survie des plantules (Derridj, 1990 et Ligot et *al.*, 2015).

Le gradient topographique relevé sur l'axe 4 explique la diminution de l'épaisseur de l'humus (Ep.Humus) en fonction de la pente du sol, tel que rapporté par Akgul et *al.*, (2018) et

Boissezon (1962), qui ont signalé que les débris organiques sont facilement déplacés vers le bas et que l'horizon humifère est maintenu en couche mince.

En somme, le gradient dendrométrique montré par l'axe 5 signifie que lorsque le coefficient d'élanement (CE) augmente (cas des peuplements à forte densité de tiges, où la compétition pour la lumière est prononcée), la densité de régénération diminue, du fait de la faible transmittance de la lumière à la surface du sol. Ceci, met en évidence le rôle de la lumière comme facteur limitant dans la régénération sous la canopée (Çoban et *al.*, 2018), comme indiqué dans la matrice de corrélation. Globalement, nos résultats sont cohérents avec ceux rapportés en Algérie, pour Tala Guilef, par Madjour (2015) et par Ezzahiri et *al.*, (1994) pour les forêts de cèdres de l'Atlas marocain des montagnes du Moyen Atlas.

Comparaison de nos résultats à ceux d'autres auteurs

Comparaison de nos résultats à ceux d'autres auteurs

En comparant notre travail à celui réalisé par d'autres auteurs sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas, il nous a été donné de constater ce qui suit :

1. Sur le plan méthodologique

Les travaux menés par Lepoutre (1963), Madjour (2015) et Addar (2016) ont porté sur la régénération naturelle dans son ensemble ; c'est-à-dire, y compris la régénération de l'année et le plus souvent en mettant en relief les paramètres mésologiques (altitude, exposition, pente, sol), les facteurs climatiques ($T^{\circ}\text{max.}$ et $T^{\circ}\text{min}$) et les facteurs anthropozoogènes tel que le surpâturage et les incendies de forêt. Dans les cédraies du Djurdjura, Madjour (2015) et Addar (2016) ont échantillonné à l'échelle stationnelle, à savoir Tala Guilef pour le 1^{er} et Tala Rana pour le second. Ces deux auteurs, ont limité leur échantillonnage à des placettes de 100 m² (Madjour) et des quadrats de 1m² (Addar) ; ce qui n'est pas le cas de notre étude où nous nous sommes concentrés uniquement sur la régénération établie et sur des placettes d'au moins 314 m², tout en misant sur le paramètre lumière comme facteur limitant principal de la régénération naturelle du cèdre. D'ailleurs, Addar (2016) a mentionné à l'issue de son travail que son étude devrait être complétée par l'évaluation d'autres paramètres tels que l'éclairement ou la litière ; ce que nous avons introduit dans notre protocole d'échantillonnage via la mesure de l'éclairement lumineux au sol et l'analyse d'échantillons pédologiques dont l'épaisseur de l'humus.

2. Sur le plan résultats

Pour Ezzahiri et *al.*, (2000), plusieurs facteurs sont cités comme responsables de l'échec de la régénération, notamment, le manque de toute connaissance approfondie sur les écosystèmes où se développe le cèdre de l'Atlas, la brièveté de la période de la régénération et l'absence de toute opération sylvicole, sans mettre en relief le déterminisme du facteur lumière. De même, Khanfouci (2005), a fait ressortir le rôle de la phénologie, la production grainière, et le rôle des facteurs climatiques, en l'occurrence la sécheresse qui varie selon l'altitude, l'exposition et le couvert du peuplement, lequel est simplement estimé par des données dendrométriques. Les résultats de Derridj (1990), Madjour (2015) et Addar (2016) ont confirmé le caractère éphémère de la régénération de l'année avec une disparition massive des nappes de semis à la fin de la saison sèche.

En résumé, les travaux menés par la plupart des auteurs, à savoir Toth(1984), Muller et *al.*, (1984), Derridj (1990) et M'Hirit (1983) ont mis en évidence d'étroites relations entre la production qualitative et quantitative des graines, leur germination et l'établissement des plantules du cèdre de l'Atlas, tout en soulignant le déterminisme du facteur climatique (températures minimales et maximales) sur le succès de la régénération, tel que mentionné par Derridj (1990). Quant à nos résultats, ils révèlent qu'effectivement, la régénération naturelle du cèdre est sous l'effet juxtaposé de plusieurs facteurs (exposition, pente, sol, altitude, structure du peuplement et action anthropique), tel que confirmé par ces différents auteurs, mais dépend aussi et surtout de la discontinuité du dôme forestier ; c'est-à-dire, l'apparition de brèches dans le couvert du peuplement (trouées et semi-trouées) et la lisière de la forêt, notamment sur sol meuble.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La présente étude sur la régénération du cèdre de l'Atlas dans les cédraies du Djurdjura a permis de dégager des éléments de réponse quant au comportement de cette espèce vis-à-vis des conditions stationnelles, pédologiques et structurelles du peuplement. Les résultats ont révélé que la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dépend grandement d'une combinaison de plusieurs paramètres, notamment l'oro-topographie (pente, exposition et altitude) et la structure du peuplement (fermeture du couvert et densité des arbres), qui contrôlent l'éclairement à la surface du sol et, par conséquent, les conditions microclimatiques requises pour la germination des graines et l'établissement des plantules. Nos résultats ont montré que des opérations sylvicoles consistant principalement en un dosage de lumière par des éclaircies, tenant compte de l'altitude, de la topographie et de la structure du peuplement, sont recommandées pour améliorer la régénération du cèdre de l'Atlas.

Sur les altitudes basses et modérées, notamment dans les versants nord, nord-est et nord-ouest (expositions fraîches), où la température favorable à la germination est tardive, nous recommandons une forte éclaircie, surtout au sein des peuplements denses. En revanche, sur les versants chauds (sud et sud-ouest), caractérisés par une germination plus précoce, il est recommandé de conserver un couvert forestier modéré (cédraie moins dense et cépées de chêne vert), qui protégeront les plantules des températures estivales très élevées.

En haute altitude, sur les versants d'ubac (nord), le degré d'éclaircie par le haut doit être fort, car la régénération du cèdre de l'Atlas se produit lorsque les graines reçoivent suffisamment de lumière. Il faut desserrer le couvert pour permettre une germination précoce et un développement racinaire rapide qui permet aux plantules du cèdre de s'enfoncer profondément dans le sol et éviter le dessèchement estival de surface de celui-ci, qui commence à partir de juillet, voire ces dernières années, en juin. Autrement dit, un taux élevé de croissance des racines est un facteur clé pour la survie des semis. Sur les versants d'adret (sud), l'intensité de l'éclaircie doit être également forte mais moins intense que sur les expositions nord. In fine, pour garantir la régénération du cèdre de l'Atlas, il faudra réguler l'intervention au sein des peuplements par des éclaircies de dosage du couvert forestier en tenant compte de l'étagement altitudinal, de la topographie du milieu et de la structure horizontale et verticale du peuplement.

Ces résultats confirment le comportement plus ou moins sciaphile du cèdre de l'Atlas en basse altitude, alors qu'il adopte un caractère plus héliophile en haute altitude ; ce qui se répercute vraisemblablement sur le processus de la régénération.

En perspectives, d'autres études à plus grande échelle, et impliquant beaucoup plus de paramètres, tels que d'autres formes et tailles de trouées, l'âge des arbres semenciers et leur position, et l'échantillonnage à la limite altitudinale (> 1800 m) pour mieux cerner l'effet de ce paramètre, compléteraient nos résultats pour une meilleure compréhension de la régénération naturelle et dynamique des forêts de cèdre en Algérie. Il s'agit notamment, de développer une sylviculture d'équilibre qui consiste à fixer une densité de peuplement selon les normes forestières (600-700 tiges/ha) tout en prenant en considération le caractère ou la nature du massif forestier qui considère les cédraies algériennes comme étant des cédraies de protections situées en majorité dans les aires protégées. Autrement dit, le soucis de la préservation des cédraies requiert une sylviculture de protection qui améliore la qualité du peuplement en lui assurant des potentialités de fructification et de régénération mais tout en veillant aussi sur l'objectif de protection assigné à ces cédraies de montagne.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Abdesselam M., Lami H., Mania J., Mudry J., Aigoun C., & Chauve P., 1990. Drainage karstique de la chaîne calcaire du Djurdjura (Grande Kabylie, Algérie). Alimentation et interaction entre composantes évaporitique et carbonatée

Abdesselam M., 1995. Structure et fonctionnement d'un Karst de montagne sous climat méditerranéen : Exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie, Algérie). Thèse de doct.Sc. de la Terre, Univ.Franche-Compté, 232p. + annexes.

BET-Horizon Bleu- PND., 2014. Etude des ressources en eau mobilisables du Djurdjura

Abdesmed K., 1981 - Réflexions sur les céderais Algériennes. Bult. Tech. Forest. N°6. INRF, pp: 7-16.

Abourouh M., 1983 – Essai de mycorrhisation du Cèdre de l'Atlas en pépinière. Ann. R.F.M T.23, pp 193.234.

Addar A., 2016. Mise en évidence des processus diachroniques de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au niveau des massifs du Djurdjura et de Chréa.Thèse. Doc. Es-Sciences. Univ. USTHB. 183 P.

Ahlgren, C. E. 1959. Some effects of fire on forest reproduction in north eastern Minnesota. *J. For.*57:194-202.

Aidrous-Larbi, N., 2007. Exploration de la Variabilité géographique des cèdres méditerranéens, *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani* et *Cedrus brevifolia*. Mémoire de Magister de l'Institut National d'Agronomie d'Alger. 107 P.

Aime S., Bonin G., Chaabène A., Loisel R., Saoudi H., 1986. Notes phytosociologiques Nord Africaines. Contribution à l'étude phytosociologique des zénaies du littoral Algéro-Tunisien. *Ecologia Mediterranea*. Tome XX. Fasc. (3-4): 113-131

Aime S., 1991. Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et, aride dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell oranais (Algérie nord occidentale). Thèse d'Etat, Univ. Aix Marseille III, 190 p.

Akay, A.E., Taş İ., Gencal B., 2019. Variation of Tree Diameters along Road Edges: The Case of Karacabey Linden Forest in Bursa, Turkey. *Forestist* 69(2): 81-86.

Akgul M., & Hasdemir M., 2018. Investigation on slope and canopy closure effects to minimize sediment movement in riparian buffer zone. *Forestist*, 68(1): 70-77. İstanbul University, Faculty of Forestry, İstanbul, Turkey.

Akpo L.E., Grouzis M., 1996. Influence du couvert sur la régénération de quelques espèces ligneuses sahéliennes (Nord Sénégal, Afrique occidentale). *Webbia*, 50 (2), p. 247-263.

- Alexandre D.Y., 1982. Aspects de la régénération naturelle en forêt dense de Côte-d'Ivoire. *Caridollea* 37: 579-588. Chapitre Notions de régénération
- Alileche A., 2012. Etude du dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans la cédraie des Aurès. Thèse Magister. Ecologie-Environnement USTHB.
- Alptekinc U., Bariteau M., Fabrel P., 1997. Le cèdre de Turquie : aire naturelle, ravageurs et essais d'utilisation en France, *Revue Forestière Française*, 49, 1 9-31.
- ANRH., 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/ 500.000. Notice explicative.
- Assane D., 2010. Caractérisation du régime de perturbations par trouées dans des peuplements âgés et surannés d'épinette noire de la pessière à mousses au Québec. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie
- Aussenac G., 1984. Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique. *Actualités botaniques*, vol. 131, n° 2/3/4, p. 385-398. DOI: 10.1080/01811789.1984.10826679
- Baccini A., 2010. Statistique descriptive multidimensionnelle (pour les nuls). Publications de l'Institut de Mathématiques de Toulouse. UMR CNRS 5219 Université Paul Sabatier- 31062 – Toulouse cedex 9
- Bagnouls F., & Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xéothermique. Document pour les cartes de production végétale. Série généralité cartographie de l'unité écologique. Edit. Edward. Privat, Toulouse : 47p.
- Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. 2e éd. Tech et pratique. Ed. INRA P 321 Paris : INRA
- Balandier P., Marquier A., Perret S., Collet C., et Courbaud B., 2010. Comment estimer la lumière dans le sous-bois forestier à partir des caractéristiques dendrométriques des peuplements ? *Rendez-vous techniques ONF*, 2010, p. 52 - p. 58. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00504405>
- Ballot C.S.S., Mawussi W., Atakpama W., Moita-Nassy M., Yangakola T.M., Zinga I., 2016. Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique
- Baraloto C., 2003. Régénération forestière naturelle : De la graine à la jeune tige. *Rev. For. Fr.* LV - numéro spécial. 9p.
- Bariteau M., 1990. Évaluation de l'impact de traitements sylvicoles en forêt tropicale humide sur la régénération; illustration à partir du comportement in situ et en conditions contrôlées de deux espèces de Guyane. Atelier sur l'aménagement et la conservation de l'écosystème forestier tropical humide, Cayenne, mars 1990, étude de cas, 10 p.

- Bariteau M., 1993. L'amélioration génétique des cèdres en France. *Silva Mediterranea - Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas*. Ifrane (Maroc) ; 7 --11 juin 1993 : 464 - 472.
- Bastie J., 2003. Eclairage lumineux : L'ouverture de la canopée a été mesurée à l'aide du luxmètre (Mesure en éclairage).
- Bastien Y., & Wilhem G.J. 2000. Technique et forêt, une sylviculture d'arbres pour produire des gros bois de qualité. *Rev. For. Fr.* LII - 5.
- Bazzaz F. A., & Pickett S.T.A., 1980. - Physiological ecology of tropical succession. A comparative review. *Airia. Rev. Ecol. Syst.*, 11: 287-310.
- Becker M., Brâker O.U., Schneider O., Schweingruber F.H., 1990. Aspect des houppiers et croissance des arbres au cours des dernières décennies dans les régions frontalières d'Allemagne, de France et de Suisse. *Rev. For. Fr.* XLII – 42 (3), pp.284-300
- Becker M., 1992. Deux indices de compétition pour la comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre d'arbres aux passés sylvicoles variés et inconnus. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences*, 49 (1), pp.25-37. hal-00882786□
- Beina D., (2011). Diversité floristique de la forêt dense semi-décidue de Mbaiki, République Centrafricaine : Etude expérimentale de l'impact de deux types d'intervention sylvicole. 226P.
- Bellahcene O., & Bensaad F., 1990. Contribution à l'étude des relations sol-végétation de la partie Nord du Djurdjura (région de Tala-Guilef). Thèse Ing. Agro. Univ. Tizi-Ouzou. 89 P.
- Belaid M., 1986. Contribution à l'étude préliminaire de la distribution de la matière organique dans quelques sols forestiers de la Kabylie du Djurdjura 95 P.
- Benmoufouk A., 1993. Revue. Description de formations à *Cedrus atlantica* Manetti du massif central du Djurdjura. Univ.Tizi Ouzou. Institut d'Agronomie. Département pédologie. *Cahiers Agricultures* ; (4) : 383-7.
- Benmoufouk A., 1994. Approche écopédologique dans les formations à *Cedrus atlantica*. Cas du massif du Djurdjura, Algérie. *Ann. Rech. For. Maroc*, n° spécial, 27, Vol.1, 206-217.Rabat.
- Benslama M., Andrieu-Powel V., Guiter F., Reille M., Louis de Beaulieu J., Migliare J., & Djamali M., 2010. Nouvelles contributions à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation en Algérie : analyse pollinique de deux profils sédimentaires du complexe humide d'El Kala. *C.R. Biologie* 333-744-754.
- Bentouati A., & Bariteau M., 2006. Réflexion sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, vol. XXVII, n° 4, p. 317-322.

- Bertrand A., 2011. Méthodes d'évaluation de la régénération naturelle. Elaboration d'une méthode de caractérisation de la régénération naturelle en peuplement résineux irrégulier. Rapport de stage pour l'épreuve de soutenance et l'obtention du diplôme de brevet de technicien supérieur agricole, option « Gestion forestière ».
- Bourbia S., 1988. Contribution à l'étude de la végétation et des sols de la forêt relique des Ait Ouabane. Mém. Ing. Agron., INES Agro de Tizi Ouzou
- Brunetti M., De Calpua E.L., Machioni N., & Monachello S., 2001. Natural durability, Physical and mechanical Properties of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) wood from southern Italy. Ann.For.Sci.58-607-613 INRA, EDP Sciences.
- Bureau d'Etude Incendie (BET)- Parc National du Djurdjura (PND)., 2016
- Bureau d'Etude « Géo-système-Parc National du Djurdjura (PND)., 2014.
- Bureau d'Etude Horizon Bleu-PND., 2016. Etude d'inventaire des ressources en eau mobilisables du Parc National du Djurdjura.
- Bickford C.A., 1961. Stratification in timber Cruising. Jour. Forestry, 59 : 761-763.
- B.N.E.F (1983) : Etude d'aménagement de la forêt domaniale des Ouled Yagoub et Beni-Oudjana. Bureau national des études forestières .1983
- Boucher, D., De Grandpré L., & Gauthier S., 2003. Développement d'un outil de classification de la structure des peuplements et comparaison de deux territoires de la pessière à mousses du Québec. The Forestry Chronicle 79(2): 318-328.
- Bouchon J., 1979. Structure des peuplements forestiers. Ann. Sci. For. 36(3), 175-209.
- Boudy P., 1950. Economie forestière Nord-Africaine : monographie et traitement des essences forestières. Éd. Larose, T2. Pp : 529-619.
- Boudy P., 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. Éd. La Maison Rustique.505p
- Butler R., 2000. Analyse de la distribution spatiale d'objets dans un paysage. Fiche d'enseignement. Lausanne, Suisse, École polytechnique fédérale de Lausanne, 17 p
- Byoung -Guieng, Y., 1976. Croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en relation avec quelques variables du milieu en Languedoc -- Roussillon (France). Thèse. Doc. Ing. Université des Sciences Techniques du Languedoc : 1 - 10.
- Calama R., & Montero G., 2004. Stand and tree-level variability on stem form and tree volume in *Pinus pinea* L.: A multilevel random components approach. Centro de Investigación Forestal. CIFOR-INIA. Apdo. 8111. 28080 Madrid. Spain.
- CEDFOB, 2009. Centre d'édition de reproduction et de diffusion (CRDT) de documents pédagogiques, 1992. Fertilisation, Cours N° 51, 09-50p.

- Chourou W., 2014. Développement et évaluation des modèles hauteur-diamètre des pins gris et des épinettes noires à l'échelle provinciale et écorégionale de l'Alberta et du Québec. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie.
- Cluzeau C., & Pont B., 1997. Suivi à long terme de la dynamique spontanée des forêts alluviales dans six réserves naturelles. Résultats de la première campagne de mesures. Rapport Réserves naturelles de France, 43 p. + annexes.
- Çoban S., Çolak A., Rotherham I., Özalp G., Çalıskan A., 2018. Effects of canopy gap size on the regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Eskisehir –Çatacik region of Turkey. Austrian Journal of Forest Science. 183-212. <http://shura.shu.ac.uk/23258/>
- Connel J.H., 1971. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in forest tree. In: Dynamics of Populations. P.J. den Boer & G. Gradwell, éd. Pudoc Wageningen, 298-312.
- Cordonnier T., Dreyfus P., Trouvé R., 2012. Dimensions classiquement privilégiées pour décrire l'hétérogénéité d'un peuplement: diversité des espèces arborées, diversité des tailles et des âges des arbres, hétérogénéité de la distribution spatiale des arbres). 774 Rev. For. Fr. LXIV – 6.
- Courbet F., Courdier J.M., Mariotte N., & Courdier F., 2007. Croissance, production et conduites des peuplements de cèdre de l'Atlas. Forêt méditerranéenne, n° 174, 40-44.
- CRPF., 2007. Bilan phytosanitaire de la forêt privée régionale. SYLVINFO. Journal Trimestriel d'Information Forestière. N°63.
- CRPF de Normandie., 2009. Les arbres sénescents et le bois mort en forêt : une richesse écologique considérable. N° 113 à 116.
- CRPF., 2011. Analyse prospective de la ressource forestière et des disponibilités en bois de la région Aquitaine à l'horizon 2025. Etat des lieux des forêts aquitaines à l'automne 2011.
- CRPF., 2011 : La futaie irrégulière- Décrire et mesurer les peuplements.
- Csba M., 1994. Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. Ann.Rch.For.Maroc.T27. pp 219-222.
- Daget P., Godron M., 1982. Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés. Masson, Paris, 163 p.
- Dajoz R., 2006. Précis d'écologie. Cours et questions de réflexions 8ème édition Dunod. 630p.
- Dawkins, H.C., 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Imperial Forestry Institute. (Oxford), Institute Paper no. 34, 155 p.
- Debazac E.F., 1964. Manuel des conifères. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy 79-82.

- Debazac, E.F., 1959. La végétation forestière de la Kroumirie. Ann. E.N.E.F. 16(2): 1–131.
- Delkov A., & Grozev O., 1994. Résultats de l'introduction du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti en Bulgarie du sud-ouest. Ann.Rech.For.Maroc.T27. pp 173-185.
- Demarteau M., François L., Cheddadi R., & Roche E., 2007. Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futures. Géo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales.
- Dereix C., 2022. « Cèdres méditerranéens, hier et demain. Un espoir pour les forêts face au réchauffement du climat? » Séance publique de l'association « La forêt méditerranéenne ». Séance publique du 26 janvier 2022. France.
- Derridj A., 1990. Etude des populations de *Cedrus atlantica*. Manetti en Algérie. Thèse Doct. Université de Toulouse P. 282
- Derridj A., & Krouchi F., 2002. Effects of various factors on germination of *Cedrus atlantica* M. Seeds in proceedings of the 2002 annual meeting of IUFRO 2.09.00. Research group for seed Physiology and Technology pp.52-57.
- Dietz L., 2020. Dynamique spontanée post-tempête de la végétation forestière en contexte de changement climatique. The.Doc.Spe. Biologie et écologie des forêts et des agrosystèmes. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParis Tech) 174p
- Drapier J., 1985. Les difficultés de régénération naturelle du sapin (*Abies alba* Mill) dans les Vosges. Etude écologique. RFF. XXXVII --1 : 45 -- 55.
- Duchauffour Ph., 1965. Minéralisation de l'humus. L'humus forestier et les facteurs de sa décomposition. Indice bibliographique : II.44.2. Revue forestière française.
- Duchauffour Ph., 1988. Les pessières d'altitude : Physiologie de la nutrition et problèmes de régénération. Régénération des forêts d'altitude. Université de Savoie. Office National des forêts. 43-47.
- Ducrey M., 1981. Action des basses températures hivernales sur la photosynthèse du cèdre et du Douglas. Ann.Sci.38, 317-329.
- Dufour S., Pont B., 2006. Protocole de suivi des forêts alluviales : l'expérience du réseau des Réserves naturelles de France Rev. For. Fr. LVIII - 1-
- Durand J.H., 1956 : Les croutes calcaires d'Afrique du nord étudiées à la lumière de la bio-rhexistasie. S.E.S. Alger, 3-19.
- Durand J.H., 1983. Classes de la qualité des sols selon l'échelle de Durand
- Emberger L., 1938 : Contribution à la connaissance des cédraies et en particulier du Deodara et du cèdre de l'Atlas Rev. Bot. Appl et Agri N° 198 p 192.

- Véla E., Benhouhou S., 2007. Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord) Assessment of a new hotspot for plant biodiversity in the Mediterranean basin (North Africa).
- Ezzahiri M., Belghazi B., & Bahmad M., 1994. Bilan de la régénération naturelle de la cédraie des parcelles clôturées du Moyen Atlas(Maroc).Ann. Rec. For. Mar. Numéro spécial (27), pp 259-268.
- Ezzahiri M., 1989. Application de l'analyse numérique à l'étude phytoécologique et sylvicole de la cédraie du Moyen Atlas tabulaire : l'exemple de la cédraie de Sidi Mguild. Thèse de Doc. Agronom., Inst.Nat.Agronom.et Vét. Hassan II, Rabat, 173 p.
- Ezzahiri M., & Belghazi., 2000. Synthèse de quelque résultat sur la régénération naturelle du cèdre dans l'Atlas au moyen Atlas, Maroc. Sécheresse vol. 11(2), Pp : 78-84.
- Fabre J.P., 1994. Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. In Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc). Annale de la Recherche Forestière au Maroc 27(spécial).540-551.
- Fabre J.P., Mouna M., Du Merle P., & Benhalima S., 1999. Le point sur certains ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord, en France et en Europe. Forêt médit.20 203- 218.
- F.A.O., 1992. Guide de manipulation des semences forestières. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Etude F.A.O. Forêt. Rome : 27 -- 55.
- F.A.O., 2014. World reference base for soil resources
- FAO., 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps Update.
- Farjon A., 1990. Pinaceae. Drawings and description of the genera Abies, Cedrus, Pseudolarix, Keteleeria, Nothotsuga, Tsuga, Cathaya, Pseudotsuga, Larix and Picea, Koelt, cientific books, p330.
- Fargeot C., Forni E., Nasi R., 2004. Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 281 (3) : 19-34.
- Ferrandès P., 1986. Cèdres. Revue forestière française, vol XXXVIII, n° spécial « Amélioration génétique des arbres forestiers » », pp.139-141.
- Flandrin J., 1952. Carte géologique de la chaîne du Djurdjura. Ech.1/50.000.
- Flores O., 2003. Déterminisme de la régénération chez quinze espèces d'arbres tropicaux en forêt guyanaise : les effets de l'environnement et de la limitation par la dispersion. Ecologie, Environnement. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.

- Forget P.M., 2013. Dissémination et régénération naturelle de huit espèces d'arbres en forêt guyanaise
- Frontier S., 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson, Paris et Pui, Québec, 494 pages.
- Gachi M., 1994. Note sur la présence en Algérie de la processionnaire du Cèdre : *Thaumetopoea bonjeani* Powell (Lepidoptera; Thaumetopoeidae). *Ann. Rech. For.*, T (27): 527- 537.
- Gachi M., 1989. Eco-biologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjiani*, Powel. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. Séminaire international de biologie, Constantine.13p.
- Gaudin S., 1996. *Dendrométrie des peuplements*. Ed. BTSA Gestion Forestière. France.
- Gaudio N., 2010. Interactions pour la lumière entre les arbres adultes, les jeunes arbres et la Végétation du sous-bois au sein d'un écosystème forestier : application à la régénération du pin sylvestre en peuplement mélangé chêne sessile - pin sylvestre. Sciences de la Terre. Université d'Orléans. <NNT : 2010ORLE2033>. <tel-00587487>. 198 p.
- Gausson H., 1967.- Les gymnospermes actuelles et fossiles. *Trav. Lab. For.*,Toulouse,VI, (1), 294-319.
- Gautier-Hion A., Duplanthier J.-M., Quris R., Feer F., Sourd c., Decoux J.-P., Dubost G., Emmons L., Erard C., Hechetsweiler P., MOUNGAZI A., ROUSSELHON C., et THIOLLAY J.-M. 1985. Fruit character as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical vertebrate community. *Oecologia* (Berlin) 65:324-337.
- Godron M., 1971. Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse d'Etat, U.S.T.L., Montpellier. 247p.
- Godron M., 1976. Les échantillonnages phytoécologiques. Notes n°8. C.N.R.S.-C.E.P.E. Louis Emberger, Ronéo. 23p.
- Guignabert A., 2018. Etude des processus de régénération naturelle du pin maritime en contexte de dune forestière gérée : influence de la sylviculture, du climat et des interactions biotiques. Sylviculture, foresterie. Université de Bordeaux, France
- Guit B., Nedjimi B., Guibal F., & Chakali G., 2015. Dendroécologie du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en fonction des paramètres stationnels dans le massif forestier de Senalba (Djelfa-Algérie). *Rev. Ecol. (Terre Vie)* Vol 70, N°1 : 32-43.
- Haavisto V. F., Fleming R.L., & Skeates D.A., 1988. Potential and actual yields of seed from black spruce cones. *For. Chron.* 64:32-34.

- Habbi S., & Bouafene M., 2018. Viabilité des essences forestières de Djebel Sidi R'Ghies (Oum EL Bouaghi). Mémoire de Master, filière Ecologie, option Ecologie des milieux naturels.
- Hair J. J., Anderson R., Tatham R., & Black W., 1998. *Multivariate Data Analysis*, Prentice Hall. 5th Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Hakizimana P., Bangirinama F., Havyarimana F., Habonimana B., Bogaert J., 2011. Analyse de l'effet de la structure spatiale des arbres sur la régénération naturelle de la forêt claire de Rumonge au Burundi. *Bull. sci. Inst. natl. environ. conserv. nat.* 9: 46-52 - ISSN 2220-6981 (En ligne).
- Harfouche A., & Nedjahi, A., 2003. Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies du Bélezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbres. *Rev.For.Fr.*55, n°2, Pp : 113-122.
- Hasnaoui B., 1992. Chênaies du Nord de la Tunisie Ecologie et régénération. Doctorat d'Etat des Sciences Naturelles. Univ. De Provence. Aix-Marseille I. 186 P.
- Havyarimana F., 2009. Impact de la distribution spatiale sur la diversité végétale dans la Réserve Naturelle Forestière de Bururi au Burundi. Mémoire de master, Université libre de Bruxelles, Belgique, 55 p.
- Hubbell, S. P., 1980. Seed predation and the coexistence of tree species in tropical forests. *Oikos* 35:214-229
- IDF., 2012. Flore forestière française
- Imani Mugisho G., Zapfack L., Bernard R., Mwangi Mwqanga I.J.C., Bulonvu F., & Boyemba F., 2016. Variabilité Structurale Des Peuplements D'arbres En Forêt De Montagne Du Parc National De Kahuzi-Biega Et Ses Environs, RD. Congo. *European Scientific Journal* August 2016 edition vol.12, No.23 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- Janzen D.H., 1970. Herbivores and the number of trees species in tropical forest. *AM. NAT.*, 104, 501-528.
- Johnston, W.F., 1990. Thuja occidentalis - northern white cedar. Dans *Sylvics of North America*. Vol. 1.Conifères. R.M. Burns and B.H. Honkala (Éds). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. 654, p. 580-589.
- Khanfouci, M. S. 2005. Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif de Bélezma. Mémoire de magistère, université de Batna, Algérie, 249 p
- Kohler F., 2017. Collecte de données : Généralités – Recensement/ Echantillonnage. Population

- Konan D., Bakayoko A., Fézan H.T., Bitignon B.G.A., & Piba S. C., 2015. Dynamisme de la structure diamétrique du peuplement ligneux des différents biotopes de la forêt classée de Yapo-Abbé, sud de la Côte d'Ivoire. doi.org/10.4314/jab.v93i1.10.
- Krajicek J.E., Brink-Man k.A., & Gingrich S.F., 1961. Crown competition. A measure of density. For. Sci., 7, 35-42.
- Krouchi F., 2010. Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en peuplement naturel Tala-guilef, Djurdjura Nord-Ouest, Algérie. Thèse Doctorat. Univ U.M.M.T.O. 227 p.
- Lamhamedi M., & Chbouki N., 1994. Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.). Ann. Rech. For. Maroc, T (27). Pp : 243-257
- Lahmadi M., & Chbouki N., 1994 : Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.). Ann. Rech. For. Maroc. 27 Vol 2 : 244 - 253.
- Lanier L., 1994. Les champignons des cédraies en Algérie. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7-11 juin 1993. Annales de la Recherche Forestière au Maroc, 27 (spécial) : 554-563.
- Lapie G., 1909. Etude phytogéographique de la Kabylie du Djurdjura. Thèse Doct.ès.sc.Nat., Univ.Paris, Delagrave éd., et Revue Géogra.An.III, 1-156, 2 cartes h.t 156 p.
- Lasram M., 1994. Le Cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 - 11 Juin 1993. *Annales de la recherche forestière au Maroc*, 27 (spécial) : xxxv-xxxvi.
- Ledant, JP., 1975. Essences forestières algériennes (Indigènes et exotiques). Notes de dendrologie. Dépt de forêt. INA El-Harrach .Alger :133p
- Le Goff N., 1998. Dynamique de la croissance individuelle et collective du Hêtre sous contrainte concurrentielle. Hêtraie de basse altitude (volet 2). — Convention de recherche du GIP ECOFOR. Rapport scientifique final, pp. 21-34.
- Le Moal L., 2002. L'analyse en composante principale sous SPSS. Document de recherche [En ligne]. <http://www.lemoal.org/download/spss/ACP.pdf>
- Lepoutre B., 1961. Recherches sur les conditions édaphiques de la régénération des cédraies marocaines. Ann. Rech. For. Au Maroc, T 6, Fasc. 2, S.R.F. Rabat : 211 p.
- Lepoutre B., & Pujos A., 1963. Facteurs climatiques déterminants les conditions de germination et l'installation des plantules de cèdre. Annales de la recherche forestière au Maroc. Tome 6. Fasc2 .211 p

- Lepoutre B., 1963. Rôle des mycorhizes dans la biologie des jeunes cèdres. C.R. Soc. Des Sc. nat. et phys. au Maroc., t. XXIX, no 5-6, Rabat.
- Lepoutre B., 1964. Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre de l'Atlas dans le Moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Maroc. T 7, Rabat : 57 -- 163.
- Lepoutre B., 1966. Ecologie de la régénération naturelle du cèdre dans le Moyen Atlas Marocain. Résumé d'une thèse de Docteur-Ingénieur. Faculté de Montpellier.
- Ligot G., Balandier P., Courbaud B., Jonard M., Kneeshaw D., & Claessens H., 2015. Dosage de la lumière pour maintenir la coexistence d'espèces d'ombre et de demi-ombre dans la régénération de la futaie irrégulière. Rev. For. Fr. LXVII - 3-2015. pp. 195-211.
- Madelaine-Antin C., 2009. Dynamique des peuplements forestiers tropicaux hétérogènes : variabilité inter et intra-spécifique de la croissance des arbres et trajectoires de développement en forêt dense humide sempervirente, dans les Ghâts occidentaux de l'Inde. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, Français.
- Madjour K., 2015. Régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au niveau du Parc National du Djurdjura (Secteur de Tala-Guilef). The. Magister en Ecologie Végétale Appliquée et Gestion de l'Environnement. P.104.
- Maire R., 1926. Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Notice. Gouvernement Général de l'Algérie, Services cartographiques, Alger, cartes couleurs, au 1/ 1500000 h.t.78 p.
- Maire R., 1952. Flore de l'Afrique du Nord. Pteridophyta, Gymnospermae, Monocotyledonea Glimiflorae P.P). Encyclopédie biologique XXXIII, 2, Le Chevalier Paris: 366 P.
- Malki H., 1992. Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la végétation naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les monts du Belezma (Algérie). Thèse. Université de Paris- Sorbonne. 187p.
- Marion J., 1955. La régénération naturelle dans les cédraies du rebord septentrional du Moyen Atlas occidental calcaire. Ann. Rech. For., fasc. 1 : 47-146. Rapport annuels 1953 -- 1954 -- 1955, Fasc. 1:33 -- 149.
- Marquis, D.A., 1975. "Seed Storage and Germination under Northern Hardwood Forests". *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 5, p. 478-484.
- Martin M.A.J., 2008. Dissémination des pollens et des graines. Notions de pluies de graines.
- Martin P., 2008. Influence de la fragmentation forestière sur la régénération des espèces arborées dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat : Univ. Genève, 2008, no. Sc. 3989. DOI : 10.13097/archive-ouverte/unige:8467.

- Massenet J.Y., 2011. Chapitre II : Hauteur des arbres. Lycée forestier – Château de Mesnières – 76270 MESNIERES-EN-BRAY
- Mateso M., 2017. Maroc: le cèdre de l'Atlas, un patrimoine à la dérive
- Meddour R., 1994. Contribution à l'étude phytosociologique de la portion centro-orientale du Parc National de Chréa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de la végétation de l'Atlas Blidéen. Thèse. Magist. Ins. Nat. Alger, 330p.
- Meddour R., 2010. Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie Djurdjurienne. Thèse. Doct. Agr. Option. Foresterie. Ins. M.M.T.O. 398p.
- Meddour, R., Meddour-S.O, Derridj A., Géhu J.M., 2010. Synopsis commenté des groupements végétaux forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjurienne (Algérie). Rev. For. Fra., AgroParisTech, 62 (3-4), pp.295-308.10.4267/2042/38944. hal-03449797.
- Medina E., Mooney H., A., & Vasquez-Yanes C., 1984. Physiological ecology of plants of the wet tropics.
- Mediouni K., & Yahi N., 1994. Phytodynamique et autoécologie de *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. Ann. Rech. For. Maroc. T (27) (Spécial). Pp : 77-104.
- Médiouni K., & YAHY N., 1989. Etude structurale de la série du cèdre à Ait Ouaban, Djurdjura, forêt Médit, XI, 2, 103- 112.
- Médiouni K., 2000. Elaboration d'un bilan et d'une stratégie nationale de développement durable de la diversité biologique. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Algérie. Projet ALG/97/G31 : Tomes I à IX.P.
- Messaoudene M., Loukkas A., Janin G., Tafere M., Dilem A., Gonçalez J., 2004. Propriétés physiques du bois d'éclaircie des cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti), contenant du bois de compression, provenant de l'Atlas du Djurdjura (Algérie). Annals of Forest Science, 61 : 589-595. <https://doi.org/10.1051/forest:2004054>
- Messaoudene M., Rabhi KH., Megdoud M., Sarmoum M., & Dahmani M., 2013. Etat des lieux et perspectives des cédraies algériennes. Forêt Méditerranéenne 34 : 1-8.
- Messaoudene M., comm. Pers, 2013
- M'Hirit O., 1982. Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'atlas. Ann. Rech. For. Maroc2 (1). 499p.
- M'hirit O., 1993. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances a travers le réseau Silva Mediterranea "Le Cèdre". In : Le cèdre de l'Atlas.

- Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. *Annales de la recherche forestière au Maroc* 27 (spécial). Pp : 4-21
- M'Hirit O., 1994. Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau *Silva Mediterranea* « Le Cèdre ». *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 27 : 5-21.
- M'hirit O., 1999. Le cèdre de l'Atlas à travers le réseau *Silva Méditerranéen* « Cèdre ». Bilan et perspectives. *For. Méd.*, 20(3) : 91-100.
- M'Hirit O., & Benzyane M., 2006. Le cèdre de l'Atlas. *Mémoire du temps*. Editions La Croisée des chemins. 288p.
- M'Hirit O., 2022. « Le cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord. Enjeux et nouveaux outils de gestion face à la dégradation anthropique et climatique. » Séance publique de l'association « La forêt méditerranéenne ». France.
- Mouna M., 1993. Entomofaune du cèdre de l'Atlas au Maroc. *Silva Mediterranea Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas*. Ifrane (Maroc) ; 7 --11 juin 1993 : 515 -- 522.
- Moundounga Mavourouou Q., 2011. Mesure des arbres à tronc non conforme (contreforts). Mémoire de stage de master 1 biologie des populations et des écosystèmes. Option : Biologie Végétale.
- Muller C., 1986. Le point sur la conservation des semences forestières et la levée de dormance. *RFF.XXX.VIII*. (3.pp : 200-204.
- Muller C., & Bonnet –Masinbert. M., 1983. Amélioration de la germination des graines de *Fagus sylvatica* par prétraitement en présence de polyéthylène glycol A.S.T 40(2), P 157-164.
- Nardin M., 2013. Ajustement biologique du mélèze aux variations environnementales le long d'un gradient altitudinal : approche microdensitométrique de la réponse au climat. 266 P. Sciences agricoles. Université d'Orléans, 2013. Français. <NNT : 2013ORLE2071>.
- Navarro-Cerrillo R.M., Manzanedo R.D., Bohorque J., Sanchez R., Sanchez J., De Miguel S., Solano D., Qarro M., Griffith D., Palocios G., 2013. Structure and spatio-temporal dynamics of cedar forests along a management gradient in the Middle Atlas, Morocco. *Forest Ecology and Management* 289 (2013) 341–353. journal homepage: www.elsevier.com/locate/forecof
- Navarro-Cerrillo R. M., Sarmoum M., Gazol A., Abdoun F., Camarero J. J., 2019. The decline of Algerian *Cedrus atlantica* forests is driven by a climate shift towards drier conditions. *Dendrochronologia*, 55: 60-70. [https:// doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.003](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.003)
- Nedjahi A., 1988. La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. *Thè. Doc. Univ. De Nancy*. 184 P.

- Nezar kebaili M., 2009 : Influence de quelques variables du milieu sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Batna). Magister en Sciences Agronomiques. Spécialité : Foresterie.
- Ngom D., Fall T., Sarr O., Diata S., & Akpo L.E., 2013. Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo, Sénégal.
- Ngutulo N.T., 2013. Structure, diversité et modèles de distributions spatiales de quelques populations d'arbres des sols hydromorphes dans la forêt monodominant à Gilbertiodendron dewevrei De La Reserve Forestière De Masako, Kisangani (RDC)
- Oliver, E.D. et Larson, B.E. 1996. Forest stand dynamics. Wiley, New York, N.Y. 467 p.
- Oldeman R.A.A., 1972. - L'architecture de la forêt guyanaise. Thèse, académie de Montpellier (France), C.N.R.S. A.O.
- Oldeman R.A.A., 1990. Forest: elements of silvology. – Berlin: Springer Verlag, – 624 p.
- ONF., 2014: Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers. N° 1145. - Inventaire par Echantillonnage- Guide Pratique. Ministère des Ressources naturelles Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers. Québec.
- Parde J., 1976. Il cedro nella zona mediterranea francese. *Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali*, Firenze, vol. 25: 269-285.
- Pardé J., & Bouchon J., (1988) : *Dendrométrie*. 2^e éd. Nancy, Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et Forêts, 328 p.
- Pascal J.P., 2003. Notions sur les structures et dynamiques des forêts tropicales humides. Rev. For. Fr., numéro spécial.
- Peyrimhoff P., 1941. Carte forestière de l'Algérie et de la Tunisie. 1 Vol. Imp. Pape Baconnier Frères : 70 p., 1 carte.
- Picard N., 2006. Méthode d'inventaire forestier. Projet de développement rural participatif dans le moyen Atlas central (projet Khénifra). cirad-00147247
- PND 2014. Liste des mammifères recensés (par Bensidhoum, 2010 ; Allegreini et Peyre, 2007) et leur abondance estimée dans le Parc National du Djurdjura
- Polisano K., 2018. Cours de Statistiques niveau L1-L2. Licence. France. <https://hal.archives-ouvertes.fr>
- Ponge J.F., 1994. Biodégradation des sols forestiers : Causes et remèdes. La Forêt Privée, 1999, 248, pp.55-60.
- Ponge J.F., André J., Bernier N., & Gallet C., 1994. La régénération naturelle, connaissances actuelles : le cas de l'épicéa en forêt de Macot (Savoie). Rev.For.Fr., 46(1) : 25-45.
- Ponge J.F., 2016. L'Humus Index: un outil pour le diagnostic écologique des sols forestiers

- Prévoist M., & Raymond P., 2012. Les trouées sylvicoles en forêt mixte tempérée : L'effet sur l'éclaircissement dépend de la topographie du site. Avis de Recherche Forestière n°40.2p.
- PSDRF., 2012. Notice pour la mise en place et la saisie des données du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières *Module alluvial* (Mémoire de fin d'étude, adaptation et optimisation des protocoles de suivi des forêts. Annexe 18
- Pujos A., 1964. Le milieu de la cédraie marocaine. Ann. Rech. For. Maroc Tome 8. p198.
- Pujos A., 1966. Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat de la régénération actuelle dans les peuplements. Ann. Rech. For. Maroc. 8: Rabat 283.
- Putod R., 1979. Le reboisement du cèdre dans le Sud-est de la France. Bull.Vulg. Forest. N 8 P : 58.
- Quezel P., 1976. Les forêts du pourtour méditerranéen. In *Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB, 2.* Pp : 9-33. UNESCO, Paris.
- Quezel P., 1998. Cèdre et cédraies du pourtour méditerranéenne : signification bioclimatique et phytogéographiques. Forêt méditerranéenne. T.XIX, n°3.
- Quezel P., & Médail F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 572. P.
- Quinif Y., 1978. Contribution à l'étude des cavités karstiques du Djurdjura (Algérie). Description morpho-hydrogéologique et cadre évolutif. Int. J. Speleol. 10 (1978), pp. 113 – 155. Université de Mons
- Rabhi K., Akli A., Djouhri A., Yahi N., Boudedja S., Messaoudene M., 2018. Bilan et croissance des reboisements de cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, en Algérie : cas du Djurdjura et de l'Atlas blidéen. Bois et Forêts des Tropiques, 337 : 3-15. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2018.337.a31627>
- Rajoelison L.G., 1997. Etude de la forêt tropicale humide Malagasy : Exemples de la forêt littorale exploitée de Tampolo (*Fenoarivo antsinanana*). Série du Département des Eaux et Forêts n°4, Université d'Antananarivo, Thèse de Doctorat.
- Ramalanjaona M., 2013. Etude de la régénération et de la sénescence de *tamarindus indica* et ses impacts et implications écologiques dans la réserve de bezà mahafaly. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques, Univ d'Antananarivo
- Rameau.J.C., Mansion D., & Dumé G., 2008. Flore forestière française : Guide écologique illustré. Tome3 : Région méditerranéenne. Ministère de l'Agriculture et Institut pour le développement forestier. 2421 P.

- Rasse N., 2012. Le traitement irrégulier appliqué aux peuplements de douglas ou de pins purs et mélangés en Bourgogne. Bilan de la convention 2010 – 2012. CRPF de Bourgogne.
- Rey P., Garrido J.L., Alcantara J.M., & Ramirez J.M., 2002. Spatial variation in ant and rodent post-dispersal predation of vertebrate- dispersed seeds. *Functional Ecology*. 16(6): 773-781. Doi: 10/6/J.1365-2435.00680.x
- Ripert C., & Boisseau B., 1993. Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. *Silva Mediterranea Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas*. Ifran (Maroc) ; 7-11 juin 1993. Pp : 156-164.
- Rollet B., 1969. La régénération naturelle en forêt dense humide sempervirente de plaine de la Guyane vénézuélienne. *Bois et Forêt des Tropiques* 124:19-38.
- Rondeux J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses universitaires de Liège — agronomie – Gembloux.
- Roques C., 1983. Les insectes ravageurs de cônes et graines des conifères en France. Station Zoologique Biocénétique. Forest. INRA. Centre de recherche d'Orléans. Paris:71-73.
- Roussel L., 1953. « Recherches théoriques et pratiques sur la répartition en quantité et en qualité, de la lumière dans le milieu forestier ; influence sur la végétation ». *Revue Forestière Française* 273 : La lumière et la forêt. R.F.F., n° 4. Thèse d'Ingénieur-Docteur. p. 273-290.
- Sevan R., 2018. Modélisation de la dynamique de régénération naturelle dans les peuplements résineux en cours d'irrégularisation. Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée. Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT). URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5100>. <http://lib.uliege.be>. Liège University Library.
- Runckle J. R., 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology* 63: 1533-1546.
- Sabatier S., & Barthelemy D., 1994. Première observation sur l'architecture du cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (ENDL.) Manetti Ex Carrière (Piaceae). *Ann.Rech.For.Maroc*. Vol.2.pp 364-379.
- Salamani M., 1991 : Premières données palynologiques sur l'histoire holocène du massif de l'Akfadou (Grande Kabylie, Algérie (Article). *Revue : Ecologia Méditerranéenne* XVII/PP.145.159.
- Salamani M., 1991 – Premières données paléogéographiques du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région de Kabylie (NE Algérie). *Palynosciences*, 2 : 147-155.
- Sari Dj., 1977. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). SNED. Alger. 63 - 204.

- Sarmoum M., Navarro-Cerrilo R., Guibal F., 2019. Bilan actuel et retrospectif du deperissement du cedre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algerie). Bois et Forets des Tropiques, 342 : 29-40. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.342.a31636>
- Schoenberger A., 1970. Etude de la végétation de l'Aurès oriental. Food an Agricultural Organisation (FAO). Projet Algérie 15.20 p.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe. Université D'Alger. Éd Carbonel. 219 P.
- Sigouin, M.E.K., Jayen S., Gauthier S., & Valeria O., 2011. Diverses fiches (Épinette noire, Pin gris, autres résineux, Peuplier faux-tremble, Bouleau à papier, Feuillus non commerciaux) Dans : Outil d'aide à la décision pour la régénération des forêts brûlées. Chaire industrielle. CRSNG-UQAT-UQÀM en aménagement forestier durable. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. <http://outilreg.uqat.ca/information.php>
- Sirois, L., 1993. Impact of fire on *Picea mariana* and *Pinus banksiana* seedlings in subarctic lichen woodlands. *J. Veg. Sci.* 4:795-802.
- Skeates, D.A., & Haavisto V.F., 1987. Black spruce cone and seed production: Yields from Ontario col lee lions. Oni. Mm.Nai. Resour., Maple. ON. Res. Pap. 119. 28 p.
- Tafer M., Slimani S., Kherchouche D., Bekdouche F., Messaoudène M., 2021. Événements climatiques extrêmes et croissance radiale de *Cedrus atlantica* (Manetti) dans les massifs du Belezma et du Chélia (Algérie). Bois et Forêts des Tropiques, 350 : 43-56. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2021.350.a36298>
- Tihay J.-P., 1972. A propos des pluies catastrophiques de l'automne 1969. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, Alger, t. 63, fasc. 3 et 4, p. 33-48
- Till C., 1985. Recherches dendrochronologiques sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl. carrière) au Maroc. Thè. Doc. Fac des sciences. Uni. Catholique de Louvain. La Neuve. 231 p et annexes.
- Toth J., 1970. Plus que de centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France R.F.F. Vol. XXII, n° 3 pp355-364
- Toth J., 1971 – Notion monographique du cèdre en région méditerranéen. INRF, Avignon.
- Toth j., 1973. La cédraie de la Verne-Ragusse dans le massif des Maures. Revue forestière française, Vol.XXV, n°2 pp. 115- 120.
- Toth J., 1975. Etude de la dissémination des graines et de la régénération naturelle du cèdre au Mont –Ventoux. Dispositif expérimental n° 84-7 protocole d'installation –Avignon, pp-7.

- Toth J., 1978. Contribution à L'études de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. *Thè. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme. Marseille, France.* 136p.
- Toth J., 1980 a. Le Cèdre dans quelque pays du pourtour méditerranéen .Station de recherche forestière, Avignon, 3p.
- Toth J., 1980 b. Le Cèdre II. La graine : Dissémination, extraction, qualité, germination, conservation. La forêt privée n° 131. 78-84.
- Toth J. 1982. Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses : cèdre, pin noir et pin de Salzmann dans le reboisement de Belvézet (Gard). *Forêt Méditerranéenne IV-2* 143-146.
- Toth J., 1984. Quelques éléments nouveaux pour mieux situer et caractériser le cèdre de l'Himalaya en France vis-à-vis du cèdre de l'Atlas et du cèdre du Liban en France méridionale. *INRA. Bull. Soc. Et Sci. Nat. Vaucluse.* Pp : 41-49.
- Toth J., 1987 : Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. *Bull.Soc. et Nat. Vaucluse* pp71-76
- Toth J., 1990. Croissance, sylviculture et production du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) implanté dans une zone naturelle de chêne vert (*Quercus Ilex* L.) en région méditerranéenne française. In: *Actes du Symposium Internationale du Cèdre, Antalya, Turquie,* 963-973.
- Toth J., 2005. Le cèdre de France - Etude approfondie de l'espèce. Ed. L'harmattan. Paris 207p.
- Van Counwenberghe R., 2011. Effets des facteurs environnementaux sur la distribution et l'abondance des espèces végétales forestières aux échelles locales et régionales. *Ecosystèmes. AgroParisTech.*
- Van Leberghe Ph., 2007. Réussir un reboisement en cèdre de l'Atlas. *Forêt – entreprise* n°174, 32-38.
- Vela E., Benhouhou S., 2007. Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *Comptes rendus biologiques,* 330 (8), 589-605.
- Wazen N., & Bruno F., 2015. Geographic distribution of 24 major tree species in the Mediterranean and their genetic resources. Final report Project GCP/GLO/440/FRA. *FAO* 41p
- Yahi N., 1988. Contribution à l'étude des formations à Cèdre (*Cedrus Atlantica*, Manetti) d'Aït Ouabane. *MEM. DES.USTHB. Alger,* 90 p.4

Yahi N., 1995.- *Contribution à l'étude phytosociologique des formations à cèdre, Cedrus atlantica Manetti, de l'Atlas tellien (Ouarsenis, Djurdjura, Babor)*. Thèse de

Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Alger, 174 p.

Yahi N., 2007. Les cédraies d'Algérie : Phytoécologie, phytosociologie, dynamique et conservation des peuplements. Thèse. Doc. Univ. USTHB. 276 P.

Yahi N., Djellouli Y., & De Foucault B., (2008). Diversités floristique et biogéographique des cédraies d'Algérie, *Acta Botanica Gallica*, 155:3, 389-402.

DOI: 10.1080/12538078.2008.10516119. <https://doi.org/10.1080/12538078.2008.10516119>

Yvon R., 1971. Echantillonnage aléatoire stratifié avec distribution conditionnelle des observations.

Zemihi N., 2010. Apport du SIG et de la télédétection à la protection des forêts contre les incendies, cas de Tikjda (Parc national du Djurdjura). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur, école supérieure agronomique El-Harrach-Alger, 50p.

Webographie

Triangle des textures (FAO). Source : www.institut-numeriques.org/432-analyse-et-interpretation-des-resultats (2014). Echelle de Durand.

<https://docplayer.fr/6674451-Largile-et-lamotte-guide-du-sol-ENESAD-unite-informatique-pedagogique-lucie-pasquier.html>

Classement des humus en milieux aérés. <http://ECOSYSTEMS.FR/HUMUS.HTML>

<http://books.google.dz>

<http://www.ecosociosystemes.fr/>

www.Bioforest.ca

<http://spss.espaceweb.usherbrooke.ca/>.

<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/testing-for-normality-using-spss-statistics.php>.

SPSS.espaceweb.usherbrooke.ca/pages/stati-inférentielles-de-variance.

Annexes

ANNEXE1

Liste des espèces recensées dans les placettes d'échantillonnage

Nom de la Placette	Espèces présentes
Amalou Khelifa	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Prunus avium</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Gallium rotundifolium</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Daphne laureola</i>
Thiradhlimes	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Cerasus avium</i>
	<i>Galium rotundifolium</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Lonicera kabylica</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Prunus prostrata</i>
	<i>Géranium robertianum</i>
	<i>Acer obtusatum</i>
	<i>Asplenium adiantum-nigrum</i>
Zgamouz	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Bupleurum spinosum</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Hypochaeris radicata</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Anagallis foemina</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
Chr�ea Teffah	<i>Paeonia officinalis</i>
	<i>Viola lutea</i>
	<i>Prunus prostrata</i>
	<i>Berberis hispanica</i>

	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Rosa semperverens</i>
	<i>Acer obtusatum</i>
	<i>Papaver rhoeas</i>
	<i>Orchis sp</i>
	<i>Avena sterilis</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Crateagus laciniata</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Sorbus area</i>
	<i>Anagallis foemina</i>
	<i>Sinapis arvensis</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
	<i>Silène sp</i>
	<i>Asplenium adiantum nigrum</i>
Assamar Teffah	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Prunus avium</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Gallium rotundifolia</i>
	<i>Pteridium aquilinum</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>
	<i>Prunus prostrata</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Sinapis arvensis</i>
	<i>Viola sp</i>
	<i>Papaver rhoeas</i>
	<i>Lonicera kabylica</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Chenopodium bonus-henricus</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
Thizi Ivaoualène	<i>Genista ulicina</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>

	<i>Silène sp</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Asplenium adiantum nigrum</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Calycotome spinosum</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Galium rotundifolium</i>
	<i>Blackstonia perfoliata</i>
	<i>Pteridium aquilinum</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
Ainseur Guidawènes 1	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Crateagus laciniata</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Geranium Robertianum</i>
	<i>Rosa canina</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Blackstonia perfoliata</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
Ainseur Guidawènes 2	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Blackstonia perfoliata</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Geranium Robertianum</i>
	<i>Asplenium adiantum nigrum</i>
	<i>Colchicum sp</i>
Agouni Bouzid	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Ferula communis</i>
	<i>Chardon sp</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>

	<i>Crateagus monogyna</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Hordeum murinum</i>
	<i>Prunus prostrata</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Genista ulicina</i>
Thabourth Bouanssaf	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Daphne gnidium</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Paronychia argentea</i>
	<i>Thapsia garganica</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Malva sylvestris</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Ferula communis</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Sinapis arvensis</i>
	<i>Trifolium stellatum</i>
	<i>Eryngium tricuspdatum</i>
	<i>Anagallis foemina</i>
Agouni Vouthouvras	<i>Quercus ilex</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Calycotome spinosum</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Genista ulicina</i>
Darna Thazougaght	<i>Sinapis arvensis</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Malva sylvestris</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
	<i>Eryngium tricuspdatum</i>
	<i>Carex distachya</i>
	<i>Ferula communis</i>

	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Biscutella laevigata</i>
Amalou Voutlam	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Thapsia garganica</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
G8-Clôture	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Thapsia garganica</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
G8-Hôtel	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Thapsia garganica</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
Thigounathines	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Daphne gnidium</i>
	<i>Pteridium aquilinum</i>
Thighzerth Réserve	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Pinus nigra</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Daphni gnidium</i>
	<i>Rosa canina</i>

	<i>Cyclamen africanum</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
Thighzerth CAF	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Cotoneaster racemiflora</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Sinapis arvensis</i>
	<i>Bupleurum spinosum</i>
	<i>Daphni gnidium</i>
Thighzerth Toumlilt	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Daphne gnidium</i>
	<i>Viola mumbiana</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
Thaouyalt Erablière	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Acer obtusatum</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Sambucus nigra</i>
	<i>Lonicera kabylica</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Pteridium aquilina</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
	<i>Galium Rotundifolium</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
Tala Lahnak	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Crateagus laciniata</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Galium Totundifolium</i>
Thizi N'Rbet	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>

	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Crateagus laciniata</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Daphne laureola</i>
Thaouyalt Incendié	<i>Pteridium aquilinum</i>
	<i>Duchesnea indica</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Acer obtusatum</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Sedum sp</i>
	<i>Ilex aquifolium</i>
Thighzerth Bas	<i>Juniperus ulicina</i>
	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Galium rotundifolium</i>
	<i>Pinus halepensis</i>
	<i>Bellis sylvestris</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
Thizi Toumlilt	<i>Quercus faginea</i>
	<i>Crateagus laciniata</i>
	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Euphorbia lutea</i>
	<i>Carduus sp</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Eryngium triquetrum</i>
	<i>Daphne laureola</i>
Auberge Sud	<i>Juniperus communis sbsp hemispherica</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Cnicus benedictus</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Euphorbia lutea</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Rosa montana</i>

Auberge Nord	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Euphorbia lutea</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Rosa montana</i>
	<i>Cyclamen africanum</i>
Ighil Inguel 1	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Festuca atlantica</i>
	<i>Cyclamen africanum</i>
	<i>Pteridium aquilina</i>
	<i>Arabette alpina</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Bupleurum balansae</i>
Ighil Inguel 2	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Festuca atlantica</i>
	<i>Arabette alpina</i>
	<i>Galium rotundifolium</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Cyclamen africanum</i>
Ighil Inguel 3	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Arabette alpina</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Festuca atlantica</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Potentilla sterilis</i>
	<i>Bupleurum balansae</i>
	<i>Rubus fruticosus</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
<i>Pteridium aquilina</i>	

Tazrout Tamelalt 1	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Rosa canina</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Acer monspesulanum</i>
	<i>Cotoneaster racemiflora</i>
	<i>Prunus prostrata</i>
	<i>Bupleurum spinosa</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
<i>Centaurea calcitrapa</i>	
Tazrout Tamelalt 2	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Cotoneaster racemiflora</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
Ainseur Oudhafal	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Taxus baccata</i>
	<i>Cytisus triflorus</i>
	<i>Crataegus laciniata</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Asplenium ceterach</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Asplenium adiantum nigrum</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
	<i>Cyclamen africanum</i>
Ikharadhènes 1	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Rosa canina</i>
	<i>Festuca atlantica</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>

Ikharadhènes 2	<i>Quercus rotundifolium</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Rosa canina</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Galium rotundifolium</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Geranium robertianum</i>
<i>Ficaria verna</i>	
Ikharadhènes 3	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Berberis hispanica</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Rubus ulmifolius</i>
	<i>Centaurea calcitrapa</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Asphodelus microcarpus</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Pteridium aquilinum</i>
	<i>Phlomis bovei</i>
	<i>Daphne laureola</i>
	<i>Asplenium ceterach</i>
	<i>Balancaea glaberima</i>
	<i>Matricaria chamomilla</i>
	<i>Festuca atlantica</i>
	<i>Origanum vulgare</i>
	<i>Umbilicus rotundifolium</i>
	<i>Fragaria vesca</i>
	<i>Cylcamen africanum</i>
	<i>Artemisia absinthium</i>
<i>Asplenium adiantum nigrum</i>	
Azrou Amelal	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Bupleurum spinosum</i>

	<i>Bellis sylvestris</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Anagalis arvensis</i>
	<i>Chardon SP</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Eryngium tricuspidatum</i>
Thavrit Izayatènes	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Eryngium tricuspidatum</i>
	<i>Bupleurum spinosum</i>
	<i>Chardon Sp</i>
	<i>Anagalis arvensis</i>
	<i>Calycotome spinosa</i>
	<i>Genista tricuspidata</i>
	<i>Bellis sylvestris</i>
Laazaives	<i>Astragalus armatus</i>
	<i>Rhamnus alaternus</i>
	<i>Bupleurum spinosum</i>
	<i>Gallium rotundifolium</i>
	<i>Cystisus triflorus</i>
	<i>Prunella vulgaris</i>
	<i>Bellis sylvestris</i>
	<i>Asphodelus ramosus</i>
	<i>Hyoseris radiata</i>
	<i>Festuca atlantica</i>

ANNEXE 2

Résultats des traitements pédologiques



Rapport d'analyse de terre

Demandeur :	Prélèvement :	Echantillon :Echt
Nom : Alileche	Prélevé le : 08/05/2014 Par : Alileche	N° : 1-39 (code 562-600)
Fonction : Etudiant doctorant	Désignation : 1-39 Profondeur (cm) : 20	Reçu le : 06/2015
Structure : U.M.M.T.O.	Occupation du sol : Cédraie Rendement (kg/ha) :	Analysé le : 30/09/2015
Adresse : Tizi Ouzou	Wilaya : Bouira-Tizi Ouzou	Laboratoire : Pédologie, INRF
Tel/fax : 0772183982	Lieu dit : Parc National du Djurdjura	Rapport édité le : 7/10/2015
	Coordonnées :	
	Latitude :	Altitude (m) :
	Longitude :	

Echt.	pH	Analyse granulométrique (%)					Txt.	C/N			
		A	Lf	Lg	Sf	Sg		CO	N	MO	C/N
16	7,5	7,05	3,3	29,61	25,4	34,64	LS	12,24	1,12	21,05	10,93
17	7,3	4	20,85	23,81	16,7	34,07	LS	4,28	0,5	7,37	8,56
18	7,9	3,4	5,35	29,31	26,86	34,48	LS	8,26	0,9	14,21	9,18
19	7,1	3,35	7,05	30,55	24,54	34,51	LS	7,65	1,12	13,16	6,83
20	7,6	3,8	4,7	9,15	70,16	12,19	SL	0,92	0,3	1,58	3,07
21	7,8	23,4	10,3	3,82	33,26	29,22	LSA	3,98	0,77	6,84	5,17
22	7,8	7,65	9,95	29,98	26,54	25,88	LS	11,93		20,53	
29	7,4	8,85	12,3	15,38	22,62	40,85	LS	8,57		14,74	
30	7,3	5,8	12,45	24,26	11,61	45,88	LS	2,75		4,73	
31	6,9	6,5	23,4	33,04	22,54	14,52	L	10,71		18,42	
32	7,4	0,05	27,3	20,48	15,57	36,6	LS	8,87		15,26	
33	6,7	0,55	24,45	22,73	18,94	33,33	LS	11,93		20,52	
34	6,5	24,85	17,7	8,44	27,9	21,11	LSA	8,72		15,00	
35	6,9	0,1	4,15	25,14	30,43	40,18	LS	7,5		12,90	
36	7,1	7	12,85	23,47	18,25	38,48	LS	14,08		24,22	
37	6,3	1,5	7,65	26,03	28,5	36,32	LS	11,63		20,00	
38	6,6	0,95	15,7	21,01	27,17	35,07	LS	5,51		9,48	
39	7,07	3,05	3	6,23	75,63	12,09	S	4,9		8,43	
1	7,4	1,65	12,3	21,66	32,67	31,72	LS	11,02		18,95	
2	6,2	5,8	9,85	26,26	18,41	39,68	LS	2,75		4,73	
3	6,6	6,75	2,4	21,22	27,82	41,81	LS	9,79		16,84	
4	6,4	2,35	10,45	22,5	16,75	47,95	LS	4,28		7,36	

5	6,4	9	17,2	27,15	27,38	19,27	L	5,51		9,48	
6	7	6,75	15,25	18,23	18,67	41,1	LS	6,73		11,58	
7	6,5	3,52	15,5	15,08	25,18	40,99	LS	4,59		7,89	
8	7,6	1,05	9,5	17,56	45,19	26,7	SL	2,45		4,21	
9	6,8	2,95	22	23,09	23,09	28	LS	4,59		7,89	
10	6,5	1,4	19,95	15,35	15,35	43,98	LS	14,08		24,22	
11	6,8	2,7	12,5	18,35	20,08	46,37	LS	1,84		3,16	
12	6,5	4,3	10,65	22,93	25,8	36,32	LS	11,02		18,95	
13	7,1	1,5	16	21,37	21,63	39,5	LS	5,81		9,99	
14	7,4	3,6	11,6	3,95	24,77	56,08	SL	1,53		2,63	
15	7	0,65	12,1	34,07	15,9	37,28	LS	4,59		7,89	
23	6,7	2,55	7,2	35,06	26,4	28,79	LS	12,55		21,59	
24	6,8	6,95	2,5	22,71	33,82	34,02	LS	10,4		17,89	
25		0,05	9,95	20,03	38,4	31,57	LS	13,46		23,15	
26		0,45	10,85	21,07	24,4	43,23	LS	14,38		24,73	
27		1,1	4,4	22,02	56,66	15,82	LS	7,34		12,62	
28		1	6,25	32,03	34,49	26,23	LS	10,1		17,37	

ANNEXE 3

Codage des placettes d'échantillonnage

Station	Placette	Abréviation placettes	Placette
Tala Guilef	Thizi Toumlilt	Thizi Tou.	P1(écht.)
	Auberge Sud	Aub.Sud	P2
	Auberge Nord	Aub.Nord	P3
	Ighil Inguel1	Ighil.Ing 1	P4
	Ighil Inguel2	Ighil.Ing 2	P5
	Ighil Inguel3	Ighil.Ing 3	P6
	Tazrout Tamelalt1	Thazr.Ta.1	P7
	Tazrout Tamelalt2	Thazr.Ta.2	P8
	Ainseur Oudhafal	Ains.Oudh	P9
	Ikharadhène1	Ikharadh.1	P10
	Ikharadhène2	Ikharadh.2	P11
	Ikharadhène3	Ikharadh.3	P12
Ait Ouabane	Amalou Khelifa	Amal.Khe.	P13
	Thiradhlimes	Thiradhl.	P14
	Zgamouz	Zgamouz	P15
	Chrèa Teffah	Chrèa.Teff	P16
	Assamar Teffah	Assa.Teff	P17
	Thizi Ivaoualène	Thizi.Iva.	P18
Tikjda	Amalou Voutlam	Amal.Tlam.	P19
	G8-Clôture	G8-Clôtut.	P20
	G8-Hôtel	G8-Hôtel	P21
	Thigounatine	Thigounath.	P22
	Thighzerth Réserve	Thig.Réser.	P23
	Thighzert Chalet CAF	Thigh.CAF	P24
	Thighzert Toumlilt	Thigh.Tou.	P25
	Thaouyalt Erablière	Thaoy.Erabl.	P26
	Tala Lahnak	Tala.Lahna.	P27
	Thizi N'Rbet	Thizi.Rbet.	P28
	Thaouyalt Incendié	Thaoy.Incen.	P29
	Thighzert Bas	Thighz.Bas	P30
Tala Rana	Ainseur Guidawène1	Ains.Guid1	P31
	Ainseur Guidawène 2	Ains.Guid 2	P32
	Agouni Bouzid	Agou.Bouz.	P33
	Thabourth Bouanssaf	Thab.Boun.	P34
	Agouni Vouthouvas	Agou.Vout.	P35

	Darna Thazougaghth	Darna.Thaz.	P36
Tirourda	Azrou Amelal	Azr.Amel.	P37
	Tavrit Izayatène	Thavr.Izaya.	P38
	Laazaive	Laazaives	P39

ANNEXE 4

Catégories de bois/station Tala Rana

Placette	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Ainseur Guidawènes 1	<7.5	39	68,4	68,4
	[7.5-17.5[	1	1,8	70,2
	[17.5-27.5[	6	10,5	80,7
	[27.5-42.5[	1	1,8	82,5
	[42.5-62.5]	4	7,0	89,5
	> 62.5	6	10,5	100,0
	Total	57	100,0	
Ainseur Guidawènes 2	<7.5	35	85,4	85,4
	[7.5-17.5[	0	0,0	
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	2,4	87,8
	[42.5-62.5]	5	12,2	100,0
	> 62.5	0	0,0	
	Total	41	100,0	
	Agouni Bouzid	<7.5	32	61,5
[7.5-17.5[		9	17,3	78,8
[17.5 -27.5[		5	9,6	88,5
[27.5-42.5[		4	7,7	96,2
[42.5-62.5]		1	1,9	98,1
> 62.5		1	1,9	100,0
Total		52	100,0	
Thabourth Bouanssaf	<7.5	30	62,5	62,5
	[7.5-17.5[	7	14,6	77,1
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	0	0,0	
	[42.5-62.5]	0	0,0	
	> 62.5	11	22,9	100,0
	Total	48	100,0	
Agouni	<7.5	39	76,5	76,5

Vouthouvras	[7.5-17.5[	1	2,0	78,4
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	2,0	80,4
	[42.5-62.5]	4	7,8	88,2
	> 62.5	6	11,8	100,0
	Total	51	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Darna Thazougaghth	7.5	11	26,8	26,8
	[7.5-17.5[	16	39,0	65,9
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	7	17,1	82,9
	[42.5-62.5]	5	12,2	95,1
	> 62.5	2	4,9	100,0
	Total	41	100,0	

Catégories de bois/station Ait Ouabane

Placette	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Amalou Khelifa	<7.5	8	38,1	38,1
	[7.5-17.5[	3	14,3	52,4
	[17.5-27.5[	0		
	[27.5-42.5[	2	9,5	61,9
	[42.5-62.5]	5	23,8	85,7
	> 62.5	3	14,3	100,0
	Total	21	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thiradhlimes	<7.5	18	56,3	56,3
	[7.5-17.5[	4	12,5	68,8
	[17.5-27.5[	3	9,4	78,1
	[27.5-42.5[	1	3,1	81,3
	[42.5-62.5]	2	6,3	87,5
	> 62.5	4	12,5	100,0
	Total	32	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Zgamouz	<7.5	33	71,7	71,7
	[7.5-17.5[	2	4,3	76,1
	[17.5-27.5[	1	2,2	78,3
	[27.5-42.5[	4	8,7	87,0
	[42.5-62.5]	4	8,7	95,7
	> 62.5	2	4,3	100,0
	Total	46	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé

Chr�ea Teffah	<7.5	18	45,0	45,0	
	[7.5-17.5[	4	10,0	55,0
	[17.5-27.5[	11	27,5	82,5
	[27.5-42.5[	4	10,0	92,5
	[42.5-62.5]	1	2,5	95,0	
	> 62.5	2	5,0	100,0	
	Total	40	100,0		
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé	
assamar teffah	<7.5	24	52,2	52,2	
	[7.5-17.5[	11	23,9	76,1
	[17.5-27.5[	7	15,2	91,3
	[27.5-42.5[	4	8,7	100,0
	[42.5-62.5]	0	0,0		
	> 62.5	0	0,0		
	Total	46	100,0		
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé	
Tizi Ivaoualènes	7.5	17	37,8	37,8	
	[7.5-17.5[	18	40,0	77,8
	[17.5-27.5[	4	8,9	86,7
	[27.5-42.5[	4	8,9	95,6
	[42.5-62.5]	1	2,2	97,8	
	> 62.5	1	2,2	100,0	
	Total	45	100,0		
		catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<7.5	8	38,1	38,1	
	[7.5-17.5[	3	14,3	52,4
	[17.5-27.5[	0		
	[27.5-42.5[	2	9,5	61,9
	[42.5-62.5]	5	23,8	85,7	
	> 62.5	3	14,3	100,0	
	Total	21	100,0		
		catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<7.5	18	56,3	56,3	
	[7.5-17.5[	4	12,5	68,8
	[17.5-27.5[	3	9,4	78,1
	[27.5-42.5[	1	3,1	81,3
	[42.5-62.5]	2	6,3	87,5	
> 62.5	4	12,5	100,0		
Total	32	100,0			
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé	
<7.5	33	71,7	71,7		
[7.5-17.5[	2	4,3	76,1	
[17.5-27.5[	1	2,2	78,3	

[27.5-42.5[	4	8,7	87,0
[42.5-62.5]	4	8,7	95,7
> 62.5	2	4,3	100,0
Total	46	100,0	
catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<7.5	18	45,0	45,0
[7.5-17.5[	4	10,0	55,0
[17.5-27.5[	11	27,5	82,5
[27.5-42.5[	4	10,0	92,5
[42.5-62.5]	1	2,5	95,0
> 62.5	2	5,0	100,0
Total	40	100,0	
catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<7.5	24	52,2	52,2
[7.5-17.5[	11	23,9	76,1
[17.5-27.5[	7	15,2	91,3
[27.5-42.5[	4	8,7	100,0
[42.5-62.5]	0	0,0	
> 62.5	0	0,0	
Total	46	100,0	
catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
7.5	17	37,8	37,8
[7.5-17.5[	18	40,0	77,8
[17.5-27.5[	4	8,9	86,7
[27.5-42.5[	4	8,9	95,6
[42.5-62.5]	1	2,2	97,8
> 62.5	1	2,2	100,0
Total	45	100,0	

Catégories de bois/station Tikjda

Placette	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Amalou Voutlam	<7.5	38	73,1	73,1
	[7.5-17.5[	2	3,8	76,9
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	1,9	78,8
	[42.5-62.5]	1	1,9	80,8
	> 62.5	10	19,2	100,0
	Total	52	100,0	
G8-Clôture	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<7.5	24	75,0	75,0

	[7.5-17.5[	2	6,3	81,3
	[17.5-27.5[	1	3,1	84,4
	[27.5-42.5[	1	3,1	87,5
	[42.5-62.5]	2	6,3	93,8
	> 62.5	2	6,3	100,0
	Total	32	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
G8-Hôtel	<7.5	37	80,4	80,4
	[7.5-17.5[	2	4,3	84,8
	[17.5 -27.5[	4	8,7	93,5
	[27.5-42.5[	2	4,3	97,8
	[42.5-62.5]	1	2,2	100,0
	> 62.5	0	0,0	
	Total	46	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thigounathines	<7.5	39	83,0	83,0
	[7.5-17.5[	3	6,4	89,4
	[17.5-27.5[	1	2,1	91,5
	[27.5-42.5[	2	4,3	95,7
	[42.5-62.5]	1	2,1	97,9
	> 62.5	1	2,1	100,0
	Total	47	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thighzerth Réserve	<7.5	38	86,4	86,4
	[7.5-17.5[	2	4,5	90,9
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	2,3	93,2
	[42.5-62.5]	2	4,5	97,7
	> 62.5	1	2,3	100,0
	Total	44	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thighzert Chalet CAF	7.5	27	62,8	62,8
	[7.5-17.5[	5	11,6	74,4
	[17.5-27.5[	7	16,3	90,7
	[27.5-42.5[	1	2,3	93,0
	[42.5-62.5]	1	2,3	95,3
	> 62.5	2	4,7	100,0
	Total	43	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thighzerth Toumlilt	<7.5	32	68,1	68,1
	[7.5-17.5[	5	10,6	78,7

	[17.5-27.5[	4	8,5	87,2
	[27.5-42.5[	4	8,5	95,7
	[42.5-62.5]	1	2,1	97,9
	> 62.5	1	2,1	100,0
	Total	47	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thaouyalt Erablière	<7.5	75,0	75,0	75,0
	[7.5-17.5[	8,3	8,3	83,3
	[17.5-27.5[	2,1	2,1	85,4
	[27.5-42.5[	4,2	4,2	89,6
	[42.5-62.5]	8,3	8,3	97,9
	> 62.5	2,1	2,1	100,0
	Total	100,0	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Tala Lahnak	<7.5	33	51,6	51,6
	[7.5-17.5[	19	29,7	81,3
	[17.5 -27.5[	4	6,3	87,5
	[27.5-42.5[	2	3,1	90,6
	[42.5-62.5]	4	6,3	96,9
	> 62.5	2	3,1	100,0
	Total	64	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thizi N'Rbet	<7.5	29	70,7	70,7
	[7.5-17.5[	6	14,6	85,4
	[17.5-27.5[	2	4,9	90,2
	[27.5-42.5[	2	4,9	95,1
	[42.5-62.5]	0	0,0	
	> 62.5	2	4,9	100,0
	Total	41	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thaouyalt Incendié	<7.5	39	78,0	78,0
	[7.5-17.5[	6	12,0	90,0
	[17.5-27.5[	3	6,0	96,0
	[27.5-42.5[	0	0,0	
	[42.5-62.5]	1	2,0	98,0
	> 62.5	1	2,0	100,0
	Total	50	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thighzerth Bas	7.5	36	64,3	64,3
	[7.5-17.5[	5	8,9	73,2
	[17.5-27.5[	3	5,4	78,6
	[27.5-42.5[	4	7,1	85,7

	[42.5-62.5]	6	10,7	96,4
	> 62.5	2	3,6	100,0
	Total	56	100,0	

Catégories de bois/station Tala Guilef

Placette	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thizi Toumlilt	<7.5	31	64,6	64,6
	[7.5-17.5[	8	16,7	81,3
	[17.5-27.5[	1	2,1	83,3
	[27.5-42.5[	6	12,5	95,8
	[42.5-62.5]	0	0,0	
	> 62.5	2	4,2	100,0
	Total	48	100,0	
Auberge Sud	<7.5	36	73,5	73,5
	[7.5-17.5[	2	4,1	77,6
	[17.5-27.5[	7	14,3	91,8
	[27.5-42.5[	2	4,1	95,9
	[42.5-62.5]	2	4,1	100,0
	> 62.5	0	0,0	
	Total	49	100,0	
Auberge Nord	<7.5	36	76,6	76,6
	[7.5-17.5[	1	2,1	78,7
	[17.5-27.5[	6	12,8	91,5
	[27.5-42.5[	0	0,0	
	[42.5-62.5]	4	8,5	100,0
	> 62.5	0	0,0	
	Total	47	100,0	
Ighil Inguell	<7.5	23	48,9	48,9
	[7.5-17.5[	13	27,7	76,6
	[17.5-27.5[	2	4,3	80,9
	[27.5-42.5[	1	2,1	83,0
	[42.5-62.5]	2	4,3	87,2
	> 62.5	6	12,8	100,0
	Total	47	100,0	

	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Ighil Inguel2	<7.5	33	68,8	68,8
	[7.5-17.5[	6	12,5	81,3
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	2	4,2	85,4
	[42.5-62.5]	2	4,2	89,6
	> 62.5	5	10,4	100,0
	Total	48	100,0	
Ighil Inguel3	7.5	24	48,0	48,0
	[7.5-17.5[	15	30,0	78,0
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	2,0	80,0
	[42.5-62.5]	1	2,0	82,0
	> 62.5	9	18,0	100,0
	Total	50	100,0	
Tazrout Tamelalt 1	<7.5	28	71,8	71,8
	[7.5-17.5[	1	2,6	74,4
	[17.5-27.5[	6	15,4	89,7
	[27.5-42.5[	0	0,0	
	[42.5-62.5]	1	2,6	92,3
	> 62.5	3	7,7	100,0
	Total	39	100,0	
Tazrout Tamelalt 2	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<7.5	29	72,5	72,5
	[7.5-17.5[	1	2,5	75,0
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	3	7,5	82,5
	[42.5-62.5]	3	7,5	90,0
	> 62.5	4	10,0	100,0
	Total	40	100,0	
Ainseur Oudhafal	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<7.5	15	38,5	38,5
	[7.5-17.5[	13	33,3	71,8
	[17.5-27.5[	2	5,1	76,9
	[27.5-42.5[	1	2,6	79,5
	[42.5-62.5]	2	5,1	84,6
> 62.5	6	15,4	100,0	

	Total	39	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Ikharadhènes1	<7.5	33	73,3	73,3
	[7.5-17.5[	0	0,0	
	[17.5-27.5[	2	4,4	77,8
	[27.5-42.5[	9	20,0	97,8
	[42.5-62.5]	1	2,2	100,0
	> 62.5	0	0,0	
	Total	45	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Ikharadhènes 2	<7.5	32	61,5	61,5
	[7.5-17.5[	7	13,5	75,0
	[17.5-27.5[	3	5,8	80,8
	[27.5-42.5[	4	7,7	88,5
	[42.5-62.5]	2	3,8	92,3
	> 62.5	4	7,7	100,0
	Total	52	100,0	
	catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Ikharadhènes 3	7.5	36	72,0	72,0
	[7.5-17.5[	2	4,0	76,0
	[17.5-27.5[	0	0,0	
	[27.5-42.5[	1	2,0	78,0
	[42.5-62.5]	5	10,0	88,0
	> 62.5	6	12,0	100,0
	Total	50	100,0	

Catégories de bois/station Tirourda

Placette	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Azrou Amelal	<7.5	20	64,5	64,5
	[7.5-17.5[	3	9,7	74,2
	[17.5-27.5[	4	12,9	87,1
	[27.5-42.5[	0	0,0	
	[42.5-62.5]	3	9,7	96,8
	> 62.5	1	3,2	100,0
	Total	31	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Thavrit	<7.5	19	52,8	52,8

Izayatènes	[7.5-17.5[	6	16,7	69,4
	[17.5-27.5[	6	16,7	86,1
	[27.5-42.5[	2	5,6	91,7
	[42.5-62.5]	2	5,6	97,2
	> 62.5	1	2,8	100,0
	Total	36	100,0	
	Catégorie de bois	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Laazaives	<7.5	37	80,4	80,4
	[7.5-17.5[	2	4,3	84,8
	[17.5 -27.5[	1	2,2	87,0
	[27.5-42.5[	1	2,2	89,1
	[42.5-62.5]	3	6,5	95,7
	> 62.5	2	4,3	100,0
	Total	46	100,0	

Catégories de bois inter-stations

Station	<7.5 cm	[7.5-17.5 cm[	[17.5-27.5 cm[	[27.5-42.5 cm[	[42.5-62.5 cm]	> 62.5 cm
Ait Ouabane	19,67	7,00	4,33	3,17	2,17	2
Tala Rana	31,00	5,67	1,83	2,33	3,17	4,33
Tikjda	34	5,08	2,5	1,83	1,75	2,08
Tala Guilef	29,67	5,75	2,42	1,83	2,08	3,75
Tirourda	25,33	3,67	3,67	1,00	2,67	1,33
Zone d'étude	27,93	5,43	2,95	2,03	2,37	2,70

ANNEXE 5

Catégories de hauteur totale / station Ait Ouabane

Station Ait Ouabane						
Amalou Khelifa	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	0	1	1	8	10
Thiradhlimines	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	3	5	0	10
Zgamouz	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	1	0	4	6	11
Chrèa Teffah	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	9	7	1	0	17
Assamar Teffah	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	5	3	3	0	11
Tizi Ivaoualènes	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	4	4	2	0	10

Catégories de hauteur totale / station Tala Rana

Station Tala Rana						
Ainseur Guidawènes1	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	2	6	2	12
Ainseur Guidawènes 2	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	3	6	0	11
Agouni Bouzid	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	6	4	0	1	11
Thabourth Bouanssaf	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	4	0	3	4	11
Agouni Vouthouvras	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	4	2	4	1	11
Darna Thazougaght	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total

	Fréquences absolues	11	0	1	1	13
--	---------------------	----	---	---	---	----

Catégorie de hauteur/Station Tikjda

Station Tikjda						
Amalou Voutlam	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	0	1	3	8	12
G8-Clôture	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	1	4	2	0	7
G8-Hôtel	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	4	4	1	0	9
Thigounathine	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	0	0	3	3	6
Thighzerth Réserve	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	0	2	2	0	4
Thighzerth Chalet CAF	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	3	0	0	8	11
Thighzerth Toumlilt	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	4	4	1	1	10
Thaouyalt Erablière	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	0	6	0	8
Tala Lahnak	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	5	2	5	0	12
Thizi N'Rbet	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	3	0	0	5
Thaouyalt Incendié	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	0	3	2	0	5
Thighzerth Bas	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	6	1	2	0	9

Catégories de hauteur totale / station Tala Guilef

Station Tala Guilef						
Thizi Toumlilt	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	2	0	0	7	9
Auberge Sud	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	5	3	3	0	11
Auberge Nord	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	1	6	3	0	
Ighil Inguell	Classe Hauteur totale	[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues	3	4	3	1	11

Ighil Inguel2	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		3	4	3	1	11
Ighil Inguel3	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		4	4	2	0	10
Tazrout Tamelalt1	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		2	2	7	0	11
Tazrout Tamelalt2	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		0	5	5	0	10
Ainseur Oudhafal	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		0	3	4	3	10
Ikharadhènes1	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		1	0	0	9	10
Ikharadhènes2	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		0	4	7	1	12
Ikharadhènes3	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		1	3	7	2	13

Catégories de hauteur totale / station Tirourda

Station Tirourda							
Azrou Amelal	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		5	2	0	0	7
Thavrit Izayatènes	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		9	2	0	0	11
Laazaives	Classe Hauteur totale		[7-10[	[10-12[	[12-15]	>15	Total
	Fréquences absolues		6	1	0	0	7

ANNEXE 6

Eclairage relatif du couvert

Placette	Rayon de la placette	Hauteur totale Moyenne	R2	H2	Eclairage relatif Er= R2/R2+H2
Amalou Khelifa	10,05	16,79	101,00	281,90	0,26
Thiradhlime	10,05	11,63	101,00	135,26	0,43
Zgamouz	9,86	15,25	97,22	232,56	0,29
Chr�a Teffah	10,67	9,35	113,85	87,42	0,57
Assamar Teffah	10,35	10,92	107,12	119,25	0,47
Thizi Ivaoualène	10,22	10,2	104,45	104,04	0,50
Ainseur Guidawène 1	10,55	12,87	111,30	165,64	0,40
Ainseur Guidawène 2	9,86	11,8	97,22	139,24	0,41
Agouni Bouzid	10,8	9,91	116,64	98,21	0,54
Thabourth Bouanssaf	9,83	12,38	96,63	153,26	0,39
Agouni Vouthouvras	9,83	11,48	96,63	131,79	0,42
Darna Thazougaghth	9,8	9,17	96,04	84,09	0,53
Amalou Voutlam	10,05	15,47	101,00	239,32	0,30
G8 Clôture	9,83	10,95	96,63	119,90	0,45
G8 Hôtel	9,8	9,16	96,04	83,91	0,53
Thigounathine	10,22	15,7	104,45	246,49	0,30
Thighzerth Réserve	9,83	11,99	96,63	143,76	0,40
Thighzerth CAF	9,83	16,7	96,63	278,89	0,26
Thighzerth Toumlilt	9,92	10,28	98,41	105,68	0,48
Thaouyalt Erablière	10,22	12,26	104,45	150,31	0,41
Tala Lahnak	10,15	10,21	103,02	104,24	0,50
Thizi N'Rbet	9,92	9,68	98,41	93,70	0,51
Thaouyalt Incendié	10,55	11,86	111,30	140,66	0,44
Thighzerth Bas	10,05	8,84	101,00	78,15	0,56
Thizi Toumlilt	10,67	15,8	113,85	249,64	0,31
Auberge Sud	10,55	10,41	111,30	108,37	0,51
Auberge Nord	10,67	11,41	113,85	130,19	0,47
Ighil Inguel 1	10,92	11,6	119,25	134,56	0,47
Ighil Inguel 2	10,35	10,21	107,12	104,24	0,51
Ighil Inguel 3	9,8	11,89	96,04	141,37	0,40
Thazrout Tamellat 1	10,35	12,23	107,12	149,57	0,42
Thazrout Tamellat 2	10,35	13,75	107,12	189,06	0,36
Ainseur Oudhafal	9,86	16,1	97,22	259,21	0,27
Ikharadhène 1	9,92	13,24	98,41	175,30	0,36
Ikharadhène 2	9,86	12,66	97,22	160,28	0,38
Ikharadhène 3	10,22	16,08	104,45	258,57	0,29

Azrou Amelal	10,35	8,16	107,12	66,59	0,62
Tavrit Izayatènes	10,8	7,78	116,64	60,53	0,66
Laazaive	10,8	8,04	116,64	64,64	0,64

ANNEXE 7

Taux de régénération du peuplement

Placette d'échantillonnage	Nombre de semis	Effectif Total	Taux de régén. / Peuplt.	Taux de régénération /Station	Taux de régénération du pplt.
Amalou Khelifa	8	21	38,10	51,15	63,63
Thiradhlimine	18	32	56,25		
Zgamouz	33	46	71,74		
Chrèa Teffah	18	40	45,00		
Assamar Teffah	24	45	53,33		
Tizi Ivaoualène	17	40	42,50		
Ainseur Guidawène 1	39	51	76,47	63,43	
Ainseur Guidawène 2	35	46	76,09		
Agouni Bouzid	32	52	61,54		
Thabourth Bouanssaf	30	48	62,50		
Agouni Vouthouvas	39	51	76,47		
Darna Thazougaghth	11	40	27,50		
Amalou Voutlam	38	52	73,08	73,07	
G 8- Clôture	24	32	75,00		
G 8- Hôtel	39	48	81,25		
Thigounathine	39	47	82,98		
Thighzerth Réserve	38	44	86,36		
Thighzerth CAF	27	43	62,79		
Thighzerth Toumlilt	32	47	68,09		
Thaouyalt Erablière	36	48	75,00		
Tala Lahnak	33	64	51,56		
Tizi N'Rbet	29	41	70,73		
Thaouyalt Incendié	39	50	78,00		
Tighzerth Bas	36	50	72,00		
Tizi Toumlilt	31	48	64,58	64,61	
Auberge Sud	36	49	73,47		
Auberge Nord	37	48	77,08		
Ighil Inguel 1	25	49	51,02		
Ighil Inguel 2	35	50	70,00		
Ighil Inguel 3	24	50	48,00		

Thazrout Tamellat 1	29	40	72,50	
Thazrout Tamellat 2	29	40	72,50	
Ainseur Oudhafal	15	40	37,50	
Ikharadhène 1	34	46	73,91	
Ikharadhène 2	32	51	62,75	
Ikharadhène 3	36	50	72,00	
Azrou Amelal	20	31	64,52	65,91
Tavrit Izayatènes	19	36	52,78	
Laazaive	37	46	80,43	