

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة زيان عاشور*الجلية*

Université Ziane Achour

DJELFA

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département d'Agro-pastoralisme

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de

Magister en Ecologie forestière

Option : Ecologie forestière

Présenté par : Taleb Mohamed lamine

Thème :

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA DENSITÉ SUR

LE DÉPÉRISSEMENT DU CÈDRE DE L'ATLAS (*Cedrus*

***atlantica* Manetti) DANS LE PARC NATIONAL**

DE THENIET EL HAD (W. TISSEMSILT)

Soutenu devant le jury composé de :

Président : Mr DELLAL A.E.K..... Prof. Université de Tiaret

Encadreur : Mr AZOUZI Blel M.C. Université de Djelfa

Co-encadreur : Mr ZEDEK Mohamed M.A. Université de Tiaret

Examinatrice : Mme BELHADJ Safia..... M.C. Université de Djelfa

Examinatrice : Mme BRAGUE Nadia..... M. Rech. INRF de Djelfa

Résumé :

La présente étude a pour objet de rechercher d'éventuelles causalités du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had. Il s'agit de mettre en évidence les taux de dépérissement enregistrés sur la base des densités et de la répartition des tiges. L'étude est réalisée à travers trente (30) placettes concentriques de 2, 4, 5 et 10 ares en plus de celles rectangulaires de 2 ares dans le versant nord de la cédraie. Des prélèvements pédologiques à des fins d'analyses physico-chimiques ont été effectués dans chacune des placettes d'étude. Des mesures dendrométriques y sont réalisées sur l'ensemble des tiges des placettes de 2, 4, 5 et 10 ares. Il en ressort que la densité est un facteur prédisposant, du fait d'un espace vital compromettant.

La répartition spatiale des tiges étant chaotique, les cimes présentent une détérioration influencée par l'enchevêtrement des houppiers. On enregistre dans plus de 76% de placettes un chevauchement des surfaces maximales des houppiers supérieur à 90%. L'indice de compétition interindividuelle de Schütz montre que la compétition entre les tiges de cèdre est importante. L'adaptation d'un plan de gestion engendrant à la fois la gestion du dépérissement à court et long terme ainsi que l'aménagement de la répartition spatiale des tiges et la régulation de distribution des densités sera d'une opportunité fondamentale pour la vigueur et la vitalité des cèdres.

Mots clés : Cèdre de l'Atlas, dépérissement, densité, répartition des tiges, Theniet El Had.

Remerciements

Avant de présenter ce modeste travail, je tiens à remercier mon Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la volonté, la force et la patience pour terminer ce travail.

*Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude et toute ma reconnaissance à monsieur **AZOUZI Blél** mon encadreur et à Monsieur **ZEDEK Mohamed** mon co-encadreur que je respecte énormément, je les remercie du fond du cœur pour leurs aides et leurs précieux conseils. Ces surtout grâce à eux que je suis parvenue à réaliser ce travail.*

*Que Mr **DELLAL A.E.K**, trouve ici l'expression de mon profond respect pour m'avoir honoré de présider le jury.*

*Que Mme **BELHADJ Safia** et Mme **BRAGUE Nadia**, qui ont bien voulu examiner de près ce travail, trouvent ici mes plus vifs remerciements.*

*Mes sincères remerciements à Mr **TALEB Abderrahmane**, Conservateur des forêts de Tissemsilt, pour m'avoir autorisé à suivre mes études au sein et en dehors de la conservation des forêts.*

*Je ne saurais oublier Mr **TALEB Abd el hadi**, **SAHLI A.E.K.**, **AHMED Abderrahim**, **FADHAL Khalil** et **ZITOUNI Ahlem** pour l'aides qui m'a été très utiles sur terrain et au laboratoire.*

Que tout le personnel du parc soit vivement remercié.

Que toute les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin soient rassurées qu'aucune d'elles n'est oubliée.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

**Ma très chère et précieuse mère*

**Mon très cher père*

**Mes frères*

**Ma femme*

Sommaire

| | |
|-----------------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|-----------------------------|---|

PREMIÈRE PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1

| | |
|--|----------|
| 1. Caractères généraux du <i>Cedrus atlantica</i> | 3 |
| 1.1. Taxonomie et caractères botaniques | 4 |
| 1.1.1. Taxonomie..... | 4 |
| 1.1.2. Caractères botaniques..... | 5 |
| 1.1.2.1. Feuilles | 5 |
| 1.1.2.2. Port | 5 |
| 1.1.2.3. Ecorce..... | 5 |
| 1.1.2.4. Inflorescence | 5 |
| 1.1.2.5. Fructification | 6 |
| 1.1.2.6. Graines | 6 |
| 1.1.2.7. Racines | 6 |
| 1.1.2.8. Reproduction | 7 |
| 1.2. Caractères écologiques..... | 7 |
| 1.2.1. Climat..... | 7 |
| 1.2.2. Sol..... | 7 |
| 1.2.3. Altitude..... | 8 |
| 1.3. Aire de répartition | 8 |

Chapitre 2

| | |
|--|-----------|
| 2. Dépérissement des arbres forestiers..... | 11 |
| 2.1. Définition | 11 |
| 2.2. Facteurs de dépérissement..... | 13 |
| 2.3. Symptômes de dépérissement | 15 |
| 2.4. Gestion du dépérissement..... | 16 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1. Actions à court terme | 17 |
| 2.4.2. Actions à long terme | 17 |
| 2.5. Conséquences du dépérissement des forêts..... | 17 |
| 2.6. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie..... | 19 |

DEUXIÈME PARTIE : ETUDE EXPÉRIMENTALE

Chapitre 3

| | |
|--|-----------|
| 3. Présentation de la zone d'étude | 21 |
| 3.1. Historique | 21 |
| 3.2. Cadre physique | 21 |
| 3.2.1. Situation géographique..... | 21 |
| 3.2.2. Limites géographiques et superficie..... | 22 |
| 3.2.3. Aspect topographique..... | 25 |
| 3.2.4. Aspect géologique | 25 |
| 3.2.5. Aspect pédologique | 25 |
| 3.2.6. Réseau hydrique | 25 |
| 3.3. Données climatiques | 27 |
| 3.3.1. Températures | 27 |
| 3.3.2. Précipitations | 27 |
| 3.3.3. Neige | 29 |
| 3.3.4. Gelées | 29 |
| 3.3.5. Vent | 29 |
| 3.3.6. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN | 30 |
| 3.3.7. Quotient pluviométrique d'Emberger | 31 |
| 3.4. Biodiversité | 32 |
| 3.4.1. Flore | 32 |
| 3.4.2. Faune | 32 |
| 3.5. Contraintes et délits..... | 33 |
| 3.6. Régénération..... | 33 |
| 3.7. Dépérissement | 33 |

Chapitre 4

| | |
|--|-----------|
| 4. Matériel et méthode | 34 |
| 4.1. Principe et objectif | 34 |
| 4.2. Méthodologie d'étude | 34 |
| 4.2.1. Mise en place du dispositif expérimental | 34 |
| 4.2.1.1. Installation des placettes | 34 |
| 4.2.1.2. Délimitation des placettes | 37 |
| 4.2.1.3. Récolte des données | 39 |
| 4.2.1.3.1. Récolte des données dans les placettes circulaires | 39 |
| 4.2.1.3.2. Récolte des données dans les placettes rectangulaires | 39 |

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 5

| | |
|---|-----------|
| 5. Structure et analyse du dépérissement du cèdre de l'Atlas | 42 |
| 5.1. Structure des peuplements échantillonnés | 42 |
| 5.1.1. Caractéristiques dendrométriques | 43 |
| 5.1.1.1. Chêne vert | 43 |
| 5.1.1.2. Chêne zeen | 43 |
| 5.1.1.3. Chêne liège | 43 |
| 5.1.1.4. Genévrier oxycèdre | 43 |
| 5.1.1.5. Cèdre de l'Atlas | 43 |
| 5.1.1.5.1. Circonférence moyenne 1.30m | 46 |
| 5.1.1.5.2. Hauteur totale moyenne | 47 |
| 5.1.1.5.3. Hauteur dominante | 47 |
| 5.1.1.5.4. Circonférence dominante | 48 |
| 5.1.1.5.5. Surface terrière totale | 49 |
| 5.1.1.5.6. Densité totale | 50 |
| 5.1.1.5.7. Longueur du houppier et du fût | 51 |
| 5.1.1.5.8. Estimation du volume | 53 |
| 5.1.1.5.8.1. Estimation du volume sur pied | 53 |
| 5.1.1.5.8.2. Estimation du volume prélevé | 54 |
| 5.1.1.5.8.3. Estimation du volume total | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1.1.5.9. Synthèse des variables dendrométriques des peuplements de cèdre..... | 56 |
| 5.1.2. Caractéristiques descriptives des peuplements de cèdre | 57 |
| 5.1.2.1. Forme de tiges | 57 |
| 5.1.2.2. Maladies du feuillage | 58 |
| 5.1.2.3. Etat sanitaire du houppier..... | 59 |
| 5.1.2.4. Production des cônes | 59 |
| 5.2. Analyse du dépérissement..... | 61 |
| 5.2.1. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques topographiques..... | 61 |
| 5.2.1.1. Mise en évidence du dépérissement à travers les microreliefs..... | 61 |
| 5.2.1.2. Mise en évidence du dépérissement à travers l'étagement altitudinal | 62 |
| 5.2.1.3. Mise en évidence du dépérissement à travers la pente du terrain | 63 |
| 5.2.1.4. Mise en évidence du dépérissement à travers les expositions..... | 65 |
| 5.2.2. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques physico-chimiques du sol | 66 |
| 5.2.3. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques dendrométriques | 69 |
| 5.2.3.1. Relation entre le taux de dépérissement et la surface terrière totale | 69 |
| 5.2.3.2. Relation entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante | 71 |
| 5.2.3.3. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence dominante | 72 |
| 5.2.3.4. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne..... | 73 |
| 5.2.4. Relation entre le dépérissement et la fertilité stationnelle..... | 74 |
| 5.2.5. Relation entre le dépérissement et la densité totale..... | 75 |
| 5.2.5.1. Relation entre le dépérissement et la grandeur des superficies des unités d'échantillonnage..... | 77 |
| 5.2.5.2. Mise en évidence du dépérissement à travers la densité totale | 78 |
| 5.2.5.3. Etude de la compétition des tiges | 84 |
| 5.2.5.3.1. Répartition des tiges | 84 |
| 5.2.5.3.2. Compétition des houppiers..... | 88 |
| 5.2.5.3.3. Indice de compétition interindividuelle de SCHÜTZ | 94 |
| Conclusion générale | 99 |

Références bibliographiques

Annexe

Liste des abréviations

| | |
|-------------------------|--|
| % | Pourcentage |
| ° | Degré |
| °C | Degré Celsius |
| C_{1.30} | Circonférence à 1.30m |
| C₂₀ | Circonférence à 20cm |
| cm | Centimètre |
| d | Diamètre à 1.30m |
| D | Distance entre les deux voyants de la mire en terrain horizontal |
| D.G.F | Direction Générale des Forêts |
| D' | Distance entre les deux voyants de la mire en terrain incliné |
| DEP | Taux de dépérissement |
| d_{ho} | Diamètre du houppier |
| E_{v,c} | Distance entre les extrémités de l'arbre voisin et central |
| ha | Hectare |
| H_c | Hauteur de l'arbre central |
| H_t | Hauteur totale |
| H_v | Hauteur de l'arbre voisin |
| L | Largeur du rectangle en terrain horizontal |
| L' | Largeur du rectangle en terrain incliné |
| M | Température maximale du mois le plus chaud (en degrés Kelvin) |
| m | Température minimale du mois le plus froid (en degrés Kelvin) |
| Max. | Maximum |
| MCA | Surface maximale du houppier |
| Min. | Minimum |
| Moy. | Moyenne |
| NT | Nombre de tiges |
| P | Précipitation annuelle (mm) |
| P.N.T.E.H | Parc National de Theniet El Had |
| Q₂ | Quotient pluviométrique d'Emberger |
| r | Rayons du houppier |
| R² | Coefficient de détermination |
| r_c | Rayon de l'arbre central |

| | |
|-----------------------------|--|
| r_v | Rayon de l'arbre voisin |
| S | Surface du cercle à installer sur le terrain |
| Sr^2 | Variance résiduelle |
| T | Température |
| V_p | Volume bois prélevé |
| V_{sp} | Volume du bois sur pied |
| V_{tot} | Volume bois total |
| α | Pente de terrain en degrés |

Liste des figures

| | |
|------------------|---|
| Fig. 1.1 | Localisation du cèdre de l'Atlas (<i>Cedrus atlantica</i> Manetti) en Algérie. |
| Fig. 2.1 | Modèle de dépérissement des arbres. |
| Fig. 2.2 | La spirale du déclin (mécanisme de dépérissement). |
| Fig. 2.3 | Lieu où sévit un dépérissement accru lié au climat. |
| Fig. 2.4 | Processus de dépérissement du cèdre de l'Atlas. |
| Fig. 3.1 | Situation du Parc National de Theniet El Had. |
| Fig. 3.2 | Cantons du Parc National de Theniet El Had. |
| Fig. 3.3 | Répartition des types de sol dans le Parc National. |
| Fig. 3.4 | Variation des précipitations annuelles « Station de Theniet el had ». |
| Fig. 3.5 | Variation des précipitations mensuelles « Station de Theniet el had ». |
| Fig. 3.6 | Diagramme ombrothérmique de Bagnouls et Gausson relatif à la zone d'étude. |
| Fig. 3.7 | Climagramme d'Emberger « la zone d'étude ». |
| Fig. 4.1 | Répartition des 30 placettes d'étude. |
| Fig. 4.2 | Modèle de répartition des unités d'échantillonnage de la placette circulaire. |
| Fig. 4.3 | Modèle d'installation de la placette rectangulaire. |
| Fig. 4.4 | Modélisation de la répartition des tiges dans la placette rectangulaire. |
| Fig. 4.5 | Mesure des rayons de la cime. |
| Fig. 5.1 | Hauteurs totales moyennes des espèces inventoriées. |
| Fig. 5.2 | Circonférences moyennes à 1.30m des espèces inventoriées. |
| Fig. 5.3 | Fréquences relatives des surfaces terrières totales des espèces inventoriées. |
| Fig. 5.4 | Fréquences relatives des densités totales des espèces inventoriées. |
| Fig. 5.5 | Fréquences relatives des classes de Circonférence moyenne à 1.30m. |
| Fig. 5.6 | Fréquences relatives des classes de Hauteur totale moyenne. |
| Fig. 5.7 | Fréquences relatives des classes de Hauteur dominante. |
| Fig. 5.8 | Fréquences relatives des classes de Circonférence dominante. |
| Fig. 5.9 | Fréquences relatives des classes de Surface terrière totale à travers les unités d'échantillonnage. |
| Fig. 5.10 | Fréquences relatives des classes de densité totale du cèdre à travers les unités d'échantillonnage. |
| Fig. 5.11 | Fréquences relatives des classes de longueur du houppier des tiges de cèdre recensées. |
| Fig. 5.12 | Fréquences relatives des classes de longueur du fût des tiges de cèdre recensées. |
| Fig. 5.13 | Fréquences relatives des classes du volume bois sur pied. |
| Fig. 5.14 | Fréquences relatives des classes du Volume bois prélevé. |
| Fig. 5.15 | Fréquences relatives des classes du Volume total. |
| Fig. 5.16 | Distribution en fréquence relative des formes des tiges recensées. |

| | |
|------------------|--|
| Fig. 5.17 | Distribution en fréquences relatives de l'état de santé du feuillage des peuplements de cèdres recensés. |
| Fig. 5.18 | Distribution en fréquence relative des classes des dégâts du houppier des peuplements de cèdres recensés. |
| Fig. 5.19 | Distribution en fréquence relative des catégories de production des cônes des peuplements de cèdres recensés. |
| Fig. 5.20 | Taux de dépérissement à travers les microreliefs recensés. |
| Fig. 5.21 | Taux de dépérissement à travers l'étagement altitudinal. |
| Fig. 5.22 | Taux de dépérissement à travers les classes de pente. |
| Fig. 5.23 | Taux de dépérissement à travers les expositions. |
| Fig. 5.24 | Taux de dépérissement et stratification des propriétés physico-chimiques du sol enregistrées à travers les unités d'échantillonnage. |
| Fig. 5.25 | Taux de dépérissement à travers les classes de surface terrière totale. |
| Fig. 5.26 | Taux de dépérissement à travers les classes de hauteur dominante du cèdre. |
| Fig. 5.27 | Taux de dépérissement à travers les classes de circonférence dominante du cèdre. |
| Fig. 5.28 | Taux de dépérissement à travers les classes de circonférence moyenne du cèdre. |
| Fig. 5.29 | Taux de dépérissement à travers les classes de fertilité. |
| Fig. 5.30 | Expressions numériques de densité à partir du degré de fermeture des houppiers. |
| Fig. 5.31 | Taux de dépérissement à travers les superficies des unités d'échantillonnage. |
| Fig. 5.32 | Taux de dépérissement à travers la densité totale pour les placettes de 10 ares. |
| Fig. 5.33 | Taux de dépérissement à travers la densité totale pour les placettes de 05 ares. |
| Fig. 5.34 | Taux de dépérissement à travers la densité totale pour les placettes de 04 ares. |
| Fig. 5.35 | Taux de dépérissement à travers la densité totale pour les placettes de 02 ares. |
| Fig. 5.36 | Répartition des placettes à travers les taux de dépérissement et les densités enregistrées |
| Fig. 5.37 | Etat de sociabilité des tiges à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares. |
| Fig. 5.38 | Relation entre le diamètre du houppier et le diamètre à 1.30m du cèdre. |
| Fig. 5.39 | Zone de chevauchement de deux surfaces maximales de houppiers (MCA). |
| Fig. 5.40 | Etat de recouvrement de la surface maximale des houppiers à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares. |
| Fig. 5.41 | Indice de compétition de Schütz. |
| Fig. 5.42 | Relation entre le taux de dépérissement et le nombre de tiges centrales. |

Liste des tableaux

| | |
|---------------------|--|
| Tableau 5.1 | Caractéristiques dendrométriques des espèces inventoriées. |
| Tableau 5.2 | Caractéristiques statistiques de la Surface terrière totale à travers les superficies des unités d'échantillonnage. |
| Tableau 5.3 | Caractéristiques statistiques de la densité totale du cèdre à travers les unités d'échantillonnage. |
| Tableau 5.4 | Caractéristiques dendrométriques des peuplements de cèdre inventoriés à travers les différentes superficies des unités d'échantillonnage. |
| Tableau 5.5 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les microreliefs. |
| Tableau 5.6 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'altitude. |
| Tableau 5.7 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la pente du terrain. |
| Tableau 5.8 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'exposition. |
| Tableau 5.9 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les caractéristiques physico-chimiques du sol. |
| Tableau 5.10 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la surface terrière totale. |
| Tableau 5.11 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante. |
| Tableau 5.12 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la circonférence dominante. |
| Tableau 5.13 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne. |
| Tableau 5.14 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les classes de fertilité. |
| Tableau 5.15 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les superficies des unités d'échantillonnage. |
| Tableau 5.16 | Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la densité totale dans les placettes de 10, 5, 4 et 2 ares. |
| Tableau 5.17 | Résultats de l'étude de la compétition entre les arbres dépéris et les arbres voisins à l'aide de l'indice de Schütz pour les 30 placettes d'études. |

INTRODUCTION

INTRODUCTION

De part ses qualités bioécologiques et bioéconomiques qui lui valurent une importance universelle et une intention particulière, le cèdre de l'Atlas, autrefois symbole de l'immortalité, occupe par excellence les montagnes nord africaines soit celles de l'Algérie et du Maroc (**Quezel, 1999**).

En Algérie, les cédraies sont dans l'ensemble érigées en parcs nationaux. Cette situation dénote de l'importance politique dont bénéficie le cèdre de l'Atlas si l'on se réfère à l'ensemble des essences forestières recensées en Algérie.

Toutefois, cette considération hautement significative demeure anéantie par une ampleur pathologique, qui, elle, soumet le cèdre de l'Atlas à une disparition si aucune opération n'est prise de manière appropriée : il s'agit du dépérissement (**Corvol-dessert, 2002**).

Le dépérissement, ce fléau affectant les cédraies algériennes depuis l'année 1984, en dépit des recherches envisagées, demeure encore d'origines incertaines et qu'aucune d'elles n'est confirmée : changements climatiques, attaques d'insectes et de champignons, absence d'opérations sylvicoles appropriées autant de facteurs soulevés mais non encore confirmés.

Derak et al. (2008) soulève que le facteur prédisposant du dépérissement du cèdre à Sidi M'guild au Maroc est à l'origine d'une compétition suite à une surdensité de tiges sur pied. L'influence de la densité sur les qualités dendrométriques et l'état sanitaire des arbres est de plus une problématique soulevée par plusieurs chercheurs.

Ainsi, on s'intéresse par le biais de cette étude au dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had. Cette cédraie revêt une importance particulière dans la mesure où elle fut le premier parc national créé en 1923, soit pendant la période coloniale, et reproclameé encore parc national en 1983, soit après l'indépendance.

Lors de cette étude, l'éventuelle relation entre le dépérissement du cèdre et la densité est celle à laquelle sera soumise le protocole expérimental et les analyses inhérentes à de telle hypothèse. Comme la régénération est naturelle et en l'absence d'opérations d'aménagement sylvicoles, cette situation, permettra de révéler de manière objective et rationnelle l'éventuelle relation entre le dépérissement du cèdre et l'intensité compétitive des tiges pour l'espace vital.

Dès lors, l'objectif de cette étude consiste à mettre en évidence l'influence de la densité et l'état de sociabilité des tiges comme étant un facteur prédisposant dans le processus de dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had.

De prime abord, les caractéristiques générales propres au cèdre de l'Atlas et une identification des principales problématiques relatives au dépérissement des arbres forestiers feront l'objet des deux premiers chapitres. Un troisième chapitre permettra une présentation identificatrice de la zone d'étude. Sur la base de cette étude préliminaire, le protocole expérimental à envisager et les données à récolter feront l'objet du quatrième chapitre. En définitive, les données récoltées feront l'objet d'analyse et d'interprétations exhaustives à travers le cinquième chapitre.

Par le biais de cette étude, on envisage de mieux pouvoir asseoir davantage une banque de données fiables au chercheur et de permettre au service forestier des approches objectives en vue de décisions pratiques appropriées.

PREMIERE PARTIE

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

Caractères généraux du

Cedrus atlantica

1. Caractères généraux du *Cedrus atlantica* :

De part son port majestueux et de sa splendeur d'authenticité, **Macquart (1852)** témoigne d'un ton révélateur que « le cèdre, ce roi des végétaux, cet emblème de la puissance, se rattache à **Salomon**, au temple de **Jérusalem**, à l'**Arche d'alliance**, au palais de **Persépolis**, d'**Ephèse** ; il jouit d'une célébrité à l'abri, comme son bois, de toute altération. Réunissant au plus haut degré les formes, l'élévation, l'ampleur, la longévité, il domine tout le règne végétal. ».

Vénééré depuis la plus haute antiquité, sa seule évocation conduit à un imaginaire mythique (**M'hirit et Benzyane, 2006**). Il est le symbole de majesté et de force en raison de sa longévité, sa vigueur, son odeur, sa durabilité naturelle et essentiellement pour son utilisation (**Boudy, 1950**).

A travers les siècles, le cèdre a joué un rôle important dans le développement de la culture et du commerce. Les phéniciens l'utilisèrent pour la construction de leurs flottes et les Ephésiens pour ériger le temple d'Artémis, l'une des sept merveilles du monde (**Alfred-Maury, 1857 ; Prieur, 1989**).

Le bois de cèdre constitue aussi une part importante de la superbe charpente du temple des hébreux (**Chateaubriand, 1862**).

Les Egyptiens antiques utilisèrent la résine du cèdre dans la momification (**Pijut, 2000**). Selon une légende égyptienne le bruissement des feuilles sous le vent dans les forêts de cèdre n'était autre que la plaine d'Osiris dont le corps était enfermé dans un cercueil confectionné en bois de cèdre. Ainsi, cet arbre symbolisait l'immortalité et l'incorruptibilité (**Toth, 1990 in Beghami, 2010 ; M'hirit et Benzyane, 2006**).

Les artisans du bois d'Egypte réalisaient des cercueils en bois de cèdre, dont la forte odeur résineuse avait la réputation d'adoucir le corps et de chasser les insectes (**Jacques et al., 1847 ; Seigue, 1985 ; Chaney, 1993 in Rahmani 2003**).

Les indiens utilisaient le bois de cèdre pour fabriquer l'encens. Ils en remplissaient leurs pipes et rejetaient la fumée odorante.

Dans certaines religions, il est considéré comme l'arbre du jardin d'Eden dont une branche aurait été *le bâton de Moïse* (**Chalchat et al., 1994 in Rahmani, 2003**).

Ainsi, les arabes l'ont employé largement dans la décoration et les panneaux muraux (**Seigue, 1985**).

D'après **Guassen in Derridj (1990)**, le genre *Cedrus* est le plus ancien après celui de *Pinus* ; Son apparition relève du tertiaire où il occupait une étendue allant de l'*Himalaya* à l'*Atlas marocain*. Des études paléobotaniques font ressortir des fossiles relevant du crétacé et du jurassique de Belgique, du nord de la France, du Havre et de Haute Marne dont le nom reflète

celui du genre *Cedrus* essentiellement : *Cedrostrobus caneti*, *Protocedroxylon araucazioides*, *Cedrus lennieri*, *Cedroxylon reticulatum*, *Cedroxylon barremianum*, *Cedrus manehuldense* et *Cedrus oblonga*. (Pontoppidan, 1997 ; M'hirit et Benzyane, 2006).

1.1. Taxonomie et caractères botaniques :

1.1.1. Taxonomie :

La valeur taxonomique du genre *Cedrus* a été longtemps intégrée dans une seule espèce, soit celle de *Cedrus libanotica* Link (M'hirit et Benzyane, 2006). Cependant, quatre espèces bien distinctes, de diverses répartitions biogéographiques, sont mentionnées dans la littérature (Arbez et al., 1978 ; Arbez, 1987 ; Quezel et Medail, 2003) :

- ✓ Cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti : Afrique du Nord (Algérie et Maroc) ;
- ✓ Cèdre du Liban..... *Cedrus libani* Barrel : Turquie, Syrie et Liban ;
- ✓ Cèdre de Chypre *Cedrus brevifolia* Henri : Ile du Chypre ;
- ✓ Cèdre de l'Himalaya..... *Cedrus deodara* Loudon : Afghanistan, Népal, Indu-Kush et à l'Ouest de l'Himalaya,

Ces quatre espèces s'identifient à travers la taxonomie suivante :

- **.- Embranchement **Spermatophyta**
- **.- Sous-Embranchement..... **Gymnosperma**
- **.- Classe..... **Coniferopsida**
- **.- Ordre..... **Coniferales**
- **.- Groupe **Conifères**
- **.- Famille..... **Pinacées ou Abiétacées**
- **.- Sous-Famille..... **Laricoïdées**
- **.- Genre ***Cedrus***

Le cèdre de l'Atlas, espèce faisant l'objet d'étude, est identifié communément par **Cèdre de l'Atlas** (nom vernaculaire), **Arez ou Meddad** (nom arabe) et **Begnoune ou Idguel** (nom berbère).

Selon Rameau et al. (2008), *Cedrus atlantica* est un nom d'origine gréco-latin dont la signification est la suivante :

- ✓ *Cedrus* du grec **Kedros** : veut dire **Arbre** ;
- ✓ *atlantica* du latin **atlanticus** : veut dire des **régions atlantiques (Atlas marocain)**.

Quoique cette position taxonomique du cèdre de l'Atlas, celui-ci est tantôt considéré comme espèce, tantôt considéré comme une variété de *Cedrus libani*, vue la grande ressemblance des caractères utilisés habituellement pour la distinction entre les espèces (Pijut, 2000 ; Toth, 2005).

1.1.2. Caractères botaniques :

Le cèdre de l'Atlas est un arbre résineux caractérisé par une croissance rapide à l'état jeune (Pijut, 2000) et une longévité dépassant les sept siècles (Boudy, 1950).

1.1.2.1. Feuilles :

Se sont des aiguilles persistantes de 1 à 3cm de longueur et de 1 à 1,3mm de largeur. De couleur verte ou glauque, leur durée de vie est de trois ans. Elles sont rassemblées en rosettes portées sur des rameaux courts (mésoblastes) et sur d'autres rameaux de taille moyenne (auxiblastes) sur lesquels elles sont en spirales (Pontoppidan, 1997 ; Toth, 2005 ; Godet, 2007).

1.1.2.2. Port :

Port pyramidal au jeune âge, il est de forme tabulaire à l'âge adulte (Boudy, 1952 ; Riou-nivert, 2001 ; Losange, 2008). Le tronc est souvent monopodial orthotrope (Rameau et al., 1994, 2005, 2008 ; Sabatier et Barthelemy, 1994 ; Riou-nivert, 2001). Le port, rectiligne, peut atteindre 40m voire 60m de hauteur totale et 3m de diamètre à hauteur d'homme voire plus (Sari, 1977 ; White, 1986 ; Meddour, 1994 ; Coombes, 2001 ; Jacmon, 2001 ; Riou-nivert, 2001). Selon Hoefler (1850), le cèdre de l'Atlas peut atteindre une circonférence de douze mètres.

1.1.2.3. Ecorce :

De couleur grise, composée de petites écailles lisses à l'état jeune, l'écorce devient crevassée à l'âge adulte (Toth, 1981 in Khanfouci, 2005 ; Coombes, 2001 ; Riou-nivert, 2001 ; Duperat et Polese, 2007).

1.1.2.4. Inflorescence :

Espèce monoïque, la fructification varie en fonction des conditions stationnelles. Elle peut être précoce (15 à 20 ans) dans des conditions appropriées et débute à l'âge de 25 ans dans des conditions moyennes (Macquart, 1852 ; Lapie et Maige, 1914 ; Toth, 1978 ; Lamhamedi et Chbouki, 1994 ; Coombes, 2001 ; Riou-nivert, 2001).

Les chatons mâles, jaunes et cylindriques, en forme de bourgeon arrondi recouvert d'une pellicule cireuse, apparaissent généralement lors de la fin du mois de juin (Toth, 1978 ; Becker et al., 1983 ; Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Jacmon, 2001).

Les chatons femelles, de forme ovoïde et de couleur vert-bleuâtre apparaissent deux mois après, soit lors de la fin du mois d'août (Toth, 1978 ; Becker et al., 1983 ; Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Jacmon, 2001).

1.1.2.5. Fructification :

Les cônes, engendrant des huiles essentielles utilisées à des fins pharmaceutiques, sont ovoïdes, dressés et de couleur verdâtre, puis marron foncé à maturité. Déprimés au sommet, ils mesurent 5 à 8cm de longueur et 4 à 5cm de largeur (Pontoppidan, 1997 ; Rameau et al., 2008 ; Barrero et al., 2005). Ils parviennent à maturité deux ans après la floraison, soit vers la mi-septembre dans des conditions favorables. La désarticulation a lieu du mois d'octobre vers la fin du mois de novembre de la deuxième année (Toth, 1978 ; Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Rameau et al., 2008).

1.1.2.6. Graines :

Elles sont de forme irrégulièrement triangulaire d'une taille variant de 8 à 12mm. Elles sont de couleur marron roux à marron claire avec des cavités en parties résineuses comportant une aile développée (Mathieu, 1860 ; Seigue, 1985 ; Philippe et al., 2006). Elles perdent assez vite leur pouvoir germinatif (Boudy, 1950 ; Seigue, 1985). Selon Derridj (1990), les cônes de cèdre portent deux types de graines : des graines fertiles se localisant au milieu du cône et des graines stériles se localisant à la base et au sommet du cône.

1.1.2.7. Racines :

D'un système racinaire pivotant puissant ce qui explique le bon comportement des cèdres sur sols calcaires superficiels fissurés, même lors des périodes de sécheresse (Seigue, 1985 ; Ducrey, 1994 ; Ripert et Boisseau, 1994 ; Jacmon, 2001 ; M'hirit et Benzyane, 2006 ; Duperat et Polese, 2007).

1.1.2.8. Reproduction :

Selon **Till (1985) in Salgues (2008)** le cycle de reproduction peut se résumer comme suit :

- ✓ **Année 01** : Apparition des cônelet, floraison et pollinisation ;
- ✓ **Année 02** : Fécondation des ovules par les gamètes males et croissance des cônes ;
- ✓ **Année 03** : Maturation des cônes et leur désarticulation sous l'effet alternatif de la chaleur, humidité et gel.

Les graines sont disséminées par le vent sur une distance de 20 à 50m (**Ezzahiri et Belghazi, 2000**).

1.2. Caractères écologiques :

1.2.1. Climat :

Le cèdre de l'Atlas est caractéristique des étages bioclimatiques subhumides à per-humides froids à très froids (**White, 1986 ; Demarteau et al., 2007**). Il connaît ainsi des précipitations allant de 500 à 2000mm par an (**Benabid, 1994**). Ce grand écart entre le minima et le maxima des précipitation reflète clairement son adaptation à la sécheresse où il profite des précipitations de la bonne saison favorisant la reconstitution d'une importante réserve en eau du sol pour subvenir à ses besoins pendant la saison sèche estivale (**Finkelstein, 1981 ; Dahman et Khouja, 1994 ; Hocine et al., 1994**). Il s'accommode aux températures minimales du mois le plus froid pouvant se situer entre -1 et -8°C. Il tolère les températures basses et élevées jusqu'à respectivement -25°C et 39°C. La température ambiante correspondant à une bonne productivité varie entre 3 et 7°C (**Quezel, 1980 in Benabid, 1994 ; M'hirit et Blerot, 1999 ; Rameau et al., 2008**).

1.2.2. Sol :

Indifférent à la nature lithologique et aux propriétés chimiques du sol, il préfère néanmoins les sols meubles, profonds et caillouteux (**Toth, 1970 ; Benabid, 1994 ; Benmouffok, 1994 ; Ripert et Boisseau, 1994 ; Demarteau et al., 2007 ; Lecomte, 2007**). Sa croissance demeure faible sur sols peu profond (**Harfouche et Nedjahi, 2003**). De plus, les sols argileux semblent relever des conditions défavorables (**Lepoutre, 1966 ; Lecompte et Lepoutre, 1975**). Dans des conditions climatiques favorables, la régénération du cèdre semble beaucoup plus facile et rapide sur des sols sableux que sur des sols argileux (**Lepoutre et Pujos, 1963**). Cette situation est similaire à celle du cèdre du Liban (**Poiteau, 1856**).

D'après **Quezel (1980 in Mediouni et Yah, 1994)** et **M'herit (1994 a)** les cédraies sont généralement localisées sur substrats calcaires.

1.2.3. Altitude :

Montagnard par excellence, ses limites inférieures et supérieures diffèrent d'une station à l'autre. Il se rencontre à travers une amplitude altitudinale comprise entre 1200 et 2800m (**Benabid, 1982 in Benabid, 1994 ; Seigue, 1985 ; Till, 1986, 1987 ; Ducrey, 1994 ; Losange, 2008**). En Algérie, il débute à partir de 900 à 1000m d'altitude (**Mediouni et Yah, 1994 ; Harfouche et Nedjahi, 2003 ; Quezel et Medail 2003**).

Dans les Aurès et le Rif, quoique le cèdre soit une espèce montagnarde, il ne forme en aucun point la limite supérieure du massif. Il y est remplacé par le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) aux altitudes supérieures à 2800m (**Till, 1986**).

Sur la base de la variation altitudinale, **Pujos (1964)** distingue trois types de cédraies :

- Les cédraies basses : Inférieures à 1900m d'altitude;
- Les cédraies moyennes : Comprises entre 1900 et 2100m d'altitude ;
- Les cédraies hautes : au-delà de 2100m d'altitude.

1.3. Aire de répartition :

D'une aire de répartition très morcelée, le cèdre de l'Atlas présente quatre blocs distincts. Un bloc au Maroc d'une superficie de 90 000 ha et trois blocs en Algérie de 22 500 ha (**Letreuch-Belarouci, 1991 ; Gallais et Bannerot, 1992 ; M'herit, 1994a ; Quezel et Medail 2003**).

Au Maroc, son aire de répartition est retenue comme suit :

- Rif et les forêts de Tazzeka 10 000ha
- Moyen Atlas central 60 000ha
- Moyen Atlas oriental 10 000ha
- Haut Atlas oriental..... 10 000ha

En Algérie, son aire de répartition, étant morcelée, est recensée à travers les massifs des chaînes des Atlas tellien et saharien (**Fig.1.1**). Elle est répartie comme suit :

-Au niveau de l'Atlas tellien :

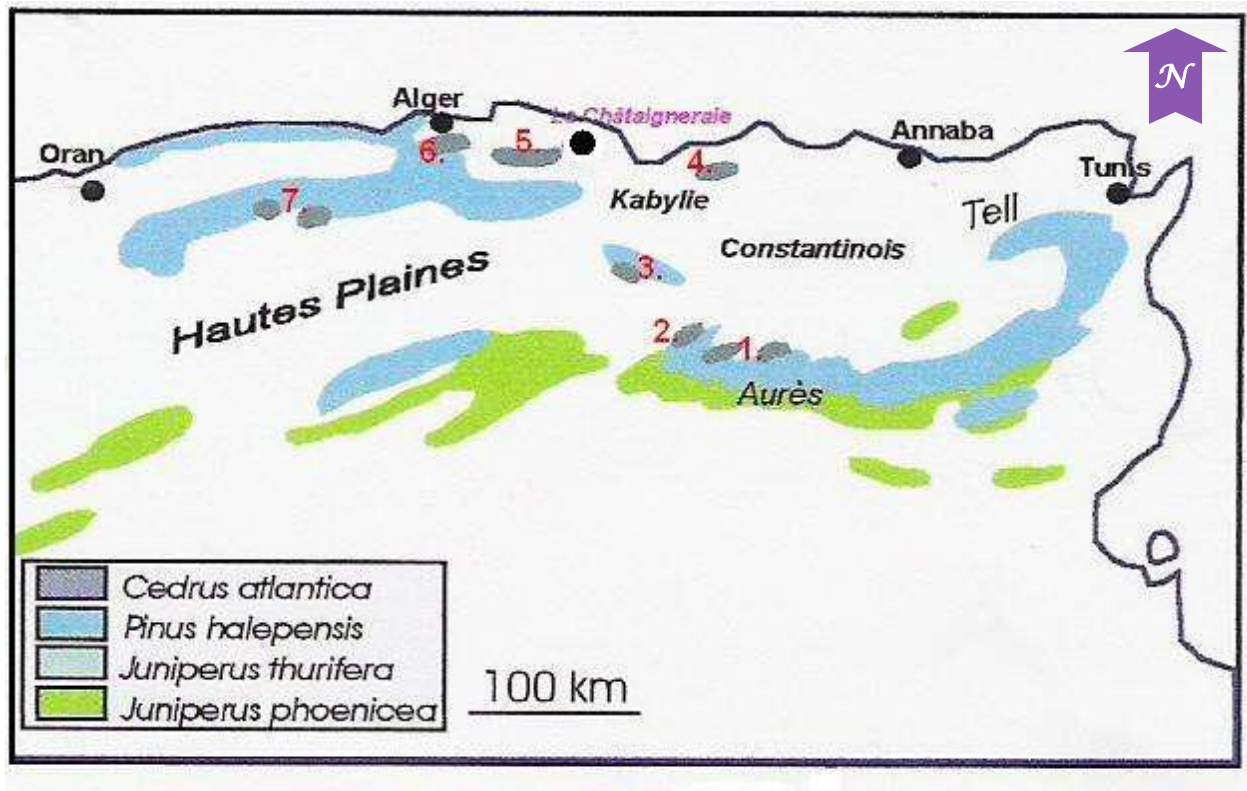
- Theniet El Had et Ain Antar..... 1 000ha
- Atlas blidéen..... 1 000ha
- Massif de Djurdjura (Tikjda et Tala Guilef) 2 000ha
- Monts Babors 500ha

-Au niveau de l'Atlas saharien :

- Monts de Hodna 8 000ha
- Monts de Belezma 5 000ha
- Massif des Aurès 5 000ha

D'après **Boudy (1950)**, la superficie s'élevait à 145 000ha dont 116 000ha au Maroc et 29 000ha en Algérie. D'ailleurs, **Mokrim et Chbouki (1994)** et **Quezel et Medail (2003)** soulignent que beaucoup de ces cédraies sont actuellement en état de simple survie et condamnées à disparaître dans les prochaines décennies. Surtout celle des Aurès, là où le dépérissement affecte, chaque année, plusieurs hectares de tiges de cèdre.

Le cèdre a fait l'objet de plusieurs introductions, tantôt comme espèce de reboisement, tantôt comme arbre d'ornement. Il est introduit en France en **1862**, en Italie en **1864**, au Portugal en **1935**, en Bulgarie en **1876**, en Hongrie en **1930** et plus récemment en Bretagne. Il est de même introduit hors le circumméditerranéen en ex-U.R.S.S. et au Nord-Est des Etats-Unis (Pennsylvanie, Massachussetts, New York) (**Toth, 1980, 1994, 2005 ; Andrea et Roberto, 1994 ; Csaba, 1994 ; Delkov et Grozev, 1994 ; Riffaud, 1998 ; Hainry et Colombet, 2009**).



1. Massif des Aurès, 2. Monts de Belezma, 3. Monts du Hodna, 4. Monts de Babor,
 5. Massif de Djurdjura, 6. Atlas Blidéen, 7. Massif de l'Ouarsenis (Theniet el Had et Ain
 Antar)

Fig.1.1 : Localisation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie
 (Roche, 2006 modifié par Demarteau, 2006)

CHAPITRE 2

Dépérissement des arbres forestiers

2. Dépérissement des arbres forestiers :

Le dépérissement forestier, autrefois qualifié de *maladie du jardinier* (Gagnon et Roy, 1994), fut déclaré sur les arbres d'ornement (Erable de sucre), puis sur les forêts de l'Est du continent nord-américain au courant de l'année 1910 (Westing, 1966 in Gagnon et Roy, 1994).

2.1. Définition :

Né au seizième siècle du verbe dépérir, le mot dépérissement a gradé longtemps un sens très général et ne s'appliquant pas spécialement aux végétaux. Le *Dictionnaire* de l'*Académie* dans ces éditions, le définissant en 1694 comme un « état de décadence qui vient de négligence et de faute de soin », en 1762 comme un « état de décadence » et en 1798 comme étant un « état de décadence, de dégradation, de ruine », sans fournir aucun exemple s'appliquant au monde forestier ou végétal. Il concernait plusieurs champs sémantiques. Ce n'est qu'au dix septième siècle que les forestiers commencèrent à utiliser le mot « dépérissant » aux arbres en tant qu'individualité propres. Au dix huitième siècle, il a prit le sens global en s'appliquant à des peuplements (Buridant, 2008).

Plusieurs, sont les définitions du dépérissement forestier :

Manion (1981 in Landmann, 1994) définit le dépérissement comme étant un phénomène causé par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, et qui entraînent une détérioration générale et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre.

Bonneau (1994), Becker et al (1994) et Amandier (2010) le considèrent comme étant un dysfonctionnement dû rarement à une cause unique, soit souvent le résultat de l'effet de plusieurs facteurs agissant en interaction entre facteurs abiotiques et biotiques (attaques parasitaires) ou l'effet combiné des deux facteurs.

Riou-Nivert (2005) identifie le dépérissement comme étant un phénomène complexe évolutif résultant d'une détérioration générale et graduelle des différents types de tissus. Originaire de l'interaction des stress biotique et abiotique à travers des facteurs prédisposant, déclenchant et aggravant.

Ainsi, le dépérissement relève être un phénomène complexe évolutif dû à : (Aussenac et Guehl, 1994 ; Bonneau, 1994 ; Landmann et Bonneau, 1994 ; Levy et al., 1994 ; Piou, 1994 ; BTSA Gestion forestière, 1997 ; Guyon, 1998 ; Bréda et al., 2000 ; Landmann, 2000 ; Lebourgeois et al., 2001 ; Landmann, 2002 ; Belrose et al, 2004 ; Allen, 2009 ; Amandier, 2010 ; Duhén, 2011)

- Des stress abiotiques (climat) ;
- L'origine génétique ;
- Des particularités de la station ;
- La pollution atmosphérique ;
- La fertilité minérale ;
- L'âge ;
- Une sylviculture inappropriée ;
- Des facteurs biotiques (attaques parasitaires).

Agissant séparément ou en synergie causant une détérioration générale et graduelle aboutissant à la mort de l'arbre (**Fig.2.1**).

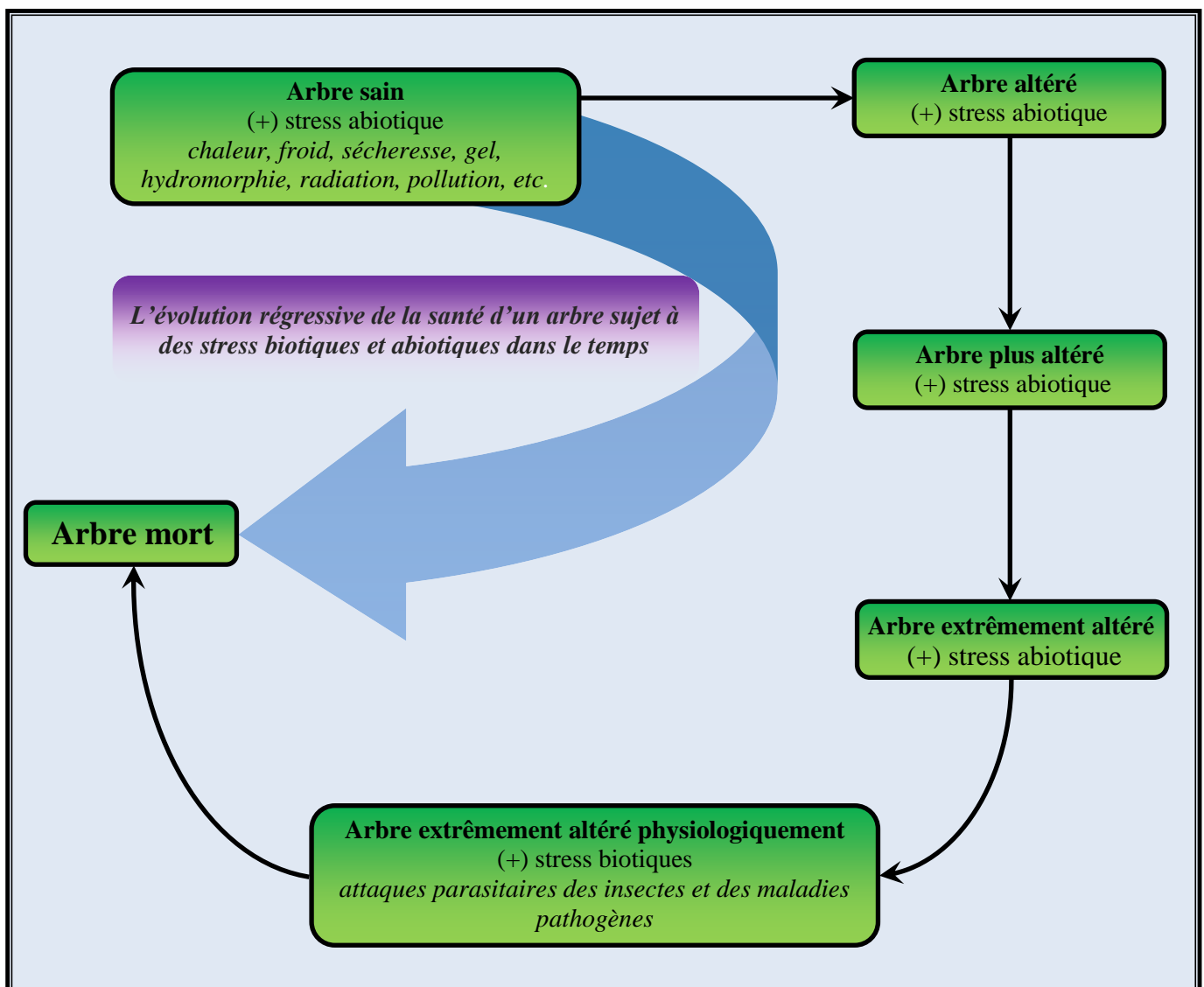


Fig.2.1 : Modèle de dépérissement des arbres (Abdendi, 2003)

2.2. Facteurs de dépérissement :

Comme le montre la **figure 2.2**, trois principaux facteurs retenus être à l'origine du dépérissement (**Landmann, 1994 ; Gagnon et Roy, 1994 ; Guyon et al., 1994 ; Bonneau, 1994 ; Abdendi, 2003 ; Guillaumin et al., 2005**). Il s'agit des facteurs **prédisposant**, des facteurs **déclenchant** et des facteurs **aggravants**.

Les facteurs prédisposant sont des facteurs abiotiques tels que le changement climatique, la pollution atmosphérique, la réduction de vigueur liée à l'âge, déficit d'espace vital, etc. ...). Ces facteurs étant permanents, ils agissent au courant d'une longue période à l'affaiblissement général sans pour autant altérer la santé de l'arbre. Les tiges, étant soumises à un stress plus ou moins permanent, elles le surmontent généralement avec quelques réductions de productivité.

Les facteurs déclenchant (ou d'incitation) agissant brusquement et de façon intense sur une relativement courte période sur l'arbre stressé (sècheresse, parasite, insectes, pollution de l'air, etc....).

Les facteurs aggravants (contribuant ou d'achèvement) accentuent la perturbation de l'arbre déjà faible et amplifient les effets précédents en contribuant à la mortalité de l'arbre. Dans l'ensemble, il s'agit de facteurs biotiques : insectes, champignons.

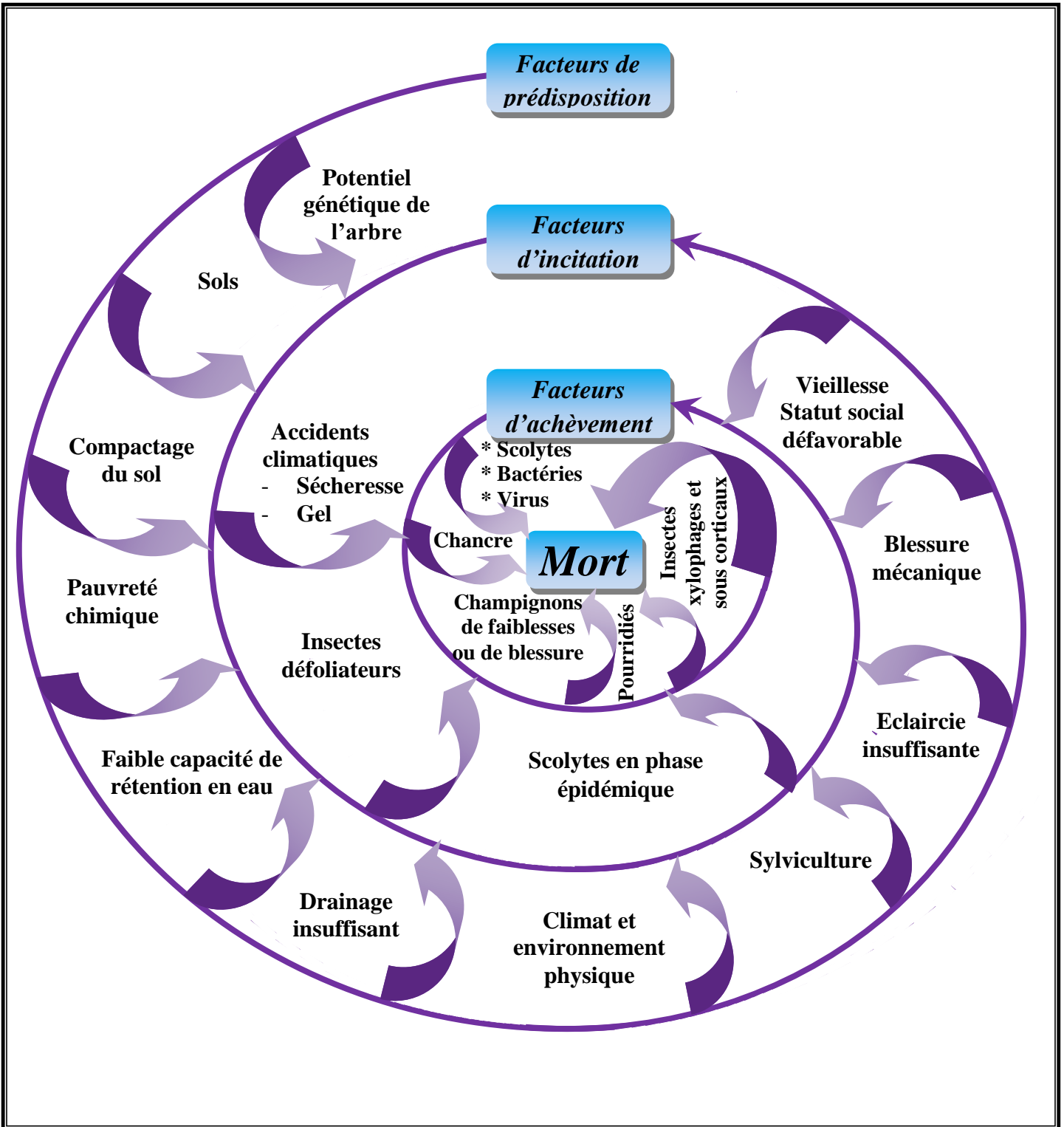


Fig.2.2 : La spirale du déclin (mécanisme de dépérissement)
(Manion, 1981 in M'hirrit et Benzyane, 2006)

2.3. Symptômes de dépérissement :

Les symptômes de dépérissement diffèrent d'une essence forestière à une autre. Dans l'ensemble, les principaux symptômes de dépérissement peuvent être comme suit : détérioration de la cime, défoliation, perte d'écorce, perte de branches, perte de vigueur, dessèchement du houppier, jaunissement des feuilles et altération racinaire (**Landmann et al., 1987 ; Delatour, 1990 ; Garrec, 1994 ; Levy et al., 1994 ; Nageleisen, 1994 ; Piou, 1994 ; Vennetier et al., 2005 ; Nageleisen et Reuter, 2007**).

Par ailleurs, si l'on se réfère à **Landmann (1994)**, quelques particularités relatives au dépérissement des arbres forestiers sont signalées au niveau racinaire et des cimes ; en plus des caractéristiques spatio-temporelles et de croissance.

-Au niveau de la Cime :

- Modification de la structure du houppier : défaut de ramification, croissance faible des rameaux d'où, chez les feuillus, apparence de feuilles disposées en rosettes ;
- Microphyllie (feuilles ou aiguilles de petite taille) ;
- Pertes d'aiguilles anciennes chez les résineux et pertes de rameaux, surtout chez certains feuillus (d'où aggravation possible par des champignons parasites facultatifs) ;
- Mort de portions de la couronne, conférant aux cimes une allure irrégulière ;
- Descente de cime par développement de bourgeons dormants ;
- Jaunissements automnaux précoces ou liés à des carences minérales.

-Au niveau racinaire :

- Dégénérescence fréquente des racines fines et mycorhizes ;
- Baisse des réserves d'amidon.

-En ce qui concerne la croissance :

- Réduction de la croissance de quelques années à plusieurs décennies avant l'apparition des symptômes visibles.

-En ce qui concerne leurs caractéristiques spatio-temporelles :

- Dispersion au hasard (localement) des individus dépérissant ;
- Persistance et aggravation des symptômes durant plusieurs années.

Nageleisen (1994) rapporte que le dépérissement se traduit, en général, au niveau du houppier par le biais du dessèchement des rameaux ou branches, de la chute de rameaux verts et de la réduction de la longueur des pousses annuelles. Ils interagissent de façon différentielle tout en donnant un aspect structural pouvant être stratifiés en cinq classes :

✓ *Classe 0 :*

- Absence de symptômes ;
- Houppier opaque ;
- Ramification fine dense.

✓ *Classe 1 :*

- Rameaux fins desséchés dans la périphérie du houppier ;
- Présence de fenêtres disjointes ;
- Rameaux en fouet.

✓ *Classe 2 :*

- moins de 50% de branches desséchées dans le houppier ;
- Echancrures nettes dans le houppier ;
- Feuilles en paquets.

✓ *Classe 3 :*

- Branches mortes composant plus de 50% du houppier.

✓ *Classe 4 :*

- Houppier mort ;
- Arbre mort ou moribond.

2.4. Gestion du dépérissement :

Deux types d'actions de gestion de dépérissement, à court et à long terme, sont proposés dans la littérature (Jamey, 1994 ; Mormiche, 1994). A court terme, elle a pour objectif d'atténuer ou de retarder le dépérissement. Celle à long terme, a pour but d'obtenir des peuplements les plus résistants possibles au dépérissement.

2.4.1. Actions à court terme :

La première mesure à entreprendre est celle de la coupe de bois atteints. L'action consiste à la récolte des arbres secs ou très dépérissant pour éviter d'une part, l'installation des ravageurs secondaires et de protéger les arbres survivants d'autre part. La deuxième mesure est celle de lutter par voie mécanique, chimique ou biologique, selon le cas, contre les facteurs biotiques. Quant à la troisième action, elle consiste à inciter la régénération, qu'elle soit naturelle ou artificielle, afin de pouvoir assurer la durabilité de la forêt

2.4.2. Actions à long terme :

De prime abord, il y a lieu d'élaborer ou de réviser le plan de gestion par la mise en œuvre d'une sylviculture appropriée et durable. L'objectif est celui d'obtenir des peuplements ayant la meilleure santé possible. Il est recommandé d'installer un système de surveillance permanent de l'état sanitaire de la forêt afin de repérer le plus précocement possible les fluctuations des peuplements (**Barthod, 1994**). Dans le cadre de plantation, on veille de créer des peuplements moins purs (dans le cas des forêts artificielles) dans le but d'avoir des forêts plus résistantes aux différents facteurs causant le dépérissement. Dans le cas des forêts productrices de bois, il y a lieu de réduire l'âge d'exploitabilité.

2.5. Conséquences du dépérissement des forêts :

Comme le montre la carte géographique (**Fig.2.3**) de dépérissement des arbres forestiers, à l'origine de changements climatiques, sa répartition dimensionnelle est jugée d'une ampleur accentuée (**Allen, 2009**). Dès lors, les conséquences de cette situation désastreuse des forêts peuvent être soulevées comme suit (**Allen, 2009**):

- Perturbation du fonctionnement de l'écosystème ;
- Accélération de la dégradation de l'écosystème ;
- Perte de services écosystémiques y compris le piégeage du carbone atmosphérique;
- Altération de la qualité du bois ;
- Perte de produits forestiers.

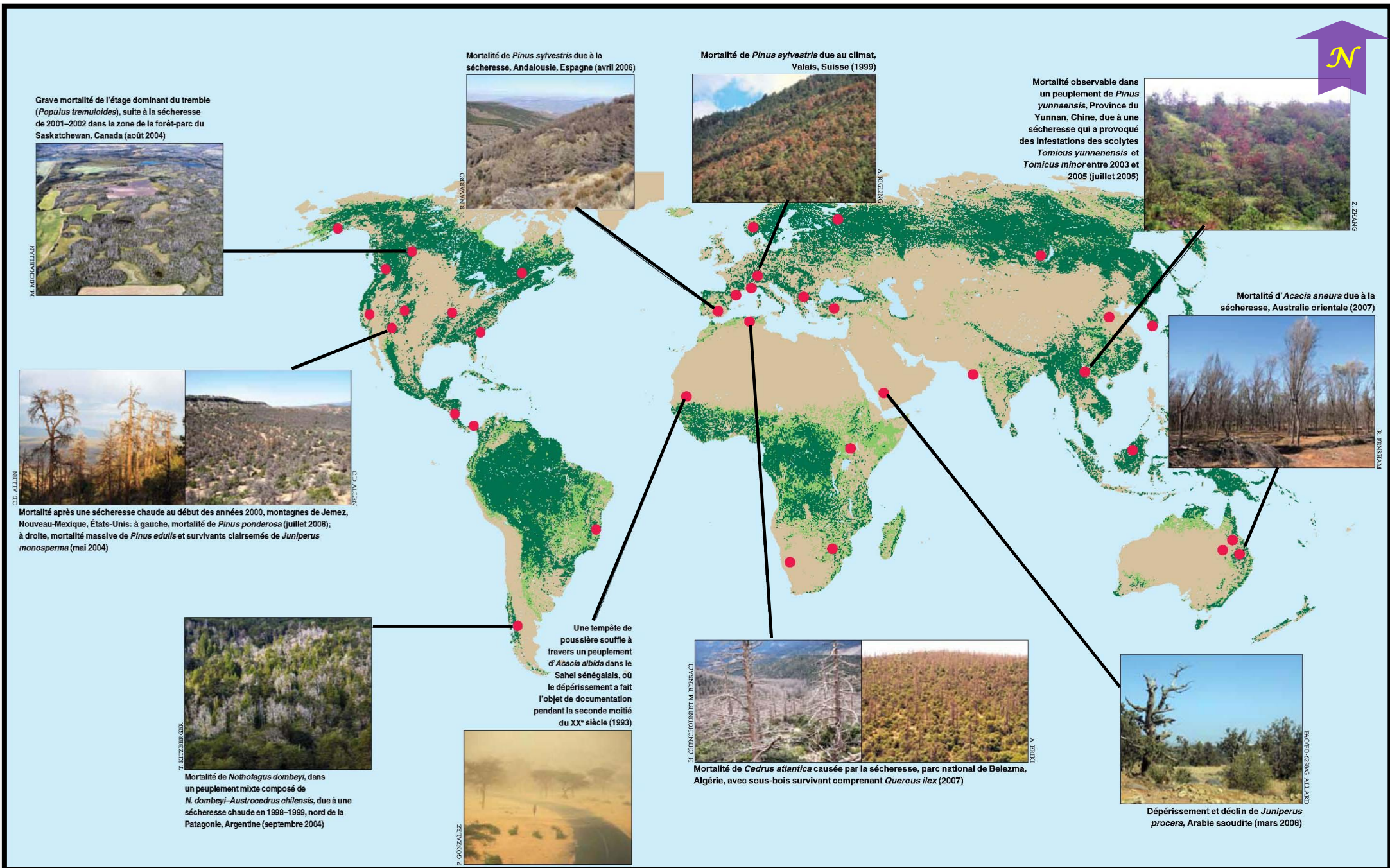
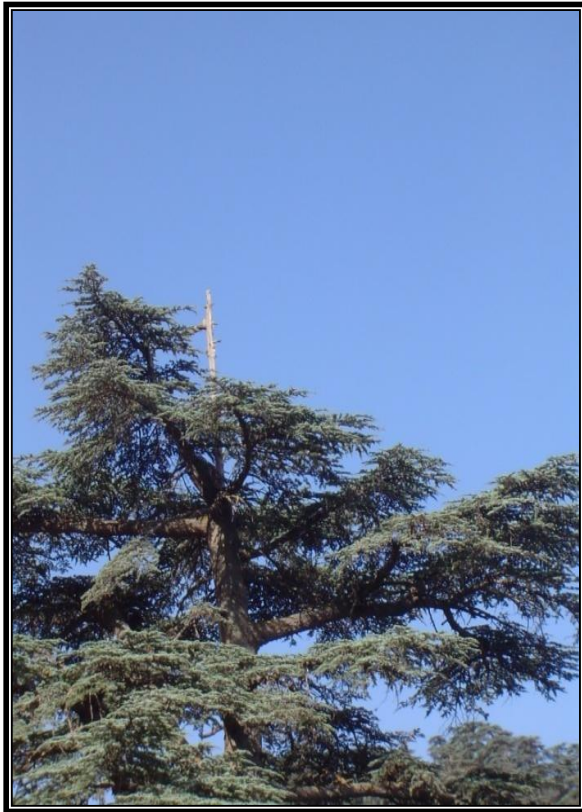


Fig.2.3 : Lieu où sévit un dépérissement accru lié au climat (Allen, 2009)

2.6. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie :

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie est devenu le souci majeur des chercheurs du fait de la place qu'il occupe au niveau de la politique de préservation à laquelle il en bénéficie. C'est surtout dans les cédraies de Belezma et Chélia que le dépérissement y est d'une grande ampleur. **Seigue (1985)** souligne que le dépérissement fut signalé en 1894 dans la cédraie de Chélia et qu'une notice estimait le bois mort dans ce massif à 400 000m³.

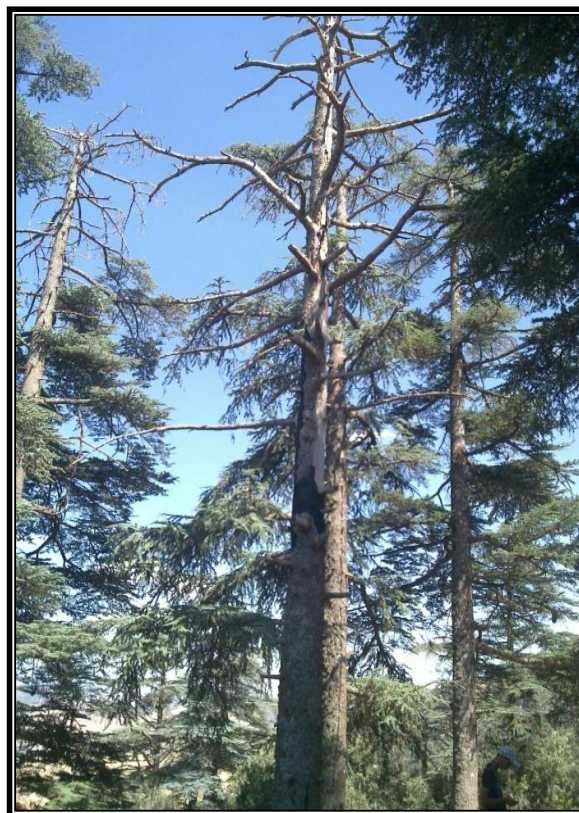
Dans la cédraie de Theniet el had, le dépérissement devient de plus en plus accentué. Le dépérissement du cèdre débute par l'assèchement de la flèche terminale et se propage jusqu'à ce qu'il atteigne la totalité de la cime. S'ensuit alors la chute des aiguilles, des rameaux et des branches. Le bois du tronc s'altère, l'écorce se détache du liber et l'arbre demeure totalement mort sur pied (**Fig.2.4**).



Assèchement de la flèche terminale



Chute des aiguilles



Mort de l'arbre

Fig.2.4 : Processus de dépérissement du cèdre de l'Atlas

« Photos 2010 »

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 3

Présentation de la zone d'étude

3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

3.1. Historique :

Lors de l'installation du fort militaire colonial à Theniet El Had en Avril 1843, la forêt des cèdres fût l'objet d'une exploitation abusive sous l'autorité du génie militaire et sans la participation du service forestier. Cette exploitation a fait l'objet d'abattage de grandes et belles tiges dont beaucoup furent laissées sur place sans qu'elles ne soient exploitées, faute de difficultés de transport (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**).

En 1851, le service forestier procéda à l'abattage de cèdres destiné à des expériences pour la reconnaissance de son utilisation (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**).

A partir de 1862 et jusqu'à 1870, l'administration forestière entama, par le biais d'une main d'œuvre militaire, des opérations de nettoyage de la forêt de bois mort sur pied sur des surfaces considérables. Durant la période 1865-1893, l'administration a procuré par concession de gré à gré **3.140m³** de bois d'œuvre et **9.000 stères** (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**).

En 1870 et 1885 des exploitations importantes furent réalisées par le service forestier portant sur des bois vendus par adjudication. Faute de capitaux, l'opération étant échouée (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**).

En 1887, le délégué financier **Jordan**, attiré par la splendeur naturelle du site, construisit un *Chalet* au Rond-point et l'utilisa pour passer l'été avec sa famille pendant **rente six années** consécutives (**Bonneval, 1894 in Zedek, 1993 ; Yahiaoui, 2010**).

La valeur artistique et scientifique de la cédraie conduit le Gouvernement Général de l'Algérie à l'ériger en parc national. Ce fût alors le 03 Août 1923 que naquit le premier parc national de l'Algérie d'une superficie de 1563 ha (**De Bonneval, 1930 ; Anonyme, 1930 in Zedek, 1993**).

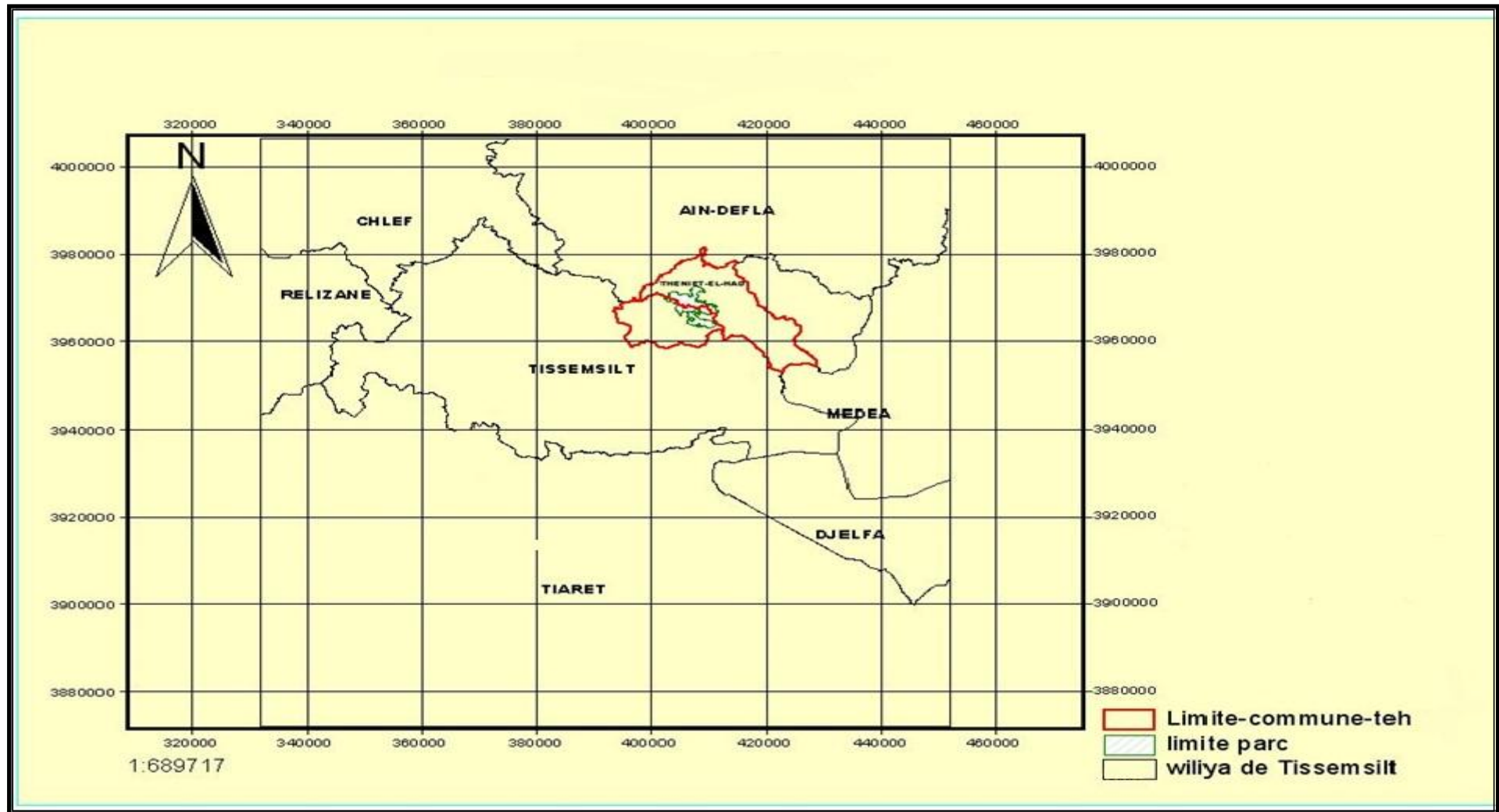
Pendant la guerre de libération, certains cantons qui étaient inaccessibles ont été déclarés zones interdites et soumis à des bombardements au napalm (**Sari, 1977 ; Boudiba, 2002**).

En date du 23 Juillet 1983 par décret n°83-459, le Gouvernement algérien érigea de nouveau la cédraie en Parc National d'une superficie de 1563 ha. Actuellement, la superficie du parc s'élève à 3425 ha.

3.2. Cadre physique :

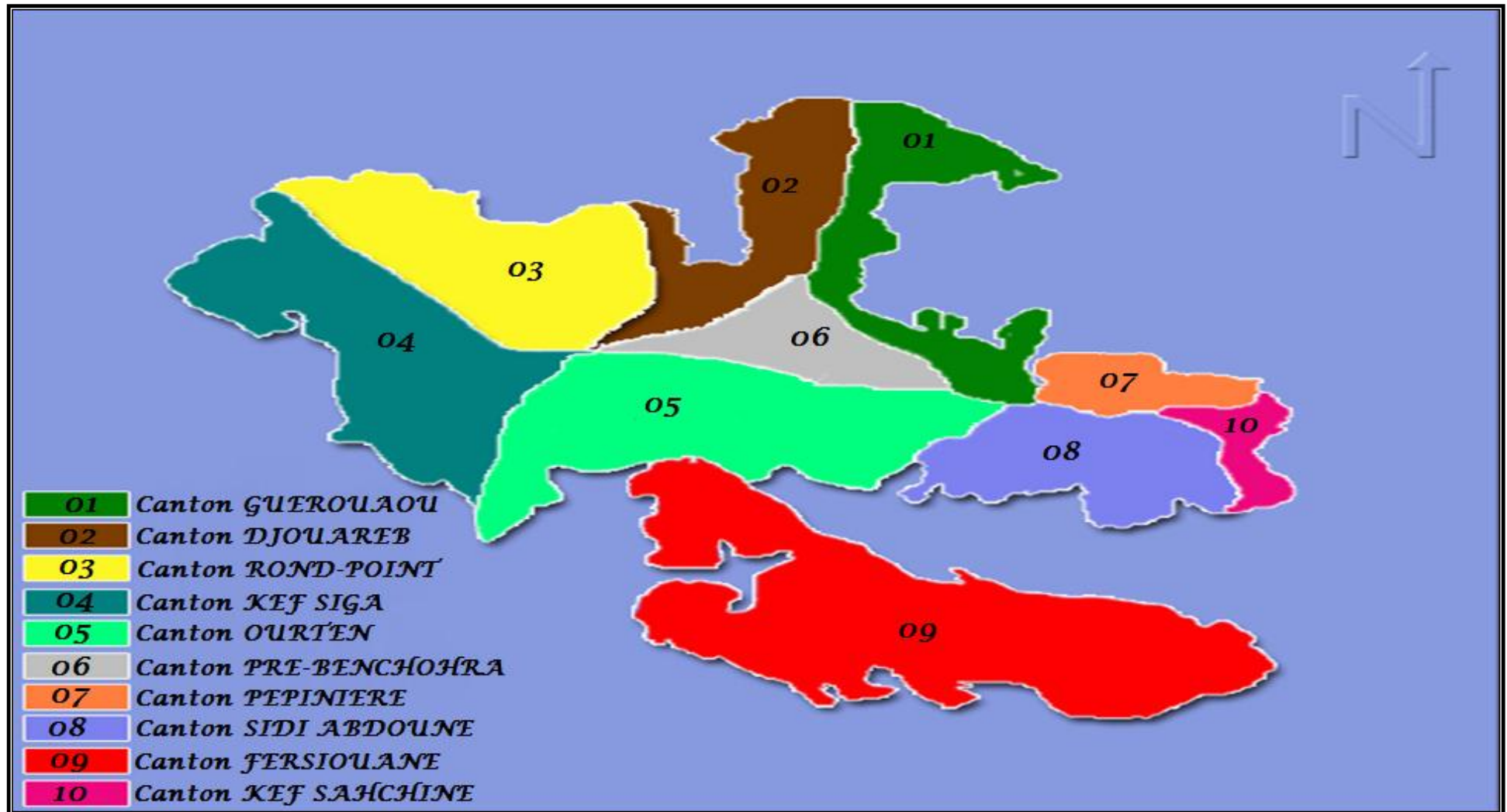
3.2.1. Situation géographique :

Le Parc National se localise à 1,8 km au Sud-Ouest de la ville de Theniet el had relevant de la wilaya de Tissemsilt (**Fig.3.1**). Il recouvre les deux versants de *Djebel El Meddad*, partie prenante du grand massif de *l'Ouarsenis* constituant, ensemble, la chaîne sud de *l'Atlas tellien*.



Echelle 1/50 000

Fig.3.1 : Situation du Parc National de Theniet El Had (P.N.T.E.H, 2006)



Echelle 1/50 000

Fig.3.2 : Cantons du Parc National de Theniet El Had
(P.N.T.E.H, 2002)

3.2.3. Aspect topographique :

D'un relief accidenté, le parc présente une pente assez variable d'un versant à un autre et pour le même versant ; elle est en moyenne de 25° pour le versant Sud et, généralement, abrupte et dépassant 40° dans le versant Nord, à l'exception du canton pépinière où elle ne dépasse guère 15° (Zedek, 1993).

L'altitude débute à environ 1277m et culmine à 1786m au lieu dit *RAS EL BARARET* relevant du canton Rond-point.

3.2.4. Aspect géologique :

C'est un fragment du paléorelief remontant à l'âge Médjanien de l'éocène supérieur. Sa structure géologique est basée essentiellement sur des sédiments oligocènes développés sur grès Numidien (P.N.T.E.H, 2006). Il est caractérisé par des fissures verticales très épaisses favorisant l'infiltration des eaux superficielles qui provoque sous l'effet des températures les processus d'éboulement et de glissement (Zedek, 1993).

3.2.5. Aspect pédologique :

La forêt des cèdres repose sur des sols peu évolués d'apport colluvial très pierreux et pauvres en matière organique. Peu profonds, ils sont succédés sur les crêtes sommitales par des sols minéraux bruts avec des affleurements rocheux. Les sols bruns lessivés de type ABC de profil pédologique complet riche en matière organique et en azote se rencontrent dans les terrains à faible pente et en aval du relief (Fig.3.3).

3.2.6. Réseau hydrique :

C'est un réseau très ramifié et souvent temporaire, alimenté par les eaux de précipitations. D'un débit faible, on y recense sept sources réparties à travers les cantons comme suit :

- Ain HarharCanton Rond-point
- Ain Touila.....Canton Sidi Abdoun
- Djedj El MaCanton Ourtène
- GuiguelCanton Kef sachine
- Chragua Canton Guerouaou
- Toursout.....Canton Pré-Benchohra
- Plate-formeCanton Pépinière

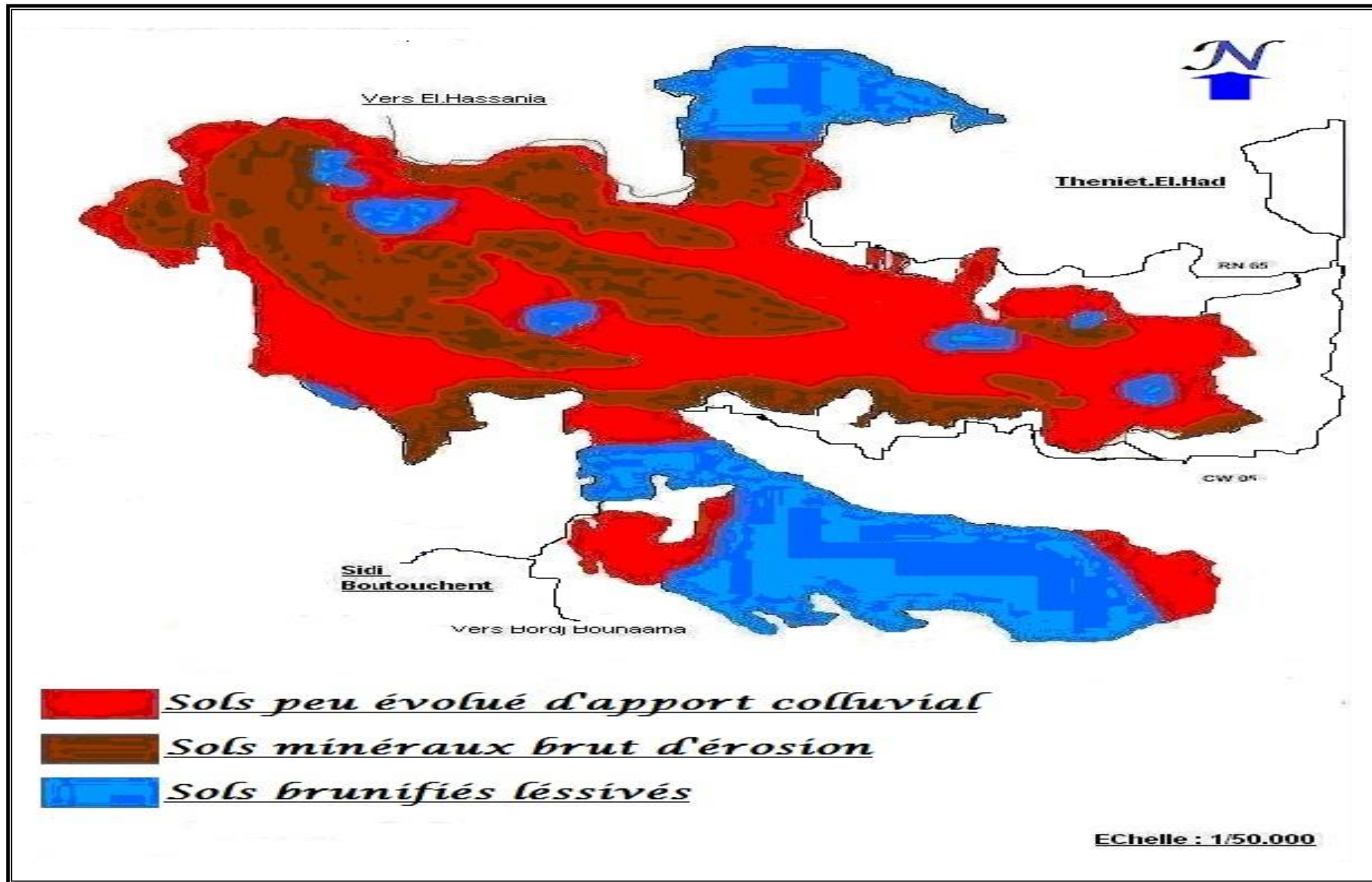


Fig.3.3 : Répartition des types de sol dans le Parc National de Theniet El Had (P.N.TE.H, 2002)

3.3. Données climatiques :

Faute de station climatique près du parc national, et vue l'absence de données climatiques complètes pour la zone d'étude, les données climatiques enregistrées par **Seltzer (1946)** dans la ville de Theniet El Had durant la période **1913-1938** ont été utilisées pour établir la synthèse climatique. Quoique ancienne, se sont les seules données complètes pouvant servir. Néanmoins, pour les précipitations, l'étude de **Sarmoum (2008)** s'avère être d'une utilité intéressante du fait qu'elle renferme des données récente s'étalant sur la période **1966-2004**.

3.3.1. Températures :

Les températures enregistrées par **Seltzer (1946)**, au courant de la période **1913-1938** au niveau de la ville de Theniet El Had, sont celles ayant fait l'objet d'extrapolation. Enregistrées à 1160m d'altitude, on relève que l'altitude moyenne de la zone d'étude est retenue égale à 1440m, soit une différence altitudinale de 280m. Sur la base du gradient altitudinal établi par **Seltzer (1946)** à travers l'Atlas tellien, on y enregistre que :

- Le mois le plus froid est celui du mois de Janvier d'une température minimale de l'ordre de -1.06°C ;
- Le mois le plus chaud est celui du mois d'Août d'une température maximale de l'ordre de 30.04°C .

3.3.2. Précipitations :

Les valeurs de précipitations annuelles, d'une grande variabilité, présentent une tendance régressive à travers les années (**Fig.3.4**). **Sarmoum (2008)** révèle que comparativement aux précipitations enregistrées par **Seltzer (1946)** au courant de la période **1913-1938**, soit de **628mm/an**, on n'y enregistre que **485 mm/an** au courant de la période **1966-2004**. Soit une diminution de précipitation évaluée à 23%.

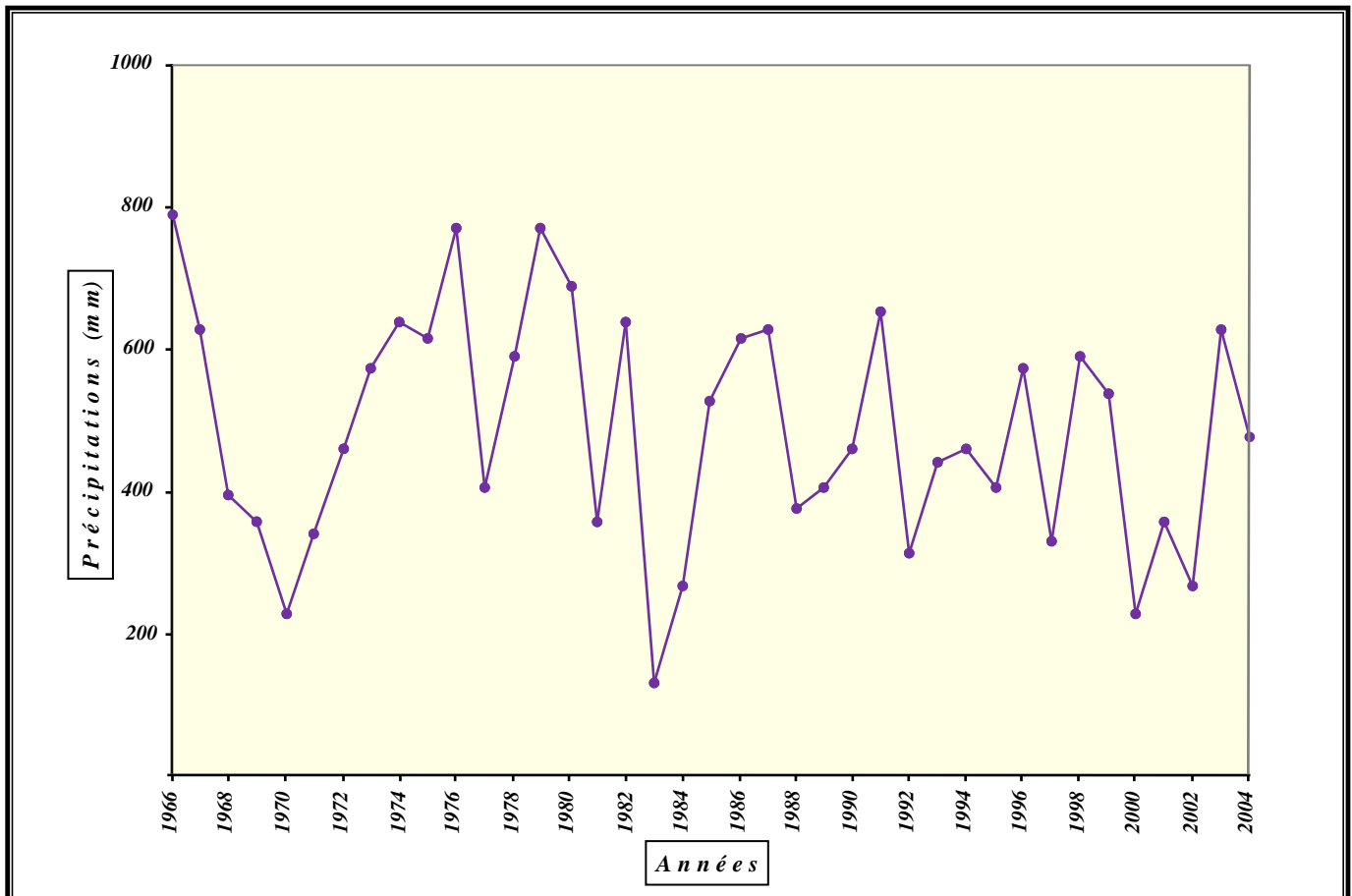


Fig.3.4 : Variation des précipitations annuelles « Station de Theniet el had » (Sarmoum, 2008)

A travers la **figure 3.4**, on remarque qu'au courant de la période **1966-2004**, l'année 1983 est celle durant laquelle les précipitations moyennes annuelles n'ont guère dépassé **200mm**.

Sarmoum (2008) a pu tracer trois courbes de précipitations mensuelles relatives à trois périodes distinctes : 1913-1938, 1966-2004 et 1980-2004. La **figure 3.5** permet de mieux visualiser l'allure de ces trois courbes de précipitations mensuelles.

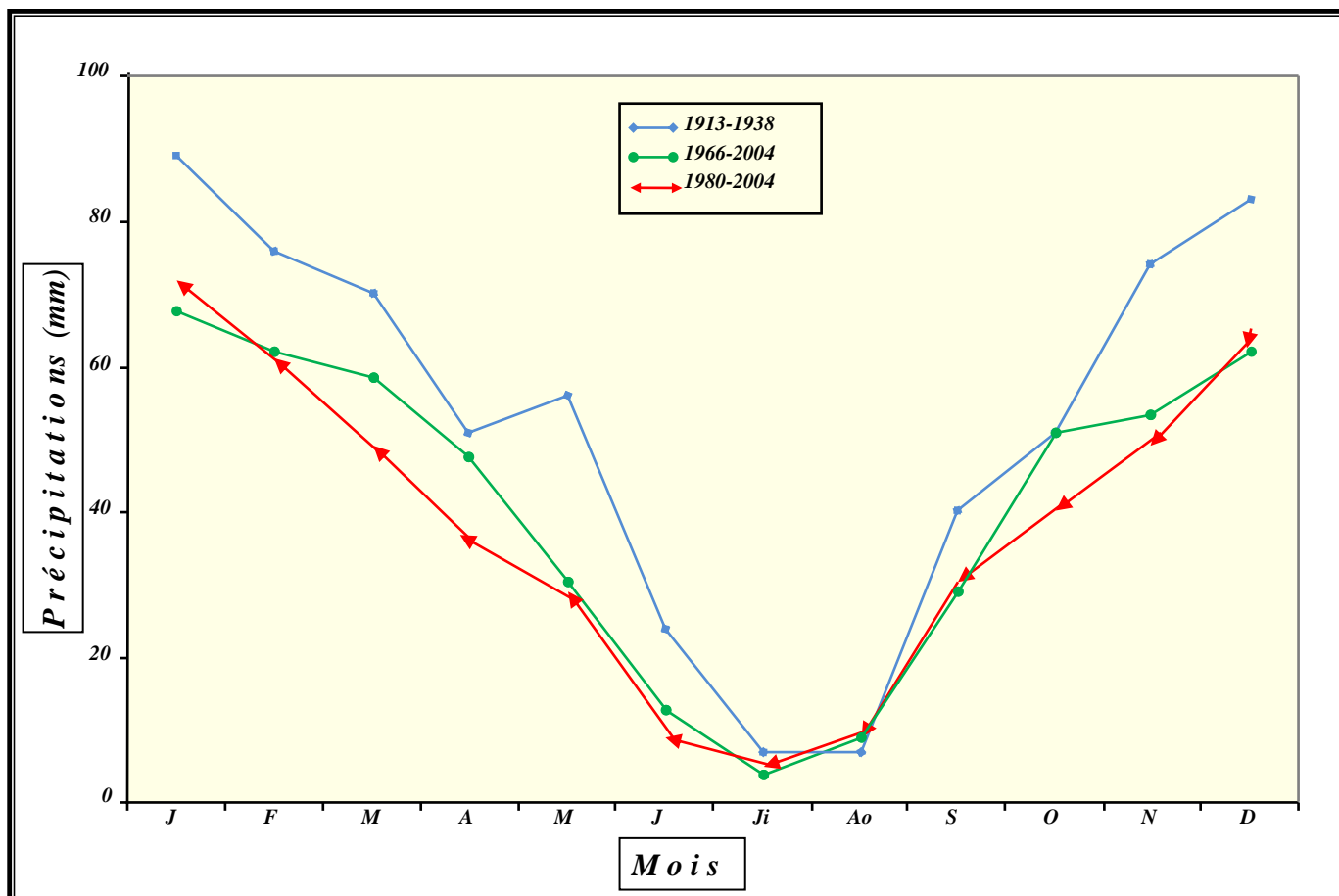


Fig.3.5 : Variation des précipitations mensuelles « Station de Theniet el had » (Sarmoum, 2008)

3.3.3. Neige :

Seltzer (1946) a enregistré un nombre moyen annuel de jours de neige de l'ordre de 22 jours. Or, ce nombre est loin d'être atteint de nos jours.

3.3.4. Gelées :

Les gelées sont très fréquentes dans le parc essentiellement durant la période *décembre-avril* de l'année (**Guittoun, 2004**).

3.3.5. Vent :

Le vent est un facteur écologique de grandeur par son rôle directe ou indirect sur la végétation (**Elhaï, 1968**). Son effet est d'autant plus accentué au fur et à mesure de l'élévation altitudinale. D'ailleurs, la forme tabulaire observée sur les cèdres de hautes altitudes et ceux isolés n'est autre que celle due à l'effet des vents.

Les vents dominants dans la zone d'étude relèvent du *Nord* et du *Nord-Ouest* (**Ounadi et al., 1990**).

3.3.6. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

La durée de la période sèche est déterminée par la surface de croisement des courbes ombrothermiques, soit lorsque $P < 2T$ (Unesco-Fao, 1963 ; Coudé-Gausсен, 1995).

En référence à l'extrapolation des données climatiques de la période **1913-1938**, la période sèche dure **quatre mois**, soit de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois d'octobre de l'année. La **figure 3.6** permet de mieux visualiser l'allure.

En effet, la période sèche comme elle correspond à la période estivale, où les pluies sont rares, celles-ci deviennent abondantes vers l'hiver et l'automne. Il s'agit de l'une des caractéristiques du climat méditerranéen (Belvaux, 2002).

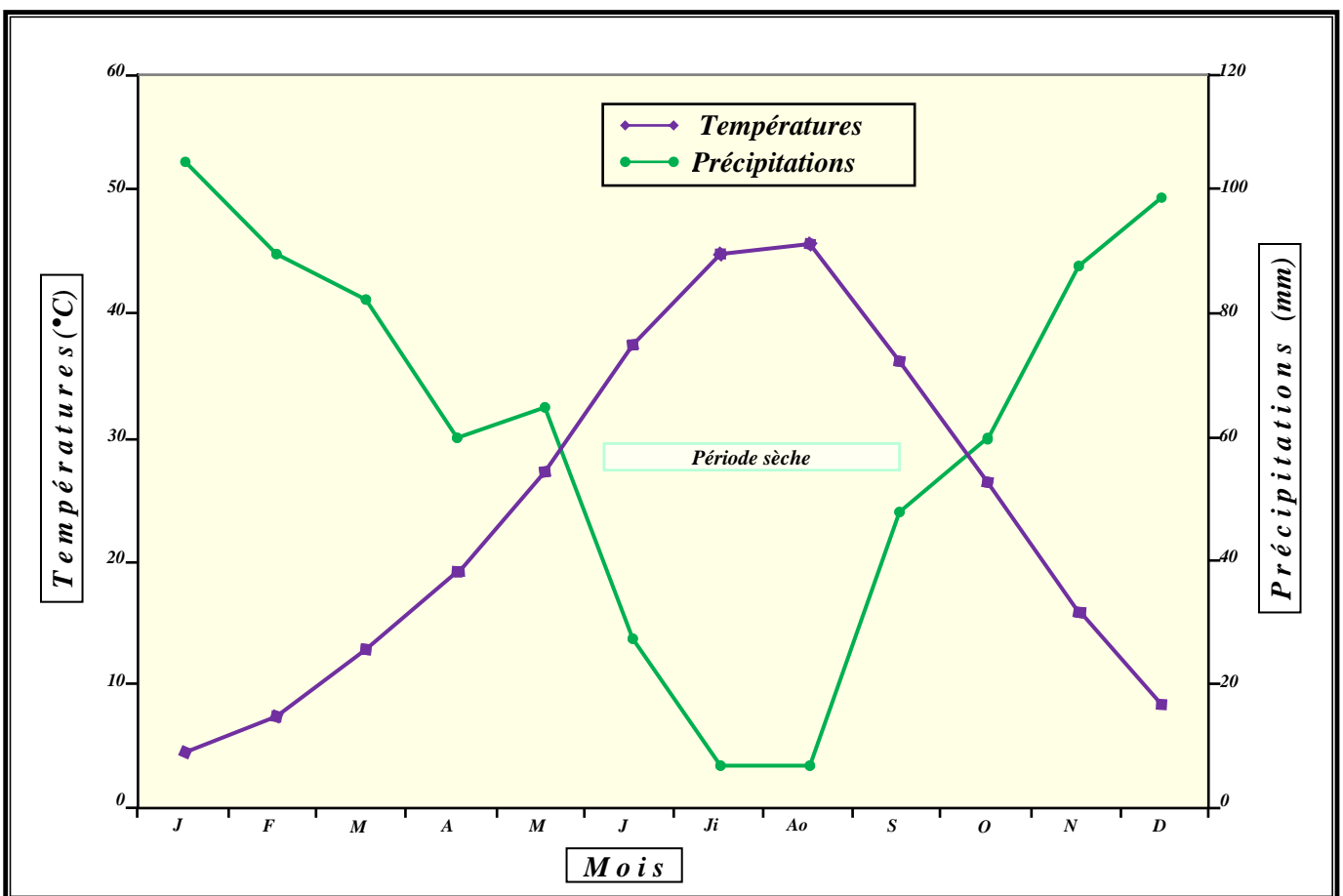


Fig.3.6 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен relatif à la zone d'étude

3.3.7. Quotient pluviométrique d'Emberger :

Le quotient pluviométrique d'Emberger a l'intérêt de mesurer la conjonction des températures et des précipitations par le biais de la formulation suivante (Daget, 1977 in Hufty, 2001 ; Pérennès, 1993 ; Benali, 2006) :

$$Q_2 = \frac{1000 P}{\frac{1}{2} (M+m)(M-m)}$$

- Où :
- **P** : Précipitation annuelle (mm) ;
 - **M** : Température maximale du mois le plus chaud (en degrés Kelvin) ;
 - **m** : Température minimale du mois le plus froid (en degrés Kelvin).

Ainsi, la zone d'étude présente un quotient pluviométrique (Q_2) égal à 82.72. La zone d'étude est dès lors soumise à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver froid (Fig.3.7).

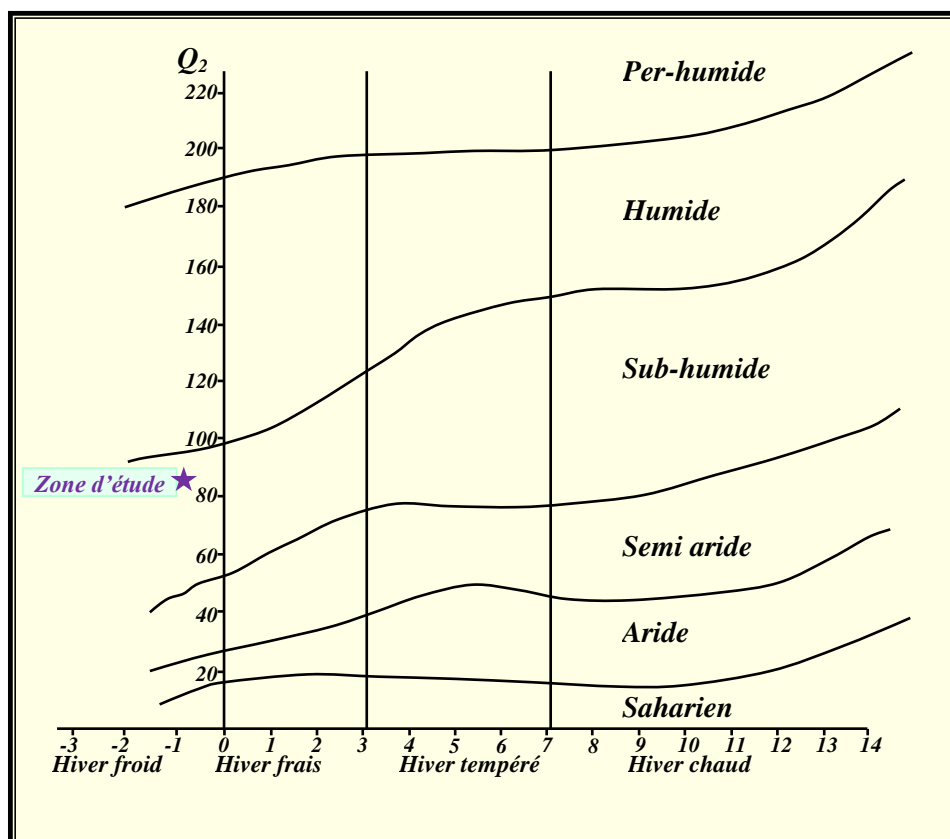


Fig.3.7 : Climagramme d'Emberger « la zone d'étude »

3.4. Biodiversité :

Le site se caractérise par une diversité floristique et faunique exceptionnelle. En effet, les espèces recensées sont au nombre de **909** espèces dont **123** y sont protégées par la législation.

3.4.1. Flore :

Trois-quart de la superficie du parc est couvert de peuplements forestiers. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), le chêne-zeen (*Quercus faginea*), le chêne-vert (*Quercus ilex*) et le chêne-liège (*Quercus suber*) constituent les essences principales des peuplements forestiers.

La végétation du parc peut être divisée en quatre zones :

- * Maquis de chêne vert avec dominance de formations buissonnantes et épineuses ; et comme espèces indicatrices de dégradation le *Calycotome* et le *Genet*.
- * La subéraie occupe essentiellement le versant sud, avec comme espèces dominantes : le *Quercus suber* et des buissons de *Quercus ilex* et *Calycotome spinosa*.
- * La cédraie du versant nord où le recouvrement des arbres est très important ; c'est l'une des plus belles cédraies d'Algérie avec des arbres de première grandeur constituant de très hautes futaies.
- * La cédraie du versant sud se rencontre dans les hauteurs avec dominance du chêne-zeen.

Comme autres espèces on y rencontre : *Pistacia atlantica*, *Acer monspessulanum*, *Fraxinus angustifolia*, *Ulmus campestris*, *Juniperus oxycedrus*, *Crataegus oxycantha*, *Alchemilla arvensis*, *Alliaria officinalis*, *Allium triquetrum*, *Alyssum montanum*, *Ammoides atlantica*, *Ampelodesma mouritanicum*, *Asparagus acutifolius*, *Asphodelus microcarpus*, *Bromus madriensis*, *Calycotome spinosa*, *Daphne gnidium*, *Ferula communis*, *Genista tricuspidata*, *Geranium malvae florum*, *Geum sylvaticum*, *Hedra helix*, *Ranunculus bullatus*, *Taraxacum laevigatum*, *Urginea maritima* ... etc.

Des espèces de *mousses*, de *lichens* et de *champignons* y sont très abondantes.

3.4.2. Faune :

On y enregistre 458 espèces réparties comme suit :

- Dix sept (17) mammifères dont dix (10) espèces protégées ;
- Quatre vingt quinze (95) oiseaux dont vingt neuf (29) espèces protégées ;
- Dix huit (18) reptiles dont trois (03) espèces protégées ;
- Trois cent vingt trois (323) insectes dont trente (30) espèces protégées ;
- Cinq (05) amphibiens.

3.5. Contraintes et délits :

La cédraie de Theniet El Had, quoique régie en parc national, fait toujours l'objet de contraintes, essentiellement anthropiques. En dépit de ce statut et des efforts déployés par le service forestier, le parc demeure toujours soumis aux coupes illicites et aux pâturages répétés.

L'administration forestière du parc a enregistré durant la période **2001-2005** un nombre de 380 tiges ayant fait l'objet de coupes illicites.

Les incendies, quoique rares, y sont recensés durant la période **1995-2004** sur une superficie d'environ 100 ha. Notons qu'ils ne sont guère signalés dans les peuplements de cèdre.

3.6. Régénération :

Cette cédraie est caractérisée par une très faible régénération naturelle. Le stress hydrique et les pâturages répétés sont les principaux facteurs contraignant la régénération naturelle du cèdre.

Les troupeaux broutent les jeunes semis et les pousses tendres du cèdre et exercent une action destructrice sur le sol par piétinement et tassement des horizons superficiels (**Abdelhamid, 1999**).

La survie des jeunes plantules lors de la période estivale demeure insignifiante suite au faible développement du système racinaire (**Lecompte et Lepoutre, 1975 ; Ezzahiri et al., 1994**).

3.7. Dépérissement :

Signalé pour la première fois dans la cédraie de Theniet el had en 1848 par l'inspecteur des forêts **Cetto**, Chef du service forestier, l'administration procéda à l'assainissement de la forêt des cèdres dépéris en 1862, puis de 1867 à 1870 où des surfaces considérables ont été nettoyées en faisant appel à la main d'œuvre militaire (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**). Le service forestier assista à une reconstitution de la forêt par la présence d'une régénération abondante (**Lefebvre, 1894, 1900 in Zedek, 1993**). Encore une fois, lors de l'année 1984, le service forestier signala la présence de cèdres dépéris. Il dénombra au courant du mois de *Novembre 1984*, trois mille (3000) arbres morts sur pieds. Face à cette situation il procéda aux opérations d'assainissement, par des coupes de cèdres dépéris dès l'année 1990.

CHAPITRE 4

Matériel et méthode

4. Matériel et méthode :

4.1. Principe et objectif :

L'objectif de cette étude consiste à élucider l'influence de la densité comme étant un facteur prédisposant au phénomène de dépérissement au sein de la cédraie de Theniet el had. L'hypothèse étant déjà mise à l'étude par **Derak et al. (2008)** dans la cédraie de Sidi M'Guild au Maroc.

Si l'on se réfère à la situation rétrospective de la cédraie de Theniet el had, il en ressort qu'elle était déjà soumise au dépérissement lors de la période coloniale, soit en date de l'année 1848. Le déclin de ce fléau fut observé après que des militaires opérèrent à des abattages de centaines de cèdre, coupes réalisées sans qu'elles ne soient raisonnées et sans avis préalable du service forestier colonial. Dès lors, la densité et la manière avec laquelle se rencontrent les cèdres dépéris feront l'objet nodal de cette étude. C'est ainsi que les échantillons qui feront l'objet de récolte de données ne seront en fait que prélevés au niveau des taches de dépérissement. Le versant nord, celui où le dépérissement est le plus signalé fera l'objet de la zone d'étude.

4.2. Méthodologie d'étude :

Pour une méthodologie expérimentale objective et rationnelle d'étude du dépérissement du cèdre, nous avons opté au préalable de nous assigner à une prospection sur terrain au niveau du versant nord de la cédraie. Il en ressort que :

- La pente est très variable avec des zones inaccessibles (pente abrupte) ;
- Peuplements non soumis aux pratiques d'aménagement ou de sylviculture ;
- Répartition chaotique des tiges ;
- Répartition par taches du dépérissement.

4.2.1. Mise en place du dispositif expérimental :

4.2.1.1. Installation des placettes :

Les placettes installées au niveau du massif, au nombre de trente (30), sont focalisées au sein des tâches de dépérissement (**Fig.4.1**).

Dans le cadre de l'objectif préalablement retenu, deux formes de placettes y sont installées : *circulaires* et *rectangulaires*.

Les placettes circulaires y sont disposées de manière concentriques au vu des précisions et de la facilité de leur emploi (Lecomte et *al.*, 1994 ; Rondeux et Lecomte, 2005 ; Inventaire forestier national, 2006). A partir du centre de la première placette de 2 ares, celle-ci est suivie de celles circulaires et concentriques respectivement de 4, 5 et 10 ares (Fig.4.2).

La forme circulaire des placettes est retenue dans le cadre de récolte des données dendrométriques et stationnelles. Ces placettes circulaires, faciles à délimiter, ne présentent pas de direction privilégiée (Palm, 1977 ; Parde et Bouchon, 1988).

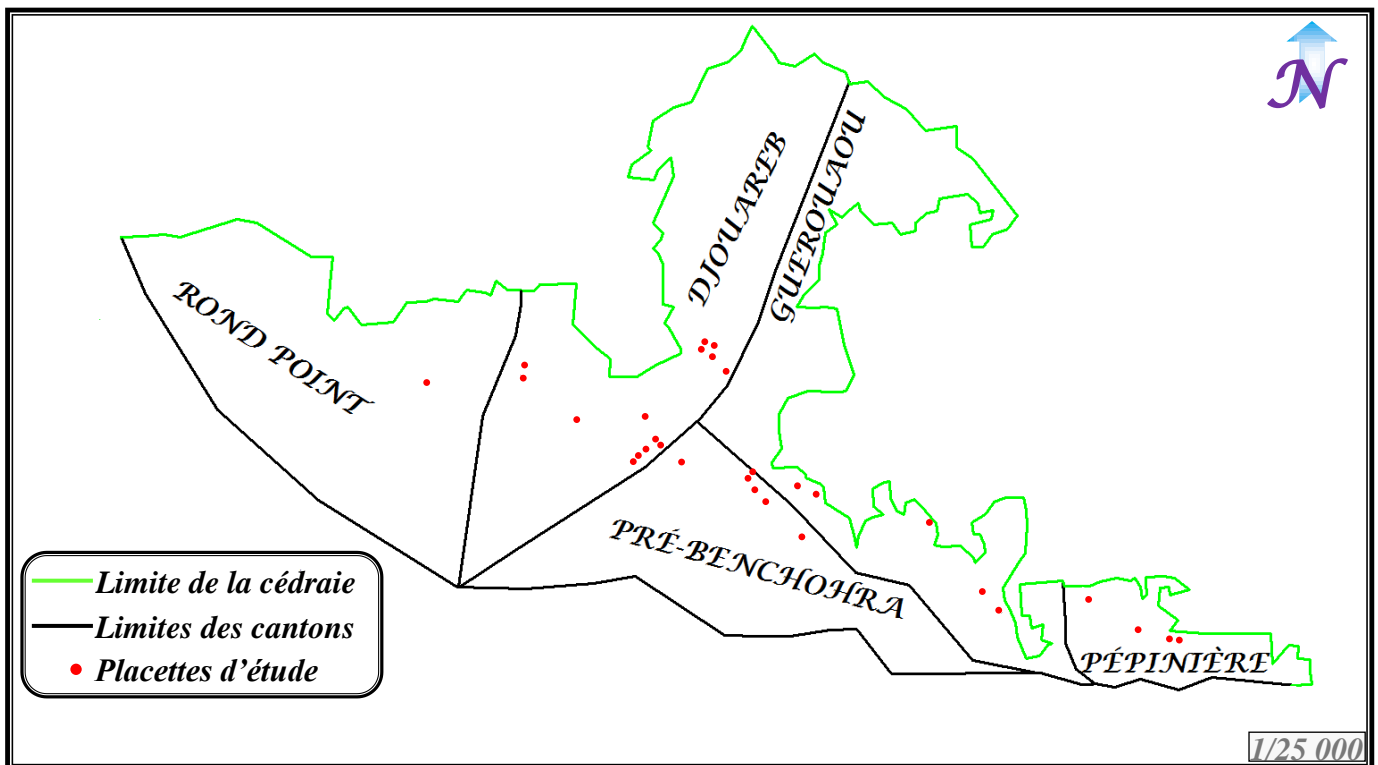


Fig.4.1 : Répartition des 30 placettes d'étude

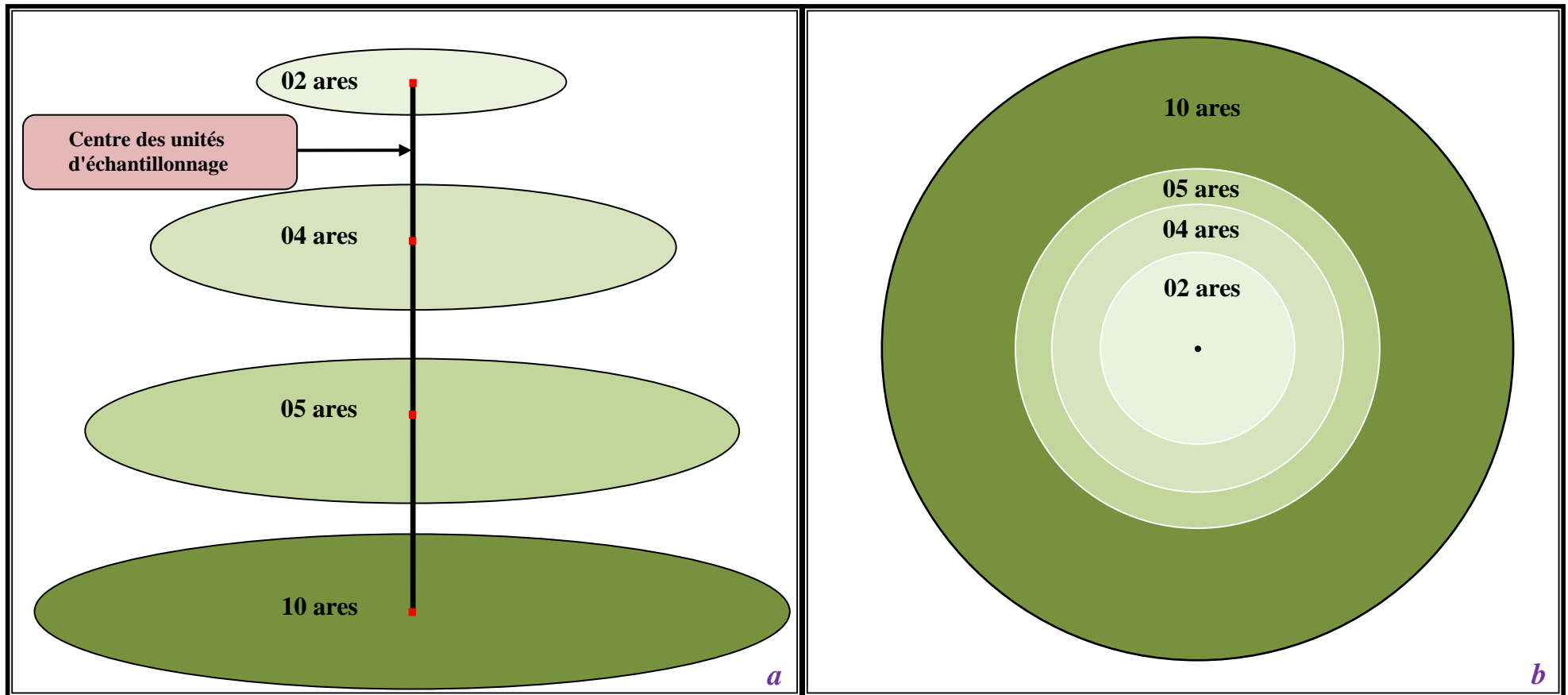


Fig.4.2 : Modèle de répartition des unités d'échantillonnage de la placette circulaire

a. Vue latérale ; b. Vue horizontale

Les placettes rectangulaires, d'une superficie de 2 ares, feront l'objet de récolte essentiellement de données dendrométriques dans le but de mieux pouvoir élucider la particularité spatiale des cèdres. Cette démarche méthodologique concourt à mettre en évidence le taux de dépérissement recensé en relation avec la répartition spatiale des tiges. C'est alors que, en l'absence d'opérations sylvicoles, et comme le peuplement est issu naturellement, il y a lieu de rechercher d'éventuelles relations causales de ces particularités énoncées pouvant être éventuellement à l'origine de ce dépérissement. En outre, l'espace vital demeure indispensable à la vitalité et à la vigueur des arbres (**Otto, 1998**). Cette évidence est d'ailleurs observée et signalé pour le noyer en France (**Administration des Eaux et des Forêts, 1930**).

4.2.1.2. Délimitation des placettes :

Les placettes **circulaires** y sont délimitées à l'aide de la mire de PARDE (placée au centre des quatre unités d'échantillonnage) et le viseur dioptrique du dendromètre Blume-Leiss. Cette délimitation est à l'origine de la formulation suivante (**Palm, 1977**) :

$$\mathbf{D = 3\sqrt{(S/ \pi)}}$$

Avec : **-D** : Distance entre les deux voyants de la mire en terrain horizontal ;
 -S : Surface du cercle à installer sur le terrain.

Lors d'un terrain incliné, une correction sur les distances entre les deux voyants de la mire est à recommander de telle sorte que (**Palm, 1977; Rondeux, 1993**) :

$$\mathbf{D' = D/\cos \alpha}$$

Avec : **-D'** : Distance entre les deux voyants de la mire en terrain incliné ;
 -α : Pente de terrain en degrés.

Au même endroit que la placette circulaire, les placettes **rectangulaires** y sont installées par le biais du mètre ruban sur une largeur de 10 m et une longueur de 20 m, soit une superficie de 2 ares (**Fig.4.3**). Lors d'un terrain incliné, la distance linéaire est corrigée selon la formulation suivante (**Rondeux, 1993**) :

$$\mathbf{L' = L/\cos \alpha}$$

Avec :

- L' : Largeur du rectangle en terrain incliné ;
- L : Largeur du rectangle en terrain horizontal ;
- α : Pente de terrain en degrés.

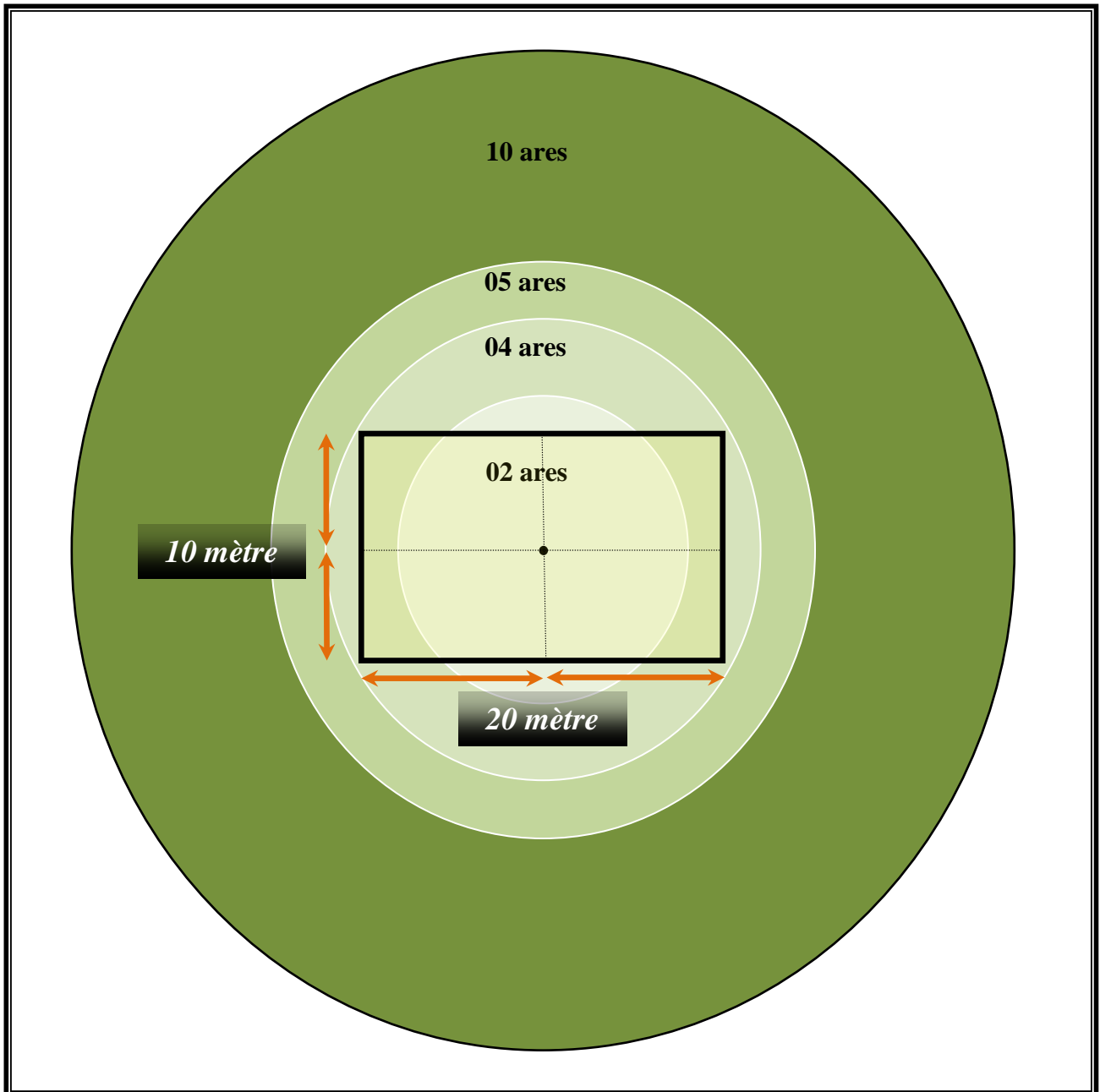


Fig.4.3 : Modèle d'installation de la placette rectangulaire

4.2.1.3. Récolte des données :

Les données ont fait l'objet de récolte selon que les placettes étant circulaires ou rectangulaires (**Annexe 1 et 2**).

4.2.1.3.1. Récolte des données dans les placettes circulaires :

Dans chaque placette, les tiges étant numérotées et les informations à récolter relèvent de celles des caractéristiques stationnelles et dendrométriques suivantes :

-Caractéristiques stationnelles : altitude, exposition, pente, microrelief et propriétés physico-chimiques du sol. Celles-ci étant déterminées sur la base de prélèvement d'échantillons par le biais de la tarière pédologique. A raison d'un relevé par placette, chaque échantillon est prélevé au niveau de l'horizon **A₁**, soit celui qualifié d'**horizon organo-minéral** du fait qu'il renferme les éléments organiques et minéraux (**Riou-nivert, 2005 ; Drénou, 2006**).

-Caractéristiques dendrométriques : les mesures dendrométriques effectuées au niveau des tiges relèvent des variables suivantes : circonférence à 1,30 m, hauteur totale, pour toutes les espèces, en plus, hauteur du houppier, hauteur jusqu'à la base du houppier, hauteur de la cime morte et la circonférence des souches de cèdre coupé pour le cèdre.

Par ailleurs, l'état de santé des tiges de cèdre, retenu d'ordre symptomatologique, est identifié par le biais des caractères suivants : maladies du feuillage, production des cônes, évaluation des dégâts du houppier par tiers et forme de la tige.

4.2.1.3.2. Récolte des données dans les placettes rectangulaires :

Les tiges relevant de chaque placette rectangulaire étant déjà numérotées lors de l'installation des placettes circulaires. Dès lors, en plus des données récoltées lors de celles prélevées dans les placettes circulaires, le dispositif étant comme suit :

-Mesure de la distance entre l'arbre et les deux axes du rectangle (A et B) afin de schématiser la répartition spatiale des arbres (**Fig.4.4**) ;

-Mesure des quatre rayons de la cime avec les expositions correspondantes (**Fig.4.5a et 4.5b**). Ces mesures permettent d'évaluer l'état de recouvrement et la symétrie de la cime.

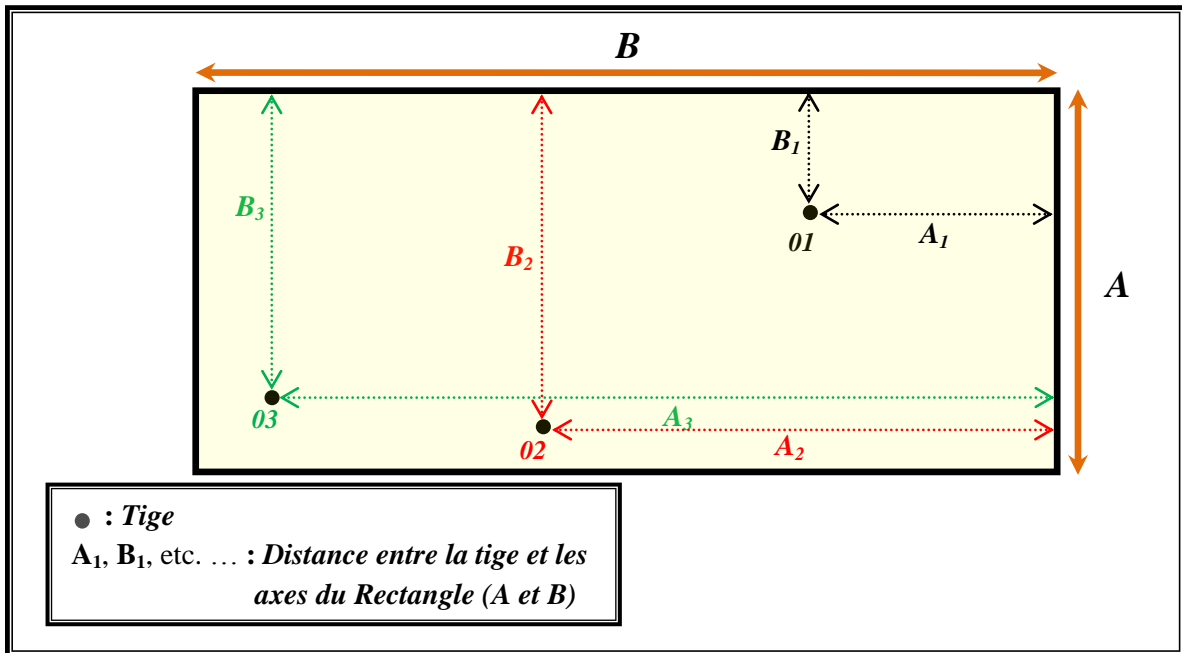


Fig.4.4 : Modélisation de la répartition des tiges dans la placette rectangulaire

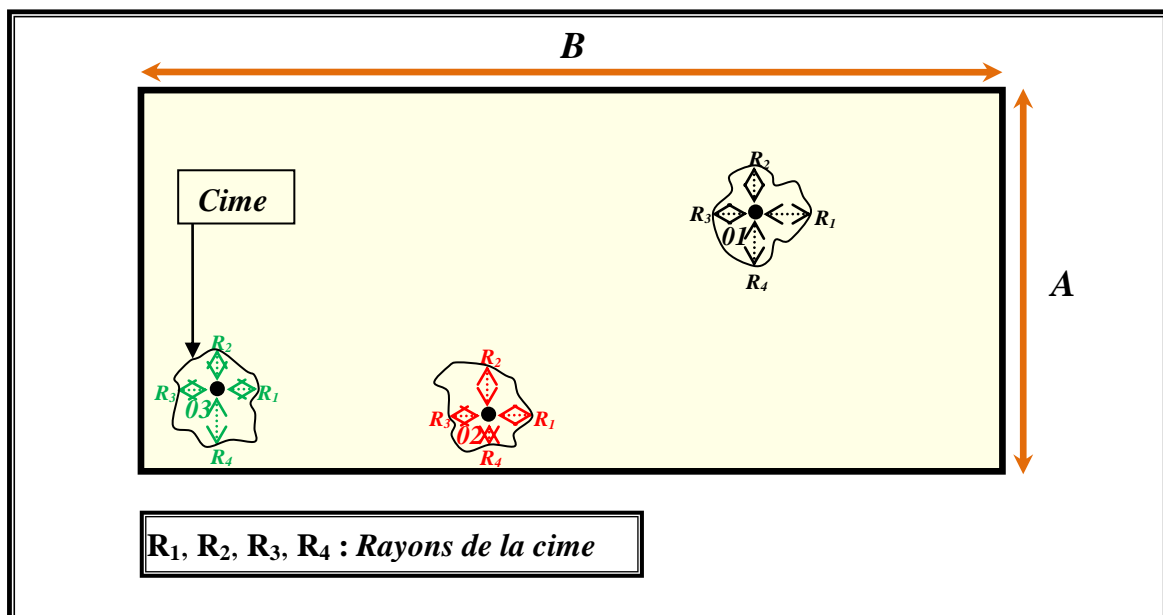


Fig.4.5a : Mesure des rayons de la cime **vue horizontale**

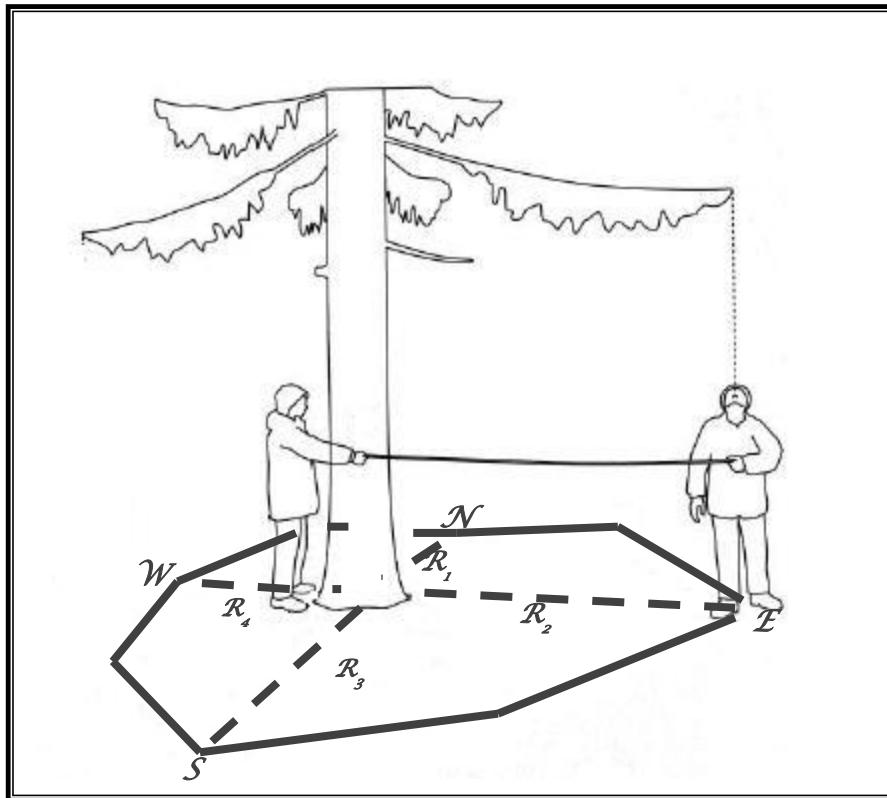


Fig.4.5b : Mesure des rayons de la cime **vue latérale**

TROISIEME PARTIE

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 5

Structure et analyse du dépérissement
du cèdre de l'Atlas

5. Structure et analyse du dépérissement du cèdre de l'Atlas :

5.1. Structure des peuplements échantillonnés :

Il s'agit d'identifier la structure des peuplements forestiers ayant fait l'objet d'inventaire à travers les 30 unités d'échantillonnage. Cette structure aura pour corollaire la mise en évidence de la variabilité dendrométrique des cèdres, particulièrement ceux dépéris (Bouchon, 1979).

Les espèces recensées, en présence du cèdre, sont celles principalement le **chêne vert**, le **chêne zeen**, et à une présence moindre le **chêne liège** et le **genévrier oxycèdre**.

Lors de l'installation des placettes, toutes les espèces qui s'y trouvent, en plus d'être recensées ont fait également l'objet de mesures dendrométriques, essentiellement, de circonférence à 1.30m et de hauteur totale. Ces mesures serviront à mieux élucider de manière entière et totale la structure actuelle du massif ayant servi à l'étude du dépérissement du cèdre. Le **Tableau 5.1**, sur la base de caractéristiques statistiques usuelles, illustre davantage cette composition structurelle des essences forestières inventoriées.

Tableau 5.1. Caractéristiques dendrométriques des espèces inventoriées

| | | Cèdre de l'Atlas | Chêne vert | Chêne zeen | Chêne liège | Genévrier oxycèdre |
|--|----------------|------------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|
| Circonférence moyenne à 1.30m (m) | Minimale | 0.98 | 0.25 | 0.45 | 0.68 | 0.23 |
| | <i>Moyenne</i> | 1.54 | 0.52 | 1.19 | 0.81 | 0.63 |
| | Maximale | 2.12 | 0.95 | 2.07 | 0.94 | 1.01 |
| Hauteur totale moyenne (m) | Minimale | 8.35 | 2.50 | 9 | 3.75 | 3.00 |
| | <i>Moyenne</i> | 16.09 | 4.50 | 13.66 | 4.69 | 3.97 |
| | Maximale | 25.38 | 8.00 | 20.33 | 5.63 | 4.55 |
| Surface terrière totale (m ² /ha) | Minimale | 10.40 | 0.10 | 0.16 | 0.37 | 0.04 |
| | <i>Moyenne</i> | 33.46 | 3.83 | 4.52 | 0.89 | 3.45 |
| | Maximale | 71.39 | 9.74 | 9.66 | 1.41 | 6.76 |
| Densité totale (pieds/ha) | Minimale | 60 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | <i>Moyenne</i> | 169 | 146 | 27 | 15 | 78 |
| | Maximale | 420 | 460 | 70 | 20 | 190 |

5.1.1. Caractéristiques dendrométriques :

5.1.1.1. Chêne vert :

Espèce de l'étage montagnard, elle est associée au cèdre avec une proportion assez élevée par rapport aux autres espèces inventoriées. Elle est recensée à travers **28 placettes d'étude** avec une densité moyenne égale à 146pieds/ha. Sa circonférence et hauteur totale sont pratiquement faibles, d'une moyenne égale respectivement à 0.52m et 4.50m.

5.1.1.2. Chêne zeen :

Espèce recensée sur **13 placettes d'étude** de faibles altitudes avec une densité, de 27pieds/ha, beaucoup plus faible par rapport au chêne vert. Néanmoins, la circonférence moyenne et la hauteur totale se présentent plus importantes avec des valeurs égales, respectivement, à 1.19m et 13.66m

5.1.1.3. Chêne liège :

Trois sujets ont été inventoriés dans **2 placettes d'étude** sur le canton pépinière ce qui fait que sa densité est la plus faible de tous les peuplements recensés. Par ailleurs, la circonférence moyenne et la hauteur totale moyenne se converge à ceux du chêne vert, elles sont de l'ordre de 0.81m et 4.69m.

5.1.1.4. Genévrier oxycèdre :

Espèce moins exigeante aux conditions du milieu, recensée sur les basses altitudes à travers un nombre de **placettes d'étude** de l'ordre de **5**. La circonférence moyenne est de 0.63m et la hauteur totale moyenne est de 3.97m.

5.1.1.5. Cèdre de l'Atlas :

Nous tenons à présenter ici, avec plus de détail, l'ensemble des paramètres dendrométriques des peuplements de cèdre.

Le cèdre présente dans l'ensemble, du moins dans les placettes d'étude, les plus grandes dimensions de hauteur totale (**Fig.5.1**), de circonférence à 1.30m (**Fig.5.2**) et de surface terrière (**Fig.5.3**). Par ailleurs, la densité totale moyenne se rapproche à celle du chêne vert (**Fig.5.4**).

Pour mieux comprendre les caractéristiques dendrométriques du cèdre de l'Atlas nous allons essayer de faire une description plus profonde des peuplements à travers les placettes échantillonnées par l'étude de la variabilité de :

- ✓ La hauteur totale moyenne ;
- ✓ La surface terrière totale ;
- ✓ La circonférence moyenne à 1.30m ;
- ✓ La densité totale ;
- ✓ La hauteur dominante ;
- ✓ Le volume total ;
- ✓ La circonférence dominante ;
- ✓ La longueur du houppier et du fût.

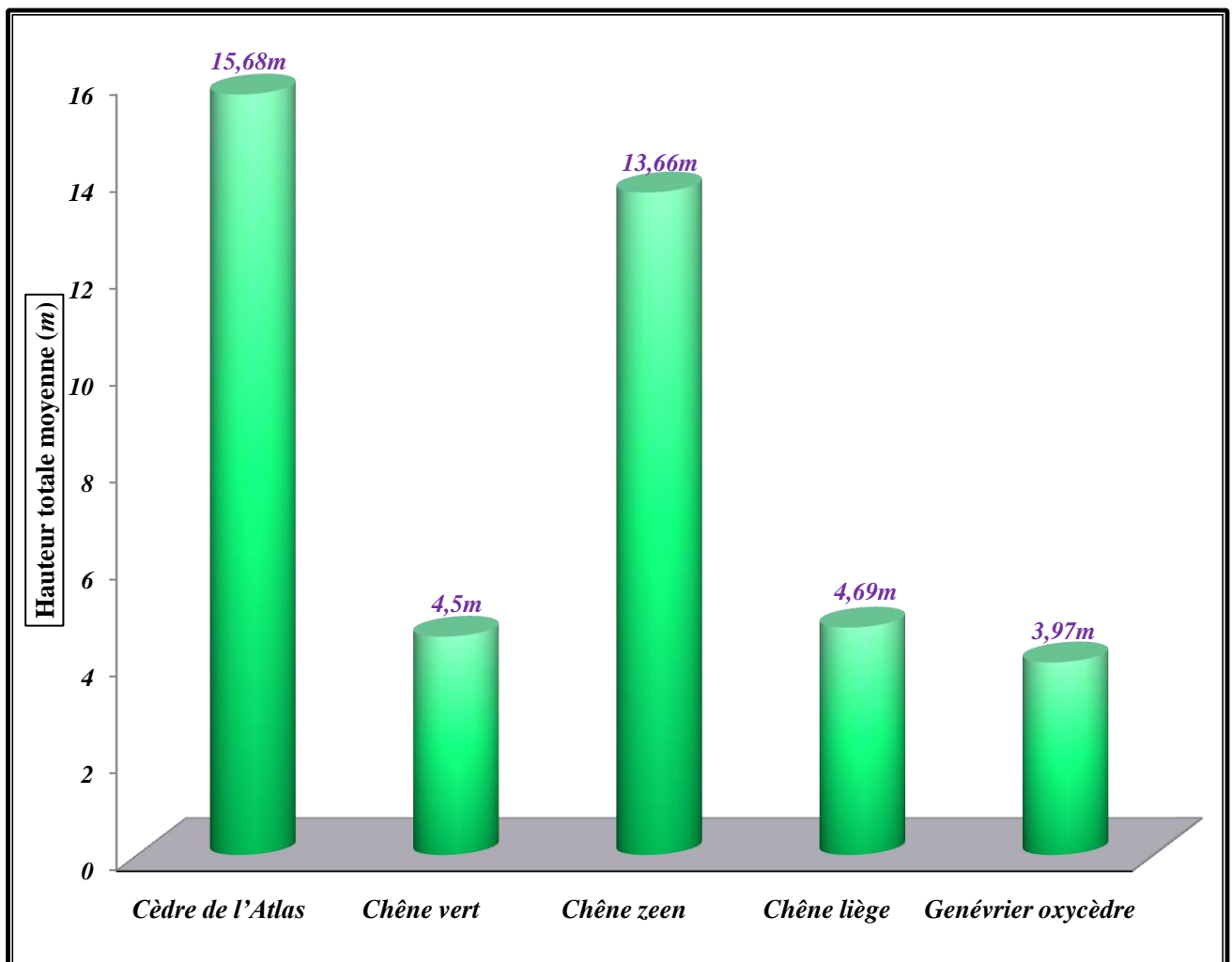


Fig.5.1 : Hauteurs totales moyennes des espèces inventoriées

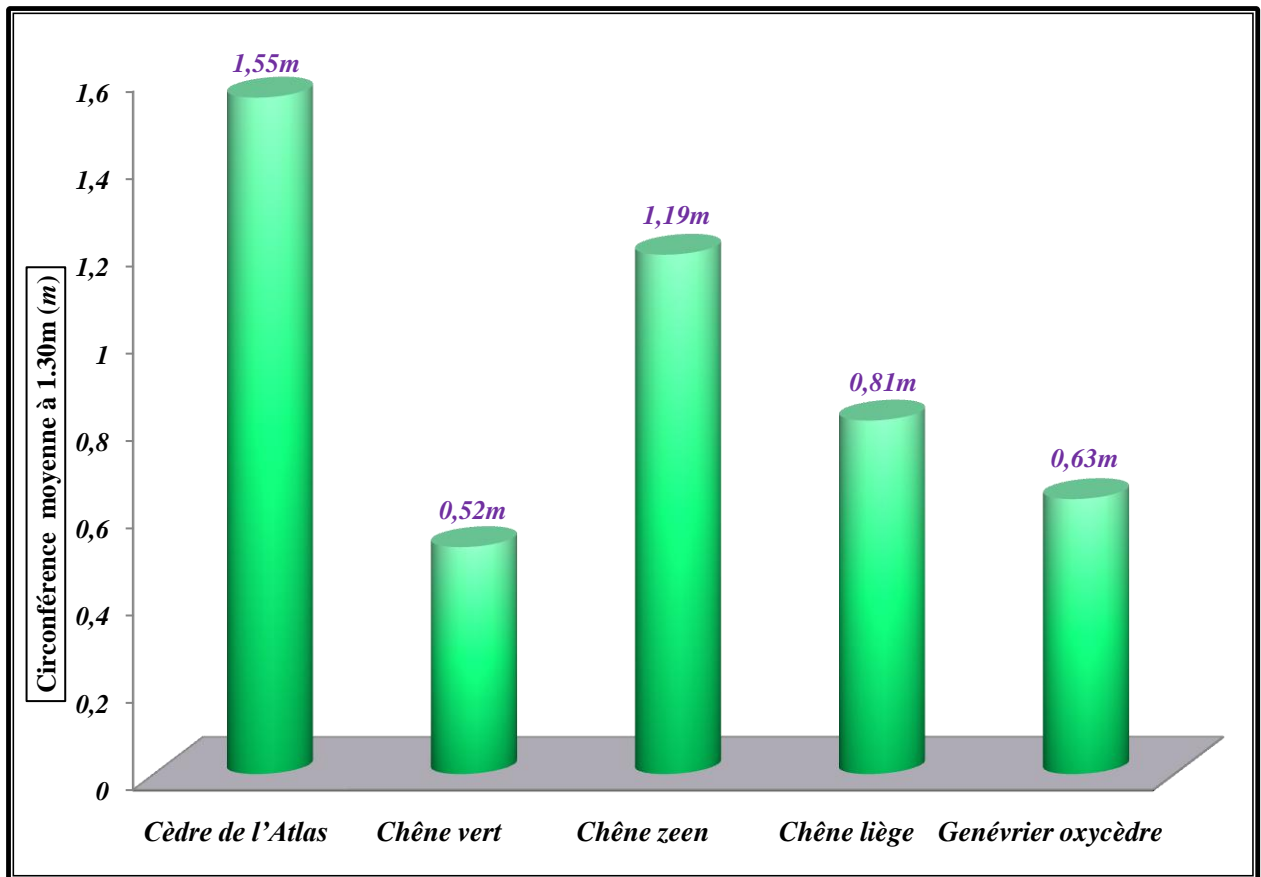


Fig.5.2 : Circonférences moyennes à 1.30m des espèces inventoriées

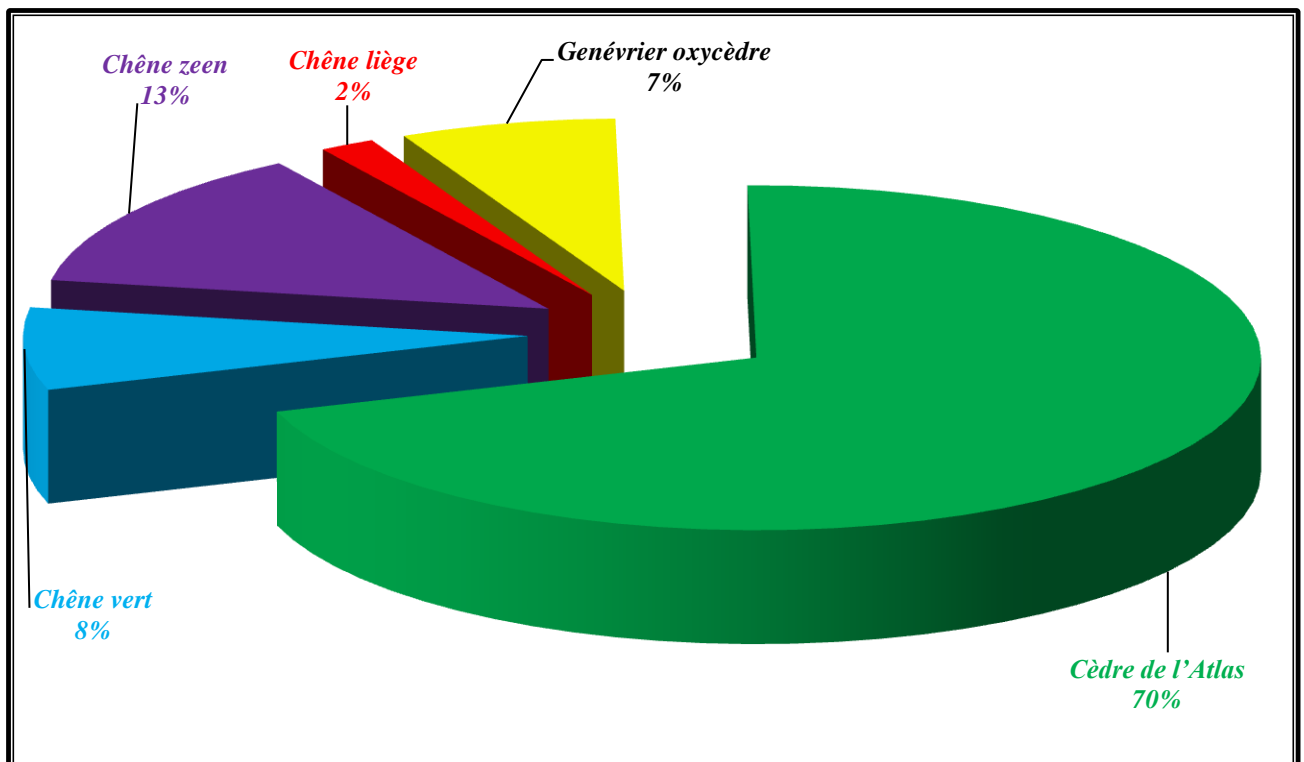


Fig.5.3 : Fréquences relatives des surfaces terrières totales des espèces inventoriées

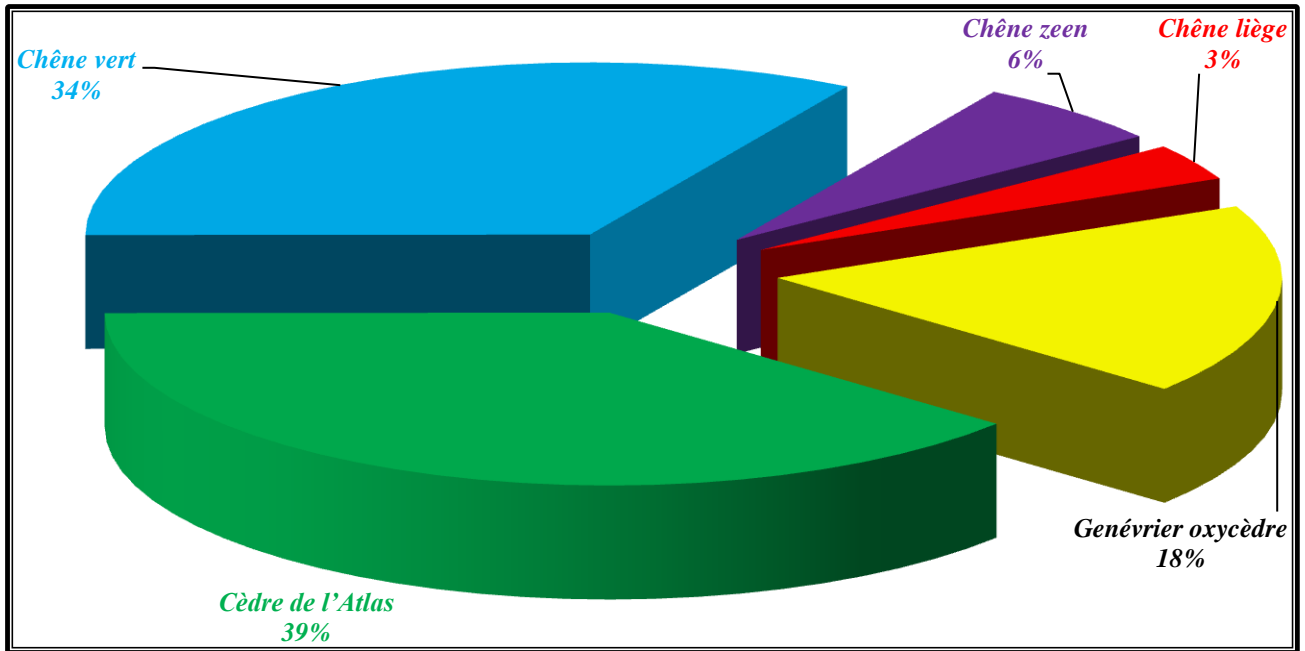


Fig.5.4 : Fréquences relatives des densités totales des espèces inventoriées

5.1.1.5.1. Circonférence moyenne 1.30m :

Les peuplements de cèdre échantillonnés présentent, pour la majeure partie, soit une fréquence relative supérieure à 60%, des circonférences comprises entre 1.17m et 1.74m ; ce qui reflète un potentiel danger de disparition de la cédraie par la menace du fléau du dépérissement qui réside dans les peuplements adultes d'une part, et la rareté des peuplements des stades jeunes d'autre part (la fréquence relative la plus faible 10% seulement) (Fig.5.5).

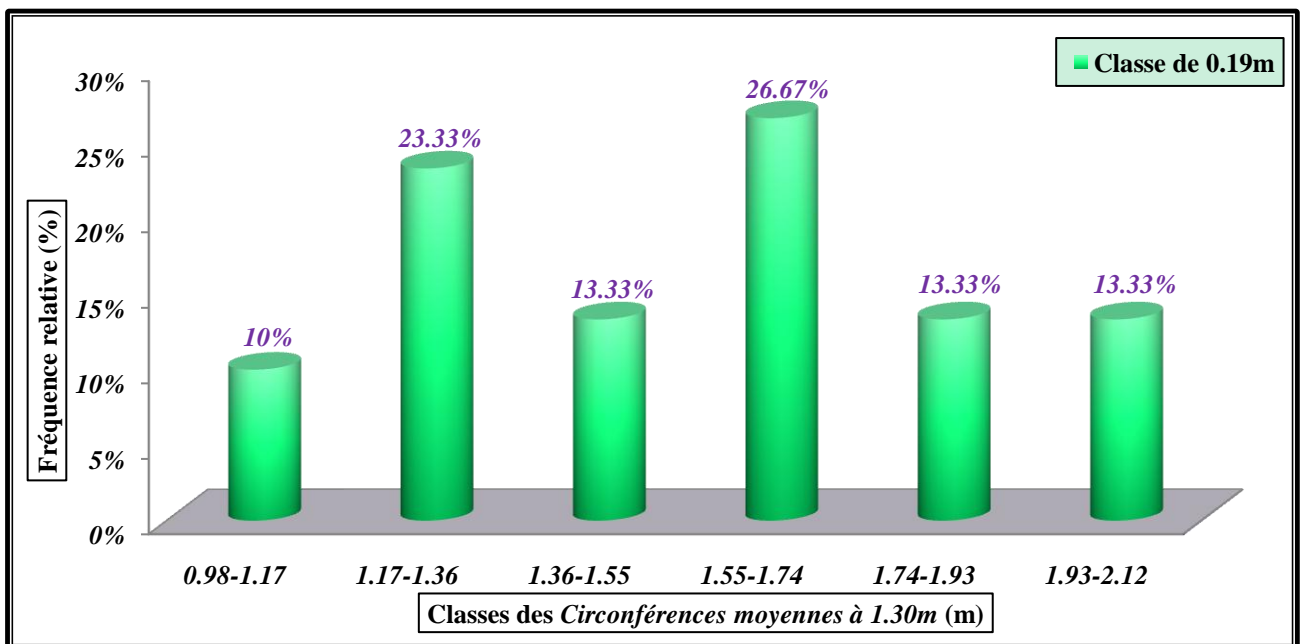


Fig.5.5 : Fréquences relatives des classes de Circonférence moyenne à 1.30m (Placettes : 10 ares)

5.1.1.5.2. Hauteur totale moyenne :

En se référant à la **figure 5.6** nous constatons une prépondérance des hauteurs totales moyennes, plus ou moins importante, variant de 11m à 19m sur la majeure partie des placettes d'étude soit d'une fréquence de plus de 70% des peuplements inventoriés. C'est dire une futaie adulte d'une hauteur assez appréciable n'en demeure pas moins qu'elle soit fortement touchée par le fléau du dépérissement menaçant la pérennité de la cédraie.

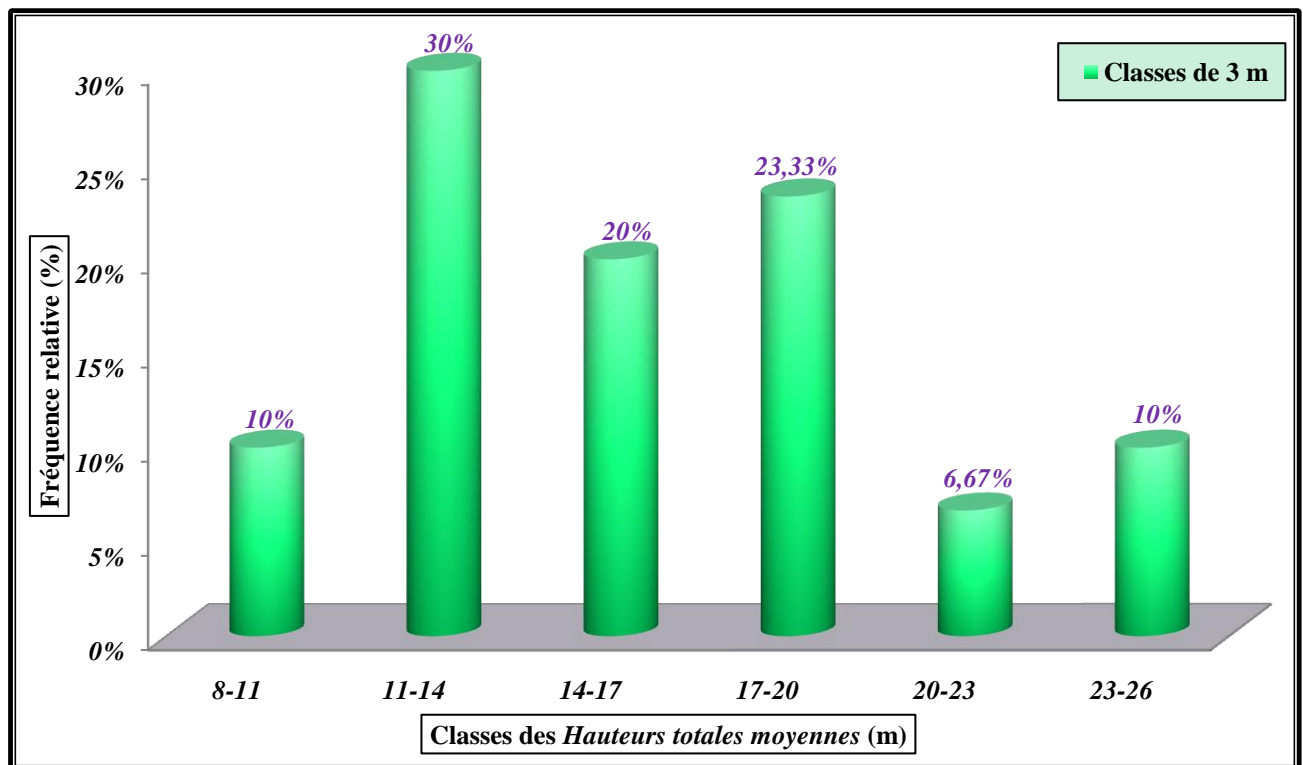


Fig.5.6 : Fréquences relatives des classes de Hauteur totale moyenne (Placettes de 10 ares)

5.1.1.5.3. Hauteur dominante :

Définie comme étant la moyenne des hauteurs totales des cent plus gros bois à l'hectare, elle est peu sensible aux traitements sylvicoles et est bien corrélée à la production totale en volume (Toth, 1973 ; Rondeux, 1993; Rondeux et al., 1995). A travers les placettes d'étude, on enregistre des hauteurs dominantes variant entre 11.37m et 28.17m avec une fréquence relative de 60% de prédominance des hauteurs dominantes variant entre 14.17m et 22.57m (Fig.5.7).

Comme la hauteur dominante est un bon indicateur de fertilité stationnelle, une recherche des niveaux de productivité des peuplements échantillonnés s'avère être indispensable (Dagnelie et al., 1999). Dès lors, si l'on se réfère à l'étude réalisée par Zedek (1993) dans la cédraie de

Theniet El Had, il en ressort que les peuplements échantillonnés relèvent des classes de productivité suivantes :

- 10% de peuplements échantillonnés relèvent de la classe de productivité 1 (hauteur dominante =18m) ;
- 63% de peuplements échantillonnés relèvent de la classe de productivité 2 (hauteur dominante =15m) ;
- 27% de peuplements échantillonnés relèvent de la classe de productivité 3 (hauteur dominante =12m).

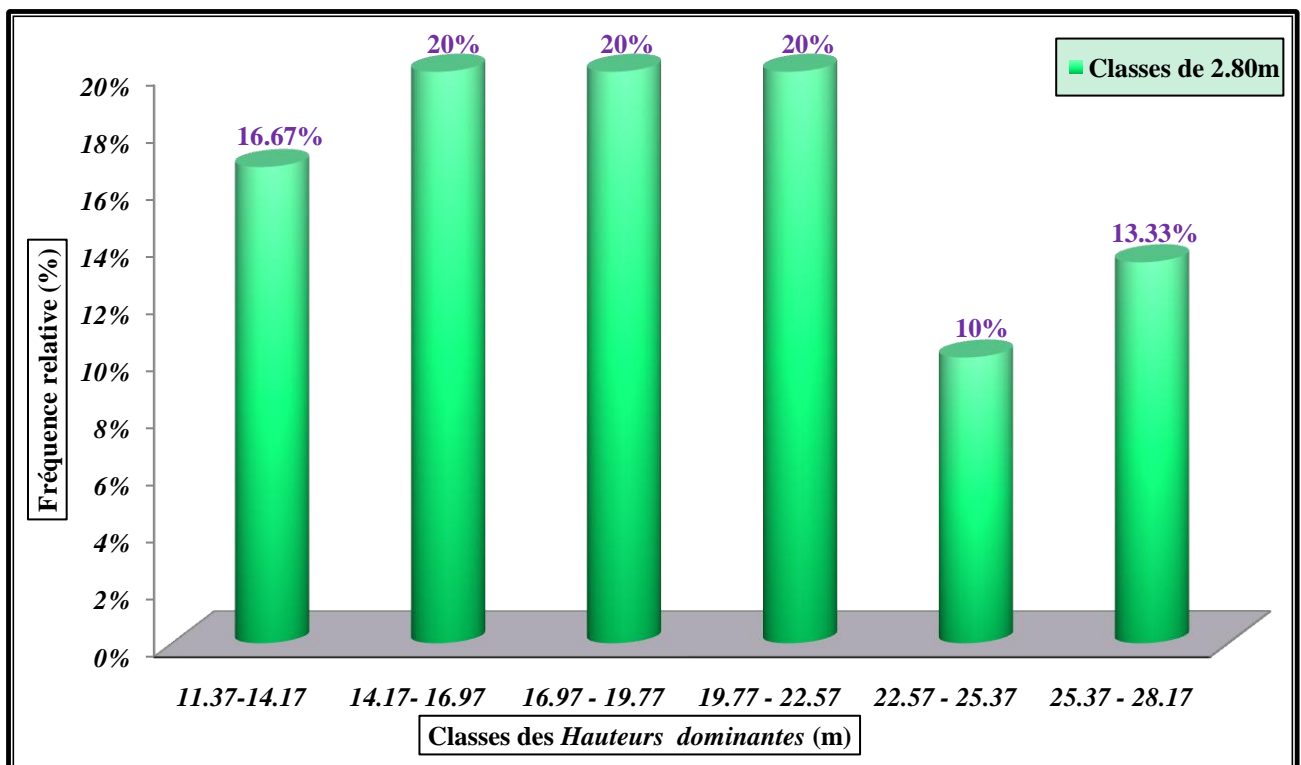


Fig.5.7 : Fréquences relatives des classes de Hauteur dominante (Placettes : 10 ares)

5.1.1.5.4. Circonférence dominante :

Elle correspond à la moyenne des circonférences dominantes des cent plus grosses tiges à l'hectare (**Rondeux, 1993**). La circonférence dominante varie entre 1.31m et 2.45m le long des placettes d'études avec une prédominance des circonférences dominantes variant entre 1.50m et 2.26m, soit une fréquence relative supérieure à 80% (**Fig.5.8**).

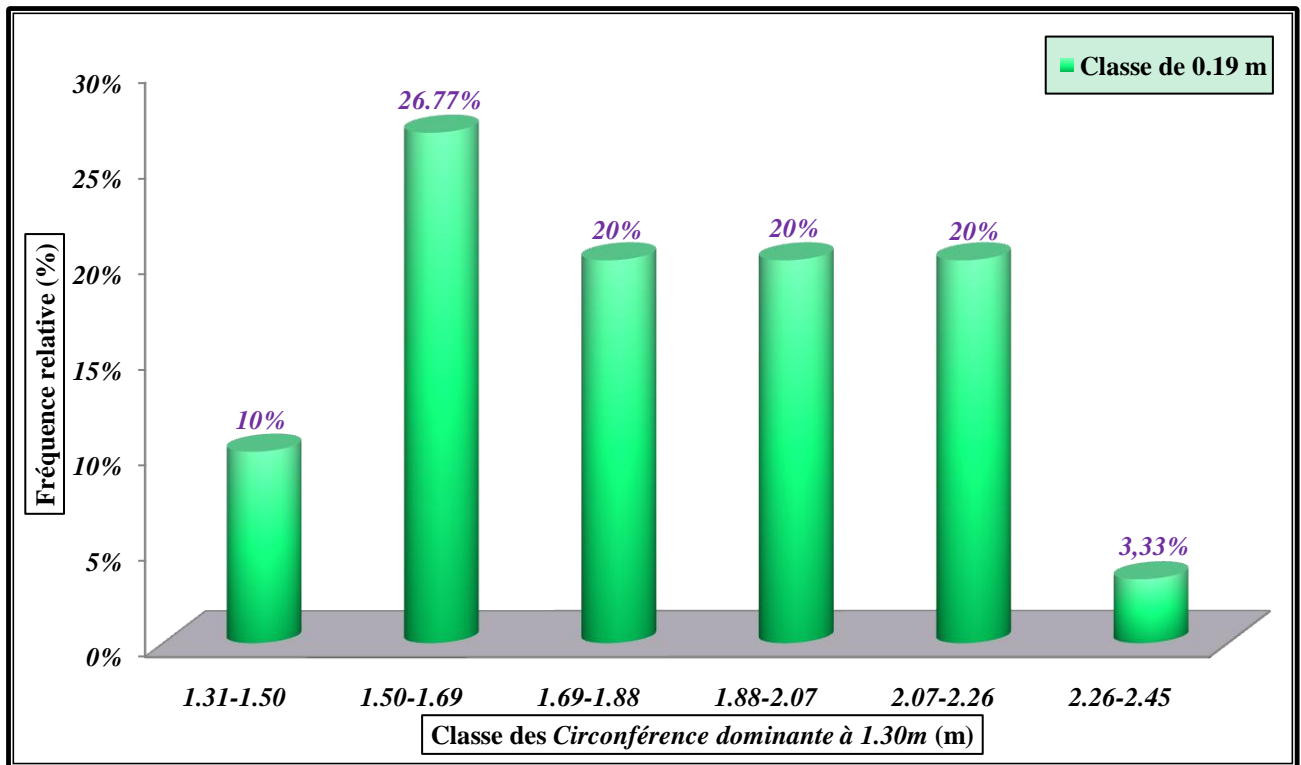


Fig.5.8 : Fréquences relatives des classes de Circonférence dominante (Placettes : 10 ares)

5.1.1.5.5. Surface terrière totale :

C'est un excellent indicateur de la densité d'un peuplement (Rondeux, 1993). A partir des données récoltées, il en ressort une relation inversement corrélée entre la grandeur des superficies des placettes et les surfaces terrières totales enregistrées. Le **Tableau 5.2** et la **figure 5.9** permettent de mieux apprécier cette évidence. Nonobstant l'étendue des aires, la surface terrière totale s'avère être liée non pas à la surface de l'unité mais plutôt à la densité totale. Celle-ci, au vu de cette variabilité, demeure alors liée à la disposition sociale des tiges à travers l'espace.

Tableau.5.2 : Caractéristiques statistiques de la Surface terrière totale à travers les superficies des unités d'échantillonnage

| Surface terrière totale (m ² /ha) \ Superficie | 02 ares | 04 ares | 05 ares | 10 ares |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Minimale | 23.08 | 13.50 | 11.60 | 10.40 |
| Moyenne arithmétique | 51.06 | 39.98 | 37.55 | 33.46 |
| Maximale | 114.76 | 86.91 | 81.75 | 71.39 |

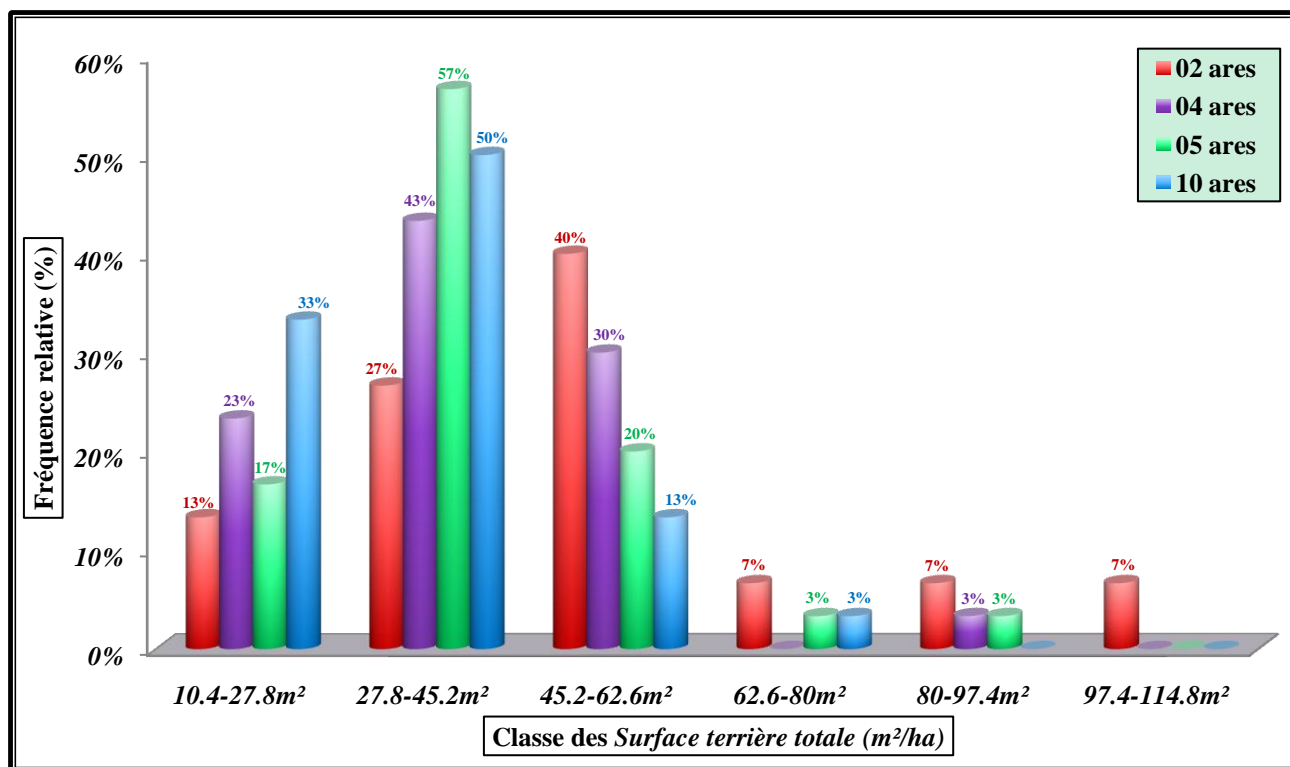


Fig.5.9 : Fréquences relatives des classes de Surface terrière totale à travers les unités d'échantillonnage

5.1.1.5.6. Densité totale :

La densité est une notion étroitement liée à la sylviculture. Elle est profondément liée à la concurrence entre les tiges et le taux de recouvrement dans un peuplement (Lemoine et Sartolou, 1980 ; Rondeux, 1993).

A partir des données statistiques enregistrées, la relation entre la densité des peuplements de cèdre et les superficies des unités d'échantillonnage est inversement proportionnelle (Tableau 5.3). Les densités sont grandioses dans les unités à faible valeur (Fig.5.10). La concurrence entre les tiges étant susceptible d'être présente, ce qui engendre des situations compromettantes à la vigueur et la vitalité des tiges.

Tableau.5.3 : Caractéristiques statistiques de la densité totale du cèdre à travers les unités d'échantillonnage

| Superficie \ Densité totale (pieds/ha) | Superficie | | | |
|--|------------|---------|---------|---------|
| | 02 ares | 04 ares | 05 ares | 10 ares |
| Minimale | 150 | 75 | 80 | 60 |
| Moyenne arithmétique | 237 | 197 | 185 | 169 |
| Maximale | 500 | 475 | 480 | 420 |

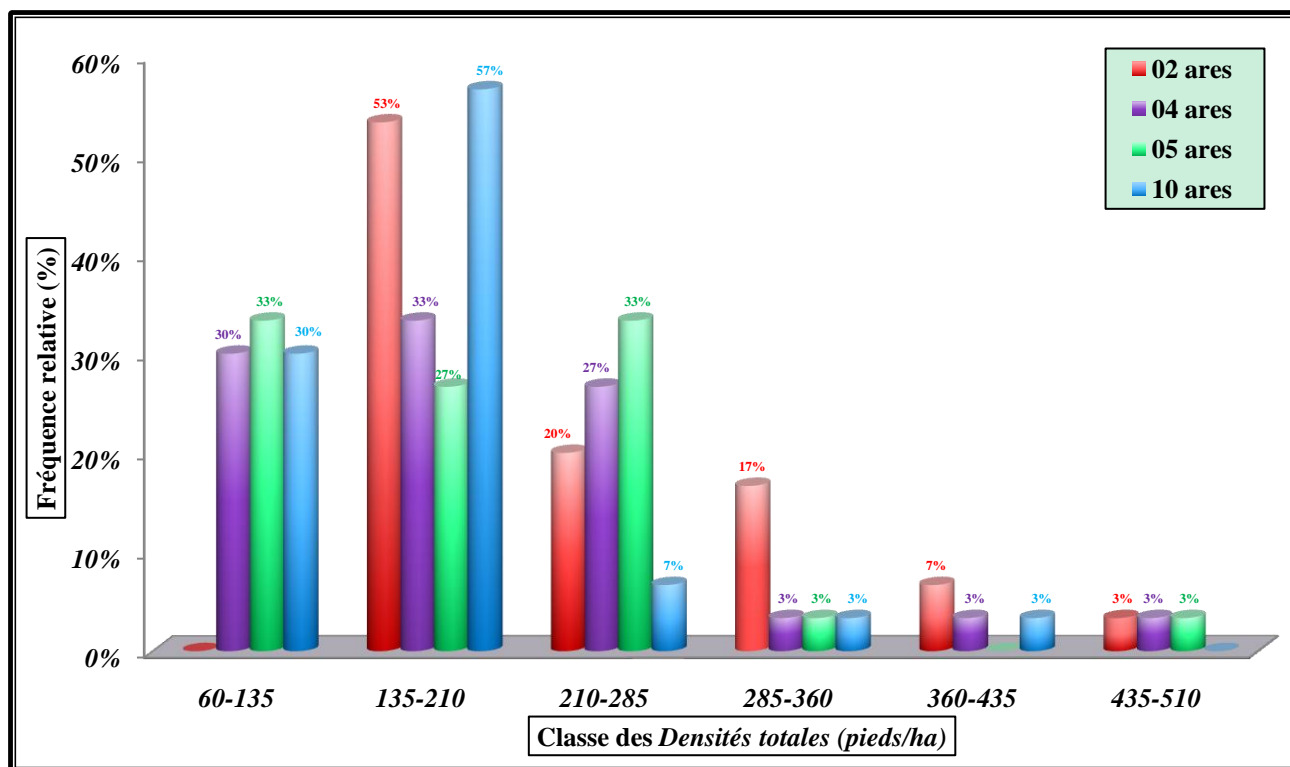


Fig.5.10 : Fréquences relatives des classes de densité totale du cèdre à travers les unités d'échantillonnage

5.1.1.5.7. Longueur du houppier et du fût :

La dimension du houppier, concourt davantage à la vitalité et à la vigueur de l'arbre. Un houppier développé et symétriquement disposé est un véritable signe révélateur d'une meilleure conduite sanitaire et d'une adaptation adéquate aux conditions du milieu qui y règnent.

La longueur du fut, variable qualitative de bois, est celle prédisposant les tiges à une éventuelle production de bois d'œuvre, voire même celles pouvant relever d'un peuplement porte-graines. Toutefois, cette qualité demeure tributaire des conduites d'aménagement dans un cadre de gestion forestière appropriée. Dans la cédraie de Theniet el had, cette dimension qualitative y est à l'origine naturelle ; les pratiques sylvicoles y demeurent non encore enregistrées.

Sur la base de ces considérations, on retient nécessaire de bien pouvoir mesurer ces dimensions à travers les peuplements de cèdre ayant fait l'objet d'échantillonnage. Les **figures 5.11** et **5.12** permettent de mieux visualiser l'allure de fréquences relatives respectivement des classes de longueurs du houppier et de celles du fut des tiges recensées.

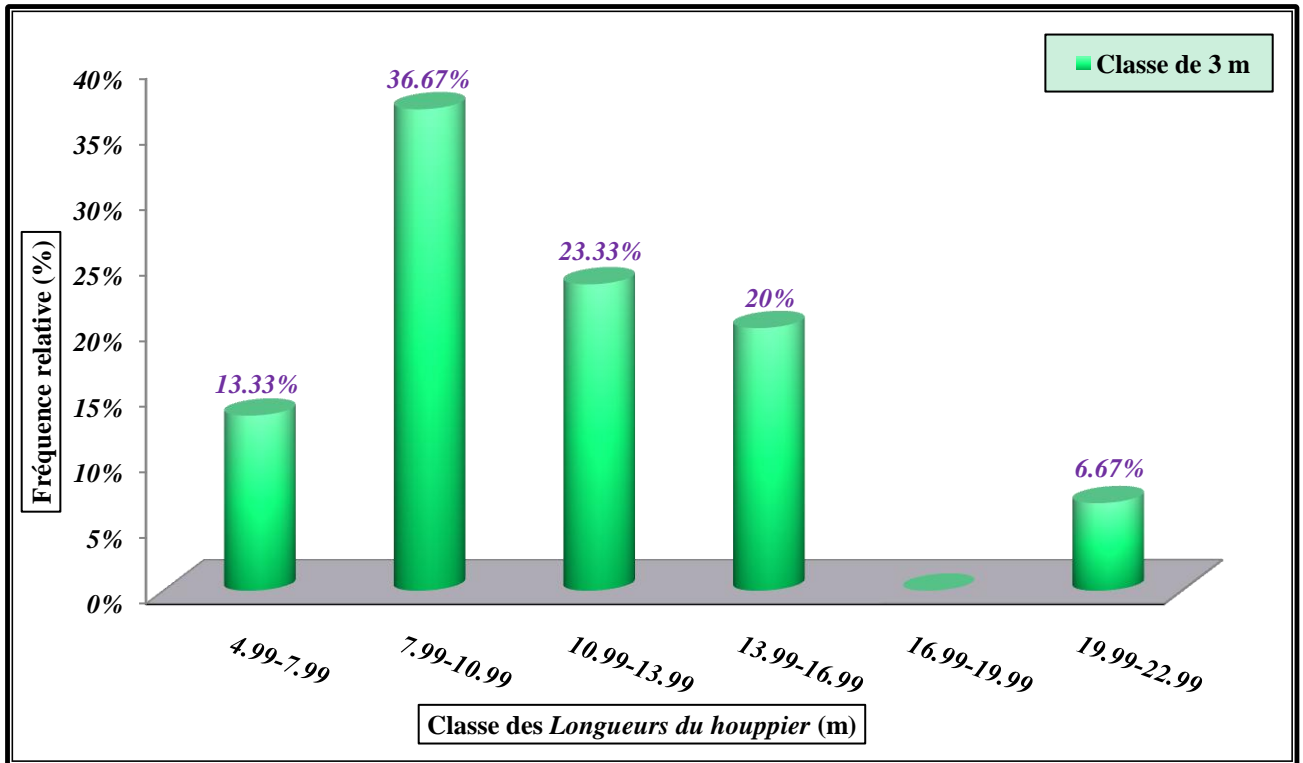


Fig.5.11 : Fréquences relatives des classes de longueur du houppier des tiges de cèdre recensées dans les placettes de 10 ares

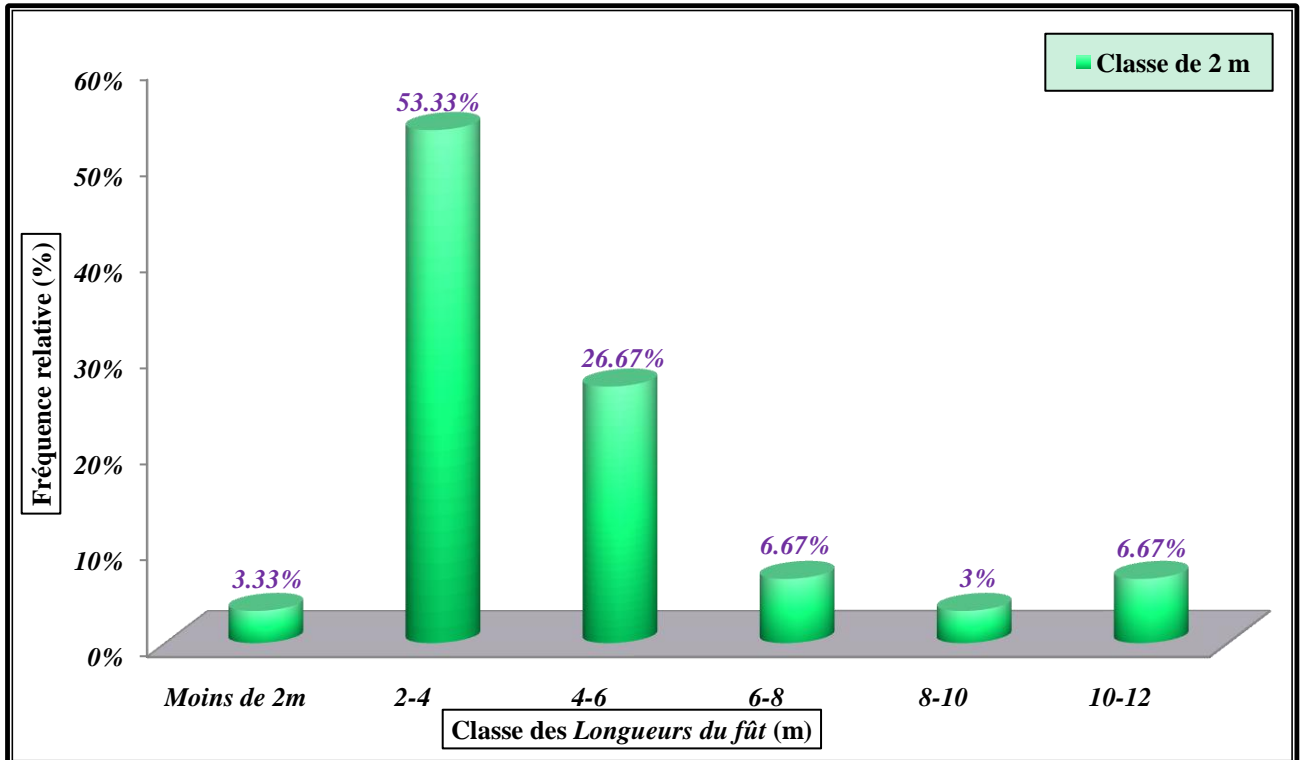


Fig.5.12 : Fréquences relatives des classes de longueur du fût des tiges de cèdre recensées dans les placettes de 10 ares

5.1.1.5.8. Estimation du volume :

5.1.1.5.8.1. Estimation du volume sur pied :

Le volume du bois sur pied (V_{sp}) de la cédraie est estimé à l'aide de l'équation de tarif de cubage à deux entrées « *circonférence à 1.30m* ($C_{1.30}$) et *hauteur totale* (H_t) (Courbet, 1991) » élaborée par Zedek (1993) sur le versant nord du massif de Theniet El Had.

$$V_{sp} = 0.791713 - 2.12704 C_{1.30} + 1.679322 C_{1.30}^2 - 0.22467 C_{1.30}^3 + 0.024315 C_{1.30}^2 H_t$$

Par le biais de cette formulation, le volume bois sur pied (estimé à l'hectare) présente les caractéristiques statistiques usuelles suivantes (Fig.5.13).

. Valeur minimale enregistrée : 153.70 m³/ha ;

. Valeur maximale enregistrée : 790.50 m³/ha ;

. **Moyenne arithmétique** : 336.72 m³/ha.

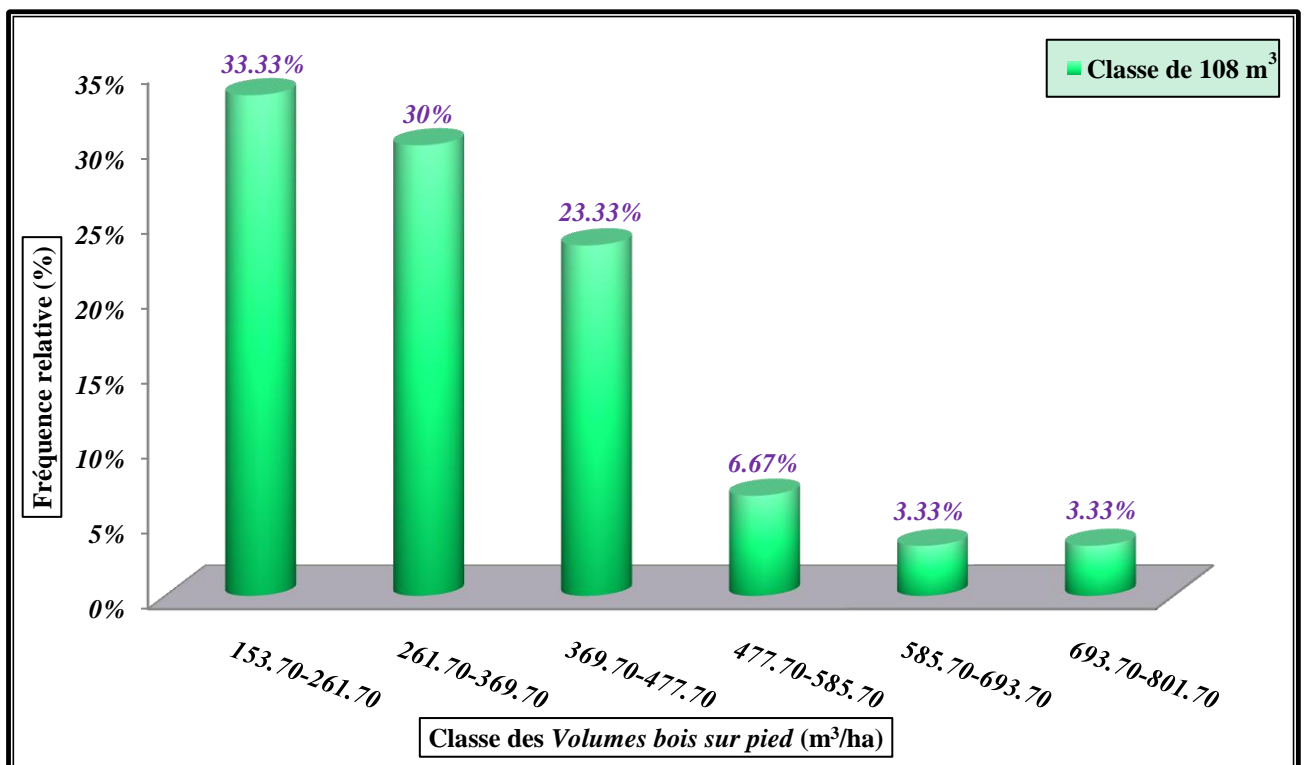


Fig. 5.13 : Fréquences relatives des classes du volume bois sur pied (Placettes : 10 ares)

5.1.1.5.8.2. Estimation du volume prélevé :

Dans l'ensemble, des souches de bois encore visibles sont enregistrées à travers les placettes d'étude. Il s'agit de bois coupés illicitement sans avis préalable du service forestier. De plus, comme il s'agit de bois produit, on ignore le volume élaboré. Dès lors, on recherche de mieux identifier cette production élaborée, puisque non recensée, à travers des formulations recommandées dans la littérature forestière.

Ainsi, pour pouvoir estimer le volume "coupé", celui-ci sera déduit par le biais d'une équation de tarif de cubage à une entrée (circonférence à 1.30m) élaborée par **Zedek (1993)**. Comme la variable "circonférence 1.30m" fait défaut, elle sera déduite à partir d'une relation linéaire au niveau de laquelle la circonférence à 20cm est celle de la variable explicative. On mesure les circonférences à 20cm pour les souches de bois et de celles des tiges encore sur pied. Comme celles-ci ayant déjà fait l'objet de mesure de circonférence à 1.30m, on procède par l'estimation de cette variables pour les tiges ayant été coupées par la relation $C_{1.30m} = f(C_{20cm})$.

Au total, **190 souches** de bois de cèdre ont fait l'objet de mesure de circonférence à 20cm à travers 26 placettes d'étude.

En effet, l'estimation du volume bois prélevé (V_p), comme signalée précédemment, est déduite par le biais de la formulation proposée par **Zedek (1993)** :

$$V_p = 0.626383 - 2.34687 C_{1.30} + 2.414881 C_{1.30}^2 - 0.27071 C_{1.30}^3$$

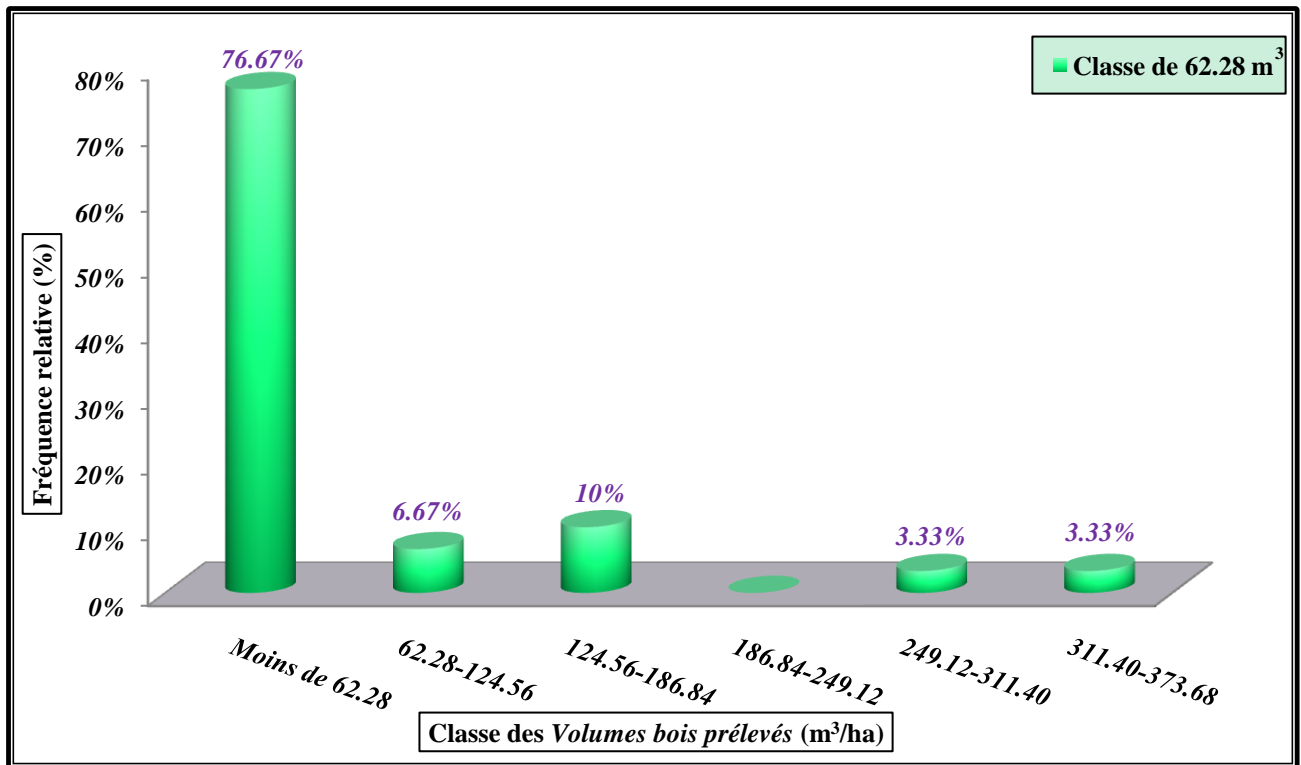
La circonférence à 1.30m du bois prélevé est estimée à partir d'une régression linéaire entre la circonférence à 1.30m ($C_{1.30}$) comme variable à expliquer et la circonférence à 20cm (C_{20}) comme variable explicative (**Zedek, 1993**). L'équation se présente ainsi :

$$C_{1.30} = 0.87 C_{20} - 0.06$$

Les caractéristiques statistiques usuelles des valeurs de volume bois prélevé estimé à l'hectare enregistrées au niveau des placettes d'étude peuvent être caractérisées ainsi (**Fig.5.14**).

.* Valeur maximale enregistrée : 365.60 m³/ha

.* **Moyenne arithmétique** : 59.42 m³/ha.



**Fig.5.14 : Fréquences relatives des classes du Volume bois prélevé
(Placettes : 10 ares)**

5.1.1.5.8.3. Estimation du volume total :

Le volume bois total (V_{tot}) correspond à l'ensemble des volumes tiges sur pied et des volumes tiges coupés.

La relation, simple dans son usage, est retenue comme suit : $V_{tot} = V_{sp} + V_p$

Les caractéristiques statistiques usuelles des valeurs de volume bois total estimé à l'hectare enregistrées au niveau des placettes d'étude présentent les caractéristiques suivantes (Fig.5.15) :

. Valeur minimale enregistrée : 153.70 m³/ha ;

. Valeur maximale enregistrée : 829.70 m³/ha ;

. **Moyenne arithmétique : 396.15 m³/ha.**

La distribution des classes du volume total présente une allure linéaire régressive. Cette allure est celle d'une distribution des volumes de bois relative à des peuplements d'une futaie irrégulière.

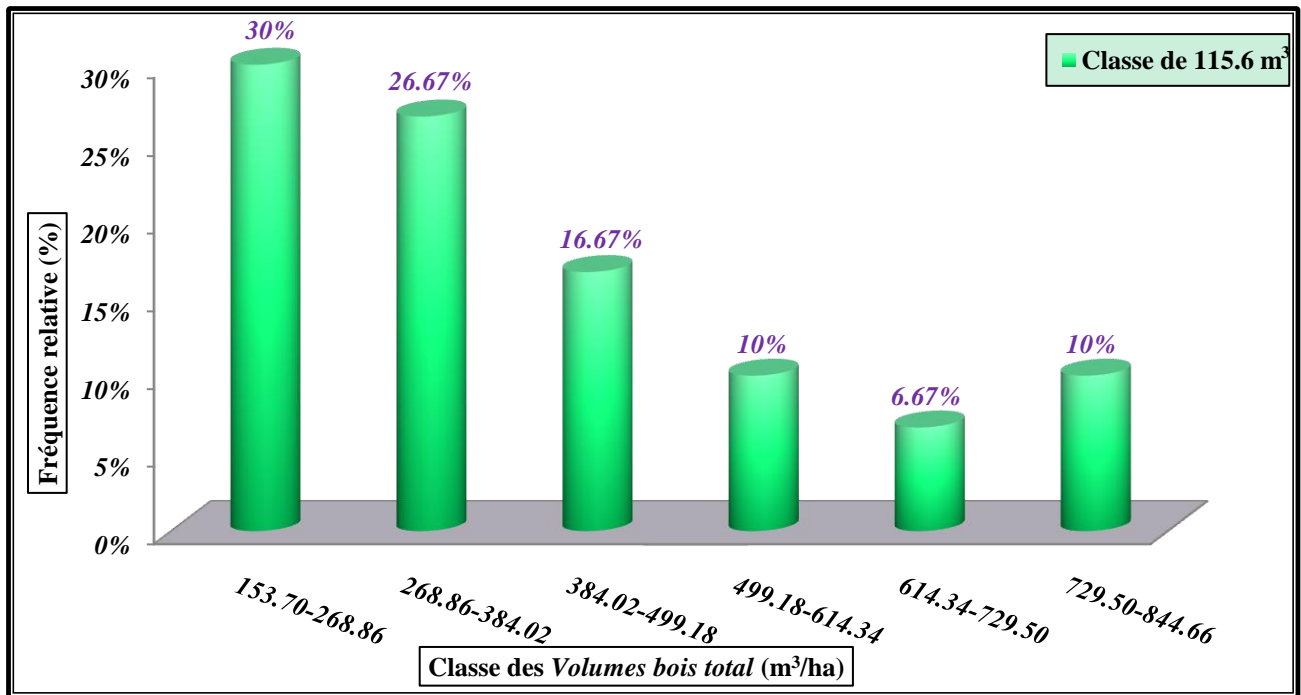


Fig.5.15 : Fréquences relatives des classes du Volume total (Placettes : 10 ares)

5.1.1.5.9. Synthèse des variables dendrométriques des peuplements de cèdre :

Le **Tableau 5.4** présente les principales caractéristiques dendrométriques des peuplements de cèdre recensés à travers les différentes superficies des unités d'échantillonnage de 2, 4, 5 et 10 ares.

Tableau 5.4 : Caractéristiques dendrométriques des peuplements de cèdre inventoriés à travers les différentes superficies des unités d'échantillonnage

| Superficie | 02 ares | | | 04 ares | | | 05 ares | | | 10 ares | | |
|--|---------|--------------|--------|---------|--------------|-------|---------|--------------|-------|---------|---------------|-------|
| | Mini. | Moy. | Maxi. | Mini. | Moy. | Maxi. | Mini. | Moy. | Maxi. | Mini. | Moy. | Maxi. |
| Hauteur totale moyenne (m) | 7.29 | 16.83 | 26.50 | 7.35 | 16.75 | 24.13 | 7.29 | 16.77 | 24.13 | 8.35 | 16.09 | 25.38 |
| Circonférence moyenne à 1.30 (m) | 0.84 | 1.63 | 2.46 | 0.86 | 1.63 | 2.29 | 0.85 | 1.61 | 2.20 | 0.98 | 1.54 | 2.12 |
| Hauteur dominante (m) | 9.50 | 19.99 | 27.75 | 11.54 | 19.55 | 29.38 | 11.31 | 19.28 | 28.40 | 11.37 | 18.98 | 27.80 |
| Circonférence dominante (m) | 1.15 | 1.96 | 3.70 | 1.20 | 1.90 | 2.83 | 1.24 | 1.87 | 2.63 | 1.31 | 1.83 | 2.43 |
| Surface terrière totale (m²/ha) | 23.08 | 51.06 | 114.76 | 13.50 | 39.98 | 86.91 | 11.60 | 37.55 | 81.75 | 10.40 | 33.46 | 71.39 |
| Densité totale (pieds/ha) | 150 | 237 | 500 | 75 | 197 | 475 | 80 | 185 | 480 | 60 | 169 | 420 |
| Longueur du houppier (m) | 1.57 | 12.13 | 22.59 | 4.16 | 12.28 | 22.59 | 4.28 | 12.30 | 22.59 | 4.99 | 11.82 | 22.13 |
| Longueur du fût (m) | 1.60 | 4.40 | 15.00 | 1.72 | 4.83 | 14.00 | 1.70 | 4.92 | 14.00 | 1.74 | 4.41 | 10.81 |
| Volume sur pied (m³/ha) | 141.0 | 494.3 | 1 419 | 122.8 | 405.8 | 959.0 | 101.0 | 380.5 | 886.6 | 153.7 | 336.7 | 790.5 |
| Volume prélevé (m³/ha) | 0.00 | 30.80 | 224.0 | 0.00 | 52.48 | 382.8 | 0.00 | 57.07 | 371.4 | 0.00 | 59.42 | 365.6 |
| Volume total (m³/ha) | 144.0 | 525.1 | 1 424 | 127.5 | 458.3 | 959.0 | 104.8 | 437.6 | 963.2 | 153.7 | 396.15 | 829.7 |

5.1.2. Caractéristiques descriptives des peuplements de cèdre :

On a jugé intéressant de bien pouvoir asseoir une identification qualitative de l'ensemble des tiges de cèdre ayant fait l'objet d'inventaire et de mesures dendrométriques. Cette conception concourt à mieux décrire les peuplements ayant servi de base de données à l'étude du dépérissement du cèdre dans le versant nord du Parc National. Les paramètres descriptifs retenus sont : *forme des tiges, maladies du feuillage, état sanitaire du houppier et production des cônes.*

5.1.2.1. Forme de tiges :

Une forme de tige rectiligne est une qualité fort recherchée du fait qu'elle présente une valeur marchande appréciée. Ainsi, au niveau de chaque peuplement de cèdre échantillonné la description de la forme des tiges est évaluée sur la base de la stratification suivante : *rectiligne, cassée, fourchue, tordue ou inclinée.* On relève que la forme rectiligne est celle qui prédomine davantage (**Fig.5.16**).

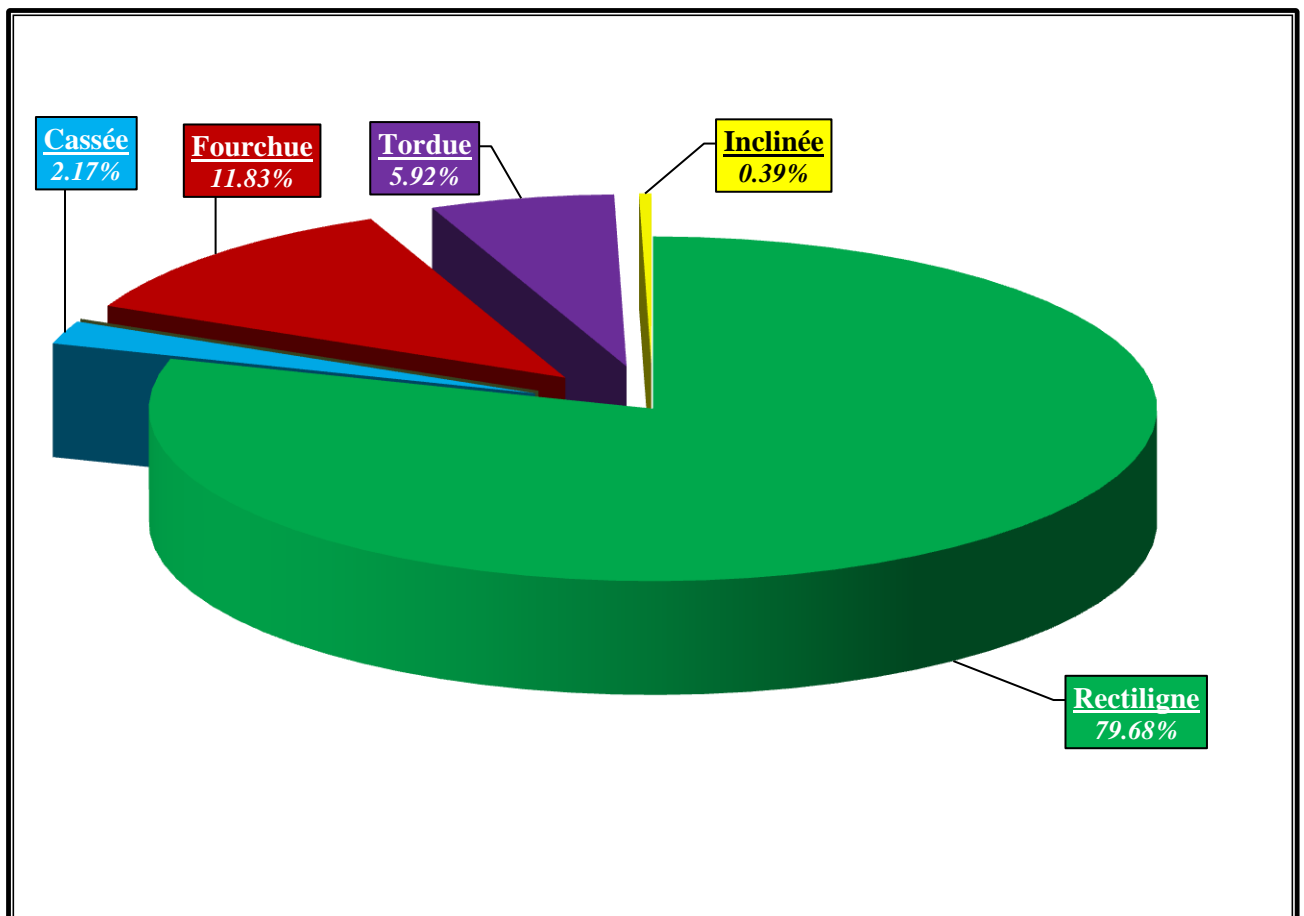


Fig.5.16 : Distribution en fréquence relative des formes des tiges recensées

5.1.2.2. Maladies du feuillage :

L'état sanitaire du feuillage (abondances et couleurs) reflète intégralement la vigueur d'un arbre du fait que le feuillage soit le siège de la photosynthèse. L'altération des feuilles par les maladies perturbe la croissance et en conséquence la vigueur de l'arbre se trouve compromise.

A partir des visualisations sur terrain, les critères qualitatifs du feuillage sont mis en évidence à travers la stratification suivante : *aucune maladie*, *chute des aiguilles*, *dépérissement du feuillage* et *dommages physiques*.

A travers la **Figure 5.17**, on relève que 66% de feuillage est jugé d'un bon état sanitaire. La strate relative à celle de la chute des aiguilles est évaluée à 27% de l'ensemble des tiges inventoriées. Cette situation ne peut que signifier d'un souci de dépérissement d'une ampleur dommageable.

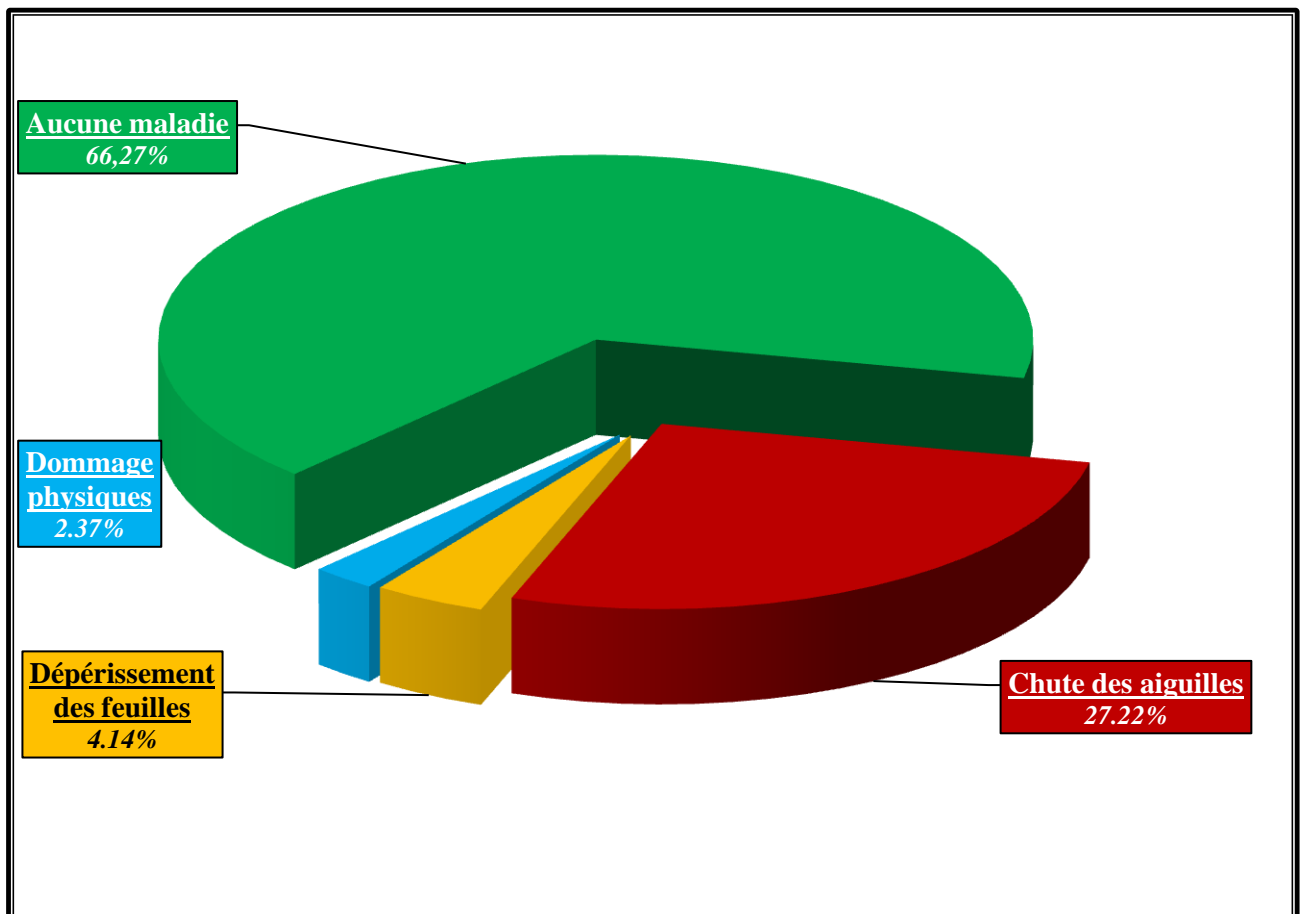


Fig.5.17 : Distribution en fréquences relatives de l'état de santé du feuillage des peuplements de cèdre recensés

5.1.2.3. Etat sanitaire du houppier :

L'état sanitaire du houppier d'un arbre est fortement corrélé avec sa croissance. Un houppier endommagé n'est autre qu'un indicateur d'une mortalité évidente d'un arbre quoiqu'il est encore sur pied. La **Figure 5.18** révèle que plus de 30% du peuplement recensé présente des dommages sur les houppiers. Indication fort compromettante de sa croissance.

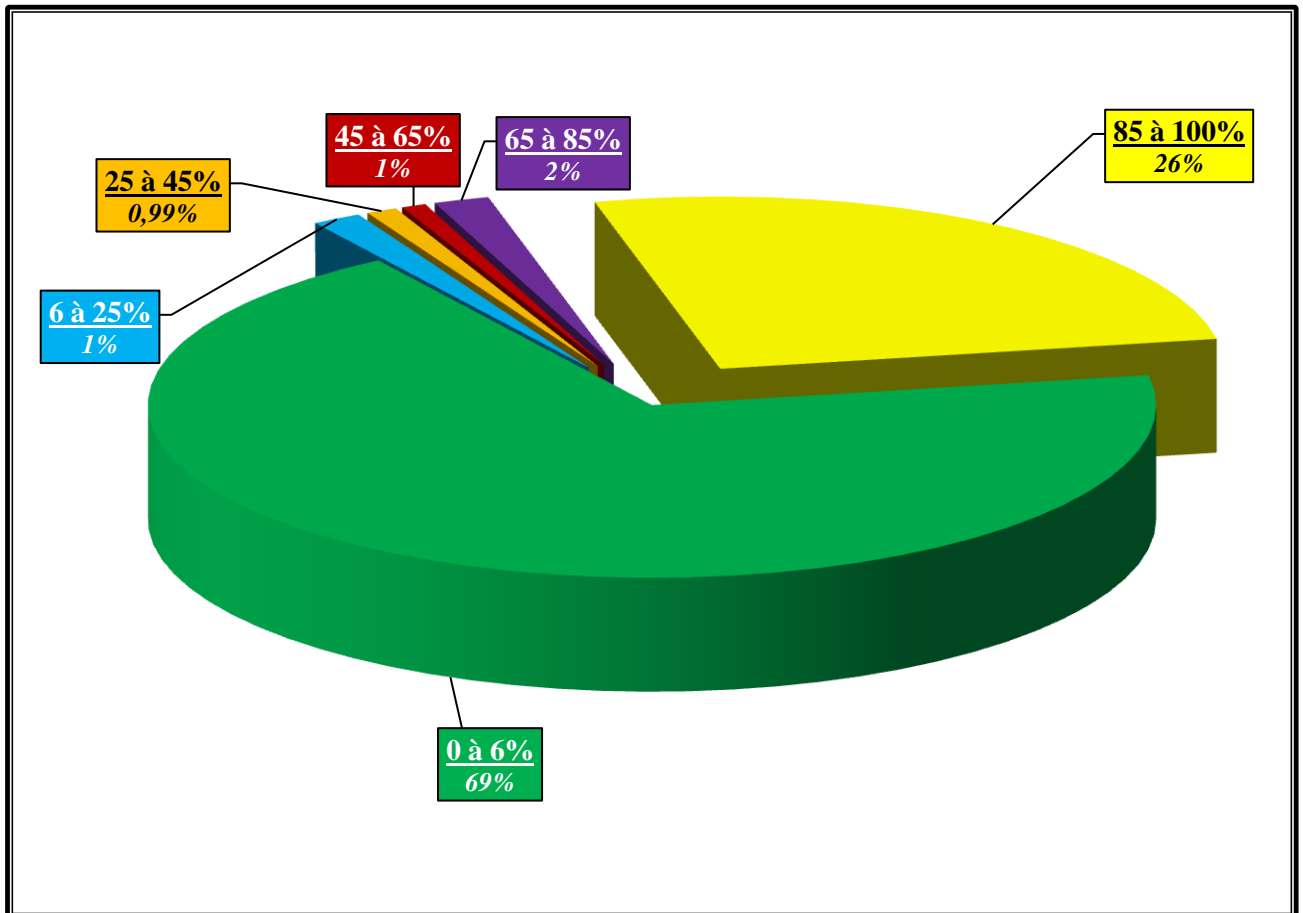


Fig.5.18 : Distribution en fréquence relative des classes des dégâts du houppier des peuplements de cèdre recensés

5.1.2.4. Production des cônes :

La production des cônes est le premier processus garantissant la pérennité d'un peuplement. Dans le cas des peuplements inventoriés, la situation est critique du fait que la production des cônes est très faible voire quasiment nulle (**Fig. 5.19**). Faute d'intervention de la part du forestier, cette situation concourt à une évolution régressive d'une cédraie censée être régie en parc national, soit supposée entièrement conservée et préservée.

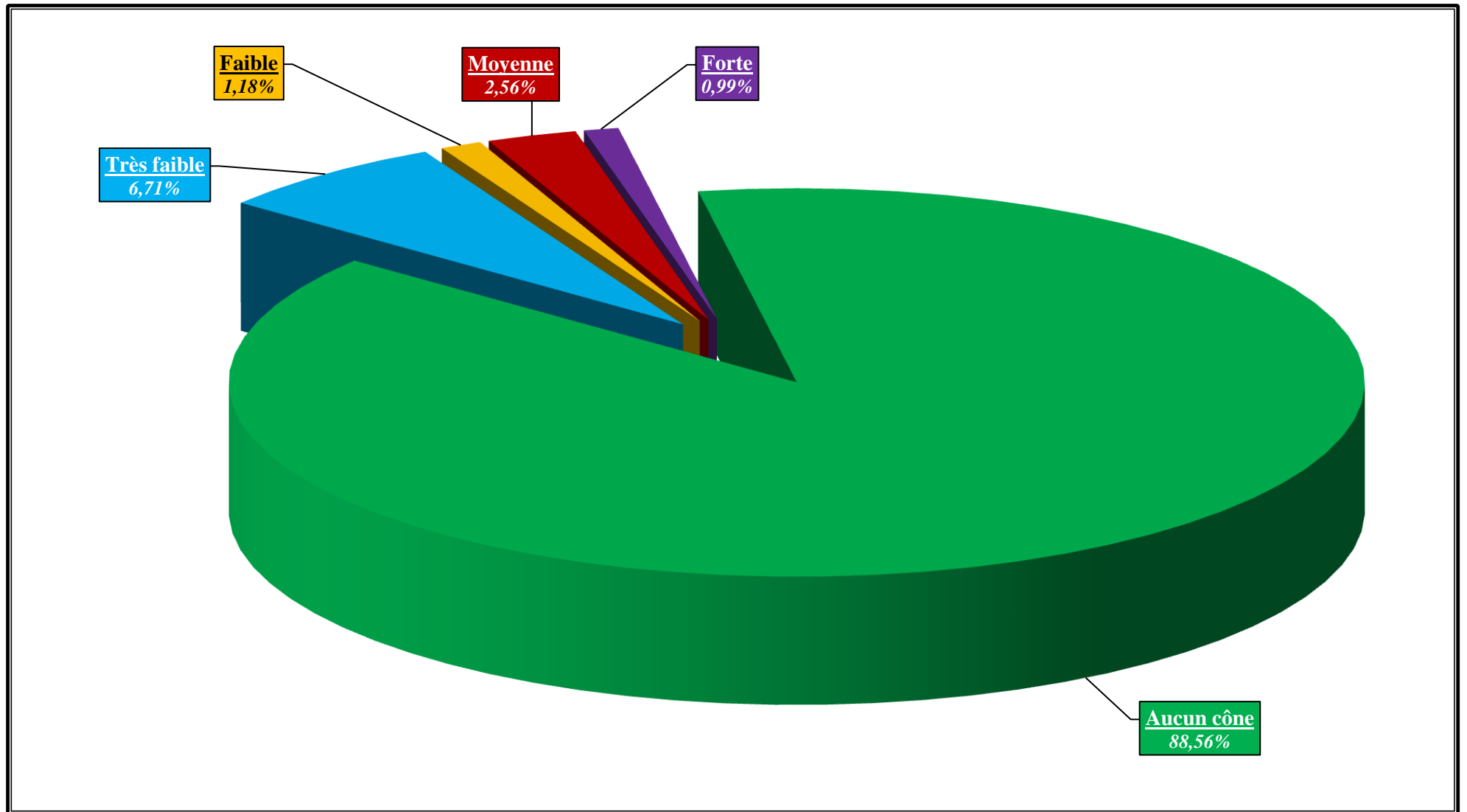


Fig.5.19 : Distribution en fréquence relative des catégories de production des cônes des peuplements de cèdres recensés

5.2. Analyse du dépérissement :

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had fera l'objet, lors de ce chapitre, d'une étude écodendrométrique objective et rationnelle. A travers les variables dendrométriques des cèdres échantillonnés et les caractéristiques stationnelles du milieu correspondantes, on conçoit de mettre en évidence l'éventuelle variabilité du taux de dépérissement enregistré au sein des unités d'échantillonnage.

Dès lors, facteurs topographiques, édaphiques et fertilité stationnelle seront les principales caractéristiques stationnelles à mettre en évidence vis-à-vis des taux de dépérissement de cèdre enregistrés. De plus, les variables dendrométriques et particulièrement la densité totale seront, éventuellement, celles des variables explicatives des différents taux de dépérissement du cèdre.

L'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, est celle qui fera l'objet d'analyse appropriée quant aux variabilités de différences des taux de dépérissement à travers l'ensemble des strates de chacune des variables précitées. Cette analyse statistique demeure l'outil fiable dans de telle étude (Dagnelie, 1993, 1994).

5.2.1. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques topographiques :

5.2.1.1. Mise en évidence du dépérissement à travers les microreliefs :

Le microrelief du sol joue un rôle prépondérant dans la rétention de l'eau des précipitations, soit en faveur d'une meilleure rétention (infiltration), soit en faveur d'un ruissellement (perte) (Le goff et Levy, 1984 ; Zedek, 1993).

Pour mettre en évidence l'éventuelle relation entre le dépérissement et ce facteur, trois strates de microrelief y sont retenues : *concave*, *convexe* et *intermédiaire* dont chacune d'elles s'y localisent respectivement dans 13%, 40% et 47% de placettes. L'analyse de la variance relève une différence non significative (Tableau 5.5). Le dépérissement demeure quasiment stable à travers les microtopographies recensées (Fig.5.20).

Tableau 5.5. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les microreliefs

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.023018801 | 2 | 0.0115094 | 0.6012212 | 0.5553158 | 3.3541308 |
| A l'intérieur des groupes | 0.51687098 | 27 | 0.01914337 | | | |
| Total | 0.539889781 | 29 | | | | |

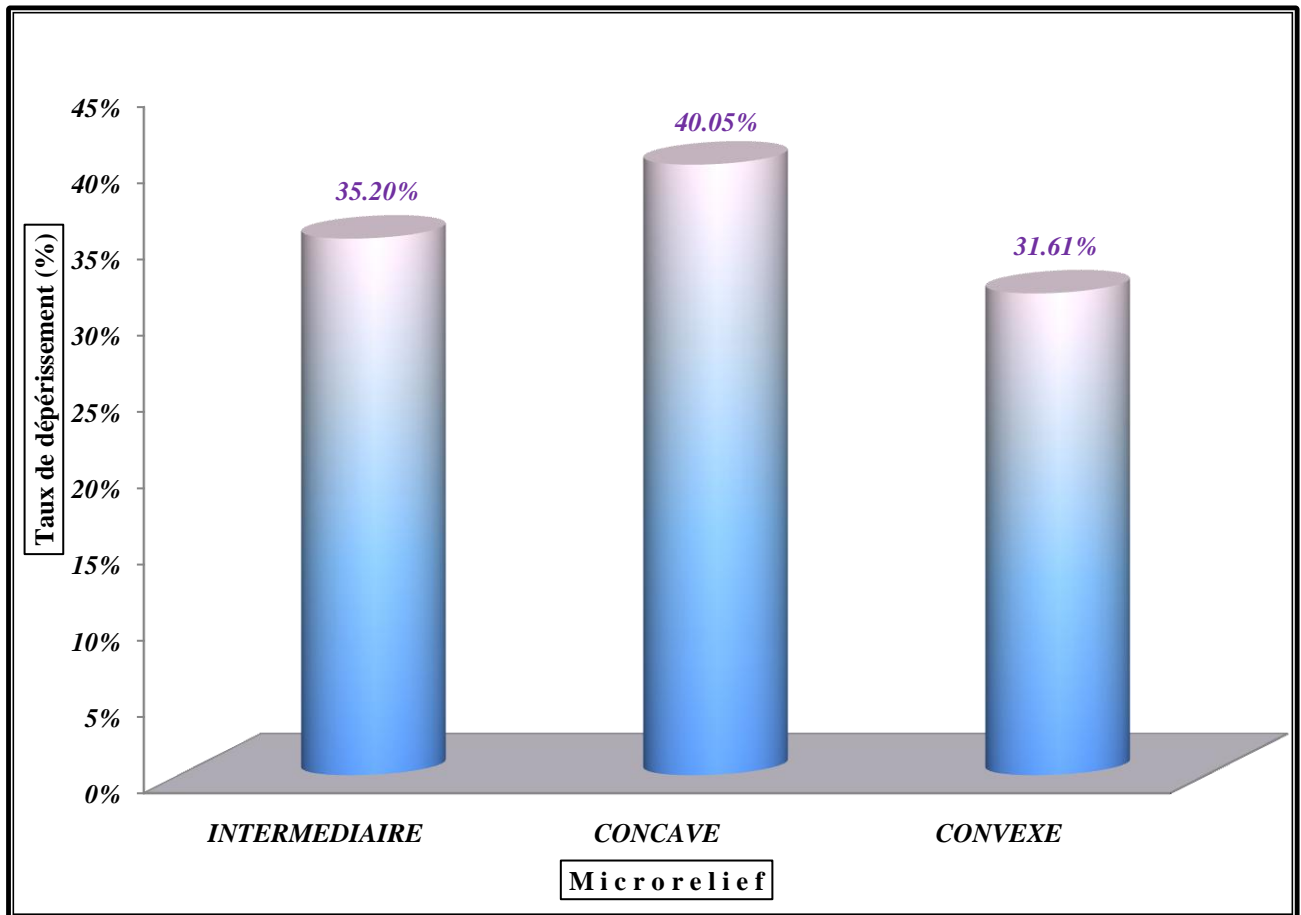


Fig.5.20 : Taux de dépérissement à travers les microreliefs recensés

5.2.1.2. Mise en évidence du dépérissement à travers l'étagement altitudinal :

L'altitude, facteur limitant de croissance et de répartition des essences forestières, revêt un intérêt forestier particulier (Oswald, 1969 ; Chbouki, 1994). C'est par le biais de l'étagement altitudinal que les variations climatiques, particulièrement la température et la pluviométrie, révèlent être différentes du bas vers le haut versant (Seynave *et al.*, 2004).

Les relevés altitudinaux des placettes d'étude sont compris entre 1334 et 1545m. La strate altitudinale retenue égale à 100m est celle au-delà de laquelle on conçoit que l'influence des conditions écologiques est effective. Ainsi, trois strates étant retenues : 1334-1434m, 1434-1534m et 1534-1634m avec des fréquences relatives respectives de 50%, 47% et 3%.

En effet, si l'on se réfère à la **figure 5.21**, on remarque que d'un étagement altitudinal à l'autre, les taux de dépérissement recensés révèlent une allure de pallier. La mise en évidence des taux de dépérissement avec l'étagement altitudinal, par le biais de l'analyse de la variance, montre une différence non significative (**Tableau 5.6**).

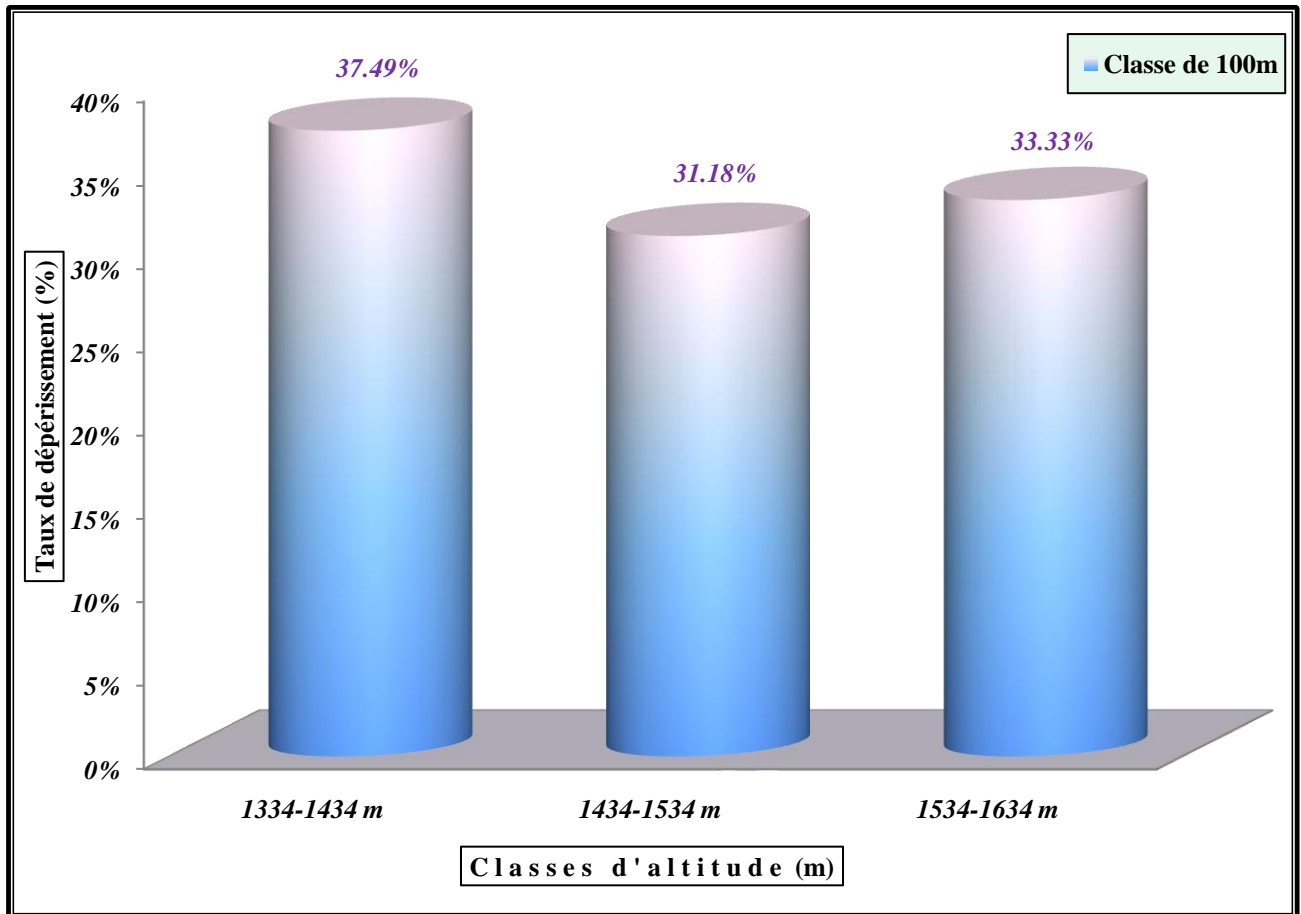


Fig.5.21 : Taux de dépérissement à travers l'étagement altitudinal

Tableau 5.6. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'altitude

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.028919049 | 2 | 0.014459524 | 0.7640499 | 0.475584167 | 3.354130829 |
| A l'intérieur des groupes | 0.510970732 | 27 | 0.018924842 | | | |
| Total | 0.539889781 | 29 | | | | |

5.2.1.3. Mise en évidence du dépérissement à travers la pente du terrain :

La pente du terrain, facteur écologique descripteur, est révélatrice d'une éventuelle rétention par infiltration ou de perte d'eau par ruissellement (Guehl, 1984 ; Spittlehouse et Stathers, 1989 in Lamhamedi et Chbouki, 1994).

Des pentes faibles aux pentes fortes, la caractérisation stationnelle demeure dès lors différente quant à la description du milieu. C'est ainsi que trois classes de pentes y sont identifiées : moins de 7°, de 7 à 21° et supérieure à 21°. Ces strates sont enregistrées respectivement à travers 10, 30 et 60% de placettes d'étude. L'allure des fréquences relatives des taux de dépérissement de cèdre à travers chacune des classes de pente n'est guère fortement variable (Fig.5.22). La mise en évidence de cette relation, par le biais de l'analyse de la variance, révèle une différence non significative (Tableau 5.7).

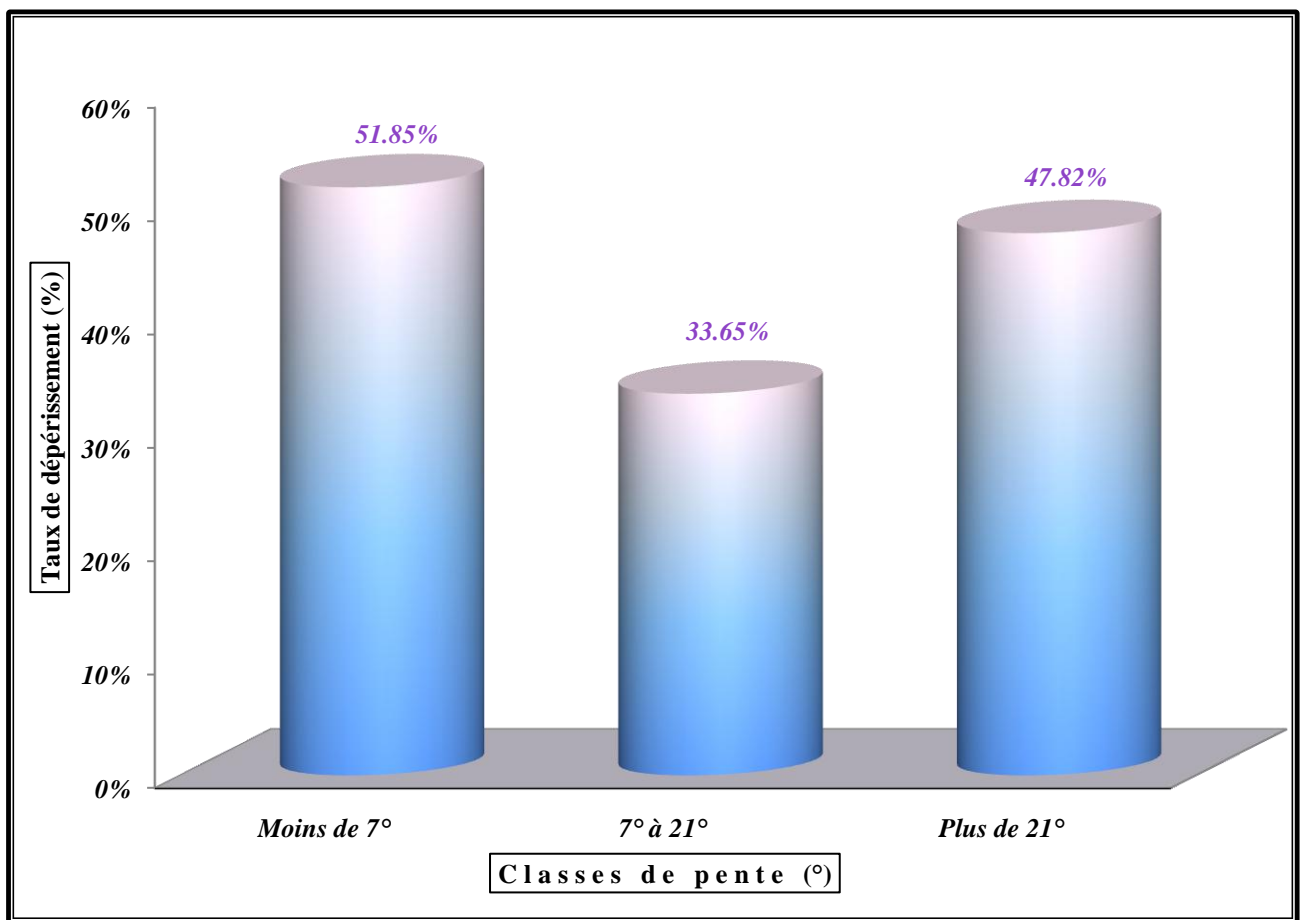


Fig.5.22 : Taux de dépérissement à travers les classes de pente

Tableau 5.7. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la pente du terrain

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{observé}$ | Probabilité | $F_{théorique}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| Entre Groupes | 0.10332538 | 2 | 0.05166269 | <u>3.19515903</u> | 0.0568242 | <u>3.35413083</u> |
| A l'intérieur des groupes | 0.4365644 | 27 | 0.01616905 | | | |
| Total | 0.53988978 | 29 | | | | |

5.2.1.4. Mise en évidence du dépérissement à travers les expositions :

L'exposition est un véritable facteur écologique descripteur du climat à savoir l'humidité, la pluviométrie, la chaleur et la quantité de lumière reçue. L'exposition nord est celle la plus favorable à la végétation (Seigue, 1985; Spittlehouse et Stathers, 1989 in Lamhamedi et Chbouki, 1994).

Deux strates y sont retenues: **W.NW à NE** et **E.NE au SE**. Celles-ci sont recensées respectivement dans 70 et 30% de placettes d'étude.

En effet, les taux de dépérissement enregistrés dans chacune des strates d'exposition sont, dans l'ensemble, quasi similaires (Fig.5.23). L'analyse de la variance révèle une différence non significative (Tableau 5.8).

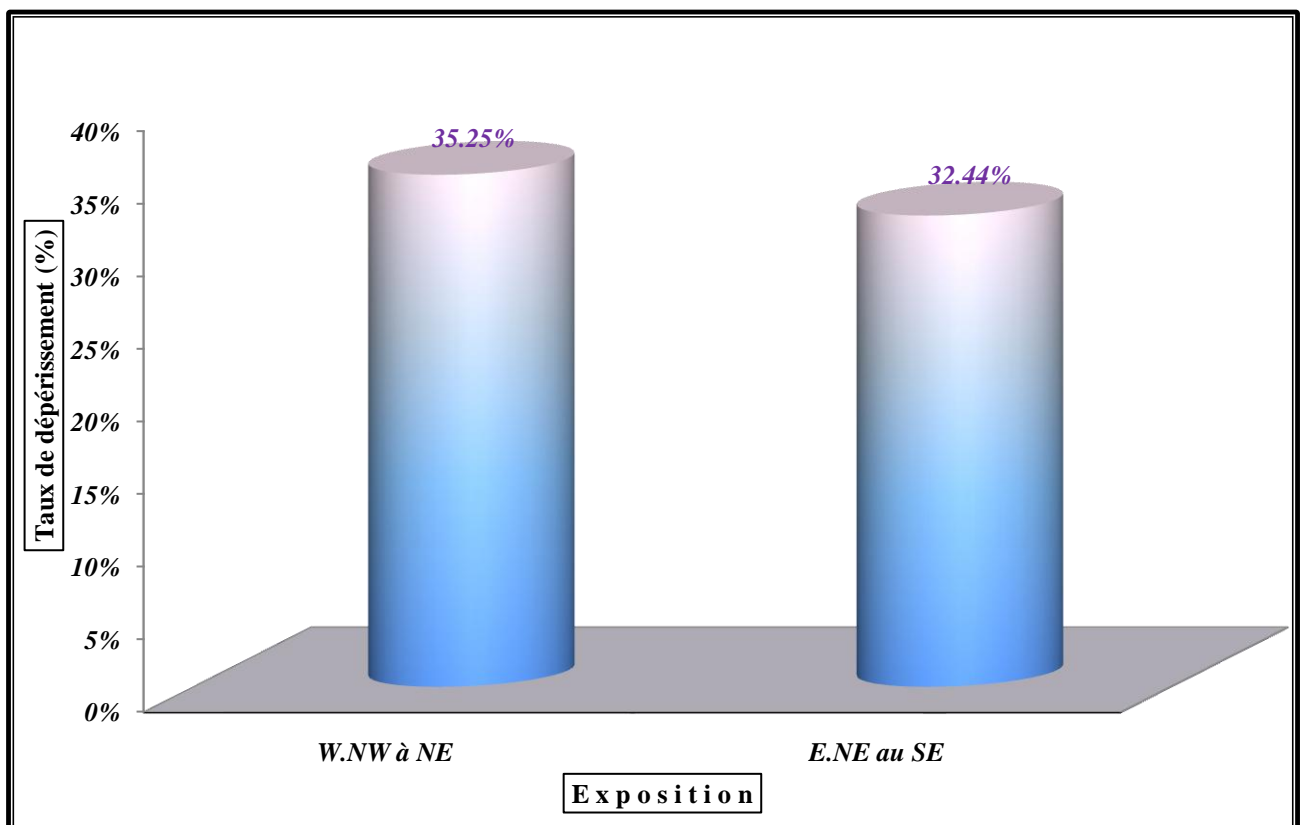


Fig.5.23 : Taux de dépérissement à travers les expositions

Tableau 5.8. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'exposition

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.00496806 | 1 | 0.004968058 | 0.260048555 | 0.614083214 | 4.195971707 |
| A l'intérieur des groupes | 0.53492172 | 28 | 0.019104347 | | | |
| Total | 0.539889781 | 29 | | | | |

5.2.2. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques physico-chimiques du sol :

Des analyses physico-chimiques du sol ont fait l'objet d'étude au niveau de chacune des placettes d'étude. Au total, trente échantillons de sol sont prélevés à 20 cm de profondeur à l'aide de la tarière pédologique, soit à raison d'un échantillon de sol prélevé par placette. Les caractéristiques physico-chimiques du sol mises en évidence sont : le taux de **calcaire**, le **pH**, le taux de **matière organique**, le taux de **carbone** et la **texture** du sol. Ces analyses sont effectuées au niveau du laboratoire de pédologie de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Les données acquises permettront de mieux identifier la matrice édaphique au sein de laquelle sont recensés les cèdres dépéris. Un traitement statistique, pour chacune des variables édaphiques, aura pour corollaire l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% (**Tableau 5.9**).

Tableau 5.9. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les caractéristiques physico-chimiques du sol

| <i>Caractéristiques physico-chimiques</i> | <i>F_{observé}</i> | <i>F_{théorique}</i> |
|---|----------------------------|------------------------------|
| <i>Taux de calcaire</i> | <i>1,18136725</i> | <i>4,19597171</i> |
| <i>pH du sol</i> | <i>4,05770725</i> | <i>4,19597171</i> |
| <i>Taux de la matière organique</i> | <i>1,76835819</i> | <i>3,35413083</i> |
| <i>Texture du sol</i> | <i>0,82740627</i> | <i>3,35413083</i> |

Le taux de calcaire, identifiant l'apport en calcium nécessaire aux végétaux, est retenu comme étant un élément favorisant la stabilité de la structure et la perméabilité des sols (**Mathieu et Pieltain, 2003**). Suite à la faible variabilité déduite, soit de **0 à 2.09%**, le taux de dépérissement ne présente aucune différence significative.

Les valeurs de pH de sol déduites révèlent une homogénéité traduite par des valeurs variant entre **6.4** et **7**. Le taux de dépérissement ne présente aucune différence significative à travers les classes de pH.

La matière organique n'est autre que la décomposition des débris végétaux et animaux. Sa teneur totale dans le sol renseigne sur sa potentialité fertilisante (**Mathieu et Pieltain, 2003**). Ainsi, les échantillons de sols, selon leur taux de matière organique, sont stratifiés en trois catégories : *pauvre*, *riche* et *très riche*. L'analyse de la variance révèle une différence non significative entre le taux de dépérissement et les strates de taux de matière organique.

La texture du sol est dans l'ensemble meuble, soit celle appréciée par le cèdre de l'Atlas (**Benabid, 1994 ; Ripert et Boisseau, 1994 ; Benmouffok, 1994 ; Lecomte, 2007**). L'analyse de la variance ne présente aucune différence significative entre le taux de dépérissement et les strates de texture du sol.

La **figure 5.24** montre la répartition du taux de dépérissement à travers les propriétés physico-chimiques du sol.

Ces analyses physico-chimiques soulevées, quant au cèdre de l'Atlas de Theniet El Had, corroborent avec celles relevées dans d'autres cédraies par **Toth (1970)** et **Demarteau et al. (2007)**.

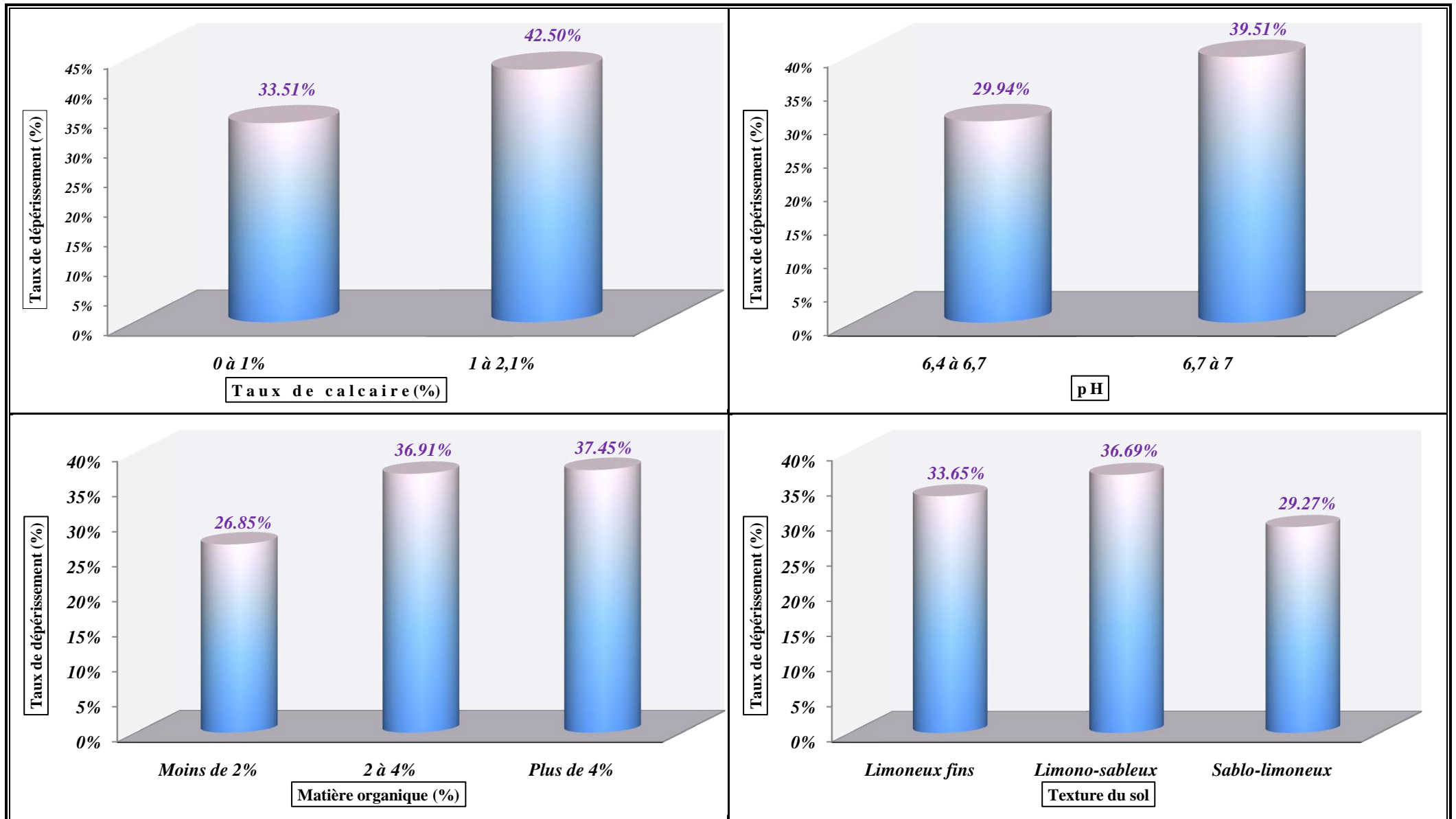


Fig.5.24 : Taux de dépérissement et stratification des propriétés physico-chimiques du sol enregistrées à travers les unités d'échantillonnage

5.2.3. Relation entre le dépérissement et les caractéristiques dendrométriques :

Les variables dendrométriques révèlent être le signe indicateur d'identification de la structure des tiges et des peuplements forestiers.

La dimension du dépérissement du cèdre dans le parc national, si l'on se réfère à sa répartition spatiale, semble être variable en rapport avec la structure des peuplements forestiers. Dès lors, pour pouvoir élucider et identifier rationnellement cette relation, il y a lieu de mettre en évidence les taux de dépérissement enregistrés en rapport avec les différentes variables dendrométriques correspondantes. Celles-ci étant révélatrices de l'état de productivité et de production des peuplements forestiers (**Rondeux, 1993 ; M'hirit, 1994b ; Rondeux et al., 1995**).

En effet, on conçoit de mettre en évidence le taux de dépérissement avec chacune des caractéristiques dendrométriques suivantes : **surface terrière totale, hauteur dominante, circonférence dominante, circonférence moyenne et la fertilité stationnelle**. De plus, une analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, fera l'objet d'étude du taux de dépérissement en rapport avec chacune des variables dendrométriques.

5.2.3.1. Relation entre le taux de dépérissement et la surface terrière totale :

La surface terrière est un indice révélateur de la croissance et de la densité des peuplements forestiers (**Rondeux, 1993**).

Sur la base des données enregistrées à travers chacune des superficies de 2, 4, 5 et 10 ares, l'analyse de la variance révèle une différence significative seulement dans les peuplements échantillonnés dans les placettes de 2 ares (**Tableau 5.10**). Cette superficie, de grandeur réduite, s'avère être moins propice à l'espace vital des peuplements (**Fig.5.25**). Cette cédraie, issue naturellement, demeure, hélas, non encore soumise à des interventions sylvicoles depuis les années rétrospectives. C'est alors que la nécessité d'intervention ne s'avère être réelle que lorsque la structure à laquelle revient la décision prononcera de telle opération. Cette situation demeure une préoccupation majeure du service forestier responsable de la gestion de cette cédraie, suite à son statut de parc national, soit où toute action étant strictement interdite.

Tableau 5.10. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la surface terrière totale

| Superficie | F _{observé} | F _{théorique} |
|----------------|----------------------|------------------------|
| <u>02 ares</u> | <u>3.45872461</u> | <u>3.35413083</u> |
| 04 ares | 0.50746657 | 3.35413083 |
| 05 ares | 0.50369844 | 3.35413083 |
| 10 ares | 0.51803910 | 4.19597171 |

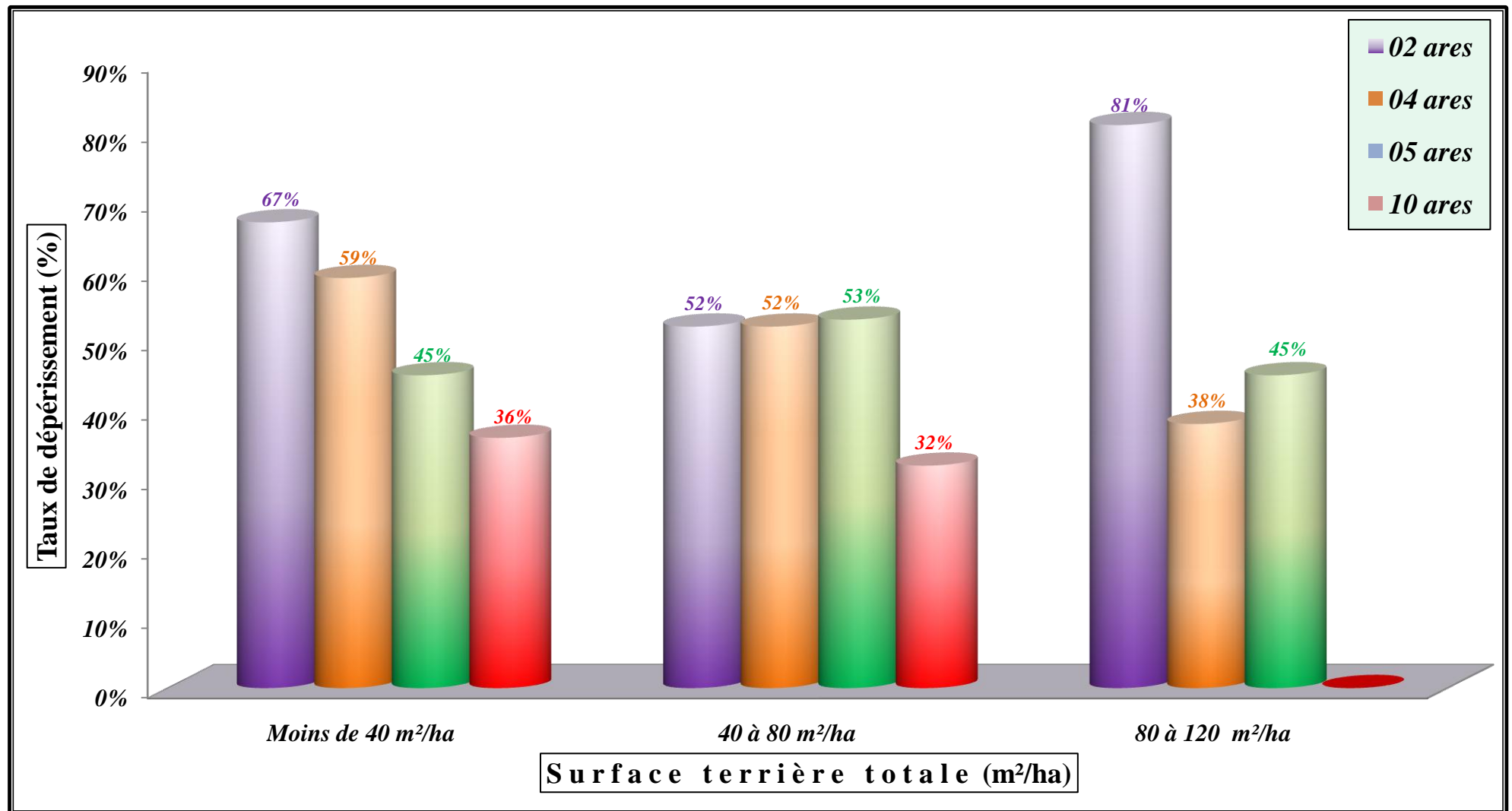


Fig.5.25 : Taux de dépérissement à travers les classes de surface terrière totale

5.2.3.2. Relation entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante :

La hauteur dominante est un critère fort considérable exprimant l'état de productivité d'un peuplement, soit en conséquence la fertilité stationnelle à laquelle il est soumis. L'allure de répartition des taux de dépérissement à travers les classes de hauteur dominante est représentée dans la **figure 5.26**. Indépendamment de la variabilité des hauteurs dominantes enregistrées, l'analyse de la variance ne montre aucune différence significative (**Tableau 5.11**).

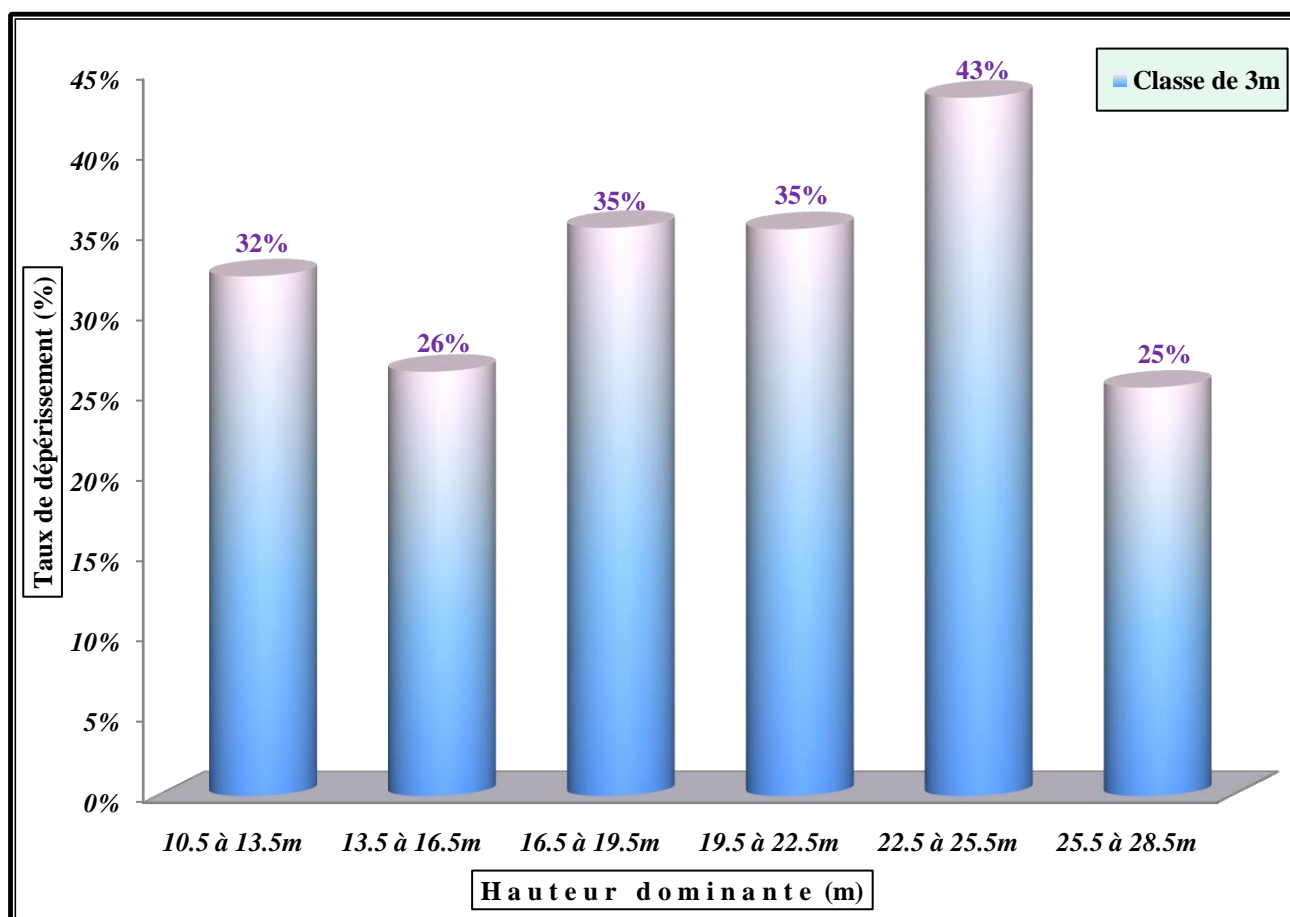


Fig.5.26 : Taux de dépérissement à travers les classes de hauteur dominante du cèdre

Tableau 5.11. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.085622101 | 5 | 0.01712442 | 0.904722268 | 0.494238396 | 2.620654147 |
| A l'intérieur des groupes | 0.45426768 | 24 | 0.01892782 | | | |
| Total | 0.539889781 | 29 | | | | |

5.2.3.3. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence dominante :

L'allure des taux de dépérissement à travers les classes de circonférence dominante n'enregistre qu'une faible légère évolution (Fig.5.27). L'analyse de la variance montre une différence non significative à travers les classes de circonférence dominante (Tableau 5.12).

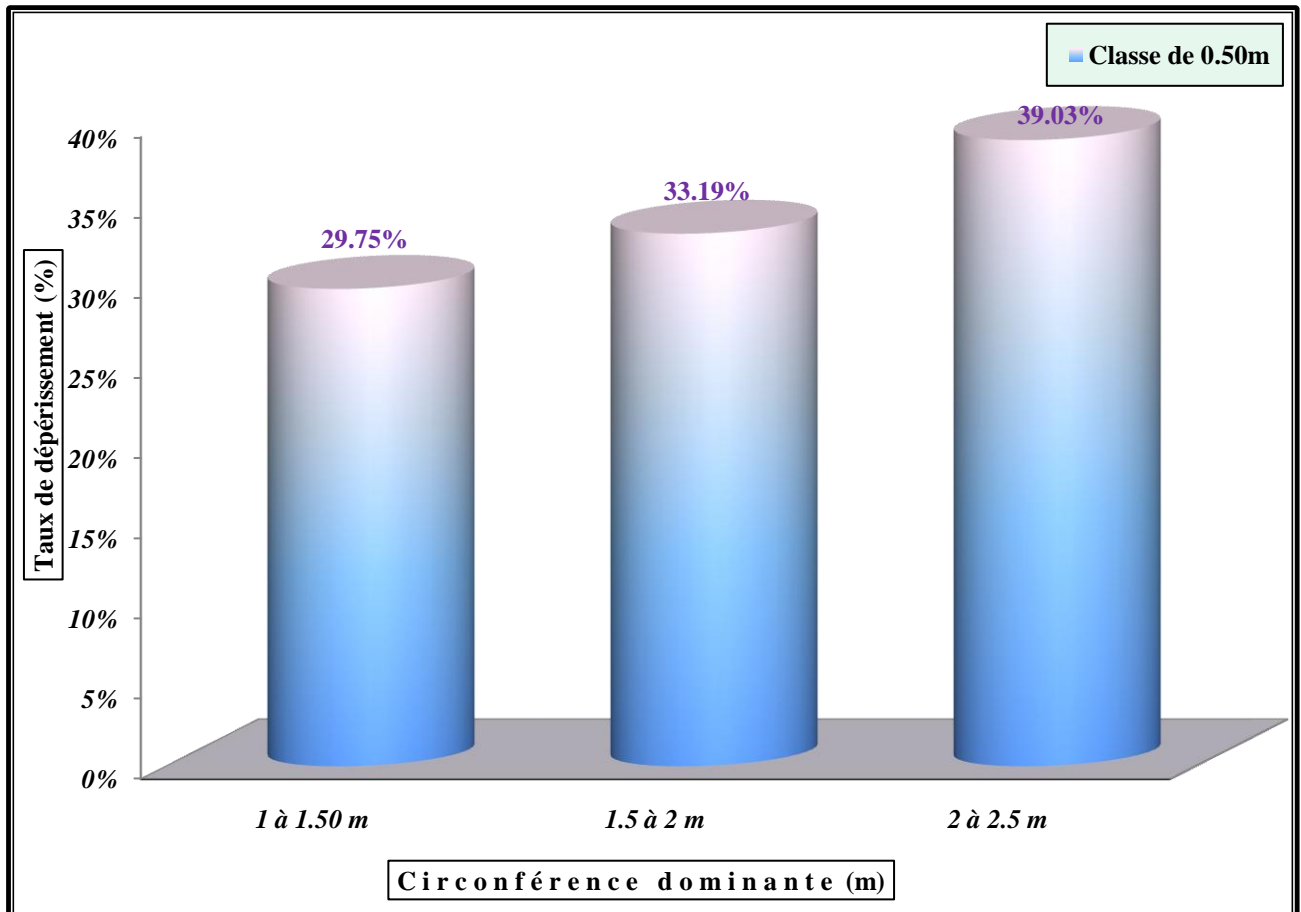


Fig.5.27 : Taux de dépérissement à travers les classes de circonférence dominante du cèdre

Tableau 5.12. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la circonférence dominante

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.02639963 | 2 | 0.01319982 | 0.69406407 | 0.50823503 | 3.35413083 |
| A l'intérieur des groupes | 0.51349015 | 27 | 0.01901815 | | | |
| Total | 0.53988978 | 29 | | | | |

5.2.3.4. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne :

La circonférence moyenne est une variable soumise à l'influence de la concurrence des tiges (Bellefleur et Villeneuve, 1984 ; Deleuze et al., 1996).

La figure 5.28 illustre mieux la concentration des taux de dépérissement au niveau des catégories de circonférences moyennes. L'analyse de la variance montre une différence significative (Tableau 5.13). En fait, de plus en plus que les tiges sont grosses et comme elles ne sont soumises à aucune intervention sylvicole, l'espace vital recherché demeure alors compromettant à la vitalité et la vigueur des tiges.

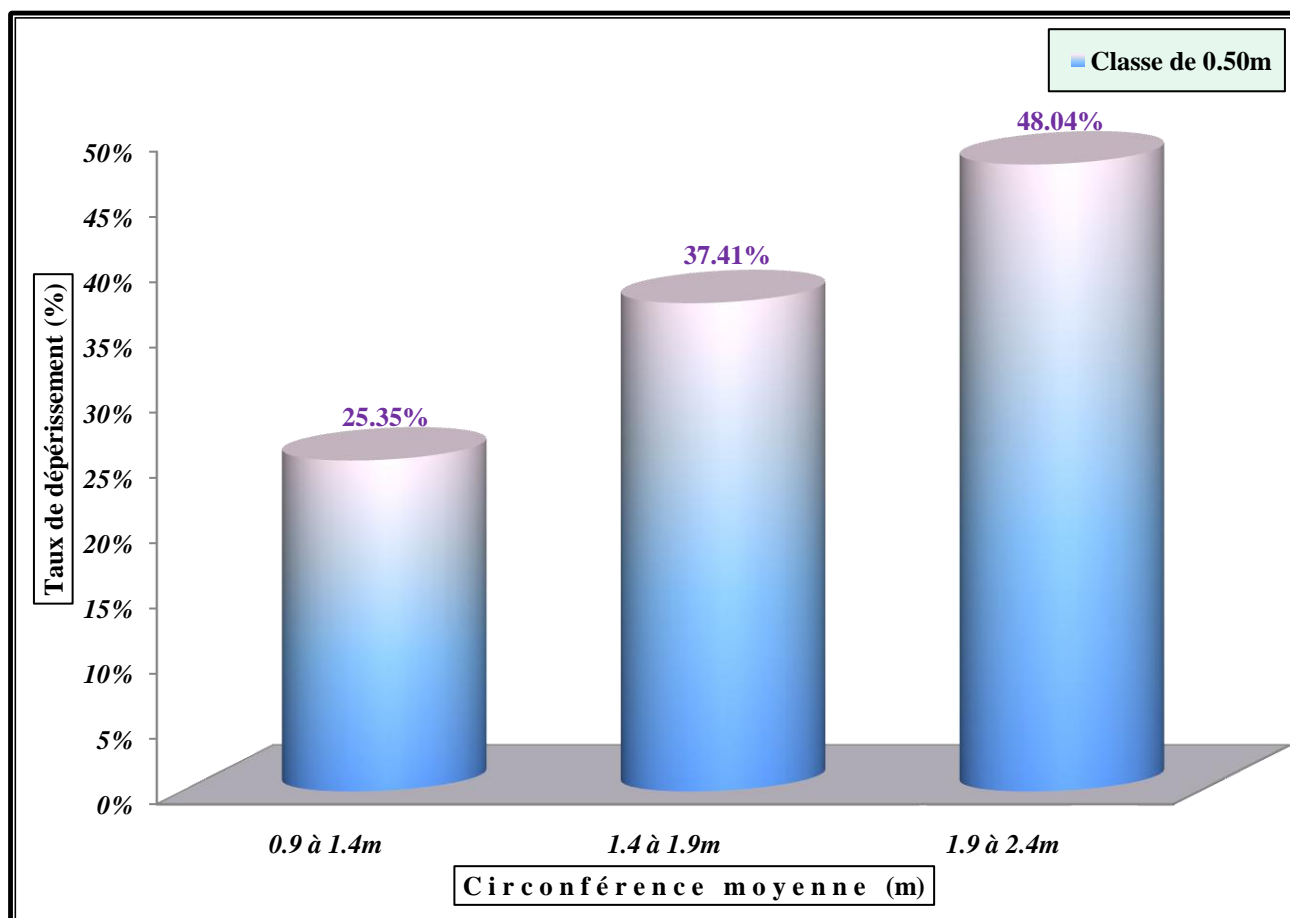


Fig.5.28 : Taux de dépérissement à travers les classes de circonférence moyenne du cèdre

Tableau 5.13. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.17798293 | 2 | 0.08899146 | 6.63919311 | 0.00451791 | 3.35413083 |
| A l'intérieur des groupes | 0.36190685 | 27 | 0.01340396 | | | |
| Total | 0.53988978 | 29 | | | | |

5.2.4. Relation entre le dépérissement et la fertilité stationnelle :

La fertilité est la capacité de production d'un peuplement liée à l'effet des différents facteurs de production de la station (**Décourt et al, 1965 ; Decourt, 1967**).

La productivité est définie comme la vitesse de biomasse qui est fort dépendante de la fertilité de la station (**Duvigneaud, 1980**).

Decourt (1967) recommande de préférence la notion de productivité pour définir cet effet complexe et de réserver celui de fertilité pour caractériser ce qui appartient en propre à la station.

Dans la cédraie, les classes de productivités retenues, au nombre de trois, sont celles déterminées par **Zedek (1993)**. La **figure 5.29** présente les taux du dépérissement à travers les classes de fertilité des peuplements de cèdre exprimées. L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative (**Tableau 5.14**). Qu'il s'agit de niveau de productivité faible, moyen ou élevé, le dépérissement demeure toujours recensé indépendamment de la fertilité stationnelle. C'est la même indication soulevée lors de l'étude du rapport taux de dépérissement-hauteur dominante.

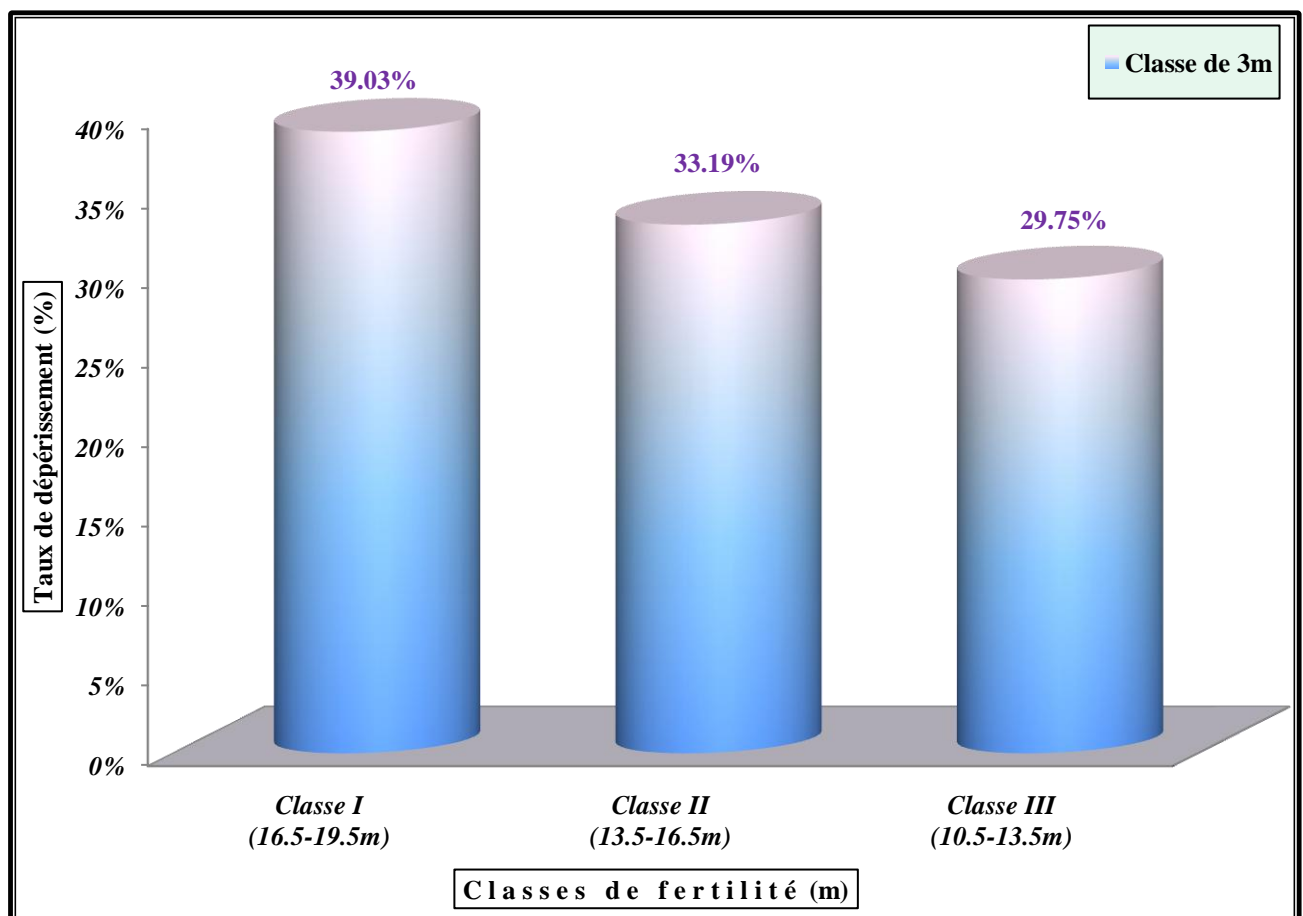


Fig.5.29 : Taux de dépérissement à travers les classes de fertilité

Tableau 5.14. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les classes de fertilité

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 0.02639963 | 2 | 0.01319982 | 0.69406407 | 0.50823503 | 3.35413083 |
| A l'intérieur des groupes | 0.51349015 | 27 | 0.01901815 | | | |
| Total | 0.53988978 | 29 | | | | |

5.2.5. Relation entre le dépérissement et la densité totale :

La densité de peuplement est une mesure quantitative du couvert forestier sur une superficie donnée. Elle s'exprime en fonction de la *biomasse*, de la *fermeture du couvert*, du *nombre d'arbres*, de la *surface terrière* ou du *volume par hectare* (Schütz, 1990 ; Alteyrac, 2005).

La densité du peuplement réfère à la notion de compétition entre les arbres, c'est-à-dire à la demande exercée par deux ou plusieurs organismes pour une ressource commune, dans un milieu où ces ressources sont réellement ou potentiellement limitées. Ces interactions entre arbres voisins, étant caractérisés par leur immobilité et leur pérennité, aboutissent à des modifications plastiques importantes avec apparition d'arbres dominants, codominants et dominés (Illy et Lemoine, 1970 ; Birot, 1972 ; Bachacou et Décourt, 1976 ; Alteyrac, 2005).

Conformément au degré de fermeture des houppiers, Shütz (1990) distingue six expressions numériques de la densité utilisées en sylviculture (Fig.5.30) :

- ✱ **Comprimé** : les houppiers se concurrencent latéralement à tel point que leur développement régulier normal n'est plus garanti ;
- ✱ **Normal** : la plupart des houppiers ont un développement normal, avec une longueur comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ de la hauteur. Il n'y a pas d'interstices entre eux ;
- ✱ **Léger** : il y a entre les houppiers de petits interstices, mais encore une influence réciproque ;
- ✱ **Lâche** : il n'y a plus de contact direct entre les houppiers, mais il n'y a pas de place suffisante dans les interstices pour placer un autre arbre ;
- ✱ **Aéré** : il n'y a plus de fermeture et les houppiers ont une distribution régulière. Entre les interstices, il y a place pour d'autres arbres ;
- ✱ **Clairié** : il y a de véritables trouées dans le couvert, laissant place pour plusieurs arbres.

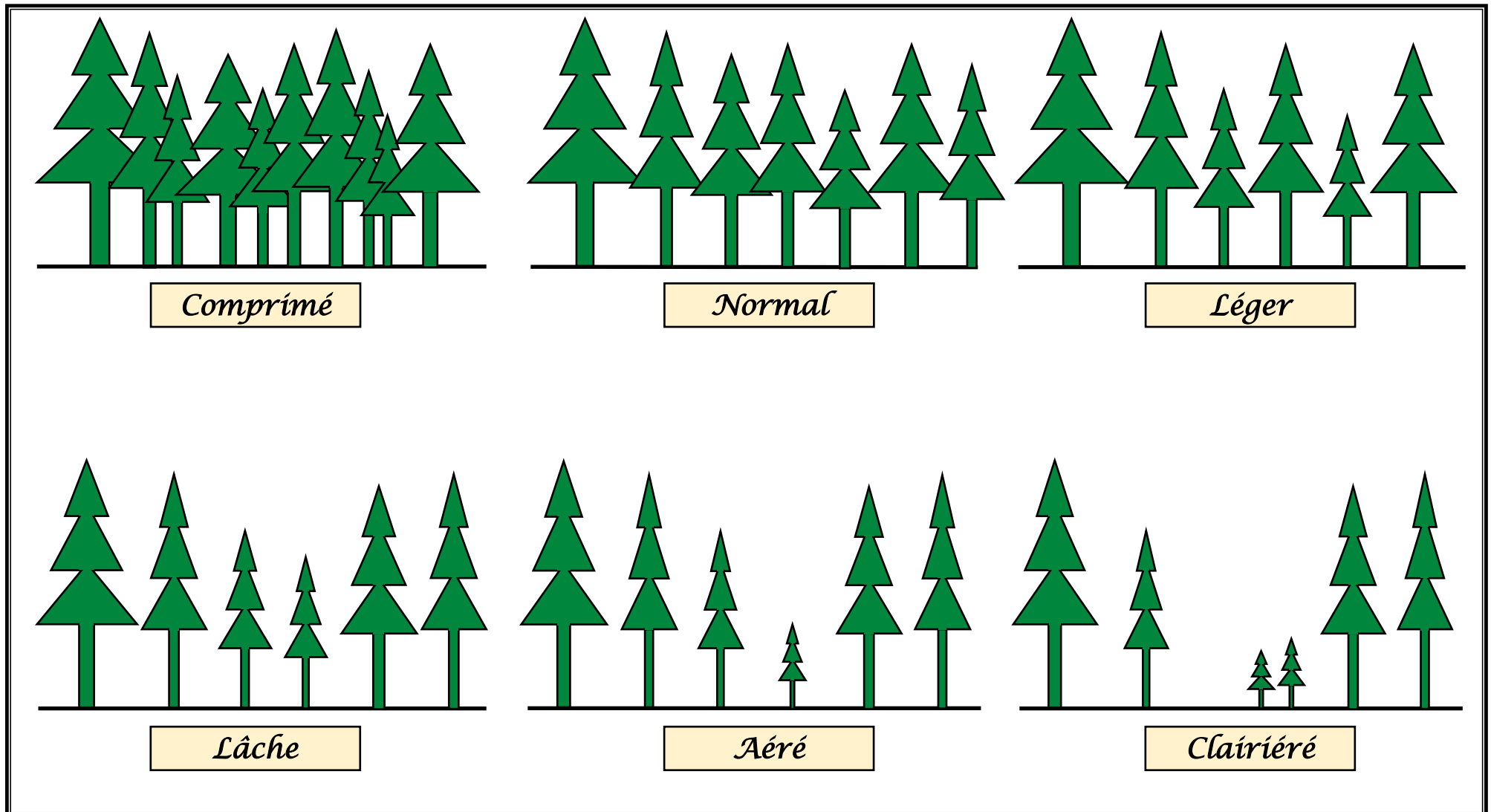


Fig. 5.30 : Expressions numériques de densité à partir du degré de fermeture des houppiers (Shütz, 1990)

Pour pouvoir étudier la relation entre le dépérissement et la densité totale, on envisage la mise en évidence de l'évolution du dépérissement à travers *la grandeur des superficies, la densité totale et la répartition des tiges*.

5.2.5.1. Relation entre le dépérissement et la grandeur des superficies des unités d'échantillonnage :

Il s'agit d'envisager l'évolution du dépérissement à travers la superficie des placettes par le biais du taux de dépérissement enregistré à travers les unités d'échantillonnage de 2, 4, 5 et 10 ares. L'analyse de la variance montre une différence nettement significative entre la grandeur des superficies et le taux de dépérissement dans la mesure où $F_{\text{observé}}$ est supérieur au $F_{\text{théorique}}$ (Tableau 5.15).

La présentation graphique de l'évolution du dépérissement par rapport à la grandeur des superficies des placettes révèle une allure régressive (Fig.5.31). A des superficies élevées, le dépérissement enregistré demeure loin d'être liée exclusivement aux superficies réduites. Il s'agit nettement de l'écart d'espacement auquel se trouve soumis l'espace vital exigé par l'arbre. Ainsi, de plus en plus que celui-ci se trouve compromettant qu'on y enregistre encore de cèdres dépéris. La nécessité d'interventions sylvicoles est d'une urgence vitale à la cédraie.

Tableau 5.15. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et les superficies des unités d'échantillonnage

| Source des variations | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | $F_{\text{observé}}$ | Probabilité | $F_{\text{théorique}}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes | 1.084513086 | 03 | 0.361504362 | <u>7.719231881</u> | 9.552E-05 | <u>2.682809415</u> |
| A l'intérieur des groupes | 5.432471347 | 116 | 0.04683165 | | | |
| Total | 6.516984433 | 119 | | | | |

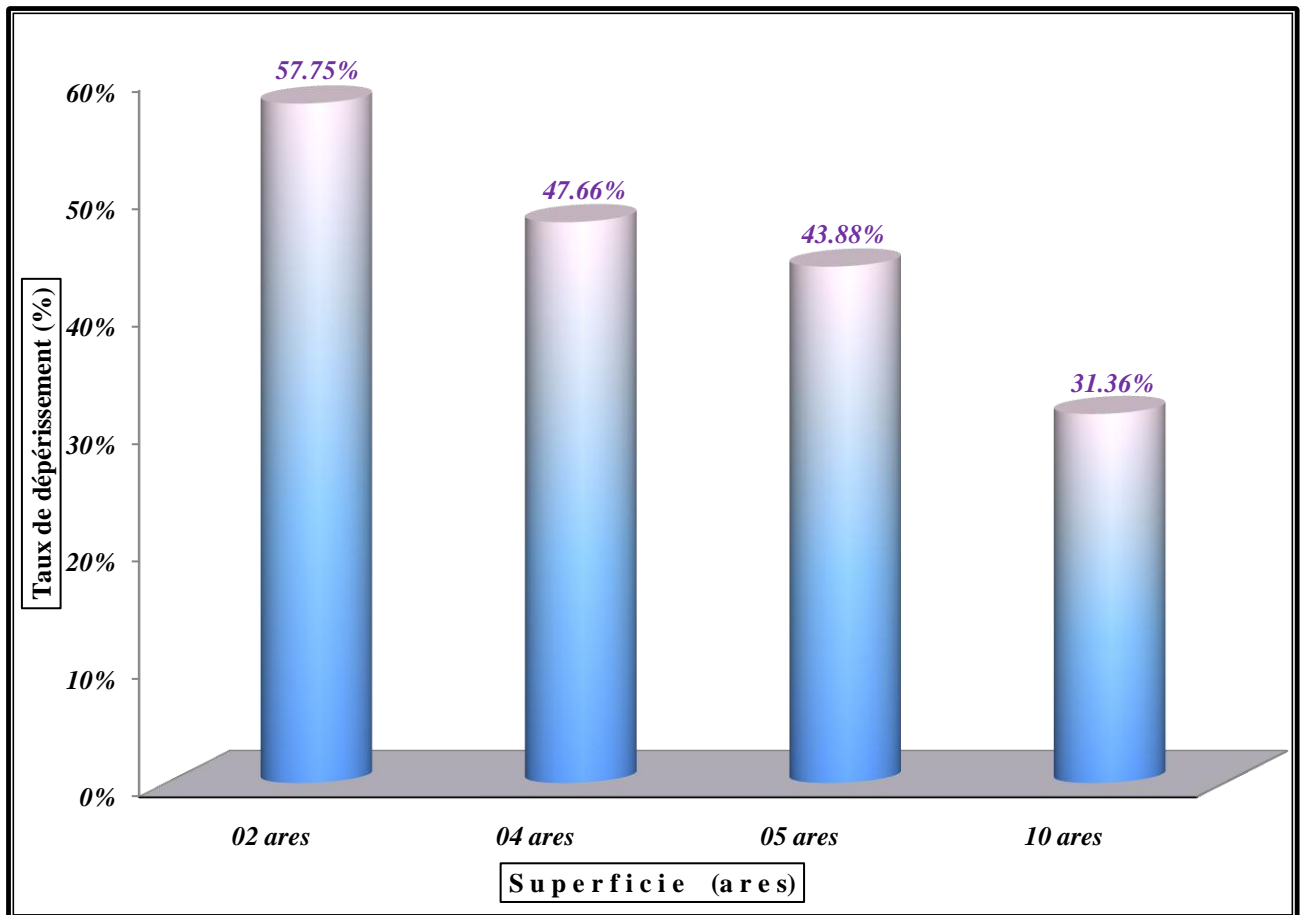


Fig.5.31 : Taux de dépérissement à travers les superficies des unités d'échantillonnage

5.2.5.2. Mise en évidence du dépérissement à travers la densité totale :

L'étude a pour objet la mise en évidence du taux de dépérissement en rapport avec la densité totale du peuplement, soit l'ensemble des tiges des espèces recensées. L'analyse de la variance à un facteur révèle une différence significative du taux de dépérissement seulement dans les placettes de quatre ares (Tableau 5.16).

Tableau 5.16. Résultats de l'ANOVA à un facteur au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la densité totale dans les placettes de 10, 5, 4 et 2 ares

| Superficie | F _{observé} | F _{théorique} |
|----------------|----------------------|------------------------|
| 10 ares | 0.63863985 | 2.97515397 |
| 05 ares | 2.18627242 | 2.97515397 |
| <u>04 ares</u> | <u>3.05231187</u> | <u>2.97515397</u> |
| 02 ares | 2.96595333 | 2.97515397 |

Quoique plus de 57% des placettes de dix ares se présentent dans les classes de moyennes densités de 400 à 550pieds/hectare, le taux de dépérissement demeure encore le plus faible (Fig.5.32).

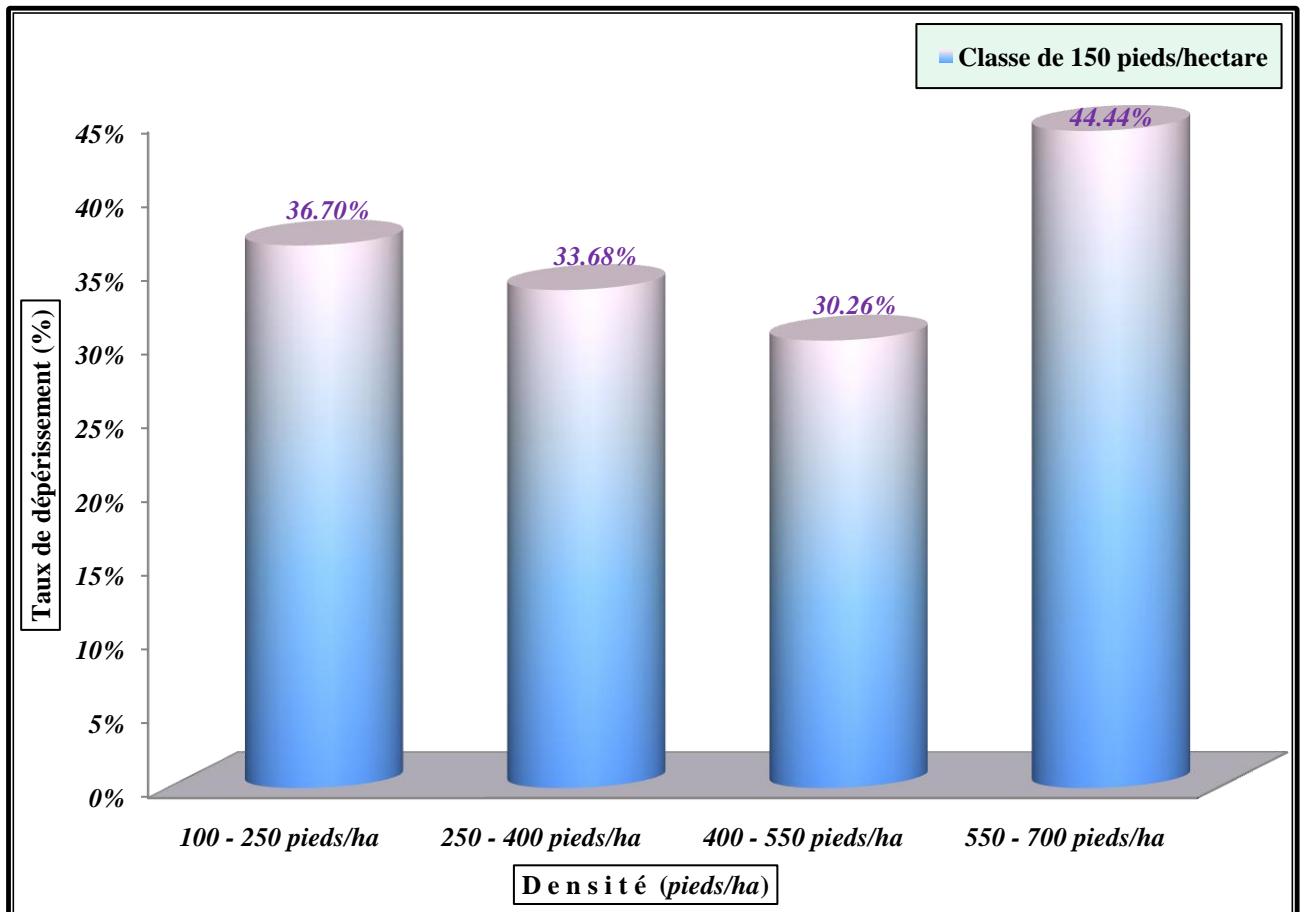


Fig.5.32 : Taux de dépérissement à travers la densité totale "Placettes de 10 ares"

A travers les placettes de cinq ares, l'analyse de la variance révèle une différence non significative. Quoique la classe de densité forte de (550 à 700 pieds/ha) est celle qui n'est enregistrée que dans 3.33% de placettes d'étude, on remarque que le taux de dépérissement présente le taux le plus élevé pour cette classe de densité (Fig.5.33). Cependant, on n'enregistre aucune différence significative.

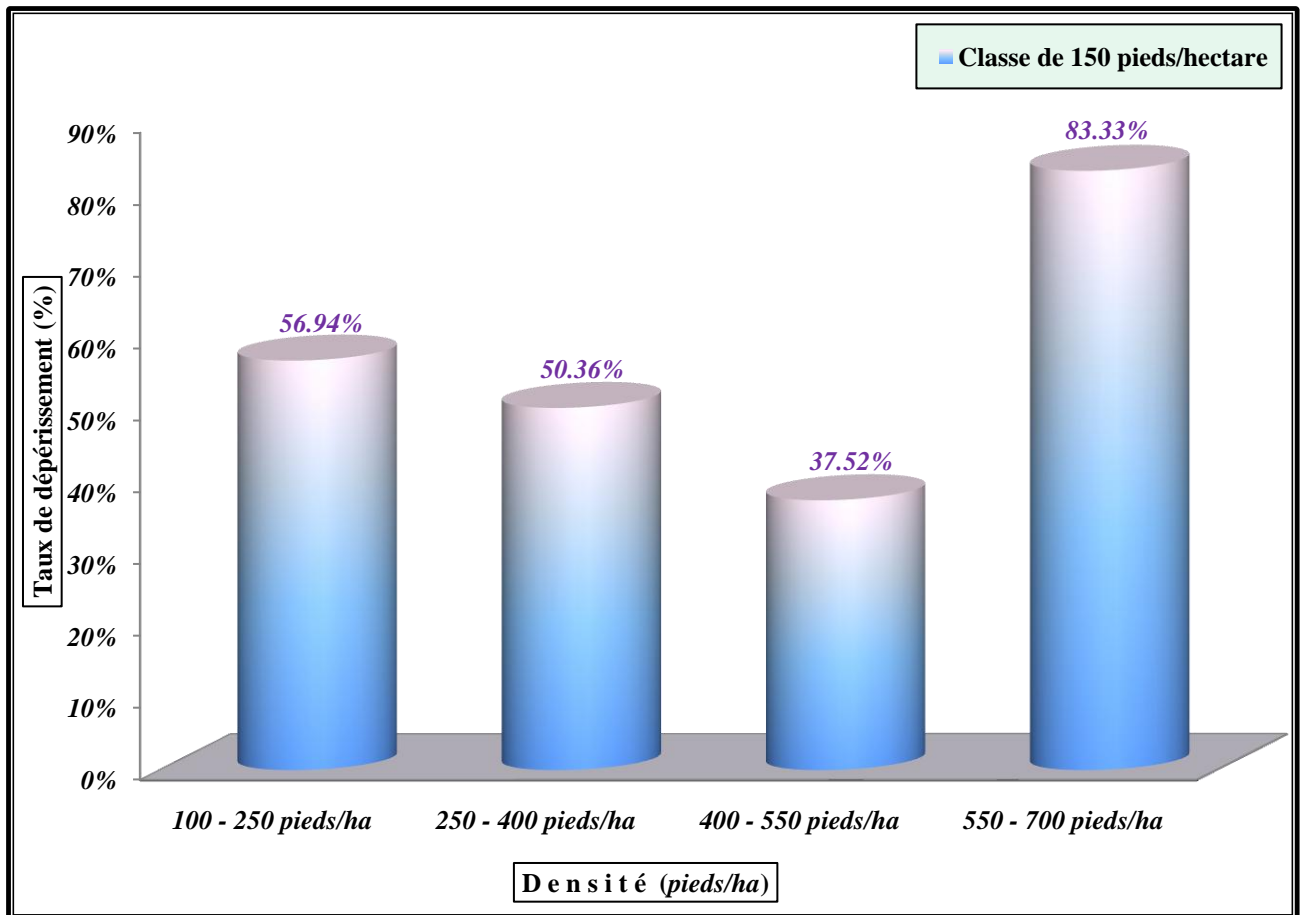


Fig.5.33 : Taux de dépérissement à travers la densité totale "Placettes de 05 ares"

A travers les placettes de quatre ares, l'analyse de la variance révèle une différence significative. En effet, plus l'espace vital est moindre et plus la concurrence entre les tiges est sévèrement compétitive. De même, quoique la fréquence relative des placettes diminue d'une classe de densité à une autre, le taux de dépérissement demeure de plus en plus élevé en rapport avec l'augmentation de la densité (**Fig.5.34**). En fait, en présence d'un espace restreint et d'une densité totale grande, le dépérissement est de plus recensé.

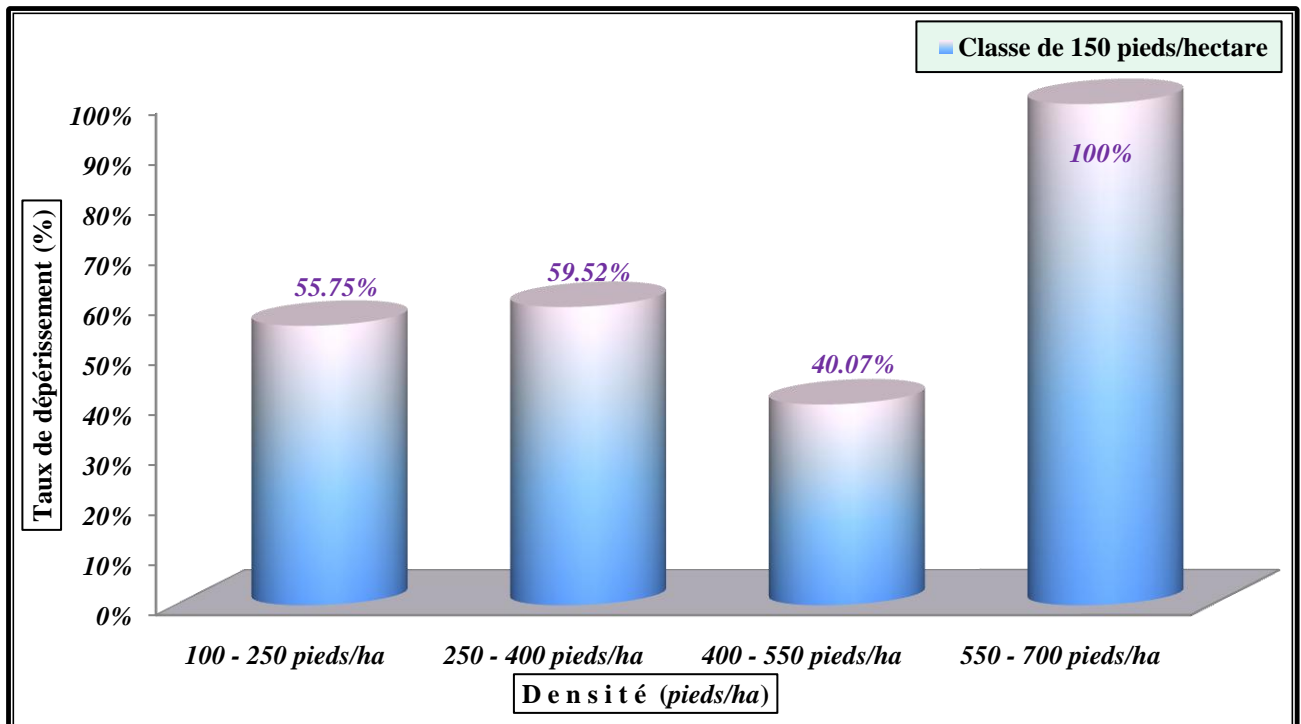


Fig.5.34 : Taux de dépérissement à travers la densité totale "Placettes de 04 ares"

A travers les placettes de deux ares, l'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative. La répartition des placettes de 2 ares est beaucoup plus concentrée sur les densités variant entre 250 à 550 pieds/ha (Fig.5.35).

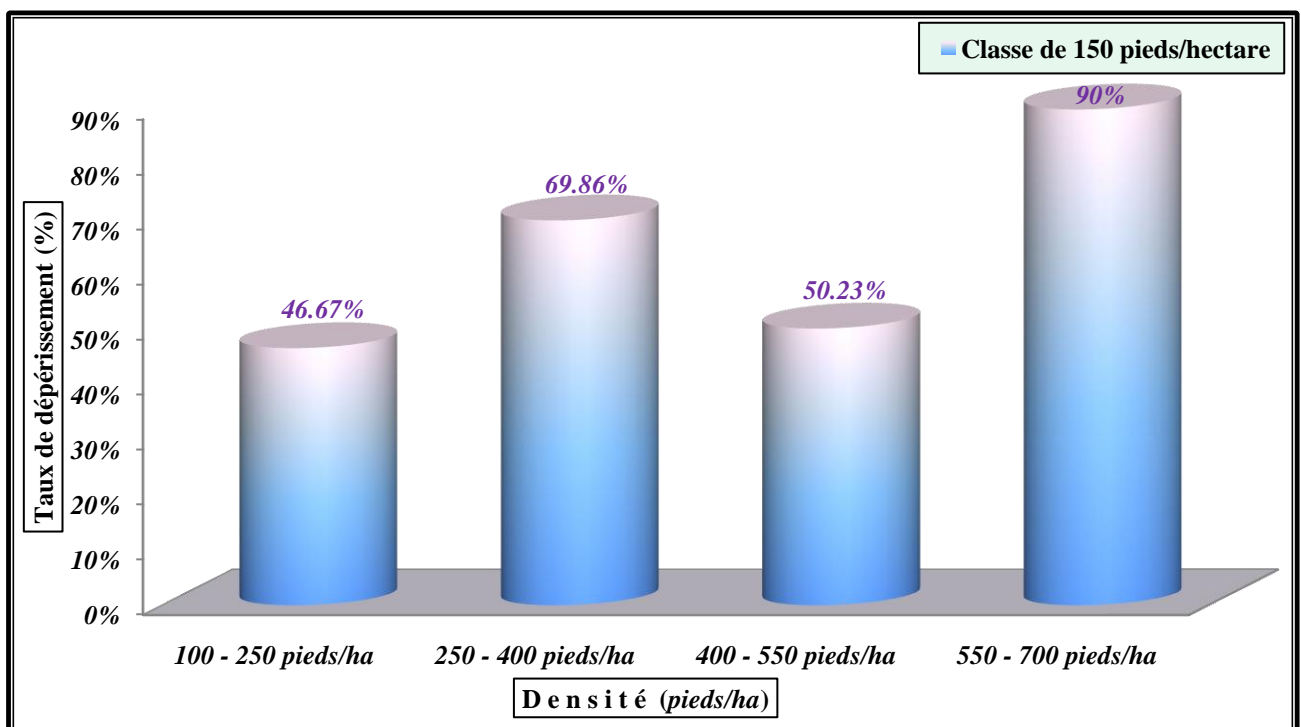


Fig.5.35 : Taux de dépérissement à travers la densité totale "Placettes de 02 ares"

Quoiqu'on y recense un tiers de placettes qui enregistrent de faible densité (**moins de 300 pieds/ha**) avec un taux de dépérissement d'environ **60%**, l'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative entre le taux de dépérissement et la densité au sein des unités d'échantillonnage de **2, 5 et 10 ares (Fig. 5.36)**. Une densité, élément indicateur de l'espace vital des tiges, quoique faible pourrait dissimuler l'espace d'écartement entre ces mêmes tiges : en fait, comme le peuplement est issu naturellement, on retient de signaler que lors d'une densité faible, les tiges pourraient être soumises à un traumatisme concurrentiel suite à un espace vital restreint. Cette situation, en l'absence d'opérations sylvicoles, demeure signalée à travers la cédraie. C'est ainsi que pour de plus ample identification, une étude relative à la compétition des tiges fera l'objet de discussion exhaustive.

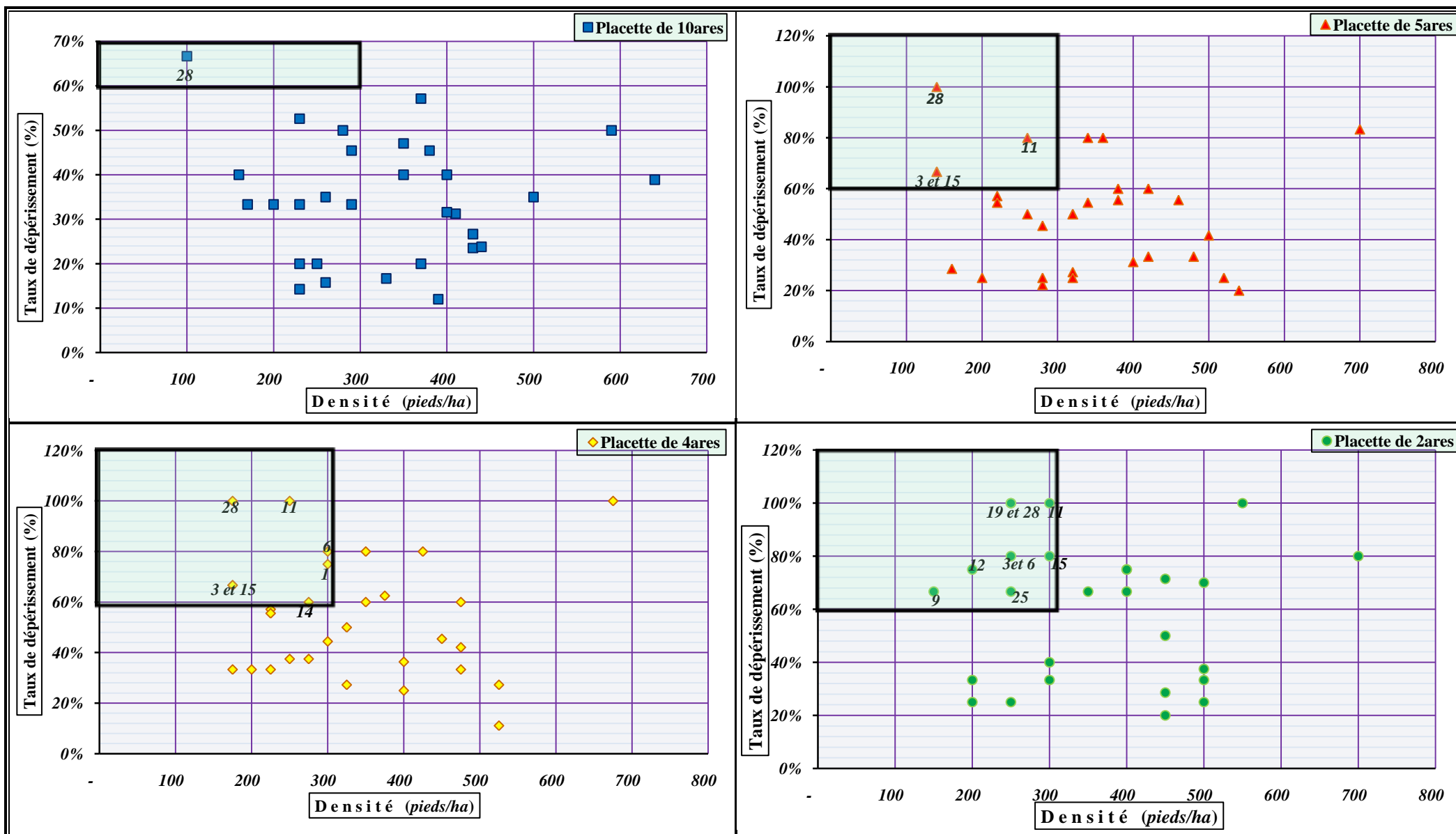


Fig.6.17 : Répartition des placettes à travers les taux de dépérissement et les densités enregistrées

5.2.5.3. Etude de la compétition des tiges :

5.2.5.3.1. Répartition des tiges :

Le dépérissement du cèdre est lié à la densité du cèdre. Résultat révélé par le biais de l'analyse de la variance à travers les différentes superficies des unités d'échantillonnage (**Tableau 5.15**) et la densité totale (**Tableau 5.16**), néanmoins quoiqu'il y ait une relation, il est à signaler que le taux de dépérissement est important dans les catégories de faible densité (**Fig.5.36**). Cette situation, nous impose à étudier l'état de sociabilité des tiges, tout en rappelant que la cédraie n'a subi aucune sylviculture appropriée et qu'elle n'est soumise à aucun plan d'aménagement ce qui pourrait conduire à une situation chaotique de la disposition des tiges.

Pour mieux visualiser l'état de sociabilité des tiges à travers les taches de dépérissement on s'est référé aux placettes rectangulaires où nous avons schématisé, à l'aide du logiciel AUTOCAD 2009, la disposition des tiges et la forme des houppiers d'une vue superficielle (**Fig.5.37**).

En effet, à partir de la **Figure 5.37** pour les 30 placettes d'étude, on constate une disposition réellement chaotique des tiges avec une répartition très serrée des tiges de cèdre et un houppier représentant une asymétrie qui traduit la forte compétition entre ces tiges ; cela explique clairement un effet de compétition interindividuelle entre les tiges de cèdre.

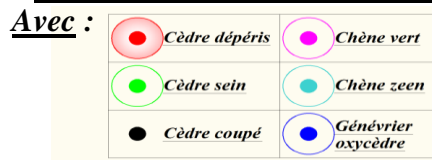
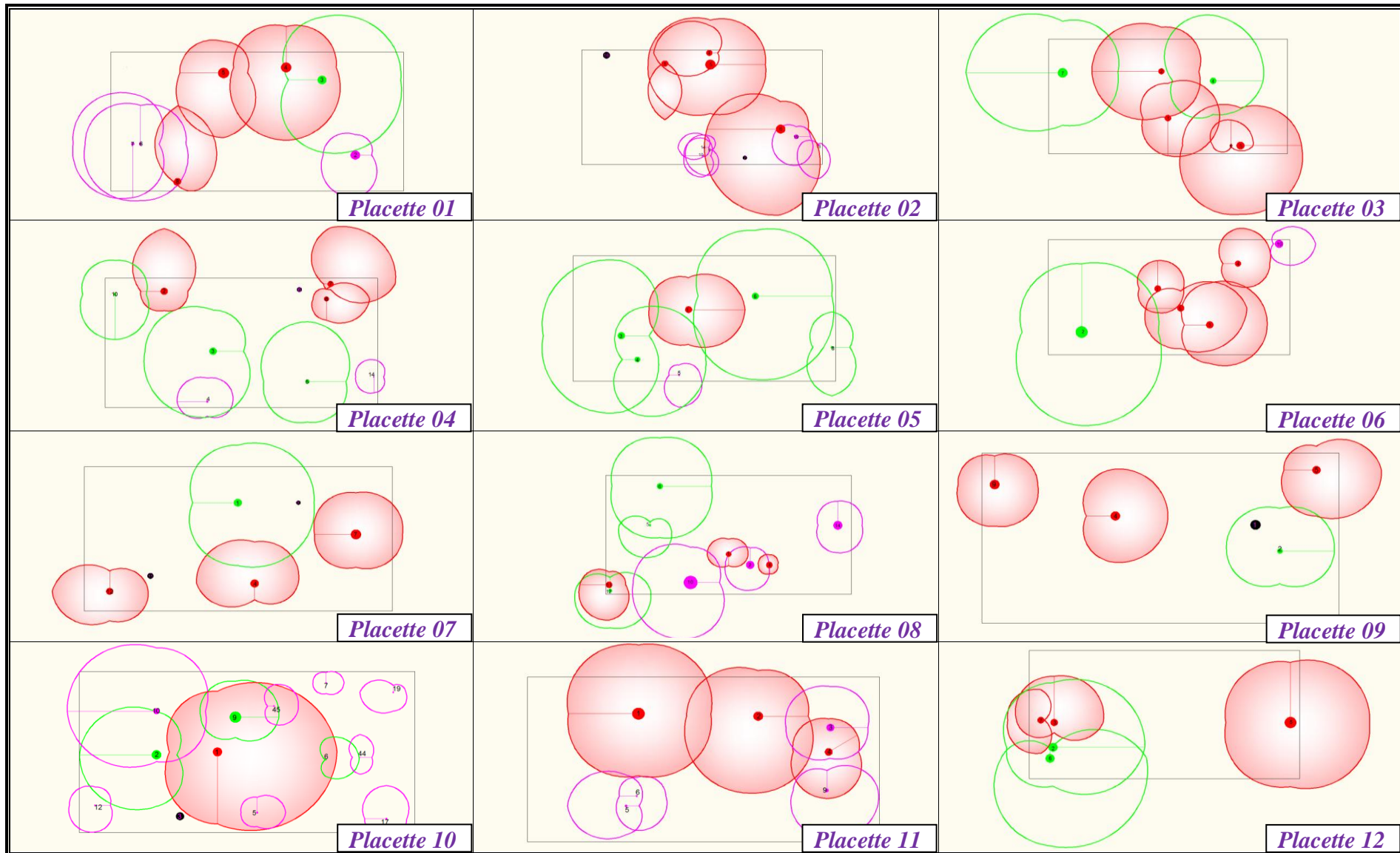


Fig.5.37 : Etat de sociabilité des tiges à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares
(Page 1/3)

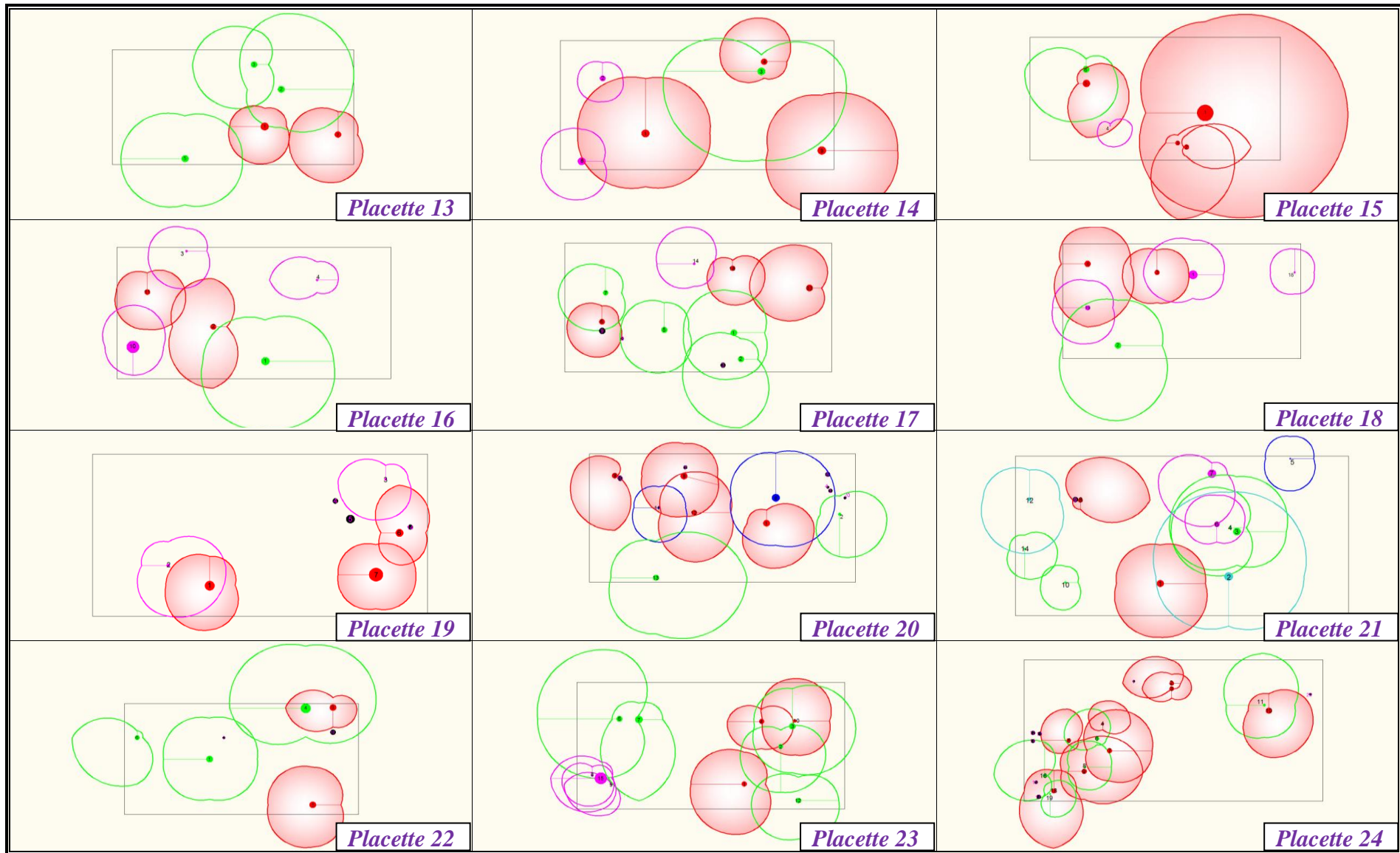


Fig.5.37 : Etat de sociabilité des tiges à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares
(Page 2/3)

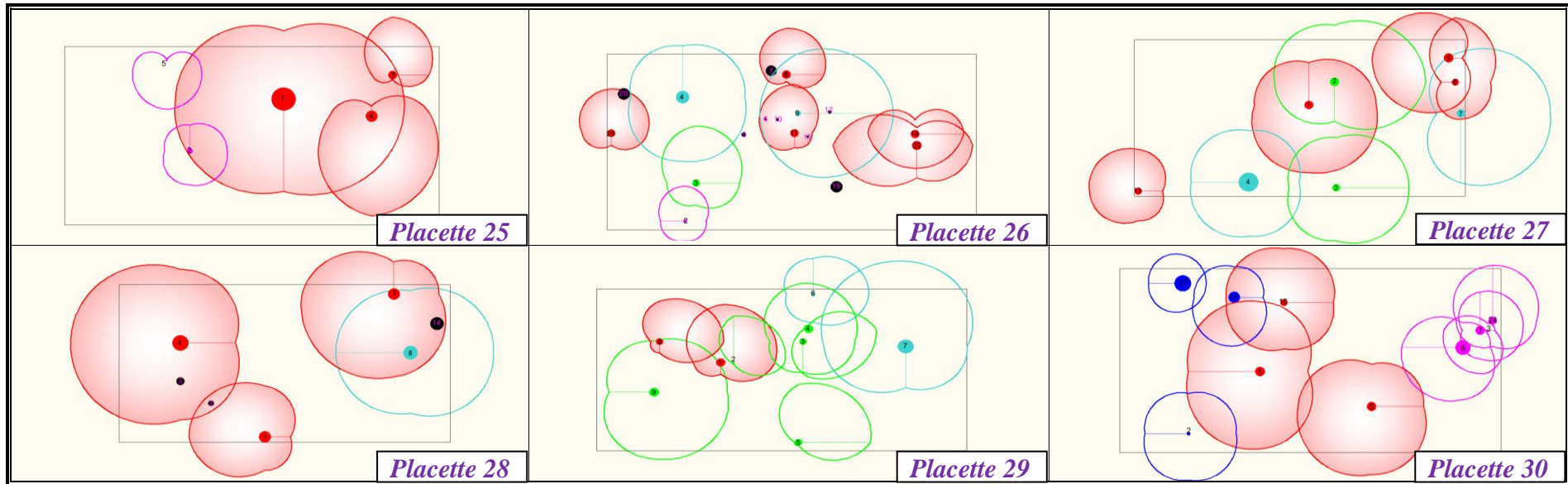


Fig.5.37 : Etat de sociabilité des tiges à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares
(Page 3/3)

5.2.5.3.2. Compétition des houppiers :

Le houppier d'un arbre désigne l'ensemble des branches et des rameaux qui entourent la partie supérieure du tronc. Le diamètre du houppier d'un arbre est une variable dendrométrique révélatrice de compétitivité ; d'autant plus que l'arbre dispose de l'espace et d'autant plus que le houppier est développé (Rondeux, 1993 ; Gadow, 2003).

L'étude de la compétition des houppiers a pour objet de rechercher d'éventuelle relation entre le dépérissement du cèdre, du fait qu'il est lié à la densité, et la compétition interindividuelle entre les tiges.

Suivant la projection horizontale du houppier de chaque tige sur terrain, on mesure quatre rayons ($n=4r$) de ce houppier. Le diamètre du houppier (d_{ho}) correspondant étant calculé selon la formulation suivante (Rondeux, 1993 ; Gadow, 2003) :

$$d_{ho} = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2 / n}$$

Par ailleurs, la largeur du houppier d'un arbre est étroitement liée au diamètre de la tige (Le goff et Ottorini, 1979 ; Rondeux, 1993 ; Gourlet-Fleury, 1998 ; Gadow, 2003).

Rondeux (1993) et Gadow (2003) proposent une relation de type linéaire entre le diamètre du houppier (d_{ho}) et le diamètre à 1.30m (d) sous la forme : $d_{ho} = a_0 + a_1 d$

L'ajustement de la fonction a abouti au résultat suivant :

| Equation | R^2 | S_r^2 |
|-------------------------|-------|---------|
| $d_{ho} = 2.18 + 9.15d$ | 0.72 | 1.66 |

Suites aux valeurs du coefficient de détermination (R^2) et de la variance résiduelle (S_r^2) obtenues lors de l'ajustement, jugées appréciables, l'équation est retenue comme étant d'une bonne corrélation (Fig.5.38).

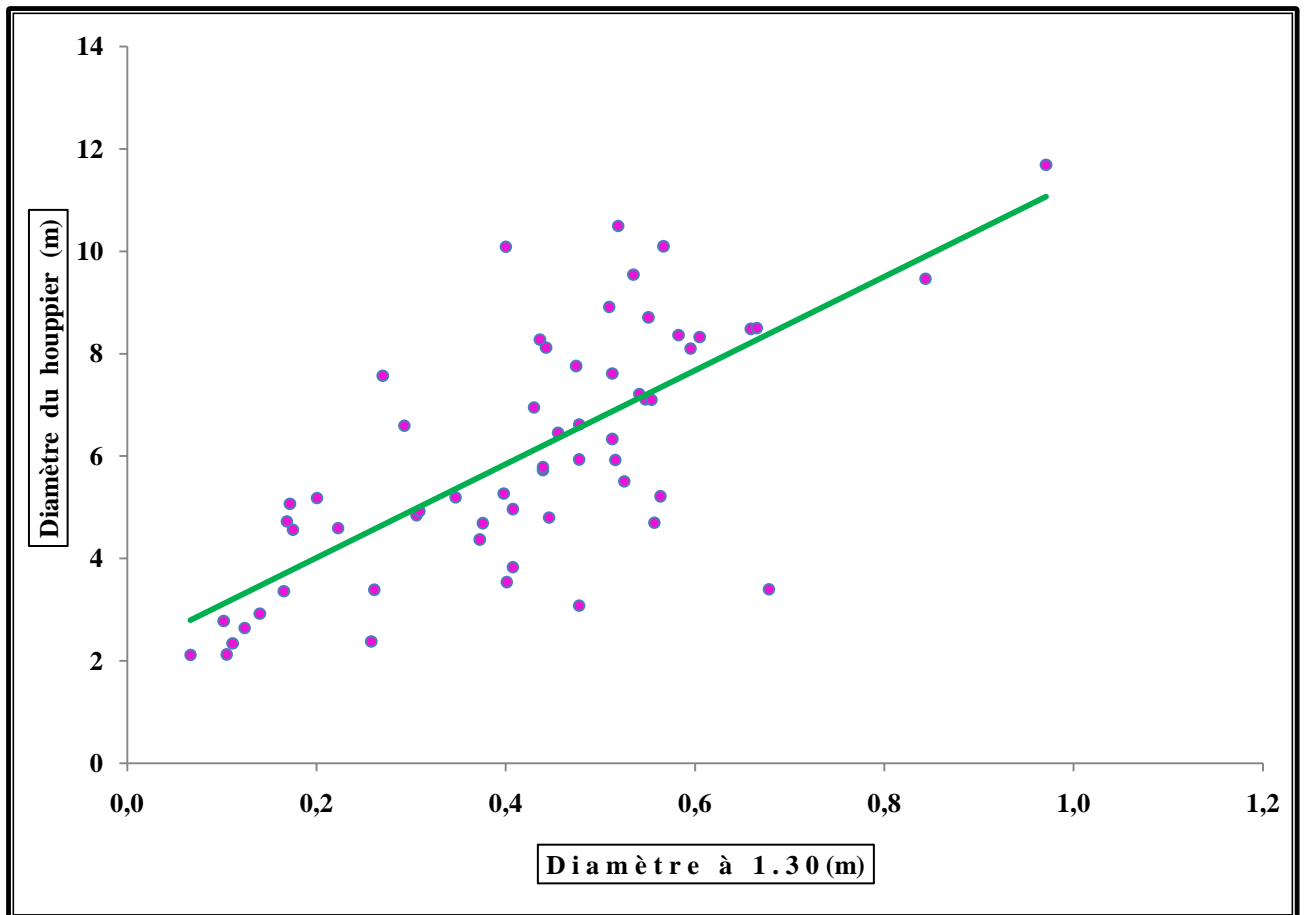


Fig.5.38 : Relation entre le diamètre du houppier et le diamètre à 1.30m des tiges de cèdre
 $d_{ho} = 2.18 + 9.15d$ [$R^2 = 0.72$; $Sr^2 = 1.66$]

La surface maximale du houppier MCA (**Maximum Crown Area**) est évaluée selon la formulation suivante (Rondeux, 1993 ; Gadow, 2003) :

$$MCA = \pi(d_{ho})^2/4$$

Pour mieux révéler la compétition entre les houppiers, on retient de recenser la totalité des tiges mêmes celles ayant fait l'objet de coupes (coupes sanitaires, illicites). Or, comme les cèdres coupés ne sont nullement enregistrés, la valeur du diamètre à 1.30m est déduite par le biais de la formulation proposée par Zedek (1993) pour la cédraie de Theniet El Had, soit :

$$C_{1.30} = 0.87 C_{20} - 0.06$$

Avec: - $C_{1.30}$: circonférence à 1.30m;
 - C_{20} : circonférence à 20cm.

Ainsi, l'estimation de la surface maximale du houppier **MCA** est déduite pour l'ensemble des tiges de cèdre inventoriées, soit celles sur pied et coupées.

Girard (1969 in El Tayeb et Gadow, 2006) relève que plus la zone de chevauchement des surfaces maximales des houppiers est grande, et plus la compétition entre les tiges concernées s'accroît (**Fig.5.39**).

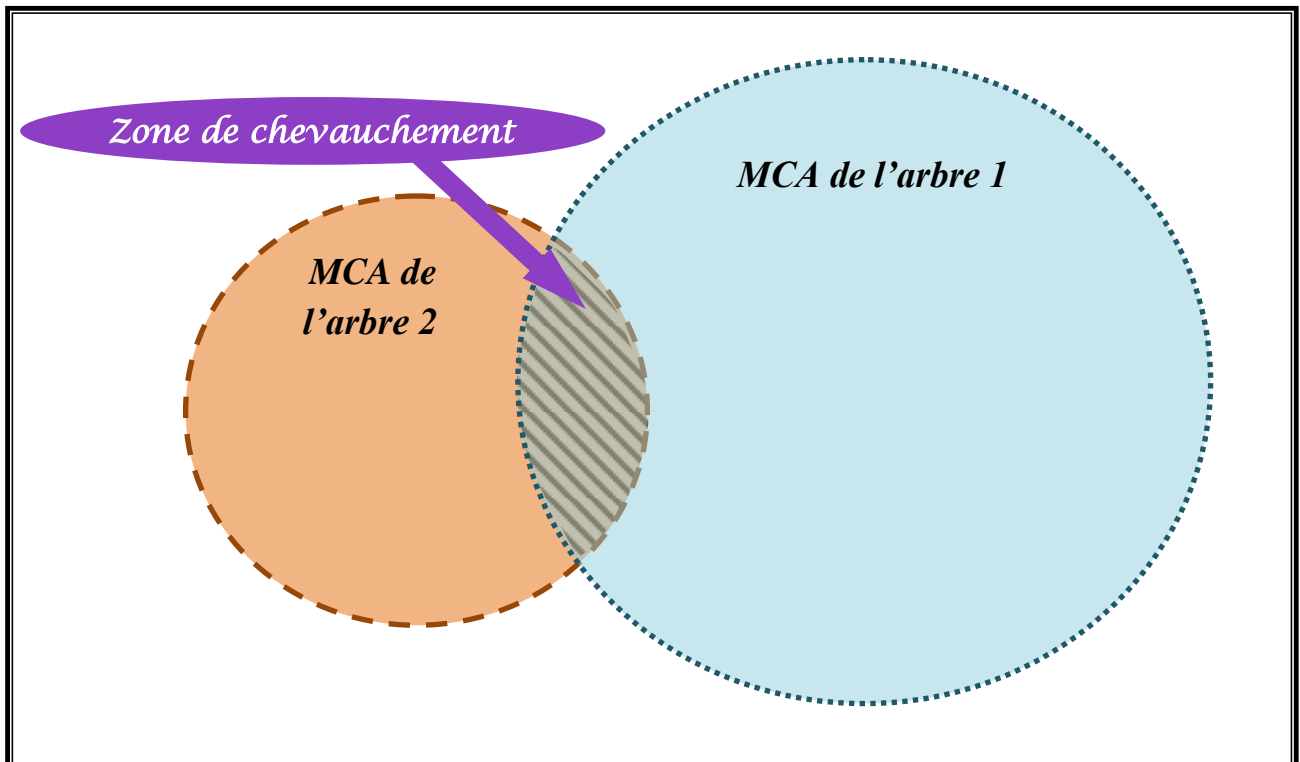


Fig.5.39 : Zone de chevauchement de deux surfaces maximales de houppiers (MCA)
(Girard, 1969 in El Tayeb et Gadow, 2006)

Comme le montre la **figure 5.40**, la surface maximale des houppiers des tiges de cèdre montre une très forte imbrication. A l'exception des houppiers des tiges relevant des placettes 1, 7, 10, 11, 16, 18 et 30, ceux des arbres des autres placettes sont superposés à plus de 90% (soit relevant de 80% de placettes). Cette disposition sociale de tiges, jugée imparfaite voire inadéquate, augure d'une situation préjudiciable à la bonne croissance du cèdre. En l'absence d'aménagement sylvicole, cette forte imbrication des houppiers des tiges ne peut que compromettre le devenir du cèdre et anéantir davantage la vitalité et la vigueur de cette essence.

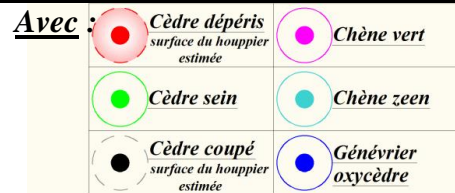
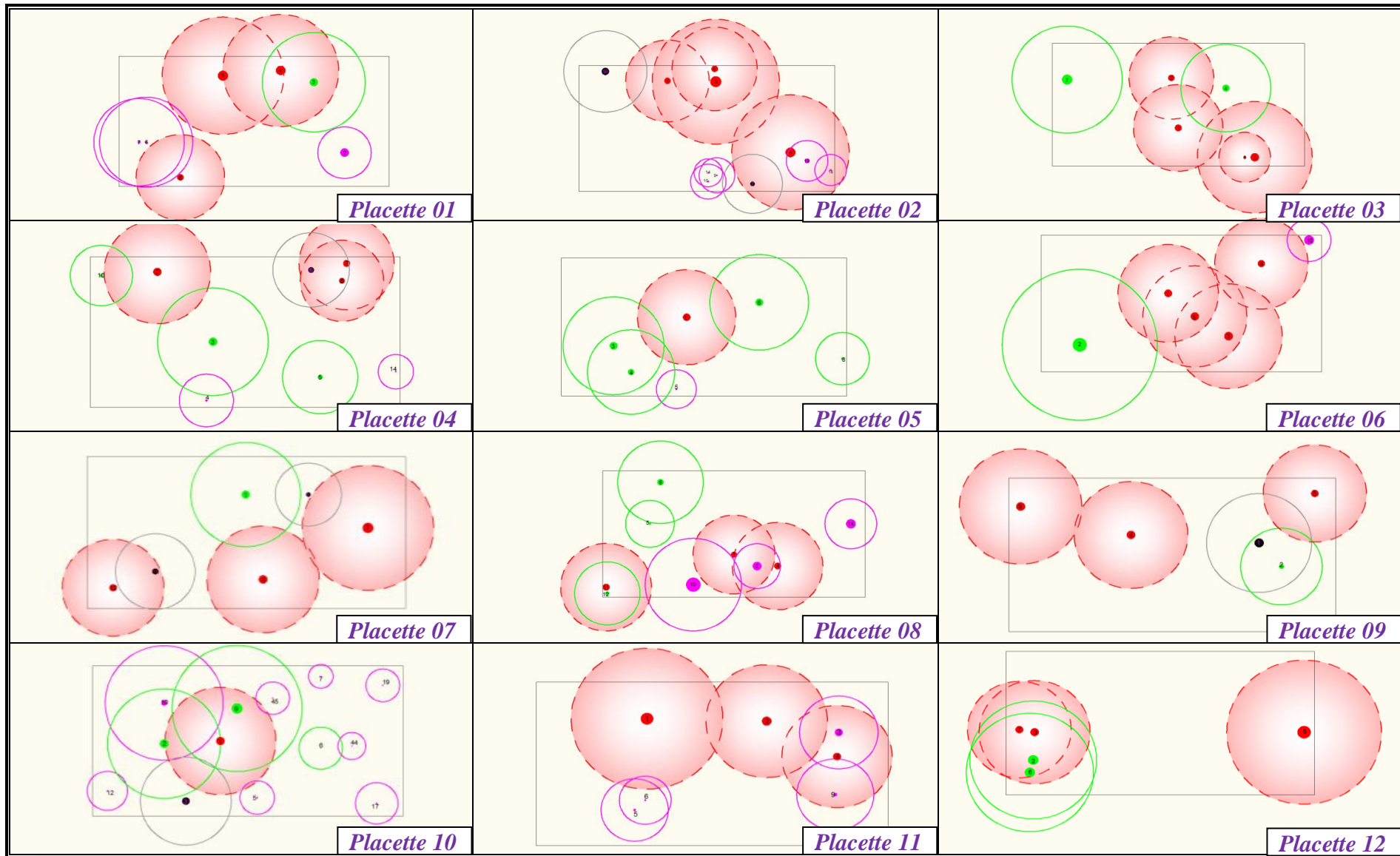


Fig.5.40 : Etat de recouvrement de la surface maximale des houppiers à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares (Page 1/3)

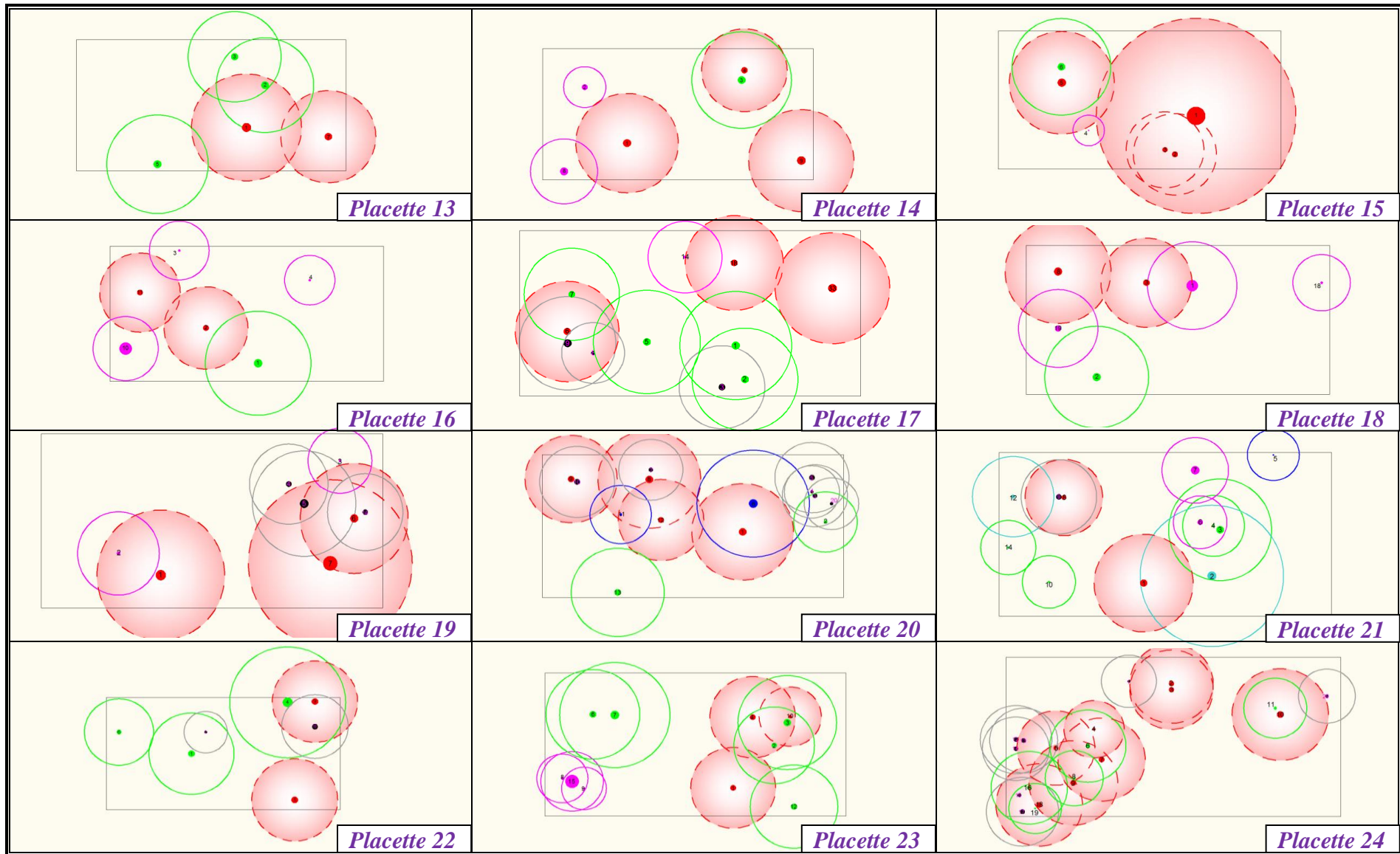


Fig.5.40 : Etat de recouvrement de la surface maximale des houppiers à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares

(Page 2/3)

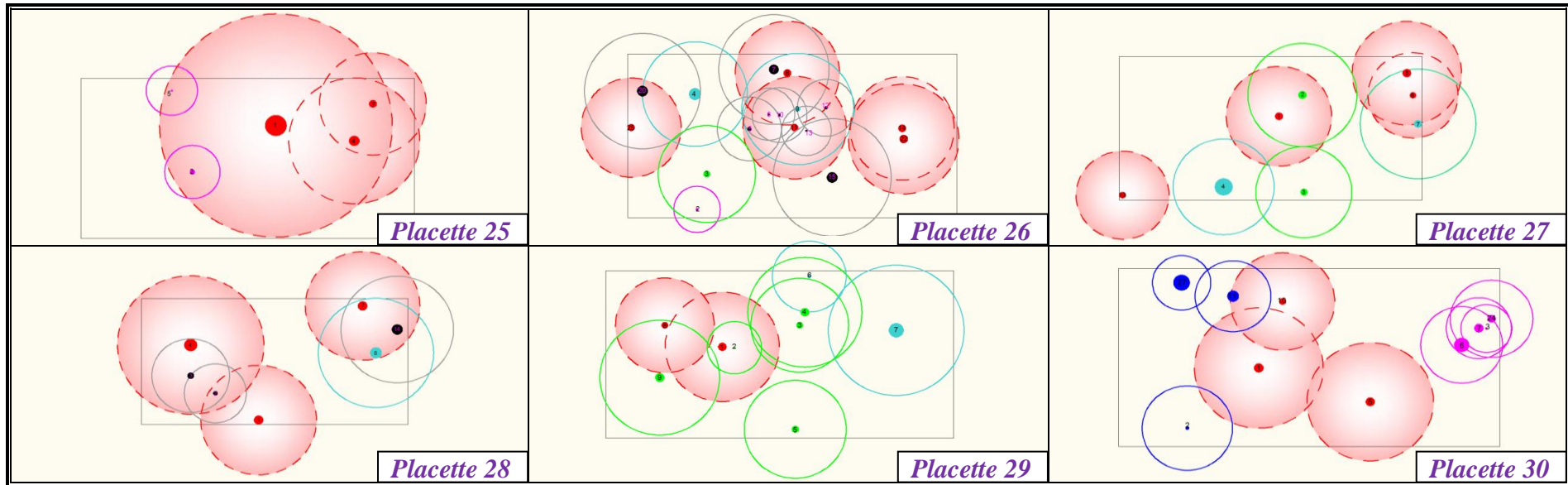


Fig.5.40 : Etat de recouvrement de la surface maximale des houppiers à travers les 30 placettes d'étude rectangulaires de 2 ares
(Page 3/3)

5.2.5.3.3. Indice de compétition interindividuelle de SCHÜTZ :

La compétition est un processus dynamique par lequel les parties aériennes et souterraines de l'arbre interagissent sur une ou plusieurs ressources communes. Ce processus induit généralement à un effet adverse pour l'arbre (Ung et al., 1997; Alteyrac, 2005).

L'indice de *Schütz* est un indice fondé sur l'ombrage porté par les voisins concurrents (Schütz, 1997). Il permet de déterminer la distance entre deux arbres pour laquelle ceux-ci sont considérés comme compétitifs (Alteyrac, 2005).

Bien qu'il existe d'autres indices de compétition entre les arbres (Arney, 1973 et Monserud et Ek 1977 in Alteyrac, 2005), l'indice de *Schütz* s'avère le plus performant et présente une grande commodité d'application pour déterminer les voisins compétiteurs (Ung et al., 1997).

Comme le montre la **figure 5.41**, l'indice de *Schütz* intègre deux composantes : la composante horizontale, représentée par les proximités des houppiers et la composante verticale, déterminée par la différence en hauteur des arbres étudiés (Ung et al., 1997). L'étude de la compétition s'effectue sur un échantillon de cinq arbres les plus proches ou sur les voisins réels de l'arbre central (Schütz, 1997). La formulation de l'indice *Schütz* a pour expression :

$$\text{Schütz} = \sum_{v=1}^n (k \text{ Ver} + \text{Hor})$$

Avec: $\text{Ver} = (H_v - H_c) / D_{v,c}$; $\text{Hor} = 0.5 - (E_{v,c} / D_{v,c})$ et $k = 0.65$

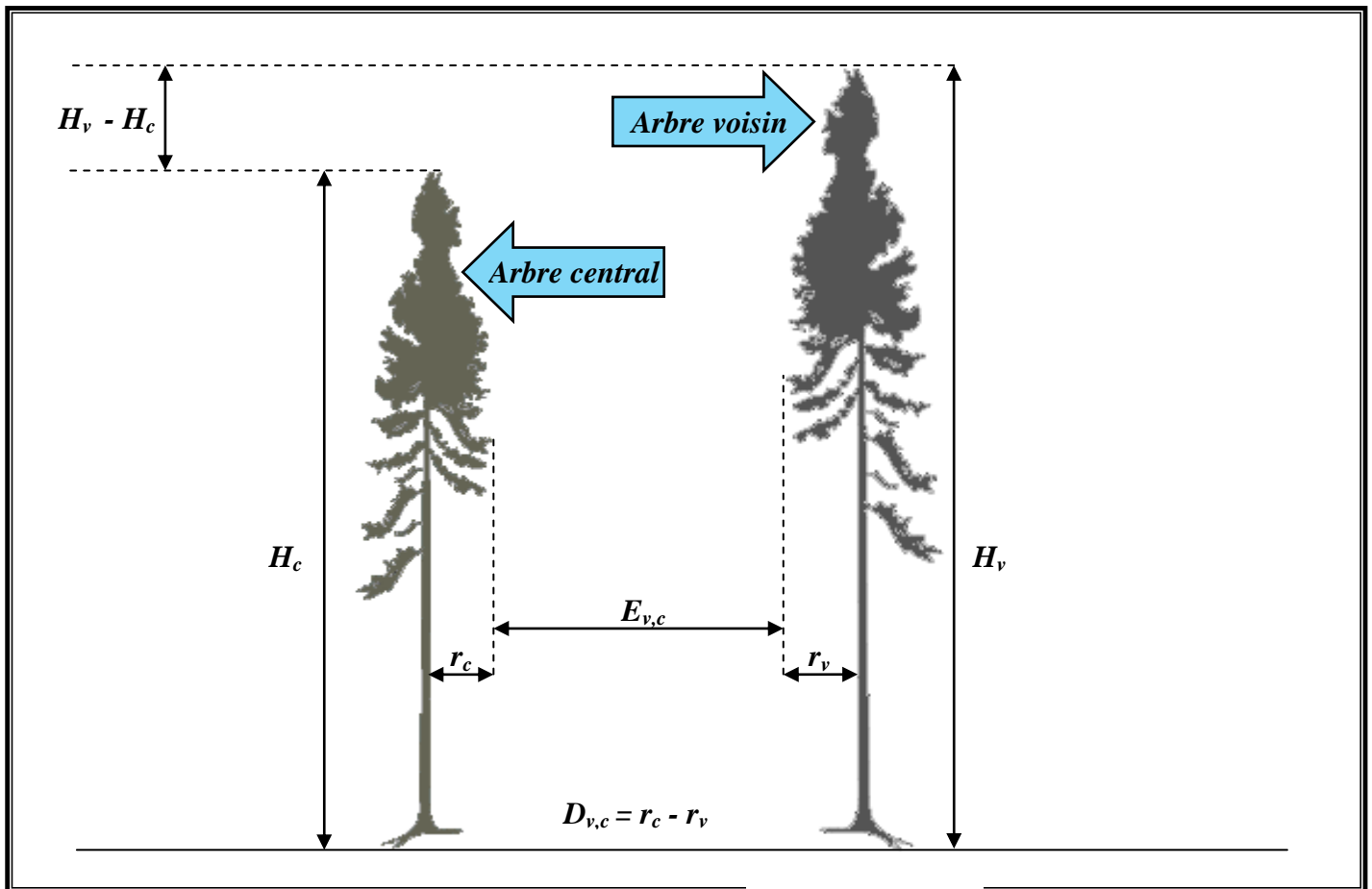


Fig.5.41 : Indice de compétition de Schütz (Raulier, 1995 ; Ung et al., 1997)

Ung et al. (1997) et Gadow (2003) relèvent que l'arbre voisin étant considéré comme compétiteur dès lors que la formulation suivante étant vérifiée :

$$0.5D_{v,c} + 0.65(H_v - H_c) \geq E_{v,c}$$

Par ailleurs, Raulier (1995) propose la formulation suivante :

$$Hor + k Ver \geq 0$$

A travers les 30 placettes rectangulaires, les tiges de cèdre dépéris sont retenues comme étant des tiges centrales. L'étude a fait l'objet d'analyse des relations entre ces tiges centrales et celles des tiges voisines toutes espèces confondues. Ainsi, on recense au total 89 cèdres dépéris (tiges centrales) et 276 tiges comme voisines compétitrices. Le **Tableau 5.17** permet de mieux synthétiser les résultats de cette étude d'arbres compétiteurs.

Tableau 5.17. Résultats de l'étude de la compétition entre les arbres dépéris et les arbres voisins à l'aide de l'indice de Schütz pour les 30 placettes

| N° de placette | Taux de dépérissement | Nombre de tiges centrales | Nombre d'arbres compétiteurs | | | | Nombre d'arbres non compétiteurs | | | |
|----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|------------|------------|--------------------|----------------------------------|------------|------------|--------------------|
| | | | Cèdre | Chêne vert | Chêne zeen | Genévrier Oxycèdre | Cèdre | Chêne vert | Chêne zeen | Genévrier Oxycèdre |
| 5 | 20% | 1 | 3 | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 25% | 1 | 2 | - | - | - | 1 | 3 | - | - |
| 4 | 50% | 2 | 3 | - | - | - | 1 | - | - | - |
| 13 | 40% | 2 | 6 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 67% | 2 | 3 | - | - | - | - | 5 | - | - |
| 18 | 67% | 2 | 3 | - | - | - | 1 | 3 | - | - |
| 21 | 33% | 2 | 3 | 1 | 2 | - | 2 | 1 | - | - |
| 22 | 40% | 2 | 3 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| 29 | 29% | 2 | 5 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| 1 | 75% | 3 | 5 | 1 | - | - | - | 1 | - | - |
| 6 | 80% | 3 | 5 | - | - | - | 2 | 1 | - | - |
| 7 | 75% | 3 | 5 | - | - | - | 1 | - | - | - |
| 8 | 50% | 3 | 2 | - | - | - | 5 | 4 | - | - |
| 9 | 75% | 3 | 1 | - | - | - | 3 | - | - | - |
| 11 | 100% | 3 | 4 | - | - | - | - | 5 | - | - |
| 12 | 60% | 3 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 75% | 3 | 3 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| 15 | 80% | 3 | 6 | - | - | - | 3 | 2 | - | - |
| 17 | 43% | 3 | 7 | - | - | - | 1 | 1 | - | - |
| 19 | 100% | 3 | 1 | - | - | - | 3 | 2 | - | - |
| 23 | 38% | 3 | 10 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| 25 | 100% | 3 | 5 | - | - | - | 1 | 2 | - | - |
| 28 | 100% | 3 | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| 30 | 100% | 3 | 6 | - | - | - | - | 1 | - | 3 |
| 2 | 100% | 4 | 6 | - | - | - | 2 | 5 | - | - |
| 3 | 67% | 4 | 12 | - | - | - | 1 | - | - | - |
| 20 | 67% | 4 | 6 | - | - | 1 | 5 | - | - | 5 |
| 26 | 83% | 4 | 5 | - | 4 | - | 3 | - | 1 | - |
| 27 | 67% | 4 | 8 | - | 3 | - | - | - | 1 | - |
| 24 | 62% | 8 | 23 | - | - | - | 12 | - | - | - |

A travers le **tableau 5.17**, on relève que la compétition entre les tiges de cèdre est quasi omniprésente dans l'ensemble des placettes d'étude. Dès lors, les valeurs déduites de l'indice de compétition de Schütz, suite à la mauvaise répartition spatiale des cèdres, révèlent être de véritables indicateurs d'une concurrence sévère entre les tiges de cèdre. En conséquence, la détérioration des cimes des arbres engendre inéluctablement des perturbations de vigueur et de vitalité dont le dépérissement en est le véritable signe pathologique des tiges de cèdre.

Le taux de dépérissement s'avère être relativement proportionnel au nombre de cèdres dépéris (tiges centrales) (**Fig.5.42**). En fait, de plus en plus que le nombre de tiges centrales s'élève et de plus le taux de dépérissement augmente. Cette situation permet de soulever l'adéquation entière entre l'ampleur du dépérissement avec le nombre de cèdres dépéris indépendamment de la densité totale enregistrée. C'est dire que la gravité pathologique recensée à travers la cédraie demeure sévère même en présence d'un nombre relatif restreint de cèdres dépéris.

La compétition soulevée, suite à la répartition spatiale chaotique des tiges, est retenue comme étant une indication de mauvaise augure de l'ensemble des tiges encore sur pied. Cette situation pathologique à l'origine d'une compétition s'avère être loin d'être dépendante du nombre de cèdres compétiteurs. En effet, indifféremment du nombre de cèdres jugés compétiteurs, le taux de dépérissement enregistré demeure invariablement signalé. Cette évidence corrobore nettement avec celle soulevée par **Naggar (2010)** dans la cédraie de Theniet El Had. Dès lors, la présence de cèdres compétiteurs, indépendamment de leur nombre, est un signe révélateur d'un dépérissement auquel le forestier a l'entière disposition de l'anéantir par le biais d'opérations sylvicoles appropriées.

En effet, dans le cadre de la gestion du dépérissement, des interventions sylvicoles objectives et rationnelles demeurent d'une urgence vitale à la cédraie. Un plan d'aménagement adéquat aura pour objet d'assurer un espace vital à chacune des tiges de cèdre.

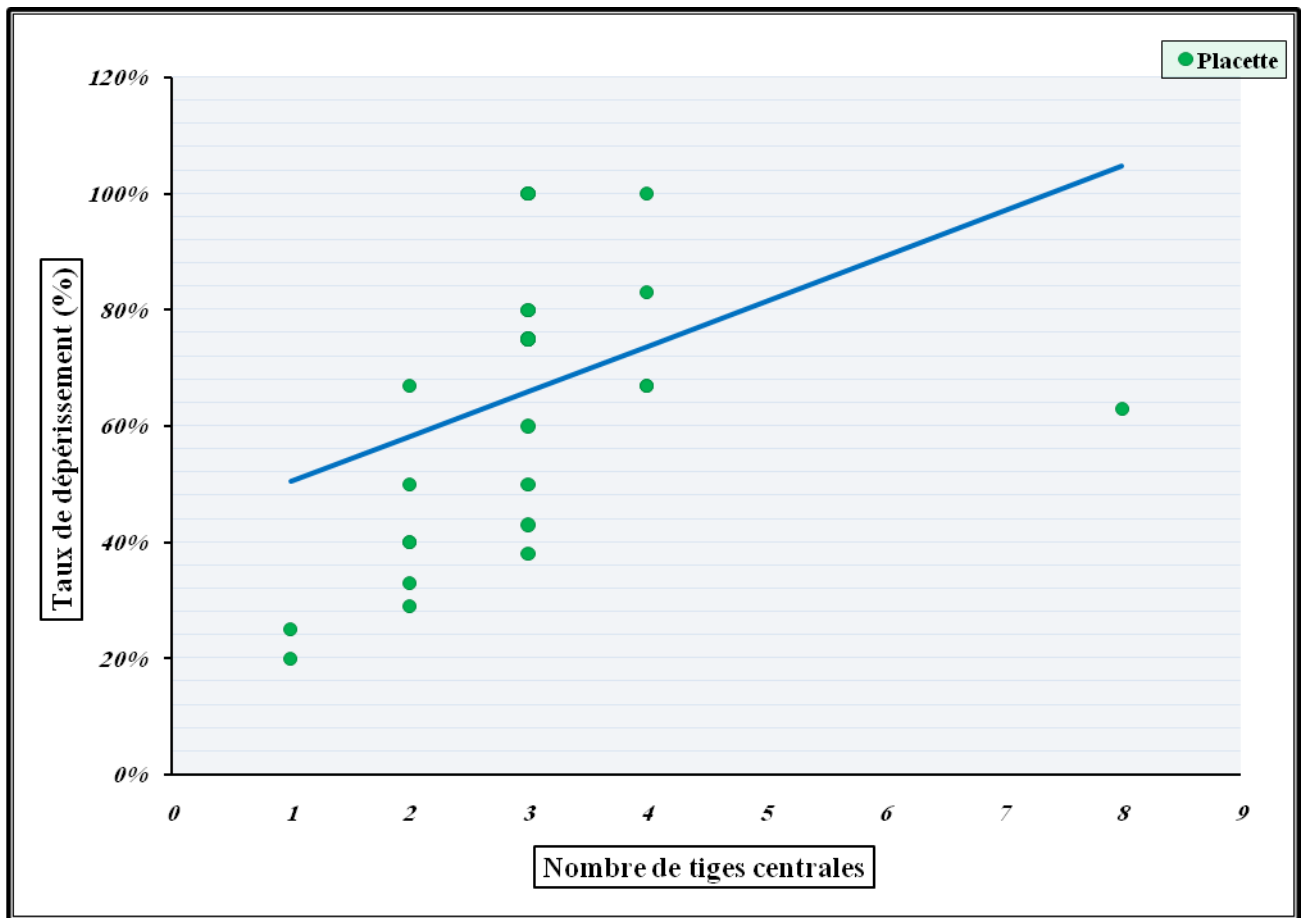


Fig.5.42 : Relation entre le taux de dépérissement et le nombre de tiges centrales

$$DEP = 0.43 + 0.08NT \quad [R^2 = 0.39 ; Sr^2 = 0.23]$$

CONCLUSION

CONCLUSION

La cédraie de Theniet El Had, un maillon de liaison entre l'Ouarsenis et les hautes plaines de Sersou, est l'une des plus belles cédraies de l'Algérie. D'une altitude variant entre 1277 et 1786m, elle est soumise à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver froid. Quoique érigée en parc national, la cédraie ne fait l'objet d'aucune opération sylvicole et demeure soumise à des actions anthropiques diverses : pâturage, coupes illicites.

A travers l'installation de trente placettes temporaires, de formes circulaires et concentriques de superficies respectives de 2, 4, 5 et 10 ares installées au sein des tâches de dépérissement sur le versant nord, 507 tiges de cèdre y sont recensées dont 159 dépéris. En plus, quatre autres espèces y ont été recensées en mélange avec le cèdre : chêne vert, chêne liège, chêne zeen et genévrier oxycèdre.

Les peuplements de cèdre présentent des hauteurs totales moyennes variant entre 8.35 et 25.38m avec une moyenne arithmétique égale à **15.68m**. Les circonférences totales moyennes varient entre 0.98 et 2.12m avec une moyenne arithmétique égale à **1.54m**. La surface terrière totale, excellent indice de densité, est comprise entre 10.40 et 71.39m²/ha avec une moyenne estimée égale à **33.46m²/ha**. La densité présente une variabilité comprise entre 60 et 420pieds/ha avec une moyenne de **169pieds/ha**.

Les caractéristiques qualitatives descriptives relèvent que 79.68% des tiges présentent un fût d'au moins de 2m. Les maladies symptomatologiques du feuillage sont d'un taux de 33.73% identifiées par des chutes d'aiguilles, de dommage physique et d'aiguilles dépéris. Plus de 30% du peuplement recensé présente des dommages sur les houppiers, soit une situation fort compromettante de la croissance des tiges de cèdre.

Pour pouvoir caractériser la variabilité du taux de dépérissement à travers les variables topographiques, édaphiques et dendrométriques, l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95%, a fait l'objet d'étude. Il en ressort que le taux de dépérissement ne présente aucune différence significative avec le potentiel de rétention d'eau exprimé par la topographie du microrelief de même que par l'inclinaison du terrain.

A travers la variabilité édaphique, l'évolution du taux de dépérissement ne présente aucune différence significative avec les caractéristiques physico-chimiques suivantes : taux de calcaire, pH du sol, matière organique et texture du sol.

Les caractéristiques dendrométriques des cèdres dépéris ont fait l'objet d'analyse à travers les éventuelles relations avec la surface terrière, la hauteur dominante, la circonférence dominante et la circonférence moyenne.

Le taux de dépérissement présente des différences significatives avec la surface terrière totale du peuplement dans les placettes de deux ares. Dans celles de quatre, cinq et dix ares, la différence demeure non significative. Cette situation révèle l'importance de l'espace vital, du fait que les catégories des surfaces terrières sont moins corrélées au dépérissement pour des superficies plus importantes.

La hauteur dominante et la circonférence dominante, parmi les indices forts considérables de la fertilité stationnelle, ne présentent aucune corrélation avec le dépérissement. Ce résultat corrobore avec celui du taux de dépérissement en rapport avec les caractéristiques topographiques et édaphiques.

On révèle une corrélation du taux de dépérissement avec la circonférence moyenne, variable influencée par la compétitivité des tiges. En fait, plus la circonférence des tiges est grande, et en l'absence d'interventions sylvicoles, et plus la concurrence est accrue.

Dans le but de mieux pouvoir mettre en évidence l'influence de la densité à travers les taux de dépérissement enregistrés, trois principaux facteurs ont fait l'objet d'étude : la grandeur des superficies, l'évolution du nombre de tiges par hectare et la répartition des tiges dans l'espace.

La régression du taux de dépérissement s'avère être liée avec l'évolution de la grandeur des superficies. C'est dire de l'importance de l'espace vital, dans la mesure où plus la superficie est grande et moins le dépérissement est recensé.

Le dépérissement s'avère être lié à la densité totale à travers les placettes d'étude de quatre ares. Il est plus recensé dans les placettes à faible densité, à l'exception dans celle de 2 ares suite à la forte concentration des cèdres dépéris.

L'état de sociabilité des tiges, recensé dans les placettes rectangulaires, révèle nettement la répartition chaotique des tiges à travers la dissymétrie de leurs houppiers à la suite de l'intense compétition des tiges de cèdre pour les conditions d'espace vital.

L'étude de la compétition des houppiers a fait l'objet de présentation structurale schématique et d'interprétation des surfaces maximales des houppiers, dénommées encore MCA « **Maximum Crown Area** ». L'étude révèle qu'environ 80% des placettes présentent des « MCA » superposés à plus de 90%. Le taux de dépérissement s'avère être relativement

proportionnel au nombre de cèdres dépéris (tiges centrales). En fait, de plus en plus que le nombre de tiges centrales s'élève et de plus le taux de dépérissement augmente. Cette situation permet de soulever l'adéquation entière entre l'ampleur du dépérissement avec le nombre de cèdres dépéris indépendamment de la densité totale enregistrée. C'est dire que la gravité pathologique recensée à travers la cédraie demeure sévère même en présence d'un nombre relatif restreint de cèdres dépéris. La compétition soulevée, suite à la répartition spatiale chaotique des tiges, est retenue comme étant une indication de mauvaise augure de l'ensemble des tiges encore sur pied. Cette situation pathologique à l'origine d'une compétition s'avère être loin d'être dépendante du nombre de cèdres compétiteurs. En effet, indifféremment du nombre de cèdres jugés compétiteurs, le taux de dépérissement enregistré demeure invariablement signalé.

En effet, dans le cadre de la gestion du dépérissement, des interventions sylvicoles objectives et rationnelles demeurent d'une urgence vitale à la cédraie. Un plan d'aménagement adéquat aura pour objet d'assurer un espace vital à chacune des tiges de cèdre.

Par le biais de ce modeste travail, on espère avoir répondu au souci du chercheur et à l'attente du service forestier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Abdelhamid D., 1999.** Etude bioécologique de l'entomofaune du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti (1844) dans la Cédraie de Theniet El had Algérie. *Thèse. Magister. INA. Alger. 106p.*
2. **Abdendi Z.-A., 2003.** Le dépérissement des forêts au Maroc : Analyse des causes et stratégie de lutte. *Science et changements planétaires Sècheresse, Vol. 14, N°4. pp 209-218.*
3. **Administration des Eaux et des Forêts, 1930.** Le dépérissement du noyer- Les tares du bois de noyer. *Bulletin n°3. Rev. For. Fr. pp 267-274.*
4. **Alfred-Maury L.-F., 1857.** Histoire des religions de la Grèce antique depuis leur origine jusqu'à leur complète constitution. T 2. *Librairie philosophique de Ladrance. Paris. 551p.*
5. **Allen C.-D., 2009.** Le dépérissement des forêts dû au climat: un phénomène planétaire croissant?. *Unasylva 231/232, Vol. 60. pp 43-49.*
6. **Alteyrac J., 2005.** Influence de la densité de peuplement et de la hauteur dans l'arbre sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'épinette noire (*Piceamariana* (mill.)). *Thèse Doctorat. Univ. LAVAL. QUEBEC. 136p.*
7. **Amandier L., 2010.** Dépérir, partir... ou s'adapter. Quel choix pour le chêne-liège? *La feuille & l'aiguille, n°80. 1p.*
8. **Andrea C., Roberto M., 1994.** Growth performances of a thinned atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man.) stand. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 281-293.*
9. **Anonyme, 1984.** Etude et projet pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et des parcs nationaux dans le massif de l'Ouarsenis. Vol. 19. *Lescomplekt. Bulgarie. 169p.*
10. **Arbez M., Ferrandes P., Uyar N., 1978.** Contribution à l'étude de la variabilité géographique des Cèdres. *Ann. Sci. Forest. Vol. 35, n°4. pp265-284.*
11. **Arbez M., 1987.** Les ressources génétiques forestières en France, Vol. 1 : Les conifères. *INRA-BRG. Paris. 236p.*

12. **Aussenac G., Guehl J.-M., 1994.** Dépérissement et accidents climatiques. *Rev. For. Fr.* XLVI, n°5. pp 458-470.
13. **Bachacou J., Décourt N., 1976.** Etude de la compétition dans des plantations régulières à l'aide de Variogrammes. *Ann. Sci. Forest. Vol. 33, n°4.* pp 177-198.
14. **Barrero A., Quilez Del Moral J.-F., Mar Herrador M., Arteaga J.-F., Akssira M., Benharref A., Dakir M., 2005.** Abietane diterpenes from the cones of *Cedrus atlantica*. *Phytochemistry*, n°66. pp 105-111.
15. **Barthod C., 1994.** Le système de surveillance de l'état sanitaire de la forêt en France. *Rev. For. Fr.* XLVI, n°5. pp 564-571.
16. **Becker M., Picard J.-F., Timbal J., 1983.** Les arbres. *Masson. Paris.* 141p.
17. **Becker M., Le Tacon F., Levy G., 1994.** Conjonction des facteurs naturels et des pratiques sylvicoles dans le dysfonctionnement des écosystèmes forestiers. *Rev. For. Fr.* XLVI, n°5. pp 572-578.
18. **Beghami R., 2010.** Etude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de la cédraie de Chelia et Ouled yagoub. *Thèse magister. Batna.* 118p.
19. **Bellefleur P., Villeneuve M., 1984.** Evolution des taux de croissance juvénile d'espèces forestières sous trois régimes expérimentaux de compétition. *Ann. Sci. Forest. Vol. 41, n°4.* pp 427-438.
20. **Belrose V., Nageleisen L.-M., Renaud J.-P., 2004.** Les conséquences de la canicule et de la sécheresse sur la santé des forêts : bilan à la fin de l'année 2003. *Département de la santé des forêts. France.* 16p.
21. **Belvaux E., 2002.** L'Hydraulique au service de la protection des forêts contre l'incendie : Rapport d'étude. *SCPId, Ceren. France.* 63p.
22. **Benabid A., 1994.** Biogéographie, phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 61-76.
23. **Benali A., 2006.** Aménagement étatique, gestion sociale de l'eau et dynamiques institutionnelles dans la PMH au Maroc: réflexions à partir du cas du Ghiss. *Presses univ. de Louvain.* 327p.
24. **Benmouffok A., 1994.** Approche écopédologique dans les formations à *Cedrus atlantica* "Cas du massif du Djurdjura, Algérie". *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 205-217.

25. **Birot Y., 1972.** Densité de semis, effets de compétition, et variabilité intraspécifique chez le douglas en pépinière. *Ann. Sci. Forest*, Vol. 29, n°4. pp 403-426.
26. **Bonneau M., 1994.** Les dépérissements à causes multiples : caractéristiques générales. *Rev. For. Fr.* XLVI, n°5. pp 472-473.
27. **Bouchon J., 1979.** Structure des peuplements forestiers. *Ann. Sci. Forest.* Vol. 36, n°3. pp 175-209.
28. **Boudiba M., 2002.** L'Ouarsenis : la guerre au pays des cèdres. *L'Harmattan.* 285p.
29. **Boudy P., 1950.** Economie forestière nord-africaine. Tome 02. Monographie et traitements des essences forestières. *Larose. Paris.* 878p.
30. **Boudy P., 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. *La maison Rustique.* 505p.
31. **Bréda N., Granier A., Aussenac G., 2000.** Évolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Rev. For. Fr. LII (numéro spécial).* pp 73-90.
32. **BTSA Gestion Forestière, 1997.** Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. *CFPPA/CFAA de CHATEAUFARINE.* 88p.
33. **Buridant J., 2008.** La question du dépérissement forestier fin XVIII^e – début XIX^e siècle. *Annuaire-bulletin de la société de l'histoire de France.* pp109-136.
34. **Chateaubriand F.-R., 1862.** Itinéraire de Paris à Jérusalem et de Jérusalem à Paris. *Bernardin-Béchet, librairie. Paris.* 425p.
35. **Chbouki N., 1994.** Une synthèse dendroclimatique du cèdre de l'Atlas. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 33-59.
36. **Coombes A.-J., 2001.** Les arbres : 500 espèces. *Bordas. Paris.* 320p.
37. **Corvol-Dessert A., 2002.** La place des forêts méditerranéennes dans nos sociétés. *Foret méditerranéenne, hors série, n°1.* pp 65-83.
38. **Coudé-Gaussen G., 1995.** Désertification et aménagement au Maghreb. *L'Harmattan.* 313p.
39. **Courbet F., 1991.** Tarif de cubage à deux entrées pour le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en France. *Rev. For. Fr. XLIII, n°3.* pp 215-226.

40. **Csaba M., 1994.** Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 219-222.*
41. **D.G.F, 2005.** Les parcs nationaux d'Algérie. *Direction Générale des Forêts. 6p.*
42. **Dagnelie P., 1993.** Principes d'expérimentation. 3^{ème} édition. *Les Presses agronomiques de Gembloux. 182p.*
43. **Dagnelie P., 1994.** Théorie et méthodes statistiques applications agronomiques : les méthodes de l'inférence statistique. 2^{ème} édition. *Les Presses agronomiques de Gembloux. Vol. II. 463p.*
44. **Dagnelie P., Palm R., Rondeux J., Thill A., 1999.** Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. 2^{ème} édition. *Les Presses agronomiques de Gembloux. 126p.*
45. **Dahman M., Khouja M.-L., 1994.** Résultats des essais d'acclimatation du cèdre en Tunisie. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 129-137.*
46. **De Bonneval G., 1930.** L'Algérie touristique. *Comité national métropolitain du Centenaire de l'Algérie. 62p.*
47. **Décourt N., Michaux F., Tisserand A., Simon R., 1965.** Le Pin Sylvestre et le Pin Laricio de Corse en Sologne : Tables de production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. *Ann. Sci. Forest. Vol. 22, n°2. pp 257-318.*
48. **Décourt N., 1967.** Le douglas dans le nord-est du massif central : Tables de production provisoires. *Ann. Sci. Forest, Vol. 24, n°1. pp 45-84.*
49. **Delatour C, 1990.** Le dépérissement des chênes en Europe : une réunion internationale. *Rev. For. Fr. XLII, n°6. pp 623-624.*
50. **Deleuze C., Blaudez D., Herve J.-C., 1996.** Ajustement d'un modèle hauteur-circonférence pour l'épicéa commun. Effet de la densité. *Ann. Sci. Forest. n°53. pp 93-111.*
51. **Delkov A., Grozev O., 1994.** Résultats de l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti en Bulgarie de Sud-Ouest. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 173-185.*
52. **Demarteau M., 2006.** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Thèse licence. Univ. Liège. 60p.*

53. **Demarteau M., Francois L., Cheddadi R., Roche E., 2007.** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop.* n°31. pp 105-146.
54. **Derak M., M'hirit O., Mouflih B., Et-Tobi M., 2008.** Influence de la densité et du type de peuplement sur le dépérissement du cèdre à SIDI M'GUILD (moyen atlas marocain). *Forêts méditerranéenne.* T XXIX. n°01. pp 23-32.
55. **Derridj A., 1990.** Etude des populations de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie. *Thèse doc-Ing. Univ. Paul Sabatier. Toulouse.* 288p.
56. **Drénou C., 2006.** Les racines: face cachée des arbres. *IDF. Paris.* 335p.
57. **Ducrey M., 1994.** Adaptation du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen : aspects écophysologiques de sa réaction à la sécheresse. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 105-127.
58. **Duhen L.-M., 2011.** Changement climatique : les forestiers méditerranéens inquiets. *La feuille & l'aiguille n°82.* 2p.
59. **Duperat M., Polese J.-M., 2007.** Les arbres. *Borée.* 78p.
60. **Duvigneaud P., 1980.** La synthèse écologique. *Doin éditeur.* 380p.
61. **El Tayeb A.-M., Gadow K., 2006.** Forest growth. *Universitätsdrucke Göttingen.* 151p.
62. **Elhaï H., 1968.** Biogéographie. *Colin.* 407p.
63. **Ezzahiri M., Belghazi B., Bahmad M., 1994.** Bilan de la régénération naturelle de la cédraie dans les parcelles clôturée du Moyen Atlas, Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 259-268.
64. **Ezzahiri M., Belghazi B., 2000.** Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaires/sécheresse. Vol. 11. n°02.* pp 79-84
65. **Finkelstein D., 1981.** Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débournement et la croissance de jeunes plants de Cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. *Ann. Sci. Forest. Vol. 38, n°4.* pp 513-530.
66. **Gadow K., 2003.** Waldstruktur und wachstum. *Universitätsdrucke Göttingen.* 241p.

67. **Gagnon G., Roy G., 1994.** Le dépérissement de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) au Québec. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 512-521.*
68. **Gallais A., Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées : Objectifs et critères de sélection. *INRA. Paris. 768p.*
69. **Garrec J.-P., 1994.** Les dépérissements littoraux d'arbres forestiers. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 454-457.*
70. **Godet J.-D., 2007.** Arbres et arbustes aux quatre saisons. 2^{ème} Edition. *Delachaux et Niestlé. Italie 2007. 215p.*
71. **Gourlet-Fleury S., 1998.** Indices de compétition en forêt dense tropicale humide : étude de cas sur le dispositif sylvicole expérimental de Paracou (Guyane française). *Ann. Sci. Forest. n°55. pp 623-654.*
72. **Guehl J.-M., 1984.** Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. *Ann. Sci. Forest. Vol. 41, n°2. pp 195-236.*
73. **Guillaumin J.-J., Legrand P., Lung-Escarmant B., Botton B., 2005.** L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux. *INRA. Paris. 504p.*
74. **Guittoun Y., 2004.** Contribution à l'étude de la productivité du *Cedrus atlantica* Manetti (Cèdre de l'Atlas) en fonction des caractéristiques stationnelles dans le parc national Theniet el had. *Thèse Ing. Univ. Ibn Khaldoun. Tiaret. 102p.*
75. **Guyon J.-P., Guyon D., Riom J., 1994.** Causes et gestion du dépérissement des peuplements de pin maritime sur le littoral nord-atlantique. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 485-494.*
76. **Guyon J.-P., 1998.** Environnement et croissance du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) et du pin noire d'Autriche (*Pinus nigra* Arn.). Applications en sylviculture. *Thèse Doc. Univ. Nancy 1. 41p.*
77. **Hainry D., Colombet M., 2009.** Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Bretagne. *CRPF. Bretagne. 10p.*
78. **Harfouche A., Nedjahi A., 2003.** Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies de Bélézma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbres plus. *Rev. For. Fr. LV, n°2. pp 113-122.*
79. **Hocine H., Belarbi H., Perrin R., Chevalier G., 1994.** Possibilités de mycorhization de *Cedrus atlantica* Manetti. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 349-361.*

80. **Hoefer F., 1850.** Dictionnaire de botanique pratique. *Librairie de Firmin didot frères.* 726p.
81. **Huft A., 2001.** Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. *Presses Université Laval.* 542p.
82. **Illy G., Lemoine B., 1970.** Densité de peuplement, concurrence et coopération chez le Pin maritime : I. — premiers résultats d'une plantation à espacement variable. *Ann. Sci. Forest. Vol. 27, n°2. pp 127-155.*
83. **Inventaire Forestier National, 2006.** Observer la forêt française : mission première de l'IFN. *L'IF, n°12. 12p.*
84. **Jacmon M., 2001.** Guide de dendrologie : arbre, arbustes, arbrisseaux des forêts française. 4^{ème} édition. *ENGREF. Nancy.* 350p.
85. **Jacques A., Carriere E.-A., Duchartre P.-E.-S., Herincq F., Naudin C., 1847.** Manuel général des plantes arbres et arbustes: Comprenant leur origine, description, culture, leur application aux jardins d'agrément, à l'agriculture, aux forêts, aux usages domestiques, aux arts et à l'industrie, et classés selon la méthode de Decandolle, Volume 1. *Librairie agricole de Dusacq. Paris.* 716p.
86. **Jamey P., 1994.** La gestion du dépérissement du sapin et de l'épicéa dans le département des Vosges. *Rev.For. Fr. XLVI, n°5. pp 599-601.*
87. **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 du Belezma. *Thèse magister. Univ. Batna.* 256p.
88. **Lamhamedi M., Chbouki N., 1994.** Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 243-257.*
89. **Landmann G., Bonneau M., Adrian M., 1987.** Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ?. *Rev. For. Fr. XXXIX, n°1. pp 5-11.*
90. **Landmann G., 1994.** Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 405-415.*

91. **Landmann G., Bonneau M., 1994.** Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans les montagnes Françaises au cours des années 1980. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 522-537.*
92. **Landmann G., 2000.** La santé des forêts françaises : bilan de l'année 1998 et nouveaux acquis. *Rev. For. Fr. LII, n°1. pp 9-22.*
93. **Landmann G., 2002.** La santé des forêts françaises : bilan des années 2000 et 2001 et nouveaux acquis. *Rev. For. Fr. LIV, n°4. pp 375-388.*
94. **Lapie G., Maige A., 1914.** Flore forestière illustrée comprenant toutes les espèces ligneuses de l'Algérie et les espèces ligneuses les plus répandues en Tunisie, au Maroc et dans le Midi de la France. *E. ORLHAC. Paris. 357p.*
95. **Le Goff N., Ottorini J.-M., 1979.** Normes de densité pour les hêtraies du Nord-Est et du Nord-Ouest de la France. *Ann. Sci. Forest. Vol. 36, n°4. pp 281-298.*
96. **Le Goff N., Levy G., 1984.** Productivité du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en région Nord-Picardie. B. - Etude des relations entre la productivité et les conditions de milieu. *Ann. Sci. Forest. Vol. 41, n°2. pp 135-170.*
97. **Lebourgeois F., Granier A., Bréda N., 2001.** Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers. *Ann. Sci. Forest. Vol. 58. pp 733-754.*
98. **Lecompte M., Lepoutre B., 1975.** Bilan de l'eau et conditions d'existence de la cédraie dans le moyen atlas basaltique (Maroc) utilisation d'une « analyse d'information mutuelle » entre les espèces et les variables du milieu. *Ann. Rech. For. Maroc. T 15. pp 153-265.*
99. **Lecomte B., 2007.** Le cèdre de l'Atlas en Languedoc-Roussillon. *Forêt-entreprise, n°174. pp 51-54.*
100. **Lecomte H., Heber J., Rondeux J., 1994.** Comparaison de plusieurs types d'unités d'échantillonnage dans la perspective d'un inventaire forestier régional. *For. Chron. Vol. 70. pp 304-310.*
101. **Lemoine B., Sartolou A., 1980.** Densité de peuplement, concurrence et coopération chez le pin maritime -Résultats à 5 et 10 ans d'une plantation à espacement variable-. *Ann. Sci. Forest. Vol. 37, n°3. pp 217-237.*

102. **Lepoutre B., Pujos A., 1963.** Facteurs climatiques déterminant les conditions de germinations et d'installation des plantules de cèdre. *Ann. Rech. For. Maroc. T 7. pp 23-54.*
103. **Lepoutre B., 1966.** Ecologie de la régénération naturelle du cèdre dans le moyen Atlas marocain. Cahiers ORSTOM. *Série Pédologie. Vol. 4, n°1. pp 63-75.*
104. **Letreuch-Belarouci N., 1991.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. *OPU. Alger. Vol. 1. 294p.*
105. **Levy G., Delatour C., Becker M., 1994.** Le dépérissement du chêne des années 1980 dans le centre de la France, point de départ d'une meilleure compréhension de l'équilibre et de la productivité de la chênaie. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 495-503.*
106. **Losange, 2008.** Arbres de France. *Artemis. 143p.*
107. **Macquart M.-J., 1852.** Les arbres et arbrisseaux d'Europe et leurs insectes. *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts, de Lille. pp 174-530.*
108. **Mathieu A., 1860.** Flore forestière : description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France et des essences importantes de l'Algérie. Suivies d'une méthode analytique pour en déterminer les principales espèces pendant l'hiver et précédées d'un dictionnaire des mots techniques. 2^{ème} Ed. *Ancienne maison Grimblot & cie, N.Grosjean, successeur. 448p.*
109. **Mathieu C., Pieltain F., 2003.** Analyse chimique des sols : Méthodes choisies. *TEC & DOC. Paris. 387p.*
110. **Meddour R., 1994.** La cédraie de l'Atlas blideen (Algérie). valeur bioclimatique, syntaxonomique et dynamique. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 105-127.*
111. **Mediouni K., Yahi N., 1994.** Phytodynamique et autoécologie du *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 77-104.*
112. **Mokrim A., Chbouki N., 1994.** Dynamique de la croissance radiale du cèdre : apport de la dendrochronologie. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 187-203.*
113. **Mormiche A., 1994.** La gestion du dépérissement du hêtre en Normandie 1961-1988. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 586-590.*

114. M'hirit O., Benzyane M., 2006. Le cèdre de l'Atlas mémoire du temps. *Mardaga. Belgique. 288p.*
115. M'hirit O., Blerot P., 1999. Le grand livre de la forêt Marocaine. *Mardaga. Belgique. 80p.*
116. M'hirit O., 1994 a. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) présentation générale et état des connaissances a travers le réseau Silva Mediterranea "le Cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 3-21.*
117. M'hirit O., 1994 b. Croissance et productivité du cèdre : approche multi-dimensionnelle de l'étude des liaisons stations- productions. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 295-312.*
118. Nageleisen L.-M., 1994. Dépérissement actuel des chênes. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 504-511.*
119. Nageleisen L.-M., Reuter J.-C., 2007. Dépérissements de hêtre : retour sur les situations de crise de la hêtraie au cours de la dernière décennie. *Département de la santé des forêts. France. 7p.*
120. Neggar O., 2010. Etude symptomatique du dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) dans le parc national de Theniet el had. *Thèse magister. Univ. Tlemcen. 157p.*
121. Oswald H., 1969. Conditions forestières et potentialités de l'épicéa en haute-Ardèche. *Ann. Sci. Forest, n°2. pp 562-567.*
122. Otto H.-J., 1998. Ecologie forestière. *IDF. Paris. 397p.*
123. Ounadi F., Youou N., Zerrouki K., 1990. Diagnostic écologique et aménagement sylvo-pastoral du Djbel el meddad «Parc national de Theniet el had». *Thèse Ing. USTHB. 120p.*
124. P.N.T.E.H., 2002. Plan de gestion 2002-2007. *Parc national de Theniet el had. 112p.*
125. P.N.T.E.H., 2006. Atlas des parcs nationaux Algériens. *Ed-diwan. 90p.*
126. Palm R., 1977. Dendrométrie. Polycopié. *INA. Alger. 112p.*
127. Parde J., Bouchon J., 1988. Dendrométrie. 2^{ème} éd. *ENGREF. Nancy. 328p.*
128. Pérennès J.-J., 1993. L'eau et les hommes au Maghreb : contribution à une politique de l'eau en Méditerranée. *Karthala. 646p.*

129. **Philippe G., Baldet P., Héois B., Ginisty C., 2006.** Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines. *Cemagref. Paris. 572p.*
130. **Pijut P.-M., 2000.** *Cedrus – The true cedars. Journal of arboriculture. Vol. 26, n°4. pp 218-224.*
131. **Piou D., 1994.** De nouveaux dépérissements de pin dans le nord de la France le cas particulier de la forêt d'Orléans. *Rev. For. Fr. XLVI, n°5. pp 538-546.*
132. **Poiteau A., 1856.** Le bon jardinier. *Librairie agricole de la maison rustique. Paris. 1569p.*
133. **Pontoppidan A., 1997.** Le cèdre. 1^{ère} édition. *Actes sud. 85p.*
134. **Prieur J., 1989.** Les symboles universels. *Fernand Lanore. Paris. 267p.*
135. **Pujos A., 1964.** 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. T 8. 283p.*
136. **Quezel P., Medail F., 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. *Elsevier, Paris, 571p.*
137. **Quezel P., 1999.** Biodiversité végétale des forêts méditerranéennes, son évolution éventuelle d'ici à trente ans. *Forêt méditerranéenne. T XX, n°1. pp3-8.*
138. **Rahmani N., 2003.** Contribution à l'étude de l'influence du dépérissement sur la qualité du bois de cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au niveau du parc national de Theniet el had. *Thèse. Ing. Tiaret. 72p.*
139. **Rameau J.-C., Mansion D., Dume G., Timbal J., Lecointe A., Dupont P., Keller R., 1994.** Flore forestière française, guide écologique illustré, plaines et collines. Vol. 1. *IDF. Paris. 1785p.*
140. **Rameau J.-C., Mansion D., Dume G., Gauberville C., Bardat J., Bruno E., Keller R., 2005.** Flore forestière française, guide écologique illustré, région méditerranéenne. Vol. 3. *IDF. Paris. 2426p.*
141. **Rameau J.-C., Mansion D., Dume G., Lecointe A., Timbal J., Dupont P., Keller R., 2008.** Flore forestière Française, guide écologique illustré, montagne. Vol. 2. *IDF. Paris. 2421p.*

142. **Raulier F., 1995.** Dynamique dendrométrique de l'érable à sucre dans la région du Bas-Saint-Laurent (Comté de Témiscouata). *Faculté de Foresterie et de Géomatique, Université Laval.* 32p.
143. **Riffaud J-L, 1998.** Le cèdre de l'atlas dans le ventoux : l'aménagement de la série des cèdres en forêt communale de Bédoin. *Rev. For. Fr. L, n°1. pp 65-70.*
144. **Riou-Nivert P., 2001.** Les résineux. Tome 01. Connaissance et reconnaissance. 2^{ème} édition. *IDF. Paris.* 256p.
145. **Riou-Nivert P., 2005.** Les résineux : Ecologie et pathologie. *Forêt Privée Française.* 447p.
146. **Ripert C., Boisseau B., 1994.** Ecologie et croissance du cèdre de l'atlas en Provence. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 155-171.*
147. **Rondeux J., 1993.** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. *Les presses agronomiques de Gembloux.* 521p.
148. **Rondeux J., Thibaut A., Claessens H., 1995.** Comment estimer la productivité des peuplements d'Épicéa commun (*Picea abies*(L.) Karst.) en Ardenne ?. Fiche technique n°8, gestion et économie forestières section écologie. *Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux.* 2p.
149. **Rondeux J., Lecomte H., 2005.** L'inventaire permanent des ressources forestières : observatoire et base d'un tableau de bord de la forêt Wallonne. *Wallonie, n° 83.* 13p.
150. **Sabatier S., Barthelemy D., 1994.** Première observation sur l'architecture du cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (ENDL.) MANETTI EX CARRIERE (PINACEAE). *Ann. Rech. For. Maroc. Vol. 2. pp 364-379.*
151. **Salgues D., 2008.** Evaluation du risque d'introduction du cèdre de l'Atlas sur les sols acides des Monts de Lacaune et de la montagne Noire. *ENGEES. France.* 71p.
152. **Sari D., 1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). *SNED. Alger.* 623p.
153. **Sarmoum M., 2008.** Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Diagnostic dendroécologique et climatique de la cédraie de Theniet El Had (Wilaya de Tissemsilt). *Thès. Magi. USTHB. Alger.* 98p.

154. Schütz J.-P., 1990. Sylviculture 1: principes d'éducation des forêts. *Presses polytechniques et universitaires romandes*. 243p.
155. Schütz J.-P., 1997. Sylviculture 2: La gestion des forêts irrégulières et mélangées. *Presses polytechniques et universitaires romandes*. 178p.
156. Seigue A., 1985. La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. *Maisonneuve & Larose*. 502p.
157. Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. *Imp. Latypo. et jules carbone. Réunion. Alger*. 220p.
158. Seynave I., Gegout J.-C., Herve J.-C., Dhote J.-F., Drapier J., Bruno E., Dume G., 2004. Etude des potentialités forestières pour l'épicéa commun dans l'Est de la France à partir des données de l'IFN. *Rev. For. Fr. LVI, n°6. pp 537-550*.
159. Till C., 1986. L'influence des facteurs écologiques sur l'épaisseur des cernes du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (End.) Carrière) au Maroc. *Ecologia Mediterranea, T XII, Fascicule 3-4. pp 33-47*.
160. Till C., 1987. The summary response function of *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière in Morocco. *Tree-Ring Bulletin. Vol. 47. pp 23-36*.
161. Toth J., 1970. Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France. *Rev. For. Fr. Vol. XXII, n° 03. pp 355-364*.
162. Toth J., 1973. Première approche de la production potentielle du cèdre de l'Atlas dans le sud de la France. *Rev. For. Fr. XXV, n°5. pp 381-389*.
163. Toth J., 1978. Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. *Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme. Marseille- France. 136p*.
164. Toth J., 1980. Le Cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *Forêt méditerranéenne, T II, n°1. pp 23-30*.
165. Toth J., 1994. Le cèdre de l'Atlas en France : Croissance et production dans les dispositifs anciens. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 321-335*.
166. Toth J., 2005. Le cèdre de France, étude approfondie de l'espèce. *L'Harmattan. Paris. 207p*.
167. Unesco-Fao, 1963. Étude écologique de la zone méditerranéenne. Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne. Notice explicative. *Imp. Firmin-Didot. 60p*.

168. Ung C.-H., Raulier F., Ouellet D., Dhote J.-F., 1997. L'indice de compétition interindividuelle de Schütz. *Can. J. For. Res.* Vol. 27. pp 521-526.
169. Vennetier M., Vila B., Liang E.-Y., Guibal F., 2005. Suivi de la réponse de la végétation au changement climatique : approche par transects. *Symposcience, Colloque Paris le 2 et 3 février 2005.* pp 37-48.
170. White F., 1986. La végétation de l'Afrique: mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO. *Orstom-Unesco.* 384p.
171. Yahiaoui M.-R., 2010. La forêt des cèdres de Theniet el had - Le paradis des cèdres. *Theniet el had news.* n°2. pp 1-2.
172. Zedek M., 1993. Contribution à l'étude de la productivité du *Cedrus atlantica* Manetti (cèdre de l'Atlas) dans le parc national de Theniet El Had. *Thès. Magi. INA. Alger.* 175p.

ANNEXE

Fiche de référence

- **C_{1.30m}** : Circonférence à 1.30 m
- **Hbh** : Hauteur jusqu'à la base du houppier
- **Hcm** : Hauteur de la cime morte
- **Hh** : Hauteur du houppier
- **Htot** : Hauteur totale

➤ **Ft : Formes de la tige :**

- | | | |
|-------------------|-----------------|----------------------------------|
| 0 : Tige normale | 1 : Tige cassée | 2 : Cime tronquée |
| 3 : Tige fourchue | 4 : Tige tordue | 5 : Arbre incliné de plus de 15° |

➤ **Pc : Production des cônes :**

- | | | |
|----------------|-----------------|------------|
| 0 : Aucun cône | 1 : Très faible | 2 : Faible |
| 3 : Moyenne | 4 : Forte | |

➤ **Mf : Maladies des feuillages :**

- | | | |
|--------------------------------|-------------------------|--|
| 0 : Aucune maladie | 1 : Chute des aiguilles | |
| 2 : Dépérissement des feuilles | 3 : Dommages physiques | |

➤ **EDH : Evaluation des dégâts du houppier par tiers :**

- | | | |
|--------------|---------------|---------------|
| 1 : 6 à 15% | 2 : 15 à 25 % | 3 : 25 à 35% |
| 4 : 35 à 45% | 5 : 45 à 55% | 6 : 55 à 65% |
| 7 : 65 à 75% | 8 : 75 à 85% | 9 : 85 à 100% |

➤ **Espèces :**

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| CS : Cèdre sain | CZ : Chêne zeen |
| CD : Cèdre dépéris | GO : Genévrier oxycèdre |
| CV : Chêne vert | |

هذه الدراسة تهدف إلى بحث مدى تأثير كثافة الأشجار و كيفية توزعها على موت أشجار الأرز الأطلسي في الحظيرة الوطنية لثنية الحد التي تتميز بمناخ شبه رطب ذو شتاء بارد. بعد وضع 30 وحدة نموذجية تحتوي كل واحدة منها على 4 وحدات دائرية مركزية ذات مساحات قدرها 2، 4، 5 و 10 أرا حيث قيست كل الأشجار وأخذت عينات تربة من كل وحدة لدراسة خصائصها و أخرى مستطيلة مساحتها أرا لمعرفة طريقة توزع الأشجار، تبين أن الكثافة تؤثر على توفر الحيز الحيوي لسلامة أشجار الأرز الأطلسي و أن التوزع العشوائي للأشجار أدى إلى تداخل الأغصان و التغيير في طريقة توزيعها. دراسة المساحة القصوى للأغصان أظهرت أن 76% من الوحدات تحتوي على تداخل المساحات القصوى للأغصان بنسبة 90%. معامل المنافسة ما بين الأشجار لSchütz أظهر وجود منافسة كبيرة بين أشجار الأرز. و لهذا، فإن تكييف مخطط إدارة الحظيرة حيث يؤخذ بعين الاعتبار التعامل مع موت الأرز على المدى القريب والبعيد وكذا توزع الأشجار و الكثافة يكون ذو فائدة أساسية للحفاظ على سلامتها.

الكلمات المفتاحية: الأرز الأطلسي، موت أشجار الأرز، الكثافة، توزع الأشجار، الحظيرة الوطنية لثنية الحد.

Résumé :

La présente étude a pour objet de rechercher d'éventuelles causalités du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had. Il s'agit de mettre en évidence les taux de dépérissement enregistrés sur la base des densités et de la répartition des tiges. L'étude est réalisée à travers trente (30) placettes concentriques de 2, 4, 5 et 10ares en plus de celles rectangulaires de 2 ares dans le versant nord de la cédraie. Des prélèvements pédologiques à des fins d'analyses physico-chimiques ont été effectués dans chacune des placettes d'étude. Des mesures dendrométriques y sont réalisées sur l'ensemble des tiges des placettes de 2, 4, 5 et 10 ares. Il en ressort que la densité est un facteur prédisposant, du fait d'un espace vital compromettant.

La répartition spatiale des tiges étant chaotique, les cimes présentent une détérioration influencée par l'enchevêtrement des houppiers. On enregistre dans plus de 76% de placettes un chevauchement des surfaces maximales des houppiers supérieur à 90%. L'indice de compétition interindividuelle de Schütz montre que la compétition entre les tiges de cèdre est importante. L'adaptation d'un plan de gestion engendrant à la fois la gestion du dépérissement à court et long terme ainsi que l'aménagement de la répartition spatiale des tiges et la régulation de distribution des densités sera d'une opportunité fondamentale pour la vigueur et la vitalité des cèdres.

Mots clés : Cèdre de l'Atlas, dépérissement, densité, répartition des tiges, Theniet El Had.

Abstract:

This study aim to search the impact of trees density and their distribution across decline Atlas cedar « *Cedrus atlantica Manetti* » in National Park of Theniet-el-had which characterized by a bioclimatic sub-humid with cold winter. 30 concentric sample units were does each one has variable surfaces of 2, 4, 5 and 10 acres and rectangular units installed. All the trees were dendrometric characteristics measurement and soil sample was takes from each concentric unit and, even, localization of trees inside the rectangular sample to scheme their distribution. Result show that the density contributes in the decline of Atlas cedar by the chaotic distribution of trees where crowns was entirely modified and the vital space is affected. Maximum Crown Area (MCA) study shows that 76% of units contain over 90% interference of MCA. Shütz index of competition show that the competition between the Atlas cedar trees is important. Therefore, the adaptation of the management plan how supervising Atlas cedar decline and organize trees distribution could improve more living space for trees and, even, their subsistence.

Key words: Atlas cedar, decline, density, trees distribution, Theniet el had.