

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université IBN KHALDOUN –Tiaret-  
Faculté des Sciences de la nature et de la vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de  
Magister en Biologie  
Spécialité : Biodiversité Végétale Méditerranéenne  
de l'Algérie Occidentale.  
Option : Inventaire, Valorisation et Ecologie de la Restauration.

Présenté par : M<sup>elle</sup> BOUAZZA Khaldia

Thème :

Etude écopédologique du dépérissement de *Cedrus  
atlantica* Manetti dans le parc national de Theniet El Had  
(W.Tissemsilt)

Soutenu le : / / 2011 devant le jury composé de :

Président: Mr. MAATOUG Mohamed,	Professeur	Université de Tiaret
Promoteur: Mr. DELLAL Abdelkader,	Professeur	Université de Tiaret
Co-promoteur: Mr. ZEDEK Mohamed,	M.A.CC	Université de Tiaret
Examineurs: Mr. HELLAL Benchaban,	Professeur	Université de Sidi Belabbes
Mr. SAHNOUNE Mohamed,	Professeur	Université de Tiaret
Mr. ADDA Ahmed,	M.C."A"	Université de Tiaret

Année universitaire: 2010 – 2011

# *Avant-propos*

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon encadreur Mr. DELLAÏ Abdelkader (Professeur à l'université de Tiaret et responsable du laboratoire de recherche) qui n'a pas hésité à me prendre en charge et de me guider le long de ce mémoire. Le partage de ses connaissances et sa grande expérience, à été déterminant pour la réalisation de ce travail.*

*J'exprime ma profonde gratitude à mon Directeur de thèse, Mr. MAATOUÏ Mohamed, qui à avec beaucoup d'amabilité accepter de présider le jury. Je lui exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.*

*Je tiens également à remercier Mr. ZEDEK Mohamed qui malgré ses lourdes tâches n'a cessé de m'encourager et de me guider par ses conseils et son aide. Sans lui je ne serais parvenir à améliorer de travail.*

*Que Mr. SAHNOUNE M, Mr. HELLAÏ B et Mr ADDA A, soient chaleureusement remerciés d'avoir voulu examiner de près mon travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude aux enseignants de la faculté surtout : Mr AIT HAMOU, Mm BOUSMAHA*

*J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé au niveau de la faculté et tout le personnel du parc national de Theniet El Had*

*Mes sincères remerciements à Mr SEDDIR LARBI et sa famille. Je n'oublie pas à remercier Mr BERTRAND GUIBERT qui me guidé par ses conseils, son aide et sa gentillesse*

*Mes vifs remerciements à mes meilleures amies NAGGAR Oumeldjilali, et BENDAOUÏ Khadidja.*

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

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes très chers parents*

*A mes sœurs et mes frères*

*A mes amies : labdia, kheira, soumia, sarah, fatima,*

*Malika, Amina, khadidja, meriem, ahlem, khaldia*

*Laid, hamza, samir et walid*

*A toute personne qui m'aime et j'estime très fort*

*même s'ils ne sont pas cités par leurs noms*

# Table des matières

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

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **CHAPITRE 01 : Cèdre de l'Atlas**

1. CEDRE DE L'ATLAS ( <i>Cèdrus atlantica</i> Manetti).....	3
1.1. Historique du cèdre :.....	3
1.2. Caractères biologiques et botaniques.....	3
1.3. Répartition du genre <i>Cedrus</i> .....	5
1.4. Importance écologique.....	7
1.5. Association du cèdre de l'Atlas.....	8
1.6. Intérêt économique du cèdre.....	8
1.7. Ennemis du cèdre.....	8

### **CHAPITRE 02 : Dépérissement des arbres forestiers.**

2. Dépérissement des arbres forestiers.....	9
2.1. Définition.....	9
2.2. Symptômes de dépérissement des arbres forestiers.....	10
2.3. Causes de dépérissement des arbres forestiers.....	10
2.4. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie et au Maroc.....	13
2.5. Lutte contre le dépérissement.....	15

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE 03 : Présentation de la zone d'étude.**

3. Présentation de la zone d'étude.....	16
3.1. Situation, superficie et limites géographiques.....	16
3.2. Aspects géologiques et pédologiques.....	18
3.3. Conditions climatiques.....	18
3.4. Aspect hydrologique.....	21
3.5. Richesses faunistique et floristique.....	21
3.6. Actions anthropiques.....	21
3.7. Dépérissement dans la zone d'étude.....	23
3.8. Tourisme.....	24
3.9. Opérations d'aménagement projetées.....	24

### **CHAPITRE 04 : Matériel et méthodes.**

4. Matériel et méthodes.....	25
4.1. Type et Forme de placette.....	25
4.2. Récolte des données.....	27
4.3. Données topographiques.....	27
4.4. Données dendrométriques.....	28
4.4.1. Hauteur totale.....	28
4.4.2. Circonférence à 1.30m.....	29
4.4.3. Caractéristiques qualitatives.....	30
4.4.3.1. Rectitude du tronc.....	31
4.4.3.2. Elagage naturel des tiges.....	31
4.4.3.3. Fructification.....	32
4.4.3.4. Symétrie du houppier.....	33

4.4.4. Autres observations.....	33
4.5. Taux de déperissement.....	35
4.6. Description des phases du déperissement.....	36

### **CHAPITRE 05 : Etude pédologique.**

<u>5. Etude pédologique.....</u>	<u>40</u>
<u>5.1. Analyses physico-chimiques du sol.....</u>	<u>42</u>
<u>5.1.1. Humidité.....</u>	<u>42</u>
<u>5.1.2. Calcaire total.....</u>	<u>42</u>
<u>5.1.3. pH (eau).....</u>	<u>43</u>
<u>5.1.4. pH (KCl).....</u>	<u>43</u>
<u>5.1.5. Carbone et matière organique.....</u>	<u>43</u>
<u>5.1.6. Analyse granulométrique.....</u>	<u>44</u>
<u>5.1.7. Azote.....</u>	<u>45</u>
<u>5.1.8. Tassement du sol.....</u>	<u>45</u>
<u>5.2. Caractéristiques édaphiques.....</u>	<u>45</u>
<u>5.2.1. Texture du sol.....</u>	<u>46</u>
<u>5.2.2. Humidité.....</u>	<u>46</u>
<u>5.2.3. Taux de calcaire.....</u>	<u>47</u>
<u>5.2.4. pH du sol.....</u>	<u>48</u>
<u>5.2.5. Matière organique.....</u>	<u>48</u>
<u>5.2.6. L'azote total et le rapport C/N.....</u>	<u>49</u>
<u>5.2.7. Tassement du sol.....</u>	<u>50</u>
<u>5.3. Relation entre le taux de déperissement et les paramètres édaphiques.....</u>	<u>51</u>
<u>5.3.1. Relation entre le taux de déperissement et la texture du sol.....</u>	<u>53</u>
<u>5.3.2. Relation entre le taux de déperissement et l'humidité.....</u>	<u>54</u>
<u>5.3.3. Relation entre le taux de déperissement et le taux de calcaire total.....</u>	<u>54</u>
<u>5.3.4. Relation entre le taux de déperissement et le pH du sol.....</u>	<u>54</u>
<u>5.3.5. Relation entre le taux de déperissement et la matière organique.....</u>	<u>55</u>
<u>5.3.6. Relation entre le taux de déperissement et la teneur en azote.....</u>	<u>55</u>
<u>5.3.7. Relation entre le taux de déperissement et le tassement du sol.....</u>	<u>56</u>

### **CHAPITRE 06 : Etude dendrométrique.**

<u>6. Etude dendrométrique.....</u>	<u>57</u>
<u>6.1. Principes et objectifs.....</u>	<u>57</u>
<u>6.2. Description stationnelle.....</u>	<u>58</u>
<u>6.2.1. Exposition.....</u>	<u>58</u>
<u>6.2.2. Topographie.....</u>	<u>59</u>
<u>6.2.3. Altitude.....</u>	<u>60</u>
<u>6.2.4. Pente du terrain.....</u>	<u>61</u>
<u>6.3. Description des peuplements.....</u>	<u>61</u>
<u>6.3.1. Caractérisation dendrométrique du peuplement de cèdre.....</u>	<u>61</u>
<u>6.3.1.1. Circonférence moyenne.....</u>	<u>62</u>
<u>6.3.1.2. Circonférence dominante.....</u>	<u>62</u>
<u>6.3.1.3. Catégories de diamètres.....</u>	<u>63</u>
<u>6.3.1.4. Hauteur totale moyenne.....</u>	<u>64</u>
<u>6.3.1.5. Hauteur dominante.....</u>	<u>65</u>
<u>6.3.1.6. Surface terrière totale.....</u>	<u>67</u>
<u>6.3.1.7. Densité.....</u>	<u>68</u>
<u>6.3.2. Caractérisation dendrométrique du peuplement à chêne vert.....</u>	<u>69</u>
<u>6.3.2.1. Densité.....</u>	<u>69</u>
<u>6.3.2.2. Circonférence moyenne.....</u>	<u>69</u>

6.3.2.3. Hauteur totale moyenne.....	70
6.3.2.4. Surface terrière totale.....	71
6.4. Influence des facteurs stationnels sur la structure des peuplements du cèdre.....	72
6.4.1. Densité.....	73
6.4.2. Circonférence moyenne du cèdre.....	73
6.4.3. Circonférence dominante du cèdre.....	74
6.4.4. Hauteur totale moyenne du cèdre.....	74
6.4.5. Hauteur dominante du cèdre.....	74
6.4.6. Surface terrière totale du cèdre.....	75
6.5. Relation entre le dépérissement et les différents variables stationnelles et dendrométriques.....	75
6.5.1. Variabilité du dépérissement en relation avec les facteurs du milieu.....	75
6.5.1.1. Topographie et dépérissement du cèdre.....	75
6.5.1.2. Altitude et dépérissement du cèdre.....	76
6.5.1.3. Pente du terrain et dépérissement du cèdre.....	76
6.5.1.4. Exposition sur le dépérissement du cèdre.....	77
6.5.2. Variabilité du dépérissement en relation avec les variables dendrométriques.....	77
6.5.2.1. Mise en évidence du taux de dépérissement en rapport avec les surfaces de placettes.....	77
6.5.2.2. Relation entre la densité totale des peuplements et le taux du dépérissement.....	78
6.5.2.3. Relation entre le taux de dépérissement et la densité totale des cèdres.....	79
6.5.2.4. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne.....	79
6.5.2.5. Relation entre le taux de dépérissement et la circonférence dominante.....	79
6.5.2.6. Relation entre le taux de dépérissement et la hauteur totale moyenne.....	80
6.5.2.7. Relation entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante.....	80
6.5.2.8. Relation entre le taux de dépérissement et la surface terrière totale.....	81
Conclusion.....	83

Références bibliographiques.

Annexes.

# Index des abréviations

% : pour cent

‰ : pour mille

*A* : Argile

*BM* : Bois Moyen

*C* : Carbone organique

*C<sub>1.30</sub>* : Circonférence à 1.30m.

*CaCO<sub>3</sub>* : calcaire total.

*cm* : centimètre

*cm<sup>2</sup>* : centimètre carré

*DGF* : **D**irection **G**énérale des **F**orêts.

*DSF* : **D**épartement de la **S**anté des **F**orêts

*FAO* : **F**ood and **A**griculture **O**rganization

*g*: gramme

*GB* : Gros Bois

*G P S* : **G**lobale **P**osition **S**ystème

*INRA* : **I**nstitut **N**ational de la **R**echerche **A**gronomique

*INRF* : **I**nstitut **N**ational de la **R**echerche **F**orestière

*Kg* : kilogramme

*LF* : Limon Fin

*LG* : Limon Grossier

*m* : mètre

*mm*: millimètre

*ml* : millilitre

*MO* : Matière Organique

*N* : l'azote total

*NS* : non significatif

*H* : Humidité.

*ha*: hectare

*P* : Précipitation.

*Pb* : Probabilité

*PB* : Petits Bois

*PNI*: **P**arc **N**ational d'**I**frane

*P N T E H* : **P**arc **N**ational de **T**heniet **E**l **H**ad

*SCPid* : **S**ociété du **C**anal de **P**rovence **i**ngénierie **d**éveloppement

*SF* : Sable Fin

*SG* : Sable Grossier

*T* : Température.

*TGB* : Très Gros Bois

# Liste des figures

*Figure.1.1* : Photos de rameau, cône et écorce jeune de cèdre de l'Atlas

*Figure.1.2* : Aire de répartition du genre *Cedrus*

*Figure.1.3* : Localisation du *Cedrus atlantica* en Algérie

*Figure.2.1* : Facteurs de dépérissement des arbres forestiers

*Figure.2.2* : Carte des zones climatiques du Nord Algérie et la distribution de la mortalité de *Cedrus atlantica*.

*Figure.3.1* : Situation du parc national de Theniet El Had dans la wilaya de Tissemsilt.

*Figure.3.2* : Délimitation de la zone d'étude

*Figure.3.3* : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude

*Figure.3.4* : Localisation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger

*Figure.3.5* : Actions anthropiques dans le parc national de Theniet El Had

*Figure.3.6* : Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had

*Figure.4.1* : Représentation schématique des unités d'échantillonnage

*Figure.4.2* : Situation topographique décrite selon un indice topographique

*Figure.4.3* : Mesure des hauteurs totales à l'aide du dendromètre Blum-leiss

*Figure.4.4* : Niveaux de mesures de la grosseur des arbres en situations particulières

*Figure.4.5* : Fréquences relatives des strates de rectitude du tronc

*Figure.4.6* : Fréquences relatives des classes d'élagage naturel

*Figure.4.7* : Fréquences relatives des strates de fructification

*Figure.4.8* : Fréquences relatives des strates d'extension du houppier

*Figure.4.9* : Projection verticale d'une placette présente un seul arbre dépéris

*Figure.4.10* : Projection verticale d'une placette présente une tache de dépérissement dans le parc national de Theniet El Had

*Figure. 4.11* : cèdres sains (Classe 0)

*Figure. 4.12* : Cèdre affaibli par la chenille processionnaire (Classe 1)

*Figure. 4.13* : Cèdre dépéris (Classe 2)

*Figure.4.14* : Cèdres morts sur pied (Classe 3)

*Figure.5.1* : Prélèvement des échantillons du sol à l'aide de la tarière forestière pédologique.

*Figure.5.2* : Schéma du mode opératoire des analyses du sol

*Figure. 5.3* : Répartition en % des classes de texture

*Figure.5.4* : Répartition en % des classes d'humidité

*Figure.5.5* : Répartition en % des classes de taux de calcaire total



*Figure.5.6* : Répartition en % des classes de pH

*Figure.5.7* : Répartition en % des classes de la matière organique

*Figure.5.8* : répartition en % des classes de l'azote total

*Figure.5.9* : répartition en % des classes du rapport C/N

*Figure.5.10* : répartition en % des strates de tassement du sol

*Figure.6.1* : Distribution en % des essences forestières

*Figure.6.2* : Répartition en % des classes d'expositions

*Figure.6.3* : Répartition en % d'indices topographiques

*Figure.6.4* : Répartition en % des classes d'altitude

*Figure.6.5* : Répartition en % des classes de pente

*Figure.6.6* : fréquences relatives des classes de circonférences moyennes de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.7* : Fréquences relatives des classes de circonférences dominantes de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.8* : Fréquences relatives des catégories de diamètres

*Figure.6.9* : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales moyennes de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.10* : Fréquences relatives des classes de hauteurs dominantes de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.11* : Fréquences relatives des classes des surfaces terrières totales de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.12* : Fréquences relatives des classes de densités de cèdre de l'Atlas

*Figure.6.13* : Fréquences relatives des classes de densités de chêne vert

*Figure.6.14* : Fréquences relatives des classes de circonférences moyennes de chêne vert

*Figure.6.15* : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales moyennes de chêne vert

*Figure.6.16* : Fréquences relatives des classes de surfaces terrières totales de chêne vert

# Liste des tableaux

*Tableau 1.1* : Les caractères biologiques et botaniques de genre *Cedrus*

*Tableau 4.1* : Valeurs de références propres à l'utilisation de la mire de PARDE pour différentes superficies des placettes circulaires

*Tableau 4.2* : Taux de dépérissement recensés à travers les cantons de la zone d'étude.

*Tableau 5.1* : Stratification des paramètres pédologiques.

*Tableau 5.2* : Matrice des corrélations entre les variables pédologiques.

*Tableau 5.3* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la texture du sol

*Tableau 5.4* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'humidité du sol.

*Tableau 5.5* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le taux de calcaire total

*Tableau 5.6* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le pH du sol

*Tableau 5.7* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la matière organique

*Tableau 5.8* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le dosage d'azote.

*Tableau 5.9* : Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le tassement du sol.

*Tableau 6.1* : Stratification des facteurs stationnels

*Tableau 6.2* : Variabilité de la densité des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.3* : Variabilité de la circonférence moyenne des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.4* : Variabilité de la circonférence dominante des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.5* : Variabilité de la hauteur totale moyenne des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.6* : Variabilité de la hauteur dominante des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.7* : Variabilité de la surface terrière totale des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.8* : Variabilité des différents paramètres dendrométriques des peuplements de chêne-vert en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

*Tableau 6.9* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre avec les cantons au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.10* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport à la topographie au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.11*: Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec l'altitude au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.12* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la pente au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.13* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec l'exposition au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.14* : Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la superficie de placettes au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.15* : Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la densité totale des peuplements au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.16* : Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la densité totale des tiges de cèdre au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.17* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la circonférence moyenne au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.18* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la circonférence dominante au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.19* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la hauteur totale moyenne au seuil de signification de 95%

*Tableau 6.20* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la hauteur dominante au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.21* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec les classes de fertilités au seuil de signification de 95%.

*Tableau 6.22* : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la surface terrière totale au seuil de signification de 95%.

# INTRODUCTION

## ***INTRODUCTION***

Le patrimoine forestier algérien, d'une surface globale 4.1 millions d'hectares dont 1.3 millions d'hectares de forêt productive, demeure encore soumis à une pression anthropique sévère en dépit des interventions du service forestier (FAO, 2000 ; Zitoun et al, 2004). Cette pression est à l'origine d'une régression de la surface forestière en général et la surface du cèdre en particulier.

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) essence noble, majestueuse et endémique de l'Afrique du nord, se rencontre en Algérie, dans le centre et dans l'Est du pays (*Ouarsenis, Aurès, Djurjura et Atlas blidéen*) avec une superficie très réduite et morcelée de 16000 ha (FAO, 2000). Quoique cette essence est régie dans ces contrées en parc nationaux, elle montre néanmoins des signes de déperdition grave dans la mesure où on assiste à un dépérissement des tiges sur pied depuis la fin du siècle dernier.

Le phénomène de dépérissement affecte aussi bien les individus isolés que les peuplements en petites taches. Comme l'origine de ce dépérissement reste encore indéterminée de manière définitive, diverses hypothèses sont soulevées. Celles-ci relèvent des facteurs abiotiques (stress hydrique, changement climatique...), anthropiques (incendies criminels, coupes illicites, surpâturage...) ou encore biotiques (attaques des insectes ravageurs).

Sur l'ensemble des cédraies du pays, celle de Theniet El Had est jugée par le célèbre forestier Boudy (1950) comme étant l'une des plus belles curiosités naturelles de l'Algérie. Nonobstant d'être le premier parc national créé pendant la période coloniale (1923) et reproclamée encore une fois comme parc national après l'indépendance (1983), elle demeure assujettie à une situation fort compromettante à sa pérennité et sa durabilité. En fait, au problème de régénération naturelle, subjugué celui du dépérissement. Cette problématique suscite une inquiétude impressionnante auprès du service forestier faute de bien pouvoir élucider des actions objectives et rationnelles à l'encontre de cette situation.

Dés lors, en réponse à l'attente du forestier, ce dépérissement fera l'objet d'étude particulière de notre part dans cette célèbre cédraie. De prime d'abord, comme les opérations d'aménagement sylvicole restent encore quasiment absentes, l'hypothèse par le biais de laquelle on admet d'asseoir une méthodologie conceptuelle est celle qui prévaut la thématique suivante : des tiges de cèdre réparties de manière chaotique, puisque issues d'une régénération naturelle, faute d'un espace d'écartement rationnel subirons alors avec l'âge des traumatismes

concurrentiels intenses à des degrés divers. L'investigation des taux de dépérissement en rapport avec les conditions stationnelles en fera alors l'objet d'étude particulière et attentionnelle afin de mieux pouvoir élucider ce dépérissement du cèdre dans la cédraie de Theniet El Had.

De prime abord, les propriétés et affinités inhérentes à l'essence et les questions liées au dépérissement des arbres forestiers, sur la base d'une étude bibliographique appropriée, seront explicitement soulevées respectivement à travers les chapitres un et deux.

La zone d'étude, soit celle de la cédraie, fera l'objet d'une présentation soignée lors du chapitre trois. La démarche méthodologique ayant servi à l'étude et les données récoltées, sur la base des recherches forestières ayant trait au dépérissement des arbres forestiers, feront l'objet d'installation à travers les taches de cèdres dépéris au sein desquelles des paramètres édaphiques, dendrométriques et des facteurs écologiques descripteurs y seront récoltés.

En effet, la démarche méthodologique préconisée et les données récoltées, les cinquième et sixième chapitres seront alors ceux relatifs à la synthèse expérimentale et à l'interprétation des résultats acquis et traités statistiquement. De l'étude pédologique, d'une part et de l'étude dendrométrique d'autre part on requière ainsi une approche synthétique quant à la problématique du dépérissement soulevée au préalable.

Partie

**bibliographique**

# Chapitre 01

## Chapitre 01

Cèdre de l'Atlas



## **1. CEDRE DE L'ATLAS (*Cedrus atlantica* Manetti) :**

### **1.1. Historique du cèdre :**

Les gymnospermes, quoiqu'elles dominent lors de l'aire secondaire, essentiellement en jurassique, ils ne sont représentés actuellement que par 600 à 1000 espèces. Entre autres ces espèces on en cite le genre *Cedrus* (Guignard, 1983 ; Guignard et Dupont, 2004).

Le cèdre de l'Atlas, découvert par WEBBS en 1826, sa présence relève du tertiaire au début du quaternaire. Son aire naturelle s'étend du Maroc (*Rif, Moyen et Grand Atlas*) à l'Algérie (*Djurdjura, Monts des Aurès, Hodna et Babors, Atlas de Blida et massif de l'Ouarsenis*) (Boudy, 1950 ; Bouchon, 1995).

En forêt méditerranéenne française, l'introduction du cèdre de l'Atlas en 1862, est jugée comme étant une opération ayant donné satisfaction et succès à travers le sud du Mont Ventoux. Cette introduction est à l'origine de graines des Aurès récoltées en vue des opérations d'ornement et pour le reboisement à des basses et moyennes montagnes méditerranéennes (soit entre 600 et 1100m d'altitude). En peuplements forestiers complets, les cèdres se trouvent aussi en Bourgogne, dans les régions Rhône-Alpes, Auvergne Poitou-Charentes, Midi Pyrénées et Aquitaine avec une superficie de 10000 ha. Récemment (une trentaine d'années maximum), il est utilisé en Bretagne et se limite à des plantations couvrant des superficies très réduites (Lanier, 1986 ; Sabatier et Barthelemy, 1994 ; Toth, 1994 ; Hainry et Colombet, 2009).

En Italie, le cèdre de l'Atlas a été introduit vers la fin du 19<sup>ème</sup> siècle où il peuple aujourd'hui près de 1000 ha. En 1876, il a été introduit en Bulgarie (Andrea et Roberto, 1994 ; Demarteau, 2006).

### **1.2. Caractères biologiques et botaniques :**

Sur la base de la classification taxonomique d'Emberger (1960), Quezel et Santa (1962) et Messaili (1995), le cèdre de l'Atlas appartient à l'embranchement des Spermaphytes, Sous-embranchement des Gymnospermes; Classe des Conifères; Ordre des Pinales; Famille des Pinacées; Genre : *Cedrus* et Espèce : *Cedrus atlantica* Manetti.

*Cedrus atlantica*, Arz el Atlas en Arabe ou Idil en berbère, est une essence noble de l'Afrique du Nord, prévalant un intérêt économique et écologique indéniable. Son port majestueux peut atteindre 40 m de haut à l'âge adulte avec un fût droit. De port pyramidal à l'âge jeune, il est tabulaire à l'âge adulte (Jacamon, 1987 ; Durand, 1990 ; 2000 ; Boukcim et Mousain, 2001 ; Hubert, 2003). Le Cèdre de l'Atlas, étant longévif, il peut vivre plusieurs siècles (au delà de 600ans).

L'écorce, lisse et de couleur jaune brun, puis brun grisâtre à l'âge jeune, elle devient crevassée et de petites écailles à l'âge adulte. Le cône, de couleur verte pourpre, devient brun à maturité.

Le cône mûrit en deux à trois ans et se désarticule sur l'arbre (Becker et *al*, 1983 ; Camefort et Boue, 1983 ; Debazac, 1991 ; Coombes, 2001). Le genre *Cedrus* se distingue comme beaucoup d'autres genres de *Pinaceae* par la présence de deux sortes de rameaux (fig. 1.1): des rameaux courts dressés terminés par un bouquet d'aiguilles et des rameaux plus longs terminés par des aiguilles dispersées (Baba Aissa, 2000, Bessire, 2005).

Les aiguilles, persistantes de 3 à 4 ans, assez rigides sont de couleur verte foncée (Deysson, 1979 ; Becker et *al*, 1981 ; Judd et *al*, 2002). Les chatons de cèdre sont insérés sur l'extrémité des rameaux courts. La floraison a lieu à l'automne. Les chatons mâles, de couleur jaune verdâtre, sont cylindriques et dressés. Les chatons femelles sont ovoïdes, dressés avec une couleur verte bleuâtre (Ingri et Schonfelder, 1989 ; Jacamon, 2002). Le bois de cèdre a une odeur caractéristique, avec une couleur brun jaunâtre, assez cassant, très durable et dense (Jacamon, 1987 ; Messaoudene et *al*, 2004).



**Rameau**



**Cône**



**Ecorce jeune**


**Fig.1.1.** Photos de rameau, cône et écorce jeune de cèdre de l'Atlas

La régénération naturelle est liée aussi bien au cycle de production des graines qu'au cycle d'ensemencement. Elle dépend des conditions climatiques (température et humidité). La succession de plusieurs années humides « d'au moins trois à quatre ans », permet d'assurer une bonne régénération. Celle-ci est aussi conditionnée par la nature et la profondeur du sol, la présence de sous-bois de chêne vert (protection des jeunes semis) et par l'interdiction absolue de pâturage (sur une période de 20 ans) (Boudy, 1950 ; Toth, 1978 ; Ezzahiri et *al*, 1994 ; Ezzahiri et Belghazi, 2000).

### 1.3. Répartition du genre *Cedrus* :

Le genre *Cedrus* comprend quatre espèces montagnardes de la région méditerranéo-himalayenne : cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), cèdre de Liban (*Cedrus libani*), cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodora*) et le cèdre de chypre (*Cedrus brevifolia*). Les caractères biologiques et botaniques de ces différentes espèces sont repris au tableau 1.1.

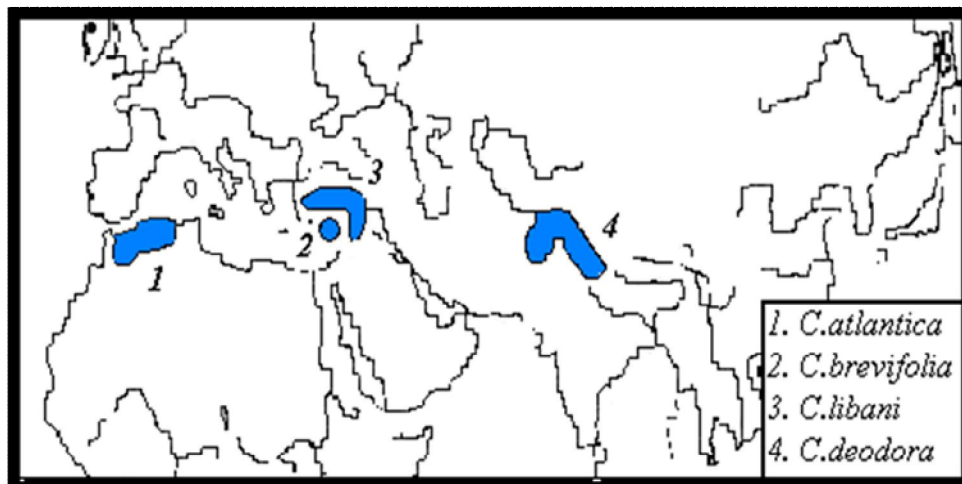
**Tableau 1.1** : Les caractères biologiques et botaniques du genre *Cedrus* (Gausson et al, 1982 ; Philips, 1987 ; Bary-Lenger et al, 1999, M'hirit et Benzyane, 2006)

Espèces Caractères	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus libani</i>	<i>Cedrus deodora</i>	<i>Cedrus brevifolia</i>
<b>Hauteur totale</b>	Atteindre 40 m	25 à 35 m	Atteindre 75 m	20 m
<b>Aiguilles</b>	1 à 2 cm	1.5 à 3.5 cm	3 à 5 cm	0.5 à 1.5 cm
<b>Cônes</b>	5 à 8 cm	7 à 10 cm	7 à 12 cm	7 cm
<b>Graines</b>	0.8 à 1.2 cm	1 à 1.4 cm	1 à 1.5 cm	0.8 à 1.4 cm
<b>Altitude</b>	1500 à 2400m	1300 à 2300m	2000 à 3000m	800 à 1300m
<b>Superficie</b>	170000ha	160000 à 500000 ha	500000 ha	Quelques dizaines d'ha
<b>Phénotype</b>				

Les forêts de cèdre de Liban sont principalement situées au Taurus et Anatole en Turquie, au Liban et en Syrie (fig.1.2).

Le cèdre de l'Himalaya, originaire de la chaîne himalayenne, se trouve dans l'ouest du Népal à l'est de l'Afghanistan, en Kush et en Krakoram; il est utilisé en reboisement dans le sud de l'Europe (France, Italie et Portugal).

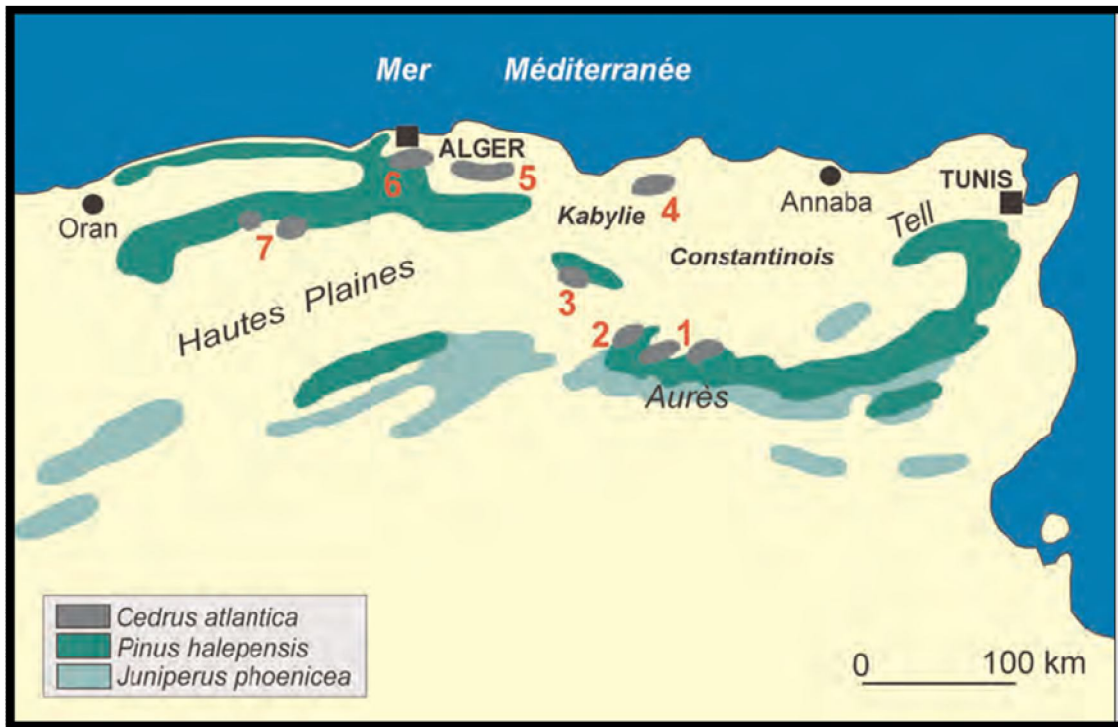
Le cèdre de Chypre se rencontre en Chypre et sur certaines montagnes dans le sud-ouest de l'île entre Kukko et Irka Steretsa (Becker et al, 1982 ; Pijut, 2000 ; Rushforth, 2001 ; Boydak, 2003).



**Fig.1.2.** Aire de répartition du genre *Cedrus* (Vidakovic, 1982 in Bodvak, 2003)

Les très belles forêts de cèdre de l'Atlas se trouvent dans les Aurès, les monts du Hodna (fig.1.3), sur le massif montagneux de l'Ouarsenis (Letreuch Belarouci, 1981 ; 1995). La superficie du cèdre est évaluée à 16000 ha dans le tell central et les Aurès (FAO, 2000), à 1040 ha dans l'Atlas mitidjien ou Atlas de Blida et de 960 ha dans la cédraie de Theniet El Had. La forêt de Belezma est d'une superficie de 8100 ha répartie sur les flancs du Djebel Tougourt, 3000 ha sur les monts Chelia et 3000 ha sur Djebel Feraoun et Djebel Aidel (M'hirit et Benzyane, 2006).

Au Maroc, le cèdre de l'Atlas couvre une superficie de l'ordre de 180.000 ha (Demarteau et al, 2007). Les cédraies du Rif, du Moyen Atlas occidental et celles du grand Atlas oriental couvrent une superficie respective de 16000 ha, 60 000 à 100 000 ha et 10000 ha (Boudy, 1952 ; Kerrouani, 1994 ; Brunetti et al, 2001 ; Dube, 2007).



1. Le Massif de l'Aurès ; 2. Les Monts de Belezma. ; 3. Les Monts du Hodna ; 4. Le Djebel Babor ; 5. Le Massif du Djurdjura ; 6. Les Monts de Blida ; 7. Le Massif de l'Ouarsenis.

**Fig.1.3.** Localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie (Demarteau et al, 2007)

#### 1.4. Importance écologique :

Le cèdre de l'Atlas occupe les montagnes entre 1200 et 2800 m d'altitude. En Algérie, il débute vers 1400 m jusqu'à 2200 m d'altitude (Boudy, 1952 ; Masson, 2005a). Soumis à un climat froid et relativement humide, il supporte la sécheresse, tolère la neige et craint la gelée précoce et le brouillard. Quoiqu'il demande une bonne pluviosité (de 800 à 1500 mm), il ne reçoit dans les Aurès que 400 à 500 mm de pluviosité (Boudy, 1952 ; Benmouffok, 1994 ; Riou-Nivert, 2001).

A l'exception des sols asphyxiants, mal drainés et trop argileux surtout lorsqu'ils sont en station froide, le cèdre est retenu comme étant indifférent à tous types de sol. Néanmoins, il préfère les sols meubles et les sols superficiels calcaires et fissurés permettant d'assurer une bonne croissance à son enracinement puissant, pivotant et profond (Rameau et al, 1994 ; Guyon, 1998, CRPF ; 2007).

### **1.5. Association du cèdre de l'Atlas :**

Généralement, le cèdre de l'Atlas, à l'exception d'être à l'état de futaie pure, il se trouve associé avec les espèces suivantes: chêne vert (*Quercus ilex*), genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycèdrus*), chêne zeen (*Quercus faginea*), chêne liège (*Quercus suber*), pin d'Alep (*Pinus halepensis*), érable napolitain (*Acer obtusatum*), érable à feuilles d'obier (*Acer opalus*), érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*), merisier (*Prunus avium*), houx (*Ilex aquifolium*), Chèvrefeuille (*Lonicera arborea*), sorbier (*Sorbus aria*), lierre (*Hedera helix*), viorne ou Laurier tin (*Viburnum tinus*), aubépine (*Crataegus monogina*), daphne (*Daphne laureola*), nerprun des Alpes (*Rhamnus alpina*). Dans les monts des Babors, on y trouve essentiellement le sapin de Numidie (*Abies numidica*) et le peuplier tremble (*Populus tremula*) (Halimi, 1980 ; Letreuche-Belarouci, 1991 ; Favre et al, 2008).

### **1.6. Intérêt économique du cèdre :**

Le cèdre de l'Atlas procure un excellent bois d'œuvre. Son bois est utilisé dans la construction, la fabrication de meubles, en charpente, en ébénisterie, en déroulage, en tranchage et en coffrage (Courbet et Albouy, 1995 ; Barrero et al, 2005). Ses huiles essentielles sont utilisées en massage aromatique et parfois dans les affections des voies respiratoires et dans le traitement des bronchites de la toux et des indigestions. Le mélange résine-huile essentielle est utilisé pour le traitement des yeux (Bezanger-Beauquesne et al, 1980 ; Kim et al, 2003 ; Lardry, 2007 ; Lev et Amar, 2008 ; Lee et al, 2009). Chez les Égyptiens anciens, l'essence de cèdre faisait partie dans les préparations servant à embaumer les momies (Faraji, 2005).

### **1.7. Ennemis du cèdre :**

Les champignons et les insectes, ennemis biotiques du cèdre, nombreux et dangereux, causent le dessèchement des rameaux, la chute des aiguilles, la pourriture des racines, la dépression de la qualité du bois et le dépérissement des arbres. On en cite par exemple : *Trametes pini*, *Thaumetopoea pytiocampa*, *Thaumetopoea bonjeani*, *Megastigmus pinsapinis*, *Epinotia cedricida*, *Polyporus officinalis*, *Xyloborus xylographus*, *Xyloterus lineatus*, *Megastigmus suspectus* et parmi les pucerons, on cite : *Cedrobium laportei* et *Tomes annasus* (Coulbois et Touzet, 1992 ; Lanier et al, 1994).

# Chapitre 02

## Dépérissement des arbres forestiers

## 2. Dépérissement des arbres forestiers

### 2.1. Définition :

Le dépérissement des forêts est défini comme étant un taux de mortalité des arbres clairement plus élevé que les taux habituels. Le dépérissement forestier désigne toutes sortes d'agents qui affectent négativement l'état et la vitalité des forêts; il est à l'origine des causes naturelles (sécheresse, chaleur, ...etc.), anthropiques ou une combinaison des deux (Requardt et *al*, 2007 ; Allen, 2009).

Manion (1981 *in* Landmann, 1994) définit le dépérissement comme étant « un phénomène résultant d'un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, et qui cause une détérioration générale (portant essentiellement sur l'aspect de croissance) et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre ».

Selon Delatour (1990 *in* Landmann, 1994), « le dépérissement est un terme de symptomatologie. Il caractérise un ensemble d'anomalies perceptibles à l'œil sur le terrain. Ces anomalies correspondraient à l'idée que l'on se fait d'une détérioration globale de la santé de l'arbre : réduction de la qualité et de la quantité de feuillage ou des pousses surtout mortalité d'organes existants (rameaux en particulier) ».

Le dépérissement des arbres forestiers fut observé préalablement sur les résineux dans certaines forêts européennes vers l'an 1970. Il se caractérise visuellement par des jaunissements et de chute d'aiguilles.

Les causes du dépérissement, encore à l'état d'hypothèses non encore confirmées, s'identifient aux facteurs suivants : sécheresse, carences des éléments nutritifs dans le sol, problème pathologique (attaques de champignons et d'insectes), très fort déficit hydrique et au type de régime sylvicole appliqué (Garrec et *al*, 1991 ; Levy et *al*, 1994).

En Turquie, des attaques répétées par *Acleris undulana* ont favorisé l'installation des Scolytidea sur les sujets affaiblis des cèdres pour provoquer leur mort (Fabre et *al*. 1999 *in* Mouna, 2009).

En France, suite à la sécheresse de l'été 2003 et aux déficits hydriques des années suivantes, de nombreux peuplements forestiers furent touchés par un fort dépérissement (Pauly, 2006 *in* Fourrier, 2007). Dans le Sud de la France, des peuplements de pin maritime, d'une superficie de 120 000 ha, furent détruits par un suceur de sève *Matsucoccus feytaudi* (Coccidae Margarodidae) (Schvester 1974 *in* Mouna, 2009).



## 2.2. Symptômes de dépérissement des arbres forestiers :

Le dépérissement touche en premier lieu la structure du houppier par (Landmann, 1994 ; DSF, 2002):

- l'éclaircissement, la réduction de la ramification fine et de la masse foliaire;
- la présence de pousses sèches;
- la croissance faible des rameaux;
- l'apparence de microphyllie (aiguilles ou feuilles de petite taille), de feuilles disposées en rosette;
- la perte d'aiguilles anciennes chez les résineux.

En cas de forte carence des éléments minéraux (potassium, phosphore et azote), les symptômes de dépérissements sont : jaunissement des aiguilles et faible masse foliaire (Bonneau, 1988 ; Bonneau et *al*, 1994). Par ailleurs, d'autres symptômes peuvent apparaître telles que des pourritures racinaires dues à la présence de champignons, et des baisses de réserves d'amidon et de rejets de sciures blanches attestant de la présence d'insectes xylophages (Nageleisen, 2008). Le décollement d'écorce peut apparaître après l'attaque des Scolytes (Bouget et *al*, 2005).

Selon Nageleisen (1994) et Benhalima (2006), quatre classes de dépérissement sont retenues depuis le dessèchement des feuilles jusqu'à la mortalité totale du houppier :

- Classe 0 : Cime de l'arbre intacte et absence de symptômes de dépérissement ;
- Classe 1 : Rameaux fins desséchés dans la périphérie du houppier et feuillage du reste de l'arbre encore vert ;
- Classe 2 : Début de perte du feuillage, feuilles en paquets et branches desséchés dans le houppier atteignent au moins la moitié de l'arbre ;
- Classe 3 : Houppier mort sans feuillages et arbre mort sur pied.

## 2.3. Causes de dépérissement des arbres forestiers :

Le dépérissement est un processus faisant intervenir de multiples causes et de multiples facteurs de stress qui agressent l'écosystème (Gagnon et Roy, 1994). Les dégâts de dépérissements peuvent être causés par des facteurs biotiques et abiotiques ou une combinaison des deux (tels que les incendies, les tempêtes, les infestations et les maladies causées par les insectes) créant la mortalité ou des pertes économiques sévères des arbres (Lieutier et *al*, 1994 ; Requardt et *al*, 2007). En plus de ces perturbations, la sylviculture a un rôle essentiel dans la santé de la forêt en général, et dans le problème du dépérissement en particulier (Becker et *al*, 1994).

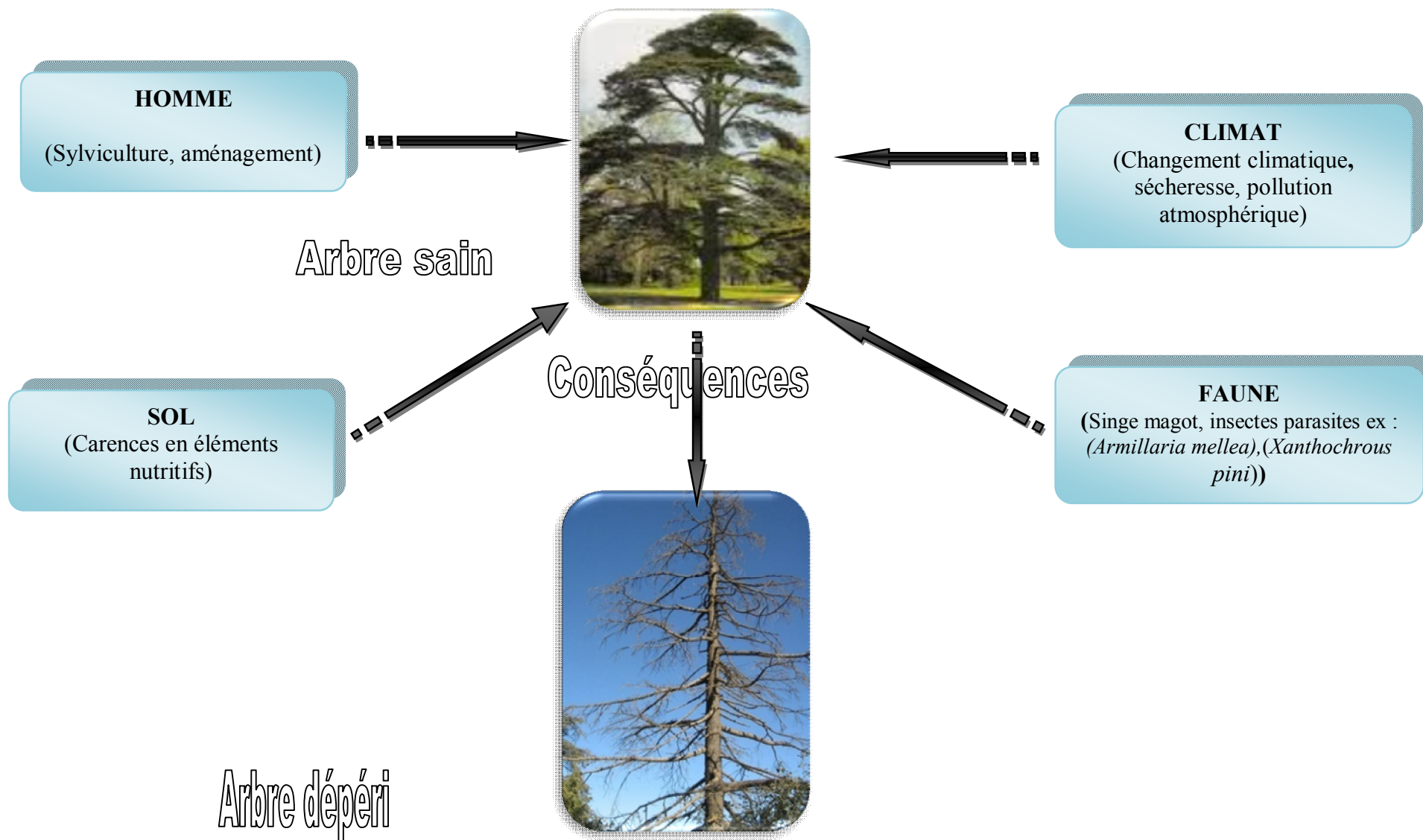
Les pressions comme le changement climatique (fig. 2.1), la pollution atmosphérique (ensemble de composants agissants à des niveaux différents, pollution acide et azotée, ozone, plomb...etc) et les dégâts causés par la faune sauvage ou le bétail ont un impact sur l'état et la vitalité forestière. Le changement climatique, surtout la sécheresse, est actuellement largement considérée comme étant la principale force motrice des différentes causes à effet sur le dépérissement forestier. La sécheresse cause des perturbations physiologiques suite à une déficience hydrique. Lors d'épisodes secs longs, le dépérissement est fort probable d'être signalé (Garrec et *al*, 1989 ; Assenac et Guehl, 1994 ; Requardt et *al*, 2007).

Selon Boneau (1995) et Nageleisen (2008), les facteurs impliqués dans le dépérissement peuvent être classés en facteurs ***prédisposant***, facteurs ***déclenchant*** et facteurs ***aggravant***.

➤ **Facteurs prédisposant** : ce sont des facteurs toujours présents agissant depuis très longtemps pour altérer la santé des arbres. On peut citer comme facteurs prédisposant : vieillissement des peuplements, changements climatiques à long terme, station à faible capacité de rétention en eau et sols peu fertiles, secs et acides.

➤ **Facteurs déclenchant** : on cite entre autres, la sécheresse successive, les attaques de chenilles défoliatrices (pouvant contribuer à conduire le peuplement forestier vers un dépérissement même en l'absence de sécheresse), le gel et le stress hydrique.

➤ **Facteurs aggravant** : principaux agents de mortalité en fin de processus, ils sont des facteurs biotiques selon les espèces. Des parasites de faiblesses, comme l'armillaire (pathogènes racinaires), peuvent induire la mort de l'arbre.



**Fig. 2.1.** Facteurs de dépérissement des arbres forestiers

#### 2.4. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie et au Maroc :

On relève que les conséquences directes de la sécheresse sur les forêts s'avèrent être surtout le dépérissement et l'altération du cycle biologique du cèdre (PNI, 2006). Le dépérissement de la cédraie est l'expression de phénomènes complexes aux causalités multiples amplifiant la destruction de l'écosystème cédraie (M'herit et Benzyane, 2006).

Depuis l'année 1999 à 2002 (soit le début de sécheresse), les forêts de cèdre en Algérie, ont subi une mortalité de masse affectant toutes les classes d'âges (Bentouati, 2008 *in* Allen et al, 2010). La figure 2.2 permet de mieux illustrer cette situation.

La cédraie de Belezma est sujette à un fort taux de dépérissement. Cette situation demeure fortement signalée à travers les Djebels Boumerzoug et Tuggurt, d'une superficie de 300 ha (Meftah, 2001). L'étude réalisée par Nedjahi et al (2008) dans les Aurès soulève que le dépérissement du cèdre est probablement à l'origine des causes climatique et anthropique (aridité, aspect socio-économique).

Bentouati (2008 *in* Rahmani, 2010) rapporte que les symptômes de dépérissement ont été signalés vers les années 1982 dans les Aurès, et que plus de tiers de la surface boisée au Belezma est maintenant touchée par ce phénomène.

D'après PNB (2007 *in* Rahmani, 2010), le taux de dépérissement dans deux cantons dans le parc national de Belezma est estimé à 90% dans le canton de Boumerzoug (retenue comme forêt morte) et à 83% à Thouggar (Ain kerrouch).

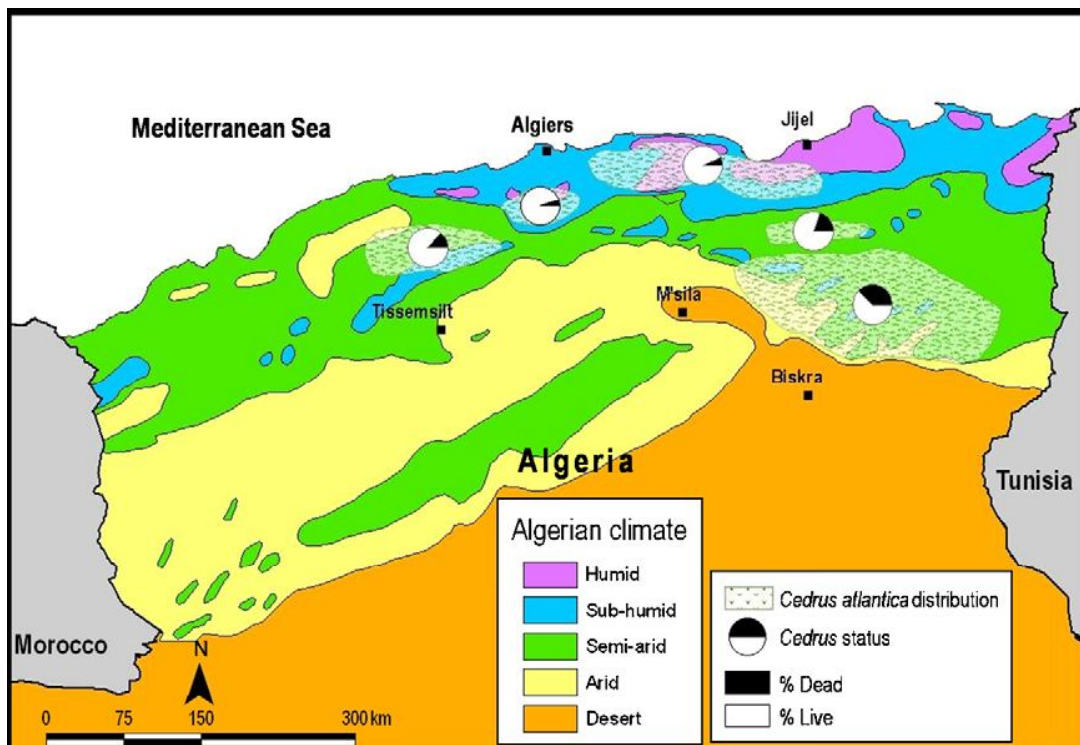
Les résultats de Rahmani (2010) montrent que les Scolytidae et les Buperstidae (surtout *Scolytus amygdali*, *Hylastes ater*, *Cryphalus numidicus*, *Crypturgus cedri*, *Orthotomicus erosus*, *Melanophéla marmottani* et *Anthaxia sp*) semblent être responsables de la majorité des dégâts observés sur le cèdre de Belezma.

Au Maroc, le M'jej provoque une pourriture fibreuse du bois de cœur. Les principales pourritures du bois du cèdre sont causées par des champignons, dont l'action peut débiter soit par les racines (*Armillaria mellea*), soit par une blessure des parties aériennes (*Xanthochrous pini*). Les causes les plus importantes de dépérissement du cèdre sont des causes abiotiques comme l'aggravation des sécheresses et des causes anthropiques (Zaremski et al, 2007).

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas au Maroc, très ancien, a été observé depuis l'année 1940. Affectant des surfaces différentes des principales cédraies du Maroc, le taux de dépérissement est évalué à 37% dans la forêt de Senoual, 22% à Bekrit, 40% à Azrou, 37% à Aghbalou Laarbi et 18% au Djebel Aoua sud (Et-Tobi et Benziane, 2007 in Beghami, 2010).

Les résultats de Derak et al (2008) indiquent que les peuplements dépérissant dans la forêt d'Ain Kahla (forêt de Sidi Mguild au Moyen Atlas) sont caractérisés par une forte densité, une structure équienne et une rareté du chêne vert.

Par ailleurs, l'animal joue un rôle dans le dépérissement du cèdre. Le singe magot de berberie *Macacus sylvanus*, par exemple, provoque des dégâts (parfois spectaculaires) aux arbres en les écorçant intensivement dans certaines forêts du Maroc surtout Michlifen et Ain Kahla (Benhalima 2004 in Rahmani, 2010). Les premières observations des forestiers sur les problèmes causés par le singe magot datent de 1940. La concentration maximale de singe est recensée sur les arbres dont la circonférence varie de 60 à 210 cm (Dube, 2007).



**Fig. 2.2.** Carte des zones climatiques du Nord Algérie et la distribution de la mortalité de *Cedrus atlantica*. (Allen et al, 2010)

## **2.5. Lutte contre le dépérissement :**

Quoiqu'il n'existe pas une lutte spécifique contre le dépérissement, il n'en demeure que les travaux de Landmann (1991) et Riou-nivert (2005) soulèvent les éventuelles possibilités d'intervention par le biais de lutttes biologique, chimique et mécanique contre les facteurs aggravant du dépérissement. Il s'agit, entre autres:

- de lutte contre la pollution (la réduction des émissions polluantes «SO<sub>2</sub> ») ;
- de pratiques de mesures sylvicoles (élagages permettant la facilité de circulation de l'air dans le peuplement, dépressages précoces dans les régénérations denses, éclaircies permettant de diminuer la concurrence entre les arbres);
- d'amélioration du sol par des apports d'engrais en cas de dépérissement attribué à une carence en éléments nutritifs;
- d'extraire rapidement les arbres dépérissant ou chablis, foyers d'insectes ravageurs et sauvegarder les peuplements sains.

Les méthodes mécaniques sont rares. Le seul moyen est celui de l'échenillage des cocons de chenilles processionnaires dans les parcs. Au contraire, les méthodes biologiques, utilisées surtout contre les chenilles ou contre les insectes (comme le puceron du cèdre), sont efficaces et présentent peu de risques pour l'environnement.

# Partie expérimentale

# Chapitre 03

## PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



### **3. Présentation de la zone d'étude :**

La cédraie de Theniet El Had fut soumise à des actions anthropiques sévères lors de la colonisation, notamment durant la période 1843-1923, durant la guerre de libération et lors de la période 1962-1987.

C'est alors que pour une approche plus sélective et dans le but de mieux préserver cette diversité et cette richesse biologique, des parcs nationaux ont été créés, lors de la période coloniale, par arrêté gouvernemental en date du 17/02/1921 (Bonneval, 1930). Les objectifs retenus lors de cette création relèvent de la préservation et la protection des beautés naturelles, le développement et l'organisation des recherches scientifiques, la sensibilisation des visiteurs aux divers aspects de protection de la nature et la conservation des écosystèmes, des paysages et des richesses culturelles de la région (Fellous et Maaziz, 2003 ; DGF, 2005).

La forêt des cèdres de Theniet el Had fut alors le premier espace protégé créée en Algérie. Elle fut proclamée parc national par arrêté gouvernemental en date du 3 août 1923 sur une superficie de 1563 ha.

Après l'indépendance, la forêt des cèdres fut reproclamée parc national en date du 23 juillet 1983 par décret présidentiel n° 83-459 sur une superficie de 3424 ha (PNTEH, 2006).

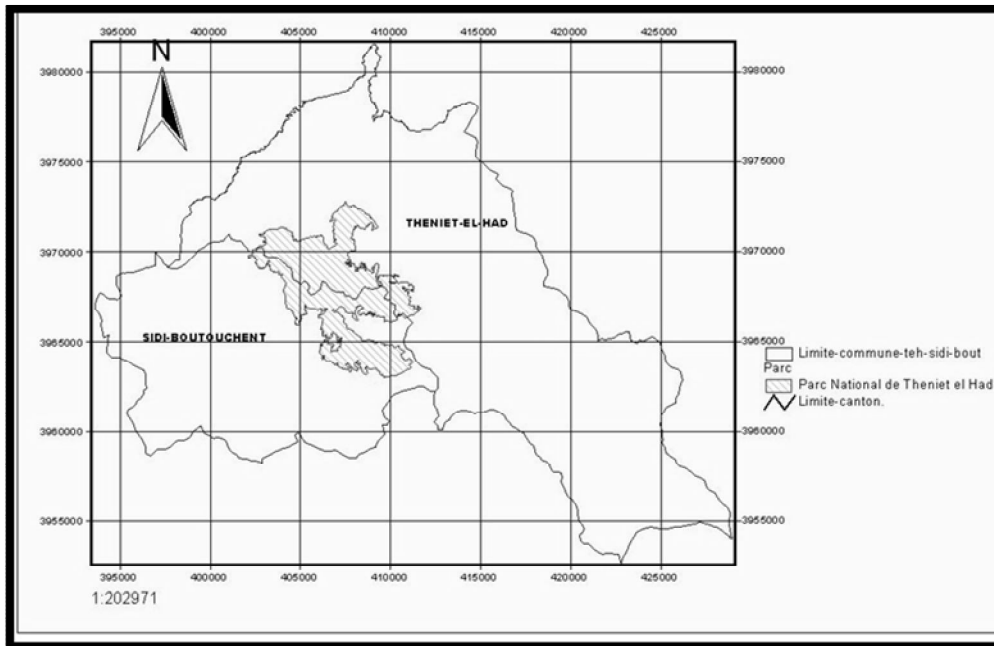
Lors de l'installation du fort militaire colonial dans la ville de Theniet El Had, soit au cours de l'année 1843 la forêt des cèdres fût qualifiée par les militaires comme étant un « superbe massif ou paradis des cèdres » (Sari, 1977).

#### **3.1. Situation, superficie et limites géographiques :**

Le parc national de Theniet El Had, faisant partie du prolongement du massif de l'Ouarsenis, occupe les deux versants du Djebel El Meddad. D'une superficie de 3424ha, il est situé à deux kilomètres au sud-ouest de la ville de Theniet El Had (Fig. 3.1). Les coordonnées géographiques du parc national sont les suivantes :

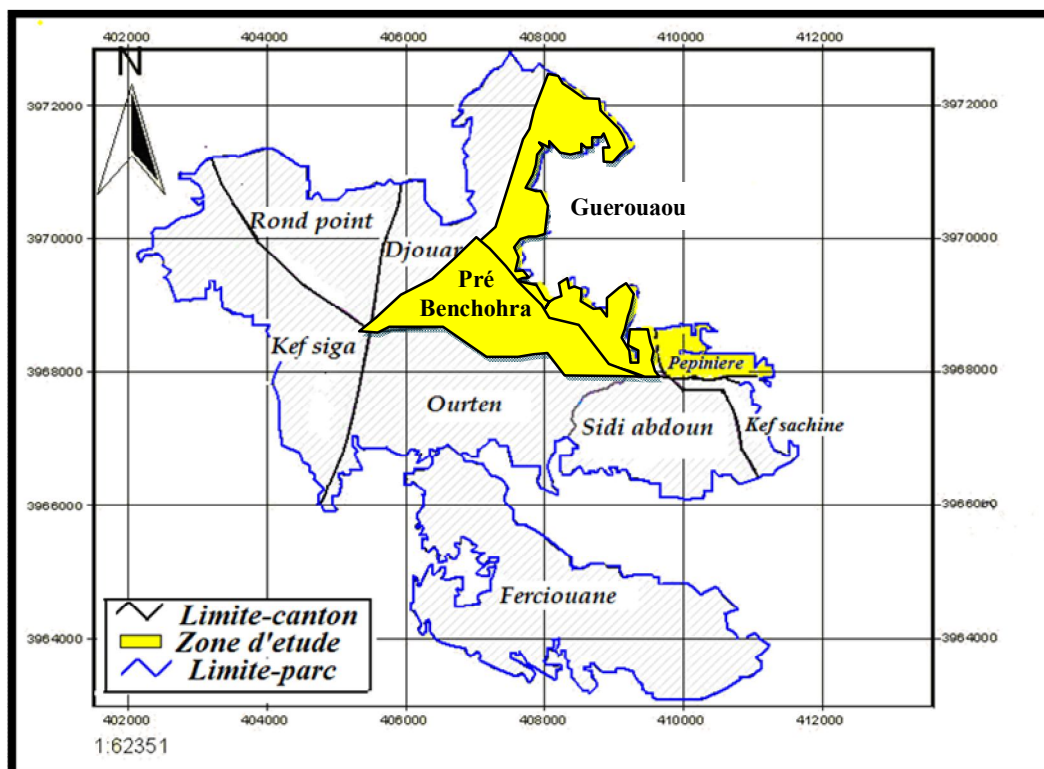
**Latitude :** 35°51'56'' et 35°53'04'' Nord.

**Longitude :** 01°55'30'' et 02°01'30'' Est.



**Fig.3.1** : Situation du parc national de Theniet El Had dans la wilaya de Tissemsilt (P.N.T.E.H.. 2006).

La zone d'étude a fait l'objet de choix selon la présence de taches de cèdres dépéris à travers le versant nord de la cédraie. Elle relève des cantons Guerouaou, Pépinière et Pré-Benchohra (Fig. 3.2).



**Fig.3.2** : Délimitation de la zone d'étude (P.N.T.E.H., 2006)

### 3.2. Aspects géologiques et pédologiques :

Le massif de la forêt des cèdres repose sur les grès medjaniens (éocène supérieur). Il est représenté par les sédiments oligocènes qui sont la base de la structure géologique du massif signalées sur les parties ouest, centres et les plus hautes altitudes du massif, elles sont caractérisées par des grès de couches épaisses situées sur des couches fines d'argiles et de marnes (Boudy, 1955; Anonyme, 1984).

La cédraie est caractérisée par des reliefs montagneux accidentés. Elle présente trois expositions principales : Nord, Sud et Ouest. Le versant sud est d'une assez forte pente (25° en moyenne) que le versant nord où la pente peut dépasser 40° d'inclinaison à l'exception du canton Pépinière (environ 15°). Le sommet le plus élevé est de 1787m d'altitude en Ras el Braret et le point le plus bas est de 900m d'altitude dans le versant nord du parc (Anonyme, 1984 ; PNTEH, 2006).

Trois types de sols y sont identifiés : sols peu évolués d'apport colluvial, sols minéraux bruts d'érosion et sols bruns lessivés. La carte pédologique et les différents types de sols sont représentés en annexe 3.1 (Anonyme, 1984 ; PNTEH, 2006).

\* *Sols peu évolués d'apport colluvial*: on les trouve dans le versant sud, le centre et la partie inférieure du versant nord du parc. Ils sont caractérisés par une texture grossière, non carbonatés possédant de bonnes propriétés physiques. Il s'agit de sols très pierreux en profondeur et à la surface et très pauvres en matières organique et en éléments nutritifs ;

\* *Sols minéraux bruts d'érosion* : sols peu profonds, de texture grossière et de réaction neutre, ils sont moins présents dans le complexe pédologique de la cédraie;

\* *Sols bruns lessivés* : de texture argileuse, ils sont riches en matière organique à leur partie superficielle. Ils sont localisés aux environs de la ligne de partage des eaux.

### 3.3. Conditions climatiques :

La classification écologique des climats se base sur les températures et la pluviosité. Elle permet d'indiquer la répartition des végétaux. La caractéristique fondamentale du climat méditerranéen est celle de la présence de deux périodes distinctes: précipitation hivernale et sécheresse estivale (Dajoz, 1978 ; Bethemont, 2003).

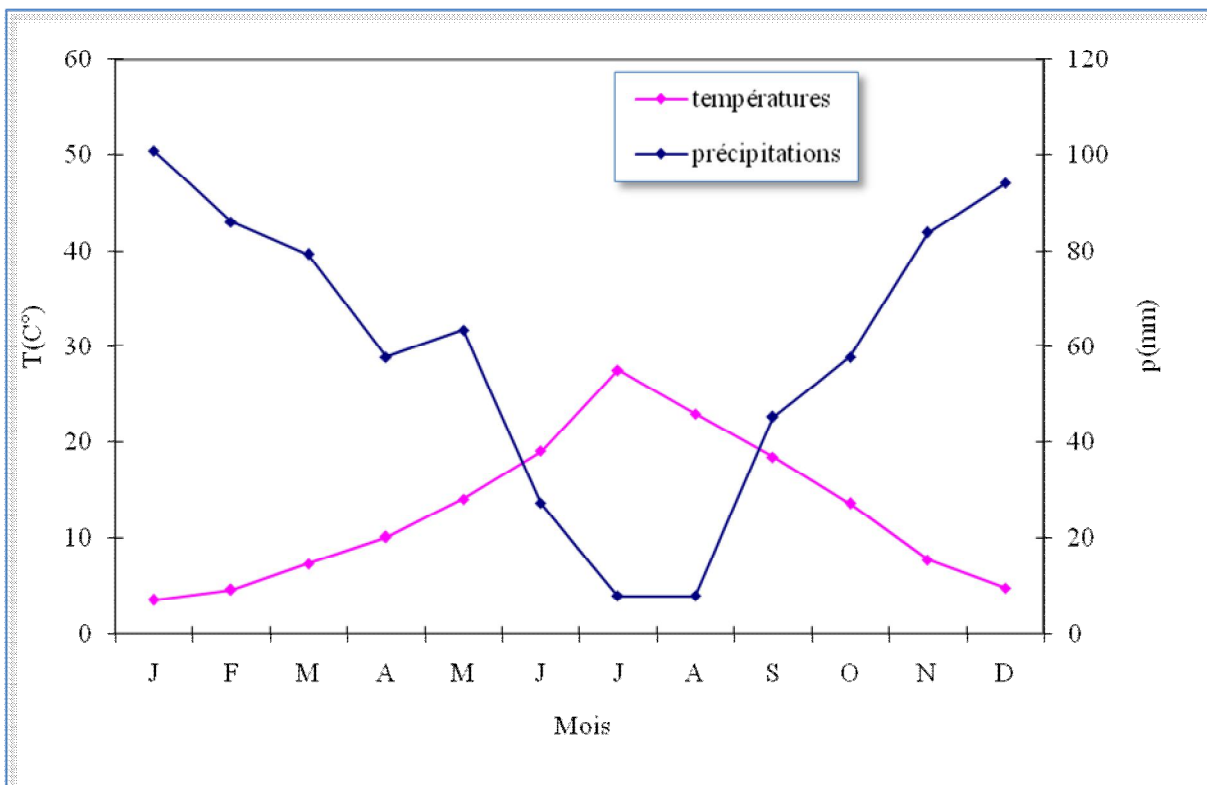
La ville de Theniet El Had, à l'exception des données climatiques de Seltzer (1946), manque de données climatiques récentes. Cette situation reste toujours à l'origine d'absence de poste météorologique.

Pour pouvoir identifier le climat de la zone d'étude, du moins globalement, deux sources de données sont retenues:

- Données climatiques de la ville de Theniet El Had, enregistrées par Seltzer (1946) durant la période 1913-1938. il s'agit des données de températures, précipitations, vents, gelée et humidité;
- Données d'autres stations les plus proches du massif. Il s'agit des précipitations enregistrées durant la période 1966–1990 (ONM, 1990 *in* Sarmoum, 2008) et complétées par celles enregistrées durant la période 1991–2004 au niveau de la station de Bordj El Emir Abdelkader (ANRH, 2004 *in* Sarmoum, 2008).

Pour pouvoir établir le diagramme ombrothermique de la zone donnée, nous avons utilisé par extrapolation les données de Seltzer (1946) enregistrées durant la période **1913–1938** à une altitude de 1160m. L'altitude moyenne de la zone d'étude étant de 1371m, la différence altitudinale soit de 211m par rapport à celle de la station de Theniet-El-Had.

Le tracé du diagramme ombrothermique de la zone d'étude (Fig.3.3) révèle une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'à la mi-septembre de l'année. Les températures les plus basses y sont enregistrées au courant des mois de décembre et janvier, alors que les températures maximales vers la fin juin et début d'août.



**Fig.3.3** : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude

EMBERGER a proposé la formule suivante pour la région méditerranéenne (Ozenda, 1982):

$$Q_2 = \frac{(100 \cdot P)}{(M^2 - m^2)}$$

Avec : -P : précipitation annuelle en mm.

-M : température moyenne des maxima du mois le plus chaud.

-m : température moyenne des minima du mois le plus froid.

-Q<sub>2</sub> : Quotient d'EMBERGER.

Par application numérique à la zone d'étude, la valeur de Q<sub>2</sub> est égale à 76,48. Dès lors, la zone d'étude est retenue être soumise à l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid (fig. 3.4).

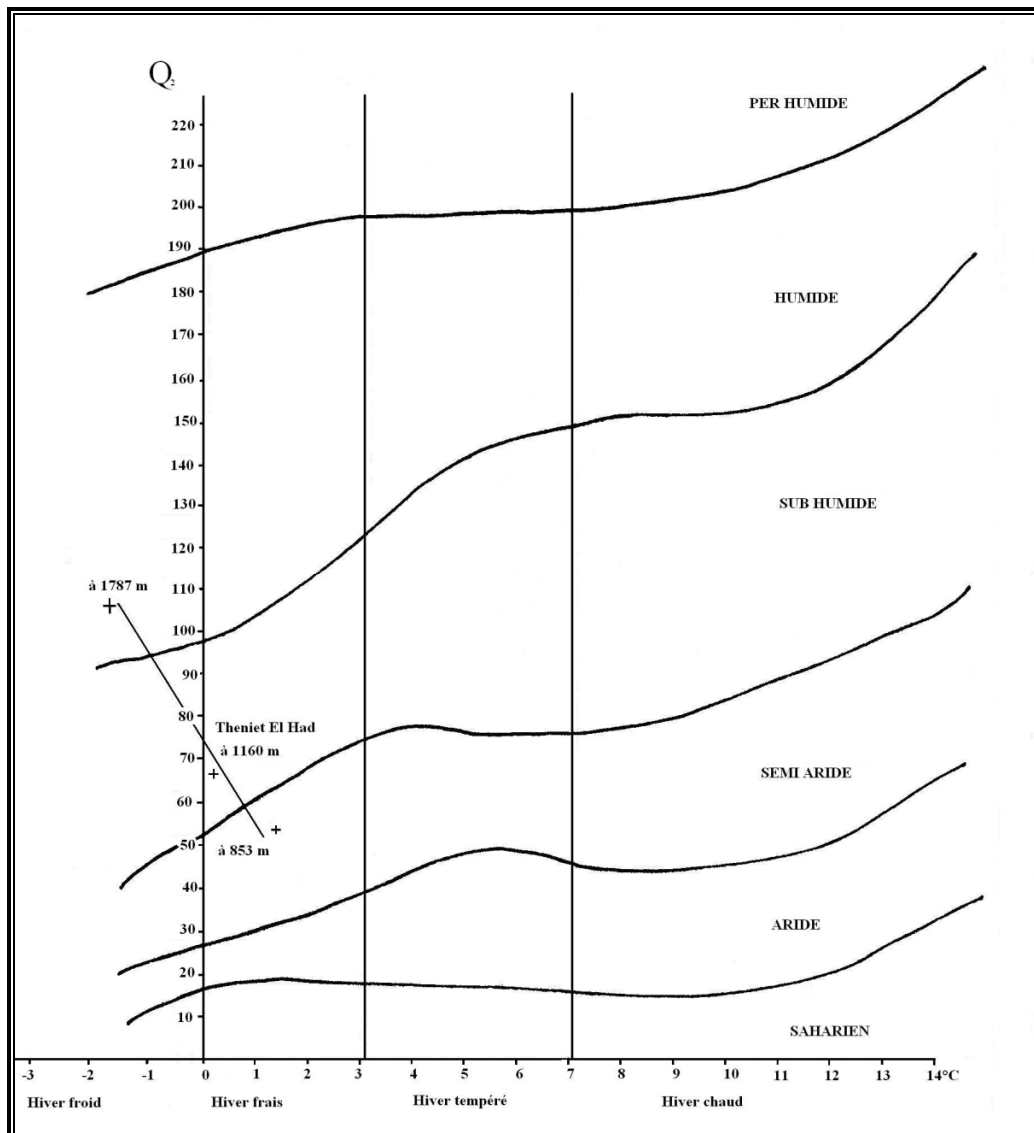


Fig.3.4 : Localisation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger

### 3.4. Aspect hydrologique :

Plusieurs sources d'eau y sont signalées dans le parc. Il s'agit des sources suivantes : Source Ain Harhara (canton Rond-point), Source Ain Touila (canton Sidi-Abdoun), Source Djedj Elma (canton Ourtène), Source Guiguel (canton Kef Sachine), Source Cheraga (canton Guerouaou), Source Kenia (canton Fersiouane), Source Ourtene (canton Ourtène), Source Toursout (canton Pré-Benchohra) et Source Plate forme (canton Pèpinière).

### 3.5. Richesses faunistique et floristique :

La faune est représentée par des mammifères, des oiseaux, des insectes et des reptiles.

\*- Au niveau des *mammifères*, on compte dix sept espèces dont huit protégées telles que : porc-épic, genette, hyène rayée, caracal, lérot, mangouste, belette, renard roux, hérisson d'Algérie ... etc.

\*- Les *oiseaux*, au nombre de quatre vingt dix sept espèces recensées, vingt neuf d'entre elles y sont protégées. On cite, entre autres: aigle botté, aigle royal, circaète jean le blanc, milan noir, gypaète barbu, cigogne blanche, chardonneret, pic de levaillant...etc.

\*- Cent cinquante espèces d'*insectes* y sont signalées et enregistrées au niveau du parc; entre autres, machaon, citron de province, agreste, cigale des montagnes, etc...

\*- Au niveau des *reptiles*, on y dénombre dix huit espèces identifiées dont trois protégées. On en cite l'agame, la tortue grecque, le caméléon commun, l'amphisbène de weigmann. De plus, des myriapodes tels que l'huile et la scolopendre.

Quant à la flore, le parc national de Theniet El Had présente une grande diversité floristique. On y recense le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) qui présente de plus beaux sites de l'Algérie (on y trouve trois arbres centenaires « *Soultana*, *Messoud* et *Massouda* » d'une circonférence à 1.30m de 10 à 12m). En plus, on y trouve *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Pinus halepensis*, *Acer monspessalum*, *Salix alba*, *Fraxinus oxyphylla*, *Prunus Amygdalis*, *Prunus avium*, quelques pieds de *Juniperus oxycedrus* et d'autres espèces (annexe 3.2). Le parc est le seul endroit dans le pourtour méditerranéen où le chêne liège se trouve sur une altitude plus de 1600m (Bessah, 2005). Des espèces herbacées endémiques (*Silene glaberrima*) et rares y sont signalées.

### 3.6. Actions anthropiques :

Le parc national de Theniet El Had reste encore soumis à des actions anthropiques jugées sévères. Coupes illicites, surpâturage répété et incendies (Fig. 3.5) sont les principaux facteurs de destruction et de dégradation des végétaux.

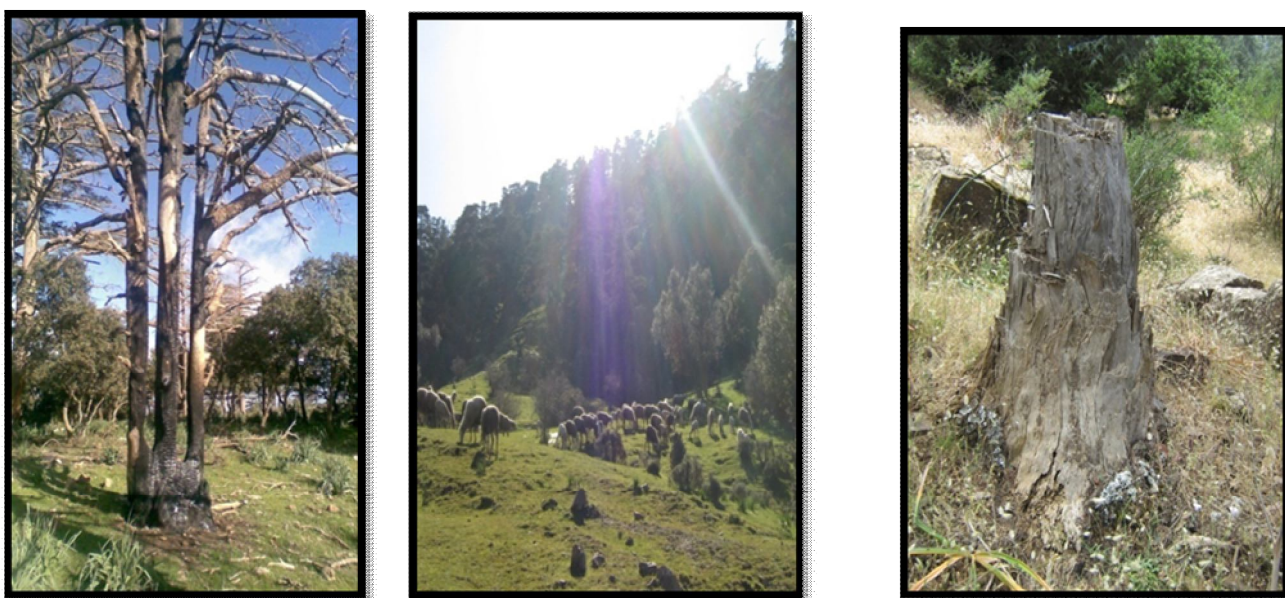
De nombreux facteurs liés aux activités humaines sont à l'origine de feu de forêt. Celles-ci constituent une menace permanente pour les boisements et les peuplements forestiers (Anonyme,

1997 ; SCPid, 2002). Lors de la guère de libération, des peuplements naturels ont fait l'objet d'attaques au napalm par les militaires français.

Par ailleurs, les incendies déclarés au niveau du parc, vue qu'il s'agit d'une cédraie, sont faiblement fréquents. Une superficie incendiée de 114hectares 52ares (globale) y est enregistrée par le service forestier, et ce durant la période 1995 à 2004.

Des coupes illicites de bois de cèdre et de chêne vert y sont enregistrées à travers la forêt en particulier dans les zones centrales et périphériques du parc. Ces coupes sont pratiquées par les riverains sans autorisation de l'administration forestière du parc. Pendant six ans, 345 tiges coupées pratiquées par la population riveraine y sont signalées et enregistrées par le service forestier.

D'autre part, quoique le pâturage est une activité pouvant être tolérée en forêt, il n'en demeure que les passages répétés du bétail demeurent l'une des causes de dégradation des écosystèmes forestiers et de l'appauvrissement de la biodiversité. Cette situation de passages répétés du bétail produit généralement un tassement du sol, empêchant ainsi la réinstallation de la couverture végétale (Ayache et Bouazza, 2008). Notons que le surpâturage est en permanence signalé dans la forêt des cèdres. Toutefois, durant la décennie d'insécurité (1993-2000) la présence du bétail y était fortement réduite.



**Fig.3.5** : Actions anthropiques dans le parc national de Theniet El Had

### 3.7. Dépérissement dans la zone d'étude :

En 1984, le service des forêts révéla que des centaines de tiges de cèdre sont affectées par le dépérissement dans la cédraie de Theniet El Had. Le nombre de cèdres morts sur pied s'éleva à 2891 tiges. Ces tiges sont réparties en petits bouquets ou isolées parmi les peuplements sains (Fig.3.6).

En 1990, une mission dirigée par une équipe de chercheurs sous l'égide de l'Institut National de Recherches Forestières d'Alger, accompagnée d'un expert de l'Institut National de Recherches Agronomiques de France, a proposé les recommandations suivantes : assigner des opérations de protection des forêts et asseoir une sylviculture appropriée.

En juillet 1992, les cèdres dépéris occupaient 3/4 du canton Rond-point, 1/4 de canton Kef Siga et 1/4 du canton Djouareb.

Au courant de l'année 2005, une autre mission conjointe DGF/INRF, face à un dépérissement de nouveau menaçant, et faute de pouvoir dégager des mesures rationnelles, a recommandé des opérations d'assainissement urgentes.



**Fig.3.6:** Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had (Photo prise en date du 01/03/2010).



### **3.8. Tourisme :**

Si l'on se réfère aux autres parcs nationaux, le tourisme dans le parc national de Theniet el Had demeure encore d'un flux faible. Les moyens logistiques et la faible médiatisation nous semblent être à l'origine de cette situation.

Les visites au niveau du parc sont répertoriées dans le cadre du *tourisme pédagogique* (sorties pédagogiques des étudiants), du *tourisme récréatif* (familles) et du *tourisme scientifique* ou de *découverte* (chercheurs, clubs scientifiques).

### **3.9. Opérations d'aménagement projetées :**

Des opérations d'aménagement retenues par la Direction du parc peuvent être énumérées comme suit:

- gestion et aménagement du patrimoine naturel ;
- réglementation des parcours ;
- réhabilitation et nettoyage de la cédraie ;
- construction de poste de vigie ;
- gabionnage et restauration des oueds ;
- construction de points d'eau dans les zones à haut risque d'incendie ;
- aménagement et ouverture de piste ;
- réalisation de sentier pédestre ;
- et clôture de la réserve intégrale
- construction d'une maison forestière, d'une salle de conférence, d'une médiathèque et d'une bibliothèque.

# Chapitre 04

## Chapitre 04

**MATERIEL et METHODES**

#### 4. Matériel et méthodes :

L'objet de cette étude est de pouvoir rechercher les éventuelles relations écopédologiques en rapport avec le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had. Dès lors, des placettes y sont installées en vue d'une récolte de données de manière rationnelle et objective.

##### 4.1. Type et Forme de placettes :

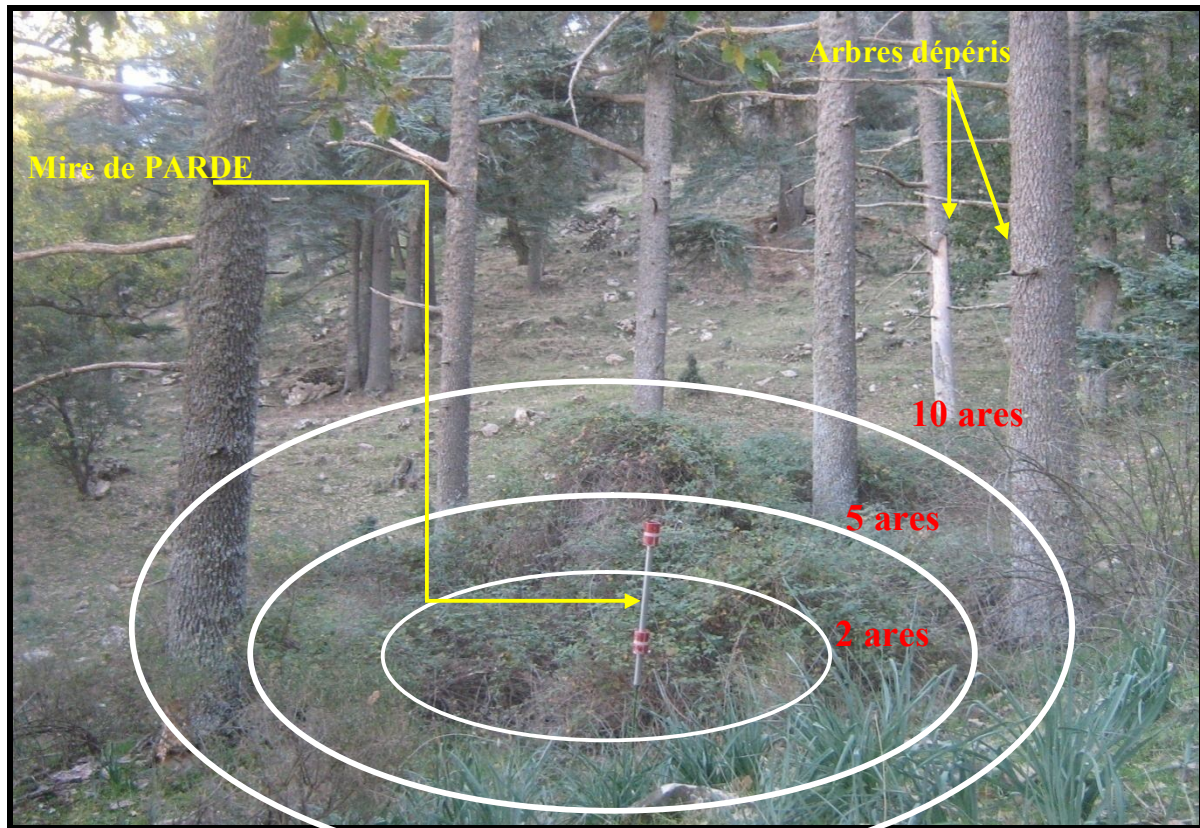
Comme le dépérissement est celui faisant l'objet d'étude, l'installation des placettes sera dès lors sujette essentiellement aux cèdres présentant des signes symptomatiques relatifs à ce fléau. Dans l'ensemble, les cèdres dépéris s'y trouvent répartis à travers des taches localisées.

Tenant compte de cette situation, les placettes y sont alors installées au sein des taches de cèdres dépéris. Les placettes d'étude sont retenues comme étant des unités d'échantillonnages temporaires à surface restreinte (quelques ares). Les placettes temporaires font l'objet d'usage en vue de la recherche de relations en dehors de la variable temps (Lecomte et Rondeux, 2002b; Rondeux et al, 2002; Thibaut et al, 2002).

La forme de placette la plus recommandée dans la littérature est celle de la forme circulaire à surface définie. Elle facilite la délimitation de la placette, règle le problème des arbres limités et ne présente pas de directions privilégiées (Palm, 1977 ; Rondeux, 2002).

En effet, au niveau de chaque tache de dépérissement, trois unités circulaires concentriques avec un centre fixe et de superficies variables (2 ares, 5 ares et 10 ares) y sont installées (Fig. 4.1). Au total, vingt et une (21) placettes ont fait l'objet d'installation dans le versant nord, particulièrement à travers les cantons Guerouaou, Pré-Benchohra et Pépinière.

Chacune des placettes est délimitée par le biais de la mire de PARDE et du viseur dioptrique du dendromètre Blum-Leiss. Lors de placettes installées sur terrain en pente, la distance entre les deux voyants de la mire de PARDE fera l'objet de correction comme le montre le tableau 4.1.



**Fig. 4.1** : Représentation schématique des unités d'échantillonnage

**Tableau 4.1** : Valeurs de références propres à l'utilisation de la mire de PARDE pour différentes superficies des placettes circulaires (Rondeux, 1999)

Angle de terrain en degrés avec l'horizontal	Distance entre les deux voyants (en cm) pour des placettes de:		
	2 ares	5 ares	10 ares
0°	23.9	37.8	53.5
5°	24	38	53.7
10°	24.3	38.4	54.3
15°	24.8	39.2	55.4
20°	25.4	40.2	56.9
25°	26.3	41.7	58.9
30°	27.5	43.5	61.5
35°	28.9	45.7	64.7
40°	30.7	48.5	68.7

#### 4.2. Récolte des données :

Les paramètres dendrométriques, topographiques et pédologiques ont fait l'objet de mesures soignées à travers 21 placettes circulaires.

Au niveau de chaque unité d'échantillonnage, des observations relatives au peuplement et à la station, ont fait l'objet de récolte.

Les facteurs topographiques recensés au niveau de chacune des placettes sont l'altitude, la pente du terrain, l'exposition et la forme du microrelief.

De plus, à chacune des tiges (arbres vivants et dépéris) la circonférence à 1.30m et la hauteur totale ont fait l'objet de mesures dendrométriques.

Quant aux propriétés physico-chimiques du sol, la tarière pédologique est celle ayant servi d'outil lors de la récolte des échantillons de sol.

Le matériel de terrain est constitué des éléments suivants (annexe 4.1): *mire de PARDE*, *Blum-Leiss*, *mètre ruban*, *Boussole à main*, *GPS*, *Tarière forestière pédologique* et *Pénétrromètre*.

#### 4.3. Données topographiques :

Les données topographiques récoltées au niveau de chacune des placettes sont : *l'exposition*, *l'altitude*, *la pente du terrain* et *le type de microrelief*.

*L'exposition* est déterminée à l'aide d'une boussole forestière ;

*L'altitude* est mesurée à l'aide d'un GPS ou d'un altimètre préalablement étalonné ;

*La pente* du terrain, en degrés, est mesurée à l'aide du dendromètre Blum-Leiss.

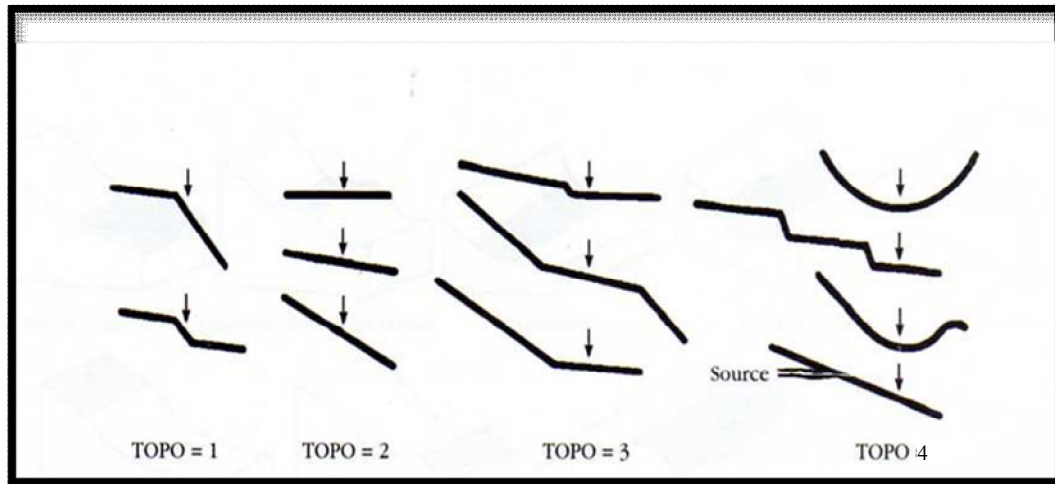
*Le microrelief*, critère qualitatif, est classé parmi les facteurs stationnels les plus complexes (Masson, 2005b). Il est évalué sur la base d'apport et de perte d'eau (fig. 4.2).

TOPO 1 : les pertes latérales d'eau sont supérieures aux apports ;

TOPO 2 : les apports sont nuls ou égaux aux pertes d'eau par drainage ;

TOPO 3 : l'eau circule plus lentement à ce niveau, ce qui constitue une situation favorable ;

TOPO 4 : la situation hydrique est exceptionnellement favorable.



**Fig. 4.2 :** Situation topographique décrite selon un indice topographique (Masson, 2005 b)

#### 4.4. Données dendrométriques :

##### 4.4.1. Hauteur totale :

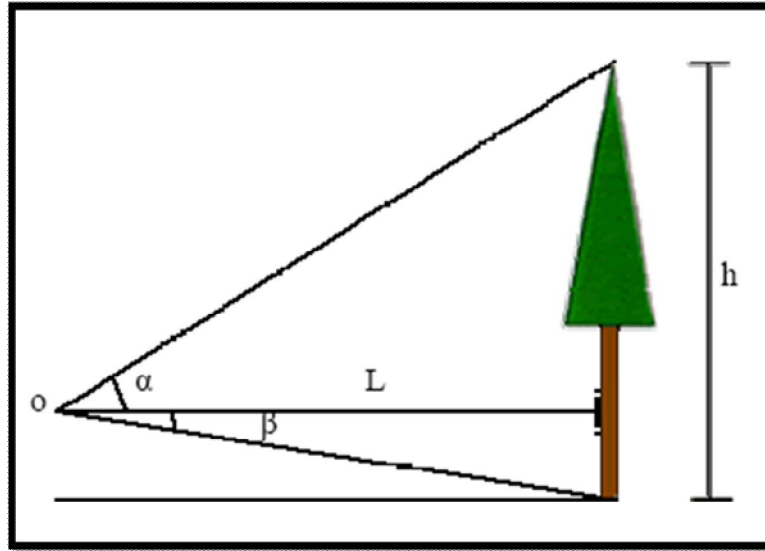
C'est la distance verticale entre le pied de l'arbre (niveau du sol) jusqu'à l'extrémité du bourgeon terminal (fig. 4.3). La hauteur est la caractéristique la plus importante pour estimer le volume et en conséquence la productivité des stations forestières. Pour faire des mesures faciles et exactes sans erreurs, l'opérateur doit (Anonyme, 1978 ; Dagnelie et *al*, 1988 ; Massenet, 2005 b) :

- ◆ Eviter un point de stationnement situé plus bas que le pied de l'arbre ;
- ◆ Se placer à une distance de l'arbre égale à la hauteur estimée de celui-ci ;
- ◆ Considérer une seule hauteur dans le cas d'arbre fourchus.

La hauteur totale des arbres est mesurée à l'aide du dendromètre Blum-leiss.

En cas de forte pente, la mesure se fait parallèlement au sol et elle est mesurée afin d'effectuer une correction à posteriori. Pour corriger la hauteur lue en fonction de l'angle de pente du terrain (sur la mire), la formulation suivante est celle préconisée (Cailliez, 1980 ; Hammache et *al*, 1994 ; Verrue, 2001):

$$\text{hauteur vraie} = \text{hauteur lue} \times \cos^2 i$$



$h$  = hauteur totale de l'arbre

$L$  = distance séparant l'opérateur de l'arbre

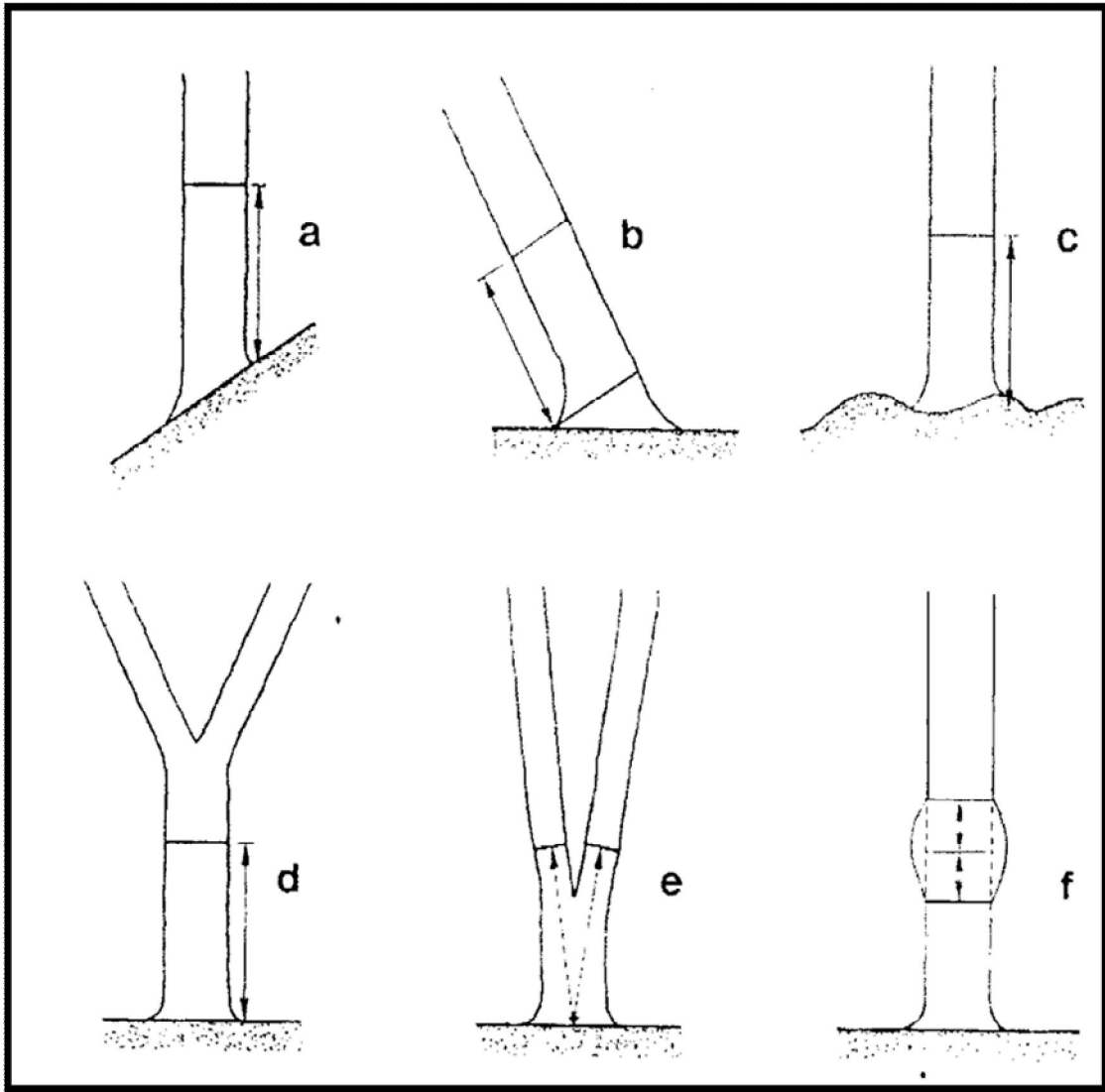
$\alpha$  = angle de visée vers le sommet de l'arbre

$\beta$  = angle de visée vers le pied de l'arbre

**Fig. 4.3:** Mesure des hauteurs totales à l'aide du dendromètre Blum-leiss (Marchal et Rondeux, 1995)

#### 4.4.2. Circonférence à 1.30m :

La circonférence d'une tige à hauteur d'homme (1.30 m au-dessus du niveau du sol) est un paramètre dendrométrique très explicatif et plus utilisé dans le domaine forestier. La mesure de la circonférence est réalisée à l'aide d'un mètre ruban. Sur les terrains inclinés, comme le montre la figure 4.4, la mesure du diamètre est effectuée du côté amont de l'arbre. La circonférence des arbres soudés à la base et formant des tiges jumelles est mesurée sépariment lorsque celles-ci se divisent à une hauteur inférieure à 1.30m (Chalabi, 1980, Anonyme, 1988 ; Richter, 2001).



**Fig. 4.4:** Niveaux de mesures de la grosseur des arbres en situations particulières (Rondeux, 1999)

#### 4.4.3. Caractéristiques qualitatives :

Dans le but d'évaluer la vitalité et la vigueur des tiges de cèdre, chacune des tiges recensées fait l'objet d'appréciation qualitative sur la base des paramètres suivants: rectitude du tronc, élagage naturel, fructification et symétrie du houppier.



#### 4.4.3.1. Rectitude du tronc :

Un arbre rectiligne est un arbre avec un axe principal, tronc droit, vertical et cylindrique. La rectitude du tronc est un critère qualitatif dans l'évaluation du rendement du bois de bonne qualité (Gasser, 2008).

Les observations recueillies montrent trois-quarts ( $\frac{3}{4}$ ) de troncs de cèdre rectilignes dont un quart relevant de cèdres dépéris. Les cèdres présentant de troncs tordus ne sont que faiblement représentés (fig. 4.5). Il s'agit essentiellement de la qualité forte intéressante du cèdre de l'Atlas.

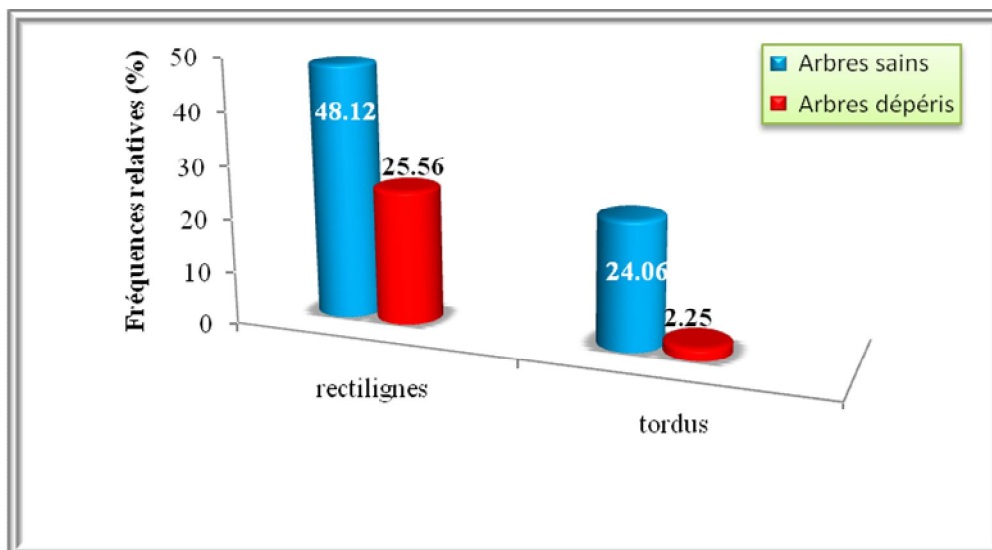


Fig.4.5 : Fréquences relatives des strates de rectitude du tronc

#### 4.4.3.2. Elagage naturel des tiges :

L'élagage des branches est un processus naturel très utile, consistant à réduire la longueur et le nombre des branches. Les branches basses meurent par manque de lumière, se dégradent et finissent par tomber (Cyr, 2006).

Dans l'étude, trois paramètres qualitatifs sont mis en évidence à savoir: élagage bon, moyen ou mauvais. La figure 4.6 permet de mieux visualiser cette répartition à travers les fréquences respectives déduites. Dans l'ensemble, les tiges recensées présentent des fréquences égales entre celles disposant d'un élagage naturel bon et moyen vis à vis de celles ayant un élagage naturel mauvais. En effet, un quart ( $\frac{1}{4}$ ) de tiges présente un élagage naturel jugé meilleur.

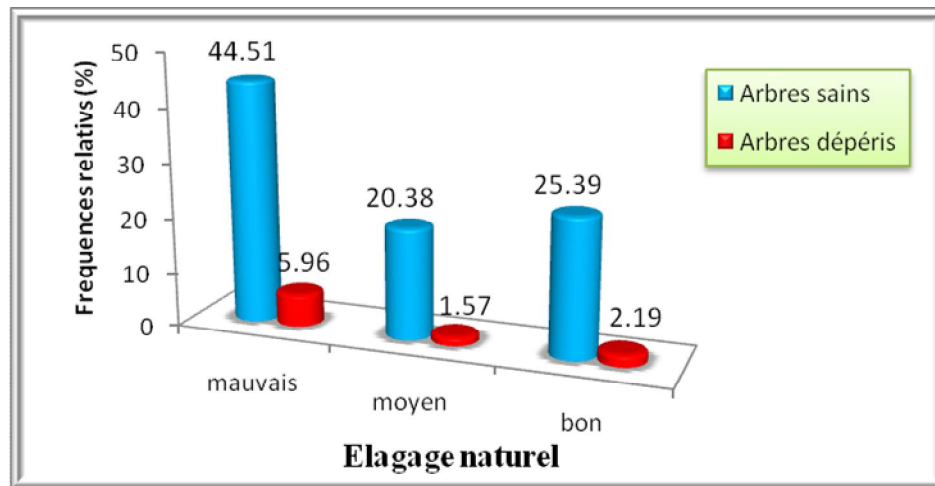


Fig.4.6 : Fréquences relatives des classes d'élagage naturel

#### 4.4.3.3. Fructification :

Comme l'abondance de la fructification annuelle n'est pas constante dans le temps, les arbres ne fructifient pas avec la même abondance lors d'une même année. Cette variabilité est due aux fluctuations climatiques annuelles, aux différences d'âges entre les arbres, aux causes génétiques, à la diminution de l'intensité lumineuse et à la densité du peuplement (Baradat, 1966 ; Krouchi et *al*, 2004).

Dans l'étude, la variable fructification a fait l'objet de la stratification suivante: nulle, faible, moyenne et bonne. Si l'on se réfère à la figure 4.7, il en ressort que la fructification des tiges de cèdre recensées est très faible voire quasiment nulle, soit environ 85% de tiges non fructifères. Cette faible production des cônes est un signe révélateur d'une régénération naturelle très faible et en conséquence d'une évolution régressive de peuplement de cèdre.

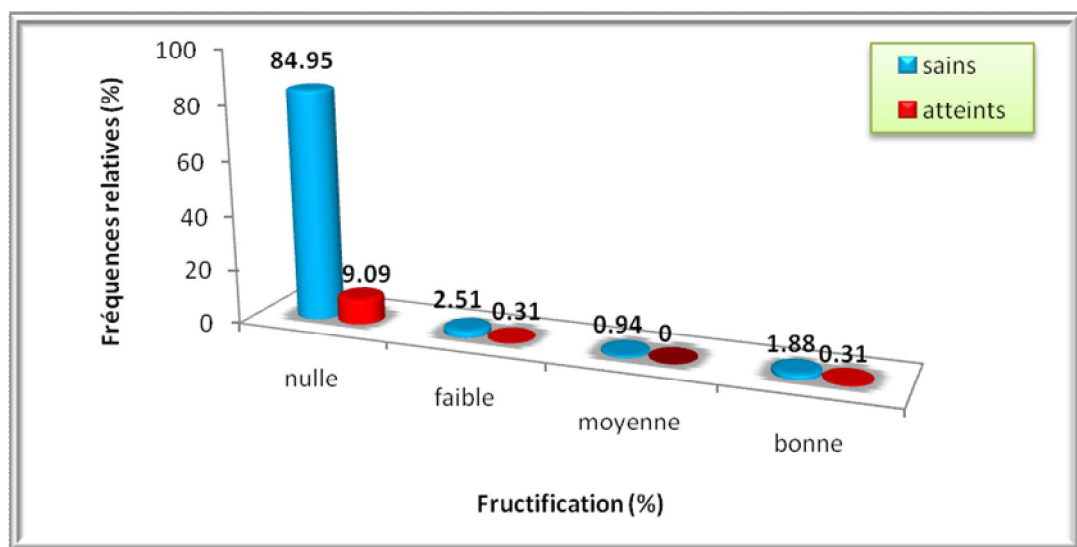


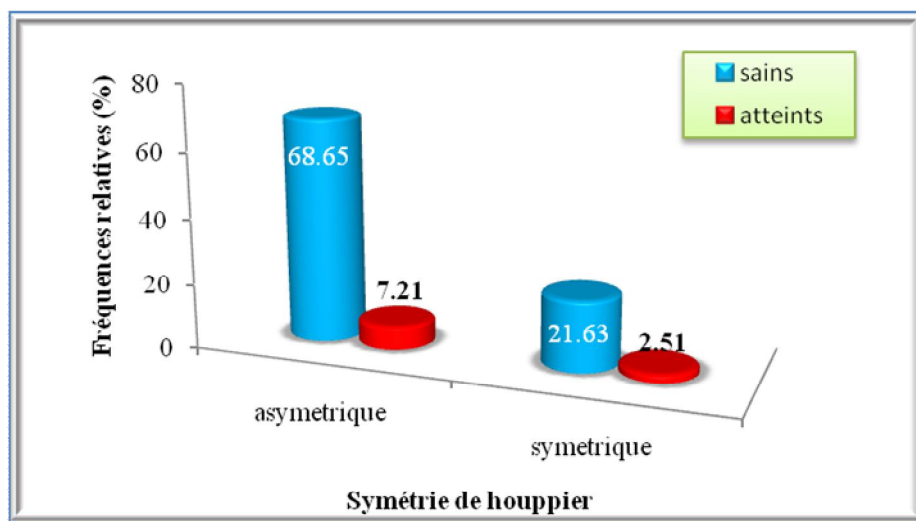
Fig.4.7 : Fréquences relatives des strates de fructification

#### 4.4.3.4. Symétrie du houppier :

Le houppier est la partie de la tige située au-dessus de la base de la cime. Il regroupe l'ensemble des branches vivantes et tous les rameaux qui entourent la partie supérieure du tronc (Anonyme, 1989).

Deux strates y sont retenues dans l'étude: symétrie et asymétrie. Cette différenciation est révélatrice de la mise en évidence de l'effet d'une telle situation sur la vigueur et la vitalité de l'arbre. Une tige à houppier symétrique est celle dont la croissance reste encore davantage qualitativement meilleure que par rapport à celle d'une tige disposant d'un houppier asymétrique.

A travers la figure 4.8, plus de 75% de tiges recensées présentent des houppiers asymétriques. Il en ressort dès lors, une situation compromettante de la croissance des cèdres sains ou dépéris.



**Fig.4.8** : Fréquences relatives des strates d'extension du houppier

#### 4.4.4. Autres observations :

Pour de plus amples informations, d'autres observations jugées complémentaires mais intéressantes, ont fait l'objet de récolte. Il s'agit des informations suivantes: surpâturage ; tâches de régénération ; délits de coupe ; pourcentage de pierres et recouvrement.

##### A) Charge caillouteuse :

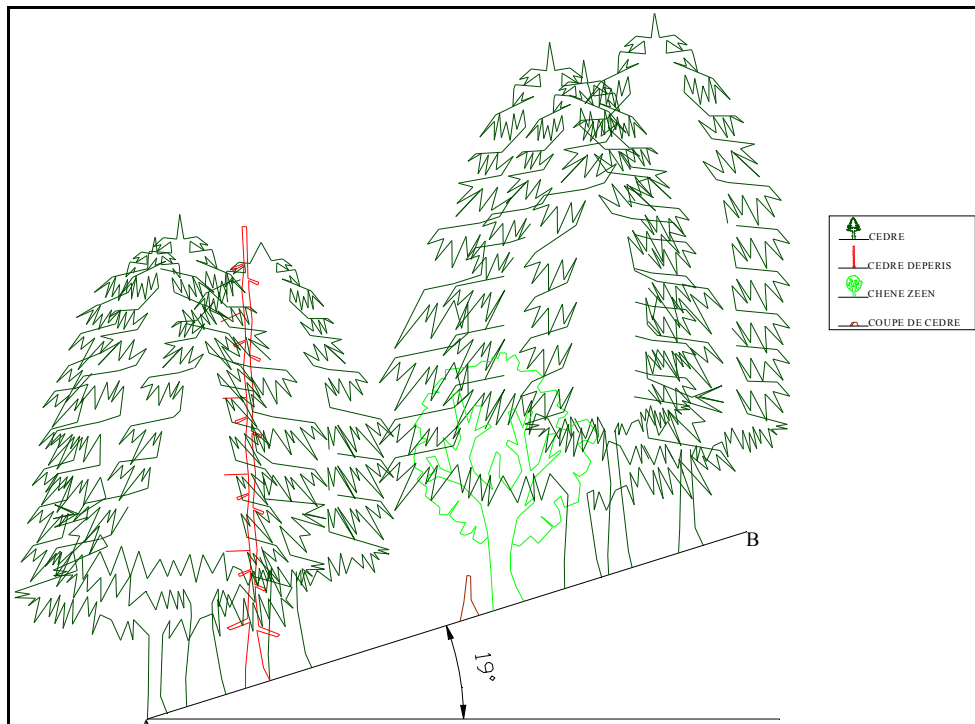
Les affleurements rocheux sont des roches en place visibles sur terrain, soit plus de 20 cm de taille, alors que les cailloux sont de 2 à 20 cm de taille. On retient qu'une forte charge en éléments grossiers constitue une contrainte pour la croissance des arbres forestiers (Ripert et Boisseau, 1994; Masson, 2005b).

Au niveau de la zone d'étude, la charge caillouteuse semble être très différente d'un canton à l'autre. Elle est nettement observée dans le canton Guerouaou que dans les cantons Pépinière et Prés- Benchohra.

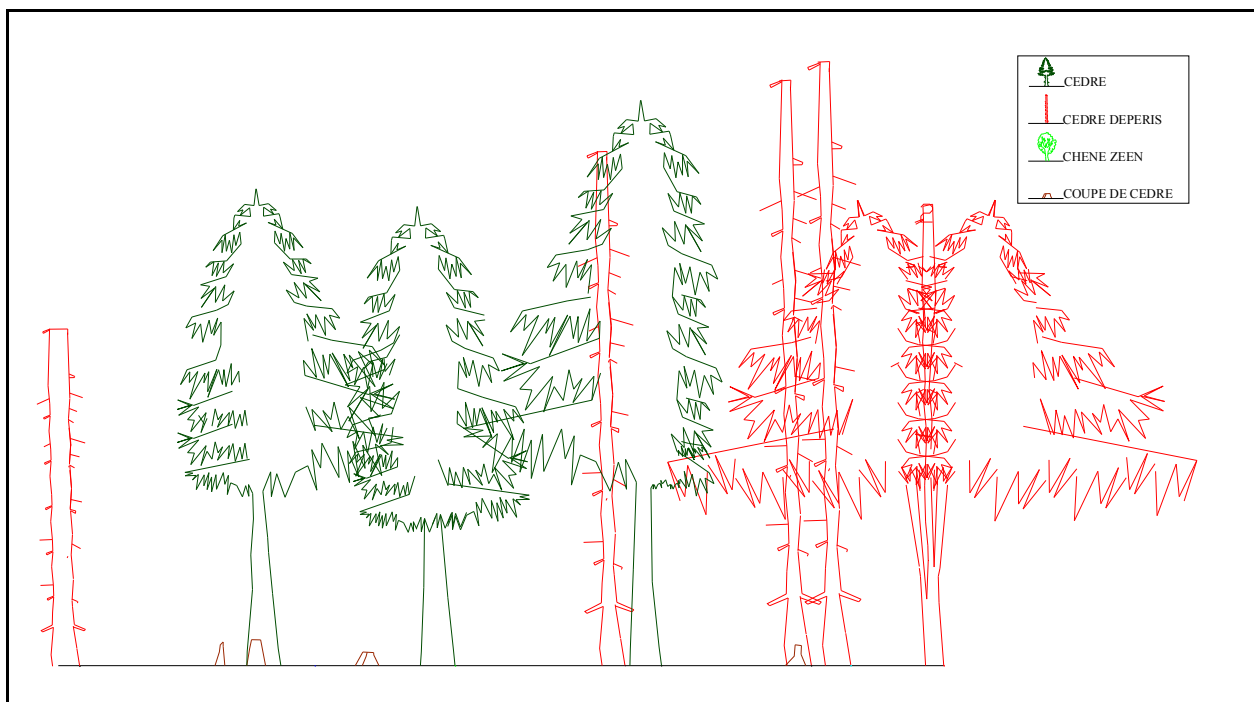
### Recouvrement :

La mesure de la projection horizontale du houppier permet de caractériser les effets d'une éclaircie. Le développement de la cime étant assez étroitement lié à l'accroissement en diamètre du tronc (Parde et Bouchon, 1988).

Au niveau des placettes d'étude installées, le nombre de cèdres dépéris révèle être différent d'un cèdre dépéris par placette à plusieurs taches, les figures 4.9 et 4.10 permettent de mieux visualiser ces deux situations respectives.



**Fig.4.9 :** Projection verticale d'une placette présente un seul arbre dépéris (Naggar, 2010)



**Fig.4.10** : Projection verticale d'une placette présente une tache de dépérissement dans le parc national de Theniet El Had (Naggar, 2010)

### B) Surpâturage :

Sur le terrain, l'évaluation de l'intensité de pâturage est déduite à travers le nombre de têtes (ovins, caprins et bovins), de la densité du tapis herbacé, éventuellement de la présence de crottes (signes révélateurs du passage du bétail) et le broutage des arbustes et des branches basses des arbres.

### C) Coupes illicites :

Les coupes illicites du bois de cèdre, assez importantes dans la cédraie, y sont pratiquées par la population riveraine à des fins d'utilisations diverses.

## 4.5. Taux de dépérissement :

Le taux de dépérissement est évalué par rapport à la totalité des tiges de cèdre recensés, qu'ils soient sains ou dépérissants (tableau 4.2). Cette évaluation se traduit par le biais de la formulation suivante :

$$\text{Taux de dépérissement total en (\%)} = \frac{\text{Nombre des sujets dépéris total}}{\text{Nombre total des sujets des cantons}} \times 100$$

**Tableau 4.2** : Taux de dépérissement recensés à travers les cantons de la zone d'étude.

	Nombre de cèdres sains	Nombre de cèdres dépéris	Taux de dépérissement (%)
<b>Pépinière</b>	183	34	<b>15.66 %</b>
<b>Pré-Benchohra</b>	60	50	<b>45.46 %</b>
<b>Guerouaou</b>	44	28	<b>38.88 %</b>
<b>Total</b>	287	112	<b>28.07%</b>

Sur l'ensemble des arbres recensés (399 arbres en total), nous avons dénombré 112 sujets dépéris. Ceci nous donne un pourcentage de **28 %**.

Comme le montre le tableau 4.2, le canton Pré-Benschohra est celui où le taux de dépérissement est des plus élevé. Cette situation, nettement évidente sur terrain, dénote d'une particularité singulière relative à ce canton. Celui-ci, ombragé et humide, révèle le plus de cèdres chablis. Le canton Pépinière, au contraire, demeure celui où le dépérissement est le moins perceptible, et ce, depuis son déclenchement dans la cédraie jusqu'à nos jours. En plus de cette tendance particulière du canton Pépinière d'être celui où le dépérissement est relativement faible, c'est aussi celui où le cèdre est quasiment à l'état pur.

#### **4.6. Description des phases du dépérissement :**

Sur la base de la classification de Nageleisen (1994) et Benhalima (2006), quatre classes de dépérissement de cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had :

##### **Classe 0 :**

Arbre sain, cime de l'arbre intacte, houppier en bonne forme et aucun symptôme de dépérissement (fig.4.11).



**Fig. 4.11** : cèdres sains (Classe 0)

**Classe 1 :**

Dessèchement des rameaux fins dans la périphérie du houppier, réduction de la ramification fine et feuillage du reste de l'arbre encore vert. Arbre affaibli par l'attaque des chenilles processionnaires (fig. 4.12).



**Fig. 4.12** : Cèdre affaibli par la chenille processionnaire (Classe 1)

**Classe 2 :**

On relève dans cette classe, comme le montre la figure 4.13, trois types d'arbres dépéris: arbres faiblement, moyennement et gravement dépéris. Les arbres faiblement dépéris montrent des pertes de feuillage sur les différentes branches avec un pourcentage faible (moins de 50%). Les arbres moyennement dépéris présentent un taux de dépérissement compris entre 50 à 60% de feuilles en paquets et de branches desséchées. Le dépérissement étant très intense, lorsque plus de 75% du houppier étant affecté avec une dégradation des branches, des pertes de petits rameaux et de chutes de rameaux longs.



Arbre faiblement dépéris



Arbre moyennement dépéris



Arbre gravement dépéris

**Fig. 4.13 : Cèdre dépéris (Classe 2)****Classe 3 :**

Classe des arbres morts sur pied, les tiges disposent d'un houppier mort sans feuillage et d'aucune portion verte. A ce stade on signale un dessèchement de tiges (100%), une altération du bois et un détachement de l'écorce (fig.4.14).





Arbre complètement dépéri



Arbre anciennement dépéri

**Fig.4.14** : Cèdres morts sur pied (Classe 3)

Chapitre 05  
**Chapitre 05**

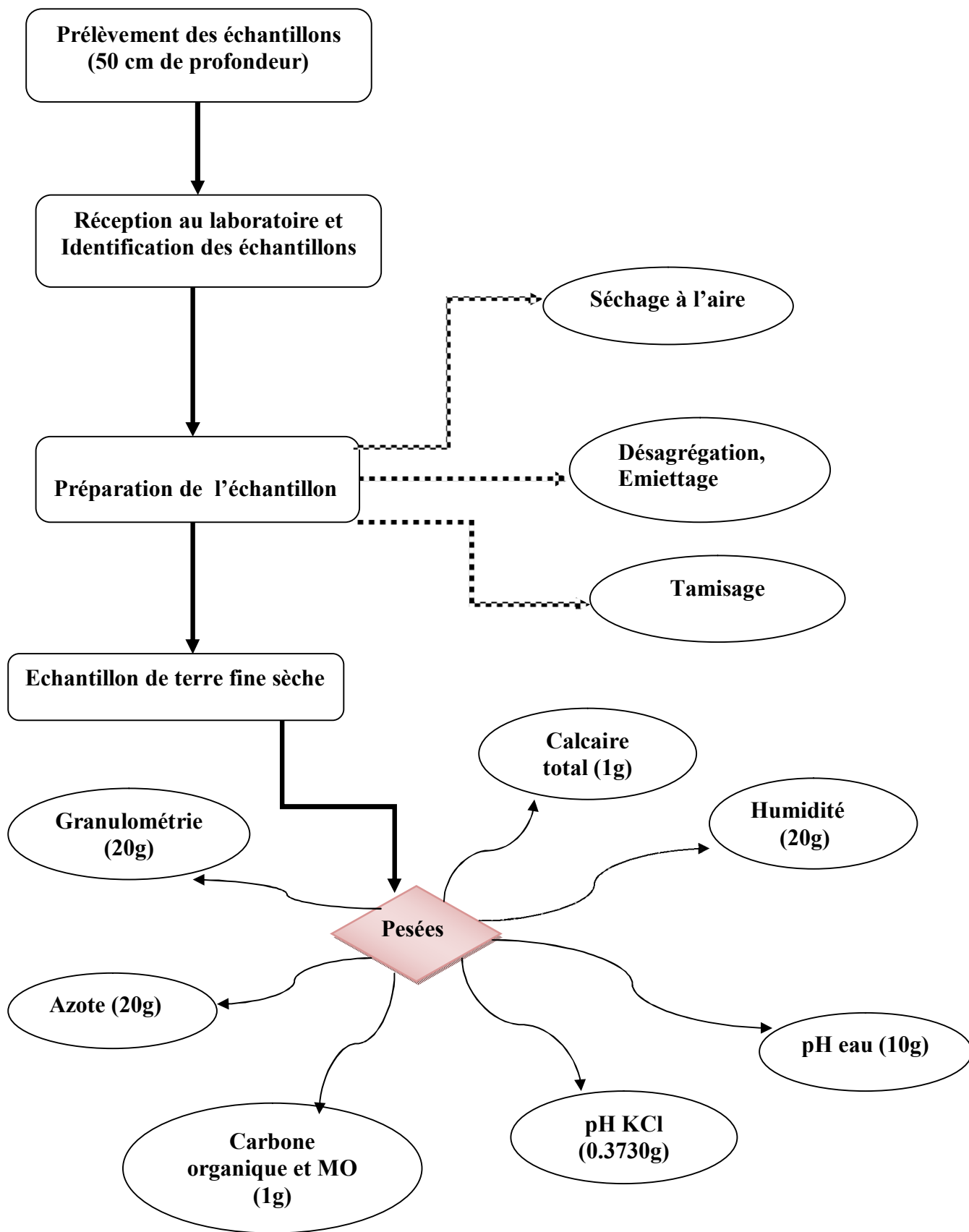
ETUDE PEDOLOGIQUE

### 5. Etude pédologique :

Sur les 21 placettes d'études, nous avons prélevé 21 échantillons du sol à une profondeur de 50 cm à l'aide de la tarière forestière pédologique (Fig. 5.1). Les échantillons sont acheminés au laboratoire de pédologie de l'université de Tiaret à des fins d'analyses physico-chimiques : *humidité, texture, pH eau, PH KCl, taux de calcaire* et le *taux de la matière organique*. Concernant *la teneur en azote*, nous avons réalisé l'analyse au niveau du laboratoire de chimie du centre universitaire de Khemis-Miliana. Les échantillons prélevés sont étalés et séchés à l'air libre puis émiétés à la main et tamisés avec un tamis à mailles de 2 mm de côté. Les différentes étapes des analyses sont citées dans la figure 5.2.



**Fig.5.1** : Prélèvement des échantillons du sol à l'aide de la tarière forestière pédologique.



**Fig.5.2 : Schéma du mode opératoire des analyses du sol**

**Matériels d'analyses** (annexe 5.1) : Tamis (0.05mm, 0.2mm et 2mm), Balance, Etuve, Calcimètre de BERNARD, Bain de sable, Agitateur, Pipette de Robinson, pH mètre, Plaque chauffante, réfrigérant, Appareil à distillation (Kjeldahl).

## 5.1. Analyses physico-chimiques du sol :

### 5.1.1. Humidité :

La détermination de l'humidité est indispensable. Elle se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un sol par rapport au volume total de terre après séchage à 105°C. La teneur en eau en pour cent de la terre séchée à l'air est calculée comme suit (Baize, 2000 ; Ramade, 2003 a) :

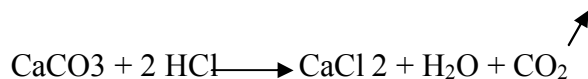
$$H\% = \frac{\text{Poids humide} - \text{Poids sec}}{\text{Poids humide}} \times 100$$

### Mode opératoire :

Peser 20g du sol, sécher l'échantillon à l'étuve à 105°C pendant une nuit et peser de nouveau.

### 5.1.2. Calcaire total :

La valeur du calcaire total est déterminée par mesure du volume de CO<sub>2</sub> dégagé, suite à l'action d'un excès de HCL sur un poids connu d'échantillon. (Baize, 2000).



Le dosage du calcaire total est mesuré grâce au calcimètre de Bernard par la méthode volumétrique. Le pourcentage de calcaire est alors calculé d'après la relation suivante (Mathieu et Pieltain, 2003):

$$\text{CaCO}_3 \% = 0.3 \times \frac{V_{\text{échantillon}}}{V_{\text{témoin}} \times P} \times 100$$

*P* : prise d'essai en gramme ;

*V échantillon* : volume de CO<sub>2</sub> en ml dégagé par le carbonate de calcium contenu dans la prise de terre P ;

*V témoin* : volume de CO<sub>2</sub> en ml dégagé par 0.3 g de carbonate de calcium.

**Mode opératoire :**

Peser 1g du sol, remplir au  $\frac{3}{4}$  l'appendice latérale du flacon de HCL, relier le flacon au calcimètre, amener au zéro les niveaux de l'eau dans la colonne et dans l'ampoule, verser l'acide sur la terre et à l'aide de l'ampoule, rétablir le niveau et lire le volume V de CO<sub>2</sub> dégagé.

Pour le témoin, nous prenons 0.3g de CaCO<sub>3</sub> au lieu de prendre 1 g de terre.

**5.1.3. pH (eau) :**

Le pH (potentiel en hydrogène) d'un sol indique la concentration en ions H<sup>+</sup> dans un liquide. Il s'exprime selon une échelle qui va de 0 à 14. Les valeurs faibles indiquent une acidité et les valeurs > 7 correspondent à un caractère basique (Baize, 2000).

**Mode opératoire :**

Prendre 10g du sol pour 50 ml d'eau distillée. La mesure se fait à l'aide d'un pH mètre. Le rapport sol/eau pour le pH (eau) est de 1/5.

**5.1.4. pH (KCl) :**

La détermination du pH d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de potassium (PH KCl) est très intéressante dans le cas des sols acides. La différence entre le pH (eau) et pH (KCl) donne une bonne idée de l'acidité potentielle. Cette différence varie de 0.5 à 1.5 unités PH. Le pH (KCl) donne une indication plus stable que le pH (eau) (Baize, 2000).

**Mode opératoire :**

Prendre 10g du sol pour 50ml de solution de chlorure de potassium KCl (7.456 g/l). La mesure se fait par le pH mètre.

**5.1.5. Carbone et matière organique :**

Les feuilles et les rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source primordiale de la matière organique. Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage du carbone organique. Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique totale, nous utilisons le coefficient multiplicateur 1.72. La matière organique est réalisée par la méthode ANNE. Son but est de savoir les variations des taux de matière organique (Anonyme, 1977 ; Mathieu et Pieltain, 2003)

$$C \% = (V' - V) \times 0.3$$

$$MO\% = C\% \times 1.72$$

V' : la quantité de sel de Mohr utilisé dans le témoin (sans terre).

V : la quantité de sel du Mohr utilisé dans l'échantillon du sol.

**Mode opératoire :**

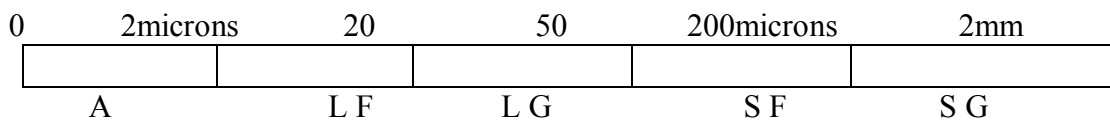
Peser 1g du sol, ajouter 10ml de bichromate de potassium et 15ml d'acide sulfurique, relier le ballon au réfrigérant, chauffer et attendre 5minutes après l'ébullition de l'échantillon, enlever le ballon et le laisser refroidir, traverser le contenu dans une fiole jaugée de 250ml, compléter avec l'eau distillée jusqu'à 250ml, agiter bien et laisser reposer pendant une demi-heure, prélever avec une pipette 50ml de la solution et titrer par sel de mohr et un indicateur coloré « diphénylamine ». Pour le témoin, nous faisons la même opération, mais sans terre.

**5.1.6. Analyse granulométrique :**

Elle donne la répartition des particules minérales < 2mm dans un échantillon de terre selon des classes de grosseur. Il s'agit d'exprimer les différentes compositions granulométriques limoneuses et sableuses en pour cent de leur somme (Baize, 2000).

$$A + LF + LG + SF + SG = 100 \%$$

Les méthodes les plus simples et les plus fiables sont basées sur la loi de Stokes. La proportion des particules minérales du sol classées après destruction des agrégats, par catégories de grosseurs en plusieurs fractions principales définit la texture du sol (liée à la notion de composition granulométrique triangulaire). Les particules minérales ont été classées selon l'échelle suivante :



D'une manière générale, l'analyse granulométrique comporte quatre étapes différentes (Mathieu et Pieltain, 2007):

- Détermination de particules grossières par tamisage à sec;
- Elimination des agents de cimentation et de liaison (matière organique, carbonate de calcium...);
- Détermination de l'argile et de limon par prélèvement à la pipette de Robinson ;
- Séparation de sable par tamisage.

**Mode opératoire :**

Peser 20g de terre fine, ajouter 50ml d'eau oxygénée pour la destruction de la matière organique, dispersion des éléments argileux par l'addition d'un élément dispersant (le plus souvent l'hexamétaphosphate de sodium), agitation mécanique pendant deux heures, à l'aide de pipette de Robinson déterminer la fraction de l'argile et de limon et séparer la fraction de sable par tamisage. La texture peut être déterminée par la suite par le triangle des textures.

### **5.1.7. Azote :**

L'azote total d'un sol constitue la teneur globale d'azote dans l'humus, est un bon indice de fertilité du sol à condition d'être interprétée en fonction du rapport C/N. Ce rapport est un indicateur très utilisé, depuis longtemps, il exprime le rapport entre le carbone organique et l'azote total. La teneur en azote total est réalisée par la méthode Kjeldhal, avec distillation (Mathieu et Pieltain, 2003).

#### **Mode opératoire :**

Peser 20g de terre fine, réaliser la minéralisation de l'échantillon par l'acide sulfurique porté à l'ébullition (il décompose les matières organiques et transforme l'azote organique en sulfate d'ammonium), déplacer ensuite l'ammoniac par addition de soude distillé, puis titration volumétrique.

### **5.1.8. Tassement du sol**

Des mesures de la compacité du terrain ou du tassement du sol ont été effectuées grâce à l'usage d'un pénétromètre. Le principal intérêt du test de pénétrométrie est de mettre en évidence des niveaux ou horizons du sol compact ou tassé, naturels ou résultant de l'activité humaine. Plus le sol est tassé (dans les zones sous les traces de roues), plus sa résistance à la pénétration sera forte et moins la pointe du pénétromètre s'enfoncera (Baize et Jabiol, 1998 ; Masson, 2005 b).

Les résultats des propriétés physico-chimiques sont représentés sous forme de tableaux de données brutes pour chaque canton dans l'annexe 5.2.

## **5.2. Caractéristiques édaphiques:**

La connaissance des analyses pédologiques permet de compléter les observations topographiques décrivant le milieu de croissance des essences. Ces informations permettent de caractériser l'état actuel du peuplement et les conditions écologiques dans lesquelles il se développe (Ramade, 1981 ; Lecomte et Rondeux, 2002 a).

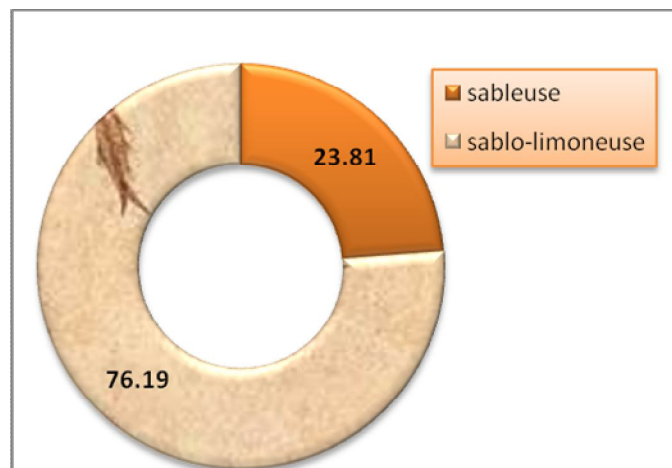
Au niveau des placettes d'études, nous avons observé que la profondeur du sol est très variable d'un canton à l'autre par exemple en canton Guerouaou, la profondeur du sol est moyennement faible (de 30 cm) avec une augmentation de la charge caillouteuse et des affleurements rocheux à chaque fois que l'on monte en altitude. Ces affleurements constituent une contrainte pour la plantation d'arbre et l'exploitation racinaire. En revanche, en canton Pépinière et Prés-Benchohra (Tourssout), le sol est profond (plus de 50 cm de profondeur), ce qui permet une bonne exploitation racinaire. La charge en éléments grossiers est moyennement présente.



### 5.2.1. Texture du sol :

La texture du sol correspond à la répartition des particules du sol par catégorie de taille des particules. Elle joue un rôle primordial dans la croissance et le développement des végétaux. (Duchaufour, 1995). La figure 5.3 permet de mieux visualisée la distribution des deux strates de texture du sol pour tous les échantillons: *sableuse* et *sablo-limoneuse*.

D'après Duchaufour (1988 ; 1995), les sols sableux et sablo-limono sont des sols bien aérés, perméables, facile à travailler, léger mais à faible rétention en eau et en éléments nutritifs. La strate sableuse présente une fréquence faible de phénomène de dépérissement de l'ordre de 34 %, par contre il est très fréquent dans la strate sablo-limoneuse avec un taux de 66 %.



**Fig. 5.3 :** Répartition en % des classes de texture

### 5.2.2. Humidité :

L'humidité est un facteur édaphique mesurée généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un échantillon de sol par rapport au volume total de terre (Ramade, 2003 b). La distribution des classes d'humidité dans la Figure 5.4 montre deux classes différentes dont la première classe (9.78 – 25.6 %) est moins humide que la deuxième classe (25.6 – 41%).

Le phénomène de dépérissement est très fréquent dans les classes où le degré d'humidité est faible soit un taux de 65 % de l'effectif global, alors qu'il est moins fréquent dans les classes à humidité très élevée où nous avons trouvé 35 % des arbres dépéris.

**N.B :** Les échantillons du sol ont été effectués en période humide (le 13/ 01 / 2010).

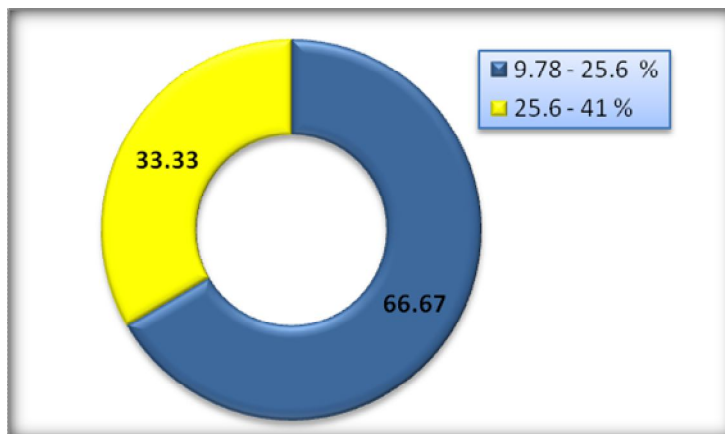


Fig.5.4 : Répartition en % des classes d'humidité

### 5.2.3. Taux de calcaire :

Le calcaire constitue le principal fournisseur du sol en calcium, il influe sur la structure, la croissance et le développement des espèces forestières. Les plantes sont classées selon la teneur en calcaire en deux types : des plantes calcicoles et des plantes calcifuges (Huchon, 1977 ; Masson, 2005 b).

D'après la figure 5.5, nous observons une distribution moyenne de deux strates de taux de calcaire, la première strate c'est la strate la plus dominante représente 90.48 % (répartie en 19 placettes), la strate la moins dominante représente 9.52 %. La première strate comprend un dépérissement de l'ordre de 84%, par contre la deuxième strate comprend uniquement un dépérissement de 16%.

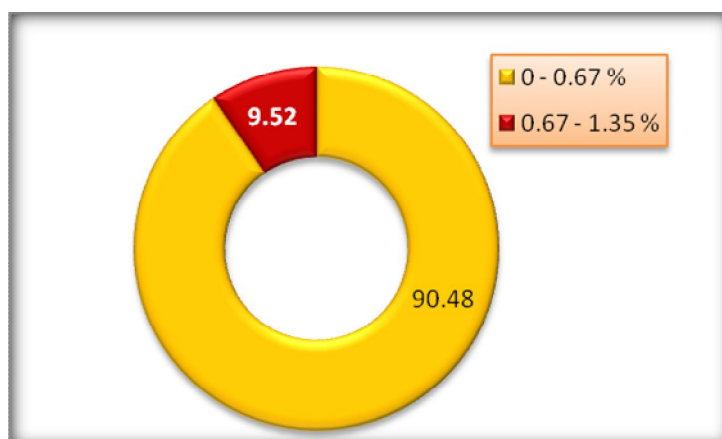


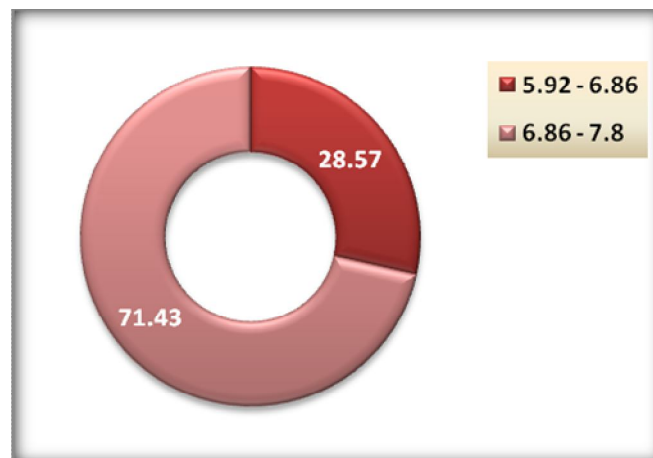
Fig. 5.5 : Répartition en % des classes de taux de calcaire total

#### 5.2.4. pH du sol :

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions  $H^+$  libres existant dans la solution du sol, les valeurs de pH vont de 1 à 14 (des valeurs les plus acides aux valeurs plus basiques) (Morot-Gaudry, 1997). Le pH du sol pourrait être significatif sur la structure et la croissance de cèdre de l'Atlas. Les valeurs de pH obtenues au niveau des placettes d'étude sont comprises entre 5.92 et 7.8. La Figure 5.6 permet de mieux visualiser la distribution en % des classes de pH :

- ❖ pH de 5.92 à 6.86 : 06 placettes ;
- ❖ pH de 6.86 à 7.8 : 15 placettes.

La sécrétion racinaire des ions  $H^+$  de l'arbre est très importante si l'acidité d'échange (pH eau -PH KCl) est supérieure à 1.5, dans ce cas l'arbre se trouve dans des bonnes conditions.



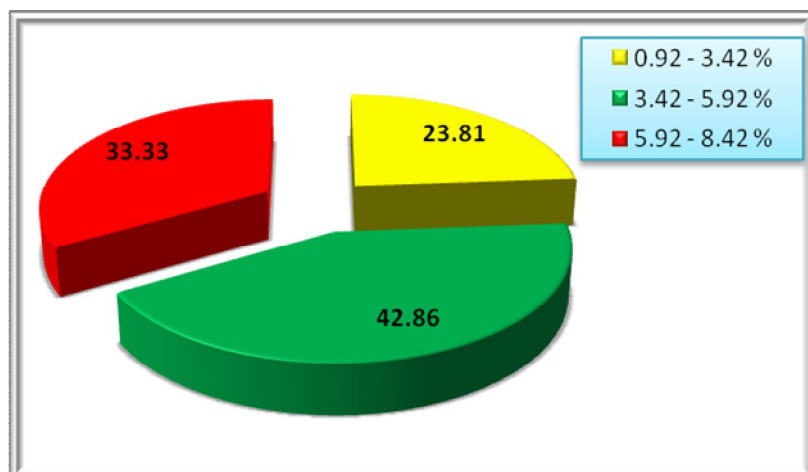
**Fig.5.6** : Répartition en % des classes de pH

#### 5.2.5. Matière organique :

La matière organique globale, vivante ou morte joue dans les sols un rôle majeur dans la formation d'agrégat et comme réserve en éléments minéraux et particulièrement en azote. La croissance des peuplements peut changer suite à un changement du taux de la matière organique du sol (Boulaine, 1980 ; Calu, 2004). Comme le montre la Figure 5.7, trois classes de matière organique sont retenues au niveau des placettes d'étude :

- ◆ de 0.92 à 3.42 % : 5 placettes ;
- ◆ de 3.42 à 5.92 % : 9 placettes ;
- ◆ de 5.92 à 8.42 % : 7 placettes.

La matière organique est élevée dans tous les échantillons du sol. Les observations des différentes valeurs de taux de matière organique à travers les unités d'échantillonnages montrent que le phénomène de dépérissement est moins fréquent dans les sols riches en matière organique.



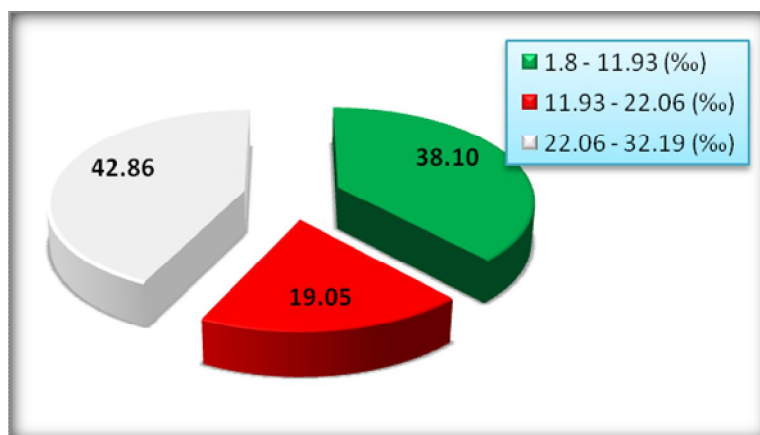
**Fig.5.7** : Répartition en % des classes de la matière organique

#### 5.2.6. L'azote total et le rapport C/N:

L'azote est un bon indice de fertilité du sol, sa détermination associée à la caractérisation du carbone organique, en calculant le rapport C/N (Landmann, 1991).

Les résultats montrent que la teneur des sols en azote total varie entre 1.8 et 32.19 (‰) avec une moyenne de 16.81(‰) dans l'ensemble des échantillons. D'après la figure 5.8, nous observons que la teneur des sols en azote total est très élevée dans environ 43% des échantillons.

Le phénomène de dépérissement est très fréquent (48%) dans les échantillons où la teneur en azote est élevée, alors qu'il est moins fréquent dans les classes de 11.93 à 22.06 (‰) où nous avons trouvé 21% des arbres dépéris.



**Fig.5.8** : répartition en % des classes de l'azote total

Le rapport C/N est un facteur essentiel de la dynamique du carbone et de l'azote. Il est très variable pour les résidus végétaux. Il est couramment admis que, plus le rapport C/N est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol et que le rapport C/N critique au dessous duquel la minéralisation nette apparaît est comprise entre 20 et 25 (Bourgeat et Ratsimbazafy, 1968 ; Harmsen et Van Screven, 1955 in Dellal, 1979).

Les travaux de Dellal (1979) montrent que l'azote total et le rapport C/N diminuent avec la profondeur du sol où les horizons inférieurs pauvres en carbone organique.

A travers la figure 5.9, nous observons une distribution moyenne de 3 classes du rapport C/N, la deuxième classe c'est la classe la plus dominante représente 57.14 % (répartie en 12 placettes), avec un rapport C/N varie de 11.36 à 21.02, et la troisième classe avec un rapport C/N varie de 21.02 à 30.7, c'est valeurs indiquent en général une mauvaise structure des sols et une vie microbienne ralentie ce qui empêchent l'évolution de la matière organique en humus ou freinent sa minéralisation. La classe la moins dominante représente 19.05 % (répartie en 4 placettes) avec un rapport C/N proche de 10 ce qui indique une bonne activité biologique.

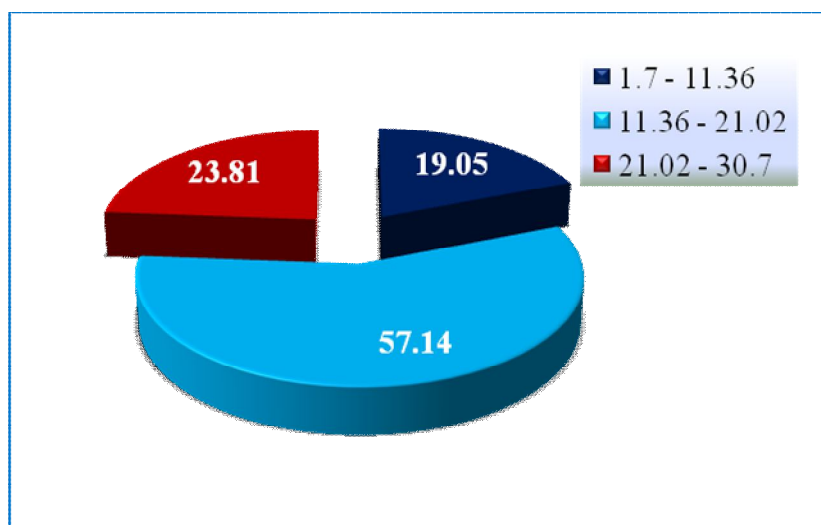


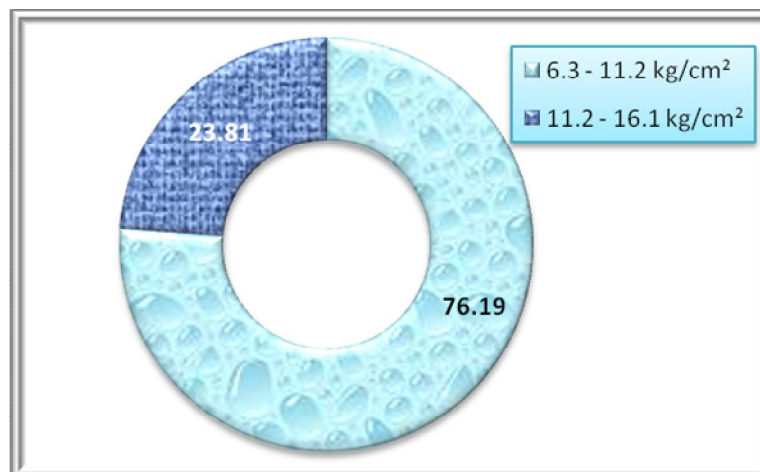
Fig.5.9 : répartition en % des classes du rapport C/N

### 5.2.7. Tassement du sol :

Les études des divers chercheurs sur l'effet du tassement du sol ont montré que les sols tassés comportent moins de micro-organismes et que la biomasse et l'activité microbiennes diminuent suite au tassement. Le tassement du sol réduit la biomasse microbienne et modifie l'activité enzymatique. Ceci provoque une réduction des transformations des formes de deux éléments essentiels à la nutrition des plantes « l'azote et le phosphore ». Parmi les effets négatifs du

tassement du sol : difficulté de respiration racinaire, diminution de la réserve en eau du sol, et ralentissement de l'activité biologique des sols (Ponge et Bartoli, 2010).

A travers la figure 5.10 ci dessous, nous constatons une répartition moyenne de 2 strates de tassement du sol, la moins dominante représente 23.81 % (répartie en 5 placettes), elle est liée vraisemblablement à la texture sablo-limoneuse et la strate la plus dominante représente 76.19% et elle est liée à la texture sableuse, la strate la moins tassé comprend un dépérissement de l'ordre de 71%, par contre la deuxième strate comprend uniquement un dépérissement de 22%.



**Fig.5.10** : répartition en % des strates de tassement du sol

### **5.3. Relation entre le taux de dépérissement et les paramètres édaphiques :**

Pour ressortir les différentes corrélations qui peuvent exister entre le dépérissement et les paramètres édaphiques, il est nécessaire d'interpréter les données sur la base de l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95%. Ainsi, la stratification des paramètres édaphiques est résumée au niveau du tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Stratification des paramètres pédologiques.

<b>Facteur stationnel</b>	<b>strates</b>	<b>Fréquence relative (%)</b>
<b>Texture du sol</b>	SL	76.19
	S	23.81
<b>Humidité</b>	9.78 - 25.6%	66.67
	25.6 – 41%	33.33
<b>Matière organique</b>	0.92 – 3.42 %	23.81
	3.42 – 5.92%	42.86
	5.92 – 8.42 %	33.33
<b>Taux de calcaire</b>	0 – 0.67 %	90.48
	0.67 – 1.35 %	9.52
<b>pH du sol</b>	5.92 – 6.86	28.57
	6.86 – 7.8	71.43
<b>Teneur en azote</b>	1.8 – 11.93	38.19
	11.93 – 22.06	19.05
	22.06 – 32.19	42.86
<b>Tassement du sol</b>	6.3 – 11.2	76.19
	11.2 – 16.1	23.81

Les résultats font l'objet d'analyse des corrélations éventuellement significative ou non au seuil de 95%. Le tableau 5.2 résume les coefficients de corrélation entre les différents paramètres édaphiques étudiés au seuil de signification de 95%.

**Tableau 5.2 :** Matrice des corrélations entre les variables pédologiques.  
(\*\*\* =  $P_b > 0,001$  ; \*\* =  $P_b \leq 0,001$  ; \* =  $P_b \leq 0,01$  ; NS =  $P_b \leq 0,05$ )

Variables	Tassement du sol	Texture	pH eau	PH KCl	MO	N	C/N	CaCO <sub>3</sub>	H
Tassement du sol	1								
Texture	-0.0380	1							
pH eau	0.1682	0.0147	1						
pH KCl	0.2857	-0.0919	0.6334***	1					
MO	0.1840	-0.1273	-0.2279	-0.0851	1				
N	-0.0251	-0.3297	-0.3803 (NS)	-0.3830 (NS)	0.2392	1			
C/N	-0.0510	-0.1161	-0.6530**	-0.3205	0.1955	0.5010*	1		
CaCO <sub>3</sub>	0.0577	0.0776	-0.4682*	-0.3360	0.2676	0.1423	0.4133	1	
H	0.0931	-0.0645	-0.3093	-0.2188	0.0188	0.5718***	0.2089	-0.0262	1

A travers le tableau ci-dessus, nous avons obtenu une corrélation hautement significative (0.6334\*\*\*) entre le pH eau et le pH KCl et une corrélation significative négativement entre le pH eau, C/N et le pH eau, CaCO<sub>3</sub> ( $r = -0.6530^{**}$  et  $r = -0.4682^*$  respectivement).

Une tendance négative (-0.3803 NS ; -0.3830 NS) est observée pour l'azote et le pH eau et le PH KCl. L'azote présente une corrélation positive (0.5010\*) avec le rapport C/N et une corrélation hautement significative (0.5718\*\*\*) avec l'humidité du sol.

### 5.3.1. Relation entre le taux de dépérissement et la texture du sol :

La texture du sol joue un rôle fondamental dans la croissance et le développement des essences forestières. Sur la base d'une stratification de la texture, l'analyse de la variance au seuil de signification de 95% fait ressortir une différence non significative (Tableaux 5.3). Les strates de la texture mises en évidence sont : *sablo-limoneuse* et *sableuse*.

**Tableau 5.3 :** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la texture du sol

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	219.822228	1	219.822228	<b>1.67144579</b>	0.2115657	<b>4.38074967</b>
A l'intérieur des groupes	2498.80814	19	131.516218			
Total	2718.63037	20				



### 5.3.2. Relation entre le taux de dépérissement et l'humidité :

L'humidité du sol intervient dans la nutrition des plantes et dans la pédogenèse. L'analyse de la variance au seuil de signification à 95% n'engendre aucune différence significative entre le taux de dépérissement et l'humidité du sol (Tableau 5.4).

**Tableau 5.4:** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et l'humidité du sol.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	10.7758782	1	10.7758782	<b>0.0756103</b>	0.7863046	<b>4.38074967</b>
A l'intérieur des groupes	2707.85449	19	142.518657			
Total	2718.63037	20				

### 5.3.3. Relation entre le taux de dépérissement et le taux de calcaire total :

Le comportement du cèdre vis-à-vis du calcaire total diffère d'une station à une autre et d'une futaie à l'autre. Dans les 21 placettes d'études, il est très faible ne dépasse pas 1.35%, ceci est dû principalement à la nature de la roche mère qui est le grès numidien. Le tableau 5.5 présente les valeurs de "F observé" et "F théorique" du taux de dépérissement du cèdre de l'Atlas en rapport avec le taux de calcaire total. Il en ressort que le taux de calcaire ne présente aucune différence significative.

**Tableau 5.5:** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le taux de calcaire total

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	83.3592203	1	83.3592203	<b>0.60101033</b>	0.4477347	<b>4.38074967</b>
A l'intérieur des groupes	2635.27115	19	138.698481			
Total	2718.63037	20				

### 5.3.4. Relation entre le taux de dépérissement et le pH du sol :

Le pH est reconnu comme étant un facteur déterminant dans la composition et la vigueur des végétaux. Dans les forêts où les sols sont acides, les arbres ont des grosseurs faibles. En revanche, en sol non acide, les essences sont bien venantes et exigeantes (Huchon, 1977).

Les valeurs de pH enregistrées à travers les trois cantons varient de 5.92 à 7.8. L'analyse de la variance au seuil de signification de 95% fait ressortir un effet significatif du pH du sol sur le taux de dépérissement de cèdre de l'Atlas (tableaux 5.6).

D'après les résultats obtenus sur l'acidité du sol, nous constatons que le dépérissement est moins fréquent (35 %) dans les sols où le pH est légèrement acide (de 5.92 à 6.86), ces valeurs de pH sont très favorables pour la végétation et il est très fréquent (65 %) dans les sols où le pH est peu alcalin (à 7.8).

**Tableau 5.6 :** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le pH du sol

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	652.115414	1	652.115414	5.99569476	0.0242191	4.38074967
A l'intérieur des groupes	2066.51495	19	108.763945			
Total	2718.63037	20				

### 5.3.5. Relation entre le taux de dépérissement et la matière organique :

Le sol sur lequel repose le peuplement de cèdre présente des taux de matière organique très élevés, elle varie de 1 à 8.42% dans tous les échantillons du sol. L'effet de cette dernière est non significatif sur le taux de dépérissement du cèdre de l'Atlas (tableau 5.7).

**Tableau 5.7 :** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et la matière organique

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	336.827784	2	168.413892	1.27275454	0.3040887	3.55455715
A l'intérieur des groupes	2381.80258	18	132.322366			
Total	2718.63037	20				

### 5.3.6. Relation entre le taux de dépérissement et la teneur en azote :

L'azote apparaît comme un élément intéressant dans la différenciation des stations. A travers le tableau 5.8, nous remarquons, par le biais de l'analyse de la variance au seuil de signification de 95%, que l'azote total n'a aucun effet significatif sur le taux de dépérissement du cèdre de l'Atlas.

**Tableau 5.8 :** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le dosage d'azote.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	308.2100849	2	154.105042	<b>1.15079133</b>	0.3385972	<b>3.55455715</b>
A l'intérieur des groupes	2410.420281	18	133.912238			
Total	2718.630366	20				

### 5.3.7. Relation entre le taux de dépérissement et le tassement du sol :

Le tassement du sol est un phénomène physique lié à l'action mécanique d'une charge. L'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% révèle d'une différence non significative entre le tassement du sol et le taux de dépérissement (Tableau 5.9).

**Tableau 5.9 :** Analyse de variance au seuil de signification de 95% entre le taux de dépérissement et le tassement du sol.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	137.977297	1	137.977297	<b>1.01585474</b>	0.3261685	<b>4.38074967</b>
A l'intérieur des groupes	2580.65307	19	135.823846			
Total	2718.63037	20				

Chapitre 06  
**Chapitre 06**

ETUDE DENDROMETRIQUE

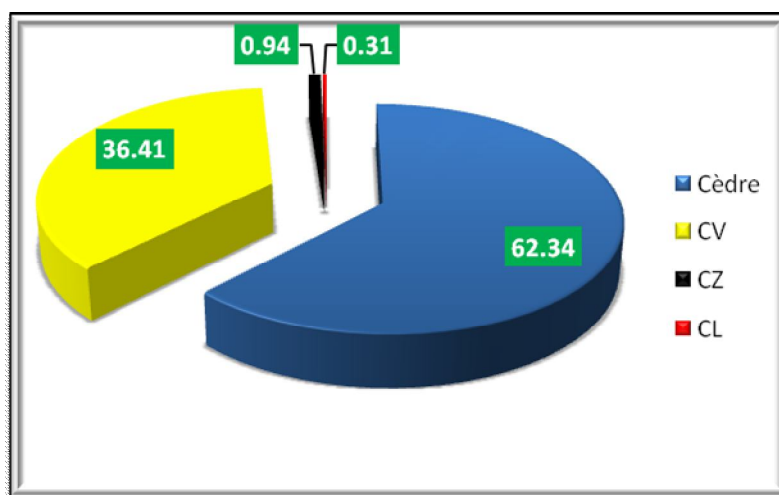
## 6. Etude dendrométrique :

### 6.1. Principes et objectifs :

Les placettes d'étude installées, de type concentrique et de forme circulaire, sont de superficies variables: 2ares, 5 ares et 10 ares. Pour mieux pouvoir élucider les causes de dépérissement, on contribue de rechercher d'éventuelles relations entre les facteurs écologiques descripteurs (*exposition, pente, microrelief, altitude*), les paramètres pédologiques (*humidité, taux de calcaire, pH, matière organique, texture du sol, teneur en azote*) en rapport avec le dépérissement. Au total, 640 tiges y sont échantillonnées. Elles sont réparties comme suit :

- ◆ 138 tiges recensées à travers les placettes de 2ares (effectif absolu) ;
- ◆ 329 tiges recensées à travers les placettes de 5 ares (effectif cumulé);
- ◆ 640 tiges recensées à travers les placettes de 10ares (effectif cumulé).

Les placettes y sont composées d'essences diverses à des proportions variables. Il s'agit de la présence de *Cedrus atlantica*, de *Quercus ilex*, de *Quercus faginea* et de *Quercus suber*. Il en ressort que les tiges recensées relèvent de 62.34 % de *Cedrus atlantica*, 36.41% de chêne vert, 0.94 % de chêne zeen et 0.31% de chêne liège). La figure 6.1 permet de mieux visualiser cette répartition de la composition des peuplements échantillonnés.



**Fig. 6.1 :** Distribution en % des essences forestières

De prime abord, comme les placettes étant de forme circulaire concentrique, il en demeure intéressant de bien pouvoir mettre en évidence l'étude dendrométrique du dépérissement du cèdre à travers l'unité d'échantillonnage jugée celle d'une superficie grandiose, soit celle de 10 ares. C'est alors que l'unité de telle superficie sera celle au sein de laquelle seront prélevées les variables dendrométriques et stationnels. Ces placettes sont celles évidemment disposant du nombre maximal de tiges inventoriées.

## 6.2. Description stationnelle:

La station forestière est une étendue de forêt de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (*topographie, structure de la végétation, sol...*). L'arbre est soumis à des *facteurs stationnels* qui agissent sur son développement et sa croissance. Les facteurs topographiques sont de véritables descripteurs écologiques du milieu, de l'évolution et du développement des peuplements forestiers (Becker et Goff 1988; Prevosto, 1999; Baix et *al*, 2002).

Une mise en évidence des facteurs stationnels contribue davantage de mieux apprécier l'état actuel et rétrospectif d'une essence et de prévoir de manière fiable et objective le devenir d'un peuplement forestier. Cette conception analytique demeure le prélude de toute gestion forestière lors de prise de décision dans le cadre de développement durable.

La description stationnelle au niveau des 21 placettes d'étude est relative aux facteurs écologiques descripteurs suivants: *exposition, microrelief, altitude et pente*.

### 6.2.1. Exposition :

L'effet indicateur de l'exposition se traduit par la différence stationnelle enregistrée entre les versants à expositions «Nord» et «Ouest» d'une part, et les versants à expositions «Sud» et «Est» des montagnes d'autre part (Ozenda, 1982).

Corroborant avec cette analyse conceptuelle, deux strates d'exposition y sont alors retenues dans l'étude (fig. 6.2). Il s'agit des strates suivantes:

- exposition «N–NNE»: 13 placettes, soit 62% de fréquence relative;
- exposition «E–NE»: 08 placettes, soit 38 % de fréquence relative.

Les observations des différentes expositions à travers les unités d'échantillonnage montrent que le dépérissement, en dépit qu'il se rencontre à travers toutes les expositions, demeure très fréquent (58%) à travers la strate «N–NNE».



**Fig.6.2** : Répartition en % des classes d'expositions

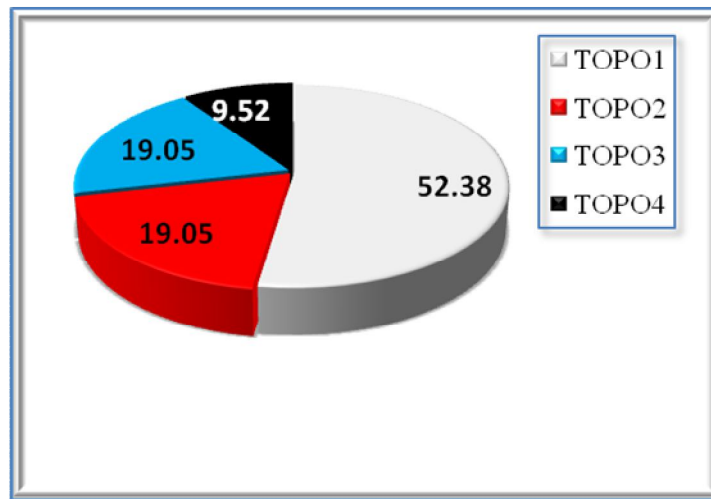
### 6.2.2. Topographie:

La topographie trouve son intérêt dans la disposition des différents éléments du relief, soit en conséquence sur la structure et la croissance des essences forestières. Elle est retenue comme étant un facteur écologique descripteur déterminant lors du rapport « apport et perte » d'eau dans le sol (Masson, 2005b).

Suite à la diversité des sites topographiques des placettes d'étude, la stratification topographique retenue révèle quatre types de topographie (Fig. 6.3) :

1. *TOPO1*: présentant 52,38 %;
2. *TOPO2*: présentant 19,05 %;
3. *TOPO3*: présentant 19,05 %;
4. *TOPO4*: présentant 9,52 %.

A travers cette stratification topographique, le taux de dépérissement s'avère être relativement élevé (55 %) sur les terrains de type «TOPO 1», soit de topographie engendrant des pertes d'eau supérieures aux apports. Cependant, le faible taux de dépérissement enregistré (20%) relève celui enregistré au niveau du microrelief de la strate «TOPO 2», soit où les apports d'eau égalent les pertes d'eau par drainage. Par ailleurs, le dépérissement le plus faiblement enregistré (12%) demeure celui recensé à travers les strates topographiques «TOPO 3» et «TOPO 4».



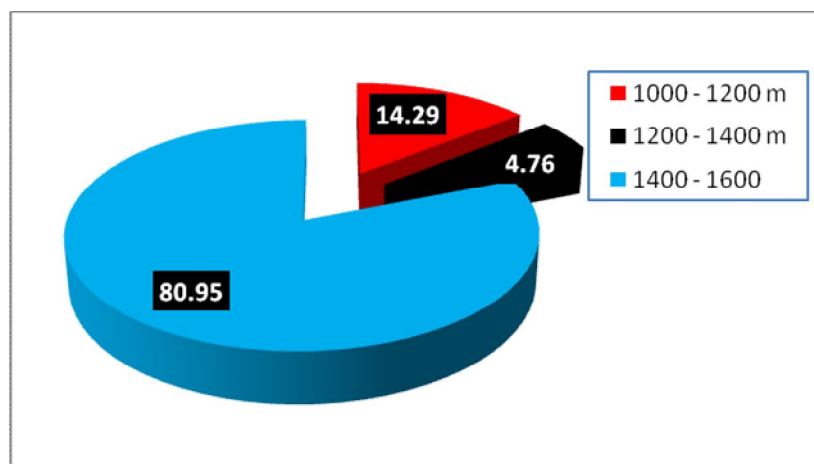
**Fig.6.3** : Répartition en % d'indices topographiques

### 6.2.3. Altitude :

Les conséquences de l'étagement altitudinal sur la répartition, la croissance et le développement du végétal sont impérativement loin d'être sans incidence réel. Cet étagement de végétation est le corollaire de l'installation du froid (Masson, 2005b).

Les valeurs d'altitude enregistrées au niveau des placettes d'étude sont comprises entre 1000 et 1456m. L'étagement retenu dans la stratification altitudinale est celui de 200m (fig. 6.4).

Le dépérissement s'avère être très fréquent, soit de 72 %, à travers la strate altitudinale «1200 à 1456m». Au contraire, il est des moins faibles aux altitudes inférieures à 1300m. Cette faible fréquence de dépérissement semble être liée à la structure du peuplement forestier dans la mesure où la présence du cèdre de l'Atlas demeure faible dans cette altitude (Zedek, 1993).



**Fig.6.4** : Répartition en % des classes d'altitude



#### 6.2.4. Pente du terrain:

De plus en plus qu'elle est forte, on y assiste au ruissellement d'eau. Dès lors, elle facilite l'érosion et produit l'entraînement de particules solides ou de substances dissoutes modifiant la composition physique et chimique des sols (Duvigneaud, 1985 ; Khanfouci, 2005).

Les valeurs de pente, enregistrées à travers les placettes d'étude, y sont comprises entre 0 et 30° (fig.6.5). Ainsi, sur la base d'une différence de 10° de pente, trois classes de pente y sont retenues :

- \* classe de pente de 0 à 10° : enregistrée dans 5 placettes (soit 24%) ;
- \* classe de pente de 10 à 20° : enregistrée dans 8 placettes (soit 38%);
- \* classe de pente de 20 à 30° : enregistrée dans 8 placettes (soit 38%).

On relève que 42 % des arbres dépéris se situent sur les terrains fortement accidentés où les valeurs de pente sont comprises entre 20 et 30°. Par contre, le dépérissement demeure moins fréquent à travers les classes de pente «0 à 10°» et «10 à 20°» engendrant des taux respectifs de 35 et 25%.

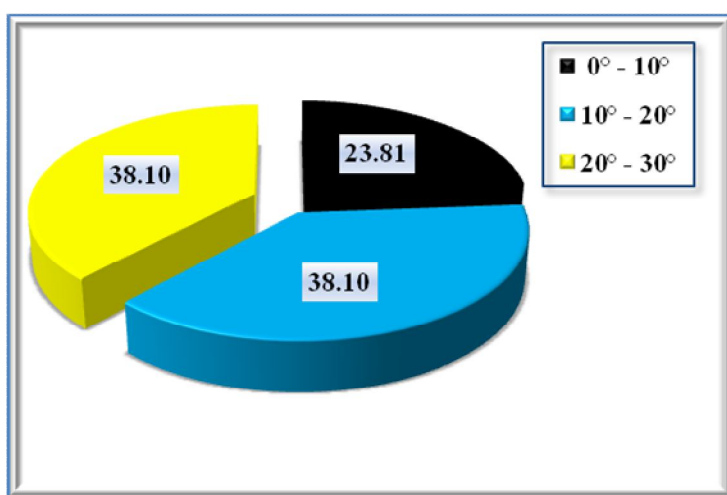


Fig.6.5 : Répartition en % des classes de pente

### 6.3. Description des peuplements :

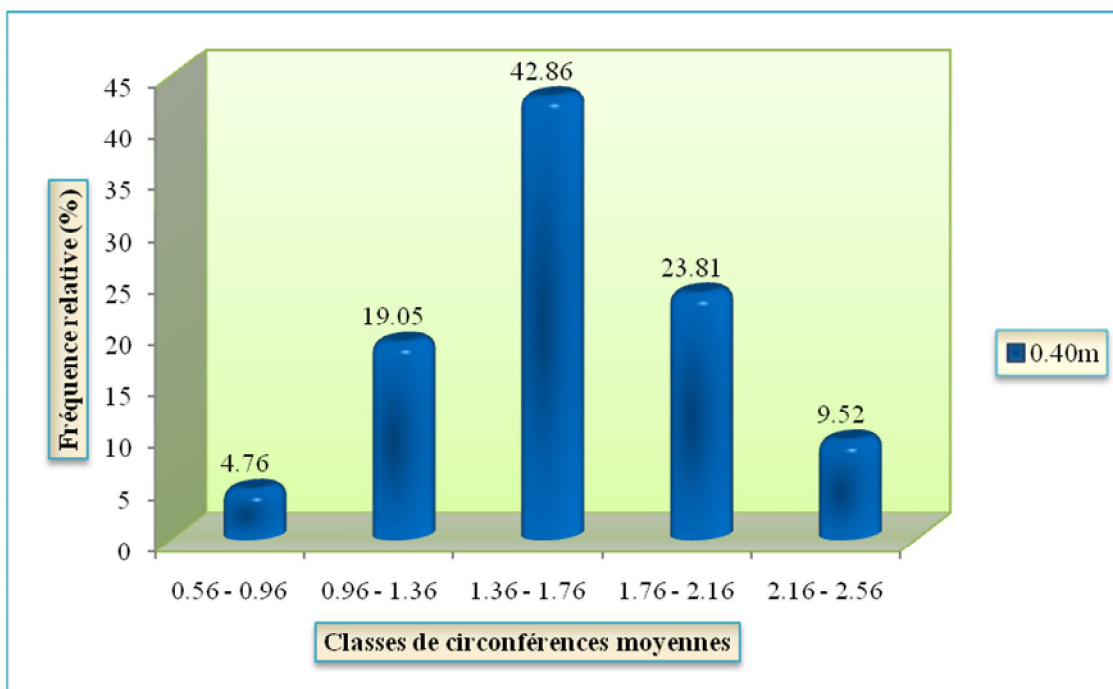
#### 6.3.1. Caractérisation dendrométrique du peuplement de cèdre :

Au niveau de chaque placette installée, les données dendrométriques faisant l'objet d'évaluation sont les suivantes: *circonférence moyenne*, *circonférence dominante*, *hauteur totale moyenne*, *hauteur dominante*, *surface terrière totale* et *densité totale*. Ces données sont à l'origine de mesures dendrométriques réalisées sur 399 arbres de cèdres dont 112 arbres dépéris.

### 6.3.1.1 Circonférence moyenne :

Comme la croissance en diamètre demeure liée, entre autres, à la fertilité stationnelle et au mode de traitement, elle intervient dans la caractérisation des peuplements (Rondeux, 1999). Les peuplements de cèdre présentent une circonférence moyenne estimée à 1.61m et des valeurs maximale et minimale respectives de 2.55m et 0.56m. La variabilité des valeurs de circonférence moyenne est faible (27.15%).

Comme le montre la figure 6.6, les tiges de faible grosseur sont celles disposant de la plus faible fréquence (environ 24%). Au contraire, les tiges de grosseur supérieure à 1.36m sont celles présentant une fréquence très élevée (76%). Cette situation dénote nettement d'une présence de futaie jardinée non aménagée avec, néanmoins, une régénération faible et non encore pleinement assurée.



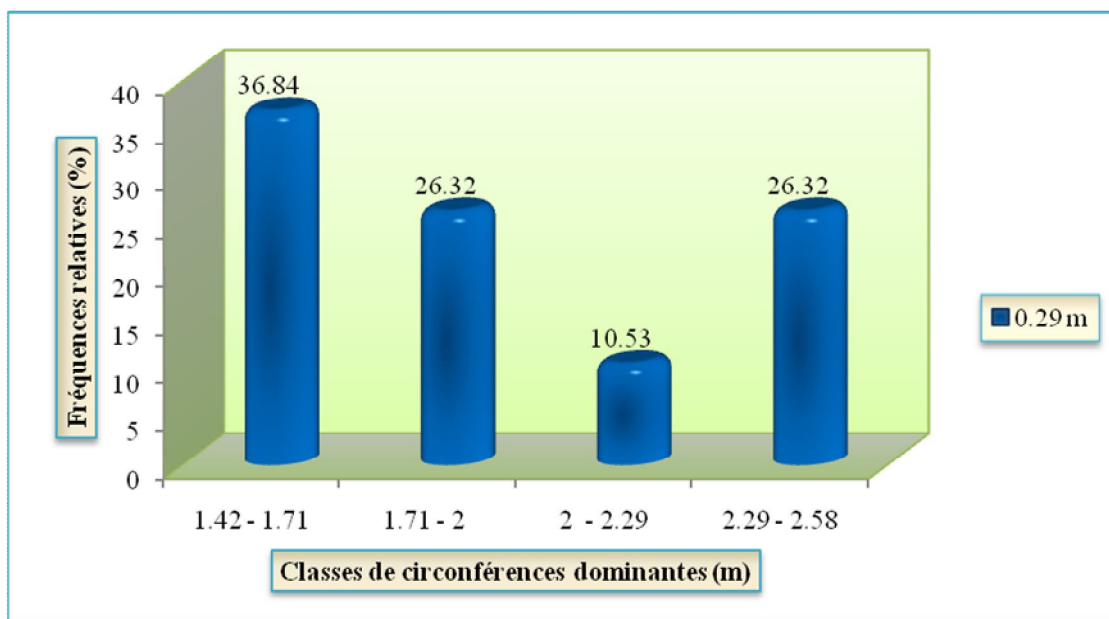
**Fig.6.6 :** fréquences relatives des classes de circonférences moyennes de cèdre de l'Atlas

### 6.3.1.2. Circonférence dominante :

La circonférence dominante correspond à la moyenne des circonférences à 1.30m des cent plus grosses tiges à l'hectare. Elle reflète mieux les potentialités stationnelles (Anonyme, 1989). Les valeurs de circonférence dominante de cèdre présentent les caractéristiques statistiques suivantes :

- ❖ moyenne arithmétique : 1.95m ;
- ❖ valeur minimale : 1.42m ;
- ❖ valeur maximale : 2.55m ;
- ❖ CV : 19.13% ;
- ❖ mode : 1.61m.

La répartition des classes de circonférence dominante des peuplements est d'une allure décroissante (fig. 6.7). La classe de 1.42 à 1.71m présente une fréquence relative de 37% environ. Néanmoins, les peuplements les plus gros (de 2.29 à 2.58m) y sont moindres avec une fréquence relative de 26.32%.



**Fig.6.7** : Fréquences relatives des classes de circonférences dominantes de cèdre de l'Atlas

### 6.3.1.3. Catégories de diamètres :

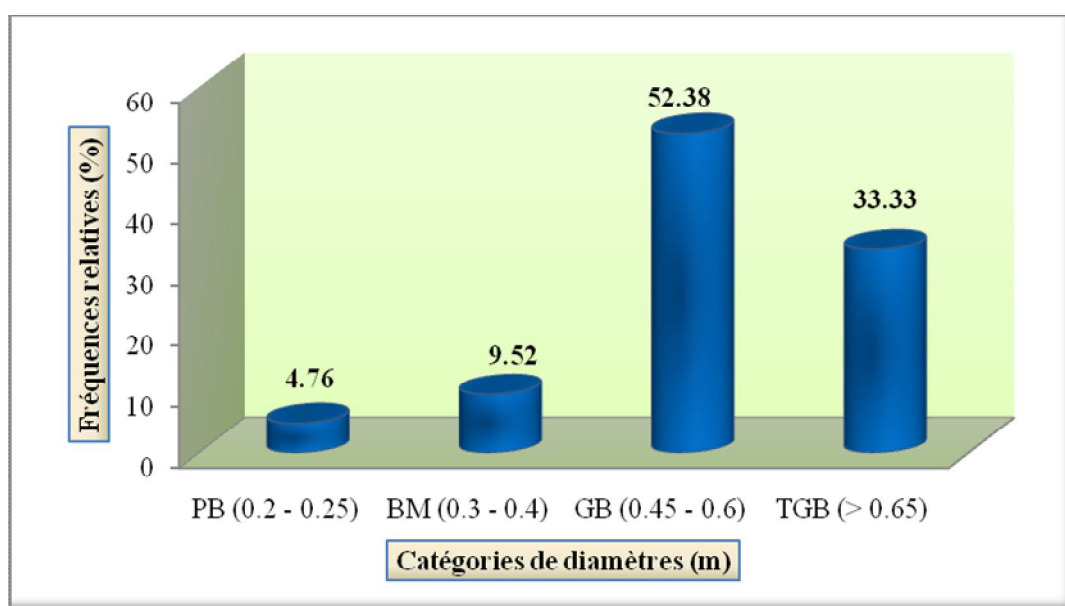
La détermination du diamètre moyen en peuplements irréguliers demeure encore insuffisante. Dès lors, si l'on se réfère à la littérature, on propose une répartition de valeurs de diamètre en quatre catégories : Petits Bois, Bois Moyens, Gros Bois et Très Gros Bois. On retient que l'augmentation en volume est forte lorsque la proportion des gros bois est importante. Pour les résineux, ces quatre catégories sont représentées comme suit (Gaudin, 1996) :

- ◆ PB : correspondant à des diamètres de 0.20 à 0.25m ;
- ◆ BM : correspondant à des diamètres de 0.30 à 0.40m;
- ◆ GB : correspondant à des diamètres de 0.45 à 0.60m;
- ◆ TGB : correspondant à des diamètres de 0.65cm et plus.

Les catégories de diamètres du cèdre présentent les caractéristiques statistiques suivantes :

- ❖ moyenne arithmétique : 0.51m ;
- ❖ valeur minimale : 0.17m ;
- ❖ valeur maximale : 0.81m ;
- ❖ CV : 27.14% ;
- ❖ mode : 0.51m.

Pour les catégories de diamètres, quatre classes y sont retenues (fig.6.8). La classe la plus représentative est celle de GB avec une fréquence relative supérieure à 50%. En revanche, les classes de PB et BM ne présentent guère que 14% des peuplements inventoriés.



**Fig.6.8** : Fréquences relatives des catégories de diamètres

#### 6.3.1.4. Hauteur totale moyenne :

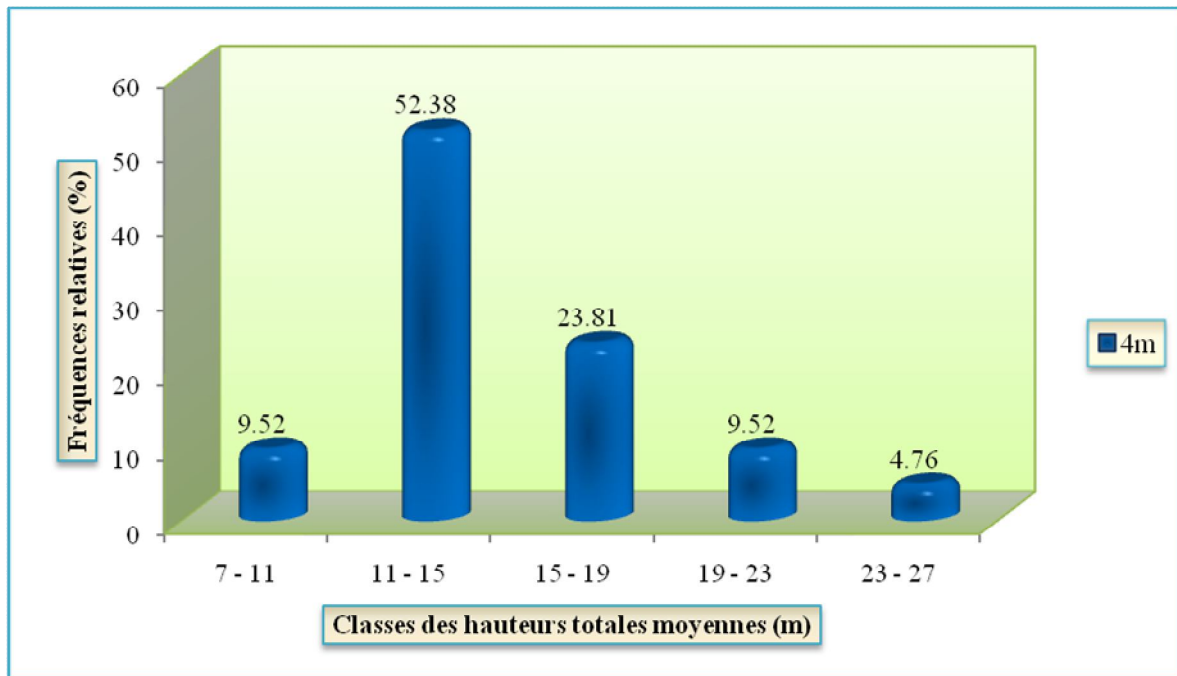
La hauteur totale moyenne est un critère quantitatif très utilisé dans l'identification des peuplements forestiers et de la productivité forestière. Dans les stations les moins fertiles, le ralentissement de la croissance en hauteur est plus rapide (Kadik, 1987 ; Gaudin, 1996). La hauteur totale moyenne correspond à la moyenne arithmétique des toutes hauteurs totales mesurées.

La hauteur totale moyenne des peuplements de cèdre inventoriés présente les caractéristiques statistiques suivantes :

- moyenne arithmétique : 14.53m ;
- valeur minimale : 7.21m ;
- valeur maximale : 25.16m ;
- CV : 26.81 % ;
- mode : ---

Les hauteurs totales moyennes du peuplement de cèdre présentent environ 62% des valeurs égales ou inférieures à la moyenne arithmétique enregistrée. Plus de 50% de placettes présentent des hauteurs totales moyennes inférieures à 15m (fig. 6.9).

Par ailleurs, la hauteur totale moyenne de plus de 23m ne présente que 4.76% du total.



**Fig.6.9** : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales moyennes de cèdre de l'Atlas

#### 6.3.1.5. Hauteur dominante :

La hauteur dominante, indice de productivité fiable, correspond à la moyenne arithmétique des hauteurs totales des cent plus gros bois à l'hectare (Rondeux et Thill, 1989 ; Verrue, 2001 ; Fonton et al, 2002). Si l'on se réfère à l'étude de Bentouati (2006) réalisée au niveau de la cédraie de Belezma, les différences de croissance en hauteur révèlent être beaucoup plus à l'origine de la variation des conditions de la station et de l'âge de peuplements.

Au niveau de chaque placette, la hauteur dominante est celle de la hauteur totale moyenne des dix plus gros cèdres. Ainsi, les valeurs des hauteurs dominantes de cèdre enregistrées présentent les caractéristiques statistiques suivantes:

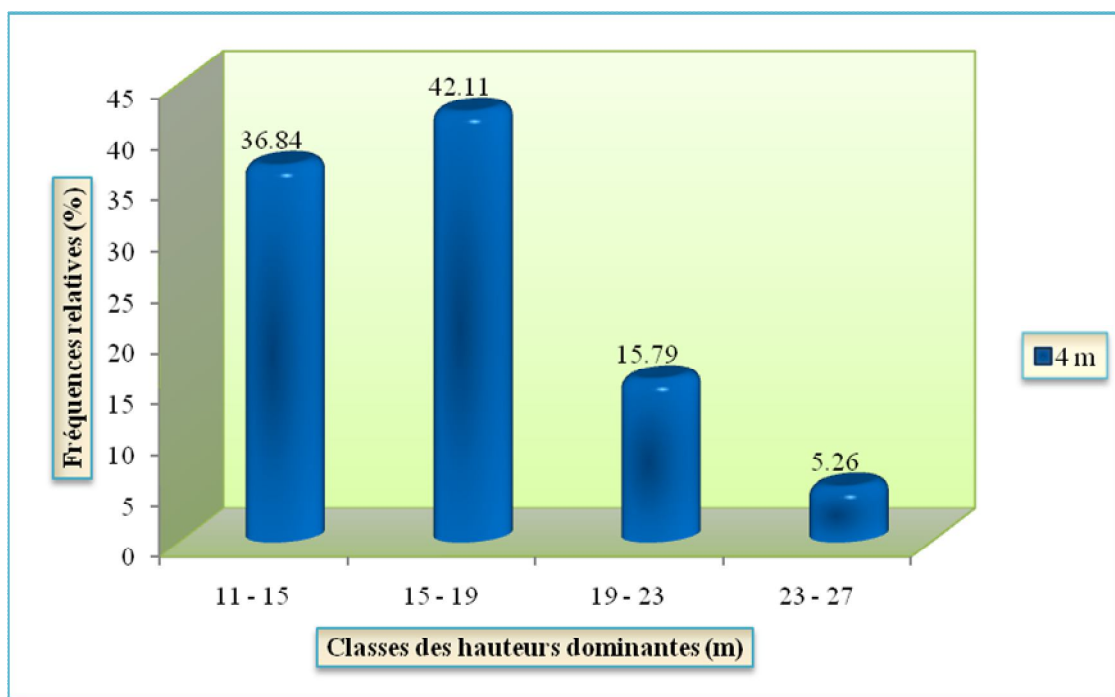
- ❖ moyenne arithmétique : 16.50m ;
- ❖ valeur minimale : 11.38m ;
- ❖ valeur maximale : 27.38m ;
- ❖ CV : 23.15% ;
- ❖ mode : ---

La figure 6.10 présente la distribution en classes des hauteurs dominantes de peuplement de cèdre. Il en ressort qu'environ 37% du peuplement présente des hauteurs dominantes inférieures à 15 m, alors que les peuplements de hauteur dominante de 15 à 19m (soit la classe la plus productive) présentent la fréquence la plus élevée (42.11%).

Selon l'étude de Zedek (1993), les hauteurs dominantes de 10 à 18m caractérisent trois classes de productivité dans la cédraie de Theniet El Had :

- **Classe 1 (18 m)** : on compte 24 % des peuplements échantillonnés dont l'indice compris entre 16,5 et 19,5 m ;
- **Classe 2 (15 m)** : on compte 57 % des peuplements échantillonnés dont l'indice compris entre 13,5 et 16,5 m ;
- **Classe 3 (12 m)** : on compte 19 % des peuplements échantillonnés dont l'indice compris entre 10,5 et 13,5 m.

Sur la base de cette classification, on relève que plus de 70% de placettes y sont enregistrées à travers les stations pauvres ou moyennement fertiles.



**Fig.6.10** : Fréquences relatives des classes de hauteurs dominantes de cèdre de l'Atlas

### 6.3.1.6. Surface terrière totale :

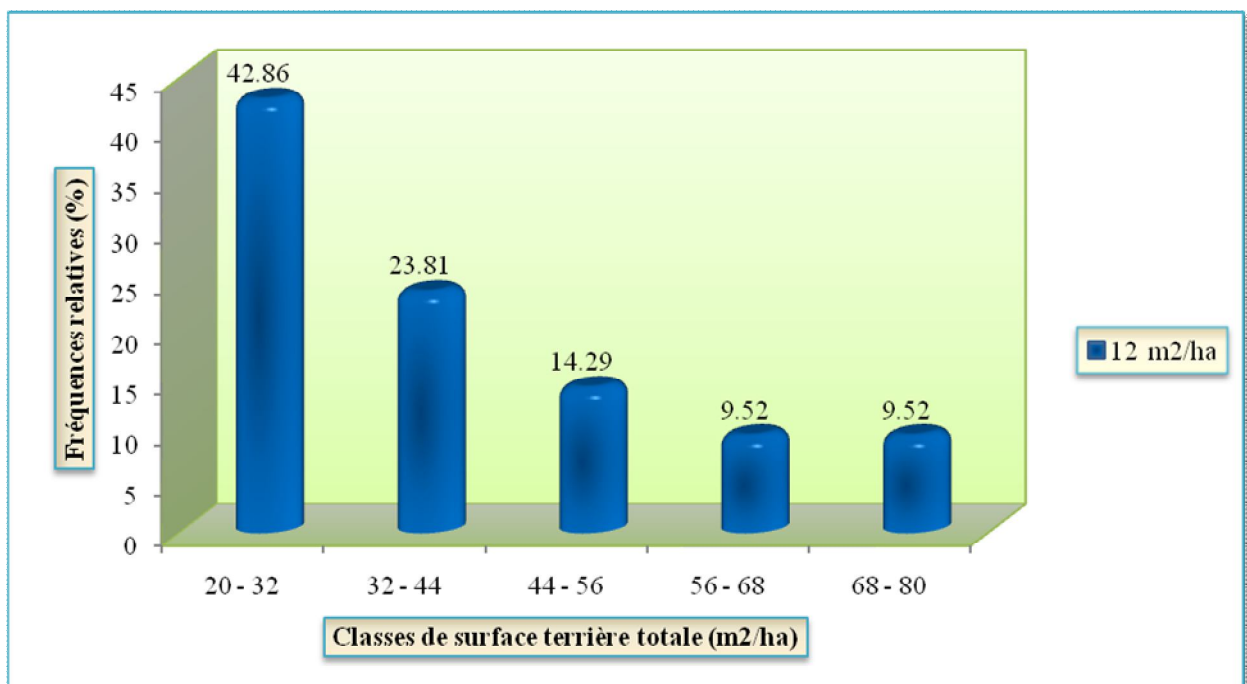
Elle est retenue comme étant un bon indicateur de la richesse d'un peuplement (Massenet, 2005 a). Son expression est la somme des surfaces terrières des tiges de cèdre rapportée à l'hectare (Rondeux, 1999) :

$$G \text{ (m}^2\text{/ha)} = \sum C^2/4\pi \quad (\text{avec } C : \text{circonférence à 1.30m des tiges})$$

Les surfaces terrières totales enregistrées peuvent être identifiées comme suit :

- ❖ moyenne arithmétique : 39.99 m<sup>2</sup>/ha ;
- ❖ valeur minimale : 20 m<sup>2</sup>/ha ;
- ❖ valeur maximale : 79.63 m<sup>2</sup>/ha ;
- ❖ CV : 41.81% ;
- ❖ mode : ---

A travers la figure 6.11, la surface terrière totale présente une allure décroissante où environ 43% de peuplements présentent des surfaces terrières inférieures à 32 m<sup>2</sup>/ha. En revanche, 19% de peuplements présentent des surfaces terrières de plus de 56 m<sup>2</sup>/ha.



**Fig.6.11** : Fréquences relatives des classes des surfaces terrières totales de cèdre de l'Atlas

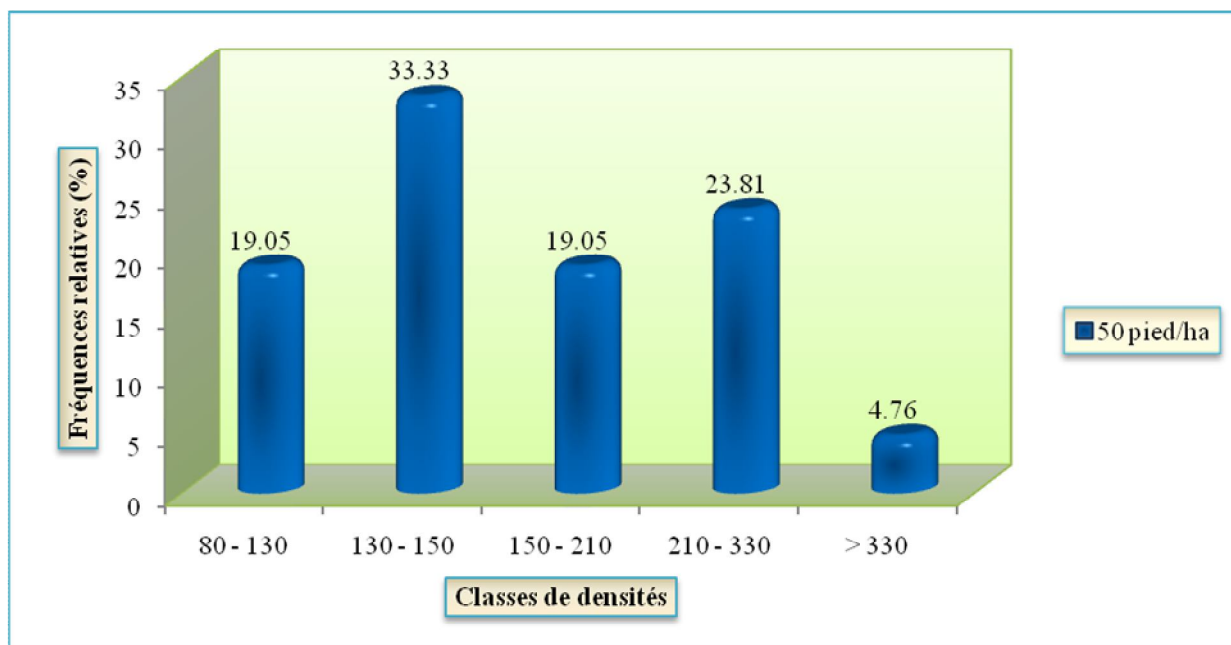
### 6.3.1.7. Densité:

Elle correspond au nombre de pieds par unité de surface donnée. L'unité de mesure de la densité est le mètre carré ou l'are ou l'hectare. La notion de la densité est liée au concept de concurrence entre les individus et le degré de couvert d'un peuplement (Gaudin, 1996 ; Rondeux, 1999).

La densité du cèdre présente les caractéristiques statistiques suivantes :

- ◆ moyenne arithmétique : 190pieds/ha ;
- ◆ valeur minimale : 80pieds/ha ;
- ◆ valeur maximale : 700pieds/ha ;
- ◆ CV : 70.06% ;
- ◆ mode : 130 pieds/ha.

La Figure 6.12 permet de mieux visualiser la distribution des fréquences relatives des classes de la densité totale de cèdre de l'Atlas. La densité du peuplement présente une grande variabilité (CV=70.06%). A travers cette figure, on soulève que plus de 50% de peuplements présentent une densité totale inférieure à 150 pieds/ha où la classe des densités moyennes (130 à 150pieds/ha) présente la fréquence relative la plus élevée (soit 33.33%). Par contre, environ 5% de peuplements présentent une densité très élevée (plus de 330pieds/ha). Il s'agit donc d'une futaie moyennement dense et à différents stades d'évolution.



**Fig.6.12** : Fréquences relatives des classes de densités de cèdre de l'Atlas



### 6.3.2. Caractérisation dendrométrique du peuplement à chêne vert :

#### 6.3.2.1. Densité :

Les données statistiques relatives à la densité du chêne vert sont :

- ❖ moyenne arithmétique : 140 pieds/ha ;
- ❖ valeur minimale : 50 pieds/ha ;
- ❖ valeur maximale : 240 pieds/ha ;
- ❖ CV : 35% ;
- ❖ mode : 120 pieds/ha.

La distribution en classes de densités totales donne lieu à une allure asymétrique gauche (Fig. 6.13) où la classe de 98 et 146 pieds/ha, soit celle des densités moyennes, présente la fréquence relative la plus élevée (43.75%).

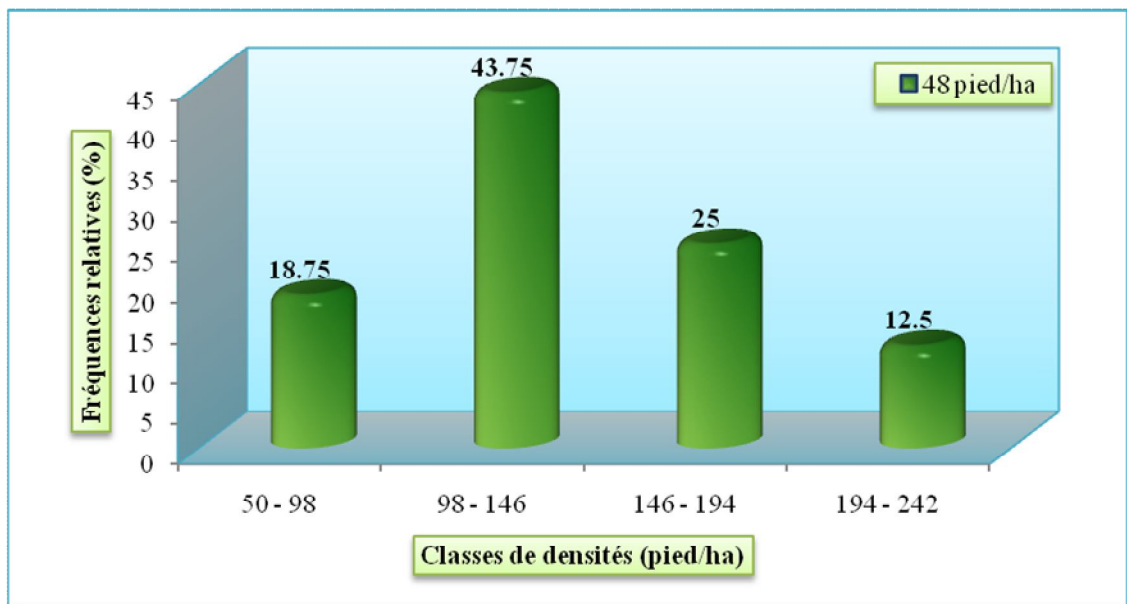


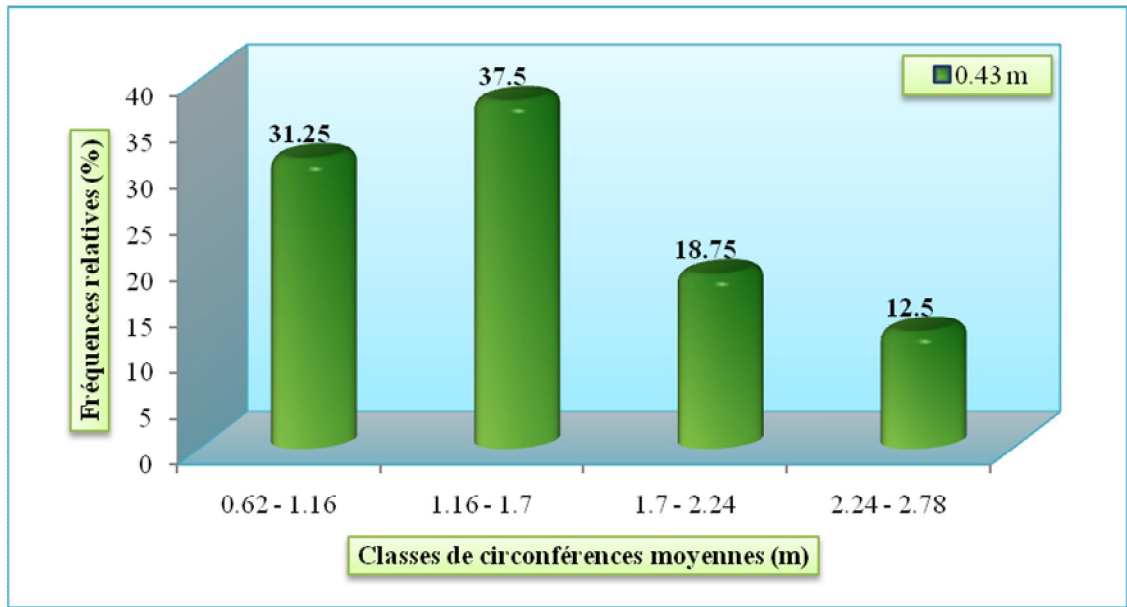
Fig.6.13 : Fréquences relatives des classes de densités de chêne vert

#### 6.3.2.2. Circonférence moyenne :

Les données statistiques relatives à la circonférence moyenne sont :

- ❖ moyenne arithmétique : 1.49 m;
- ❖ valeur minimale : 0.62 m;
- ❖ valeur maximale : 2.76 m;
- ❖ CV : 39.39%;
- ❖ mode : 2 m.

La figure 6.14 permet de visualiser la distribution des fréquences relatives par classes de circonférences moyennes. La catégorie de grosseurs intermédiaires, soit celle de 1.16 jusqu'à 1.7m, présente la fréquence relative la plus élevée (37.5%). L'allure devient descendante de part et d'autre de cette classe.



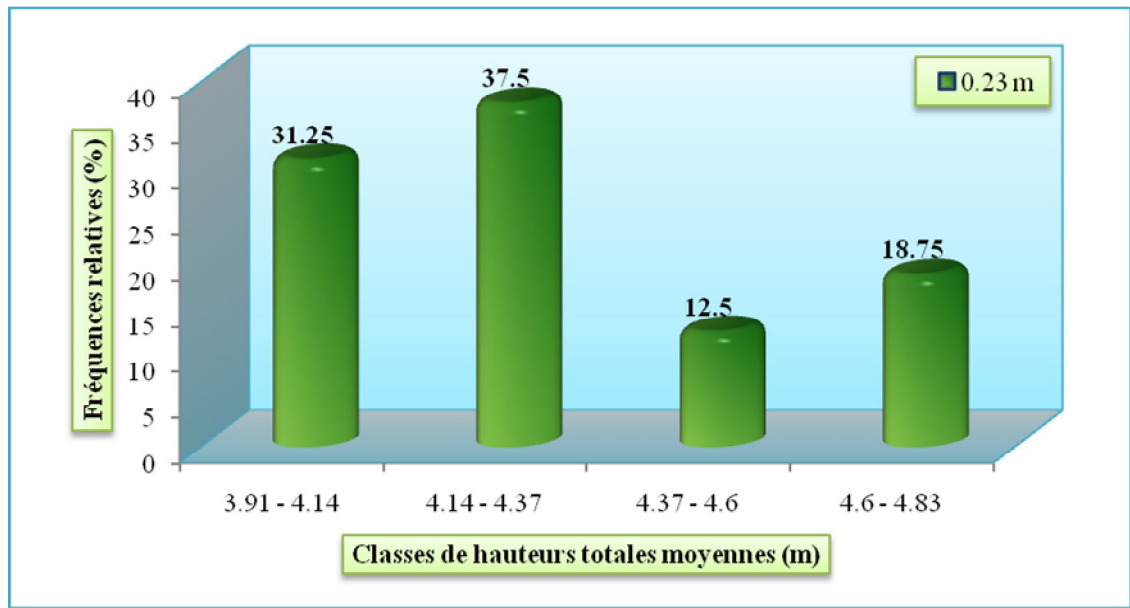
**Fig.6.14 :** Fréquences relatives des classes de circonférences moyennes de chêne vert

### 6.3.2.3. Hauteur totale moyenne :

La hauteur totale moyenne du chêne vert présente les caractéristiques statistiques suivantes :

- ❖ moyenne arithmétique : 4.30 m;
- ❖ valeur minimale : 3.91 m ;
- ❖ valeur maximale : 4.81m;
- ❖ CV : 6.18 % ;
- ❖ mode : 4.10 m.

Les valeurs de hauteur totale présentent une très faible variabilité dans la mesure où le coefficient de variabilité ne dépasse guère 6%. Par ailleurs, la présentation graphique qu'illustre la figure 6.15 exprime une distribution à allure décroissante. A cet effet, environ 69% des valeurs sont égales ou inférieures à la moyenne arithmétique.



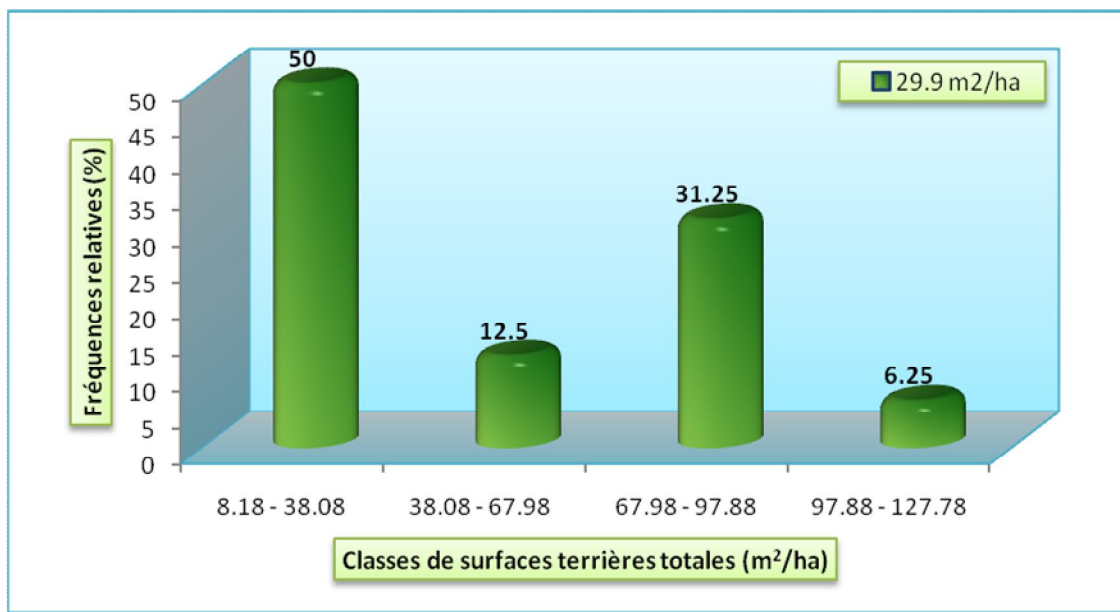
**Fig.6.15** : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales moyennes de chêne vert

#### 6.3.2.4. Surface terrière totale :

Les valeurs de surface terrière totale de chêne vert présentent les caractéristiques statistiques suivantes :

- ❖ moyenne arithmétique : 52.72 m<sup>2</sup>/ha;
- ❖ valeur minimale : 8.18 m<sup>2</sup>/ha;
- ❖ valeur maximale : 127.69 m<sup>2</sup>/ha;
- ❖ CV : 66.08 % ;
- ❖ mode : ---

A travers la présentation graphique des classes de surfaces terrières (Fig.6.16), on révèle une évolution régressive où la classe de faibles surfaces terrières, soit celle de moins de 38 m<sup>2</sup>/ha, constitue à elle seule une fréquence relative de 50%.



**Fig.6.16** : Fréquences relatives des classes de surfaces terrières totales de chêne vert

#### 6.4. Influence des facteurs stationnels sur la structure des peuplements du cèdre :

L'analyse de la variance est un outil statistique de première importance qui permet de rechercher et de déterminer la signification des variabilités des données dendrométriques à travers la stratification d'un facteur stationnel donné (Dagnelie, 1998).

Les variables dendrométriques qui font l'objet d'analyse de la variance au seuil de signification de 95% sont : la *circonférence moyenne*, la *circonférence dominante*, la *hauteur totale moyenne*, la *hauteur dominante*, la *surface terrière totale* et la *densité*. Ainsi, la stratification des facteurs stationnels est résumée au niveau du tableau 6.1

Tableau 6.1 : Stratification des facteurs stationnels		
Facteur stationnel	strates	Fréquences relatives (%)
<b>Topographie</b>	TOPO1	52.38
	TOPO2	19.05
	TOPO3	19.05
	TOPO4	9.52
<b>Altitude</b>	1000 à 1200 m	14.29
	1200 à >1400m	85.71
<b>Exposition</b>	N-NNE	61.90
	E-NE	38.10
<b>Pente</b>	0 à 10°	23.81
	10 à 20°	38.10
	20 à 30°	38.10

#### 6.4.1. Densité :

La densité du peuplement est un bon critère pour la détermination du niveau de concurrence entre les individus.

Sur la base d'une stratification de densité, l'analyse de la variance au seuil de signification de 95% fait ressortir une différence significative seulement avec le facteur de la topographie du sol (tableau 6.2).

**Tableau 6.2 : Variabilité de la densité des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	3.37485888	3.19677685	Significatif
Altitude	0.62227007	4.38074967	Non significatif
Exposition	1.45443499	4.38074967	Non significatif
Pente	2.93232513	3.55455715	Non significatif

#### 6.4.2. Circonférence moyenne du cèdre :

Sur l'ensemble des 21 placettes d'étude, la croissance des tiges de cèdre s'avère être meilleure dans les placettes où la pente varie de 10° à 20° et faible sur les placettes à faible pente. La pente joue un rôle prépondérant dans la stabilité du sol et la rétention de l'eau.

Le tableau 6.3 présente les valeurs de "F observé" et "F théorique" de la circonférence moyenne du cèdre de l'Atlas en rapport avec les différents facteurs de l'environnement. Il en ressort que seul le degré d'inclinaison du terrain présente une différence significative avec la circonférence moyenne.

**Tableau 6.3 : Variabilité de la circonférence moyenne des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	3.06338992	3.19677685	Non significatif
Altitude	1.93169548	4.45132169	Non significatif
Exposition	0.05325545	4.38074967	Non significatif
Pente	3.59925674	3.55455715	Significatif

### 6.4.3. Circonférence dominante du cèdre :

Comme le montre le tableau 6.4, la circonférence dominante des peuplements de cèdre ne présentent aucune différence significative à travers les strates de chacun des facteurs stationnels.

**Tableau 6.4 : Variabilité de la circonférence dominante des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	2.164439627	3.287382108	Non significatif
Altitude	1.12592965	4.38074967	Non significatif
Exposition	0.601399622	4.45132169	Non significatif
Pente	1.208972621	3.63372347	Non significatif

### 6.4.4. Hauteur totale moyenne du cèdre :

Sur la base de l'analyse de la variance, au seuil de signification de 95%, les hauteurs totales ne présentent de différence significative qu'à travers les strates topographiques (tableau 6.5). En fait, la hauteur et la grosseur des arbres sont très bonne dans les placettes où les conditions de croissance sont meilleures.

**Tableau 6.5 : Variabilité de la hauteur totale moyenne des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	<b>11.1404136</b>	<b>3.19677685</b>	<b>Significatif</b>
Altitude	0.0011632	4.38074967	Non significatif
Exposition	0.22094581	4.38074967	Non significatif
Pente	1.44922014	3.55455715	Non significatif

### 6.4.5. Hauteur dominante du cèdre :

La hauteur dominante permet d'identifier la productivité forestière. L'analyse de la variance, au seuil de signification de 95%, montre une différence significative des valeurs de hauteur dominante qu'à travers les strates topographiques (tableau 6.6). Dans les placettes d'étude, les tiges de cèdre présentent une meilleure croissance en hauteur totale et en grosseur sur les sols où les apports en eau sont supérieurs aux pertes (TOPO 3 et TOPO 4).

**Tableau 6.6 : Variabilité de la hauteur dominante des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	7.39022274	3.287382108	Significatif
Altitude	0.39597383	4.45132169	Non significatif
Exposition	0.088130777	4.45132169	Non significatif
Pente	0.226196075	3.63372347	Non significatif

#### 6.4.6. Surface terrière totale du cèdre :

La surface terrière totale est un bon critère dendrométrique de croissance des peuplements. L'analyse de la variance à un facteur révèle des différences non significatives des surfaces terrières totales à travers les différents facteurs stationnels (tableau 6.7).

**Tableau 6.7 : Variabilité de la surface terrière totale des peuplements de cèdres en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.**

Facteurs stationnels	F observé	F théorique	Signification
Topographie	2.80759093	3.19677685	Non significatif
Altitude	2.13476588	4.38074967	Non significatif
Exposition	1.35344897	4.38074967	Non significatif
Pente	0.69635481	3.55455715	Non significatif

#### 6.5. Relation entre le dépérissement et les différents variables stationnelles et dendrométriques :

Les unités d'échantillonnages, installées dans le versant nord, sont réparties à travers les cantons Pépinière, Guerouaou et Pré-Benchohra. Le taux de dépérissement, y étant très variable, il est plus élevé dans le canton Pré-Benchohra (45.46 %) et très faible dans le canton Pépinière (15.66%) où le cèdre se trouve à l'état pur.

##### 6.5.1. Variabilité du dépérissement en relation avec les facteurs du milieu:

###### 6.5.1.1. Topographie et dépérissement du cèdre :

Sur les 21 placettes d'étude, nous soulevons que le taux de dépérissement est assez faible (22%) sur les terrains de type (TOPO 1) et il est de 23.61 % dans les stations où le type de microrelief favorisant un bon approvisionnement en eau (TOPO 4).

Les résultats de Bonneau et al (1969) montrent que le dépérissement est plus intense dans les sols les plus hydromorphes, c'est-à-dire dans les sols où la nappe d'eau est plus proche de la surface. Ainsi que la position topographique influe sur la profondeur des sols et leur capacité à retenir l'eau.

Quoiqu'il en soit, on n'enregistre aucune différence significative du taux de dépérissement à travers les strates topographiques (tableau 6.8).

**Tableau 6. 8 :** Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport à la topographie au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	180.884232	3	60.2947438	<b>0.32417121</b>	0.75207119	<b>3.19677685</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2537.74613	17	149.279184			
<b>Total</b>	2718.63037	20				

### 6.5.1.2. Altitude et dépérissement du cèdre :

Les valeurs d'altitude enregistrées au niveau des placettes d'études varient de 1000 à 1456 m. Ainsi, par le biais d'une analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95%, nous cherchons une éventuelle relation entre le dépérissement et les différentes valeurs altitudinales. Il apparait que le taux de dépérissement manifeste une variabilité non significative vis-à-vis des différentes classes altitudinales (Tableau.6.9).

**Tableau 6.9 :** Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec l'altitude au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	483.178912	1	483.178912	<b>4.19119254</b>	0.05698312	<b>4.38074967</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2235.45145	19	117.65534			
<b>Total</b>	2718.63037	20				

### 6.5.1.3. Pente du terrain et dépérissement du cèdre :

La pente paraît être relativement forte dans l'ensemble des terrains au niveau du versant nord. Elle influe sur le phénomène de dépérissement. Sur l'ensemble des placettes d'études, nous avons observé que les cèdres dépéris se situent sur les terrains en pente (plus de 20°).

Néanmoins, une différence non significative du taux de dépérissement est enregistrée si l'on se réfère à la table de l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% (tableau 6.10).



**Tableau 6. 10** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la pente au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	259.525223	2	129.762611	<b>1.1402438</b>	0.40536142	<b>3.55455715</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2459.10514	18	136.616952			
<b>Total</b>	2718.63037	20				

#### 6.5.1.4. Exposition et dépérissement du cèdre :

La répartition des strates de l'exposition dans les placettes d'études présente deux strates différentes (*N-NNE* et *E-NE*). Quoiqu'on enregistre des taux de dépérissement élevés dans les peuplements exposés à la strate *E-NE*, il n'en demeure que la différence de ces taux est retenue être non significative (tableau 6.11).

**Tableau 6.11** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec l'exposition au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	3.6631289	1	3.6631289	<b>0.00694655</b>	0.87448374	<b>4.38074967</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2714.96724	19	142.893012			
<b>Total</b>	2718.63037	20				

#### 6.5.2. Variabilité du dépérissement en relation avec les variables dendrométriques:

##### 6.5.2.1. Mise en évidence du taux de dépérissement en rapport avec les surfaces des placettes:

Dans le but d'élucider d'éventuelles relations entre le taux de dépérissement et le nombre de tiges dans une surface particulière, des superficies de placettes concentriques (2, 5 et 10 ares) y sont préconisées. Dès lors, la progression de superficies en un seul point d'échantillonnage permettrait de mieux pouvoir rechercher l'intensité de dépérissement en rapport avec la densité tout en focalisant l'intérêt de la sociabilité des tiges dans de telle superficie.

Des différences de taux de dépérissement, quoique variablement enregistrées, ne sont guère significatives si l'on se réfère au tableau de l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% (tableau 6.12).

**Tableau 6. 12 :** Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la superficie de placettes au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	3864.67276	2	1932.33638	<b>2.39884908</b>	0.09978007	<b>3.15593197</b>
A l'intérieur des groupes	46720.5339	58	805.526447			
<b>Total</b>	<b>50585.2067</b>	<b>60</b>				

#### 6.5.2.2. Relation entre la densité totale des peuplements et le taux du dépérissement :

Sur la base d'une stratification de densité totale, l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% fait ressortir une différence significative (tableau 6. 13).

Les études de Landmann (1991) montrent que les peuplements mélangés et à couvert suffisant sont les moins sensibles au dépérissement alors que les peuplements trop denses résistent mal à des épisodes de sécheresse.

Le dépérissement demeure très fréquent (35%) dans les placettes où les classes de densité sont moins de 200 pieds/ha. En effet, la densité élevée du peuplement engendre une forte concurrence entre les arbres et par conséquent une difficulté de croissance des tiges et un affaiblissement des arbres.

**Tableau 6.13 :** Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la densité totale des peuplements au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1400.2194	3	466.739801	<b>6.05597986</b>	0.00535568	<b>3.19677685</b>
A l'intérieur des groupes	1310.20525	17	77.0708971			
<b>Total</b>	<b>2710.42465</b>	<b>20</b>				

### 6.5.2.3. Relation entre le taux de dépérissement et la densité totale des cèdres:

L'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, ne montre aucune différence significative du taux de dépérissement vis-à-vis des classes de densités de cèdre (Tableau 6.14).

**Tableau 6.14 :** Analyse de la variance du dépérissement de cèdre en rapport avec la densité totale des tiges de cèdre au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
<b>Entre Groupes</b>	701.524445	5	140.304889	<b>1.04762463</b>	0.42634936	<b>2.90129454</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2008.90021	15	133.926681			
<b>Total</b>	2710.42465	20				

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

Les arbres dépéris y sont particulièrement recensés à travers les classes de grosseurs moyennes. En revanche les classes de faibles grosseurs ne présentent que 4% de l'effectif total. A travers le tableau 6.15, on relève que l'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, révèle une différence non significative entre le taux de dépérissement et la circonférence moyenne des peuplements de cèdre.

**Tableau 6.15 :** Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la circonférence moyenne au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
<b>Entre Groupes</b>	437.530624	3	145.843541	<b>1.09082965</b>	0.37982749	<b>3.19677685</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2272.89403	17	133.699649			
<b>Total</b>	2710.42465	20				

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

L'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95% n'engendre aucune différence significative entre le taux de dépérissement et les circonférences dominantes (tableau 6.16).

**Tableau 6.16** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la circonférence dominante au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	351.777791	3	117.259264	<b>0.77676281</b>	0.52499393	<b>3.28738211</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2264.38358	15	150.958905			
<b>Total</b>	2616.16137	18				

**6.5.2.6. Relation entre le taux de dépérissement et la hauteur totale moyenne:**

Les classes de hauteurs totales moyennes de 19 à 23m sont celles où le taux de dépérissement est le plus élevé (soit 30.68% de l'effectif total). Toutefois, quoique des différences de taux de dépérissement sont alors enregistrés, l'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, ne révèle aucune différence significative (tableau 6.17).

**Tableau 6.17** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la hauteur totale moyenne au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	341.185238	4	85.2963096	<b>0.57602492</b>	0.68411164	<b>3.00691728</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2369.23941	16	148.077463			
<b>Total</b>	2710.42465	20				

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

A travers les classes de hauteur dominante de 15 à 19m, le taux de dépérissement y est faiblement enregistré (soit 14%). Une différence non significative entre le taux de dépérissement et la hauteur dominante est enregistrée si l'on se réfère à la table de l'analyse de la variance à un facteur au seuil de signification de 95% (tableau 6.18).

**Tableau 6.18** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la hauteur dominante au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
<b>Entre Groupes</b>	692.428531	3	230.80951	<b>1.79970035</b>	0.19045818	<b>3.28738211</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	1923.73284	15	128.248856			
<b>Total</b>	2616.16137	18				

Comme la hauteur dominante est un bon indice de fertilité stationnelle, on recherche une éventuelle signification de la variabilité du taux de dépérissement de cèdre à travers les valeurs des classes de fertilités des placettes d'étude enregistrées. Ainsi, trois classes de fertilité y sont retenues: *pauvre, moyennement fertile et fertile.*

Dès lors, le faible taux de dépérissement (14%) est enregistré au niveau des placettes relevant de la station de productivité fertile. Dans les autres stations de productivité, le taux de dépérissement demeure élevé (21%).

Nonobstant ces différences, l'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, n'engendre néanmoins aucune différence significative (tableau 6.19).

**Tableau 6.19** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec les classes de fertilités au seuil de signification de 95%.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
<b>Entre Groupes</b>	261.261697	2	130.630849	<b>0.88755101</b>	0.43098588	<b>3.63372347</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2354.89967	16	147.181229			
<b>Total</b>	2616.16137	18				

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

La compétition des tiges pour les ressources nutritives, particulièrement en conditions limitantes, révèle être une cause épuisante (Becker, 1990 *in* Fourier, 2007).

Si l'on se réfère aux valeurs de surface terrière totale enregistrées, la classe de 56 à 68 m<sup>2</sup>/ha est celle qui recèle le taux de dépérissement le plus élevé (29%). Cette situation, descriptive, assujettie à l'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%, ne révèle aucune

différence significative du taux de dépérissement de cèdre à travers les valeurs de surface terrière totale enregistrées (Tableau 6.20).

**Tableau 6. 20** : Analyse de la variance du dépérissement des peuplements de cèdre en rapport avec la surface terrière totale au seuil de signification de 95%.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Entre Groupes</b>	704.955341	4	176.238835	<b>1.40606558</b>	0.27674647	<b>3.00691728</b>
<b>A l'intérieur des groupes</b>	2005.46931	16	125.341832			
<b>Total</b>	2710.42465	20				

CONCLUSION

## *Conclusion générale*

La cédraie de Theniet El Had, soumise à un étage bioclimatique subhumide à hiver froid, présente une diversité d'essences forestières à travers un étagement altitudinal nettement caractérisé. De part le pâturage et les coupes illicites, le dépérissement des tiges de cèdre, signalé depuis 1984, demeure pressant sans être encore circonscrit jusqu'alors.

Au total, vingt et une placette temporaires de forme circulaire y sont installées à travers le versant nord, essentiellement dans les cantons relevant de forts taux de dépérissement (Guerouaou et Pré-Benchohra) à faibles (Pépinière). Ces unités d'échantillonnages sont de surfaces concentriques respectives de 2, 5 et 10 ares.

Ainsi, 640 tiges y sont recensées où le cèdre représente 62 % et les chênes constituent environ 38 % de l'ensemble de peuplements. Pour mieux élucider la problématique du dépérissement soulevée au préalable, nous avons pu rechercher statistiquement les éventuelles relations entre le taux de dépérissement et les facteurs écologiques descripteurs (*exposition, pente, microrelief et altitude*) d'une part et les paramètres pédologiques (*l'humidité, le taux de calcaire, le pH, la matière organique, la texture du sol et la teneur en azote*) d'autre part. Au niveau de chacune des unités d'échantillonnage, des variables dendrométriques y sont effectuées et déduites : *circonférence moyenne à 1.30m, circonférence dominante, hauteur totale moyenne, hauteur dominante, surface terrière totale et densité totale*.

Dans les placettes de dix ares, soient celles de superficies les plus grandes et dont l'espace serait vraisemblablement davantage en faveur d'une meilleure vitalité des tiges de cèdre, nous y enregistrons une circonférence moyenne de 1.61m, une hauteur totale moyenne de 14.53m, une surface terrière totale moyenne de 43.64m<sup>2</sup> / ha et une densité moyenne de 190 pieds / ha

Sur l'ensemble des échantillons de sol prélevés, il en ressort une profondeur moyenne à faible dans les placettes relevant des cantons Guerouaou et Pré-Benchohra et importante dans celles canton Pépinière. La texture du sol, *sableuse et sablo-limoneuse* est celle caractéristique d'une bonne perméabilité et d'une faible rétention en eau. Cette situation, conjuguée à de longues périodes sèches, dénote nettement d'une connotation d'un facteur limitant à la croissance des peuplements de cèdre.



Dans tous les échantillons prélevés, le taux de la matière organique demeure très élevé à la surface du sol (suite à la présence de litière) et réduit en profondeur. Le pH est légèrement acide, dénote d'une vie microbienne ralentie. L'acidité d'échange est très élevée dans certaines placettes. Le rapport C/N, généralement très élevé, témoigne d'une faible activité biologique et d'une minéralisation ralentie.

Par ailleurs, le dépérissement du cèdre de l'Atlas est retenu fréquent à travers les expositions orientées vers l'Est (*N-NE* et *NE*) où 58 % des arbres recensés y sont dépéris. Le long de l'étagement altitudinal compris entre 1200 et 1456m, le taux de dépérissement est de l'ordre de 72 % de l'effectif total des cèdres inventoriés. Sur les terrains de type *TOPO 1* où les pertes d'eau sont supérieures aux apports, le dépérissement enregistré est d'un taux estimé à 55 % de l'effectif global. Sur les terrains de pentes comprises entre 20° et 30°, on y enregistre un taux de dépérissement de 42 %.

La recherche d'éventuelles relations entre le taux de dépérissement du cèdre et les divers facteurs stationnels d'une part et les paramètres édaphiques d'autre part, a fait l'objet d'analyse de la variance à un facteur, au seuil de signification de 95%. Par le biais de cette analyse, on relève les constatations suivantes :

- Les valeurs de taux de dépérissement en rapport avec les *paramètres édaphiques* ne présentent aucune différence significative, à l'exception du *pH* où la différence est significative;
- Les taux de dépérissement en rapport avec *L'altitude*, la *pente*, *l'exposition* et la *topographie* du terrain ne présentent aucune différence significative. Par ailleurs, les tiges de cèdre inventoriées présentent des plus grandes considérations biométriques à travers les terrains sis en haute altitude, de faible pente et sur les terrains de type *TOPO4* où les pertes d'eau sont inférieures aux apports ;
- Une différence significative est enregistrée entre le taux de dépérissement et la densité totale des peuplements. Un taux de dépérissement de 35% y est enregistré dans la classe de moins de 200 pieds / ha.

Par le biais de ce modeste travail, on espère avoir pu répondre objectivement et rationnellement à l'attente du forestier et au souci du chercheur.

# Références bibliographiques

















## Références bibliographiques

- 📖 **Allen, CD.** Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ? *Unasylva* 231/232. **2009**. Vol 60: 43-49.
- 📖 **Allen, CD. Macalady, AK. Cehenchouni, H. Bachelet, D. McDowell, N. Vennetier, M. Kitzberger, T. Rigling, A. Breshears, D. Hogg, EH. Gonzalez, P. Fenshan, R. Zhang, Z. Castro, J. Demidova, N. Lim, JH. Allard, G. Running, SW. Semerci, A. Cobb, N.** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management, Elsevier*. **2010**. Volume (259): 660-684.
- 📖 **Andrea, C. Roberto, M.** Growth performances of thinned Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man) stand. *Ann. Rech. For, Maroc*. **1994**. T (27): 281-293.
- 📖 **Anonyme. 1977.** Laboratoire du sol- méthodes d'analyses physico-chimiques du sol. 3ème et 4ème année. Mostaganem : Institut de technologie agricole, 105p.
- 📖 **Anonyme. 1978.** Mémento du forestier. « Techniques rurales en Afrique » Paris : Ministère de la coopération, 894p.
- 📖 **Anonyme. 1984.** Etudes et projets pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et des parcs nationaux dans le massif "Ouarsenis". Bulgarie : LESCOMPLEKT, Volume20 : 120p.
- 📖 **Anonyme. 1988.** Bois et liège. Paris : AFNOR, 606p.
- 📖 **Anonyme. 1989.** Mémento du forestier-Techniques rurales en Afrique. Paris : CTFT, 1266p.
- 📖 **Anonyme. 1997.** Elaboration de la stratégie nationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité biologique, Rapport intermédiaire. Alger : Ministère de l'intérieur des collectivités locales et de l'environnement, 27p.
- 📖 **Assenac, G. Guehl, JM.** Dépérissement et accidents climatiques. *Revue forestière française*. XLVI, numéro spécial « les dépérissements d'arbres forestiers, causes connues et inconnues » .**1994**: 458-469.
- 📖 **Ayache, F. Bouazza, M. 2008.** Le pâturage en forêt dans la région de Tlemcen (cas des forêts à résineux). Tlemcen : Université Abou-Bakr-Belkaid, 2p.
- 📖 **Baba-Aissa, F. 2000.** Encyclopédie des plantes utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb substances végétales d'Afrique d'orient et d'occident. Alger: EDAS, 368p.
- 📖 **Baix, PH. Dethioux, M. Rndeux, J.** Pour une production ligneuse de qualité : impératifs écologiques et sylvicoles. *Les cahiers forestiers de Gembloux*. **2002**. N°02. 11p.
- 📖 **Baize, D. Jabiol, B. 1998.** Guide pour la description des sols. Paris : INRA, 375p.
- 📖 **Baize, D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. Paris, INRA, 257p.

- 📖 **Baradat, PH.** Etude préliminaire sur la fructification du Douglas (pour une prévision des récoltes). *INRA*, **1966** : 698-713.
- 📖 **Barrero, AF. Quilez-Del-Moral, JF. Mar-Herrador M., Artega JF. Akssira M., Benhrref A. Dakir M.** Abietane diterpenes from the cones of *Cedrus atlantica*. *Phytochemistry*. **2005**. N°66: 105-111.
- 📖 **Bary-Lenger, A., Evrard, R., Gathy P. 1999.** La forêt. Belgique : PERRON. 623p.
- 📖 **Becker, M. Picard, JF. Timbal, J. 1981.** Les arbres. Paris: Masson, 192p.
- 📖 **Becker, M. Picard, JF. Timbal, J. 1982.** Larousse des arbres, des arbustes, et des arbrisseaux. Paris: Librairie Larousse, 330p.
- 📖 **Becker, M. Picard, JF. Timbal, J. 1983.** Les arbres. Paris: Masson, 141p.
- 📖 **Becker M., Goff N.** Diagnostic stationel et potentiel de productions. *R.F.F, XL. 1988. n°sp* : 29-43.
- 📖 **Becker, M. Tacon, F. Levy, G.** Conjonction des facteurs naturels et des pratiques sylvicoles dans le dysfonctionnement des écosystèmes forestiers, *Revue forestière française. XLVI, numéro spatial sous le titre « les dépérissements forestiers : causes connues et inconnues » 1994: 572-578.*
- 📖 **Beghami, R.** 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 de magister, Univerité El Hadj Lakhdar, Batna, **(2010)** : 119pp.
- 📖 **Benhalima, S.** Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Endl). Carrière dans le haut et le moyen Atlas (Maroc). *Travaux de l'institut scientifique, série zoologie, rabat. 2006. n° 46* :63p.
- 📖 **Benmouffok, K.** Approche éco pédologique dans les formations à *Cedrus atlantica* « cas du massif de Djurdjura Algérie ». *Ann. Rech. For, Maroc. 1994. T (27): 205-217.*
- 📖 **Bentouati, A.** Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*pinus halepensis* M) du massif d'Ouled yagoub (Khenechela- Aurès). Thèse Doctorat en Agronomie, Université El-Hadj-Lakhdar, faculté des sciences département d'agronomie, Batna, **(2006)** :116pp.
- 📖 **Bessah, G. 2005.** Les parcs nationaux d'Algérie – Première réunion du comité de pilotage du "Réseau des parcs- INTERREG III C Sud" Naples- Italie. Algérie : DGF, 6p.
- 📖 **Bessire, G. 2005.** Table de détermination des arbres du sentier Auguste Quiquerez d'après les feuilles. Sentier Quiquerer, 21p.
- 📖 **Bethmont, J. 2003.** Géographie de la Méditerranée. Paris: ARMAND COLIN. 313p.
- 📖 **Bezanger-Beauquesne, L. Pinkas, M. Torck M. Trotin F. 1980.** Plantes médicinales des régions tempérées. Paris: MALOINE S.A. 439p.

- 📖 **Bonneau, M. Gelpe, J. Letacon, F. 1969.** A propos du dépérissement du pin Portugais dans les Landes. France : Nancy. 343-350.
- 📖 **Bonneau M.** Le diagnostic foliaire. *R.F.F, XL, 1988.* n° SP: 19-28.
- 📖 **Bonneau, M.** Les dépérissements à causes multiples: caractéristiques générales. *Revue forestière française.* XLVI, numéro spécial « les dépérissements d'arbres forestiers : causes connues et inconnues ». **1994:** 472 -473.
- 📖 **Bonneau, M. Landmann, G. Garbaye, J. Ranger, J. Nys, C.** Gestion et restauration de la fertilité minérale des sols. *Revue forestière française.* XLVI, numéro spécial « les dépérissements forestiers : causes connues et inconnues ». **1994:** 579 -585.
- 📖 **Bonneval.** L'Algérie touristique, cahiers de centenaire de l'Algérie. *Publication des Comites national métropolitain du centenaire de l'Algérie, Alger.* n° VII **1930.**
- 📖 **Bouchon, J. 1995.** Architecture des arbres fruitiers et forestiers. Paris : INRA, 353p.
- 📖 **Boudy, P.1950.** Economie forestière nord-africaine. Tome 02. Monographies et traitements des essences forestières. Fascicule 02. Paris : Larose, 878p.
- 📖 **Boudy, P. 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. Paris : La maison rustique, 505p.
- 📖 **Boudy, P.1955.** Economie forestière nord- africaine. Tome 04. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Paris : Larose, 482p.
- 📖 **Bouget, C. Brustel H. Nagelesen, LM.** Nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois: synthèse et mise au point sémantique. *C.R. Biologie.* **2005.** n° 328: 936-948.
- 📖 **Boukcim, H. Moussain, D.** Effet de la fertilisation phosphatée sur la mycorhization, la croissance et nutrition en phosphore et en azote de semis de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) inoculé en pépinière par *tricholoma tridentinum* Sing.var *cedretorum*.Bon. *INRA, EDP science.* **2001:** 289 – 300.
- 📖 **Boulaine, J. 1980.** Pédologie appliquée. Paris: Masson, 220p.
- 📖 **Bourgeat, F. Rartsimbazafy, C.** Les sols alluviaux des hauts plateaux de Madagascar. *Université de Madagascar, école nationale supérieure d'agronomie.* **1969** : 89-107
- 📖 **Boydak, M.** Regeneration of Lebanon Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) on Karstic lands in Turkey. *Forest ecology and Management.* **2003.** n°178: 231-243.
- 📖 **Brunetti, M. Decapua, EL. Macchioni, N. Monachello, S.** Natural durability, physical and mechanical properties of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) wood from southern Italy. *INRA, EDP sciences, France.* **2001:** 607-613.
- 📖 **Cailliez, F. 1980.** Estimation des volumes et d'accroissement des peuplements forestiers : étude des estimations de la production. France : Centre technique forestier tropical, 98p.
- 📖 **Calu, G.** l'eau, le sol et les plantes, *Spectrosciences,* Free on line, Library. **2004** : 21p.
















- 📖 **Camefort H., Boue H. 1983.** Reproduction et biologie des végétaux supérieures. Bryophytes, Ptéridophytes, Spermaphytes. Paris : Doin, 436p.
- 📖 **Chalabi, MN.** Analyse phytosociologique, phytoécologique, dendrométrique et dendroclimatologique des forêts de *Quercus cerris* L. sub p. pseudocemis et contribution à l'étude taxonomique du genre *Quercus*. L en Syrie. Thèse doctorat en sciences, Université de droit d'économie et des sciences d'Aix Marseille, Faculté des sciences et des techniques saint Jerome, (1980) : 342pp.
- 📖 **Coombes, AJ. 2001.** Les arbres : 500 espèces. Paris : Bordas, 320p.
- 📖 **Coulbois, P, Touzet, G. 1992.** Guide technique du forestier méditerranéen français. Paris : CEMAGREF.
- 📖 **Courbet, F. Albouy, A.** Modélisation dendrométrique de l'architecture du cèdre de l'Atlas en peuplement. *INRA, Colloques n°74 « Architecture des arbres fruitiers et forestiers, Montpellier (France) le 23-25 novembre 1993, Paris. 1995* : 191-207.
- 📖 **C.R.P.F. 2007.** Forêt privée Française : le cèdre de l'Atlas. Paris : Institut pour le développement forestier, 4p.
- 📖 **Cyr, G. 2006.** Elagage et qualité du bois : inspirons nous de la nature pour hâter son œuvre. *Direction de la recherche forestière. Rapport intermédiaire. 2006. n° 03* : 33-36.
- 📖 **Dagnelie, P. Palm, R. Rondeux, J. Thill, A. 1988.** Les tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux (Belgique) : Les presses agronomiques de Gembloux, 148p.
- 📖 **Dagnelie, P. 1998.** statistique théorique et appliquée. Tome 2 : inférence statistique à une et à deux dimensions. Paris : Debook et larcier, 659p
- 📖 **Dajoz, R. 1978.** Précis d'écologie. Paris : Bordas, 549p.
- 📖 **Debazac, EK. 1991.** Manuel des conifères. France : Nancy, ENGREF, 172p.
- 📖 **Dellal, A.** Contribution à l'étude de la distribution et de la transformation de l'azote dans les différents types de sols de la Mitidja. Thèse ing. en agronomie, institut national agronomique Hassan Badi, Alger, 1979 : 96 pp + annexe
- 📖 **Demarteau, M.** Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Thèse licence en géologie, université liège, faculté des sciences, Belgique, (2006) : 60pp
- 📖 **Demarteau, M. Francois, L. Cheddadi, R. Roche, E.** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop. 2007. n°31*: 105-146.
- 📖 **Derak, M. M'hirit, O. Boujemaa, M. Et-tobi, M.** Influence de la densité et du type de peuplement sur le dépérissement du cèdre à Sidi M'Guild (Moyen Atlas marocain). *Forêt méditerranéenne. 2008. T XXIX, n° 1*: 23-33.

-  **Deysson, G. 1979.** Cours de botanique générale 4<sup>ème</sup> série, Tome II : Organisation et classification des plantes vasculaires, 2<sup>ème</sup> partie : systématique. Paris : Société d'édition d'enseignement supérieur. 537p.
-  **D.G.F. 2005.** Parc National de Theniet-El-Had. Alger: DGF, 3p.
-  **D.S.F. 2002.** Les cahiers du DSF. (La santé des forêts [France] en 2000 et 2001). *Min, Agri. Alim. Pêche Aff.rur. Paris (DERF)*. **2002**, n°1 : 132p
-  **Dube, F.** Etude sur la dynamique de succession et de régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl) carrière) et du chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.) dans le Parc National d'Ifrane au Maroc. Rapport de stage en vue de l'obtention du grade de maîtrise en écologie internationale, Faculté des sciences, Université Sherbrooke, Québec, (**2007**) : 94pp.
-  **Duchaufour, P. 1988.** Abrégé Pédologie, 2ème édition. Paris : Masson, 224p.
-  **Duchaufour, P. 1995.** Pédologie : sol, végétation, environnement, 4ème édition. Paris : Masson, 324p.
-  **Durand, R. 1990.** Les arbres. Guide vert. Paris : Solar, 381p.
-  **Durand, R. 2000.** Les arbres. Paris : Solar, 381p.
-  **Duvigneaud, P.1985.** La synthèse écologique populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Doin éditeur, 380p
-  **Emberger, L. 1960.** Les végétaux vasculaires, Tome 2. Fasc.1. Paris : Masson et Cie, 753p.
-  **Ezzahiri, M. Belghazi, B. Bahmad, M.** Bilan de la régénération naturelle de la Cédraie dans les parcelles clôturées du Moyen Atlas, Maroc. *Ann. Rech. For, Maroc*. **1994**. T (27): 259-268.
-  **Ezzahiri, M. Belghazi, B.** Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaires / Sécheresse*.**2000**. Volume11, n°02: 1-9.
-  **FAO. 2000.** L'étude prospective du secteur forestier en Afrique : Algérie. *Rapport FOSA*.: 60p.
-  **Faraj i F.** Etude de la durabilité d'un composite multicouche en mélange de placages de durabilités variables. Thèse doctorat en sciences forestières et du bois, Montpellier, (**2005**) : 246pp
-  **Favre, JP. Escarguel, G. Suc JP, Vidal G, Thevenod L.** A contribution to deciphering the meaning of AP/NAP with respect to vegetation cover. *Review of Palaeobotany and palynology*. **2008**. N°148: 13-35.
-  **Fellous, A. Maaziz, S. 2003.** Rapports nationaux. Second séminaire sur les antilopes sahélio-saharienne, 141p.

















- 📖 **Fonton, NH. Kakai, RG. Rondeux, J. 2002.** Etude dendrométrique d'*Accacia auriculiformis*. Cunn.ex.Benth en mélange sur vertisol au Bénin. BASE : 29-37.
- 📖 **Fourrier, A. 2007.** Mise en relation des facteurs stationnelles et bioclimatiques avec le dépérissement des sapinières du Mont Ventoux. Paris : INRA Cedex, 19p.
- 📖 **Gagnon G., Roy G.** Le dépérissement de l'Erable à sucre (*Acer saccharum* Marsh). *Revue forestière française, XLVI, numéro spécial sous titre « les dépérissements d'arbres forestiers : causes connues et inconnues. 1994 : 512-521.*
- 📖 **Garrec, JP. Kerfourn, C. Laitat, E.** Etude des surfaces foliaires des arbres dépérissants. *Ann. sci. For. 1989.* n°46 (supplémentaire): 547-552.
- 📖 **Garrec, JP. Laitat, E. Richardin, I. Rose, C.** Dépérissement forestier et perturbations minérales aux niveaux histologiques et cellulaire dans les aiguilles de *Picea abies* L. étude par microanalyse X. *Ann. Rech. For. 1991.* n°48: 321-332.
- 📖 **Gasser, D. 2008.** Intervention de taille et de coupe sur les arbres plantés an milieu ouvert. Taille de formation et élagage. Québec : Consortrium en foresterie, 11p.
- 📖 **Gaudin, S. 1996.** Dendrométrie des peuplements. Besançon : BTSA gestion forestière. 64p
- 📖 **Gausсен, H. Leroy, J-F. Ozenda, P. 1982.** Précis de botanique. Tome II : Végétaux supérieurs. Paris : Masson. 579p.
- 📖 **Guignard, JL. 1983.** Abrégé de botanique. Paris : Masson, 259p.
- 📖 **Guignard, JL. Dupont F. 2004.** Botanique systématique moléculaire. Paris : Masson, 284p.
- 📖 **Guyon, JP. 1998.** Références forêts. Synthèse agricole, 2<sup>ème</sup> édition, Merignac : 296 p.
- 📖 **Hainry, D. Colombet, M.** Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Bretagne. *CRPF. 2009 : 10p.*
- 📖 **Halimi, A. 1980.** l'atlas blideen.- climats et étages végétaux. Alger : OPU, 523p.
- 📖 **Hammache, B. Dadou, C. Bala, B. 1994.** instruments forestiers : description – utilité. Alger : CEAPF, 49p.
- 📖 **Hubert, M. 2003.** Vos bois, mode d'emplois. Production – Loisirs – Nature. Paris : I.D.F, 175p.
- 📖 **Huchon, H. 1997.** connaissance de la forêt. 6eme édition. Paris : La maison rustique, 164p.
- 📖 **Ingri, D. Schönfelder, P. 1989.** Guide de la flore méditerranéenne. Paris : Hatier, 314p.
- 📖 **Jacamon, M. 1987.** Guide de dendrologie. Arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts Françaises. Tome I, conifères. France : GREF, Nancy.88p.



- 📖 **Jacamon, M. 2002.** Guide de dendrologie – arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts françaises. Nancy (France): ENGREF, 348p.
- 📖 **Judd, WS. Cambell, CS. Kellogg, EA. 2002.** Botanique systématique : une perspective phylogénique. Paris : Deboeck université, 467p.
- 📖 **Kadik, B. 1987.** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*pinus halepensis* Mill) en Algérie : écologie dendrométrie morphologie. Alger : OPU, 580p
- 📖 **Kerrouani, H.** Concept et méthodologie d'étude d'aménagement des forêts marocaines : cas de la cédraie d'Azrou (Moyen Atlas central Tabulaire). *Ann. Rech. For.* **1994.** T (27): 225-241.
- 📖 **Khanfouci, MS.** 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 de doctorat en sciences agronomiques, université El Hadj lakhdar, Batna, (2005): 248p.
- 📖 **Kim, EH. Kim HK. Ahn, YS.** Acaricidal activity of plant essential oils against *Tyrophagus putrescentiae* (Acari Acaridae). *Asia pacific Entomol.* **2003.** 6(1): 77-82.
- 📖 **Krouchi F., Derridj A., Leffevre F.** Year and tree on reproductive organisation of *Cedrus atlantica* in a natural forest, *Forest Ecology and Management* (197). **2004:** 181-189.
- 📖 **Landmann, G. 1991.** Les recherches en France sur le dépérissement des forêts. Nancy (France) : ENGREF, 131p.
- 📖 **Landmann, G.** Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Revue forestière française.* XLVI, numéro spécial « dépérissements d'arbres forestiers : causes connues et inconnues» .**1994** :405-415.
- 📖 **Lanier, L. 1986.** Précis de sylviculture. France : Nancy, ENGREF, 468p.
- 📖 **Lanier, L. Badre, M. Delabraze, P. Dubourdieu, J. Flammarion, J-F. 1994.** Précis de sylviculture, 2<sup>ème</sup> édition. France : Nancy, ENGREF, 477p.
- 📖 **Lardry, JM.** Les principales huiles essentielles utilisées en massage. *Kinesither Revy.* **2007.** n°61: 24-29.
- 📖 **Lecomte, H. Rondeux J.** Les inventaires forestiers nationaux en Europe – tentative de synthèse. *Les cahiers forestiers de Gembloux.* **2002 (a).** N°05: 29p.
- 📖 **Lecomte, H. Rondeux, J.** Les inventaires forestiers durable en région Wallonne, intégration d'indicateurs appropriés à l'inventaire permanent. *Les cahiers forestiers de Gembloux.* **2002 (b).** N°27: 17p.
- 📖 **Lee, YS. Kim, J. Lee, SG. Oh, E. Shin, SC. Park, IK.** Effects of plant essential oils and components from oriental sweet gum (*Liquidambar orientalis*) on growth and morphogenesis of three phyto-pathogenic fungi, *Pesticide biothornistry and physiology.* **2009.** N°93: 138-143.
- 📖 **Letreuch –Belarouci, N.1981.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Belgique : Gembloux, 588p.

-  **Letreuch –Belarouci, N.1991.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d’avenir. V1 et V2. Alger : OPU, 294p.
-  **Letreuch –Belarouci, N.1995.** Sylviculture spéciale. Elément de réflexion et mise en valeur des taillis de chêne vert. Etude d’un cas concret : Alger: OPU, 69p.
-  **Lev, E. Amar, Z.** Fossils of practical medical knowledge from medieval Cairo, *Journal of Ethno-pharmacology*. **2008.** N° 119: 24-40.
-  **Levy G., Delatour C., Becker M.** 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. *Revue forestier française, XLVI, numéro spécial « les dépérissements d’arbres forestiers : causes connues et inconnues.* **1994:** 495-503.
-  **Lieutier, F. Dinon, J. Delatour, C.** Place des agents biotiques dans le dépérissement forestier. *Revue forestier française.* XLVI, numéro spécial « les dépérissements d’arbres forestiers : causes connues et inconnues.**1994:** 418-421.
-  **Marchal, D. Rondeux, J.** Comment mesurer la hauteur d’un arbre au moyen d’un dendromètre. *Les cahiers forestiers de Gembloux.***1995 :** 2p.
-  **Massenet, JY. 2005(a).** Grosseur des arbres. Cours de dendrométrie. Mesnières : Lycée forestier, 12p.
-  **Massenet, JY. 2005(b).** Hauteur des arbres. Cours de dendrométrie. Mesnières : Lycée forestier, 19p.
-  **Masson, G. 2005 a.** Autécologie des essences forestières. Comment installer chaque essence à sa place. Autécologie ‘1’. France : TEC et DOC. 306 p.
-  **Masson, G. 2005 b.** Autécologie des essences forestières. Comment installer chaque essence à sa place. Autécologie ‘2’. France : TEC et DOC. 345 p.
-  **Mathieu, C. Pieltain, F. 2003.** Analyse chimique des sols (méthodes choisies). Paris : TEC & DOC, 387p.
-  **Mathieu, C. Pieltain, F. 2007.** Analyse chimique des sols (méthodes choisies). Paris : TEC & DOC, 275p.
-  **Meftah, T. 2001.** Elevage et pastoralisme au sein du Parc National de Belezma. UICN et ANN, 37p.
-  **Messaili, B.1995.** Systématique des spermaphytes. Alger : OPU, 91p.
-  **Messaoudene, M. Loukkas, A. Janin G. Tafer, M. Dilem, A. Goucalez J.** Propriétés physiques du bois d’éclaircie des cèdres (*Cedrus atlantica*) contenant du bois de compression, provenant de l’Atlas du Djurjura (Algérie). *Ann. For, Sci. INRA et EDP sciences.* **2004.** n°61: 589-595.

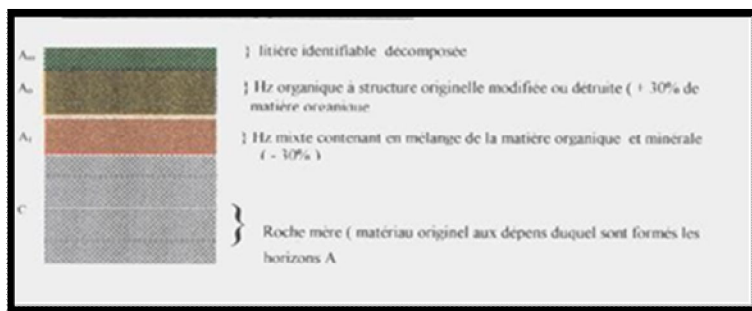
- 📖 **M'herit, O. Benzyane, M. 2006.** Le cèdre de l'Atlas : mémoire du temps. Maroc : Mardaga. 228p.
- 📖 **Morot-Gaudry, J-F. 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes : aspects physiologiques, biochimiques et moléculaires. Paris : INRA. 422p.
- 📖 **Mouna, M.** Phaenops marmottani Fairmaire (Coleoptera Buprestidae) xylophage primaire pour le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Institut scientifique, Rabat (Maroc)*. **2009**. n°31 : 85-90.
- 📖 **Naggat O.** Etude symptomatique du dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Parc National de Theniet-El-Had (W. Tissemsilt). Thèse de Magister en foresterie, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, **(2010)** :157pp+annexe.
- 📖 **Nedjahi A., Helis L., Sai K.** Dépérissement de la cédraie des Aurès. Premier constat, *la forêt méditerranéenne*. **2008**. n°7 :13-17.
- 📖 **Nageleisen, LM.** Dépérissement actuel des chênes. *Revue forestière française*. XLVI, numéro spécial sous titre « les dépérissements d'arbres forestiers : cause connues et inconnues » . **1994** : 504-511.
- 📖 **Nageleisen, LM. 2008.** Actualités sur le dépérissement du chêne. France : DSF, 7p.
- 📖 **Ozenda P. 1982.** les végétaux dans la biosphère. Paris : Doin éditeur, 431p.
- 📖 **Palm, R. 1977.** dendrométrie. Alger : INA, 112p.
- 📖 **Parde, J. Bouchon, J. 1988.** Dendrométrie. France : Nancy, ENGREF, 328p.
- 📖 **Philips, R. 1987.** Les arbres. Paris : Bordas. 160p.
- 📖 **Pijut M.** Cedrus – The true cedars. *Journal of arboriculture, Paula*. **2000**: 218- 224.
- 📖 **P.N.I. 2006.** Inventaire de la biodiversité. Rapport de synthèse, 107p.
- 📖 **P.N.T.E.H. 2006.** Atlas des parcs nationaux algériens. Alger : ED-DIWAN, 98p.
- 📖 **Ponge, JF. Bartoli, M.** L'aire du sol, c'est la vie des forêts, *Forêt privée*. **2010**. n°307, version1 : 63-70.
- 📖 **Prevosto, B.** Analyse fonctionnelle des boisements spontanés et modélisation de leur développement. Application aux peuplements de *Betula pendula* (ROTH) et *pinus sylvestris* (L) en montagne volcanique (la chaîne des pays, massif central). Thèse de doctorat, université de droit, d'économie et des sciences, Marseille (aix-Marseille III), **(2010)** : 201pp
- 📖 **Quezel, P. Santa, S. 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Paris : Centre National de la recherche scientifique, 565 p.

-  **Rahmani, Y.** Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région de Batna : cas de la cédraie de Belezma. Thèse de magister, Université El Hadj Lakhdar, Batna, (2010) : 114pp.
-  **Ramade, F. 1981.** Ecologie des ressources naturelles. Paris : MASSON, 322p.
-  **Ramade, F. 2003 (a).** élément d'écologie. Ecologie fondamentale. Paris : DUNOD. 690p.
-  **Ramade, F. 2003(b).** élément d'écologie. Ecologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère. Paris : MCGRAW-HILL, 452p.
-  **Requardt, A. Poker, J. Köhl, M. Schuck, A. Jausse, G. Mansar, R. Paivinen, R. 2007.** Etude de faisabilité sur les moyens de lutte contre le dépérissement forestier dans l'union Européenne. BFH, EFI, 84p.
-  **Richter, F. 2001.** l'inventaire forestier de la wilaya de Guidimakha : méthodologie et instruction de l'inventaire. Mauritanie : GTZ/ECO.IRAM, 36p.
-  **Riou-Nivert, P.2001.** Les résineux. Tome 01 : Connaissance et reconnaissance. Paris : I.D.F, 253p.
-  **Riou-Nivert, P.2005.** Les résineux. Tome 02 : Ecologie et pathologie. Paris : I.D.F, 447p.
-  **Ripert, C. Boisseau, B. 1994.** Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en provenance. France : Cemagref, 171p.
-  **Rondeux, T, Thill, A. 1989.** L'estimation de la productivité des peuplements d'épicéa commun (*Picea abies* Karst) en Ardenne. Belgique : IRSIA, 18p.
-  **Rondeux, J. 1999.** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Belgique : Les presses agronomiques de Gembloux, 251p.
-  **Rondeux J.** ressources naturelles et inventaires intégrés : la logique du possible. *Les cahiers forestiers de Gembloux.* 2002. n°12 : 16p.
-  **Rondeux, J. Lecomte, H. Florquin, P. Thiron, M.** L'inventaire permanent des ressources ligneuses de la région Wallonne : principaux aspects méthodologiques. *Les cahiers forestiers de Gembloux.* 2002. n°19 :22p.
-  **Rushforth, K. 2001.** Les arbres. Reconnaître les arbres sans peine. Paris: Nathan / H.E.R., 287p.
-  **Sabatier, S. Barthelemy, D.** Premières observations sur l'architecture du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Endl) Manetti ex carrière (Pinaceae). *Ann. Rech. For. Maroc.* 1994. Vol 2, 27: 364-379.
-  **Sari, D.1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger: SNED, 623p.

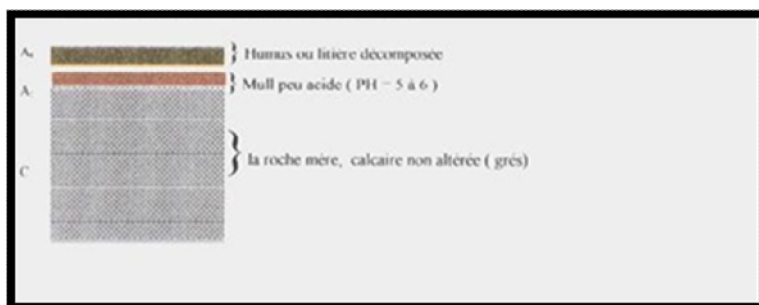
- 📖 **Sarmoum, M.** Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) diagnostic dendroécologique et climatique de la cédraie de Theniet el Had (Wilaya de Tissemsilt). Thèse magister en sciences de la nature. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, (2008) :114pp.
- 📖 **SCPID. 2002.** l'hydraulique au service de la protection des forêts contre l'incendie. Rapport d'étude. France : Ministère de l'agriculture et de la pêche, 63p.
- 📖 **Seltzer, R. 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger : Imp.Latypo et Jules Carbone. Réunion, 220p.
- 📖 **Thibaut, A. Classens, S. Rondeux, J.** Etablissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus excelsior* L) en région limono-calcaire du Condroz et de l'entre-Sambre-Meuse. *Les cahiers forestiers de Gembloux.* 2002. n°07 : 18p.
- 📖 **Toth, J.** Contribution à l'étude de la fructification et la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le sud de la France. Thèse doctorat, faculté des sciences techniques, Marseille, (1978) : 136pp
- 📖 **Toth J.** Le cèdre de l'Atlas en France : croissance et production dans les dispositifs anciens. *Ann. Rech. For. Maroc.* 1994. T (27): 321-335.
- 📖 **Verrue, V. 2001.** Les inventaires de la gestion dans les plantations résineuses. Belgique : Note technique forestière de Gembloux n°2, 12p.
- 📖 **Zaremski, A. Bakkali, YS. Chaintreuil, C. Abbas Y. Abourouh, M. Ducouso, M. Baudasse, C. 2006.** Caractérisation moléculaire du M'jej, agent de dépérissement des cédraies du Maroc (résumé). *Bois et forêt des tropiques.* n° 291:67-73
- 📖 **Zedek, M.** Contribution à l'étude de la productivité du *Cedrus atlantica* Manetti (cèdre de l'Atlas) dans le parc national de Theniet El Had. Thèse magister, INA, Alger, (1993) : 175pp.
- 📖 **Zitoun, M-S., Khammar, F., Bencharif, M., Ghazi, Z., 2004.** Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification. Algérie : DGF. 35p.

# Annexes

ANNEXE 3.1 : différents types des sols dans le parc national de Theniet el Had



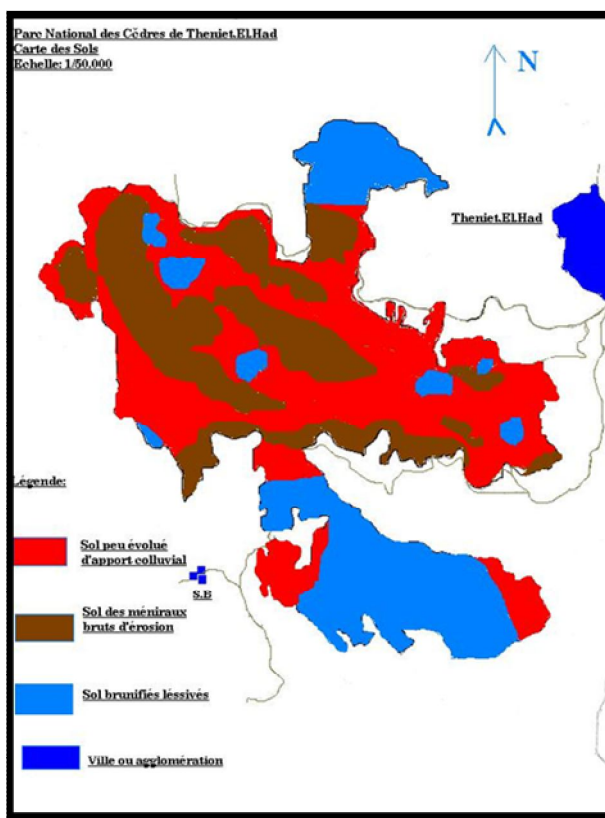
Sol peu évolué d'apport colluvial.



Sol des minéraux bruts d'érosion.



Sol brun lessivé.



Carte pédologique du parc national de THENIET ELHAD (PNTN).

Source : Direction des forêts du parc national de Theniet El Had.

### ANNEXE 3.2 : Liste des arbrisseaux et des herbacées du parc national de Theniet el Had

#### Arbrisseaux :

Nom commun	Nom Latin	Famille	Statut
CALYCOTOME soyeux	<b>Calicotome spinosa LINK</b>	<b>Fabacées</b>	
SMYRNUIM Maçeron	<i>Smyrnum olusatrum</i>	Apiacées	
SAINT BOIS	<i>Daphne gnidium L</i>	Thymélacées	
FRAGON piquant	<i>Ruscus aculeatus L</i>	Liliacées	
ASPHODELE à petits fruits	<i>Asphodelus microcarpa GAY</i>	Liliacées	
FERULE Commune	<i>Ferula communis L</i>	Apiacées	
DISS	<i>Ampelodesma mauritanica</i>	Poacées	
ASPERGE à feuilles aiguës	<i>Asparagus acutifolius</i>	Liliacées	
CHEVREFEUILLE d'Etrurie	<i>Lonicera etrusca</i>	Caprifoliacées	
CYTISE à 03 fleurs	<i>Cytisus villosus POURR.</i>	Fabacées	
LIERRE grimpant	<i>Hedera helix L</i>	Araliacées	
FOUGERE aigle	<i>Pteris aquilina L</i>	Polypodiacées	
THAPSIA velue	<i>Thapsia villosa.L</i>	Apiacées	



**Herbacées:**

<i>Nom commun</i>	<i>Nom Latin</i>	<i>Famille</i>	<i>Statut</i>
RENONCULE Boursouflée	<i>Ranunculus bullatus L.</i>	Renonculacées	
RESEDA Blanc	<i>Reseda alba L.</i>	Résédacées	
GENET à 03 pointes	<i>Genista tricuspidata DESF</i>	Fabacées	
BUPLEVRE à feuilles rondes	<i>Bupleurum rotundifolium L.</i>	Apiacées	
ARISTOLOCHIA à feuilles rondes	<i>Aristolochia rotunda L.</i>	Aristolochiacées	
CISTE à feuilles de sauge	<i>Cistus salviaefolius</i>	Cistacées	
LAVANDE Stechade ( des Maures)	<i>Lavandula stoechas L.</i>	Lamiacées	
GARANCE Sauvage	<i>Rubia peregrina L.</i>	Rubiacees	
SAUGE Officinale	<i>Salvia officinalis L.</i>	Lamiacées	
BOURRACHE Commune	<i>Borago officinalis L.</i>	Boraginacées	
PHLOMIS de Bove	<i>Phlomis bovei</i>	Lamiacées	<b>E</b>
SOUCI des champs	<i>Calendula arvensis L.</i>	Astéracées	
PAQUERETTE sauvage	<i>Bellis sylvestris CYR.</i>	Astéracées	
ERODIUM Fausse-mauve	<i>Erodium malacoides L'HER</i>	Géraniaées	
LISERON des champs	<i>Convolvulus arvensis L.</i>	Convolvulacées	
ORCHIS Bouffon	<i>Orchis morio L.</i>	Orchidacées	<b>P</b>
ORCHIS Singe	<i>Orchis simia LAM.</i>	Orchidacées	<b>P</b>
ORCHIS Papillon	<i>Orchis papilionacea L.</i>	Orchidacées	<b>P</b>
ORCHIS d'Italie	<i>Orchis italica POIR.</i>	Orchidacées	<b>P</b>
ORNITHOGALE des montagnes	<i>Ornithogalum montanum</i>	Liliacées	
CENTAUREE à tête ronde	<i>Centaurea sphaerocephala L.</i>	Astéracées	
VESCE Hybride	<i>Vicia hybrida L.</i>	Fabacées	
LAGURE OVOIDE ( Queue de lièvre)	<i>Lagurus ovatus L.</i>	Poacées	
HYOSERIS rayonnante	<i>Hyoseris radiata L.</i>	Astéracées	
LOBULAIRE maritime	<i>Lobularia maritima L.</i>	Brassicacées	
MARRUBE à faux alysse	<i>Marrubium alysson L.</i>	Lamiacées	<b>P</b>
ARUM à capuchon	<i>Arisarum vulgare L.</i>	Aracées	
IRIS sisyrinque	<i>Iris sisyriuchium L.</i>	Iridacées	
GOUTTE de sang	<i>Adonis annua L.</i>	Renonculacées	
SAUGE Verveine	<i>Salvia verbeneca. L.</i>	Lamiacées	
HELIANTHEME à feuilles de lavande	<i>Helianthemum lavandufolium.M</i>	Cistacées	
CAPILLAIRE	<i>Asplenium obovatum. L.</i>	Aspléniacées	
ARGYROLOBE de Linné	<i>Cistus argenteus. L.</i>	Fabacées	
HELIANTHEME tête de chat	<i>Helianthemum caput-felis . BOISS</i>	Cistacées	
SILENE glabre	<i>Silene glaberrima</i>	Caryophyllacées	<b>P-E</b>
SILENE de Gharbe	<i>Silene gharbensis</i>	Caryophyllacées	<b>P-E</b>
SILENE vulgaire	<i>Silene vulgaris. L.</i>	Caryophyllacées	
TREFLE étoile	<i>Trifolium stellatum. L.</i>	Fabacées	
CHRYSANTHEME des moissons	<i>Chrysanthemum segetum.L</i>	Astéracées	



ANNEXE 5.1 : Matériel d'analyses physico-chimique du sol



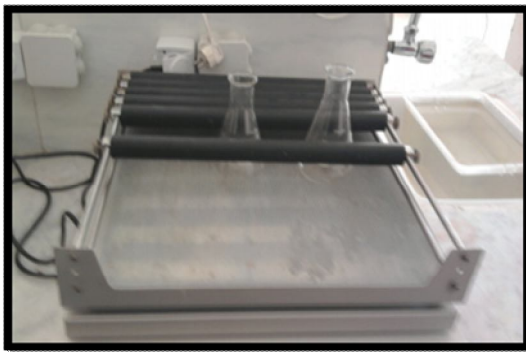
Etuve



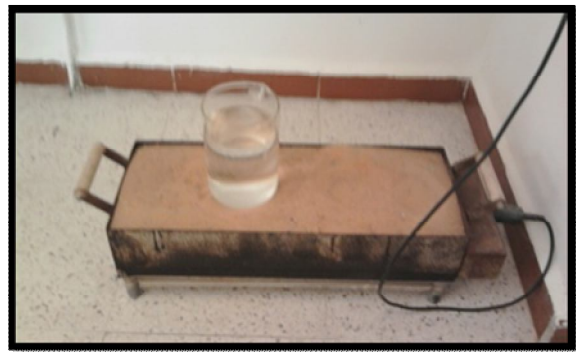
Plaque chauffante



Calcimètre de BERNARD



Agitateur



Bain de sable



pH mètre



Dessiccateur



Balance de précision



Appareil à distillation (Kjeldahl)



Pipette de Robinson



Pipette de titrage



Pénétrömètre

## ANNEXE 5.2 : Analyses physico-chimiques des échantillons des sols

Cantons	Surface (ha)	N° d'échantillon	CaCO3	H (%)	Texture	N (%)	MO (%)	C/N	pH eau	PH KC l	Tassement du sol (kg/cm <sup>2</sup> )
PEPINIERE	82	01	0	16.93	SL	11.6	5.06	1.7	7.8	6.64	8.1
		02	0	28.44	SL	1.8	4.74	2.5	7.63	6.31	7.9
		03	0.6	22.73	SL	9.1	3.18	5.31	7.5	6.03	8.1
		04	0	21.29	SL	12.3	4.18	9.77	6.43	6.39	8
		05	0.6	16.07	SL	7	2.99	11.9	7.5	6.77	7.3
		06	0.4	21.14	SL	8.4	4.23	14.7	6.83	6.2	7.5
		07	0.2	9.78	SL	19.3	5.46	15.33	7.7	6.06	8.8
		08	0.2	29.37	S	30.1	1.29	15.6	7.55	6.62	8.8
		09	0.2	30.58	SL	24.5	6.2	16.5	7.46	6.82	14.5
		10	0.4	20.67	SL	3.5	5.88	17.2	7.8	7.62	14
GUEROUAOU	253	11	0.19	23.15	S	23.1	6.91	17.4	6.94	6.57	7
		12	0.58	20.72	S	25.9	8.15	17.6	6.99	6.58	7.5
		13	0.38	31.74	S	29.8	7.99	18.3	6.64	5.91	16.1
		19	0.38	35.42	SL	32.2	0.92	25.3	6.39	5.99	6.3
PRE-BENCHOORA	252	14	0.77	16.29	SL	9.8	4.02	18.4	7.01	6.36	15.2
		15	0.58	23.17	SL	12.9	4.08	19.8	6.13	6.06	11.5
		16	0.38	24.12	SL	12.6	6.66	20.4	6.78	6.31	7.3
		17	0.38	13.3	S	3.5	3.2	23.9	6.75	6.42	7.5
		18	0.58	26.17	SL	25.2	7.64	25	6.13	6.06	7.7
		20	1.35	26.03	SL	28.4	8.41	29.3	5.92	5.57	6.8
		21	0	24.73	SL	22.1	4.54	30.7	6.89	6.09	6.8

## **Résumé :**

Le présent travail relève de l'étude éco-pédologique du dépérissement de cèdre de l'Atlas dans le parc national de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt). Le dépérissement des arbres forestiers est un phénomène complexe dont les facteurs responsables peuvent être très diversifiés : biotiques, abiotiques ou anthropiques. A cet effet, nous avons recherché, sur la base de 21 placettes circulaires concentriques de 2, 5 et 10 ares, d'éventuelles relations entre le taux de dépérissement et les paramètres édaphiques (granulométrie, pH, matière organique, C/N, calcaire total et humidité) d'une part et les facteurs d'environnement (pente, altitude, topographie et exposition) d'autre part. Le sol est de type sablo-limoneux, avec un pH de 5.92 à 7.8, non salé, riche en matière organique (13.38 %), pauvre en azote et non calcaire (0.58%).

## **Mots clés :**

Cèdre de l'atlas, Dépérissement, Parc national de Theniet El Had, Propriétés physico-chimiques du sol, facteurs stationnels.

## **Abstract:**

This work focuses on eco-pedological study of dieback Atlas cedar. It was made in the National Park Theniet El Had (wilaya Tissemsilt) on decayed subjects and healthy subjects. Dieback of forest trees is a complex phenomenon whose responsible factors can be very diverse. To that end, we sought the relationship between the main soil parameters (particle size, pH, organic matter, C / D, total calcium and humidity) and environmental factors (slope, altitude, topography and exposure) with the decline phenomenon. About the granulometric aspect, our soil type is sandy loam with a pH range from 5.92 to 7.8, unsalted, organic-rich (13.38%), low in nitrogen and non-calcareous (0.58%).

## **Key words:**

Atlas cedar, Decline, Theniet El Had, Physico-chemical properties of soil, site factors.

## **الملخص:**

يركز هذا العمل على دراسة العوامل المؤثرة على طبيعة التربة وذلك بالتعرف على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لغابة الأرز الأطلسي بالحظيرة الوطنية لثنية الحد. تعتبر ظاهرة اضمحلال شجرة الأرز ظاهرة معقدة و لم يتم بعد التعرف عن العوامل المسؤولة عنها. ولهذه الغاية، سعينا لمعرفة العلاقة بين خصائص التربة الرئيسية (حجم الجسيمات، درجة الحموضة، المواد العضوية، C/N، الكالسيوم الكلي والرطوبة) والعوامل البيئية (المنحدر والارتفاع، والطوبوغرافيا والتعرض) مع ظاهرة الاضمحلال. فأظهرت النتائج أن التربة ذات خصائص رديئة و المتمثلة في: ارتفاع درجة الحموضة، نفاذية كبيرة، نشاط بكتيري ضعيف و غير كلسية.

## **الكلمات المفتاحية :**

الأرز الأطلسي، الذبول، الحظيرة الوطنية لثنية الحد، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، المتغيرات المحطية.