

République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche Scientifique



Université de Batna  
Faculté des sciences

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

# MEMOIRE

DE MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

SPECIALITE : FORESTERIE

Sujet :

Influence de quelques variables du milieu sur la  
régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus  
atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Batna)

Présenté par :

**NEZAR KEBAILI Miloud**

Soutenu le : 24 /06/2009

Devant le jury :

Mr. SAADOUNE T.	Prof.	Université de Batna :	Président
Mr. OUDJEHIH B.	Prof.	Université de Batna :	Rapporteur
Mr. BENTOUATI A.	M.C.	Université de Batna :	Examineur
Mr. MALKI H.	Dr. C.C	Université de Batna	Examineur

Année universitaire: 2008-2009

## DEDICACES

*Je dédie ce travail à :*

*La mémoire de ma mère et reconnaissance à mon père*

*Ma femme et mes enfants,*

*Mes frères et sœurs*

*Tous les enseignants du Département d'Agronomie et Vétérinaire*

*Tous les forestiers*

# REMERCIEMENTS

*Ce mémoire a été réalisé au Département d'Agronomie de l'Université de Batna.*

*La tradition veut qu'à l'issue de chaque travail on remercie les personnes qui y ont contribué de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre.*

*Tout d'abord je remercie Dieu notre créateur, pour tout.*

*En cette circonstance, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur OUDJEHIIH B., pour avoir su diriger et superviser ce travail, tout au long de sa progression.*

*Je le prie de trouver ici l'expression de ma haute gratitude.*

*Monsieur BENTOUATI A., Maître de conférences à l'université de Batna m'a beaucoup aidé en mettant à ma disposition sans retenue aucune, une riche bibliographie sur le cèdre et a bien voulu accepter de faire partie du jury.*

*Je le remercie vivement pour sa générosité, sa sympathie, et son esprit très humain.*

*Monsieur SAADOUN T., Professeur également à l'Université de Batna, m'honore en acceptant de présider le jury.*

*Qu'il reçoive toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements*

*Je suis très reconnaissant à Monsieur MALKI H., Docteur en sciences forestières à l'université de Batna qui a bien voulu juger ce travail.*

*Qu'il me soit permis également de remercier en cette circonstance, tous les enseignants du département d'Agronomie et vétérinaire de l'Université de Batna, pour leurs encouragements et leur soutien moral.*

*Enfin, j'exprime toute ma sympathie à tout le personnel administratif de la faculté des sciences et du département d'Agronomie et vétérinaire.*

*Je leur dis à tous merci.*

# SOMMAIRE

	page
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>I : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE CEDRE.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1- Caractéristiques générales du cèdre.....</b>	<b>3</b>
1.1.1-Ambigüité taxonomique et variation inter et intraspécifique.....	3
1.1.2- Aire naturelle du cèdre.....	7
1.1.3- Types bioclimatiques du cèdre du pourtour méditerranéen.....	9
1.1.4- Intérêts.....	10
1.1.5- Ravageurs identifiés dans les aires d'origine ou d'introduction.....	11
<b>1.2- <i>Cedrus atlantica</i> Manetti.....</b>	<b>13</b>
1.2.1- Situation géographique actuelle.....	13
1.2.1.1- Aire naturelle détaillée.....	13
1.2.1.1.1- Au Maroc.....	13
1.2.1.1.2- En Algérie.....	14
1.2.1.2- Aire d'introduction.....	15
1.2.1.2.1- En France.....	16
1.2.1.2.2- En Bulgarie.....	16
1.2.1.2.3- En Hongrie.....	17
1.2.1.2.4- En Tunisie.....	17
1.2.1.2.5- En Italie.....	17
1.2.1.2.6-Autres.....	17
1.2.2- Principales caractéristiques dendrologiques.....	18
1.2.3- Caractéristiques phytosociologiques et écologiques.....	21
1.2.3.1- Principales associations végétales.....	21
1.2.3.2- Bioclimat et limites altitudinales.....	21
1.2.3.3- Sols.....	23
1.2.4-Croissance, production et productivité.....	23
1.2.4.1-Croissance.....	23
1.2.4.1.1- Débourrement.....	23
1.2.4.1.2-Croissance longitudinale.....	24
1.2.4.1.3-Croissance radiale.....	25
1.2.4.2-Production et productivité.....	25

	page
1.2.5- Etats des connaissances sur la régénération naturelle.....	26
1.2.5.1-Fructification, production et germination de la graine.....	29
1.2.5.2-Installation et maintien des semis.....	30
1.2.6- Le dépérissement.....	32
1.2.6.1-Le dépérissement forestier en général.....	32
1.2.6.2-Le dépérissement au Maroc et en Algérie.....	35
1.2.6.2.1-Au Maroc.....	35
1.2.6.2.2- En Algérie.....	36
1.2.6.2.3- Synthèse des facteurs intervenant.....	38
1.2.7-Impact du changement climatique sur l'avenir des forêts méditerranéennes et du cèdre de l'Atlas de l'Afrique du nord.....	40
<b>II- MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>44</b>
<b>2.1- Situation et caractéristiques de la zone d'étude.....</b>	<b>44</b>
2.1.1-Situation géographique.....	44
2.1.2-Caractéristiques.....	44
2.1.2.1- Le Parc de Belezma.....	44
2.1.2.2-La zone d'étude.....	45
2.1.2.2.1-Caractéristiques orographiques.....	45
2.1.2.2.2-Végétation.....	45
2.1.2.2.3- Recouvrement du sol.....	46
2.1.2.2.4- Géologie et sol.....	46
2.1.2.2.5- Climat.....	47
2.1.2.2.5.1-Données climatiques.....	47
2.1.2.2.5.2-Synthèse du climat.....	49
<b>2.2- Matériel et méthodes.....</b>	<b>52</b>
2.2.1-Dispositif d'échantillonnage.....	52
2.2.2-Paramètres pris en compte et moyens d'évaluation.....	52
2.2.3- Outil statistique.....	53
<b>III- RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1- Analyse de l'influence individuelle des différents facteurs.....</b>	<b>54</b>
3.1.1- Influence de l'exposition.....	54
3.1.2- Influence de l'altitude sur la densité de régénération.....	57
3.1.3- Influence du taux de recouvrement du sol par la litière.....	59
3.1.4- Influence du couvert végétal.....	61
3.1.5- Influence de la pente.....	65
3.1.6- Influence de la fructification.....	66

	Page
3.17- Influence de la profondeur.....	67
<b>3.2- Approche multidimensionnelle par l'ACP.....</b>	<b>68</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>74</b>

## LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1 : Quelques traits de distinction des 4 espèces de cèdre.....	4
Tableau 2 : Superficies des différents îlots de cèdre de l'Atlas des Aurès (ha).....	15
Tableau 3: Caractéristiques ombrothermiques des différents blocs de cédraies naturelles du Maghreb.....	22
Tableau 4 : Conditions défavorables et favorables à la croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas en Provence Française.....	24
Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes sur les 50 premiers cm du sol à Telmet.....	47
Tableau 6 : Caractéristiques des postes météo proches du site.....	47
Tableau 7 : Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières des précipitations.....	48
Tableau 8 : Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières des températures.....	49
Tableau 9 : Valeurs de l'Indice de sécheresse estivale en fonction de l'exposition et l'altitude.....	50
Tableau 10 : Densités moyennes des différentes classes d'âge des semis sur l'exposition Nord et sud.....	55
Tableau 11 : Densité moyenne des classes d'âge de semis aux différentes altitudes.....	58
Tableau 12 : Valeur des densités de semis par classe d'âge et du recouvrement du sol par la litière.....	59
Tableau 13 : Valeurs moyennes des taux de recouvrement végétal en fonction de l'exposition, de l'altitude et de la strate.....	61
Tableau 14 : Contribution de l'augmentation d'un % de la couverture végétale à l'amélioration de la densité des semis de cèdre, exposition sud et Nord confondues.....	63
Tableau 15 : Contribution de l'augmentation d'un % de la couverture végétale à l'amélioration de la densité des semis de cèdre, exposition au Nord et au Sud .....	63
Tableau 16 : Qualité de représentation des variables sur les axes 1 et 2 et leurs contributions.....	69

## LISTE DES FIGURES

	page
<b>Fig.1</b> : Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre.....	5
<b>Fig. 2</b> : Idéogrammes des 4 espèces de <i>cedrus</i> .....	6
<b>Fig.3</b> : Distance génétique entre les 4 espèces de cèdre, basée sur le polymorphisme de 4 enzymes.....	6
<b>Fig.4</b> : Distance génétique entre 21 populations de cèdre.....	6
<b>Fig.5</b> : Distribution naturelle du cèdre autour du bassin méditerranéen.....	9
<b>Fig.6-</b> Répartition du cèdre de l’Atlas en Afrique du Nord.....	13
<b>Figure 7</b> : Localisation des îlots de <i>Cedrus atlantica</i> en Algérie.....	14
<b>Fig.8</b> : Rameau avec des aiguilles en bouquets, Cône et jeune plantule de <i>C. atlantica</i> ..	18
<b>Fig.9</b> : Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l’Atlas.....	19
<b>Fig.10</b> Cycle évolutif de la reproduction du cèdre de l’Atlas.....	20
<b>Fig 11</b> : Les principaux facteurs intervenant dans le mécanisme de la régénération naturelle du cèdre de l’Atlas et leurs interactions.....	28
<b>Fig.12</b> : Les facteurs prédisposant, d’incitation et aggravant contribuant à la mort des arbres forestiers.....	33
<b>Fig.13</b> : Effet de la sécheresse sur le dépérissement des arbres.....	35
<b>Fig.14</b> : Vue du dépérissement du cèdre de l’Atlas dans le massif de Ouled Yagoub.....	37
<b>Fig.15</b> : Vue comparée d’un pied de cèdre de l’Atlas sain et d’un autre en voie de dessèchement dans la cédraie de Belezma.....	37
<b>Fig.16</b> : Prévision de l’aire de répartition potentielle du cèdre de l’Atlas par le modèle CARAIB sur la base du scénario du réchauffement du climat A2 du GIEC.....	42
<b>Fig.17</b> : Situation de la zone d’étude.....	44
<b>Fig.18</b> : Etagement de la végétation au chélia.....	46
<b>Fig.19</b> : Situation des postes météorologiques disponibles par rapport au site d’étude...	47
<b>Fig.20</b> : Variation des précipitations annuelles de la station de Chaaba.....	48
<b>Fig.21</b> : Diagramme ombrothermique (Station Chaaba, 1975-1993).....	50
<b>Fig.22</b> : Etage bioclimatique des cédraies du Belezma et de la station météorologique de Chaaba et zone d’étude).....	51
<b>Fig.23</b> : Comparaison de la densité moyenne des classes d’âge de semis dans l’exposition Nord et Sud .....	55
<b>Fig.24</b> : Comparaison de la densité moyenne des classes d’âge de semis dans les différentes altitudes.....	58
<b>Fig.25</b> : Evolution de la densité de semis de différentes classes d’âge en fonction du taux de couverture du sol par la litière.....	60

## LISTE DES FIGURES (suite)

	page
<b>Fig.26</b> : Tendance de l'évolution de la densité de semis de différents âges en fonction du taux de recouvrement du sol par la strate arbustive.....	62
<b>Fig.27</b> : Tendance de l'évolution de la densité de semis de différents âges en fonction du taux de recouvrement du sol par la strate arborée.....	63
<b>Fig.28</b> : Influence de la pente sur la répartition des semis naturels jeunes et âgés de cèdre de l'Atlas.....	65
<b>Fig.29</b> : Influence de la fructification sur la répartition des semis naturels de cèdre .....	67
<b>Fig.30</b> : Influence de la profondeur du sol sur la répartition des semis naturels de cèdre	68
<b>Fig.31</b> : Projection des variables et des individus sur le plan 1-2.....	69

# INTRODUCTION GENERALE

L'espèce végétale ici étudiée, *Cedrus atlantica* ou cèdre de l'Atlas ou encore Arz , Meddad ou Bignoun (en arabe) et Idhguel (en Berbère), n'est certes pas la plus importante en Algérie (autour de 30.000 ha d'après Boudy, 1950 et Harfouche et Nedjahi, 2003) et même au Maroc ( près de 132.000 à 162.000 ha selon M'hirit, 1994a et Messat, 1994), mais c'est indiscutablement la plus prestigieuse.

Toutes espèces confondues, le cèdre est une essence noble, voire un symbole de fierté régionale et nationale, notamment pour les pays constituant son aire naturelle.

Cette légitime célébrité, le cèdre la doit à son histoire culturelle très ancienne et riche (Anonyme, 2001 ; Pijut, 2000), à son important rôle économique et écologique en milieu montagneux (Production de bois de qualité recherchée et de divers produits pour de multiples usages, protection des sols, milieu de prospérité d'une riche biodiversité animale et végétale) (Demarteau, 2006, Anonyme, 2001), à sa rusticité et à son ambiance esthétique et attrayante pour le touriste (Toth, 1990a ; Anonyme, 2001 ; Pijut, 2000).

C'est sans doute pour toutes ces raisons que l'Algérie considère maintenant que le cèdre de l'Atlas, comme d'ailleurs beaucoup d'autres espèces végétales est un don du ciel qui mérite d'être protégé avec soin pour les générations futures (Décret n° 93-285 du 23 /11/1993 fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées).

A l'heure actuelle, la situation du cèdre de l'Atlas dans son aire d'origine est bien triste. Plusieurs cédraies marocaines et algériennes sont menacées de disparition (Quezel, 1998 ; Bentouati, 2008 ; Ezzahiri et al. 1994). Cette situation résulte de la régénération de plus en plus compromise (Lamhamedi et Chbouki, 1994) , des attaques des ravageurs des feuilles et des graines et du manque de traitements sylvicoles adéquats.

Le phénomène de dépérissement grandissant auquel sont confrontés les peuplements notamment âgés, est très préoccupant, d'autant plus que ces causes sont multiples et peu connues, à l'exception du stress hydrique sur lequel il y a un consensus (Zine El abidine, 2003 ; Bentouati, 2008 ; Moukouri Dloumbri, 2007).

Le réchauffement climatique, nettement ressenti ces dernières décennies par la perturbation quantitative et qualitative des précipitations et l'augmentation de la température estivale, est particulièrement inquiétant pour la survie et le maintien naturel de nombreuses espèces forestières dont le cèdre de l'Atlas (Demarteau, 2006 ; Cheddadi, 2006 ; Riou-Nivert, 2007 ; Varela, 2008 ; Micaux , 2008 et Dentand, 2008).

On sait que la régénération naturelle est la garantie du renouvellement à moindre coût et donc de la pérennité des peuplements (Aussenac, 1984). Il est donc impératif de la

préservé et de la renforcer. Or, le succès des actions d'amélioration à entreprendre dépend de la maîtrise des paramètres et des mécanismes en jeu.

De nombreux travaux de terrains et de laboratoire ont été entrepris pour cerner les facteurs de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (conditions de germination, fructification, viabilité des graines, effet de la végétation herbacée, profondeur et travail du sol, exposition, altitude, facteurs climatiques, variabilité génétique, système racinaire, etc.), on peut citer Le Poutre et Pujos (1964), Le Poutre (1966), Toth (1973a, 1988 et 1990c), Aussenac (1984), Malki (1992), Saadi (1992), Benabid, (1994), Ezzahiri et al. (1994), Ducrey, 1994 ; Lamhamedi et Chbouki (1994), Derouiche (1999), Ezzahiri et Belghaei, 2000, Khanfouci, (2005) et Belouaar (2006).

Ces investigations suggèrent dans leur ensemble que la régénération naturelle du cèdre est un phénomène écologique complexe où la part du climat (stress hydrique en été et le froid en hiver) est importante. Cependant, dans les détails les différents résultats obtenus sont difficilement comparables, car ils varient énormément avec les facteurs stationnels. Il est donc nécessaire de multiplier les travaux de recherche dans les différentes zones en vue d'accumuler davantage de données permettant de mieux cerner l'impact des différentes composantes du milieu sur le succès de la régénération.

C'est précisément dans cette optique que ce travail est entrepris dans le massif de Belezma abritant la plus importante cédraie algérienne. Il se propose de contribuer à l'enrichissement des connaissances sur le rôle de certains facteurs, tels l'exposition, l'altitude, la pente, le couvert végétal et la litière dans la survie et le maintien des semis de différentes classes d'âge. Ainsi, nous présentons dans cette étude :

- ✓ Une revue bibliographique permettant de se renseigner sur l'état des connaissances acquises sur les différents aspects du cèdre.
- ✓ La démarche expérimentale précisant les conditions d'étude et la méthodologie suivie
- ✓ La présentation des résultats obtenus et leurs commentaires.

# I : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE CEDRE

## 1.1- Caractéristiques générales du cèdre

### 1.1.1-Ambiguïté taxonomique et variation inter et intraspécifique

Le Cèdre est rangé dans :

- Embranchement : Spermatophyte
- Sous-embranchement : Gymnosperme
- Classe : *Coniferopsida*
- Ordre : *Pinales*
- Famille : *Pinaceae*
- Sous famille : *Abietoideae*
- Tribue : *Lariceae*
- Genre : *Cedrus TREW*

Cependant, bien que le cèdre soit connu depuis longtemps, sa systématique demeure encore discutable. Le problème a été évoqué entre autres par Davis (1965), Quezel (1998) et Pijut (2000). En dehors de l'espèce *Cedrus libani*, les autres sont considérées tantôt comme des espèces distinctes, tantôt comme des sous espèces de *C. libani*. Actuellement, les forestiers et les écologistes admettent l'existence de 4 espèces en prenant soin de préciser parfois leur nom ancien (Arbez et al. 1978 ; Debazac, 1964 ; Pradal, 1979 ; M'hirit, 1994a ; Ducrey, 1994 ; Aussenac, 1984 ; Quezel, 1998 ; Scaltsoyiannes, 1999 ; Toth, 1982-1984 ; Dagher-Kharrat, 2001 et Bariteau et al., 2007).

- *Cedrus atlantica* Manetti ou cèdre de l'Atlas
- *Cedrus libani* Loudon ou cèdre du Liban
- *Cedrus brevifolia* Henry ou cèdre de Chypre
- *Cedrus deodara* Loud ou cèdre de l'Himalaya

De ces 4 espèces, *Cedrus deodara* est la plus distinctive. Elle est aussi la plus répandue naturellement, alors que *Cedrus atlantica* est la plus propagée artificiellement.

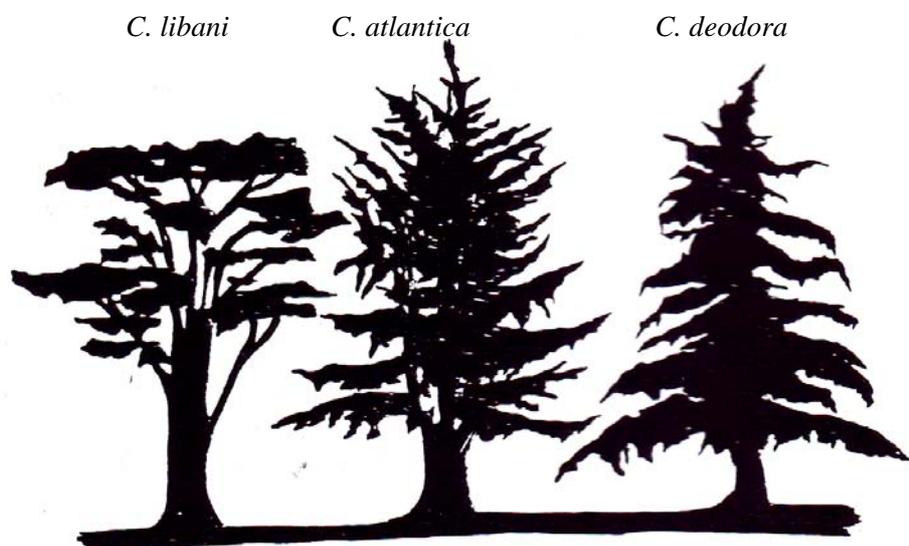
Différents auteurs ont tenté de différencier entre ces 4 espèces. Certains ont utilisé des critères morphologiques habituels (longueur des aiguilles, les dimensions des cônes et des graines, époque de pollinisation, durée de maturité, croissance, résistance au stress hydrique, pubescences, lignes de stomates, nombre d'aiguilles / rosette, date et durée de débourrement (Arbez et al. 1978 , Farjon, 1990 in Pijut, 2000 ; Pradal, 1979 ; Toth, 1982-1984 et 1972; Miller, 1986 ; Sabatier et al., 2003) qui sont en fait influencés par le milieu et donc moins fiables.

Quelques traits de distinction entre les 4 espèces sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Quelques traits de distinction des 4 espèces de cèdre

Critères	<i>Cedrus deodora</i>	<i>Cedrus brevifolia</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus libani</i>	Auteur
<b>Cônes femelles</b>	Non ombiliqués au sommet.	Ombiliqués au sommet			Quezel, (1998 )
	Grands (9-15 cm).	Long de moins 8 cm	Longs de 7-10 cm	Longs de 5-8cm	
	Ecailles glabres extérieurement	Ecailles finement tomenteuses extérieurement,			
<b>Les aiguilles</b>	longues de 2,5-5 cm	0.8-1.5 cm x 1.5-2 mm,	Longues de 8-19 mm x de 1-1.5 mm	Long. de 1,5-2,5 cm x 1-1.5 mm	
			Rectiligne ou sinueuses		
		coriaces	Non coriaces		
		Distinctement incurvées et acuminées	Non distinctement acuminées		
			simplement aigues		
Apex longuement corné	Apex brièvement corné				
<b>Les rameaux</b>	Rameaux longs apicaux pendants	Rameaux longs apicaux non pendants			
		-	Les jeunes non densément pubescents	Les jeunes sont glabres ou glabrescents .	
<b>Epoque de pollinisation</b>	Début Novembre	Début Septembre	Mi Septembre		Farjon, (1990) et toth (,2005) ( in Demarteau, 2006)
<b>Durée maturité</b>	1 an	2 ans			
<b>Long. graines (cm)</b>	1-1.5	0.8-1.4	0.8-1.3	1-1.4	
<b>Taille max. arbre</b>	Jusqu'à 70 m	Jusqu'à 15 m	Jusqu'à 40 m		Debazac (1964)
<b>Ramification 1<sup>er</sup> ordre (Fig.1)</b>	pendantes	-	Redressées	horizontales	
<b>Poids 1000 graines</b>	110-120 g	-	60-100g	75-80 g	
<b>cotylédons / plantule</b>	8-14	-	7-10	1-10	

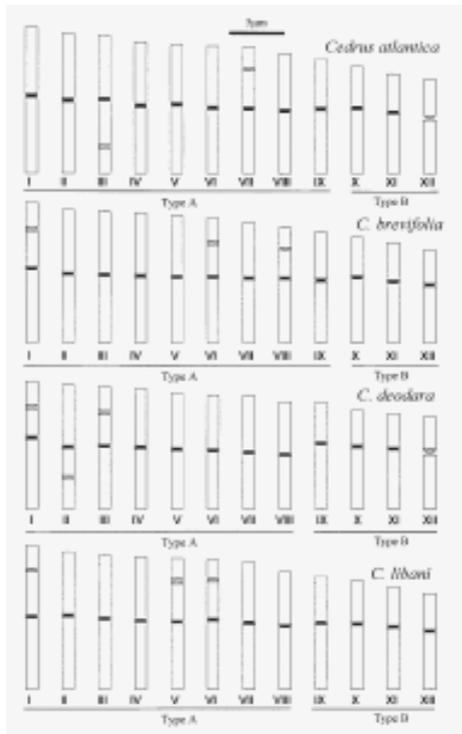
La figure 1 montre l'allure classique des arbres isolés du Cèdre du Liban, Cèdre de l'Atlas et Cèdre de l'Himalaya.



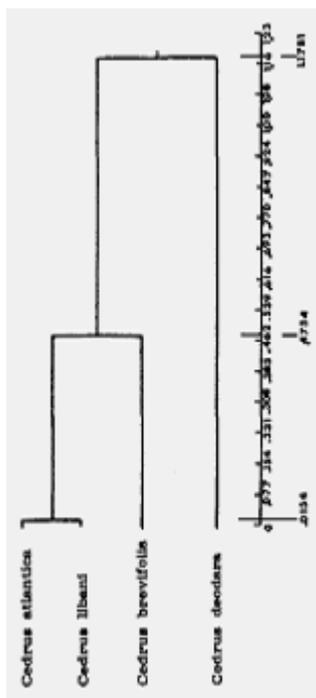
**Fig.1** : Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre (d'après Toth, 1970-1972)

D'autres auteurs, comme Bou Dagher-Kharrat et al. (2001) ont tenté une comparaison sur le plan cytogénétique et ont montré que les 4 espèces représentées par plusieurs provenances de 7 pays différents sont peu distinctives sur le plan chromosomique (même quantité totale ADN, même nombre  $2n = 2x = 24$ , même taille et morphologie). Cependant, le nombre de bandes fluorescentes, riches en GC (Révélées par chromomycine A3 ou CMA) paraît spécifique (8 pour *C. deodora*, 6 pour *C. libani* et *C. brevifolia*, et 4 pour *C. atlantica*) (fig.2).

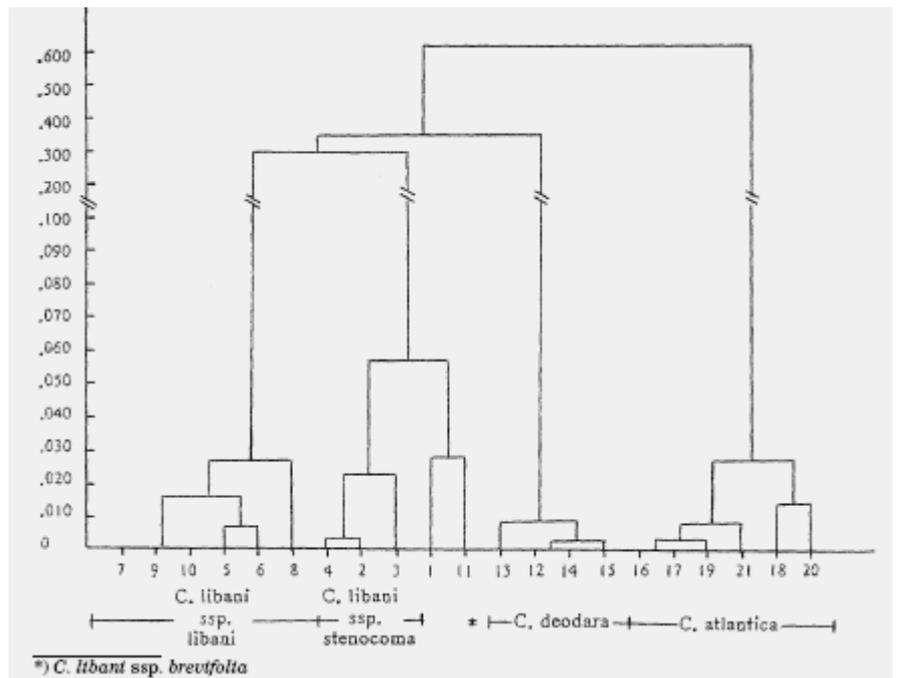
Une distinction entre les 4 espèces a été également tentée par divers auteurs en comparant les systèmes enzymatiques. Panetsos et al. (1992) a trouvé que *C. atlantica* et *C. libani* sont très similaires, mais se distinguent de *C. brevifolia* et surtout de *C. deodora* (Fig.3). En revanche, Scaltsoyiannes (1999) en étudiant 6 types d'enzymes de 21 populations provenant de 7 pays a observé une importante hétérogénéité inter et intraspécifique chez les 4 espèces et a obtenu un dendrogramme révélant 5 groupes distincts correspondants à *C. libani* ssp *libani*, *C. libani* ssp *Stenocoma*, *C. libani* ssp *brevifolia*, *C. deodora* et *C. atlantica* (Fig.4).



**Fig. 2:** Idiogrammes des 4 espèces de *Cedrus*. Seules Les bandes (hachurées) stables riches en GC colorées par chromomycine A3 (CMA) sont représentées, celles intercalaires variables n'ont pas été figurées. Les bandes centromériques (en plein) représentent les zones riches en AT, révélées par le fluorochrome Hoechst33258. Bar=5 µm. (D'après Bou Dagher-Kharrat, 2001)



**Fig.3 :** Distance génétique entre les 4 espèces de cèdre, basée sur le polymorphisme de 4 enzymes (Panetsos et al., 1992)



**Fig.4 :** Distance génétique entre 21 populations de cèdre (Scaltssoyiannes,1999)

L'approche moléculaire récente (comparaison du polymorphisme de longueur des fragments amplifiés AFLP) a permis de distinguer seulement *C. deodora* des espèces

méditerranéennes, *C. atlantica*, *C. libani*, et *C. brevifolia*, qui elles expriment des similitudes, malgré leurs divergences morphologiques et physiologiques (Bou Dagher-Kharrat et al., 2007). Cette conclusion concorde avec celle de Toth (1982-1984) qui a observé sur matériel provenant des reboisements de différentes régions françaises, une différence de la durée du cycle de développement du cèdre de l'Himalaya (durée 1 an) en comparaison avec celle du cèdre Liban et de l'Atlas (2ans).

Il existe également une forte variabilité intra spécifique. Elle a été mise en évidence par la comparaison des critères morphologiques de diverses provenances de pays différents ou d'un même pays ( Pradal, 1979 ; Arbez et al., 1978 ; Miller, 1986 ; Dahman et Khoudja, 1994 ; Illoul et al., 2001) ; Nedjahi, 1994, Sabattier et al., 2003) ou des systèmes enzymatiques (Fallour et al., 2001 ; Scaltsoyiannes, 1999).

Ainsi, deux écotypes ont été alors observés chez *C. atlantica* : le type « meridionalis » adapté à une forte sécheresse estivale occupant le haut Atlas Marocain et l'Atlas Saharien algérien (Hodna et Aurès) et le type « tellica » moins résistant, présent au Maroc (Moyen Atlas Marocain et le Rif) et en Algérie (l'Ouarsenis, Atlas blidéen, Djurdura et les Babors) (Bariteau et al. , 2006).

Par ailleurs, de nombreuses variétés ornementales ont été sélectionnées telles « aurea », « glauca » et « pendula » pour *Cedrus atlantica*, « Aurea », « Compacta », « Fastigiata », « Pendula » et « Glauca » pour *Cedrus deodora* et « Aurea », « Glauca », « Pendula », « Prostrata » et « Stricta » pour *Cedrus libani* (Debazac, 1964).

### **1.1.2- Aire naturelle du cèdre**

Le cèdre est une essence circumméditerranéenne (Ducrey, 1994). Il est présent principalement dans l'étage montagnard méditerranéen. Il se situe globalement sous des bioclimats humides ou subhumides à hivers froids. La longueur de la saison de végétation permet au cèdre d'utiliser au mieux les précipitations irrégulières de l'été. La croissance en hauteur et en diamètre est liée positivement aux précipitations de l'automne précédent et aux précipitations de début et de fin d'été. Il est aussi sensible aux températures printanières. Globalement, le cèdre se trouve dans les zones recevant des précipitations annuelles allant de 600 à 2000 mm avec ou sans sécheresse estivale prononcée avec des températures moyennes annuelles de 7.5°C à 15°C et extrêmes de -25°C et +40°C (Ducrey (1994).

L'aire de répartition du cèdre a été décrite par de nombreux auteurs (Debazac, 1964 ; Aussenac, 1984; Ducrey , 1994).

Le cèdre occupe spontanément des superficies de grandeur variable. M'hirit (1994a) évoque une organisation de son aire en trois (03) blocs géographiques distincts:

- Le premier c'est celui de l'Afrique du Nord, représenté par l'espèce *Cedrus atlantica* Manetti, rencontrée au Maroc sur l'Atlas marocain (140.000 ha) et le Rif (20.000 ha) et l'Atlas algérien (40.000 ha)
- Le second, se divise en deux sous blocs abritant chacun une espèce :
  - Sous bloc *Cedrus libani* Barrel couvrant 1700 ha au Liban, quelques centaines d'ha en Syrie et plus de 160 000 ha en Turquie (Taurus et l'Amanus)
  - Sous bloc *Cedrus brevifolia* Henry poussant dans l'île de Chypre et en forêt de Paphos.
- Le troisième bloc correspond à l'aire de *Cedrus deodara* Loudon dans les grands massifs de l'Inde et de l'Afghanistan et sur le Nord-Ouest de l'Himalaya.

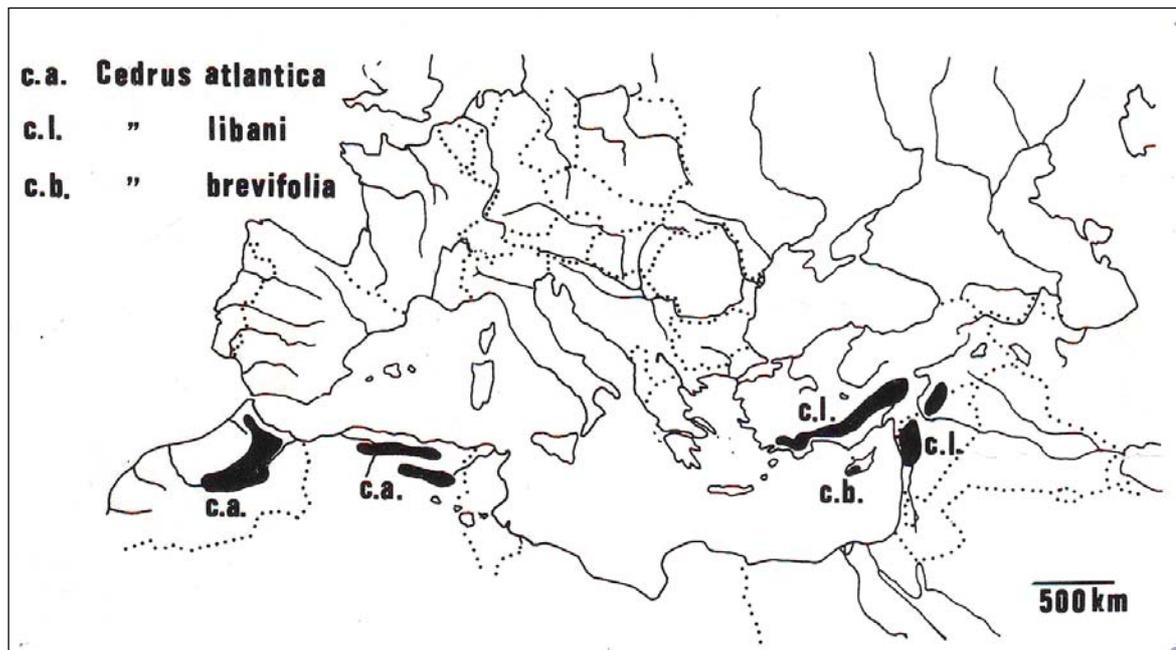
*Cedrus atlantica* Manetti est une espèce endémique caractéristique des massifs bien localisés en Afrique du Nord à des altitudes allant de 1400 m à 2200 m, sous des précipitations variant de 400 à 1500 mm, au Maroc et en Algérie. Ses étages bioclimatiques sont de type humide et sub-humide à hiver froid (Ducrey, 1994).

*Cedrus libani* Loudon est rencontré au Liban, en Syrie et au sud de la Turquie, à 1000-2000 m d'altitude (surtout à 1400-1800 m), sous une pluviométrie de 750-2000 mm. Il se trouve donc sur les mêmes étages bioclimatiques que le Cèdre de l'Atlas ((Ducrey, 1994). Debazac (1964) rapporte qu'au Liban, il ne reste qu'un nombre restreint de stations entre 1500-1700 m d'altitude. En Syrie, il se rencontre à partir de 1000 m d'altitude. En Turquie, son aire est vaste et morcelée (Sud de l'Anatolie, Taurus) entre 1250-2000 m d'altitude.

*Cedrus brevifolia* Henry est endémique des montagnes Sud-Ouest de l'île de Chypre, entre 1400-1800 m d'altitude, sous des précipitations de 750-2000 mm. Son étage bioclimatique est le sub-humide à hiver doux (Aussenac, 1984, Debazac, 1964).

*Cedrus deodara* Loudon est présent sur les massifs de l'Inde et de l'Afghanistan sur le Nord Ouest de l'Himalaya, entre 1200 et 3500 m d'altitude (M'hirit, 1994a et Aussenac, 1984). Contrairement aux trois premières espèces qui sont liées au climat méditerranéen, *C. deodora* croît sous des climats divers. Il forme des peuplements purs entre 2300- 2700 m d'altitude (Debazac, 1964).

L'aire naturelle du cèdre autour du bassin méditerranéen est représentée par la fig.5.



**Fig.5** : Distribution naturelle du cèdre autour du bassin méditerranéen (Aussenac, 1984)

### 1.1.3- Types bioclimatiques du cèdre du pourtour méditerranéen

Sur la base de 40 postes et de 17 variables climatiques traités par l'analyse en composantes principales, M'hirit (1994a) a défini 3 grands types de bioclimats subdivisés en sous types, pour les cédraies du pourtour méditerranéen :

- Type Bioclimatique A : Cédraie subhumide froide et très froide d'altitude
  - Sous type A1 : Cédraie sèche très froide d'altitude moyenne (Aurès, grand Atlas oriental)
  - Sous type A2 : cédraie froide de haute altitude à précipitations estivales importantes ( Moyen Atlas continental, moyen Atlas atlantique (alt.2000 m), Aurès (alt.1900 m)
- Type Bioclimatique B : Cédraie humide froide
  - Sous type B1 : Cédraie à précipitations efficaces importantes au début de l'été et de l'automne (Versant atlantique du Moyen Atlas, compartiment centro-oriental Rif et Djurdjura)
  - Sous type B2 : cédraie à régime pluviométrique estival défavorable (Montagne Nord du liban)
- Type Bioclimatique C : Cédraies perhumides fraîches à froides

- Sous type C1 : Cédraie à précipitations automnales et printanières élevées (Rif central, Tazzeka, Babors et Chréa)
- Sous type C2 : Cédraie à précipitations automnales et printanières relativement basses (Montagne centrale du Liban)
- Sous type C3 : Cédraie à précipitations hivernales très élevées et à températures minimales douces (Compartiment occident. Du Rif, montagne Alaouite Syrienne)

#### 1.1.4- Intérêts :

*Cedrus atlantica*, connu localement au Maroc et en Algérie sous le nom de *arz ou Meddad* ou encore *Begnoun* en Arabe, *Idil* ou *Idhguel* en berbère, est une essence prestigieuse et précieuse. Comme les autres espèces de son genre, il est synonyme de longévité (plusieurs siècles), de rusticité, de résistance et de solidité. Le cèdre est apprécié pour ses nombreux avantages sociaux, économiques et écologiques.

Parmi ses avantages, nous citons :

- ✓ La **production** de bois d'œuvre solide et de bonne qualité, apprécié pour son imputrescibilité. Utilisé dans divers domaines (menuiserie, charpenterie, ébénisterie. Les rameaux de petit diamètre servent comme bois de chauffage pour les riverains.
- ✓ La **production** d'huile aromatique obtenue par distillation, à usage multiple (savon et shampoing, médecine moderne et traditionnelle, parfumerie). Elle traite de nombreux problèmes de peau et de cuir chevelu.
- ✓ La **résistance au feu** : Toth (1970) rapporte qu'en France, en cas d'incendies, les peuplements de cèdre se comportent bien. La propagation du feu est limitée en comparaison avec les pins. Lorsque les peuplements de cèdre sont denses, ils peuvent éliminer toute végétation herbacée. Quand ils sont âgés, ils brûlent mal ou pas du tout
- ✓ La **rusticité et la tolérance** aux stress climatiques et au calcaire ainsi que l'aptitude à l'occupation des sols variés. C'est pourquoi le cèdre est considéré comme une essence de base pour la reconstitution et la revalorisation des forêts dégradées improductives de France.
- ✓ La **protection des sols** contre l'érosion et la désertification (ceinture verte de l'Atlas). En effet, le cèdre possède un système racinaire étendu et ramifié lui permettant de bien protéger le sol contre l'érosion (Toth, 1970).

✓ L'**abri** pour une riche biodiversité de la flore et de la faune. M'herit et al (1999) in Demarteau (2006) a estimé la flore des cédraies à 1 millier d'espèces (10 % arbres, 15 % arbustes et arbrisseaux, 75 % herbacées annuelles) Le même auteur rapporte une faune composée de 37 mammifères, 142 espèces d'oiseaux, 33 espèces d'amphibiens et reptiles.

✓ Les **loisirs et tourisme (Ecotourisme)**: Les cédraies, notamment méditerranéennes, en plus de leur fonction de production de bois de qualité et de maintien d'un équilibre biologique par l'amélioration des conditions écologiques favorables à la pérennité de l'espèce, recueillement d'une population désireuse de se relaxer, se reposer et s'oxygéner dans un cadre de vie agréable (Toth, 1990a).

✓ Du point de vue **esthétique**, le cèdre est l'un des arbres les plus remarquables. Clemenceau l'avait fait déclarer « arbre sacré » et De Lamartine en avril 1833, après avoir visité le site d'El- Herze au Liban, avait écrit « Ces arbres sont les monuments naturels les plus célèbres de l'univers ». Son fût rectiligne, sa silhouette élancée et la teinte de ses feuilles contribuent à la beauté du paysage et à l'attraction des touristes. Les arbres isolés, avec leur ramure étalée, des couleurs allant du vert clair, foncé ou glauque, jusqu'au bleu, assurent un ombrage frais et agréable (Toth, 1970).

✓ Les cédraies représentent aussi un véritable **laboratoire** pour les scientifiques

### **1.1.5- Ravageurs identifiés dans les aires d'origine ou d'introduction.**

La présence de plusieurs types de ravageurs des feuilles, cônes ou bois a été observée sur le genre *Cedrus* dans son aire naturelle ou d'introduction.

➤ **Insectes défoliateurs du Cèdre** (Mille, 1986, FAO, 2003, Nageleisen, 2007, Demolin et al, 1994, in Ladjal, 2007)

- Tordeuse (*Epinotia cedricida* daiak) en France sur *C. atlantica*.  
*Rhyacionia buoliana* (tordeuse du pin).

- Pucerons du cèdre (*Cedrobium laportei* Rem) en basse altitude sèche de France, *Cinari cedri* sur aiguilles

- Tordeuses : *Acalla undulana* sur *C. libani* en Turquie, *Epinotia cedrida* (tordeuse du cèdre), *Choristoneura murinana* (tordeuse du sapin), *Rhyacionia buoliana* (tordeuse des pousses de pin).

- Les processionnaires : *Thaumetopea bonjeani* (processionnaire du cèdre), *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin).

- Le sirex *Cephalcia tannourinensis* sur le cèdre du Liban au Liban

➤ **Ravageurs du tronc et des branches** (parasites de faiblesse) :

- Scolytes : plusieurs espèces : *Phlocosirus cedri* en Turquie et au Maroc et *Scolyptyrus numidicus* au Maroc, *Pityokteines curvidens* (scolytes du sapin) en France.

- *Phaenops marmottani* (bupestidé) au Moy. Atlas Maroc

➤ **Les champignons** : On a rapporté (Mille, 1986 ; Nageleisen, 2007):

- *Trametes pini* et *Polyporus officinalis* en Afrique du Nord

- *Fomes annosus* en France

- *Sclerophoma pityophila*

- *Botrytis cinerea*

- *Trametes pini*, *Fomitopsis pinicola*

- *Armillaria spp* (principal parasite des racines en France)

- *Sphaeropsis sapinea* (attaque tout l'arbre)

➤ **Insectes des cônes** du Cèdre dans son aire naturelle (Roques, 1983 in Mille, 1986 ; Nageleisen, 2007 ; Mouna, 1993) :

Espèce	Insectes de cônes (graines)	Pays
<i>Cedrus atlantica</i>	- <i>Diorytria peltieri</i> Jaonnis (Lépidoptère, <i>Pyralida</i> )	Algérie
	- <i>Ernobius fructuum</i> Peyer (Lépidoptère, <i>Pyralida</i> )	Maroc
	- <i>Megastigmus suspevus</i> var. <i>pinsapinis</i> Hoff. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	
	- <i>Hapleginella laevifrons</i> (inflorescences mâles)	
	- <i>Peyerimhoffi Dejoannis</i> ((inflorescences femelle)	
	- <i>Rhodophaea praestantella</i>	
<i>Cedrus libani</i>	- <i>Barbara osmana</i> Obr. (Lépidoptère, <i>Pyralidae</i> )	Turquie
	- <i>Ernobius abietis</i> F. (Coléoptère, <i>Anobiidae</i> )	
	- <i>Ernobius anatolicus</i> Johns (Coléoptère, <i>Anobiidae</i> )	
	- <i>Ernobius angusticollis</i> Ratz. (Coléoptère, <i>Anobiidae</i> )	
	- <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Liban
	- <i>Megastigmus sp.</i> (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	
<i>Cedrus brevifolia</i>	- <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Chypre

➤ **Cochenilles** rencontrées sur le cèdre (Balachowsky, 1954, in Mille, 1986)

Espèce	Cochenille	Pays
<i>Cedrus atlantica</i> var. bleue	- <i>Lepidosaphes newsteadi</i> Sulc. - <i>Lepidosaphes newsteadi</i> Sulc.	France
<i>Cedrus libani</i>	- <i>Lepidosaphes newsteadi</i> Sulc.	Turquie
	- <i>Dynaspidiotus abieticola</i> Kor	Liban
	- <i>Leucaspis nemion hoke</i>	

## 1.2- *Cedrus atlantica* Manetti

### 1.2.1- Situation géographique actuelle

#### 1.2.1.1- Aire naturelle détaillée

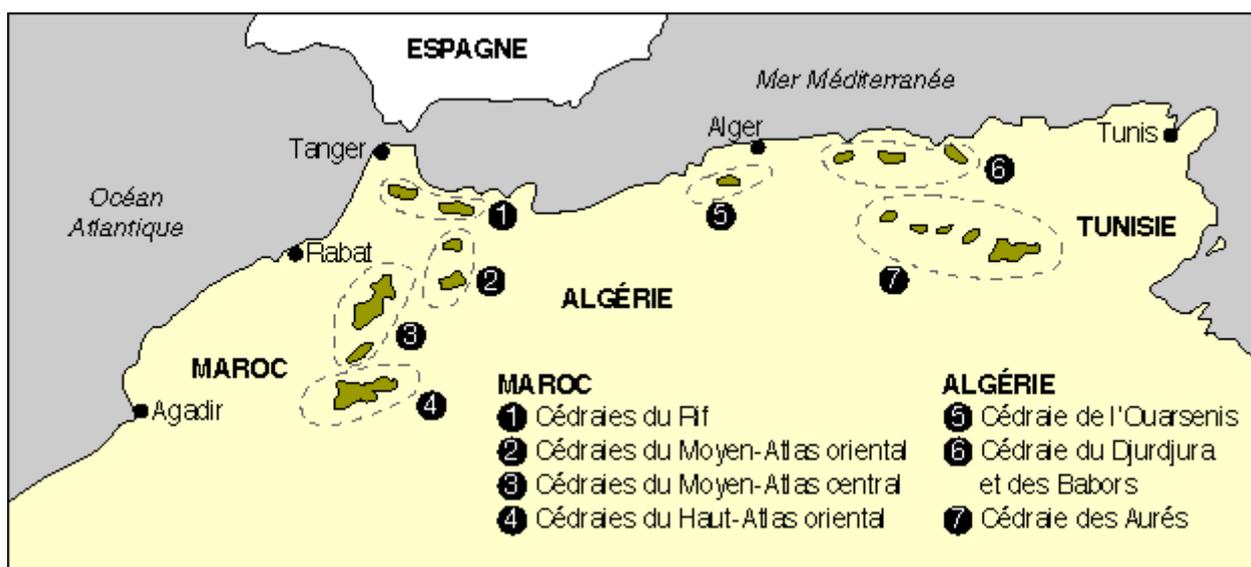
Le cèdre de l'Atlas est une essence plastique pouvant se trouver dans plusieurs régions appartenant aux divers étages bioclimatiques au Maroc et en Algérie. Sa localisation est nettement disjointe et liée essentiellement à l'orographie du Maghreb (Quezel, 1998).

Le cèdre de l'Atlas se localise dans les zones de montagne entre 1500 et 2000 m où il occupe près de 200.000 ha en Afrique du Nord dont les 3/4 au Maroc et le reste en Algérie. Il a été introduit en tant qu'espèce de reboisement en France, Italie, Bulgarie, Russie (Lasram, 1994).

##### 1.2.1.1.1- Au Maroc

C'est au Maroc que se trouve actuellement l'essentiel des peuplements de cèdre de l'Atlas. Il couvre près de 132.000 à 160.000 ha (M'hirit, 1994a ; Messat, 1994) répartis dans les chaînes de montagnes du Moyen Atlas oriental et central, du Haut Atlas oriental et du Rif (fig.6). Les cédraies sont en général composées de peuplements de structure irrégulière à jardinée et sont à 70 % aménagées (Messat, 1994).

Benabid (1994) et M'hirit (1994a), rapportent les superficies suivantes relatives aux quatre blocs (fig.6):



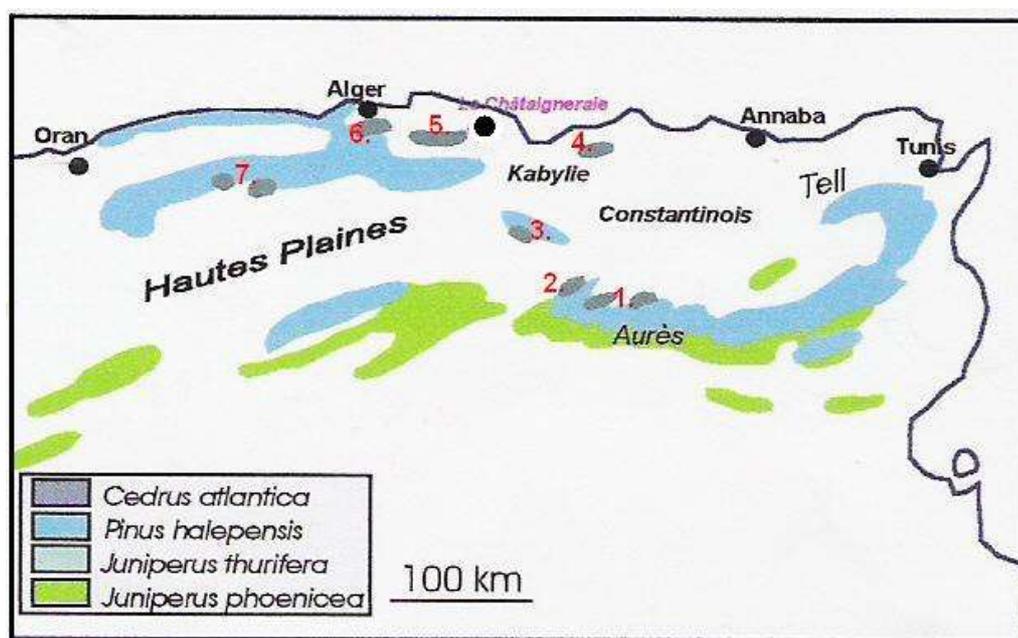
**Fig.6-** Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord ( M'hirit, 1994) :

1-Le Rif : 15 000 ha à partir de 1.500 m d'altitude, 2-Le Moyen Atlas oriental : 20.000-23.000ha, 3- Le Moyen Atlas central : 80 000-120.000ha, 4- Le haut Atlas oriental : 25 000-26.000a

### 1.2.1.1.2- En Algérie

Comme au Maroc, *Cedrus atlantica* est aussi endémique de certaines montagnes de l'Algérie. Il se rencontre au Nord-centre et à l'Est, sous forme de cédraies morcelées en plusieurs îlots discontinus de surface inégale. M'hirit (1994a) distingue 3 blocs de cédraies en Algérie : Cédraies de l'Ouarsenis au centre, de Djurdjura et des Babors et cédraies des Aurès (Fig.6).

Récemment, Roche (2006) in Demarteau (2006) a établi une carte de répartition plus détaillée dans laquelle il définit 7 îlots de cédraies (Fig.7).



**Figure 7:** Localisation des îlots de *Cedrus atlantica* en Algérie (Roche, 2006 modifié par Demarteau, 2006)

1. le Massif de l'Aurès, 2. Monts de Belezma, 3. Monts du Hodna, 4. Djbel Babor, 5. Massif du Djurdjura, 6. Monts de Blida, 7. Massif de l'Ouarsenis

En Algérie et même au Maroc, la superficie totale exacte de *C. atlantica* reste discutable. Les chiffres relevés dans la littérature sont incohérents en raison probablement de l'absence d'inventaires précis et complets. Ceux recueillis sont contradictoires. En effet, pour l'Algérie, Ezzahiri et Belghazi (2000) ont rapporté une superficie de 50.000 ha. M'hirit (1994a) a donné une aire de 40.000 ha. Boudy (1952) l'a évaluée à 33.000 ha. Derridj (1990) in Hocine et al. (1994) rapporte que différents auteurs ont estimé cette superficie à 32.000 ha. Boudy (1950) et Harfouche et Nedjahi (2003) citent le chiffre de 30.000 ha. Khanfouci (2005) donne une superficie de 29.000 ha. Benabid (1994) et Médiouni et Yahy, (1994) avancent 27.000 ha. Elle ne serait seulement que 20.000 ha pour Quezel (1998).

Quezel (1998) précise que les cédraies de l'Atlas tellien sont relativement bien conservées (Ouarsenis et Teniet el Had ,1.000 ha ; Atlas de Blida, 1.000 ha ; Djurdjura, 2.000 ha ; Babors, 500 ha), alors que celles de l'Atlas Saharien sont en régression drastique (Monts du Hodna, 5.000 ha ; Belezma, 5.000 ha et Aurès, 5.000 ha) (fig.7).

Cette situation concerne en fait toutes les cédraies continentales en marge du bioclimat semi-aride, aussi bien au Maroc qu'en Algérie (Moyen et haut Atlas orientaux et chaînons de l'Atlas saharien en Algérie). Pradal (1979) a fait les mêmes constatations, en mentionnant que dans ces régions le milieu actuel est trop hostile (400 mm de précipitation et des températures hivernales de -20 à -25 °C) pour que les arbres âgés de 300 ou 400 ans se régénèrent normalement.

Selon Boudy (1952), les 30.000 ha de cèdre en Algérie se répartissent comme suit :

- Massif des l'Aurès, 17.000 ha
- Theniet El-Had, 1.000 ha
- Monts du hodna, 8.000 ha
- Massifs de l'Ouarsenis, 100 ha
- Djebel des Babors, 1.300 ha
- Chréa, 1.000 ha
- Massif de Djurdjura, 2.000 ha

La plus grande partie des cédraies algériennes se situe donc au massif des Aurès, malgré la non concordance des chiffres de différentes sources (tableau 2). Bentouati (2008) indique que les cédraies des Aurès sont dispersées en plusieurs îlots plus ou moins vastes, en relation notamment avec les précipitations assez élevées Les superficies des ces îlots sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Superficies des différents îlots de cèdre de l'Atlas du massif des Aurès (ha).

Chélia	Ouled yakoub	S'gag	Belezma	Dj. Lazreg	Ichmoul	Dj. Guetiane	Total (ha)	Source
7.000	4.000	500	8.000	550	-	-	20.050	Faurel et Lafite (1949) in Khanfouci (2005)
8.000	3.227	500	5.000	200	150	300	17.477	Bentouati (2008)
2.374	2.000	300	6.254	-	-	-	10.928	ONTF (in Belouaar 2006)
3.000	3.000	600	8.100	2.600	150	-	17.450	Boudy (1955) in Khanfouci (2005)
2.375	3.300	2.093	4.254	-	-	-	12.022	Projet Algérie 15 (1970) in Khanfouci (2005)

### 1.2.1.2- Aire d'introduction

Le cèdre, notamment de l'Atlas a été introduit par l'homme dans divers pays, méditerranéens et autres au cours des derniers siècles ; d'abord comme arbre ornemental des parcs et jardin, puis comme espèce de reboisement. Les raisons de son introduction sont multiples : Espèce de reboisement rustique vis-à-vis du climat et du sol, plastique,

résistante aux incendies, capacité de régénération naturelle suffisante, de bonne canopée d'accueil de l'avifaune, non acidifiante (Du Merle et al, 1978, in Bariteau et al, 2007). Le cèdre est donc capable de reconstruire les forêts fortement endommagées par le feu, les grands froids ou chaleurs intenses, de repeupler les milieux difficiles comme les sols dénudés suite aux déboisements abusifs (Toth, 2005, Guibal, 1984 et 1985), mais aussi de produire en quantité appréciable du bois de qualité recherchée pour divers usages. La productivité du cèdre de l'Atlas dans le Mont-Ventoux en France rivalise même avec celle du sapin, essence autochtone (Toth, 1994).

#### **1.2.1.2.1- En France**

Le cèdre de l'Atlas a été introduit la première fois en France à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, entre 1860 et 1962 sur le flanc du Mont Ventoux (Ripert, 2007 ; Ripert et Boisseau, 1994; Toth, 1970, 1973a, 1970-1972, Toth, 1988), à partir des graines provenant de l'Atlas Algérien, sans doute des Aurès (Pradal, 1979). Sa magnifique réussite dans cette région a rapidement encouragé les forestiers à envisager son extension (Toth, 19970-1972)

Toth (1990a) indique qu'on trouve le cèdre dans la plupart des reboisements des collines et des montagnes basses de la région méditerranéenne. Il signale aussi sa présence partout en France, dans les jardins, parcs et souvent auprès des bâtiments historiques. La France se place donc en tête des pays européens avec une superficie de l'ordre de 15 à 20.000 ha, en constante progression et à un rythme de 1.000 ha /an (Toth, 1990b et 1994a et 1994b). En 2006, 300.000 cèdres ont été vendus (Naudet, 2006). Son aire potentielle serait de 200.000 ha (Fabre, 1994). Les plus grandes cédraies sont celles du Mont-Ventoux et Lubéron dans le Vaucluse et de Riassesse et Marcilly dans l'Aude.(Toth, 1990 b).

Pour une meilleure valorisation du cèdre de l'Atlas, maintenant naturalisé en France, de nombreuses études lui ont été consacrées. Les investigations concernent différents aspects comme, l'écophysiologie et écologie (Ducrey, 1991 et 1994 ; Aussenac, 1984 ; Finkelstein, 1981 ; Aussenac et Finkelstein, 1983), la croissance et la production (Ripert et Boisseau, 1994 ; Toth et Turrel, 1981 ; Toth, 1982, 1988, 1990b, 1990c, 1994 ; Fady et Vauthier, 1988 ; Aussenac et Finkelstein, 1983 ; Aussenac et al.,1981 ; Aussenac et El Nour, 1986 ; Guibal, 1984 ; Courbet, 1991, Courbet et al, 2007), la fructification (Toth, 1973a et 1973b, 1980 et 1983).

#### **1.2.1.2.2- En Bulgarie**

La première introduction de *C. atlantica* en Bulgarie remonte à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (1890 selon M'hirit 1994a). Selon Delkov et Grozev (1994), il est rencontré dans divers

endroits du pays et les résultats obtenus sont assez bons et suggèrent l'extension de cette espèce aux paysages du Sud Ouest du pays.

#### **1.2.1.2.3- En Hongrie**

Comme dans les autres pays, le cèdre de l'Atlas a été introduit en Hongrie au départ pour son aspect décoratif. En 1955 de nombreux essais de comportement ont été entrepris. Les données recueillies sur des arbres de 20-36 ans par Csaba (1994) ont montré que cette espèce a des avantages liés entre autres à sa croissance vigoureuse et à son excellente tolérance à la sécheresse. Le cèdre de l'Atlas pourrait gagner plus d'importance en Hongrie.

#### **1.2.1.2.4 - En Tunisie**

Selon Dahman et Khouja (1994), les essais d'acclimatation de différentes provenances sont en cours au niveau de 2 arboretums. Les premiers résultats établis sur des sujets de 29 ans ont montré une adaptation satisfaisante malgré la sévérité relative du climat caractérisé par des pluies irrégulières et des sécheresses fréquentes et excessives. Le cèdre de l'Atlas de provenance algérienne et marocaine pourrait constituer une alternative au chêne zéen et au chêne liège dégradés. Son implantation sur des superficies d'essais de 1000 à 2000 ha servirait à mieux cerner son acclimatation.

#### **1.2.1.2.5- En Italie**

Le cèdre l'Atlas à été introduit au 19ème siècle (1864 selon M'herit, 1994a). Il couvre près de 1.000 ha au Sud et au centre du pays (Michele et al., 2001, in Demarteau, 2006). Andrea et Roberto (1994) pensent qu'il est possible de le développer sous réserve d'un bon choix des emplacements et de la technique de culture.

#### **1.2.1.2.6-Autres**

L'implantation du cèdre de l'Atlas est rapportée également en Russie dans le Caucase (Lasram, 1994, M'herit, 1994a), dans quelques états d'Amérique, en Pennsylvanie, New York, et côte pacifique (M'herit, 1994a), au Portugal en 1935, en Yougoslavie, en Belgique et en Allemagne ( Toth, 1980, in Khanfouci, 2005).

## 1.2.2- Principales caractéristiques dendrologiques

⇒ L'Arbre adulte est de grande taille allant jusqu'à 40 m de hauteur (Debazac, 1964). Son port est pyramidal dans sa jeunesse (les ramifications du premier ordre sont souvent dressées). A un âge avancé, le cèdre diminue sa dominance apicale sur la flèche, la partie supérieure de la cime se trouvant ainsi sur un plan presque horizontal, on dit que le cèdre « fait la table » (Toth, 1990a).

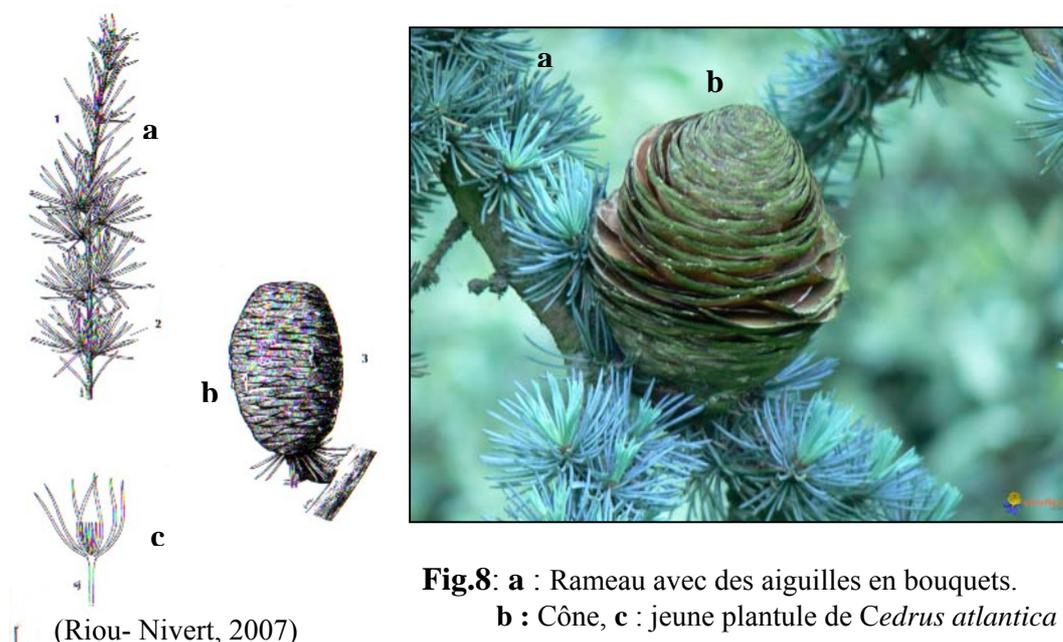
La longévité du cèdre de l'Atlas est remarquable (7 à 8 siècles) (Boudy, 1952). Toth (1980) in Khanfouci (2005) rapporte qu'il n'est pas rare de rencontrer au Maroc des cèdres de plus de 300 ans avec une hauteur de 50 m et une circonférence de 5 à 6 m. En Algérie (Theniet El-Had) Sari (1977) in Khanfouci (2005) aurait observé des spécimens colossaux dénommés « Sultan » de 7 m de circonférence ou « Messaoud » plus grand encore.

⇒ Les feuilles ou aiguilles sont persistantes, réunies en bouquets de 20 à 30 sur des rameaux très courts (fig. 8 a). Leur apex est longuement corné. Leur longueur varie de 1 à 2 cm (Boudy, 1952).

Les cônes mûrs sont ovoïdes cylindriques, dressés, déprimés au sommet, de couleur brunâtre, longs de 5-8 cm (Riou-Nivert, 2007) et composés d'écaillés ligneuses et étroitement imbriquées (fig.8b).

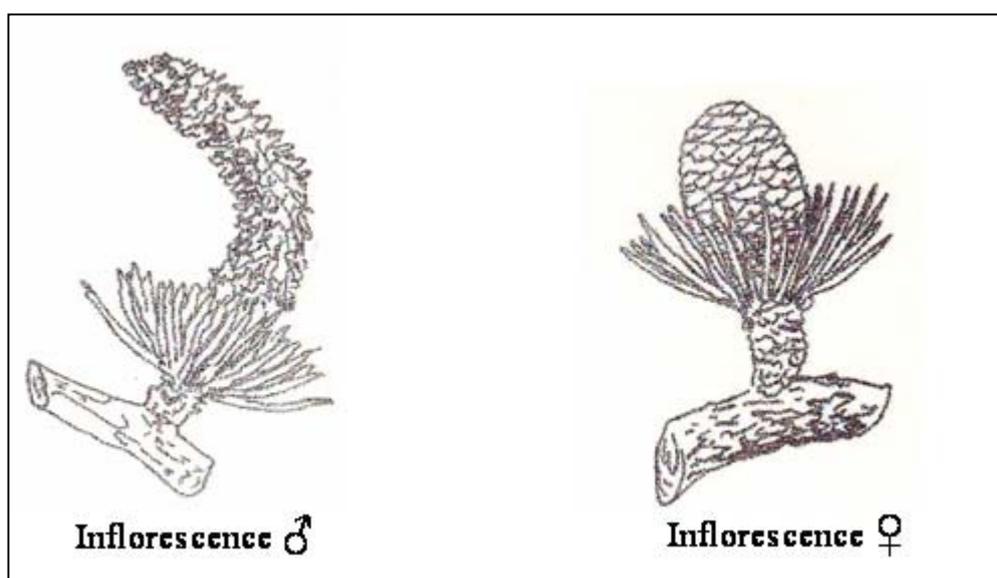
Toth (1970) a distingué dans les reboisements de France, 3 types de cônes :

- Type long (7 x 3 cm) contenant 128 graines
- Type gros (8 x 5 cm) avec 133 graines
- Type petit (4 x 3,7 cm) portant 125 graines



⇒ Le cèdre de l'Atlas est une espèce monoïque, avec les deux inflorescences, mâle et femelle séparées sur le même pied. Cependant, Toth (1983) a remarqué que certains arbres ne portent jamais de cônes, mais uniquement des chatons mâles, alors que d'autres ne portent que des cônes et jamais de chatons mâles. Le même auteur a remarqué aussi une séparation nette au niveau des branches d'un même arbre qui ne portent que rarement les organes mâles et femelles en même temps. L'auteur a suggéré la notion de « dioïcité apparente ».

Les chatons mâles ayant 2 cm de long, coniques, vert pâle, apparaissent les premiers. Les chatons femelles de 1 cm de long, vert bleuâtre, apparaissent après, environ 3 mois après (Fig. 9).



**Fig.9** : Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l'Atlas

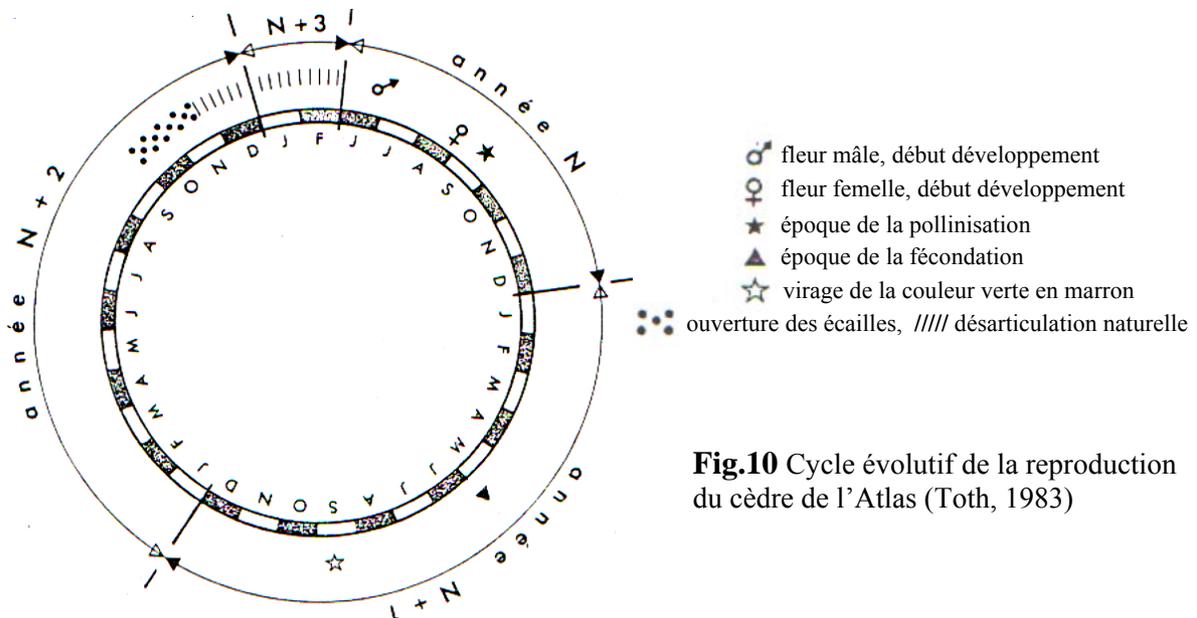
⇒ Le cycle de reproduction est bien connu (Toth, 1970 et 1983; Khanfouci, 2005). Il s'étale sur environ 3 années (32 mois selon Khanfouci, 2005), de la floraison à la dissémination des graines. Le cycle de production de graines se résume comme suit (fig.10).

- Année 1(n) : La floraison, la pollinisation et puis la fécondation des fleurs femelles se produisent en septembre de la première année. En Décembre de la même année, il se forme un cônelet de 1 cm de long.

- Année 2 (n+1) : Développement du cônelet dès le mois d'Octobre pour atteindre sa maturité.

- Année 3 (n+2): Le cône prend la couleur marron claire ou foncée, ses écailles s'entrouvrent légèrement, la maturité des graines est acquise en Octobre.

Par la suite, sous l'action du gel et dégel, de la pluie et du soleil ( Alternance de l'humidité et de la chaleur), les cônes se désarticulent de haut en bas, les graines tombent. Seuls leurs rachis dressés restent sur l'arbre.



**Fig.10** Cycle évolutif de la reproduction du cèdre de l'Atlas (Toth, 1983)

⇒ Les graines du cèdre de l'Atlas sont huileuses, subtriangulaires, cunéiformes à la base de 10 - 14 mm, tendres, très résineuses et à aile large. En raison de leur poids, leur dissémination par le vent est difficile. Le poids de 1000 graines varie 60-100 gr (Debazac, 1964)

Demarteau (2006), indique que les graines se libèrent du cône dans les 2 semaines qui suivent la désarticulation et tombent dans leur majorité aux abords immédiats de l'arbre. Toutefois, certaines graines peuvent être projetées à 50 et même à 100 m. Toth (1973a) a aussi établi que la majeure partie des graines tombent dans un rayon de 10 m, mais, beaucoup peuvent se trouver à 20 m. Au delà de cette distance, leur nombre diminue.

⇒ Les rameaux jeunes sont densément pubescents, ceux du premier ordre sont redressés (Quezel, 1998, Debazac, 1964).

## 1.2.3- Caractéristiques phytosociologiques et écologiques

### 1.2.3.1- Principales associations végétales

La phytosociologie du cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle est assez avancée (M'hirit, 1994 a; Médiouni et Yahi, 1989 et 1994 ; Abdessemed, 1981 ; Benabid, 1994, Quezel, 1998).

Le cèdre de l'Atlas est associé à des groupements végétaux variés entre 1500 m et 2500 m. Ces groupements s'intègrent, d'après leurs critères floristiques et en fonction de leurs exigences écologiques (M'hirit, 1994a).

On déduit que le cèdre de l'Atlas se rencontre en association avec diverses espèces comme par exemple:

- Les chênes (*Quercus suber* ou chêne-liège ; *Quercus faginea* ou chêne zèen, *Quercus ilex* ou chêne vert, *Quercus canariensis*).
- Les pins (*Pinus halepensis*, ou pin d'Alep ; *Pinus pinaster* ou pin maritime, *Pinus longipes*, *Pinus nigra* ou pin noir),
- Les genévriers (*Juniperus thurifera* ou genévrier thurifère ; *Juniperus oxycedrus* ou genévrier oxycèdre ; *Juniperus communis* ou genévrier commun ; *Juniperus phoenicea* ou genévrier rouge).
- Autres espèces arbustives : *Fraxinus xanthoxyloides* ou frênes épineux, *Taxus baccata* ou l'If commun, *Ilex aquifolium* ou grand houx, *Crataegus laciniata* (Aubépine lacinée et *C. monogyna* (Aubépine monogyne) , les genets (*Genista tricuspidata* ou genêt à 3 pointes, *G. quadriflora* ou genêt à 4 fleurs, *G. tournefortii*), des sapins (*Abies maroccana*, *Abies numidica*), Chêne afares (*Quercus mirbekii*), des érables, etc..

### 1.2.3.2- Bioclimat et limites altitudinales

La variation écologique du cèdre de l'Atlas est assez grande. C'est pourquoi plusieurs auteurs ont établi des classes altitudinales (M'hirit, 1994a, Pujos, 1966 in Quezel, 1998 ; Quezel, 1998).

Pujos (1966) in Quezel (1998) a défini trois classes de cédraies basse (1600-1900 m), moyenne (1900-2100 m) et de haute (2100-2500 m) altitude.

Les cédraies du Maghreb ont été rattachées à plusieurs étages par Quezel (1998):

- Les cédraies de basse altitude, occupant en partie l'horizon supérieur du méditerranéen supérieur, notamment entre 1500 et 1700 m sur le Moyen Atlas et le Rif,

- Les cédraies montagnardes, les plus répandues se trouvent entre 1700 et 2100 m (équivalentes aux cédraies de moyenne altitude de Pujos, 1966)
- Les cédraies de haute altitude, entre 2100 et 2500 m

Globalement le cèdre de l'Atlas se situe entre 1300 et 2600 m. Au-delà, il est remplacé généralement par le Genévrier thurifère (Demarteau, 2006).

Sur le plan bioclimat, M'hirit (1994a) indique que le cèdre de l'Atlas se développe essentiellement dans les variantes froides des ambiances climatiques subhumides, humides et perhumides et que son optimum bioclimatique correspond à l'étage montagnard méditerranéen entre 1600 et 2000 m.

Les caractéristiques ombrothermiques des différents blocs de cédraies Nord africaines sont résumées dans le tableau 3.

Quezel (1998) mentionne que les cédraies les plus productives et bien individualisées du point de vue floristique se rapportent principalement à l'étage humide (cédraies de basse altitude). Le reste (moyenne et haute altitude) est rattaché à l'étage sub-humide, humide voir per-humide. L'existence de cédraies de l'Atlas en bioclimat semi-aride est encore discutée, en

Tableau 3 : Caractéristiques ombrothermiques des différents blocs de cédraies naturelles du Maghreb ( d'après M'hirit, 1994a)

Blocs de cédraies	Limites altitudinales (m)	Précipitations annuelles (mm)	Températures (°C)	
			M	m
Rif occidental	1400 – 2300	1390 - 1786	28.3 – 24.1	-5.6 à -0.2
Rif central	1500 – 2400	1257 – 1707	28.8 – 3.7	-5.6 à -0.4
Rif oriental	1700 – 2200	906 – 1311	26.6 – 4.6	-5 à -1.0.
Moyen Atlas Tabulaire	1500 – 2000	871– 1066	30.9 – 27.6	-4.7 à -0.5
Moyen Atlas oriental	1800 – 2000	615 – 927	28.7 – 26.5	-6.4 à -3.0
Haut Atlas Oriental	1800 – 2400	499 – 799	29.6 – 23.2	-8.3 à -3.1
Aurès et Belezma	1350 – 2300	499 – 790	29.6 – 23.2	-8.3 à -3.1
Djurdjura et Babors	1400 – 2200	1200 – 1700	16.8	-8.5

absence de données climatiques fiables, mais tout à fait probable, notamment dans les Aurès et les monts du Hodna (Quezel, 1998). Cet auteur note que les cédraies de l'Atlas saharien algérien (Hodna, Belezma, Aurès) présentent indissociablement des particularités écologiques en comparaison avec celles de l'Atlas tellien algérien, surtout pour le bioclimat de type sub-humide et localement semi-aride où la continentalité est plus accusée.

Du point de vue température, les trois types altitudinaux définis (bioclimats) peuvent être rattachés aux variantes thermiques : froide, très froide et extrêmement froide.

Le cèdre de l'Atlas supporte les sécheresses intenses si elles ne sont pas prolongées ainsi que le climat irrégulier alternant les années sèches et humides. Benabid (1994) rapporte que les précipitations des régions de cèdre de l'Atlas vont de 500 à plus de 2000 mm et des températures moyennes minimales du mois le plus froid de -1 à -8 °C .

Pour Boudy (1955), in Médiouni et Yahi (1994), le cèdre se développe entre 440 et 1403 mm de pluie.

Au niveau des Aurès, Bentouati (2008) rapporte que les plus beaux peuplements de cèdre se rencontrent sur les versants Nord et Nord-Ouest, entre 1600 et 1800 m. Dans cette région, on rencontre rarement le cèdre de l'Atlas à moins de 1400 m, en raison de l'aridité du climat.

### **1.2.3.3- Sols (substrat)**

Selon M'hirit (1994a), Quezel (1998), Boudy (1950) et Toth (1970), l'originalité édaphique du cèdre de l'Atlas réside, tout particulièrement dans sa rusticité et son indifférence à la nature lithologique du sol. Il se rencontre sur des substrats et des sols variés : des basaltes, de la dolérite, des marno-calcaires, des marno-schistes, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès, des calcaires francs et des marnes qui lui sont peu favorables (Toth, 1970, Pradal, 1979). Cependant, le cèdre de l'Atlas a une prédilection marquée pour les sols meubles (éboulis), caillouteux (BVF, 1971), profonds ou au moins une roche bien fissurée (le cèdre possède un système racinaire pivotant et puissant) (Ripert, 2007).

## **1.2.4-Croissance, production et productivité**

### **1.2.4.1-Croissance :**

#### **1.2.4.1.1- Débourrement**

Chez le cèdre en général, le débourrement et la durée de l'élongation présentent une grande variabilité intra et interspécifique. En France, Pradal (1979) in Ducrey (1994) a observé que les 3 espèces de cèdre étudiées débourent dans l'ordre : *C. libani* (1<sup>er</sup> mars), *C. deodora* (21 mars) et *C. atlantica* (1<sup>er</sup> et 9 avril en fonction des provenances). Par ailleurs, Ducrey (1994) rapporte que les cèdres débourent très précocement, ne subissent pas de très gros dommages de gelées tardives, en raison de leur faible sensibilité et du fait que l'allongement de la pousse ne suit pas immédiatement le débourrement. De même, la durée du débourrement connaît des variations annuelles. Quand les conditions

hydriques sont favorables, les provenances des régions humides poussent moins vite que celles originaires de milieux secs.

#### 1.2.4.1.2-Croissance longitudinale

La croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas est évaluée au stade juvénile ou adulte, en conditions naturelles ou contrôlées. Elle est longue et lente en comparaison avec celle d'autres résineux (Aussenac et al. 1981) et dépend de nombreux facteurs (roche mère, profondeur du sol, facteurs climatiques, topographie, action de l'homme, insectes) (Toth, 1990c et 1982). Les conditions favorables et celles défavorables à l'amélioration des résultats dendrométriques, établies en Provence (France) par Ripert et Boisseau (1994) sont indiquées dans le tableau 4.

Contrairement à la croissance radiale, celle en hauteur n'est pas liée à l'action sylvicole. En revanche, elle est fortement corrélée positivement à la pluviométrie. Toth (1988 et 1990c) a trouvé pour le Mont –Ventoux,  $r = 84 \%$  pour mai à juillet et  $95 \%$  pour mars à août. L'implication des facteurs climatiques (température, humidité de l'air et rayonnement global) dans la croissance en hauteur a été déjà démontrée par Finkelstein (1981) et Aussenac

Tableau 4 : Conditions défavorables et favorables à la croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas en Provence Française (Ripert et Boisseau,1994)

Facteurs	Situation défavorable	Situation favorable
Pluviométrie moy. Ann. (mm)	< 650	900 - 1000
T° moy. Annuelle (°C)	> 14	7 - 10
Altitude (m)	< 400	> 600 - 700
Roche mère	Marne dolomie	Micaschistes, gneiss, alluvions
Topographie	sommet, hauts versants	Plateaux, plaines, bas versants
Epaisseur altérites ou colluvions (cm)	< 70	> 23
Cailloux dans le sol (%)	> 60	10 - 30

et al. (1981). Ces auteurs ont constaté également que dans les conditions de Nancy (France) la croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas débute en avril (potentiel de base = -10 bars) et se termine en septembre (potentiel de base = -2.5 bars) et qu'elle s'effectue essentiellement la nuit (et le jour quand le temps est couvert et pluvieux). Le seuil de végétation a été évalué à une température moyenne journalière de  $6,6 \text{ }^\circ\text{C}$  par les mêmes auteurs. La croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas est freinée quand la valeur du potentiel de base des plantes est de -13 bars et nulle au delà de -21 bars (Aussenac et Finkelstein, 1983). [Il est à Préciser que le potentiel de base est la mesure du potentiel hydrique de l'arbre au moment le plus favorable de la journée (fin de nuit : recharge maximum en eau et transpiration réduite) (Aussenac et El-Nour (1986) ]

Chez les jeunes plants de 23 ans, Toth (1990c) a distingué 3 phases de la croissance en hauteur : Faible ou lente, jusqu'à 8 ans (accroissement de 10 cm / an) ; moyenne, jusqu'à 11 ans (23 cm/an et forte à partir de 12 ans (46 cm / an). L'auteur précise aussi que 80 % de l'accroissement sur la hauteur ont lieu pendant les mois de Mai et Juin et 20 % en avril (très faiblement si le débourrement est précoce) et en Juillet-Août (plus fortement quand l'été est pluvieux).

Ajoutons que les vagues de croissance aérienne successives alternent avec les vagues de croissance racinaire (Ducrey, 1994).

#### **1.2.4.1.3-Croissance radiale**

Etudiant la variation de l'épaisseur des cernes de 9 populations de cèdre de l'Atlas implanté en France, Guibal (1984, 1985) a montré que la température et les précipitations influent sur sa croissance radiale. Il est sensible aux seuls froids très rigoureux de l'hiver et aux températures et/ou aux précipitations de l'été dont l'efficacité dépend de leur quantité, de la capacité de rétention en eau offerte par le sol et de l'action de l'évaporation de l'air. Les mêmes conclusions ont été faites par Vallauri (1992) in Ducrey (1994) qui a observé que les précipitations de l'automne (octobre- décembre) et de celles de Juin-Juillet favorisent la croissance radiale. En revanche, les températures basses de février sont dépressives.

Ayant mené une étude détaillée sur la dendroclimatologie de cèdre de l'Atlas au Maroc, Chbouki (1994) a établi que les pluies exercent un effet positif sur la croissance diamétrale tout au long de l'année, alors que les températures sont bénéfiques durant janvier et août et néfastes pendant avril et les mois d'été.

#### **1.2.4.2-Production et productivité**

La hauteur dominante à 100 ans (hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'ha) est un bon indicateur du volume ligneux total d'une espèce forestière (Fady et Vauthier, 1988). Chez le cèdre de l'Atlas, elle fluctue entre 12 et 36 m, tandis que l'accroissement correspondant varie de 0.95 à 8.30 m<sup>3</sup>/ha/an en peuplement naturel et peut aller jusqu'à 12 m<sup>3</sup>/ha/an en peuplement artificiel hors de son aire d'origine (M'hirit, 1994).

#### **- En Algérie :**

Bentouati (1994) a obtenu pour des peuplements naturels à Belezma, une hauteur dominante à 100 ans comprise entre 9 et 21 m, équivalente à un accroissement moyen en volume de 0.61 à 3.43 m<sup>3</sup>/ha/an et une production totale de 61.3 à 342 m<sup>3</sup> /ha. Cet auteur a démontré également que ces résultats sont largement tributaires des facteurs stationnels.

Nedjahi (1987) in M'hirit (1994) rapporte pour l'Atlas de Blida, une hauteur dominante variant de 14 (classe fertilité 4) à 28 m (classe 1).

#### **- En France :**

Toth (1988) rapporte une hauteur dominante à 100 ans de 20.7m et un accroissement moyen de 7,4 m<sup>3</sup>/ha/an pour la 3<sup>ème</sup> classe de production du Mont - Ventoux. Pour la 1<sup>ère</sup> classe de fertilité de Riassesse moyen (France).

Toth (1973b) indique une Hd. 100 ans de 31.75 m et un accroissement moyen de 12,6 m<sup>3</sup>/ha/an. Le même auteur estime que la majorité des plantations de cèdre du sud de la France permettront de récolter entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/ha/an si on les pousse jusqu'à 100 ans et entre 5 et 8 m<sup>3</sup>/ha/an jusqu'à 60 ans ( 2 fois plus qu'un peuplement comparable de pin d'Alep et autant que le pin noir).

A partir de l'analyse de 22 peuplements de la même espèce, Courbet et al (2007) ont obtenu des Hauteurs dominantes à 100 ans allant de 20-35 m, une production totale de 621 à 1466 m<sup>3</sup>/ha à un âge de 100-120 ans et un accroissement moyen compris entre 5.2 et 14.7 selon les classes de fertilité. Cet auteur précise aussi que les meilleures productivités sont obtenues sur roche mère siliceuse et en général du schiste.

Pour la Provence, Ripert et Boisseau (1994) ont trouvé une hauteur dominante à 100 ans de 9.13 (classe 4) à 34.36 m (classe fertile 1).

#### **- Au Maroc :**

La synthèse des travaux rapportés par M'hirit (1994a) a montré que les 2 paramètres considérés, la hauteur dominante à 100 ans et l'accroissement moyen, varient avec la situation géographique des cédraies (Rif, Atlas moyen central et oriental) et bien sûr avec la classe de fertilité. On déduit qu'au Maroc, toutes classes de fertilité et cédraies naturelles confondues, la hauteur dominante à 100 ans varie de 17 à 36 m et l'accroissement moyen de 1,3 à 8,3 m<sup>3</sup>/ha/an. Dans le Rif, M'hirit (1994 b) a montré que la variabilité de la croissance et de la productivité du cèdre est fortement liée à l'humidité de la station, à la consistance du peuplement et à l'action anthropique. Seules les altitudes basses (1500 m) et hautes (2100 m) réduisent la productivité, suite à l'action convergente du froid et de la sécheresse se traduisant par la longueur de la période de croissance à ces hauteurs.

### **1.2.5- Etats des connaissances sur la régénération naturelle**

Quezel (1998 ) indique que l'état de certaines cédraies de l'Afrique du Nord, notamment celles orientales (continentales en marge du bioclimat semi-aride, aussi bien au Maroc et en Algérie (Moyen et haut Atlas orientaux et de l'Atlas saharien en Algérie) sont

en régression drastique, en simple survie, destinées à disparaître dans les prochaines décennies. Cet auteur estime que l'avenir de la cédraie nord africaine reste bien sombre et préoccupant. Toutefois, les raisons d'espérer existent encore dans les cédraies de basse et moyenne altitude où les régénérations sont possibles et même nombreuses, permettant au cèdre de s'étendre naturellement, en absence de pâturages intensifs.

La succession des années climatiques défavorables, aggravée par l'action humaine (pâturage, coupes) et les attaques parasitaires et fongiques et par la suite l'érosion des sols sont les facteurs responsables (Lamhamedi et Chbouki, 1994).

L'absence de semis et la présence des vides et des clairières sont les indicateurs de cette régression (Ezzahiri et al. 1994). Selon ces auteurs, l'équilibre naturel est actuellement très fragile et même rompu dans certaines cédraies, ce qui conduit à la perturbation de plusieurs mécanismes physiologiques et biologiques, en particulier celui de la régénération..

Boudy (1952) a signalé déjà qu'au Maroc et en Algérie, chaque année le sol forestier se recouvre d'un grand nombre de semis dont la plupart disparaissent en été.

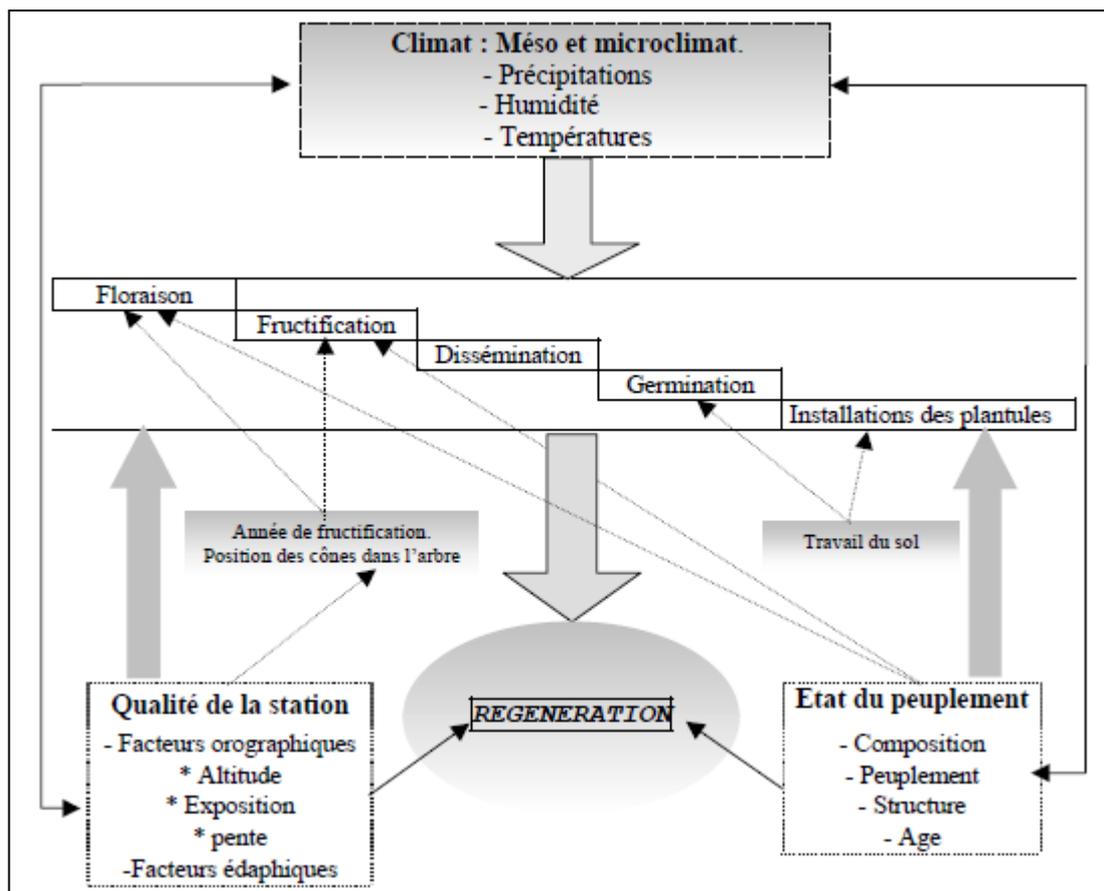
La régénération naturelle est un paramètre primordial dans le rajeunissement, le renouvellement et finalement la pérennité d'un peuplement forestier. C'est le meilleur remède en cas de destruction pouvant résulter de l'action humaine (surexploitation, pâturage abusif, pollution, feu) ou des incidents naturels (sécheresse, froid, ravageurs). C'est pourquoi la capacité de régénération naturelle d'une espèce forestière est toujours prise en compte dans les projets forestiers. Elle dépend de plusieurs facteurs qui agissent sur la fructification, la germination et la viabilité des plantules (Aussenac, 1984; Lamhamedi et Chbouki, 1994, Ezzahiri et al, 1994 ; Khanfouci, 2005, Le Poutre et Pukos, 1964 ; Le Poutre,1966). Elle est également très capricieuse (Van Leberghe, 2007).

Plusieurs études ont été consacrées au renouvellement naturel du cèdre de l'Atlas, aussi bien dans son aire naturelle ( Le Poutre 1964 et 1966 ; Lamhamedi et Chbouki, 1994 ; Khanfouci, 2005, Ezzahiri et al., 1994 ; Brima, 1991 ; Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Malki, 1992 ; Saadi, 1992 ; Derouiche, 1999 ; Benzyane et al.,2006 et Belouaar, 2006) que d'introduction (Toth, 1973a et 1983 ; Bernard et Pichot et al, 2006), en conditions contrôlées ou en plein champ.

Ces différents facteurs sont maintenant assez bien cernés. Il s'agit, du climat, de la topographique (altitude, exposition et pente), du sol (composition, profondeur, matière organique et roche mère), de la végétation (composition, âge, fructification, état sanitaire et densité), de l'action de l'homme (coupes, pâturage et agriculture) et ravageurs naturels (Le Poutre et Pujos, 1964, Le Poutre, 1966 ; Khanfouci, 2005, Lamhamedi et Chbouki, 1994 ; Ezzahiri et al., 1994 ; Malki, 1992 ;Derouiche, 1999; Belouaar, 2006,).

La fig.11 de Lamhamedi et Chbouki (1994) modifiée par Khanfouci (2005) résume les différents facteurs qui déterminent la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas et leurs interactions complexes. En fait tous ces facteurs ont une liaison directe ou indirecte avec essentiellement le climat (Les températures et les précipitations), la qualité du sol et l'état du couvert végétal. En effet, le climat par le biais de l'altitude et de l'exposition, conditionne la production de graines (floraison, pollinisation, développement, maturation et désarticulation des cônes), la date de germination, le développement des semis et leur capacité à produire un système racinaire apte à extraire l'eau du sol en été (Khanfouci, 2005)

Pour simplifier, nous retenons comme le suggère Le Poutre (1966) et Le Poutre et Pujos (1964) deux composantes majeures dans régénération : « La fructification, la production et la germination de la graine » et « l'installation et le maintien des semis ».



**Fig 11** : Les principaux facteurs intervenant dans le mécanisme de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas et leurs interactions (Lamhamedi et Chbouki, 1994, modifiée par Khanfouci, 2005)

### **1.2.5.1-Fructification, production et germination de la graine**

La production grainière des résineux est en général irrégulière. Pour le cèdre de l'Atlas, seule une année sur trois ou sur quatre correspond à une bonne « grainée » et un seul pied peut donner de 50 mille à 1 million de graines (Toth, 1983).

En Algérie, Illoul et al (2001) ont observé que la production grainière est plus importante au sein des cédraies de l'Atlas tellien et faible en Atlas Saharien. Ces observations vont dans le même sens que celles de Pradel (1979) qui indique que dans le haut atlas et dans les Aurès, le milieu actuel est trop contraignant pour permettre aux sujets notamment âgés d'assurer aisément la régénération.

La production de graines est fonction de l'action néfaste des facteurs intervenant tout au long du cours du cycle de reproduction (floraison, pollinisation, fécondation, développement et maturation physiologique des graines) (Khanfouci, 2005).

Selon Van Leberghe (2007) le climat est le facteur essentiel et déterminant de la régénération. Cependant, une bonne année de fructification n'induit pas forcément une forte densité de semis naturels. Cet auteur précise que le succès du semis naturel est tributaire de la précocité de dissémination et de la germination des graines et de l'installation des semis. Si cette dissémination est tardive et suivie par une période prolongée de sécheresse, les graines ne pourront pas germer sans l'humidité.

Il est à noter que l'âge de l'arbre est une composante de la fructification. Il est influencé par les conditions du milieu. La fructification commence vers l'âge de 35 à 40 ans. A 60 ans, la production de cônes est abondante (Boudy, 1952). Cependant, Demarteau (2006) rapporte que dans les conditions favorables, les cônes mâles commencent à apparaître sur des arbres de 15-16 ans et ceux femelles sur des pieds de 17-18 ans. En revanche, dans les conditions difficiles, les fruits ne sont visibles que sur des sujets de 30-32 ans. Des constatations proches ont été faites par Toth (1970-1972) qui indique que dans les reboisements de Bédoin, très souvent les arbres de 20-25 ans portent déjà des fleurs mâles en petit nombre, les fleurs femelles sont rares et les cônes fertiles sont exceptionnels en conditions défavorables. Entre 25-35 ans les fleurs mâles et femelles sont abondantes avec une assez grande quantité de cônes de faible fertilité. Entre 35-40 ans, la fécondité des fleurs ainsi que la fertilité des cônes augmentent (en courbe parabolique) pour atteindre leur maximum à l'âge de 50-60 ans. Au-delà de cet âge la fertilité des cônes chute relativement rapidement.

Courbet et al. (2007) rapportent que dans les peuplements artificiels du Mont Ventoux les cèdres peuvent commencer à fructifier dès 20 ans, mais ne se régénèrent qu'à partir de 40 ans et que l'on peut compter sur une bonne fructification tous les 3 ans en moyenne.

Il est à noter aussi que la faculté germinative des graines est influencée par les conditions de conservation. Il a été établi que les graines de cèdre se conservent mal à l'air

libre après décortilage (Toth, 1970 et 1970-1972 ; Pijut, 2000):) et mieux dans les cônes intacts au sec. Elles se conservent mieux encore en chambre froide à 4°C quand leur taux d'humidité est maintenu à 10 % (B.V.F, 1974 ; Toth, 1983).

Toth (1970) a observé que la faculté germinative est élevée au départ, mais se détériore très vite par la suite. Un semis effectué dès la récolte donnera 70-90 % de germination, le même, reporté au printemps prochain sera très décevant. Par ailleurs, Toth (1970) a observé également une influence de l'âge de l'arbre. Il a observé que la faculté germinative initiale, médiocre à 40 ans (autour de 50 %) passe par un maximum (85 %) quand les arbres sont âgés de 60-70 ans, et redescend à 30 - 40 % chez les sujets dépassant 100 ans. Signalons que diverses méthodes de conservation et de test de germination sont résumées par Pijut (2000).

La germination du cèdre est aussi liée à la quantité de calcium et de magnésium. Pour des sols ayant un rapport Ca/Mg > 4, elle s'installe facilement. Ce rapport est plus élevé pour les substrats basaltiques et les grès qui sont favorables (Ezzahiri et Belghazi, 2000). En revanche, la germination est limitée sur les sols calcimorphes en raison de la difficulté d'assimilation du potassium, du phosphore et parfois de l'azote (Le Poutre, 1963 in Ezzahiri et Belghazi, 2000). Le classement des sols en fonction de la facilité de la régénération est par ordre décroissant : Sols sableux inorganiques, sols basaltiques, sols rouges méditerranéens argileux et sols très organiques (Benziane et al, 2006).

La production de graines et les facteurs de dissémination ont été étudiées également par respectivement, Toth (1983) et Toth (1973a) dans les peuplements artificiels de France.

L'aspect génétique de la qualité des graines produites a été étudié récemment par Pichot et al. (2006) dans les peuplements artificiels de France. Ils ont trouvé que le taux d'autofécondation est variable et peut atteindre 47 %. Cette autofécondation est favorisée par la faible densité de semenciers, mais ne modifie pas toujours le taux d'embryons viables issus d'autofécondation. Par ailleurs, elle induit une réduction de la croissance des plants, mais n'affecte pas leur taux de survie. Le niveau de contrôle génétique des paramètres de fructification varie fortement avec le caractère considéré. Il est élevé pour le taux de fécondité.

#### **1.2.5.2-Installation et maintien des semis**

Aussenac (1984) note que dans son aire naturelle, le semis du cèdre de l'Atlas peut être confronté à des froids tardifs ou précoces ou à une sécheresse précoce ou encore à une combinaison de ces deux facteurs. Dans les mêmes conditions, la graine ne peut germer que lorsque la température maximum journalière est de 9.5°C pendant 9 à 10 jours, correspondant à une température maximale moyenne mensuelle de 10 °C (Le Poutre

et Pujos, 1964 ; Le Poutre, 1966). Aussenac (1984) indique que chez le cèdre de l'Atlas la germination et la croissance du semis ne sont possibles qu'au delà d'une température moyenne de 6 à 7 °C. Après la germination, c'est la précocité et l'intensité de la sécheresse estivale qui conditionnent la survie des semis.

L'altitude est un paramètre déterminant dans la régénération. Aussenac (1984) a noté qu'en haute altitude (> 2000 m), la germination tardive ne permet pas la tenue des semis, en raison probablement des gelées précoces et du dessèchement hivernal des semis dont la cuticule des aiguilles est encore suffisamment développée. En basse altitude, la germination précoce permet le développement des semis, mais c'est la sécheresse qui constitue le facteur limitant. Ces observations rejoignent celles de Marion (1955) in Le Poutre (1966). De même, Le Poutre (1966) a observé qu'en haute altitude, les froids persistent longtemps, la mise en place des semis est tardive. La régénération est donc limitée et la cédraie est vieille et claire sur sols calcimorphes. En revanche, en basse altitude (jusqu'à 1800 m), les températures printanières et les semis sont précoces, alors la cédraie est souvent jeune et vigoureuse et se régénère avec beaucoup plus de facilité.

Pour que la régénération soit efficace, il est impératif que la production de graines coïncident avec des conditions notamment climatiques (humidité) favorables à la germination, au développement et à la survie des semis. Cette coïncidence est fort aléatoire (Khanfouci, 2005).

Le problème du maintien du semis se pose surtout au stade de leur jeunesse, lorsque la plantule, âgée de quelques mois seulement doit traverser l'été sans aucune ressource en eau que celle stockée dans le sol à la fin de l'hiver ou au début du printemps (Le Poutre, 1966)

La contrainte sol n'est pas négligeable dans la réussite de la régénération. Elle intervient au niveau de la germination et surtout du développement des semis. Un sol remué en surface et profond favorise la germination et le développement du système racinaire des semis qui pourront alors mieux résister au déficit hydrique (Toth, 1978 in Khanfouci, 2005). Cette observation est confirmée par Van Lerberghe (2007). Ce dernier ajoute que la sécheresse estivale est une preuve sélective. Seules pourront survivre les plantules ayant développé un bon système racinaire, leur permettant de profiter de l'humidité des couches plus profondes du sol. C'est pourquoi l'abri latéral de la végétation environnante est toujours favorable. Courbet et al (2007) rapportent également que dans le Mont Ventoux, les coupes périodiques du chêne favorisent l'installation et la croissance des jeunes semis, suite à la mise en lumière et le remaniement du sol occasionné par l'exploitation.

Ezzahiri et al (1994) indiquent aussi que la nature du substrat, la texture et la profondeur jouent un rôle déterminant dans le renouvellement du cèdre. Ces auteurs ont

constaté que contrairement au substrat carbonaté superficiel, les sols basaltiques profonds sont plus favorables à l'installation des jeunes semis lesquels, suite à un bon enracinement peuvent utiliser durant la période estivale, l'eau emmagasinée dans les horizons profonds du sol.

Les sols argileux et ceux dont les points de flétrissement sont très élevés, avec une forte litière, très riches en matière organique sont défavorables à la germination (Le Poutre, 1961 in Le poutre et Pujos, 1964).

Signalons aussi que les ravageurs naturels y compris le petit gibier et l'action de l'homme contribuent à la baisse de la production de graines et à la destruction des jeunes semis.

*Pour schématiser, Le Poutre (1966) estime que dans les conditions naturelles, la plantule du cèdre de l'Atlas est prise dans un étai dont une branche serait les froids tardifs et l'autre, la sécheresse estivale plus ou moins précoce.*

## **1.2.6- Le dépérissement**

### **1.2.6.1-Le dépérissement forestier en général**

Le « dépérissement » est avant tout un terme symptomatologique qui traduit une altération durable de l'aspect extérieur des arbres (mortalité des organes pérennes, réduction de la qualité et de la quantité des feuilles) et une diminution de la croissance. La mort d'un certain nombre d'individus n'est pas obligatoirement un signe de fatalité pour le peuplement, même si la situation est préoccupante (Delatour, 1990 et Nageleisen, 2006 in Le Meignen et Micas, 2008).

Pour Zine El Abidine (2003), Badraoui et Assali (2007), en terme de symptomatologie, les dépérissements forestiers sont définis comme étant « des phénomènes causés par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière entraînant ainsi une détérioration générale et graduellement de la santé de l'arbre dont l'issue n'est pas toujours fatale.

Pour Manion (1981) in Ciesla (1993), ce sont des phénomènes complexes évolutifs qui résultent de «l'interaction de facteurs abiotiques et biotiques intervenant dans un ordre spécifique pour provoquer une détérioration générale progressive qui se solde souvent par la mort des arbres».

Ce phénomène touche aussi bien les espèces forestières que celles fruitières à noyau (cas de l'abricotier dans la région de N'Gaous en Algérie).

Parmi les principales espèces forestières du pourtour méditerranéen concernées ces dernières décennies par ce phénomène, on trouve, le cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord

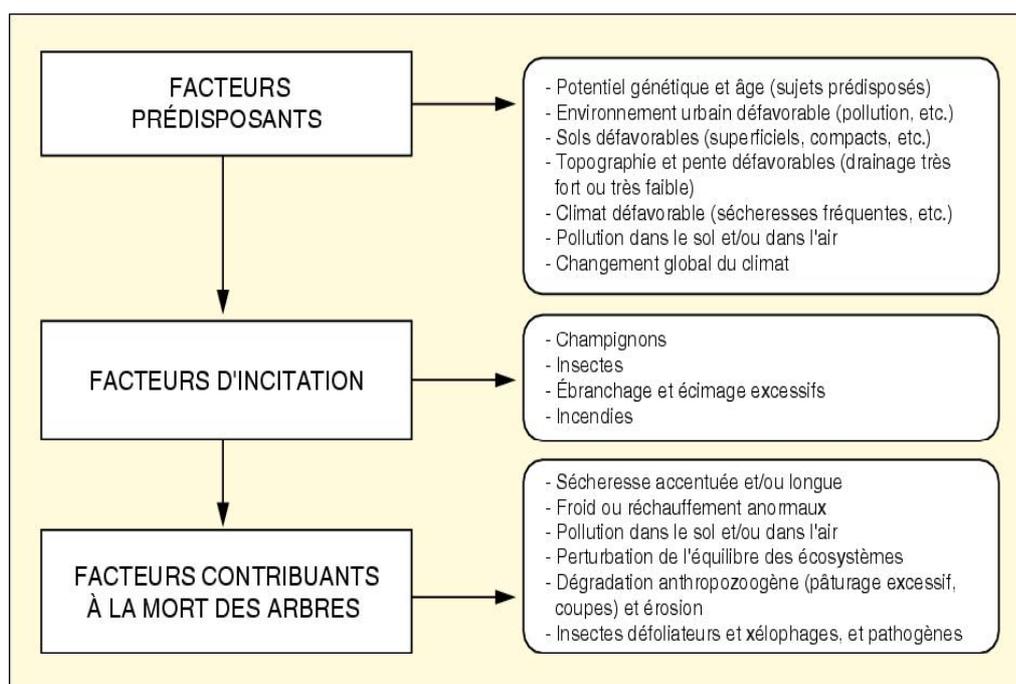
(Benabid, 1994 ; Badraoui et Assali, 2007 ; Bentouati, 2008), plusieurs espèces de Pin Au maroc (Zine El Abidine, 2003) en France (Rigolot, 2008 ; Le Meignen et Micas, 2008 ; Dentand, 2008), certaines espèces de chêne (surtout chêne liège) en France (Rigolot, 2008. Garrigue et al, 2008) en Espagne au Portugal et au Maroc (Varela, 2008), le hêtre et le sapin en France (Rigolot, 2008 ; Garrigue et al, 2008 ; Micaux, 2008; Dentand, 2008 ).

Les symptômes du dépérissement forestier sont multiples et variables avec l'espèce. De même, l'appréciation de l'intensité et de la date du commencement du dépérissement est difficile et subjective, donc aléatoire. Pour le Département de la Santé des Forêts françaises, un arbre est dépérissant quand son houppier perd plus de 50 % de ses ramifications (mortalité, chute, réduction) (Nageleisen, 2006 in Le Meignen et Micas, 2008).

Par ailleurs il est délicat d'identifier à partir des symptômes, les facteurs qui sont en cause (Ciesla, 1993). Certains symptômes peuvent être attribués à plusieurs facteurs différents.

Ciesla (1993) rapporte que parmi les symptômes associés aux dépérissements, on observe le ralentissement de la croissance, la dégénérescence des systèmes racinaires, la réduction des réserves nutritives, le jaunissement ou l'atrophie des feuilles, la chute des feuilles; la mort des branches, les rejets d'eau par les bourgeons adventifs et enfin, la mort de l'arbre.

Selon Zine El Abidine (2003), Manion (1981) in Ciesla (1993) et Badraoui et Assali, (2007), les facteurs intervenant dans les dépérissements peuvent être classés en trois (03) groupes illustrés par la figure 12 :



**Fig.12** : Les facteurs prédisposants, d'incitation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestiers (d'après Zine El-Abidine, 2003)

⇒ *Les facteurs prédisposants* :

Ils contribuent à l'affaiblissement de l'arbre et regroupent des variables à caractère permanent causant des stress de faible intensité et agissent à long terme (pollution atmosphérique, gestion forestière, climat, sol, potentiel génétique).

⇒ *Les facteurs déclenchants ou incitatifs* :

Ils agissent souvent à court terme (éphémère) et provoquent un affaiblissement de forte intensité des arbres qui sont déjà soumis à un stress. La défoliation consécutive suite aux attaques d'insectes, la sécheresse ou l'exposition à des polluants en sont des exemples.

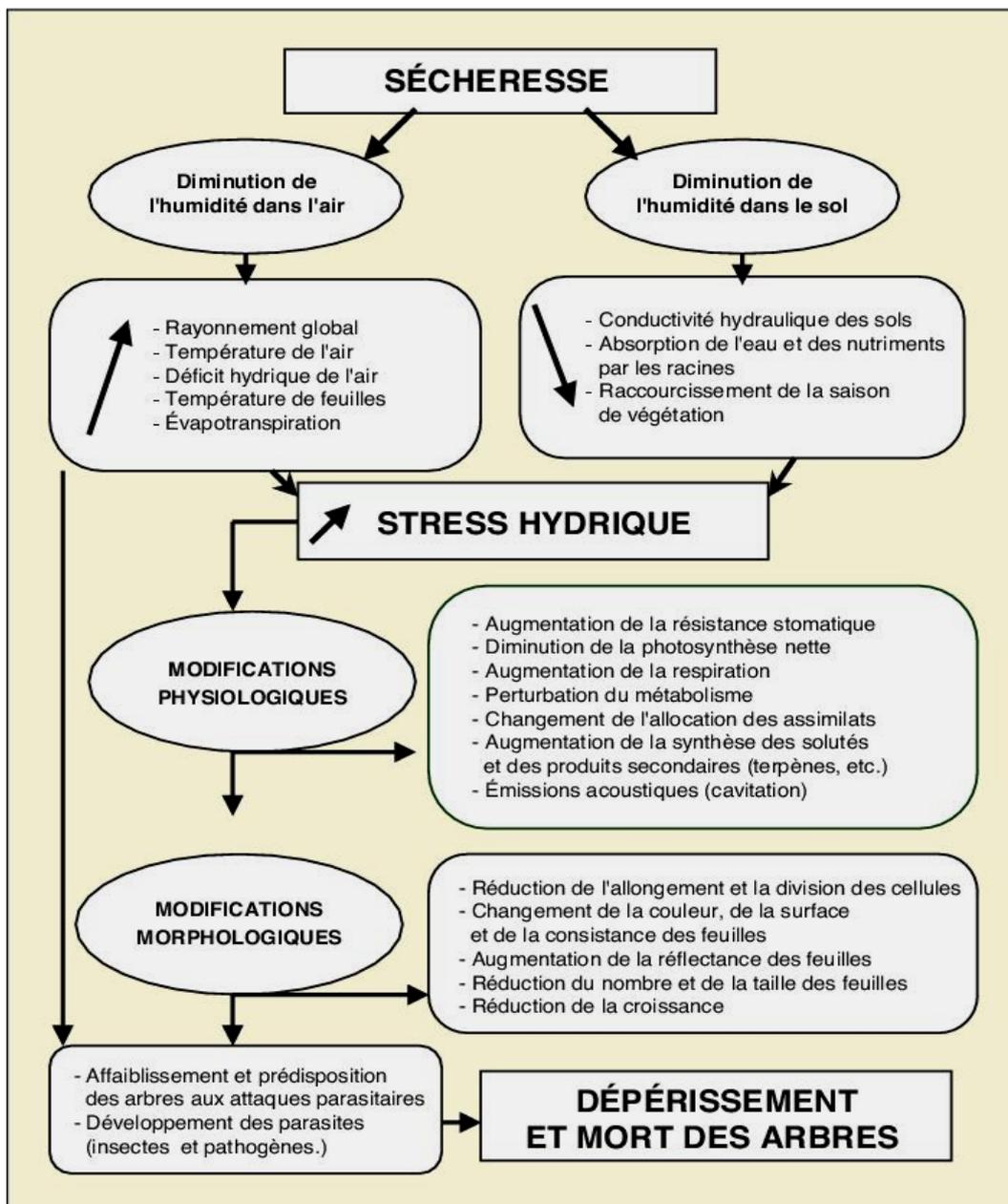
⇒ *Les facteurs aggravants ou contributifs* :

Ils empêchent les arbres touchés de se régénérer. Ils regroupent les variables agissant d'une manière additive et antagoniste. Les insectes xylophages, les champignons secondaires et les virus qui produisent des signes et symptômes visibles et empêchent l'arbre de se régénérer en sont des exemples. Ces facteurs sont souvent jugés responsables d'un phénomène, alors qu'en réalité ils ne sont que des agents secondaires (Ciesla, 1993).

Par ses multiples actions, la sécheresse (Fig.13), apparaît être le paramètre le plus associé au dépérissement des forêts, comme facteur prédisposant ou d'incitant (Houston, 1992, in Zine El Abidine, 2003).

Elle favorise aussi la survie et le développement des insectes et des champignons pathogènes en leur créant des conditions physiques favorables (El Abidine, 2003). Il a été établi par exemple que le changement de couleur des arbres stressés augmente la réflectance des feuilles dans le visible et l'infrarouge entraînant ainsi l'attraction des insectes (El Hassani et al, 1994 in Zine El Abidine, 2003).

Le stress hydrique qui s'installe suite à une sécheresse est considéré également la cause majeure du dépérissement des forêts. Ses effets sont multiples et varient avec sa sévérité, sa durée, le stade de développement de la plante. Il affecte d'abord la croissance en hauteur et en diamètre de l'arbre, puis le métabolisme des feuilles, induisant finalement le dessèchement partiel ou total des sujets jeunes et moins jeunes (Zine El Abidine, 2003).



**Fig.13** : Effet de la sécheresse sur le dépérissement des arbres (d'après Zine El-Abidine, 2003)

## 1.2.6.2-Le dépérissement au Maroc et en Algérie

### 1.2.6.2.1-Au Maroc :

Zine El Abidine (2003), rapporte que plusieurs auteurs ont remarqué qu'au Maroc des peuplements forestiers et préforestiers naturels ou artificiels, présentent partout des aspects de dépérissement inquiétants dont les symptômes visibles sont le changement de couleur et le dessèchement partiel ou total.

Benabid (1994) indique que plusieurs milliers d'hectares de cédraies au Maroc (Moyen Atlas central et oriental et haut Atlas oriental) comme en Algérie connaissent un dépérissement effroyable. Ce dépérissement massif des peuplements de cèdres morts sur

piéd s'observe sur de vastes étendues des forêts marocaines (Tamjilt, Berkine, Meghraoua, Mitkane, Agoudim, Tounfite et Tirrhist) (Benabid, 1994).

Au Maroc, les premiers symptômes du dépérissement massif sur le cèdre de l'Atlas ont été observés dans le Moyen Atlas (Ifrane, Azrou) en 2001, suite à l'action combinée d'une sécheresse répétée au cours des dernières décennies et de la pression exercée par les populations riveraines (Badraoui et Assali, 2007). Benabid (1994)

Selon Drihem (2008), le dépérissement du cèdre au Maroc est un phénomène ancien. Il a été observé depuis les années 1940 et il s'est étendu et amplifié progressivement à partir du début des années 1990, avec constatation des symptômes massifs durant l'été 2001. L'auteur précise qu'aujourd'hui 17% de la superficie de cèdre inventoriée est touchée par le phénomène (soit 12.000ha sur 70.000 ha).

Nageleisen (2007) mentionne qu'un dépérissement important affecte la cédraie du Moyen Atlas, depuis 20 ans et que plusieurs hectares sont concernés, notamment à Azrou et à Ifrane. Cet auteur ajoute qu'en Europe aucun phénomène de cette ampleur n'a été observé. Les dépérissements constatés en Europe sont très localisés et limités en surface. Ils sont dus souvent à la sécheresse, aux problèmes de sol (hydromorphie, acidité) ou aux facteurs biotiques comme les pucerons, insectes phyllophages, scolytes et armillaire.

#### **1.2.6.2.2- En Algérie :**

En Algérie, le dépérissement du cèdre de l'Atlas n'est pas récent. Des sécheresses intenses de 1875 à 1888 auraient déjà occasionnés d'importants dégâts sur les peuplements de cette espèce (Bentouati, 2005).

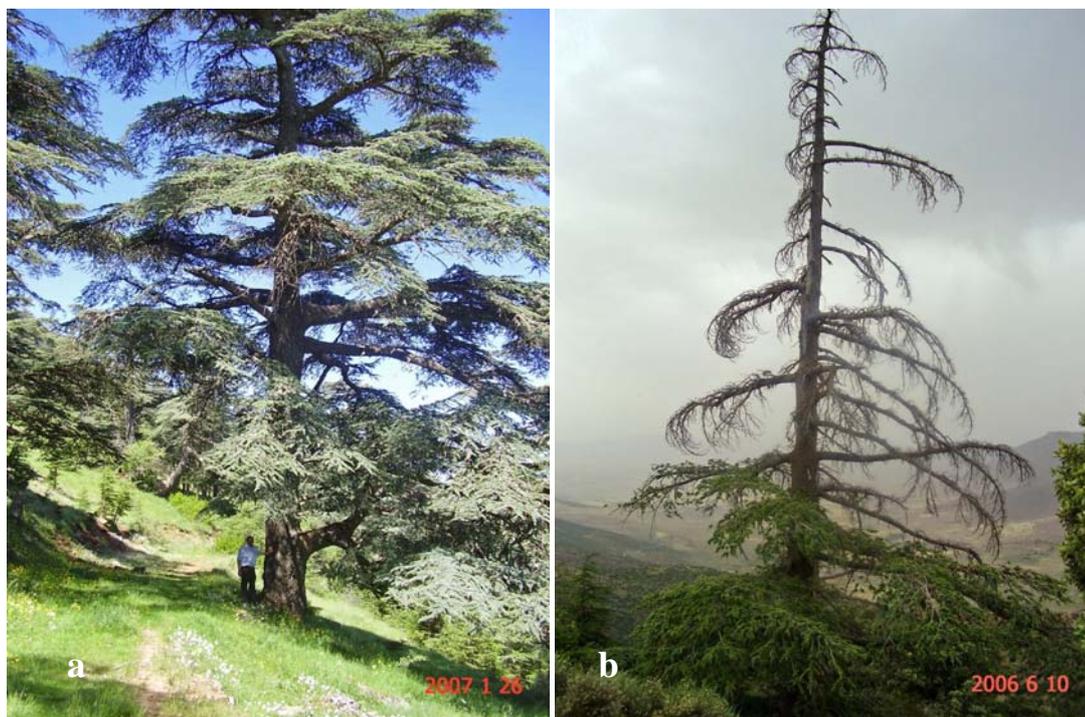
Selon Bentouati (2005 et 2008), ce phénomène massif a été constaté au niveau des Aurès en 1982, suite aux attaques sévères de *Thaumetopoeae bonjeani* (lépidoptère) et actuellement il touche plus ou moins fortement l'ensemble des cédraies aurassiennes. Les cédraies plus endommagées sont celles de Belezma en association avec le chêne vert, sur marnes fortement accidentées et soumises aux influences sahariennes (Djebel Boumerzoug et Tuggurt en particulier) et de celles les plus méridionales situées à la limite sud des Aurès, comme la région de Taghda et Djebel Lazreg. Dans ce massif plus de 1/3 de la surface est touché (Bentouati, 2008). Ces observations sont confirmées par Benssaci (2006) qui a constaté que la station de Boumerzoug est dans un état de dépérissement avancé, avec un dessèchement du peuplement estimé à plus de 95 % et que seuls quelques sujets éparpillés et localisés en basse altitude du versant Nord du djebel Boumerzoug sont encore à l'état physiologique normal.

A Ouled Yakoub, le dessèchement est intense surtout dans les zones sud soumises aux influences sahariennes, par bouquets ou bandes entières de surface variable (Bentouati, 2008). Dans le même site et au chéilia Halitim (2006) évoque également un

dessèchement massif des peuplements sur des dizaines, voire des centaines d'ha. Moukouri Djoumbi (2007) a fait le même constat dans le même site (Fig.14).



**Fig.14:** Vue du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le massif de Ouled Yagoub ( photo Moukouri Djoumbi, 2007).



**Fig.15 :** Vue comparée d'un pied de cèdre de l'Atlas sain (a) et d'un autre en voie de dessèchement qui commence par la cime (b) dans la cédraie de Belezma (Photos Bentouati A. en 2006).

Au niveau de la cédraie du Chélia, le phénomène est plus prononcé au niveau des crêtes et concerne en particulier les versants sud (Bentouati, 2005). Il est diffus et touche davantage pour le moment les sujets isolés et ceux âgés (Bentouati, 2008).

L'évolution du dessèchement et de quelques symptômes visibles du dépérissement au niveau de l'arbre sont rapportés par Bentouati (2005 et 2008), Moukouri Djoumbi (2007) et Halitim, (2006) qui constatent que très souvent, ce phénomène commence par la cime de l'arbre directement exposée aux radiations solaires et s'étend progressivement vers le bas (Fig.15b). Les arbres dépérissant expriment un jaunissement puis une perte des aiguilles. Leurs rameaux dénudés s'amollissent et adoptent un profil arqué vers le bas (Fig.15b).

En plus de ces symptômes Moukouri Djoumbi (2007) note un écoulement abondant de résine chez les sujets affaiblis. Les arbres âgés et moins vigoureux en situation d'alimentation hydrique limitée sont en particulier plus vulnérables (Bentouati, 2005 et 2008 ; Halitim, 2006, Moukouri Djoumbi, 2007, Zine El Abidine, 2003). Cette situation pourrait être expliquée par le fait que, plus les arbres grandissent, leurs besoins en eau augmentent et leur rivalité pour l'humidité s'intensifie. Par conséquent, plus les arbres vieillissent et plus ils s'étendent et alors leur rivalité pour capter l'eau s'intensifie, ce qui expose les arbres à un plus fort stress (Ciesla, 1993). Les vieux arbres sont plus sensibles au dépérissement du fait de leur physiologie affaiblie par l'âge et de leur grande taille (biomasse vivante).

Comme le dessèchement concerne également les autres classes d'âge à des degrés divers, varie avec les stations et s'installe même dans les bas-fonds bénéficiant des eaux d'écoulement (Bentouati, 2008 et Nafraoui, 2002 in Moukouri Djoumbi, 2007), il est probable que le dépérissement du cèdre résulterait de plusieurs facteurs interagissant. Cette hypothèse est d'ailleurs suggérée par des rapports antérieurs (FAO, 1985, INRF, 1986 ; Cavalcossal, 1985 ; Lanier, 1986 ; Demolin et Fabre, 1986 et Demolin, 1991 in Bentouati, 2005).

#### **1.2.6.2.3- Synthèse des facteurs intervenant**

Sur la base des différents rapports établis (Manion,1981 in Ciesla, 1993 ; Quezel, 1998 ; Pradal, 1999 ; Ciesla 1993 ; Benabid,1994 ; Zine El Abidine, 2003 ; Bentouati, 2005 et 2008 ; Nafraoui, 2002 in Moukouri Djoumbi, 2007 ; Halitim, 2006 ; Moukouri Djoumbi, 2007 ; Nageleisen, 2007 ; Badraoui et Assali, 2007 ; Drihem, 2008), on déduit que le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord est un phénomène ancien qui s'est amplifié ces dernières décennies. Pour l'instant, il concerne en particulier les cédraies des Aurès et celles du Moyen Atlas central et oriental et haut Atlas oriental

Marocain, installées sur un milieu hostile à bioclimat sub-humide et localement semi-aride (Quezel, 1998, Pradel, 1999).

Le principal facteur mis en cause sur lequel il y a un consensus est le changement climatique (paragraphe 1.2.7) qui tend à accentuer l'aridité. La forte baisse des précipitations entre autres dans les régions concernées par le dessèchement du cèdre et la perturbation de leur répartition, ainsi que l'augmentation des températures et les vents chauds et secs provenant du Sahara (Sirocco). Ces deux dernières décennies se caractérisent par des sécheresses atmosphériques et édaphiques de plus en plus fréquentes et excessives. Cette situation a eu pour conséquence une diminution sévère des ressources en eau des sols, estimée en basse altitude (1600-1800m) dans les stations de Ouled-Yagoub et de Chélia, à moins de 40 % de la réserve utile (Halitim, 2006). Selon cet auteur, cette sécheresse édaphique peut s'étendre sur 4 à 7 mois (Entre avril et juillet et octobre et novembre selon les stations).

Ces sécheresses sont d'autant plus graves qu'elles coïncident avec la période la plus active du cèdre de l'Atlas (Finkelstein, 1981 et Aussenac et al., 1981 ; Zine El Abidine, 2003 ; Bentouati, 2008) et déstabilisent le fonctionnement de plusieurs paramètres de l'arbre et de son environnement (fig.13). Ces stress répétés et durables réduisent le fonctionnement physiologique de l'arbre (fermeture des stomates, diminution de la photosynthèse) sur plusieurs mois et années successifs, conduisant graduellement à l'affaiblissement irréversible de l'arbre et finalement à sa mort (Halitim, 2006 ; Zine El Abidine 2003 ; Ducrey, 1994). Cette situation est d'autant plus probable qu'elle concorde avec les résultats de Ducrey (1994) qui a montré qu'un stress hydrique d'origine édaphique ou atmosphérique affecte en premier lieu la photosynthèse mésophyllienne et précise que le cèdre de l'Atlas ne contrôle pas très efficacement ses pertes en eau et son adaptation à la sécheresse réside dans sa bonne croissance radiaire et sa capacité à prospecter rapidement le sol en profondeur. Par ailleurs, Toth (1988 et 1990c) a observé que la croissance du cèdre est fortement et positivement liée aux précipitations de mai à juillet et surtout de mars à août. Ce résultat est aussi celui de Ducrey (1994) qui a remarqué que la croissance en hauteur et en diamètre du cèdre de l'Atlas est corrélée positivement aux précipitations de l'automne et à celles du début et de fin d'été.

Outre la sécheresse considérée comme le principal élément déclenchant, plusieurs autres facteurs plus ou moins contraignants, dits prédisposants ou aggravants sont mis en cause.

Il s'agit de :

- ✓ L'activité humaine (pâturage excessif du sous-bois et tassement du sol favorisant l'érosion hydrique responsable du déchaussement des arbres, Incendies, écimages, ébranchages et coupes illicites) qui introduit des facteurs contribuant à l'affaiblissement des arbres et les rendent plus vulnérables à la sécheresse.

✓ La prolifération des champignons racinaires comme *Armillaria ssp* et les insectes xylophages (scolytes) et défoliateurs (chenilles de *Thaumetopoeae bonjeani* et de *Thaumetopoeae pityocampa*) qui s'attaquent aux arbres affaiblis

✓ La topographie : les fortes pentes limitent l'infiltration des eaux pluviales et accentuent le décapage des sols). L'exposition sud plus chaude favorise le stress hydrique.

✓ Les substrats marneux et les sols superficiels limitent l'enracinement et réduisent la capacité de rétention en eau.

✓ L'âge avancé des arbres.

✓ La densité élevée dans certains peuplements peut conduire à une forte concurrence entre les arbres pour l'exploitation de la réserve hydrique (manque d'actions sylvicoles).

### **1.2.7- Impact du changement climatique sur l'avenir des forêts méditerranéennes et du cèdre de l'Atlas de l'Afrique du nord.**

Selon de nombreux scientifiques, entre autres Jacq (2008), Blondel (2008) et Seguin (2008), le dernier rapport 2007 publié par les experts du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) dépendant de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) est sans équivoque ; la température moyenne du globe a augmenté de plus de 0,74 °C (0.56 à 0.92 °C) au XX<sup>e</sup> siècle et le réchauffement s'est accéléré depuis 1975 à 1980. C'est le siècle le plus chaud depuis 1000 ans et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle (Seguin, 2008). Ce phénomène est lié très probablement (probabilité > 90 %) en partie aux émissions massives des gaz à effet de serre, notamment le CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère par l'utilisation de l'énergie fossile (*Très schématiquement, les gaz à effet de serre en faible quantité dans l'atmosphère, jouent un rôle semblable à celui des vitres d'une serre qui laissent passer la lumière, mais empêchent la chaleur restituée par le sol chaud de se dissiper trop vite vers l'extérieur*).

Les prévisions du changement du climat établies par le GIEC prévoient d'ici 2100, un réchauffement de 1.8 à 4 °C (1.4 à 5.8 °C selon Blondel, 2008), en fonction des scénarios des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre qui seront prises par les pays les plus polluants [Par exemple : *scénario A2 : La réduction des émissions de gaz à effet de serre reste régionale* (l'aspect économique prime sur l'aspect environnemental dans les décisions politiques), *scénario B2 : basé sur la perspective d'une division par deux du rythme de cette croissance d'émission.* ]

Les réchauffements ne seront pas uniformes sur l'ensemble du globe. Certaines régions connaîtront des augmentations de température plus importantes.

Selon Demarteau (2006) le Maghreb connaîtra dans certaines régions jusqu'à 5 à 6°C de plus et que la température moyenne de janvier ne descendra pas sous les 3 à 4 °C pour tous ses pays). L'auteur prévoit aussi pour le pourtour méditerranéen des températures maximales de 20°C en janvier à 42°C en juillet dans le Sahara.

A l'échelle du pourtour méditerranéen cela se traduirait par (Jacq, 2008):

- ✓ Une baisse très sensible des précipitations y compris la neige sur l'année et du nombre de jours de pluie, notamment en été (sécheresse estivale plus marquée).
- ✓ Une augmentation forte de la température annuelle et de celle maximale en été (augmentation du nombre de jours de canicules en été).
- ✓ Une perturbation des forêts déjà fortement touchées par le stress hydrique.
- ✓ Ces perturbations seront plus sensibles au milieu du XXI<sup>ème</sup> siècle.

En région méditerranéenne, les premières manifestations visibles qui témoignent de la mise en route des changements climatiques sont sans doute, les dépérissements de plusieurs espèces forestières (paragraphe 1.2..6.1), la régression des zones humides (avancement de la désertification), l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, telles les sécheresses fortes, les inondations (pluies violentes qui amplifient l'érosion hydrique), les incendies (Badraoui et Assili, 2007).

Pour les espèces forestières méditerranéennes en général et le cèdre de l'Atlas en particulier, les prévisions mentionnent un déplacement de leurs aires bioclimatiques vers le Nord de l'Europe, à condition qu'elles soient en mesure d'adapter leur comportement notamment hydrique (plasticité) et de leur extension sur de longues distances.

Dans la 2<sup>ème</sup> partie du XXI<sup>ème</sup> siècle, la végétation actuelle des zones méditerranéennes devrait connaître une baisse plus forte de productivité et des difficultés de régénération (Rigolot, 2008).

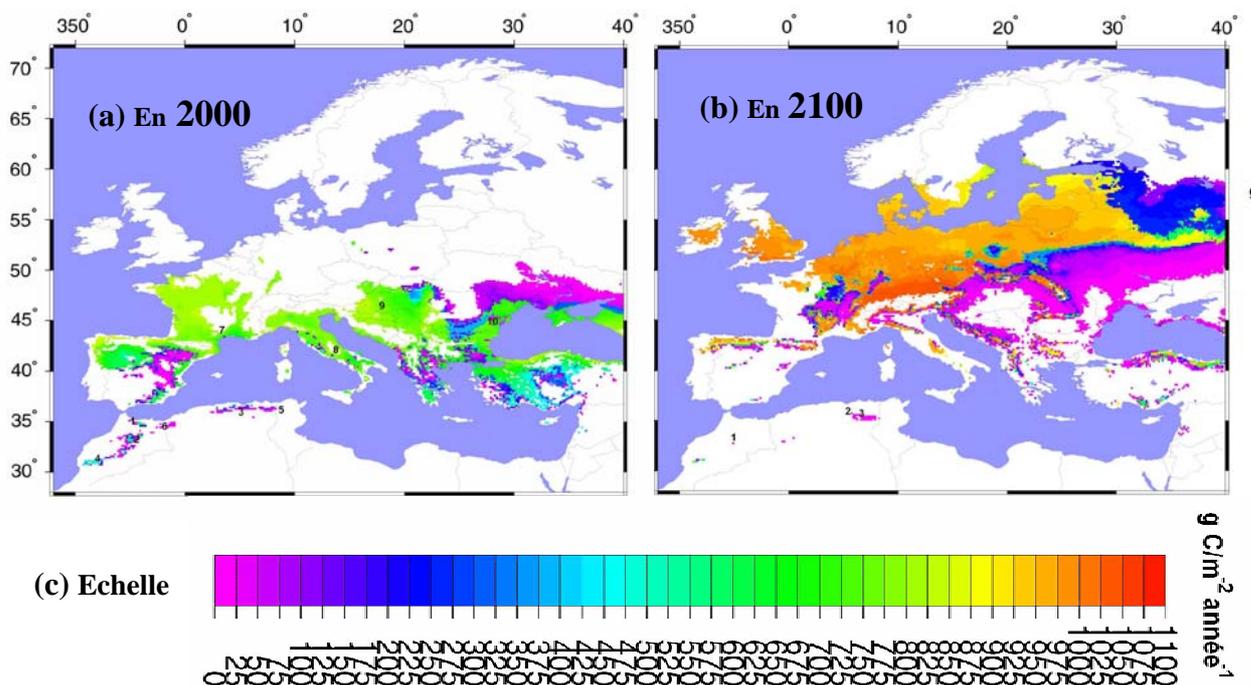
Pour le cèdre de l'Atlas, Demarteau (2006) a montré sur la base de données du passé (il y a 6000 ans) issues d'une étude palynologique, actuelles (en 2000) et futures (prévues en 2100) soumises à des simulations par le modèle CARAIB (CARBon Assimilation In the Biosphère) que l'aire de distribution potentielle de cette espèce est très sensible à la variation du climat.. Cheddadi (2006) est parvenu au même constat.

Les principales conclusions de Demarteau (2006) commentées également par Riou-Nivert (2007) sont :

➤ La simulation de son aire actuelle (en 2000 par exemple, Fig.16a) montre que le cèdre peut potentiellement s'étendre sur une aire plus importante que celle réellement observée maintenant. Le succès (régénération naturelle et croissance) de son introduction artificielle en Europe et en particulier dans diverses régions françaises constitue sans doute une preuve.

➤ En revanche, dans le futur (en 2100), on prévoit une forte régression considérable de son aire de distribution naturelle actuelle, en raison de l'augmentation des températures hivernales et l'accentuation de la sécheresse prévue par le scénario A2.

Dans un avenir proche, le cèdre de l'Atlas ne sera plus adapté au pourtour méditerranéen (Espagne, Italie, Sud et Ouest de la France). En Afrique du Nord qui deviendrait trop chaude et trop aride pour lui, il ne pourrait subsister que dans les hauteurs et avec une productivité faible (Dans une petite partie du Moyen Atlas, dans le massif de l'Aurès et dans les monts de Belezma) (1, 2 et 3 sur Fig.16 b). Les dépérissements observés au Maroc et en Algérie (Paragraphe 1.2.6.2) sont malheureusement en faveur de cette prévision.



**Fig. 16:** Prédiction de l'aire de répartition potentielle du cèdre de l'Atlas par le modèle CARAIB sur la base du scénario du réchauffement du climat A2 du GIEC (Bemarteau, 2006):

(a) : Aire potentielle actuelle (en 2000), (b) : Aire potentielle Future (en 2100, 1= Moyen Atlas, 2 =Aurès, 3 = Belezma. (c) : Les couleurs représentent la variation de la production primaire nette (NPP) potentielle en grammes de carbone fixé / m² de surface couverte /an. NPP est corrélée à la production en volume du cèdre s'il était présent (compte non tenu d'autres facteurs limitants).

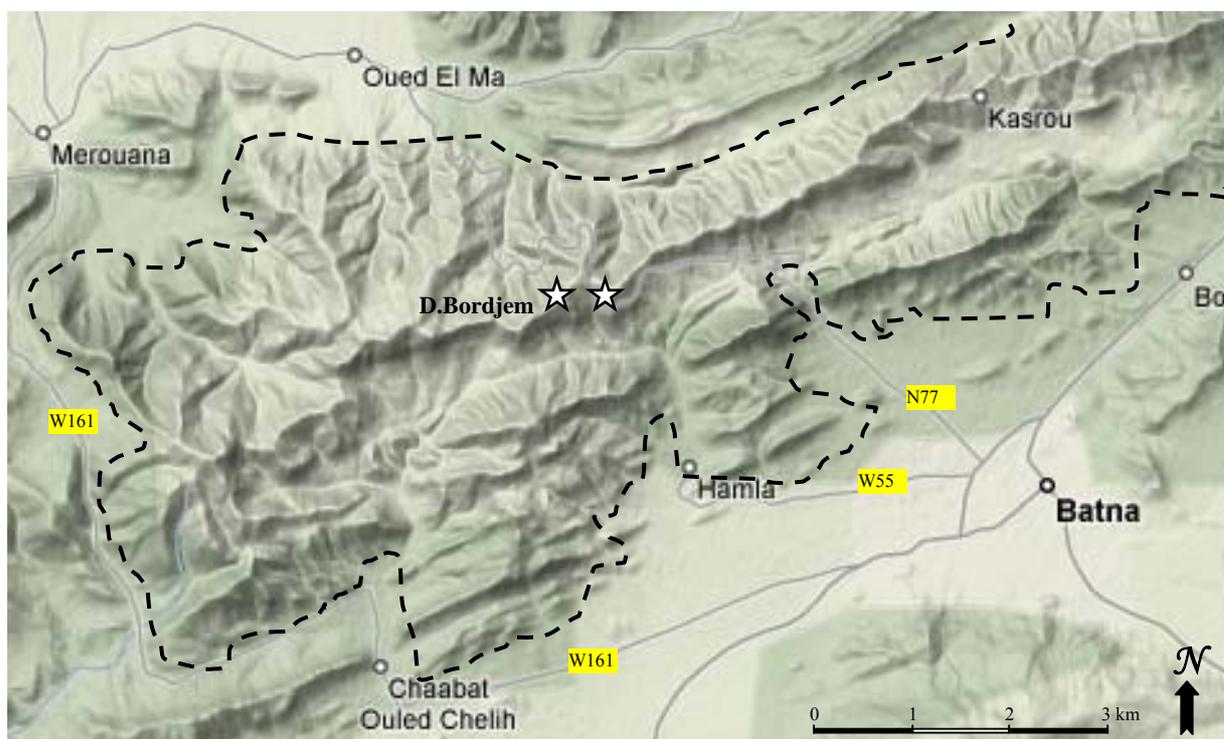
Son aire potentielle se déplacerait surtout vers le Nord-Est de l'Europe (Angleterre, Allemagne, Nord-Est de la France, Belgique, jusqu'au nord de la Suède) avec une productivité potentielle plus élevée (2 à 3 fois celle actuelle) en raison des précipitations durant les mois froids qui seront abondantes et celles de l'été moins réduites et surtout à l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Fig. 16b).

## II- MATERIEL ET METHODES

### 2.1- Situation et caractéristiques de la zone d'étude

#### 2.1.1-Situation géographique

La zone concernée par la présente étude est connue sous l'appellation de « *Telmet-Bordjem* ». Elle se situe à Djebel Chellalaâ , dans la chaîne montagneuse nord du massif du Belezma. Elle est accessible par la route W55 et celle N77 reliant respectivement la ville de Batna à Hamla et à Oued El Ma. Elle fait partie aussi de la tranche nord-est du « *Parc National du Belezma* », créé en 1984 (fig.17).



**Fig.17** : Situation de la zone d'étude : - - - - - Limite du Parc de Belezma ☆ Site d'étude

#### 2.1.2- Caractéristiques

##### 2.1.2.1- Le Parc de Belezma

Le parc de Belezma intégrant la zone d'étude s'étend sur une superficie de 26.250 ha. Ses particularités essentielles résident dans (D.G.F, 2006 ; UNESCO, 2002) :

- ✓ Son emplacement à la limite des influences sahariennes et méditerranéennes.
- ✓ La présence de la plus grande cédraie du pays (8100 ha selon Benabid, 1994), qualifiée de « faciès sec » en rapport avec sa situation et son exposition aux influences désertiques (40 Km seulement des portes d'El-Kantara).

- ✓ Sa nature essentiellement montagneuse.
- ✓ Ses formations géologiques et géomorphologiques variées (pics, vallées profondes et étroites, dalles rocheuses, hautes plaines).
- ✓ Sa flore à la fois typique (Unique cédraie sur dalle rocheuse du Djebel Chellalaâ sur 30 ha avec des sujets dépassant 300 ans, unique peuplement du grand Houx ou *Ilex aquifolium* dans les Aurès, 9 espèces endémiques, 54 espèces assez rares, rarissimes ou rares) et diversifiée (447 espèces inventoriées, soit 14 % du total national).
- ✓ Son capital faunistique riche et diversifié (309 espèces dont 9 protégées).
- ✓ Son bioclimat en mosaïque allant du subhumide frais au semi-aride froid.

### **2.1.2.2-La zone d'étude**

#### **2.1.2.2.1- Caractéristiques orographiques**

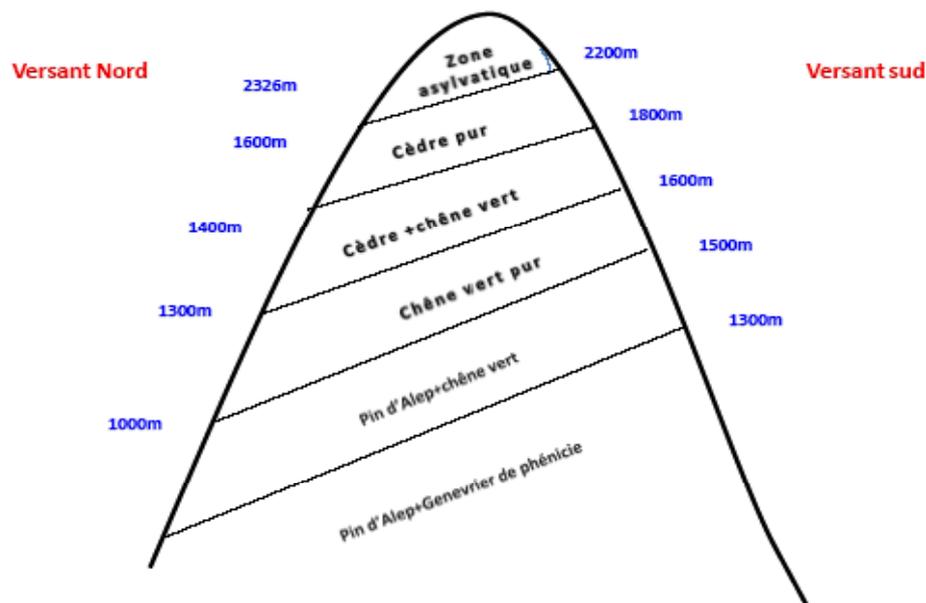
- ✓ Altitude : 1702 m ( Entre 1440 et 2000 m).
- ✓ Pente : Le relief est assez accidenté avec une pente moyenne de 34 % (Entre 20 et 60 %).

#### **2.1.2.2.2-Végétation :**

- ✓ Les principales espèces rencontrées dans la station sont :
  - Cèdre à l'état pur ou associé au chêne vert
  - Chêne vert (*Quercus ilex*)
  - Oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*)
  - Diss (*Ampelodesma mauritanica*)
  - *Erinacea anthyllis* *Cystus villosa*
  - Aubépine (*Crataegus monogyna*)
  - Calycotome (*Calycotome spinosa*)

Il est à noter que plusieurs autres espèces (37), appartenant à 20 familles botaniques sont rapportées par Belloula (2008).

- ✓ La hauteur moyenne du cèdre : 13 m (entre 8 et 22 m)
- ✓ L'étagement de la végétation illustré par la figure 18 a été réalisé par Schoenenberger (1970) in Bentouati (1994). Cette figure montre que le cèdre de l'Atlas s'installe à partir de 1300 m sur le côté Nord, jusqu'à 2200 m d'altitude sur les versants Sud. Il se trouve à l'état pur en haute altitude (1400-1600 m sur versant Nord et 1800-2000 m sur versant Sud). En basse altitude (1300-1400 m sur versant Nord et 1600-1800 sur versant Sud), il s'associe avec le chêne vert.



**Fig.18** : Etagement de la végétation au chéla (d'après Schoenemberger (1970) in Bentouati, 1994)

#### 2.1.2.2.3- Recouvrement du sol

- ✓ Taux de recouvrement moyen du sol par la litière = 33 %.
- ✓ Taux de recouvrement moyen par la végétation = 20 %

#### 2.1.2.2.4- Géologie et sol

Sur le plan géologique la zone d'étude repose sur le crétacé inférieur. Les roches mères les plus répandues sont des grès, grès dolomitique, marnes et calcaires dolomitiques (Faurel et al. (1949) in Khanfouci (2005)).

Sur le plan pédologique, les profils réalisés par nous même et la synthèse des résultats rapportés par Benarab (1996) (tableau 6), indiquent que les sols de la zone d'études sont globalement de texture argilo-sableuse. Ils sont classés dans la catégorie des sols brun faiblement calcaires et des rendzines (Abdessemed, 1981 et Schoenenberger, in Bentouati, 1994).

Les principales propriétés physico-chimiques des premiers 50 cm mentionnées dans le tableau 5, montrent qu'il s'agit de sols acides, relativement riches en matière organique, en azote total et en phosphore assimilable.

Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes sur les 50 premiers cm du sol à Telmet (Benarab, 1996)

Profil n°	7 (Telmet ouest)	8 (col de Telmet)	Valeurs moyennes
Argile (%)	49.7	33.5	41.6
Sable fin (%)	18.8	46.6	32.7
Matière organique (%)	7.8	6.9	7.4
C/N	14.7	11.9	13.3
N (%)	0.3	0.3	0.3
P assimilable (ppm)	4.6	3.9	4.2
PH eau	7.0	6.9	6.9

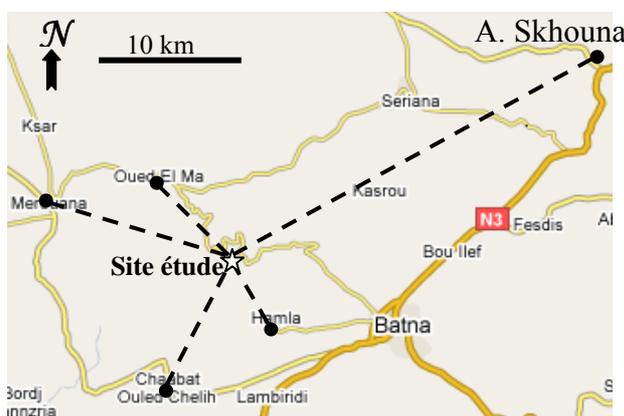
## 2.1.2.2.5- Climat

### 2.1.2.2.5.1-Données climatiques

Les postes météorologiques situés en plein massif forestier du Belezma et surtout au voisinage immédiat de la station d'étude, avec des données complètes et fiables font actuellement défaut.

Les postes existant traduisent peu le climat forestier. Ils sont placés à des altitudes relativement faibles, parfois en zones agricoles et leurs données sont fragmentaires (tableau 6 et fig.19) :

Compte tenu de la disponibilité des données sur une période relativement longue, de l'altitude et de l'éloignement, nous avons opté pour les valeurs moyennes de la période de 19 ans allant de 1975 à 1993 du poste de Chaaba rapportées par Khanfouci (2005).



**Tableau 6** : Caractéristiques postes météo proches du site

Poste	Altitude (m)	situation	distance du site (km)
Mériouana	1000	NO	12.7
O.El Ma	1045	NO	5.0
A.Skhouna	1040	E	25.4
Hamla	1080	SE	4.4
Chaaba	1278	SO	9.2
<b>Site étude :</b>	1702	-	-

**Fig.19** : Situation des postes météorologiques disponibles par rapport au site d'étude

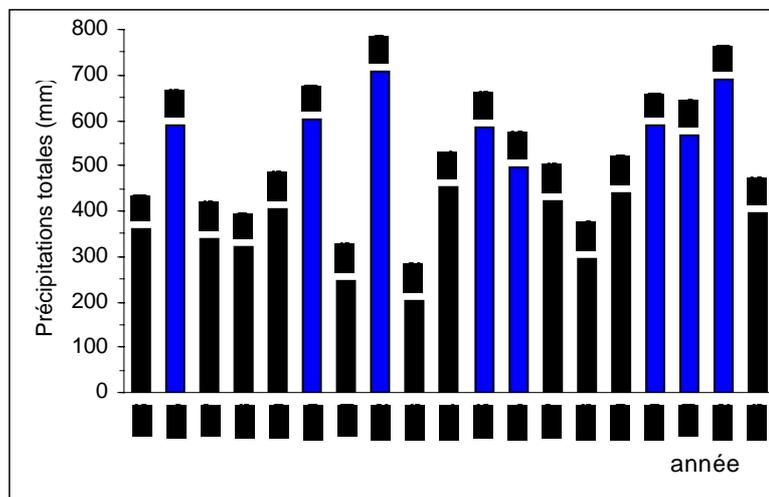
### ✓ Les précipitations

Les valeurs totales annuelles et moyennes mensuelles et saisonnières des précipitations sont consignées respectivement dans la figure 20 et le tableau 7.

La figure 20 montre globalement que les précipitations annuelles sont très instables (CV = 32.1 %). Elles varient entre 709 (1982) et 202 mm (1983). Par ailleurs, on observe que dans 60 % des cas, le cumul des précipitations est inférieur à la moyenne générale

(455 mm). La faible pluviométrie peut s'étendre sur 3 années successives et se répéter (1977 à 1979 et 1987 à 1989).

Cette hétérogénéité des précipitations concerne aussi les saisons. Les coefficients de variation intersaisons sont : Inter-hivers = 41.0 %, Inter-Printemps = 46.6 %, Inter-étés = 93.3 %, Inter-Automnes = 56.7 %.



**Fig.20** : Variation des précipitations annuelles entre 1975 et 1993 de la station de Chaaba. En noir valeurs < à la moyenne, en bleue valeur > moyenne générale de 455 mm

Sur le plan répartition, pratiquement 2/3 des précipitations tombent durant les 7 mois couvrant l'hiver, le printemps et la fin de l'automne (de novembre à Mai). La saison estivale est particulièrement sèche et fortement instable. Elle n'accumule que 7.7 % des précipitations annuelles, ce qui est une contrainte pour la survie des semis (tableau 7).

Tableau 7 : Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières des précipitations (Station Chaaba, 1975-1993 et zone d'étude <sup>(\*)</sup>)

Mois	P mensuelle (mm) Station Chaaba	P saisonnière (mm)		
		Saison	Chaaba	Site d'étude
Décembre	52.1	Hiver	145.7 (32.0%)	179.4 (30.4%)
Janvier	45.4			
Février	48.2			
Mars	53.4	Printemps	145.9 (32.0 %)	179.6 (30.5 %)
Avril	44.2			
Mai	49.6			
Juin	17.7	Eté	34.9 (7.7 %)	68.6 (11.6 %)
Juillet	03.4			
Août	13.1			
Septembre	33.1	Automne	127.9 (28.1 %)	161.6 (27.4 %)
Octobre	40.5			
Novembre	54.3			
Total	455	Total	455	589

(\*) = données estimées par extrapolation selon les recommandations de Seltzer (1946) (Augmentation des précipitations moyennes annuelles de 40 mm sur l'exposition Nord et de 20 mm sur le Sud).

## ✓ Les Températures

Les températures mensuelles et saisonnières des températures mensuelles maximales, minimales et moyennes ainsi que les écarts thermiques sont mentionnés dans le tableau 8.

La température moyenne sur l'ensemble de la période considérée est de 13.1 °C (entre 4.5 et 24 °C). La valeur moyenne des Maxima est de 19.6 °C (Entre 9 °C en Décembre-janvier et 33 °C en juillet-août). Celle des minima est de l'ordre de 6.6 °C (Entre 0 et 16 °C). Les écarts thermiques (M-m) sont de 13 ° (9 à 18 °C). Ils sont plus élevés en été avec 16.7 °C (de 16 à 18 °C, contre 9 à 11°C en hiver) (Tableau 8).

Les valeurs des températures moyennes et des écarts entre les maxima et les minima calculés permettent de classer le climat de la station de chaaba dans le type semi-continental froid (Debrach in Khanfouci, 2005).

Tableau 8 : Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières des températures  
(Station Chaaba, 1975-1993 et site d'étude <sup>(\*)</sup>)

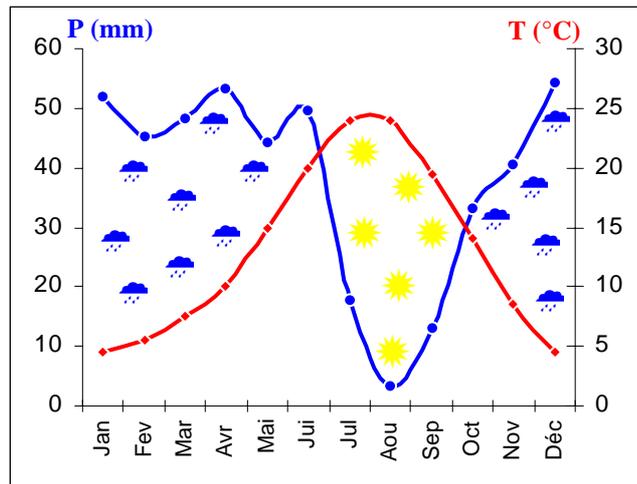
Mois	Températures mensuelles (°C) Chaaba				Températures saisonnières (°C)					
	M	m	Moy.	M-m	Saison	Lieu	M	m	Moy.	M-m
Décembre	9.0	0	4.5	9.0	Hiver	Chaaba	9.7	0.0	4.8	9.7
Janvier	9.0	0	4.5	9.0						
Février	11.0	0	5.5	11.0		Print.	Chaaba	17.3	4.3	10.8
Mars	13.0	2	7.5	11.0	Site étude		16.5	3.8	10.1	12.7
Avril	17.0	3	10.0	14.0	Eté		Chaaba	31.0	14.3	22.9
Mai	22.0	8	15.0	14.0		Site étude	30.2	13.8	22.0	16.4
Juin	28.0	12	20.0	16.0		Aut	Chaaba	20.3	7.7	14.0
Juillet	33.0	15	24.0	18.0	Site étude		19.5	7.2	13.3	12.3
Août	32.0	16	24.0	16.0	Annu.		Chaaba	19.6	6.6	13.1
Septembre	27.0	12	19.5	15.0		Site étude	18.8	6.1	12.4	12.7
Octobre	20.0	8	14.0	12.0		Annu.	Chaaba	19.6	6.6	13.1
Novembre	14.0	3	8.5	11.0	Site étude		18.8	6.1	12.4	12.7
Annuelle	19.6	6.6	13.1	13.0						

(\*) = données estimées par extrapolation selon les recommandations de Seltzer (1946) (Diminution de la température maximale de 0.7 °C et minimale de 0.45°C par 100 m de dénivelée)

### 2.1.2.2.5.2-Synthèse du climat

#### ✓ Diagramme ombrothermique

La figure 21 représentant le diagramme ombrothermique, révèle que le climat de la région d'étude se caractérise par une période sèche qui dure 4 mois (de juin à septembre).



**Fig.21** : Diagramme ombrothermique (Station Chaaba, 1975-1993) : ☁ période humide ☀ période sèche

### ✓ Indice de sécheresse estivale

L'indice de sécheresse estivale (ISE) d'une aire de végétation est défini par la formule de Glacobe (in Khanfouci, 2005):

$$\text{ISE} = \text{Précipitations estivales (mm)} / \text{moyenne des maxima de l'été (°C)}.$$

ISE < 7 indique qu'il y a une sécheresse

Pour la station et la période considérées, cet indice est de  $34.9 / 31 = 1.25$ , avec donc une sécheresse estivale prononcée.

Dans les mêmes conditions, Khanfouci (2005) a obtenu des valeurs comprises entre 1.2 et 2.15 en fonction de l'exposition Nord et Sud et les différentes altitudes (tableau 9). L'auteur a déduit que l'aridité est plus prononcée sur les versants sud, notamment en basses altitudes.

Tableau 9 : Valeurs de l'Indice de sécheresse estivale (ISE) en fonction de l'exposition et l'altitude (Station Chaaba 1975-1993) (Khanfouci, 2005)

Exposition / altitude (m)	1400	1600	1700	1800	2000
Nord	1.85	1.52	1.67	1.78	2.15
Sud	1.19	1.35	1.42	1.53	1.73

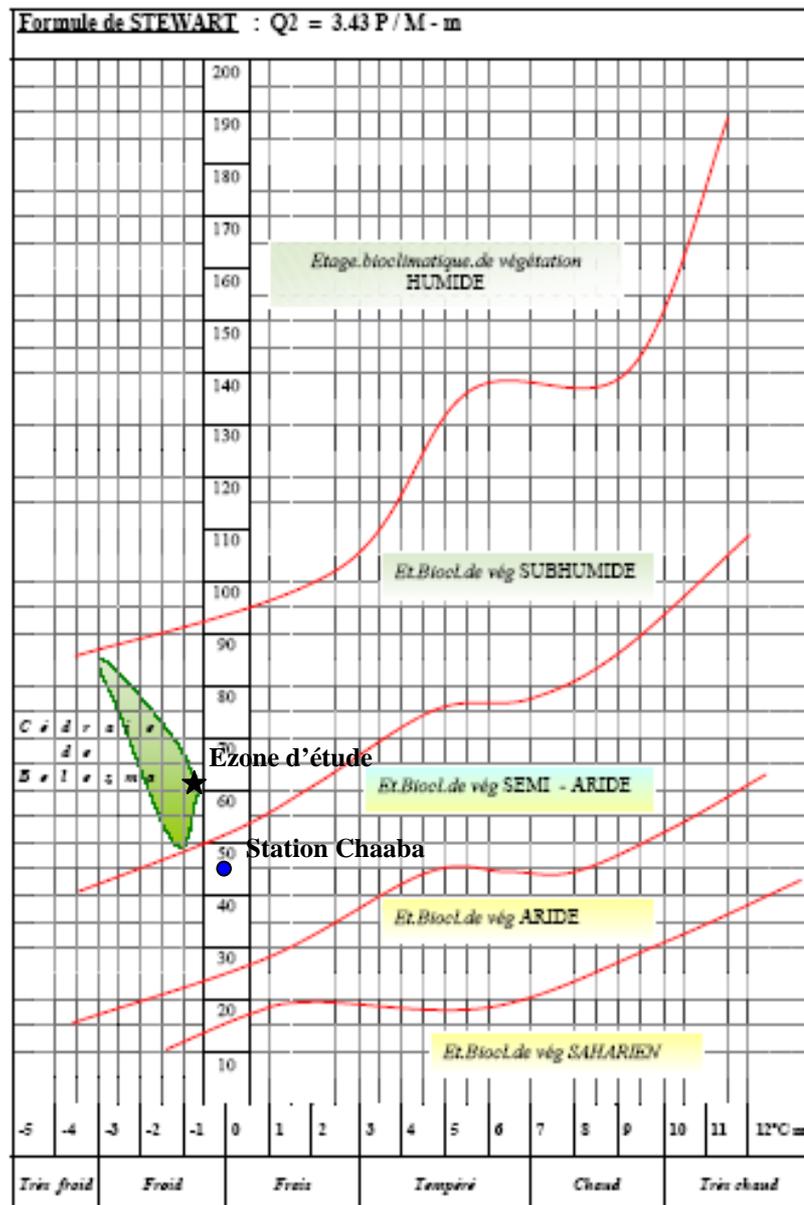
### ✓ Quotient pluviométrique d'Emberger

Il est déterminé par la formule d'Emberger:  $Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$  transformée par Stewart (1969, in Khanfouci, 2005) en :  $Q_2 = 3.43 \times P \text{ (mm)} / M - m \text{ (°C)}$

(P = précipitations totales annuelles, M et m sont respectivement les températures moyennes maximales du mois le plus chaud et minimales du mois le plus froid)

Pour la station considérée, il est de  $3.43 \times 455 / 33-0 = 47.30$ . Sa valeur varie de 50 (altitude 1400 m exposition Sud) à 83 (altitude 2000 m exposition Nord) dans le massif de Belezma (Khanfouci, 2005). Pour le site d'étude il est estimé à 61.39, à la tranche d'altitude comprise entre 1440 et 2000 m.

L'emplacement des valeurs de  $Q_2$  sur le climagramme d'Emberger indique que le bioclimat de la station de Chaaba (à 1278 m d'altitude) est de type semi-aride supérieur froid. Celui des cédraines du Belezma s'étend sur tout l'étage subhumide froid (Fig.22) (Khanfouci, 2005). La zone d'étude proprement dite se localise sur l'étage subhumide froid inférieur (Fig.22).



**Fig.22** : Etage bioclimatique des cédraines du Belezma et de la station météorologique de Chaaba et la zone d'étude)

## **2.2- Matériel et méthodes**

### **2.2.1-Dispositif d'échantillonnage**

La zone d'étude s'étend sur environ 300 ha. La surface totale échantillonnée est de 1,12 ha répartis en 2 stations (Exposition Nord et Sud). Dans chacune de ces stations, des itinéraires (transects) orientés dans le sens de la pente sont définis. Ensuite, des parcelles élémentaires circulaires de 400 m<sup>2</sup> (11.3 m de rayon) et espacées de 200 m sont délimitées dans chaque transect. Les limites des placeaux sont définies à l'aide d'un mètre-ruban tendu horizontalement et les distances qui les séparent par le comptage des pas réguliers. Au total 28 placettes (14 par station) sont échantillonnées.

Les relevés des données sont effectués du mois d'Août à Septembre correspondant à la période difficile pour la survie des semis.

### **2.2.2-Paramètres pris en compte et moyens d'évaluation**

Dans chacune des parcelles élémentaires les paramètres suivants sont évalués :

✓ Classes d'âge des semis, évaluées par des coupes transversales (nombre de cernes) des échantillons de tiges de différentes tailles, avant le démarrage des comptages.

Trois classes sont retenues :

- Classe 1 : Semis âgés de moins de 2 à 3 ans
- Classe 2 : Semis âgés de 4 à 10 ans
- Classe 3 : Semis âgés de 11 à 20 ans

✓ Variantes de l'exposition déterminées à l'aide d'une boussole.

- Exposition « fraîche » : Nord, Nord-Ouest et Nord-Est
- Exposition « chaude » : Sud, Sud-Ouest et Sud-Est

✓ L'altitude déterminée avec un altimètre

- Basse (1400-1600 m)
- Moyenne (1600-1800 m)
- Haute (1800-2000 m)

✓ Couvert végétal sans le cèdre

- Pourcentage de couverture du sol par la strate arbustive (0.6 à 5 m)
- Pourcentage de couverture du sol par la strate arborée (> 5.1m)

✓ La pente évaluée avec un clisimètre.

- Classe 0 à 20 %
- Classe 21 à 30 %
- Classe 31 à 60 %

- ✓ Profondeur du sol :
  - Classe 1 = < 20 cm ( sol superficiel)
  - Classe 2 = 20 à 80 cm (profondeur moyenne)
  - Classe 3 = > 80 cm (sol profond)
  
- ✓ Couverture du sol par la litière
  - Classe 1 : < 20 %
  - Classe 2 : 20 à 40 %
  - Classe 3 : > 40 %
  
- ✓ Niveau de fructification du cèdre apprécié par la présence de cônes
  - Faible
  - Moyen
  - Elevé

### **2.2.3- Outil statistique**

Les jugements des écarts entre les valeurs moyennes sont réalisés avec le test  $\chi^2$  ((Amzallac et Piccioli, 1978), le test t (Vessereau, 1960) au seuil de probabilité de 5 %. L'analyse en composantes principales est utilisée pour la synthèse des paramètres influant sur la densité de semis (Bouroche et Saporta,1983 ; Foucart, 1985).

### III- RESULTATS ET DISCUSSIONS

Au cours de leur long cycle de vie, les peuplements forestiers présentent des évolutions d'effectifs très importantes. En régénération naturelle, les densités initiales atteignent souvent des dizaines de milliers de jeunes semis par hectare. Au stade adulte, ces peuplements ne comptent plus que quelques dizaines ou centaines d'individus. La majeure partie de la réduction d'effectif s'opère donc lors des premières années de vie des semis, voire dès la germination. L'élimination des individus relève à la fois d'un processus aléatoire et de l'effet de la sélection naturelle (Pichot et al., 2006). Les facteurs intervenant sont nombreux et leurs interactions restent encore mal connues. Chacun de ces facteurs verra son influence renforcée ou diminuée suivant que l'une ou l'autre de ces limites sera plus ou moins modifiée (Le Poutre 1966).

Nous avons établi dans la partie traitant des connaissances acquises sur le cèdre que les travaux, notamment ceux réalisés dans le milieu d'origine de l'espèce, convergent vers une même conclusion, celle de la complexité du phénomène de régénération. Il est donc clair qu'on ne peut parvenir à expliquer totalement la réussite ou l'échec du renouvellement des cédraies par semis naturel, en fonction des différents facteurs pris isolément. C'est pourquoi nous essayerons dans ce qui suit, d'abord de cerner l'impact général des différentes composantes du milieu prises individuellement, sur la densité des semis de différentes classes d'âges, puis de tenter une approche multifactorielle.

#### **3.1-Analyse de l'influence individuelle des différents facteurs**

##### **3.1.1- Influence de l'exposition**

Le facteur orientation agit sur le comportement des peuplements végétaux par le biais des composantes climatiques (Précipitations totales, température). L'exposition Nord est plus arrosée et plus fraîche que celle Sud. Par ailleurs, avec la pente et la latitude, l'exposition exerce une influence majeure sur la quantité de lumière reçue au niveau du couvert végétal (Spittlehous et Stathers, 1989 et Stathers et al, 1990 ; in Lamhamedi et Chbouki, 1994). Il est par conséquent utile de tenir compte de son influence sur la densité des semis naturels de cèdre dans son aire d'origine.

Les résultats des comptages des semis de différentes classes d'âge sont mentionnés dans le tableau 11. Ils montrent que le nombre total de semis de 2 à 20 ans viables / ha sur le faciès Nord est plus élevé que sur l'exposition sud (407.2 contre 21.4 plt /ha). L'écart étant de 385.8 plants /ha, soit 95 %.

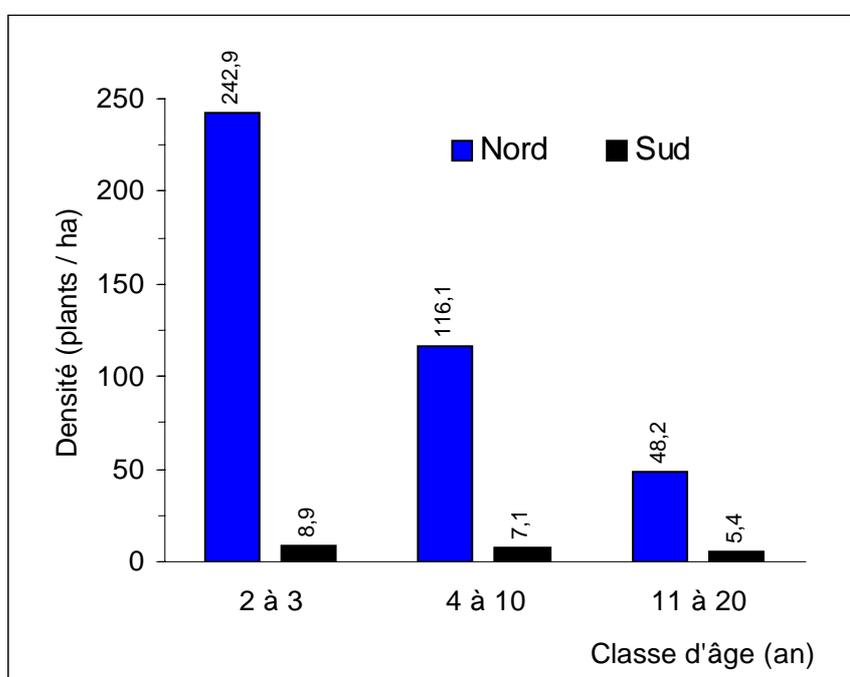
Par ailleurs, la différence entre les deux expositions réside aussi dans les densités des différentes classes d'âge. La densité des semis de 2 à 3 ans et celle des 4 à 10 ans sont significativement plus élevées sur les versants Nord que sur l'orientation Sud (Tableau 10

et fig.23). Les valeurs du test t sont respectivement de 2.1 et 2.4 ( $t_{0,05} = 2.06$  avec ddl = 26).

Tableau 10 : Densités moyennes des différentes classes d'âge des semis sur l'exposition Nord et sud.

Station	Densité (plants/ha)			
	Classe d'âge (an)			
	2 à 3	4 à 10	11 à 20	Total (2 à 20)
Nord	242.9	116.1	48.2	407.2
Sud	8.9	7.1	5.4	21.4
Test t	2.1 (*)	2.4 (*)	1.6 (-)	428.6

(\*) = significatif au seuil de 5 %    (-) non significatif



**Fig.23** : Influence de l'exposition sur la répartition des classes de semis naturels de cèdre

En revanche, les proportions des différentes classes d'âge dans les deux expositions sont statistiquement comparables, bien que les semis de 2 à 3 ans représentent près de 60 % du total / ha inventorié au Nord et 42 % au Sud. La divergence entre les structures des deux expositions n'est significative qu'au seuil de probabilité de 20 %. Le test d'homogénéité  $\chi^2_c$  est de 4.2 [ $\chi^2_{0,20} (0.40) < \chi^2_c (4.2) < \chi^2_{0,05} (5.99)$ ].

Notons que dans les deux stations la densité de semis diminue avec l'âge (Fig.23). La proportion de semis parvenant à l'âge de 10 – 20 ans ne représente que 1/5 sur l'exposition Nord et 1/4 sur le versant Sud.

L'exposition Nord globalement favorable à la survie des semis naturels de cèdre surtout dans leur jeunesse, s'expliquerait entre autres par l'abondance relative des pluies et les températures relativement moins stressantes par rapport au faciès Sud soumis aux vents chauds et secs.

La supériorité de la densité des jeunes semis sur l'exposition Nord en comparaison avec celle des peuplements exposés au Sud a été également prouvée par plusieurs auteurs, dans le massif du Belezma (Saadi, 1992 ; Belouaar, 2006 ; Khanfouci, 2005), de Chélia (Derouiche, 1999) et au Maroc (Ezzahiri et al., 1994 et Ezzahiri et Belghazi, 2000).

Le rôle du facteur exposition dans l'intensité de régénération est loin d'être neutre. Il peut favoriser ou sanctionner plus ou moins sévèrement les différentes étapes de la production de graines (floraison, pollinisation, développement, maturation et désarticulation des cônes), la germination, le développement et le maintien des semis (Khanfouci, 2005). C'est aussi l'avis de Van Leberghe (2007) qui considère que le climat est le facteur essentiel et déterminant de la régénération dont le succès est tributaire de la précocité de la dissémination et de la germination des graines et de l'installation des semis. Après la germination, c'est plutôt la précocité d'arrivée et l'intensité de la sécheresse estivale qui conditionnent la survie des semis (Aussenac, 1984). La régénération ne réussit que si la germination et le développement des jeunes semis coïncident avec une humidité suffisante, ce qui est fort aléatoire dans la situation de Belezma (Khanfouci, 2005).

Il ressort globalement que le nombre de semis de 2 à 20 ans / ha est faible dans la zone étudiée (407 plants /ha sur l'exposition Nord et 21 sur celle Sud), bien que la densité des plants de l'année soit élevée dans l'Atlas Saharien. Dans le Belezma, Khanfouci (2005) a dénombré 600.000 / ha sur le versant Nord et 110.000). Au chélia, Derouiche (1999) a compté 410.600 semis de l'année / ha sur les versants Nord et 277.900 sur l'orientation Sud. Dans le Mont Ventoux en France, Toth (1973) a trouvé une densité 1180 plants de plus d'un an / ha. Au Maroc, Ezzahiri et al. (1994) évoque une densité supérieure à 440 plants de 2 à 10 ans /ha sur des sols profonds dans des parcelles clôturées situées entre 1900 et 2100 m d'altitude.

Dans le Belezma, cette situation pourrait résulter de la production grainière limitée (Illoul et al., 2001), des conditions du milieu trop contraignantes dans les Aurès en général (Pradel, 1979) et de la forte mortalité des semis de l'année, du moins dans le massif de Belezma (Khanfouci, 2005).

Boudy (1952) rapporte qu'au Maroc et en Algérie, chaque année le sol forestier se recouvre d'un grand nombre de semis de l'année dont la plupart disparaissent en été. Cette mortalité massive est d'autant plus forte que la sécheresse peut s'étendre sur 2 à 3 ans et même davantage et que le développement du système racinaire du cèdre est lent et superficiel pendant les premières années (Lamhamedi et Chbouki, 1994). Selon ces

auteurs, seule une séquence de période favorable et persistante (plus de 5 ans) permettra l'installation et la survie des semis. Cet auteur indique aussi que la distribution des précipitations durant la phase de croissance et la variabilité intra et interannuelle (fig.19) a une importance capitale sur l'avenir des semis.

L'âge avancé des cédraies de Belezma et leur état dégradé sont aussi des facteurs qui affaiblissent la production et la faculté germinative des graines. Toth (1970) a noté que le taux de germination passe de 85 % chez les arbres de 60-70 ans à 30-40 % chez les sujets de plus de 100 ans.

A l'inverse de l'orientation Sud, celle Nord semble relativement plus propice à la survie des semis, notamment ceux âgés de 2 à 3 ans. Ce résultat confirme les observations faites au Maroc par Ezzahiri et al (1994).

### **3.1.2- Influence de l'altitude**

Tout comme l'exposition, l'altitude est un paramètre qui influence les précipitations et la température, lesquelles se répercutent sur le comportement des semis.

Les densités des classes de semis aux différentes altitudes considérées sont consignées dans le tableau 11 et illustrées par la fig.24.

Ces résultats montrent que l'effet de l'altitude varie avec la classe d'âge des semis. Les jeunes plants de 2 à 3 ans sont représentés en plus grand nombre (200 individus /ha) en moyenne altitude (1600-1800 m). La densité de cette classe d'âge n'est que de 3,6 individus / ha en basse altitude et ne dépasse pas 100 semis / ha entre 1800-2000 m (tableau 11).

Par contre, les fortes densités des sujets plus âgés de 4 à 10 (89.3 plts /ha) et de 11 à 20 ans (42.9 plts / ha) ont tendance à se trouver sur des altitudes plus élevées (entre 1800 et 2000 m) (Fig.24).

Tous âges confondus, la régénération semble s'installer relativement mieux en moyenne altitude (280.4 plants /ha, contre 213.1 en haute altitude et 64.3 en basse altitude) (Tableau 11).

Ces observations vont dans le même sens que celles faites par de nombreux auteurs.

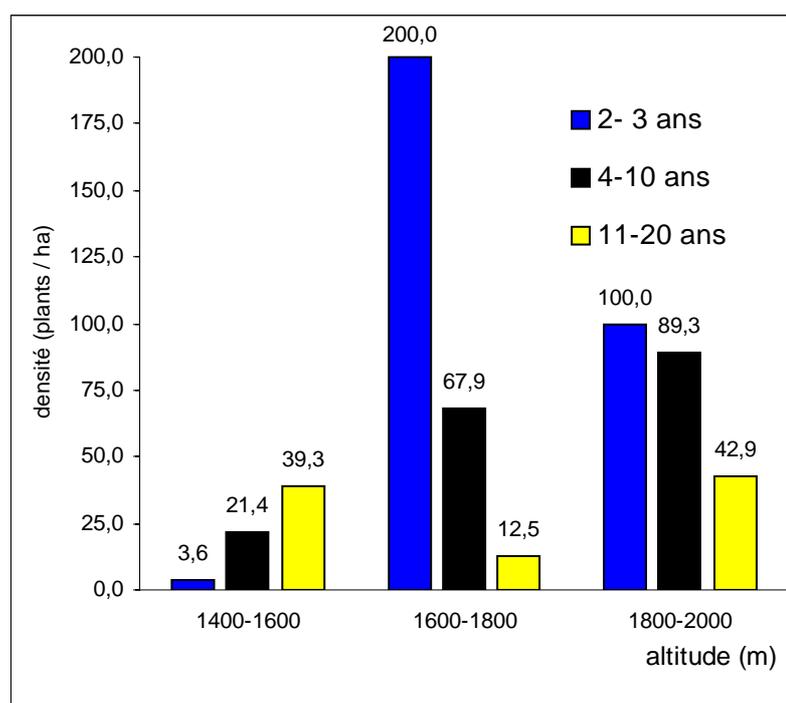
Le Poutre et Pujos (1964) rapportent qu'ils ont observé depuis longtemps au Maroc que la régénération était beaucoup plus facile en cédraie basse (entre 1600 et 1800 m) qu'en cédraie d'altitude (au dessus de 1800m) défavorable au mécanisme de fructification et de l'ensemencement et aussi à la germination des graines, systématiquement retardée de 2 à 3 mois. Ce décalage dans le temps conduit à la mortalité des semis au courant des mois d'été. Cette mortalité des plantules résulte du fait qu'elles n'ont pas eu le temps de

développer un système racinaire suffisant en profondeur, leur permettant d'échapper au stress hydrique présent dans les horizons superficiels des sols dès le mois de juillet.

Pour Le Poutre et Pujos (1964) estiment que la régénération au dessus de 1800 m ne pourra se faire qu'accidentellement ou à l'occasion d'une année favorable, exceptionnellement chaude en hiver.

Tableau 11 : Densité moyenne des classes d'âge de semis aux différentes altitudes.

Altitude	Classe d'âge des semis			
	2 à 3 ans	4 à 10 ans	11 à 20 ans	Total 2 à 20 ans
Basse (1400-1600 m)	3.6	21.4	39.3	64.3
Moyenne (1600-1800 m)	200.0	67.9	12.5	280.4
Haute (1800-2000 m)	100.0	89.3	42.9	231.1



**Fig.24** : Influence de l'altitude sur la répartition des classes d'âge des semis naturels de cèdre

Ezzahiri et Belghazi (2000), Aussenac (1984) et Pujos (1964) in Le Poutre et Pujos (1964) sont du même avis. Ils estiment que l'influence négative des hautes altitudes sur la régénération vient du froid intense et de la neige plus persistante qui retardent la germination des graines et réduisent par la suite la chance de survie des plants qui seront exposés au stress hydrique de l'été. La contrainte des basses altitudes résulte quant à elle d'une situation inverse. Le manteau de neige disparaît plus rapidement et la germination

est plus précoce sur les versants sud plus ensoleillés, mais le maintien des semis se heurte aux fortes chaleurs de l'été en particulier. Ces auteurs ont remarqué que seuls les jeunes plants sous couvert végétal du chêne ont plus de chance de survivre.

En général, le climat est favorable et la régénération est meilleure en cédraies basses qu'en cédraies hautes où les conditions sont rarement compatibles avec la survie des jeunes plantules (Le Poutre et Pujos, 1964 et Meziane, 1977). La mortalité des jeunes semis est provoquée par les gelées précoces en hautes altitudes et la sécheresse prononcée en basses altitudes (Le Poutre, 1964),

Ce sont également les conclusions tirées par Khanfouci (2005) au Belezma et Derouiche (1999) au Chélia, en montrant que l'altitude comprise entre 1700-1800 m offre plus de chance de survie aux semis de l'année que celle inférieure à 1700 m, aussi bien sur l'orientation Nord que sud.

De même, Jensen (1978) indique que dans le moyen Atlas Marocain, le facteur altitude peut favoriser ou pénaliser la régénération naturelle du cèdre. Il précise qu'en haute altitude (2100-2300 m exposition N et S confondues), la régénération est très lente et la forêt est claire, alors qu'en altitude moyenne (1700 à 2100 m), elle est plus facile aussi bien en cédraies adultes que jeunes.

### 3.1.3- Influence du taux de recouvrement du sol par la litière

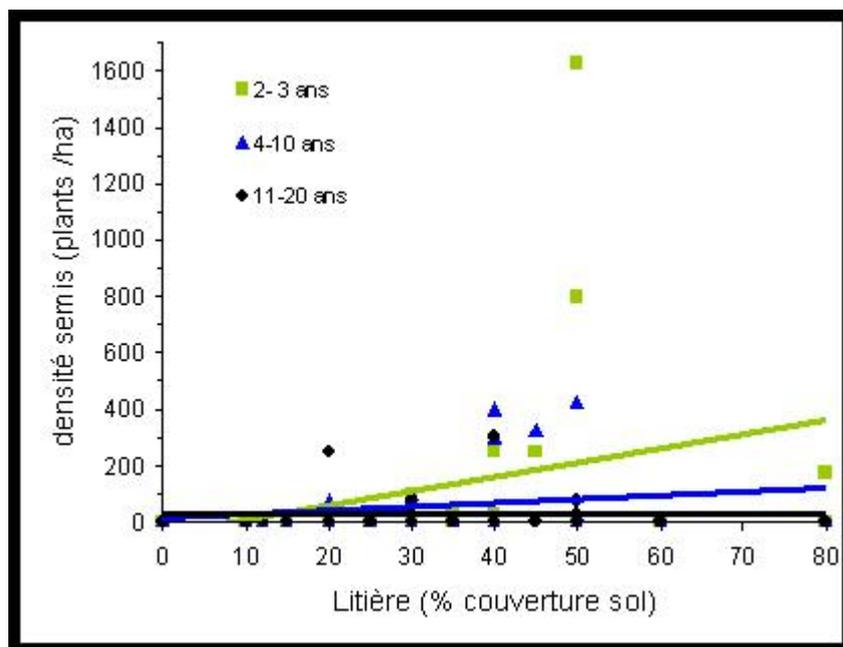
Les résultats obtenus révèlent que le taux du sol couvert par la litière est beaucoup plus important sur l'orientation Nord. Il est en moyenne de 45.4 % sur l'exposition Nord, contre 27.6 % sur celle Sud. Cette situation a été également observée par Khanfouci (2005) qui a remarqué qu'au Belezma, les stations riches en litière sont peu importantes et se localisent sur le versant Nord.

La figure 25 et le tableau 12 suggèrent un lien positif entre le taux de recouvrement du sol par la litière et la densité des semis.

Cette liaison paraît d'autant plus forte que les plantules sont jeunes. Les coefficients de corrélation entre le taux de couverture du sol par la litière et la densité de semis de 2-3 ans, 4-10 ans et 10-20 ans sont respectivement  $r = 0.30, 0.13, 0.09$ . Cependant, ces valeurs restent non significatives au seuil de probabilité de 5 % ( $r_{0.05} = 0.36$  avec  $ddl = 27$ ).

Tableau 12 : Valeur des densités de semis par classe d'âge et de recouvrement du sol par la litière.

Taux de recouvrement du sol / litière	Classe d'âge des semis			
	2 à 3 ans	4 à 10 ans	11 à 20 ans	Total (2-20 ans)
0-20 %	2.5	7.5	25.0	35.0
20-40 %	65.0	87.5	40.0	192.5
40-80 %	356.3	96.9	12.5	465.6



**Fig.25** : Evolution de la densité de semis de différentes classes d'âge en fonction du taux de couverture du sol par la litière.

Dans la présente étude, le rôle de la litière semble favoriser la survie et le maintien des semis, surtout quand ils sont encore jeunes de 2 à 3 ans. Ces observations peuvent apparaître en contradiction avec les données de la littérature qui soutient l'hypothèse d'une action au contraire dépressive. Lamhamedi et Chbouki (1994) et Ezzahgiri et Belghazi (2000) indiquent que lorsque la couche de litière est épaisse, elle constitue un obstacle majeur à la pénétration des racines des plantules et les empêche d'être en contact direct avec le sol. Ainsi, l'accès à l'eau du sol durant la mise en place des semis reste limité, les plantules s'exposent plus au stress hydrique et leur chance de survie se réduit. Nsibi et al. (2006) ont fait le même constat en Tunisie pour le chêne liège. Ils précisent que la régénération de cette espèce abonde surtout dans les placette où l'épaisseur de la litière est inférieure à 4 cm. De même, la présence d'un taux de matière organique excessif au niveau de l'horizon (A) conduit à une absence de germination ou de semis (Le Poutre et Pujos, 1964).

En fait il ne s'agit pas véritablement d'une contradiction.

D'abord, parce que dans de nombreuses situations (cas des vieilles cédraies), l'action de la litière et de l'humus épais n'explique pas toujours l'absence de la régénération (Le Poutre et Pujos, 1964). Ce qui est également confirmé par Khanfouci (2005) qui a observé que la litière fraîche et ancienne et même les forts taux d'humus (20 %) n'ont pas forcément un effet dépressif sur la germination des graines.

Ensuite, parce que les inventaires effectués ici portent sur des semis âgés de 2 ans et plus et non sur des plantules de l'année plus sensibles au stress hydrique, considérées par les auteurs.

Enfin, parce que les conclusions de la plupart des auteurs sont basées sur l'effet de l'épaisseur de la litière et non sur son taux de recouvrement du sol pris en compte dans cette étude.

Nous pensons que la couverture du sol par la litière contribue à protéger le système racinaire en particulier des plantules de 2 à 3 ans qui ont réussi à s'installer, en constituant un écran (Mulch) qui préserve l'humidité du sol nécessaire à leur survie. L'intérêt de ce mulch diminue à mesure que les semis deviennent plus grands.

### 3.1.4- Influence du couvert végétal

#### 3.1.4.1- Distribution

Le couvert végétal, cèdre non inclus est très irrégulier (entre 0 et 60 %) et relativement faible (20.1 % en moyenne sur le site). Son importance dépend de l'exposition, de l'altitude et de la strate considérée (Tableau 13). Son taux, toutes strates réunies, est plus élevé sur le versant Nord (22,6 %) que sur l'exposition Sud (17.6 %). Les deux orientations confondues, la strate arbustive paraît plus dominante (28.1 %) que celle arborée (12.1 %). Ce classement reste valable pour chacune des deux expositions, aussi bien en basse qu'en moyenne altitude.

La combinaison de l'altitude et de l'exposition révèle que la végétation arbustive est relativement plus développée sur le faciès Nord, notamment en basse altitude (1400-1600 m), avec 47.5 % de recouvrement. Par contre, la strate arborée est plus répandue (25.0 %) toujours sur la même orientation Nord, mais plutôt en haute altitude (1800-2000 m) (Tableau 13).

Tableau 13 : Valeurs moyennes des taux de recouvrement végétal en fonction de l'exposition, de l'altitude et de la strate.

Strate	Exposition Nord				Exposition Sud				Moyenne du site
	1400-1600	1600-1800	1800-2000	Moy.	1400-1600	1600-1800	1800-2000	Moy.	
Arbustive	47.5	28.0	7.1	<b>27.5</b>	28.0	29.4	-	<b>28.7</b>	<b>28.1</b>
Arborée	10.0	18.0	25.0	<b>17.7</b>	7.0	5.9	-	<b>6.4</b>	<b>12.1</b>
Moyenne	28.7	23.0	16.1	<b>22.6</b>	17.5	17.7	-	<b>17.6</b>	<b>20.1</b>

#### 3.1.4.1- influence sur la régénération

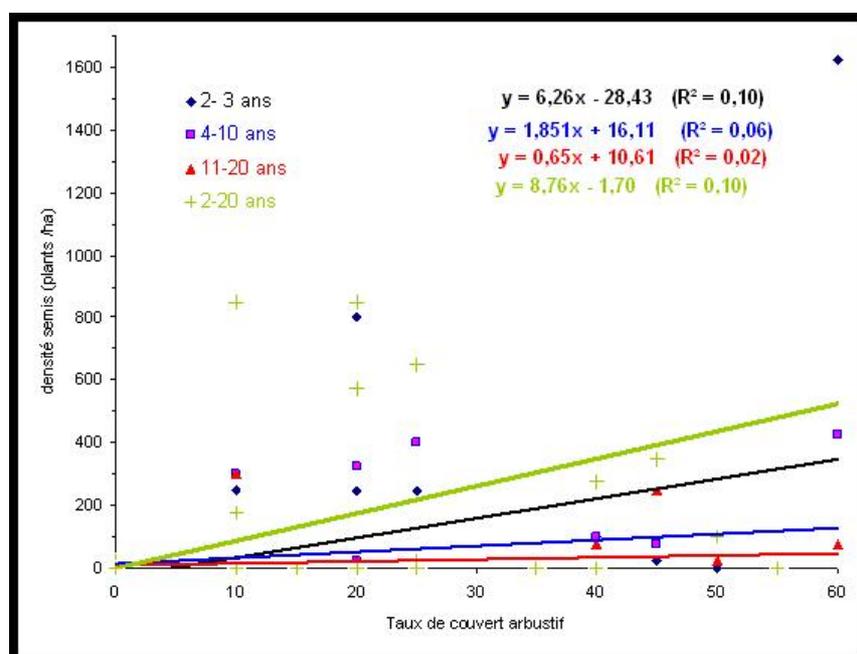
Selon Benzyane et al (2006), l'action du couvert végétal sur l'évolution de la régénération est complexe et doit être analysée selon les stations.

Les tendances de l'évolution de la densité de semis sous la strate végétale arbustive et arborée sont représentées par les figures 26 et 27. Les contributions (pentes des courbes de régression linéaires) de la végétation à l'augmentation de la densité de semis de cèdre sont indiquées dans le tableau 14 et 15.

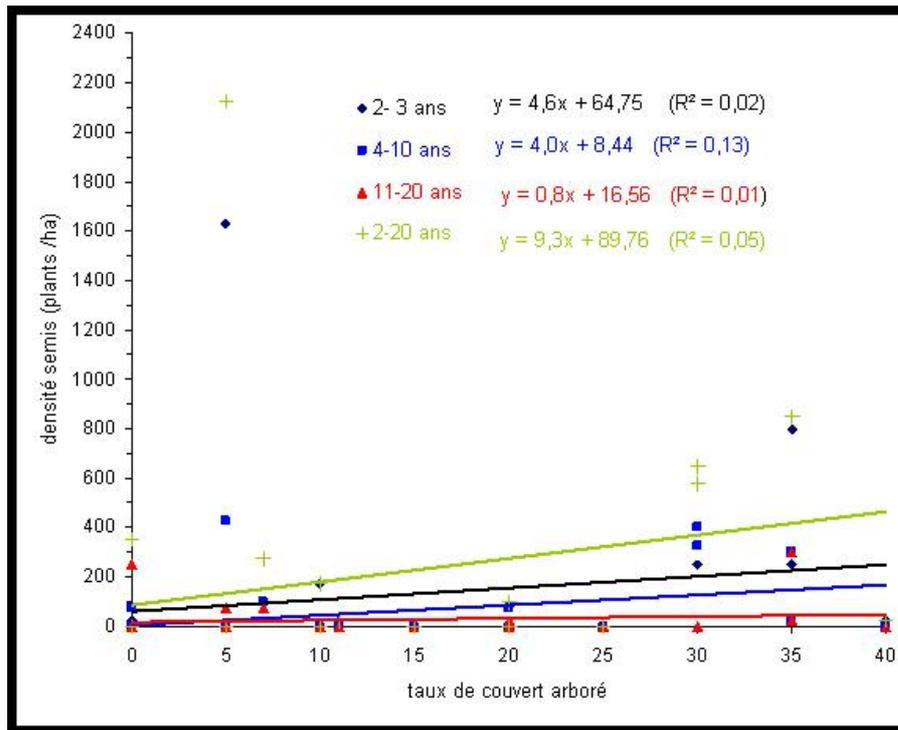
Les fig. 26 et 27 montrent que la densité des semis de cèdre évolue plus ou moins fortement avec le taux de couverture du sol par la végétation. Cette liaison positive prouvée également au chélia par Derouiche (1999) et au Belezma par Khanfouci (2005) est valable pour toutes les classes d'âge des semis de cèdre, aussi bien sous la strate arbustive qu'arborescente.

Cependant, l'importance de la stimulation de la régénération par la végétation dépend de l'âge des semis de cèdre, de la strate végétale considérée et de l'orientation (Tableau 14 et 15, fig. 26 et 27). En général, l'effet bénéfique du couvert végétal diminue à mesure que les semis grandissent. Ainsi, les plantules de cèdre de 2 à 3 ans, ont plus besoin du couvert végétal arbustif et même arboré que ceux plus âgés de 11 à 20 ans.

La strate arbustive paraît nettement plus avantageuse pour les semis jeunes (2-3 ans) que pour les ceux âgés de 4 ans et plus (Tableau 14). Cet avantage est plus prononcé sur l'orientation Nord que sur celle Sud (Tableau 15). Les semis âgés (4-20ans) ont tendance à se maintenir mieux sous la strate arborée exposée au Sud. Sur l'orientation Nord, cette même strate ne favorise pas l'installation des semis. Elle est même dépressive (Tableau 15).



**Fig.26** : Tendence de l'évolution de la densité de semis de différents âges en fonction du taux de couverture du sol par la strate végétale arbustive.



**Fig.27** : Tendance de l'évolution de la densité de semis de différents âges en fonction du taux de couverture du sol par la strate végétale arborée

Tableau 14 : Contribution de l'augmentation d'un % de la couverture végétale à l'amélioration de la densité des semis de cèdre (en plants/ha), expositions Sud et Nord confondues.

strate	Classes d'âge des semis de cèdre			
	2 à 3 ans	4 à 10 ans	11 à 20 ans	Total (2 à 20 ans)
Arbustive	6.3	1.8	0.6	8.8
Arborée	4.6	4.0	0.8	9.3
Toutes strates confondues	4.9	2.1	0.6	7.7

Tableau 15 : Contribution de l'augmentation d'un % de la couverture végétale à l'amélioration de la densité des semis de cèdre (en plants/ha) exposés au Nord et au Sud.

Strate	Exposition Nord				Exposition Sud			
	Classe des semis (ans)				Classe des semis (ans)			
	2-3	4-10	11-20	2-20	2-3	4-10	11-20	2-20
Arbustive	13.0	4.2	1.4	18.7	0.4	0.4	0.3	1.2
Arborée	-3.2	1.8	-0.7	-2.1	0.9	0.3	0.2	1.4
Toutes strates confondues	8.2	3.4	0.8	12.3	0.2	0.2	0.1	0.5

Cette analyse révèle finalement que les jeunes plants de cèdre se maintiennent davantage dans les station fraîches où, leur protection par la végétation arbustive contre la sécheresse de l'été et même des herbivores est assurée.

L'effet positif du couvert végétal sur la régénération est bien connu par les forestiers et les écologistes.

Il a été démontré que la couverture végétale intervient sur le maintien des semis par sa composition, sa densité, sa structure et son architecture en agissant sur la quantité et la qualité de la lumière qui atteint les jeunes plants de cèdre (Lamhamedi et Chbouki, 1994). Ces auteurs ont observé que lorsque la couverture végétale est relativement très dense, la présence des semis est rare et le système racinaire reste mal développé et superficiel. Cependant, l'absence totale d'un couvert favorise la mort prématurée des semis de cèdre suite à leur dessèchement par le soleil.

L'altitude joue aussi sur l'effet du couvert végétal vis à vis de la régénération. Benzyane et al (2006) ont constaté qu'en haute altitude (> 2000 m), le couvert peut être néfaste (ombrage) et retarde la germination des graines, et par conséquent réduit les chances de survie des semis. Par contre, en basse altitude (1600-1800 m) le couvert végétal joue un rôle d'amélioration et de protection des plantules contre les fortes insulations.

Ces observations rejoignent celles Le Poutre et Pujos (1964) et de Ezzahiri et Belghazi (2000). Ces derniers auteurs qui indiquent qu'en cédraie basse, le chêne vert joue un rôle positif sur la réduction de l'évapotranspiration et la protection des jeunes semis. Par contre en haute altitude, le rôle du chêne vert et celui des essences qui l'accompagnent sont secondaires, s'ils ne sont pas nuisibles par leur ombrage qui peut retarder la germination des graines (Marion, 1954, in Ezzahiri et Belghazi, 2000).

Le couvert végétal influence donc la germination des graines, la photosynthèse et la morphologie des semis (Lamhamedi, 1988 ; in lamhamedi et Chbouki, 1994). Il agit également sur la régénération par le biais de l'ombrage, de l'interception des précipitations y compris la neige, de l'accumulation d'une couche épaisse de l'humus brut et de l'atténuation de l'érosion du sol (stabilité) (Demarteau, 2006 ; Fromard et Gauquelin, 1993 ; Khanfouci, 2005 ; Derouiche, 1999).

Aussenac (1984) rapporte que le couvert végétal préexistant de chêne vert peut améliorer la régénération en limitant les dégâts dus à la sécheresse par la diminution de l'évaporation potentielle au niveau micro-local. Ce qui est confirmé par Ezzaahiri et Belghazi (2000) en remarquant que seuls les jeunes plants sous couvert végétal du chêne ont plus de chance de survivre.

Selon Benabid (1994), lorsque la végétation constituée par le chêne vert et autres feuillus (arbres et arbustes) est associée au cèdre en un mélange judicieux, leur litière assure un bon fonctionnement de l'écosystème en améliorant les sols calcaires sur lesquels se développent les cédraies-chênaies. L'auteur précise que dans les cas de toutes les formations à cèdre, les proportions optimales des strates arborées et arbustives doivent être équilibrées pour permettre une régénération naturelle. Cet équilibre est optimal quand

la couverture de chacune des deux strates arborescente et arbustive se situe entre 25 et 75 %.

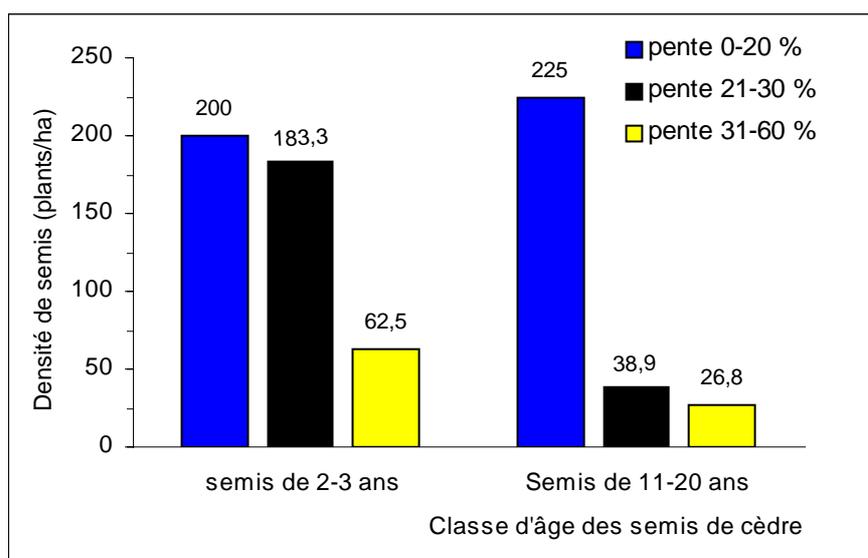
Des résultats semblables ont été obtenus sur le chêne liège par Nsibi et al (2006). Ces auteurs rapportent que la meilleure densité de semis de 3 ans de cette espèce est relevée sur l'exposition Nord, en particulier sous un couvert végétal moyen de 18 %. Ils précisent aussi que le taux optimum de couverture par la strate arbustive se situe autour de 28 %. Sous un recouvrement végétal dépassant 75 %, la compétition est forte et la régénération est rare et même absente. Selon ces mêmes auteurs, le dosage convenable du couvert végétal est le meilleur et le plus sûr des moyens dont dispose le gestionnaire pour diriger l'évolution des peuplements.

D'une manière générale, les recouvrements jusqu'à concurrence de 50 % sont presque toujours favorables à la régénération du cèdre, par opposition à ceux extrêmement faibles ou forts (Benzyane et al, 2006 ; M'hirit, 1987, in Ezzahiri et Belghazi, 2000). L'absence de strate arbustive prive les semis d'une ambiance favorable à leur maintien (Lamhamedi et Chbouki, 1994).

### 3.1.5- Influence de la pente

Le facteur pente paraît influencer nettement la répartition de la régénération du cèdre. Il agit sur leur installation et leur développement.

La figure 28 montre que les densités des semis jeunes et âgés diminuent progressivement à mesure que l'inclinaison du relief s'accroît.



**Fig.28** : Influence de la pente sur la répartition des semis naturels jeunes et âgés de cèdre de l'Atlas

Sur les pentes inférieures à 20 %, on dénombre 200 plants de 2 à 3 ans / ha et 225 de 11 à 20 ans. Sur l'inclinaison moyenne de 21 à 30 %, le nombre de semis /ha inventoriés chute à 183 pour la classe jeune et 39 pour celle âgée. Pour la pente forte comprise entre 31 et 60 %, on ne compte que 62 plantules de 2 à 3 ans et 27 sujets adultes de 11 à 20 ans par ha (fig.28).

Cela signifie que le relief trop abrupte est moins favorable à la régénération naturelle du cèdre. Cette constatation est aussi celle de Nsibi et al (2006) pour le chêne liège.

L'explication la plus probable est que les terrains trop accidentés sont soumis à une forte érosion hydrique qui dénude plus ou moins le sol et entraîne même les graines et les cônes. Par conséquent, les graines sont moins nombreuses et ne trouvent pas les conditions favorables pour germer. Dans ces conditions, les plantules ne peuvent pas non plus développer un système racinaire suffisant et s'exposent au dessèchement (Nsibi et al., 2006 ; Le Poutre, 1963 in Khanfouci, 2005 et Khanfouci, 2005).

Par contre, sur des pentes moins accentuées la régénération est plus abondante, car les graines (cônes) sont plus nombreuses et les plantules trouvent plus d'eau pluviale et d'élément nutritifs accumulés par les ruissellements de l'amont et développent donc un système racinaire puissant leur permettant d'échapper à la dessiccation durant la période sèche (Khanfouci, 2005 et Nsibi, 2006).

Il est à noter que les déchaussements du cèdre sont en relation avec la pente (Khanfouci, 2005).

### **3.1.6- Influence de la fructification**

Rappelons que dans la présente étude, les niveaux de fructification sont jugés seulement sur l'abondance des cônes observés.

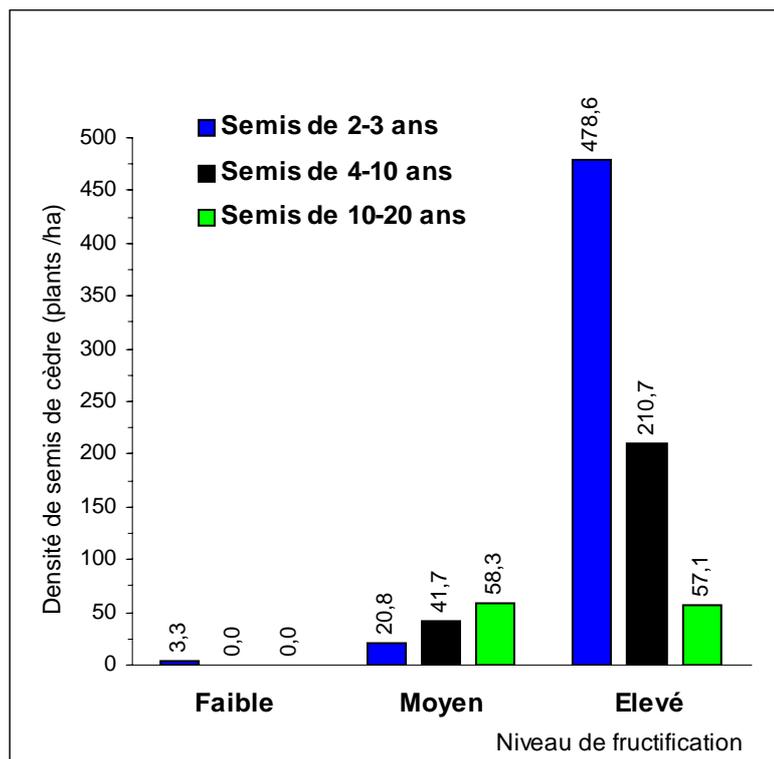
La relation entre la fructification et la densité des semis de cèdre est représentée par la fig.29.

On observe aisément que la densité des différentes classes d'âge des semis augmente avec le niveau de fructification. On constate aussi que les semis jeunes de 2 à 3 ans sont plus influencés par la variation du niveau de fructification que ceux de 4 ans et plus.

En situation de faible fructification, on ne rencontre que 3.3 plants de 2-3 ans / ha. La densité de cette catégorie de semis passe à 20.8, puis s'élève à 478.6 plants /ha lorsque le niveau de fructification devient respectivement moyen et fort (fig.29). Cette progression avec l'intensité de fructification se retrouve aussi, mais à un degré moindre chez les plants plus âgés.

Notons que la fructification est plus abondante sur le versant Nord que l'orientation Sud. Ce qui confirme les résultats de Khanfouci (2005), établis dans la même cédraie.

La fructification du cèdre est très complexe. Elle résulte de nombreuses composantes évoquées au paragraphe 1.2.5.1. Dans l'Atlas saharien, elle a été étudiée en détail en particulier par Malki (2003), Khanfouci (2005) et Brahimi (2007). Elle est considérée comme le premier facteur déclencheur de la régénération naturelle du cèdre (Lamhamedi et Chbouki, 1994).

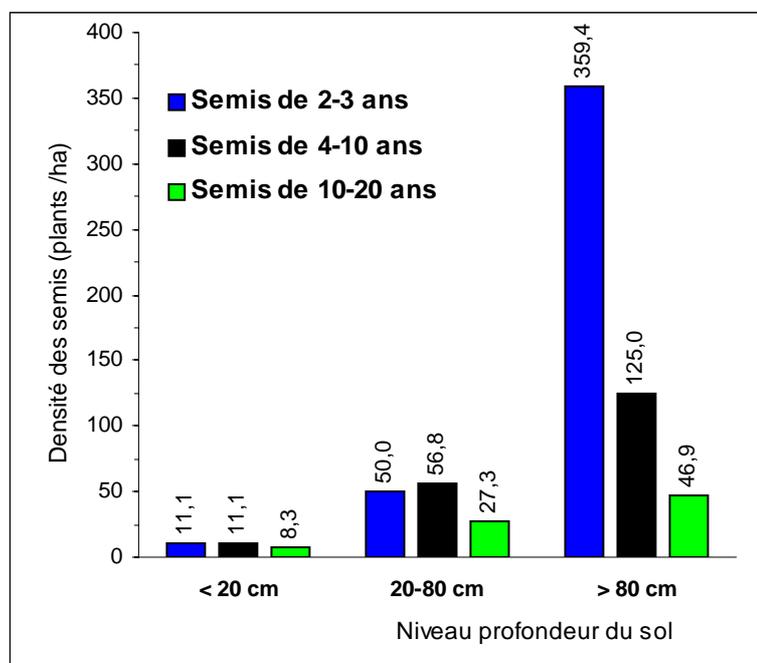


**Fig.29** : Influence de la fructification (abondance des cônes) sur la répartition des semis naturels de cèdre

### 3.1.7- Influence de la profondeur du sol

La comparaison de la densité de semis comptés à différents niveaux de profondeur du sol montre que l'intensité de la régénération du cèdre est tributaire de l'épaisseur du sol. Elle s'améliore à mesure que le sol gagne en profondeur (fig.30). Cette situation concerne toutes les classes d'âges de semis. Toutefois, la régénération jeune de 2 à 3 ans reste la plus sensible à la variation de l'épaisseur du sol. La densité de cette catégorie de semis passe de 11 plants /ha sur des sols superficiels à 359 sur ceux dépassant 80 cm de profondeur (fig.30).

La profondeur du sol influe sur l'installation de la régénération par le biais du volume de terre disponible et la quantité d'eau emmagasinée. Lorsque les niveaux de ces deux composantes sont satisfaisants, ils favorisent la germination des graines et surtout le développement du système racinaire des semis (Toth, 1978 in Khanfouci , 2005 ; Van Lerberghe , 2007 ; Ezzahiri et al, 1994).



**Fig.30** : Influence de la profondeur du sol sur la répartition des semis naturels de cèdre

### 3.2-Approche multidimensionnelle par l'ACP

L'analyse en composantes principales (ACP) des données a été basée sur les valeurs propres des axes, la contribution et la qualité de représentation des variables et des individus (placettes).

L'axe 1 et 2 sont les plus explicatifs, avec respectivement 39.4 et 21.2 % d'énergie. Ils expliquent ensemble 60.6 % de la variation totale.

Les variables les mieux représentées (cosinus carré  $\geq 0.4$ ) sur le plan 1-2 sont l'exposition, la fructification, la profondeur du sol, la litière, le couvert arboré, l'altitude et le couvert arbustif (Tableau 16). Leurs contributions à la formation de l'axe 1 et 2 sont indiquées dans le tableau 16. Les variables les plus influentes sur l'axe 1 sont donc l'exposition et la fructification. L'altitude et surtout le couvert arbustif participent plutôt à la construction de l'axe 2. La pente contribue peu à la formation des axes 1 et 2 et sa qualité de représentation sur le plan 1-2 est médiocre.

Tableau 16 : Qualité de représentation des variables sur les axes 1 et 2 et leurs contributions

variables	Qualité de représentation		Contribution (%)	
	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
Fructification	0,77	0,05	17,9	2,0
Exposition	0,85	0,01	19,6	0,5
Pente	0,03	0,22	0,6	9,4
Altitude	0,40	0,40	8,1	15,3
prof.sol	0,53	0,01	12,3	0,3
Litière	0,50	0,11	11,5	4,9
Couvert arbustif	0,05	0,56	1,2	23,9
couvert arboré	0,48	0,05	11,0	2,3

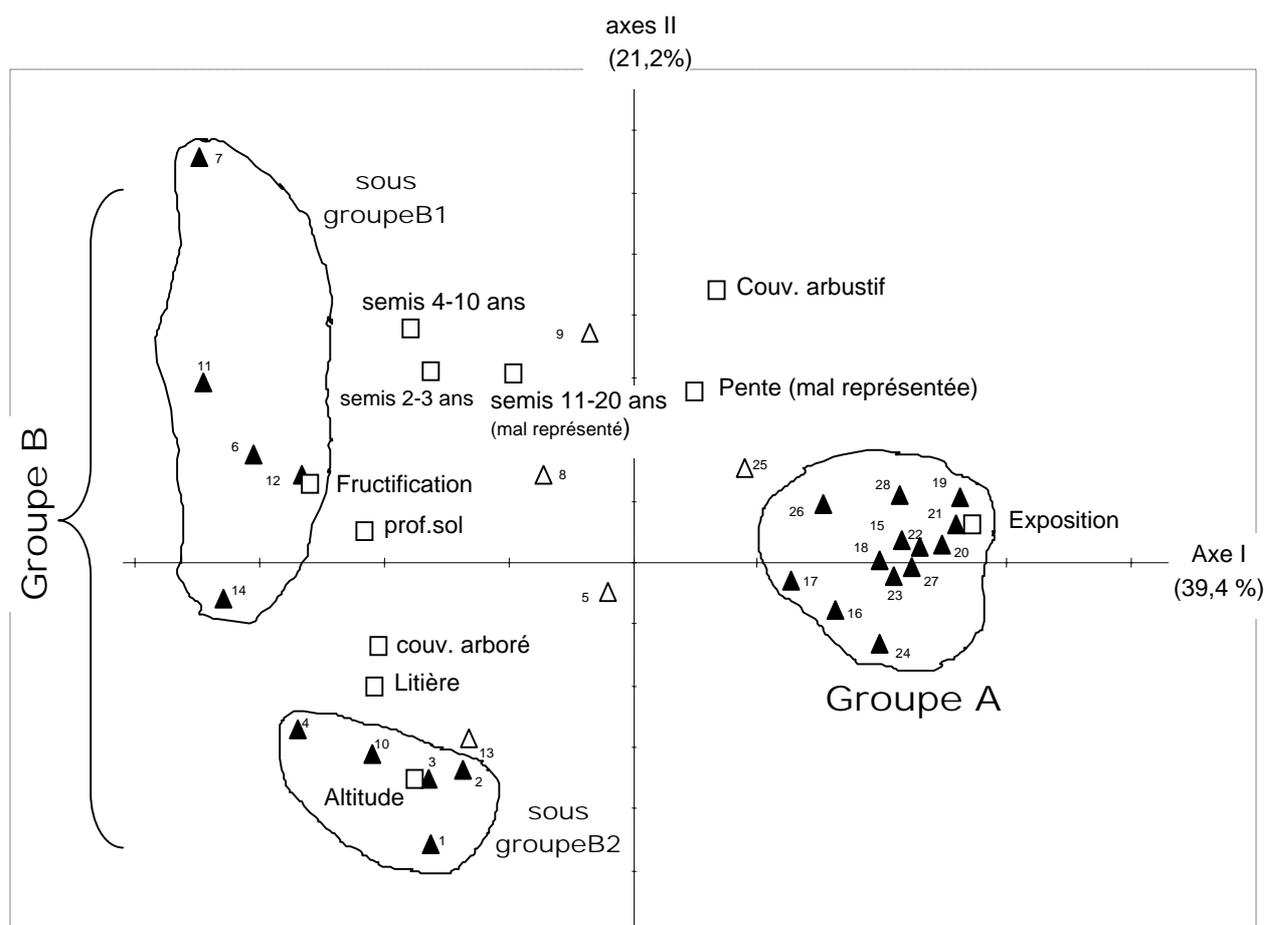


Fig.31 : Projection des variables et des individus sur le plan 1-2

Pour l'interprétation nous avons retenus comme pour les variables, seuls les individus (placettes) ayant une qualité de représentation assez bonne (cosinus carré égal au moins à 0.4). Ainsi, tous les individus sont bien représentés sur le plan 1-2, sauf le n° 5, 8, 9, 13 et 25.

La projection simultanée des variables et des individus sur le plan 1-2 est représentée par la figure 31.

L'examen de cette figure montre que l'axe 1 permet de distinguer deux ensembles de relevés. Le premier (A) se situe sur le coté positif et comprend les placettes échantillonnées sur l'orientation Sud où la fructification et la régénération tous âges confondus sont très rares, voire inexistantes (individus 15 à 28, sauf le 25). Le second plus hétérogène (B) se trouve sur le coté opposé et comprend les relevés sur l'exposition Nord (individus 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12 et 14) avec une fructification et une régénération plus ou moins abondante. L'axe 1 désigne donc essentiellement l'exposition et la fructification.

L'axe 2 explique le lien existant entre la régénération et les facteurs recouvrement arbustif et l'altitude (tableau 16). Cet axe permet de scinder le groupe de régénération (B) en deux sous ensembles opposés B1 et B2.

Le sous groupe B1 représente le milieu où la régénération est relativement abondante et de type plutôt jeune de 2 à 10 ans. Il englobe les parcelles échantillonnées sur le versant Nord à une altitude et un couvert arbustif moyen (placettes 6, 7, 11, 12 et 14).

Le sous groupe B2 traduit une régénération limitée et constituée seulement de semis très jeunes de 2-3 ans. Il se compose des échantillons relevés sur l'exposition Nord, à haute altitude, sous un couvert arbustif absent ou très faible (0-10%) (Placettes 1, 2, 3, 4 et 10).

L'analyse en composantes principales a permis de mettre en évidence 3 milieux de régénération naturelle du cèdre, correspondant aux ensembles d'échantillons. Leurs caractéristiques sont :

✓ **Milieu 1 (groupe A) caractérisé par :**

- Une régénération très rare et même absente
- Exposition Sud
- Fructification rare
- Couvert arbustif important (20 à 40 %)
- Couvert arboré limité (< 10 %)
- Pente relativement forte (30 à 40 %)
- Altitude basse (1400-1700)
- Litière faible (15 à 30 %)
- Sol peu profond (< 20 cm)

✓ **Milieu 2 ( Sous groupe B1) :**

- Régénération abondante et d'âge diversifié (475 plants de 2-10ans /ha)
- Exposition Nord
- Fructification abondante
- Couvert arbustif moyen (10 à 25 %)
- Couvert arboré important (30 à 35 %)
- Relief moyennement accidenté
- Altitude moyenne (1600-1800 m)
- Litière moyenne (40 à 50 %)
- Sol profond dépassant souvent 80 cm

✓ **Milieu 3 (sous groupe B2)**

- Régénération faible et exclusivement très jeune de 2-3 ans
- Exposition Nord
- Fructification moyenne à forte
- Couvert arbustif < 10 %
- Couvert arboré moyen
- Pente moyenne (20 à 30 %)
- Altitude haute (1900-2000 m)
- Litière très présente (40 à 80 %)
- Sol assez profond (20-80 cm)

## CONCLUSION GENERALE

La recherche bibliographique effectuée a permis de cerner l'état des connaissances acquises relatives aux divers aspects du cèdre de l'Atlas en particulier, aussi bien dans son milieu naturel qu'artificiel. Cette revue de la littérature a révélé que l'espèce *Cedrus atlantica* M, essence forestière endémique des montagnes marocaine et algérienne, présente plusieurs avantages écologiques et socio-économiques. Elle suscite alors beaucoup d'intérêts à l'échelle nationale et internationale.

Sa principale difficulté réside sans doute dans sa faible capacité à se régénérer naturellement dans son aire d'origine, aggravée par le phénomène du dépérissement. Cette situation résulte de nombreux facteurs interagissant.

L'étude menée au Belezma est basée sur des comptages de semis de différentes classes d'âge dans des placettes où les caractéristiques du milieu sont variables.

A travers l'interprétation des données recueillies, cette étude a tenté d'apporter des éléments de réponse à la question : Dans quelles conditions de milieu une régénération naturelle du cèdre peut mieux réussir ?.

L'analyse des facteurs du milieu pris séparément, fait ressortir qu'ils exercent tous une influence sur le renouvellement naturel du cèdre. La nature et l'ampleur de leurs actions sont liées étroitement à leur grandeur et à l'âge des semis. En général, les facteurs stationnels examinés, influencent beaucoup plus la densité des jeunes semis ( 2-3 ans) que celle des plants plus âgés.

L'approche multidimensionnelle révèle que la régénération au niveau du Belezma reste très hétérogène. L'importance de la densité des semis repose essentiellement sur les facteurs agissant sur le climat, telles l'exposition et l'altitude. Cependant l'impact de la profondeur du sol, de la pente et surtout de l'intensité de la fructification ne sont pas négligeables dans la présence et le maintien de la régénération.

Cette démarche multifactorielle a abouti à la détermination et à la caractérisation de trois milieux distincts de régénération.

Les meilleures conditions de réinstallation naturelle du cèdre dans la station étudiée sont l'orientation Nord, une fructification abondante, la présence d'un couvert arbustif de 10 à 25 %, un relief peu accidenté, une altitude comprise entre 1600 et 1800 m et un sol très profond.

Par contre, les milieux les plus contraignants sont ceux situés à basse altitude, exposés au Sud plus chaud et moins arrosé où la fructification est rare, la couverture arborescente est restreinte, la pente est forte, la litière est faible et le sol moins profond.

Il est à noter que ces résultats sont issus d'un milieu naturel non contrôlé. Ils ne sont pas par conséquent à l'abri des erreurs provenant de l'action de l'homme et des animaux domestiques et autres sur l'installation des semis. C'est pourquoi il est recommandé de vérifier le rôle précis des différents facteurs analysés par une expérimentation fondée sur des comptages effectués dans des parcelles mises en défens.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDESSEMED K.(1981): Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. Etude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Univ. Aix Marseille III, 199 p.
- AMZALLAG E. Et PICCIOLI N. (1978) : Introduction à la statistique. Edit. Hermann, Paris, 339 p
- ANDREA C. et ROBERTO M. (1994): Growth performances of a thinned atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man.) Stand. Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 281-293.
- ANONYME (2001) : Tout sur le cèdre, Le Parc National des cèdres-Theniet El-Had. <http://membres.lycos.fr/cedrteh>.
- ARBEZ M. FERRANDEZ P. et UYAR N. (1978) : Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. Ann. Sci. For., vol.35 (4), 265-268.
- AUSSENAC G., GRANIER A. et GROSS P. (1981) : Etude de la croissance en hauteur du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) . Utilisation d'un appareillage de mesure automatique. Ann. Sci. Forest., 38 (3), 301-316.
- AUSSENAC G. et FINKELSTEIN D. (1983) : Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. Ann. Sci. Forest., 40 (1), 67-77.
- AUSSENAC G. (1984) : Le cèdre. Essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique. Bull.Soc.Bot.Fr., n°131 (2/3/4, 385-398.
- AUSSENAC G. et EL NOUR M. (1986) : Evolution du potentiel hydrique et du système racinaire de jeunes plants de cèdre, pin laricio de Corce et pin noir plantés à l'automne et au printemps. Ann. Sci. Forest. 43 (1), 1-14.
- BADRAOUI M. et ASSALI F. (2007) : Les changements climatiques : Ont-ils des impacts sur le dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas ?. Résumé de la communication à la célébration de la journée mondiale 2007 de la terre « Changements climatiques et impacts écologiques et économiques. Université Al Akhawayn Ifrane, 27 avril 2007, 3p.
- BARITEAU M. M'HIRIT O. ELYOUSFI S.M. (2006) : Ressource génétique du cèdre: In BLEROT P. et BENZYANE M. (2006). Le cèdre de l'Atlas. Mémoire du temps. Ed. MARGADA pour l'Europe et le Canada, 287 p.
- BARITEAU M., VAUTHIER D., POMMERY J., REI F. et ROYER J. (2007) : Les meilleures provenances de cèdres pour le reboisement en France méditerranéenne. Forêt-Entreprise, n°174, 21-26).

- BELKHIRI S. (1993) : Contribution à l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans le Belezma. Cas du Djebel M'Hasseur. Mémoire Ing. Département d'Agronomie, Université de Batna, 82p.
- BELLOULA A. (2008) : Inventaire floristique et faunistique au niveau des falaises (espacement rocheux) Parc national de Belezma. Mémoire Ing. Université de Batna, Département Biologie, 44 p.
- BELOUAAR K. (2006) : Influence climatique sur la survie des jeunes plants du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le massif de chelia. Mémoire ing. Université Batna, département Agronomie. 102 p + Annexes.
- BENABID A. (1994) : Biogéographie phytosociologique et phytodynamique des cédraies de l'Atlas ( *Cedrus atlantica* manetti). Ann. Rech. For.Maroc T(27), 61-76.
- BENARAB M. (1996) : Caractérisation physico-chimique des sols des Monts de Belezma. Essais sur les potentialités de quelques stations de cèdre (*Cedrus atlantica* M). Mémoire d'Ing. Université de Batna, départ. d'Agronomie, 98p.
- BENSSACI O.A (2006): La Mycoflore Endophyte du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Massif de Bélezma (Aurès) : Etude Initiale. Mémoire Magistère, Université de Batna, Département d'Agronomie, 74 p + Annexes.
- BENTOUATI A. et OUDJEHIH B. (1999) : Première étude de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma. Forêt Médit.T.XX (2), 115-119.
- BENTOUATI A.(1994) : Première approche à l'étude de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas dans le massif de Bélezma. Mémoire de Magistère. Université de Batna, Département d'Agronomie, 63 p + références et annexes.
- BENTOUATI A. (2005) : Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès. Lettre de Belezma, n°09, 2-3.
- BENTOUATI A. (2008) : La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). Forêt Méditerranéenne t.XXIX (2), 203-208.
- BENZYANE M., M'HIRIT O. et ELYOUSFI S.M. (2006) : La régénération du cèdre. In le cèdre de l'Atlas. Mémoire du temps. Ed. MARGADA pour l'Europe et le Canada, 287 p.
- BLONDEL J. (2008) : Histoire du climat : De la découverte de l'effet de serre au réchauffement actuel. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 113-126.
- BOU DAGHER-KHARRAT M., GRENIER -DE MARCH G., BARITEAU M., BROWN S., SILJAK-YAKOVLEV S. and SAVOURÉ A. (2001) : Karyotype analysis reveals interspecific differentiation in the genus *Cedrus* despite genome size and base composition constancy. Theor. Appl. Genet 103, 846–854.

- BOU DAGHER-KHARRAT M., MARIETTE S., LEFEVRE F., FADY B. GRENIER-DE MARCH G., PLOMION C. AND SAVOURÉ A. (2007) : Geographical diversity and genetic relationships among *Cedrus* species estimation by AFLP. Tree genetics and genomes vol.3 (3), 1614-2942.
- BOUDY P. (1950): Economie forestière Nord Africaine. Tome 2 : Monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose. Paris, 529-619.
- BOUDY P. (1952) : Considération sur la forêt algérienne et sur la forêt tunisienne. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie d'Agriculture de France, T.39, 529- 543.
- BOUROCHE J.M. et SAPORTA G. (1983) L'analyse des données, 2<sup>ème</sup> Edition. Que sais-je ? Edit. Presses Universitaires de France, 127 p.
- BRAHIMI N. (2007) : Contribution à l'étude de la fructification du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le massif de Belezma (Dj.Tichaou). Etude des paramètres biométriques des cônes et de la production qualitative et quantitative des graines en relation avec l'altitude. Mémoire Ing. Département d'Agronomie, Université de Batna, 100 p. + annexes.
- BRIMA T. (1991) : Contribution à l'étude de l'influence de certains facteurs physiques sur la régénération du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) dans la série de Chélia (Aurès) Mémoire Ing. Département d'Agronomie, Université de Batna, 49 p.
- B.V.F (1971) : Le cèdre (*Cedrus atlantica*) (France), n° 71/4, 7-16.
- B.V.F (1974) : Le reboisement en cèdre dans le sud-est de la France, 74/8, 9-21
- CHBOUKI N. (1994) : Une synthèse dendroclimatique du cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 33-59.
- CHEDDADI R. (2006) : Impact du climat sur quelques espèces méditerranéennes : Du passé au futur (résumé). Colloque du 18 au 20 septembre 2006. [www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Cheddadi\\_resume.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Cheddadi_resume.pdf).
- CIESLA W.M (1993) : Qu'arrive-t-il au neem sahélien? Unasylla - No. 172 - Sécurité des ouvriers forestiers, FAO, Rome), 62 p.
- COURBET F. (1991) : Tarif de cubage à deux entrées pour le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en France. Rev. Forest. Fr. XLIII, 3-1991, 215-226.
- COURBET F., COURDIER J.M , MARIOTTE N.et COURDIER F. (2007) : Croissance, production et conduite des peuplements de cèdre de l'Atlas. Forêt Méditerranéenne, n° 174, 40-44.
- CSABA M. (1994). Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. Ann. Rech.For. Maroc ( 27 ) (special). 220-222.

- DAHMAN M. et KHOUJA M. L (1994) : Résultats des essais d'acclimatation du cèdre en Tunisie. Ann. Rech.For. Maroc T(27) (spécial), 129-137.
- DAVIS P.H (1965): Flora of Turkey and East Aegean Islands. Univer. Press, Edinburgh, 71-72.
- DEBAZAC E.F. (1964): Manuel des conifères. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy. 79-82.
- DELKOV A. et GROZEV O. (1994) : Résultats de l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti en Bulgarie de sud-ouest. Ann. Rech. For. Maroc, T (27) (spécial), 173-185.
- DEMARTEAU M. ( 2006 ): Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Licence en sciences géologiques, université de Liège., 60 p.
- DENTAND F. (2008) : Dépérissement forestier dans les Alpes-Maritimes. Actions déjà entreprises par les communes forestières et l'Office National des forêts. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 195-200.
- DEROUICHE H. (1999) : Contribution à l'étude de quelques facteurs sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans le massif de Chélia. Mémoire ing. Département d'Agronomie, université de Batna, 36 p.
- D.G.F (2006) : Atlas des parcs nationaux algériens. Direction générale des forêts, Algérie, 52-61.
- DRIHEM M. (2008 : Le Matin du Maroc : [www.lematin.ma](http://www.lematin.ma)
- DUCREY M. (1981) : Action des basses températures sur la photosynthèse du cèdre et du douglas. Ann.sci. Forest. 38 (3), 317-329.
- DUCREY M. (1994): Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat Méditerranéen : Aspects écophysiologicals de sa réaction à la sécheresse. Ann. Rech.For.Maroc T(27) (spécial), 139-153.
- EZZAHIRI M. et BELGHAZI B. (2000) : Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). Sécheresse vol. 11 (2), 79-84.
- EZZAHIRI M. , BELGHAZI B. et BAHMAD M. (1994) : Bilan de la régénération naturelle de la cédraie dans les parcelles clôturées du Moyen Atlas, Maroc. Ann. Rech. For. Maroc, T(27), 259-268.
- FABRE J.P. (1994). Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. Ann. Rech. For. Maroc T(27) (spécial), 540-551.
- FADY B. et VAUTHIER D. (1988) : Comparaison des stratégies de croissance en hauteur du Sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica* Loud.) et du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Forêt Méditerranéenne T X (2) , 397-406.

- FALLOUR P., FADY B. And LEFEVRE F. (2001): Evidence of variation in segregation patterns within a *Cedrus* population. The journal of Heredity, 92 (3). 260-266.
- FAO (2003) : [http://www.fao.org/french/newsroom/field/2003/0203\\_lecedars.htm](http://www.fao.org/french/newsroom/field/2003/0203_lecedars.htm).
- FINKELSTEIN D. (1981) : Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. Ann. Sci. Forest. 38 (4), 513-530.
- FOUCART T. (1985) : Analyse factorielle. Programmation sur microordinateurs. 2<sup>ème</sup> édition. Edit. Masson. Paris, 234 p.
- FROMARD F. et GAUQUELIN T. (1993) : Les formations à genévrier thurifère au Maroc: Un milieu et une espèce en régression. Unasylva - No. 172 - Sécurité des ouvriers forestiers, FAO, Rome), 62 p.
- GARRIGUE J., MAGDALOU J.A, HURSON C. (2008) : Les effets de la canicule et de la sécheresse sur les forêts de la Massane (Pyrénées Orientales). Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 183-188.
- GUIBAL F. (1984): Contribution dendroclimatologique à la connaissance de la croissance du cèdre de l'Atlas dans les reboisements du sud-est de la France. Thèse Doct. 3ème cycle. Université d'Aix-Marseille III, 123 p + références.
- GUIBAL F. (1985): Dendroclimatologie du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti) dans le sud-est de la France. Ecologia Méditerranéenne, T XI (4), 87-103.
- HALITIM S. (2006): Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des cédraies dans les Aurès : Influence des facteurs édaphiques. Mémoire Magistère, Université de Batna, Département d'Agronomie, 115 p + références et annexes.
- HARFOUCHE A. et NEDJAH A. (2003) : Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies du Belezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbres plus. Rev.For.Fr. Vol. 55, N° 2,. 113-122.
- HOCINE H. BELARBI H.et PERRIN R. (1994) Possibilités de Myccorhization de *cedrus atlantica* Manetti. Ann. Rech.For. Maroc T(27) (spécial), 349-361.
- ILLOUL M., DERRIDJ A., MOUALEK O. (2001) : Production grainière et germination des graines du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) de différentes provenances algériennes.: 2<sup>o</sup> Colloque International : Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L) et les forêts d'altitude dans les montagnes du pourtour Méditerranéen. Marrakech, Avril 200117-21.
- JACQ V (2008) : Les modèles de prévision climatique en région méditerranéenne. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 107-112.
- JENSEN A.M (1978) : Cours de sylviculture approfondie, I.N.A d'Alger, départ. de foresterie.

- KHANFOUCI M.S (2005): Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezma. Mémoire Magist., Univ. Batna, Département Agronomie, 236 p + annexe.
- LADJAL M. (2007) : Etude de l'effet du stress hydrique sur la germination des graines de différentes provenances de *Cedrus libani* et de *Cedrus atlantica*. Mémoire de D.E.A. Univ. Nancy I, Fac sci, 24 p + annexes.
- LAMHAMEDI M. et CHBOUKI N. (1994) : Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* (Manetti)). Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 243-257.
- LASRAM M. (1994) : Discours d'ouverture du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ifrane (Maroc ) du 7-11 juin 1993. Ann. Rech. For. Maroc, 27 (special), XXXV-XXXVI.
- LE MEIGNEN P. et MICAS L. (2008) : Bilan des dépérissements forestiers dans Alpes-Provence. Forêt Méditerranéenne T.XXIX, n°2, 177-182.
- LE POUTRE B et PUJOS A. (1964) : Facteurs climatiques déterminant les conditions de germination des plantules de cèdre. Ann. Forest. Maroc, Tome 7, 23-54.
- LE POUTRE B. (1964) : Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre de l'Atlas dans le Moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Maroc. T 7, Rabat: 57 – 163.
- LE POUTRE B. (1966) : Ecologie de la régénération naturelle du cèdre dans le Moyen Atlas marocain. Résumé de la thèse Docteur- ingénieur, Faculté de Montpellier (France), 13p.
- MADOUI A : (2003) : La forêt algérienne. Bulletin de l'A.I.F.M, n°11, 4-5.
- MALKI Hamena (1992) : Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans les Monts de Belezma (Algérie). Thèse Doc. Université de la Sorbonne (Paris), 187 p.
- MALKI Hamid (2003) : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le massif du Belezma (Dj.M'Hasseur). Mémoire Ing. Département d'Agronomie, Université de Batna, 109 p.
- MEDIOUNI K. et YAHI N. (1989). Etude structurale de la série du cèdre {*Cedrus atlantica*, Manetti} d'Aït-Ouabane, Djurdjura. Forêt méditerranéenne, T XI, 103-112.
- MEDIOUNI K. et YAHI N. (1994) : Phytodynamique et autoécologie du *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. Ann. Rech.For. Maroc T(27) (spécial), 77-104.
- MESSAT S. (1994) : Modèle matriciel pour la croissance des futaies jardinées ou irrégulières de *cedrus atlantic a* (manetti): cas de la foret du Seheb au moyen atlas du Maroc. Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 313-319.

- MEZIANE H. (1977) : Contribution à l'étude écologique et à la productivité du cèdre (*Cedrus atlantica* L) à Meurdja, Mémoire Ing. INA Alger, 55 p.
- M'HIRIT O. (1994a) : Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea « Le CEDRE ». Ann. Rech.For.Maroc T(27) (spécial), 3-21.
- M'HIRIT O. (1994b) : Croissance et productivité du cèdre: Approche multidimensionnelle de l'étude des liaisons stations productions. Ann. Rech.For.Maroc T(27) (spécial), 295-312.
- MICAUX D. (2008) : Le dépérissement du sapin sur le plateau de Sault (Aude) : Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 189-194.
- MILLE R. (1986): Contribution à l'étude de la variabilité génétique du cèdre. Mémoire ENITEF, INRA Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers, 122 p.
- MOUKOURI DLOUMBI N.L (2007) : Contribution à l'étude du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le massif des Ouled-Yagoub (série n°6 : Djebel Faraoun) : Approche sylvicole. Mémoire Ing. Université de Batna, Département d'Agronomie.59p + références et annexes.
- MOUNA M. (1993) : Entomofaune du cèdre de l'Atlas au Maroc. Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas, Ifrane (Maroc) ; 7 – 11 juin 1993, 515 – 522.
- NAGELEISEN LM. (2007) : Les problèmes phytosanitaires du cèdre en France. Forêt-entreprise, n°174, 27-31.
- NAUDET V. (2007) : La production de plants de cèdre en France. Forêt-entreprise, n°174, p 39.
- NEDJAH A. (1994) : Etude de la croissance radiale des provenances du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie. Ann. Rech. For. Maroc T(27), 452 - 461.
- NSIBI R., SOUAYHA N., KHOUIA L.M. et BOUZID S. (2006) : La régénération naturelle par semis de la suberaie de Tabarka-Aïn Drahem face aux facteurs écologiques et anthropiques. Geo-Eco-Trop, 30 (1) 35-48
- PANETSOS K.P, CHRISTOU A.and SCALTSOYIANNES A. (1992): First analysis on allozyme variation in Cedar species (*cedrus* sp.) *Silvae Genetica*, 41 (6), 339-3420.
- PICHOT C, BASTIEN C., COURBET F. DEMESURE-MUSCH B., DREYFUS P., FADY B., FRASCARIA-LACOSTE N., GERBER S., LEFÈVRE F.,MORAND-PRIEUR M.E., ODDOU S., DU CROS E.T., VALADON A. (2006) : Déterminants et conséquences de la qualité génétique des graines et semis lors de la phase initiale de régénération naturelle des peuplements forestiers. Les Actes du B.R.G, 6 2006), 277-297.
- PIJUT P. M (2000): *Cedrus*- The true cedars. *Journal of Arboriculture* 26(4), 218-224.

- PRADEL F.(1979) : Variabilité génétique et écophysologie du cèdre. Mémoire de fin d'études de l'ENITEF Bordeaux et le Ruscas, 87 p.
- QUEZEL P. (1998): Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. Forêt méditerranéenne, t.XIX, n°3, 243-255.
- RIGOLOT E. (2008) : Impact du changement climatique sur les feux de forêt. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 167-176.
- RIOU-NIVERT P. (2007): Fiche extraite de la Flore forestière française T III région méditerranéenne. Forêt- entreprise, n°174, 14-16.
- RIPERT C. et BOISSEAU B. (1994) : Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 155-171..
- RIPERT C. (2007) : Autoécologie du cèdre de l'Atlas. Forêt-entreprise, n° 174, 17-20.
- SAADI A. (1992) : Contribution à l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Belezma. Mémoire ing. Département d'Agronomie, Université de Batna, 32 p.
- SABATIER S., BARADAT P. and BARTHELEMY D. (2003): Intra and interspecific variations of polycyclism in young trees of *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière and *Cedrus libani* A. Rich (*Pinaceae*). Ann. Sci. Forest. 60, 19–29.
- SELTZER P. (1946): Le climat de l'Algérie. Edit Institut météorologie. Alger, 219 p.
- SEGUIN B. (2008) : Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 127-136.
- SCALTSOYIANNES A. (1999): Allozyme Differentiation and Phylogeny of Cedar Species. *Silvae Genetica*, 48 (2), 61-68.
- TOTH J. (1970) : Plus que centenaire et plein d'avenir : Le cèdre en France. R.F.F XXII - 3, 355-364.
- TOTH J. (1970-1972) : Historique du Cèdre sur le Mont-Ventoux . Bull. Soc. Et.SCi.nat. Vaucluse, 51-72.
- TOTH J. (1972) : La cédraie de la Verne-Ragusse dans le massif des Maures. R.F.F. XXV-2, 115-120.
- TOTH J. (1973a) : Contribution à l'étude de la dissémination des graines de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) sur la face sud du Mont-Ventoux (Vaucluse). Document interne n°6 -1973, 31 p.
- TOTH J. (1973 b) : Première approche de la production potentielle du cèdre de l'Atlas dans le sud de la France. R.F.F XXX-5-1973, 381-389.

- TOTH J. (1980) : Le cèdre II. La graine: Dissémination, extraction, qualité, germination, conservation. La forêt privée n° 131 : 78 –84.
- TOTH J. (1982) : Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses : cèdre, pin noir et pin de Salzmann dans le reboisement de Belvezet (Gard). Forêt méditerranéenne IV (2), 143-146.
- TOTH J. (1983) : La prévision et l'estimation des récoltes de cônes de cèdre de l'Atlas. Document interne n°1 -1983, 12 p.
- TOTH J. (1982-1984) : Quelques éléments nouveaux pour mieux situer et caractériser le cèdre de l'Himalaya vis à vis du cèdre du Liban en France méridionale. Bull.Soc.Et. Sci. nat. Vaucluse, 41-45.
- TOTH J. (1988) : Etude pin noir- Cèdre du Mont-Ventoux (Vaucluse),. Document interne, n°8/1988, 6 p.
- TOTH J. (1990 a) : Le Cèdre. III.. Intérêt paysager. Cédraies touristiques. La forêt-Privée, n° 195, 50-57.
- TOTH J. (1990 b) : Croissance, sylviculture et production du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) implanté dans une zone naturelle de chêne vert (*Quercus ilex* L.) en région méditerranéenne française. Exposé présenté au symposium international du cèdre à Antaya (Turquie) du 22 au 27 octobre 1990, 8 p.
- TOTH J. (1990c) :Le cèdre. Croissance et production ligneuse. La forêt privée, n°193, 81-91.
- TOTH J. (1994) : Le cèdre de l'atlas en France: Croissance et production dans les dispositifs anciens. Ann. Rech. For. Maroc, T (27), 321-335.
- TOTH J ( 2005) : Le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce. Edit. L'Harmattan, Paris, 207 p.
- TOTH J et TURREL M (1981) : Croissance Radiale et longitudinale de quelques résineux en fonction de l'alimentation en eau. UFRO, Symposium, 9-12 septembre 1981. 176-192.
- UNESCO (2002) : Parc des Aurès avec les établissements oasiens des gorges du Rhoufi et d'El Kantara. [http://whc.unesco.org/fr/listes\\_indicatives/1777](http://whc.unesco.org/fr/listes_indicatives/1777).
- VAN LERBERGHE Ph. (2007) : Réussir un reboisement en cèdre de l'Atlas. Forêt-entreprise n°174, 32-38.
- VARELA M.C. (2008) : Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique. Forêt Méditerranéenne, T.XXIX, n°2, 209-212.

VESSERAU A. (1960) : Recherche et expérimentation en agriculture. Méthodes statistiques en biologie et en agronomie Tome 2, 2<sup>ème</sup> édition. Edit. Baillière & fils, Paris, 538 p.

ZINE EL ABIDINE A. (2003) : Les dépérissements des forêts au Maroc : Analyse des causes et stratégie de lutte. Sécheresse volume 14, n°4, 209-218.

## ملخص

إن المعارف المحققة حول التجديد الطبيعي للأرز الأطلسي في بيئته الأصلية، و المستفاد من بحوث و دراسات أجريت في المغرب و الجزائر في أوساط صعبة المقارنة، تخص فقط الفسائل الحولية. إن العمل الدراسي الذي قمنا به يهدف إلى معرفة و توضيح طبيعة الروابط الموجودة بين بعض العوامل للوسط الذي تنمو فيه فسائل الأرز. لقد أنجزت هذه الدراسة في رقعة محدودة من الحظيرة الوطنية لبلزمة (ولاية باتنة) و اعتمد في إحصاء الفسائل على أعمار مختلفة في مواقع متنوعة. النتائج بينت أن العوامل المأخوذة بعين الاعتبار لعبت دورا في نجاح عملية تجديد الأرز الأطلسي. لكن يبقى الارتفاع و الواجهة مع المناخ و خصوبة أنسجار الأرز هم الأكثر اعتبارا في النجاح التحليل للمكونات الرئيسية (ACP) أظهر اختلاف كبير في انتشار الفسائل في الرقع المدروسة. هذه الوضعية سببها الأثر الفردي و المزدوج لعوامل الوسط على إبقاء و نمو النباتات. الباحث حدد ثلاث مستويات مختلفة في التجديد و ناقش خصوصياتها

## Résumé

Les connaissances acquises sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans son aire d'origine, émanent des études menées au Maroc et en Algérie dans des milieux difficilement comparables et ne concernent pratiquement que les semis de l'année.

L'étude présentée vise à déterminer la nature des liens existants entre l'installation des semis et certains facteurs du milieu. Elle est réalisée dans une partie de la cédraie du massif de Belezma (Batna) et se base sur des inventaires des semis de différentes classes d'âge, dans diverses conditions stationnelles.

Les résultats obtenus montrent que tous les facteurs considérés jouent un rôle dans l'installation de la régénération du cèdre de l'Atlas. Toutefois, l'exposition et l'Altitude en relation avec le climat ainsi que la fructification sont nettement plus déterminantes.

L'analyse en composantes principales révèle une grande hétérogénéité dans la répartition des semis. Cette situation traduit l'action individuelle et conjuguée des facteurs du milieu sur la survie et le développement des plants.

L'auteur a mis en évidence trois niveaux de régénération bien distincts. Leurs caractéristiques stationnelles sont rapportées.

**Mots clés :** Cèdre, *Cedrus atlantica* M., régénération, semis, Belezma